

# ZEOLITAS NATURALES CUBANAS. CARACTERÍSTICAS, PROPIEDADES Y SUS USOS EN LA AGRICULTURA

MSc. Héctor Juan Díaz Álvarez<sup>1</sup>

1. Universidad de Matanzas – Sede “Camilo Cienfuegos”, Vía Blanca Km.3, Matanzas, Cuba.  
[hector.diaz@umcc.cu](mailto:hector.diaz@umcc.cu)

## Resumen

Las zeolitas naturales son aluminosilicatos de metales alcalinos o alcalino-térreos predominantemente de sodio y calcio las cuales son clasificadas atendiendo a su estructura y composición química y según la proporción de estos últimos, son definidos sus campos de empleo. Los estudios geológicos realizados en el territorio nacional establecieron la existencia de cerca de 50 depósitos de rocas zeolíticas, no teniéndose información de su existencia en las provincia de Ciego de Ávila y en el Municipio especial Isla de la Juventud destacándose que se han estudiado a profundidad un total de 16 yacimientos que totalizan unos 20,9 millones de toneladas de recursos medidos, 69,95 millones de toneladas en recursos indicados y 214,61 millones de toneladas en recursos inferidos. Las zeolitas están estructuradas en redes cristalinas tridimensionales, compuestas de tetraedros unidos en los vértices por un átomo de oxígeno y basado en estas características estructurales, los minerales presentan características tales como: alta porosidad, rigidez estructural, dureza, alta capacidad de intercambio catiónico, selectividad catiónica, efecto de criba iónica, adsorción selectiva de gases (tamiz molecular), hidratación reversible y baja densidad, las que hacen posible convertirlas en un recurso importante en el desarrollo agropecuario siempre que se consideren las recomendaciones establecidas para su utilización.

**Palabras claves:** *Zeolita, Fertilizantes de fórmula completa, Intercambio catiónico, Zeopónicos*

## 1.1. Las rocas zeolíticas.

### 1.1.1. Características y propiedades.

El término zeolita viene del griego *zéo* y *lithos* que quiere decir piedra que hierve o piedra efervescente. En 1756, con el descubrimiento de la stilbita por el mineralogista sueco Barón Alex Frederick Cronstedt, las zeolitas fueron reconocidas por vez primera (Costafreda, 2011). Las zeolitas son aluminosilicatos de metales alcalinos o alcalino-térreos predominantemente de sodio y calcio. Las zeolitas naturales presentan como características relevantes, una estructura microporosa que le confiere propiedades adsorbentes y una gran capacidad de intercambio catiónico debido a un desequilibrio de cargas que es función de la relación  $\text{Si}^{4+}$  y  $\text{Al}^{3+}$  (Mumpton, 1999).

El producto denominado comercialmente “Zeolita Natural” es en realidad una roca cuyo componente principal es uno o varios minerales del grupo de las zeolitas en contenidos globales del 50% como mínimo, siendo ejemplos de ellas las siguientes: Chabasita, Clinoptilolita, Mordenita, Natrolita, Filippsita, Huelandita, Laumantita, Faujasita, Laumontitas entre otras (Brito *et al.*, 2013).

Las primeras manifestaciones de zeolita en Cuba fueron halladas según, Casals (2014) por el geólogo búlgaro B. Alexiev en un trabajo conjunto con los geólogos cubanos Coutín y Brito, encontrándose que las zeolitas halladas más importantes fueron la clinoptilolita, mordenita y analcima y que excepcionalmente se encuentran rocas monozeolíticas, pero casi siempre coexisten dos o más de ellas, en contenidos globales del 50 al 96%.

### 1.1.2. Principales tipos de zeolitas naturales.

Los principales tipos de zeolitas naturales reportadas por Curi *et al.* (2006) se presentan en la tabla.1.

Tabla 1. Principales tipos de zeolitas naturales. Fuente: Curi *et al.* (2006)

Zeolitas	Fórmula Química
Laumontita	$\text{Ca Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Clinoptilolita	$(\text{Na}, \text{K}, \text{Ca})_{2-3} \text{Al}_3(\text{Al}, \text{Si})_2 \text{Si}_{13} \text{O}_{36} \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$
Stilbita	$\text{Na Ca}_2 \text{Al}_5 \text{Si}_{13} \text{O}_{36} \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$
Phillipsita	$(\text{K}, \text{Na}, \text{Ca})_{1-2} (\text{Si}, \text{Al})_8 \text{O}_{16} \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$
Erionita	$(\text{K}_2, \text{Ca}, \text{Na}_2)_2 \text{Al}_4 \text{Si}_{14} \text{O}_{36} \cdot 15 \text{H}_2\text{O}$

Offretita	$(K_2, Ca)5Al_{10}Si_{26}O_{72} \cdot 30H_2O$
Faujazita	$(Na_2Ca)Al_2Si_4O_{12} \cdot 8H_2O$
Chabazita	$Ca Al_2Si_4O_{12} \cdot 6H_2O$
Natrolita	$Na_2Al_2Si_3O_{10} \cdot 2H_2O$
Thomsonita	$Na Ca_2Al_5Si_5O_{20} \cdot 6H_2O$
Mordenita	$(Ca, Na_2, K_2)Al_2Si_{10}O_{24} \cdot 7H_2O$
Epistilbita	$CaAl_2Si_6O_{16} \cdot 5H_2O$
Analcima	$Na_2AlSi_2O_6 \cdot H_2O$

### 1.1.3. Clasificación de las zeolitas.

#### 1.1.3.1. Clasificación de las zeolitas atendiendo a su estructura y composición química.

Leiva (2013) clasifica a las zeolitas:

- Por el diámetro de sus poros (pequeños, medianos, grandes y extragrandes)
- De acuerdo a su estructura (apoyándose en estudios cristalográficos)
- De acuerdo a su relación  $Si^{4+}: Al^{3+}$  (ricas en aluminio, intermedias y ricas en silicio), y estas son las de mayor importancia agrícola por brindar parámetros precisos vinculados con sus propiedades y usos.

#### 1.1.3.2. Clasificación de las zeolitas de acuerdo a los contenidos de cationes presentes.

La clasificación de los yacimientos de zeolitas según los cationes extraídos en los análisis de laboratorio se muestra en la tabla 2 (Soca, 2012).

Tabla 2. Clasificación de los yacimientos de zeolitas de acuerdo a los análisis de laboratorio de cationes. Fuente: Soca (2012),

Tipo de yacimiento	Relación de cationes según su participación	Campo de empleo
Cálcico - Sódico	$Na^+, Ca^{2+}, K^+$	Intercambio iónico
Sódico - Cálcico	$Ca^{2+}, Na^+, K^+$	Adsorción
Cálcico - Potásico	$K^+, Ca^{2+}, Na^+$	Producción Agrícola
Potásico - Cálcico	$Ca^{2+}, K^+, Na^+$	Producción Pecuaria

### 1.1.4. Estructura de las zeolitas.

Las zeolitas según Curi *et al.* (2006) están estructuradas en redes cristalinas tridimensionales, compuestas de tetraedros del tipo TO<sub>4</sub> (T = Si, Al, B, Fe, Co) unidos en los vértices por un átomo de oxígeno. En la figura 1 y 2 se presentan las principales unidades estructurales de las zeolitas.

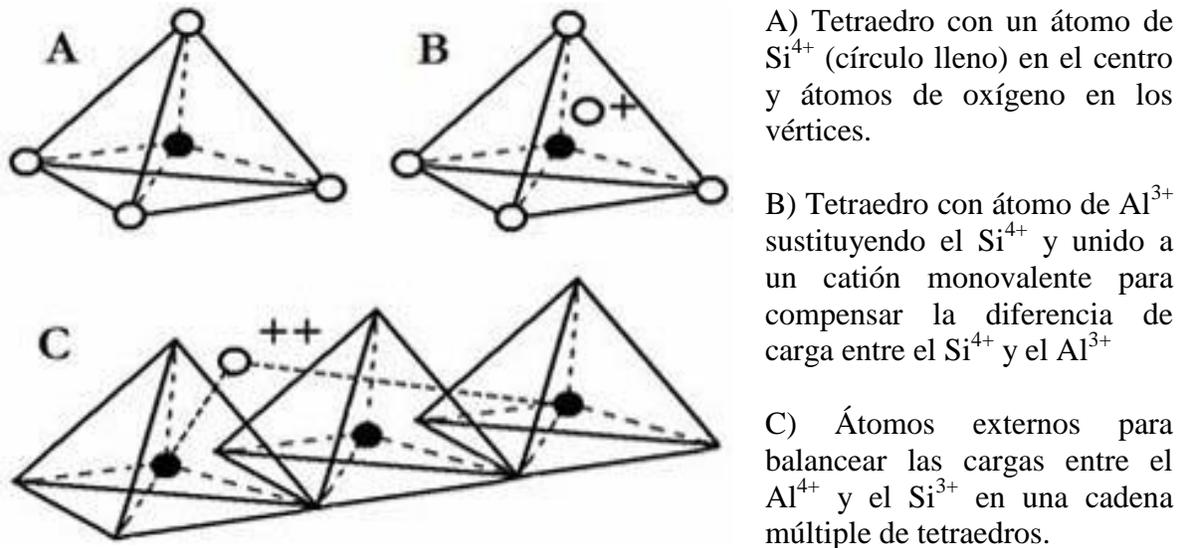


Figura 1. Unidades estructurales básicas de las zeolitas.

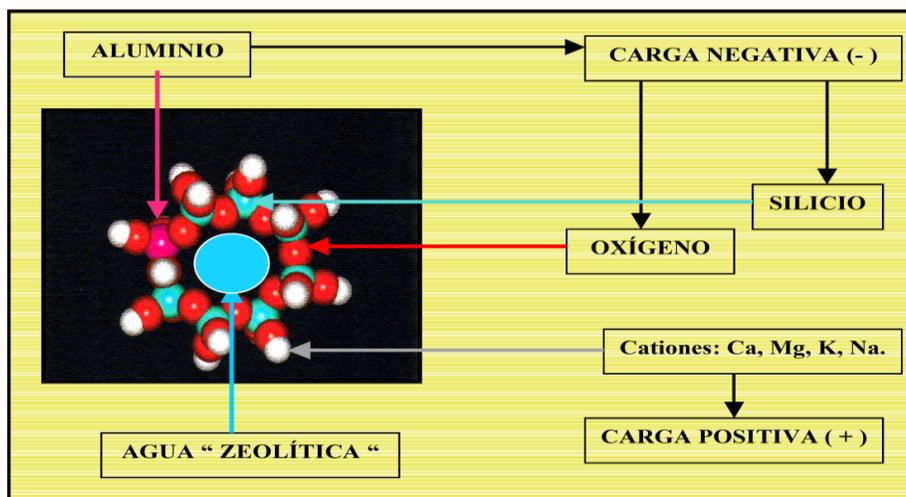


Figura 2. Estructura básica de una zeolita. Fuente (Leiva, 2013).

Entre las características generales de las zeolitas atendiendo a su estructura según Leiva (2013) están las siguientes:

- ❖ Diámetro de poro: 0,2 a 12 Å.
- ❖ Diámetro de cavidades: 6 a 12 Å.
- ❖ Superficie interna: varios cientos de m<sup>2</sup>. g<sup>-1</sup>; entre 500 y 1000 m<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup>
- ❖ Capacidad de intercambio catiónico: 0 a 650 milimoles (mmol). 100g<sup>-1</sup>
- ❖ Capacidad de adsorción: <0,35 cm<sup>3</sup>.g<sup>-1</sup>
- ❖ Estabilidad térmica: desde 200° hasta más de 1.000°C.

Las zeolitas por su estructura peculiar tridimensional son altamente estables debido a que los enlaces de estos minerales son muy rígidos en todas direcciones. La estructura cristalina de cada uno de los minerales es única, por lo que cada uno de los minerales zeolíticos se caracteriza por canales, poros y cavidades o cavernas de dimensiones estrictamente determinadas. Las estructuras de muchas zeolitas han sido determinadas por análisis cristalográficos de difracción de rayos X. La mayor parte de las zeolitas cristalizan en los sistemas monoclinicos o rómbicos, pero existen también zeolitas tetragonales, trigonales y cúbicas (Casals, 2014).

La fórmula general de las zeolitas de acuerdo Anónimo (2014b) puede escribirse como:



**donde:**

**W**- Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Ba<sup>2+</sup>,

**Z**- Al<sup>3+</sup> + Si<sup>4+</sup>

**H<sub>2</sub>O**- Cantidad Variable.

**Si+Al:** Oes siempre 1:2

Por lo que las zeolitas, son aluminosilicatos de cationes alcalinos y alcalinos térreos (potásicos, cálcicos y sódicos) siendo éstos móviles, pudiendo intercambiarse en diferentes grados por otros cationes.

Basado en las características estructurales de los minerales zeolíticos tales como su rigidez y dureza, porosidad (canales de diferentes diámetros), cargas eléctricas libres (dado a las sustituciones isomórficas que ocurren en los tetraedros de la red idénticas a las arcillas silicatadas) que son compensadas e intercambiadas con elementos presentes en la solución del suelo siendo además selectivas a algunos de estos, surgen sus propiedades que serán analizadas posteriormente.

### 1.1.5. Yacimientos y manifestaciones de rocas zeolíticas en Cuba.

Desde que fueron descubiertas y hasta la fecha, según informan Coutín y Brito (1985); Orozco y Rizo (1998); Ortiz *et al.* (2011) y Brito *et al.* (2013) los estudios geológicos en todo el territorio nacional establecieron la existencia de cerca de 50 depósitos de rocas zeolíticas, localizados en diferentes formaciones geológicas, cuyas edades abarcan desde el Cretácico hasta el Eoceno Medio no teniéndose información de la existencia de rocas zeolíticas en la provincia de Ciego de Ávila y en el Municipio especial Isla de la Juventud (observar tabla 3).

Tabla 3. Depósitos más estudiados de rocas zeolíticas, por municipios y provincias.

Provincias	Municipios	Localidades
Pinar del Rio	La Palma	La Mulata
Artemisa	Bahía Honda	Orozco, La Granjita, Harlem
Mayabeque	Jaruco	La Pita, Castilla, Galafate
	San José de las Lajas	La Victoria
	Santa Cruz del Norte	San Ignacio
La Habana	Guanabacoa	La Quebrada
	Habana del Este	El Paso
Matanzas	Jovellanos	El Olimpo
	Limonar	Charco Largo
	Matanzas	Yurumí, El Recreo
Villa Clara	Ranchuelo	Tasajeras, Piojillo, Chucho Rojas, La Conductora
	Placetas	Palo Prieto, La Legua
	Remedios	Las Bocas
	Santa Clara	La Pulga, La Joaquina
	Manicaragua	Seibabo, El Compás
Cienfuegos	Cienfuegos	Las Carolinas
Sancti Spíritus	Sancti Spíritus	Guasimal
	Taguasco	Siguaney
Camagüey	Nueva Paz	Las Margaritas
	Carlos M. de Céspedes	La Luisa, La Juanita
	Santa Cruz del Sur	Ojo de Agua, La Unión, San Bonifacio
	Jimaguayú	San Cayetano, Las Guásimas
	Najasa	El Chorrillo, Las Catalinas, Berraco Gordo, El Pílon
	Minas	El Porvenir, El Rubio
	Guáimaro	La Unión
Las Tunas	Amancio Rodríguez	Las Pulgas, El Cedrón de Guaimarillo
Holgúin	Gibara	Bocas
	Calixto García	La Jíquima
	Moa	Caimanes, Loma Blanca, Farallones

	Banes	Guerrero
	Sagua de Tánamo	Soplo Abajo, La Tusa
	Holguín	San Andrés, Tasajera
Granma	Buey Arriba	Cienaguilla, Bueycito, Las Peñuelas
	Campechuela	La Mulatica
Guantánamo	Yateras	Bernardo, Palenque
Santiago de Cuba	Mella	Palmarito de Cauto, Colorado, Río Jagua
	San Luis	Felicidad del Vergel, La Almeida, Joturito
	Songo La Maya	Jarahueca
	Segundo Frente	El Arpón, Seboruco, Sabanilla de Mayarí Arriba
	Santiago de Cuba	Boniato-El Cristo, Dos Bocas, Villalón

La mayoría de los depósitos cubanos cuenta con una amplia caracterización geológico-tecnológica, incluidas las pruebas de uso en variadas ramas de la economía, así como recursos evaluados para su explotación y destino, tanto para usos nacionales como para la exportación por lo que se construyeron cuatro grandes plantas para el procesamiento del mineral y se comenzó la entrega de considerables volúmenes de productos a partir de zeolitas a las distintas esferas de la economía. Las primeras plantas fueron ubicadas en Tasajeras, Villa Clara; San Andrés, Holguín; Najasa, Camagüey y Jaruco, Mayabeque y tenían como capacidad productiva instalada las 600,000 toneladas anuales a principios de la década del 90 del siglo anterior.

Soca (2012) destaca que se han estudiado a profundidad en Cuba un total de 16 yacimientos que totalizan unos 20,9 millones de toneladas de recursos medidos, 69,95 millones de toneladas en recursos indicados y 214,61 millones de toneladas en recursos inferidos, pero para su uso eran necesarias nuevas inversiones -tal vez no muy grandes-, pero sobre todo se precisaba de una voluntad del país.

Las acumulaciones de zeolitas en nuestra isla aparecen según Alexiev *et al.* (1974) en complejos vulcanógeno-sedimentarios que se depositaron en ambientes marinos, a profundidades someras y medias y para la generalidad de los yacimientos de rocas zeolíticas de Cuba, la génesis de los mismos tiene un carácter complejo. Estos autores informan además que probablemente el inicio de la descomposición del vidrio volcánico que dio lugar a las zeolitas está vinculado con los procesos diagenéticos, en los cuales participó el agua de mar como solución circulante por los poros, en tal sentido un elemento sumamente importante a la hora de utilizarla (Díaz *et al.*, 2015) es que se ha podido apreciar que en las menas donde se obtiene este mineral por debajo de la cota de 20 metros respecto al nivel del mar, aparecen altos contenidos de sodio intercambiables que afectarían las propiedades de los suelos y cultivos establecidos. Asimismo, continúan exponiendo los autores anteriormente citados, que hay indicios en diferentes lugares de que las zeolitas surgieron como resultado de la alteración del vidrio volcánico de las tobas, bajo la acción de soluciones hidrotermales, en cuya naturaleza se constata el aporte de sílice, alúmina,

óxido de calcio y agua, así como fuga de óxidos de hierro, magnesio, manganeso, sodio y potasio.

En la tabla 4 se presenta la clasificación general por tipo natural de menas (Soca, 2012) atendiendo a su contenido total de Zeolitas (Z), la Capacidad de Intercambio Catiónico total (CICT) y el Calor de Inmersión (DELTA T).

Tabla 4. Clasificación general por tipo natural de menas de zeolita. Fuente: (Soca, 2012)

Tipo de Mena	Calidad	Zeolitas (%)	T (°C)	CICT (cmol.kg <sup>-1</sup> )
E	Extra	> 90	> 14	> 150
1	Superior	70 - 90	11 - 14	120 - 150
2	Media	50 - 70	8 - 11	80 - 120
3	Inferior	30 - 50	4,5 - 8	55 - 80
4	Inferior	< 30	< 4,5	< 55

### 1.1.6. Características química y catiónica, mineralógica, física y de microestructura y otros de las rocas zeolíticas cubanas.

En las tablas 5, 6, 7 y 8 se presentan según Soca (2012) la caracterización de los yacimientos cubanos.

Tabla 5. Valores de la composición química y catiónica. Fuente: Soca (2012)

Composición Química. (Óxidos totales)	Contenido g.kg <sup>-1</sup>
SiO <sub>2</sub>	64,27
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,72
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,74
FeO	0,27
CaO	4,96
MgO	1,22
Na <sub>2</sub> O	2,74
K <sub>2</sub> O	1,19
Cationes Cambiables	cmol.Kg <sup>-1</sup>
Ca <sup>2+</sup>	53,34
Mg <sup>2+</sup>	5,17
K <sup>+</sup>	5,17
Na <sup>+</sup>	57,71
CICT	124,72

Tabla 6. Composición mineralógica (Contenido de minerales). Fuente: Soca (2012)

Mineral zeolítico	Contenido (%)
Total zeolita	70
Otros minerales	30

Otros minerales: Montmorillonita, feldespato, cuarzo, calcita

Tabla 7. Composición física (Parámetros). Fuente: Soca (2012)

Medidas	Parámetros
Color	Verde grisáceo
Punto de Fusión	1 300°C
CIC	120 – 150 cmol.Kg-1
Densidad	1 g/cm <sup>3</sup>
pH	7,6
Retención de humedad	30 %

Tabla 8. Análisis promedio de la microestructura y otros de las rocas zeolíticas cubanas. Fuente: Soca (2012)

Medidas	Parámetros
Densidad	0,94 g.mm <sup>3-1</sup>
Área específica superficial	10 – 30 m <sup>2</sup> .g <sup>-1</sup>
Diámetro medio de poros	6,9 – 300 Å°
Diámetro máximo de la parte porosa	6,9 – 300 Å°
Volumen de sorción	0,2 cm <sup>3</sup> .cm <sup>2-1</sup>

### 1.1.7. Principales características y propiedades de los minerales zeolíticos más importantes de Cuba: La Clinoptilolita y la Mordenita.

Las características y propiedades más sobresalientes de la clinoptilolita y mordenita presentes en los yacimientos cubanos son expuestas por Soca (2012) y Casals (2014).

CLINOPTILOLITA:

Es el mineral que se encuentra de forma mayoritaria en las rocas zeolíticas, siendo su relación de sílice – alúmina (SiO<sub>2</sub>: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) fluctuante entre 8,5 y 10,5; con un diámetro de

entrada en los poros de 4 Å. La estabilidad térmica (350 -700 °C) es dependiente en gran medida de su composición química (observar tabla 9 y tabla 10).

Tabla 9. Composición Química (% de Óxidos.). Fuente: Soca (2012)

Óxidos	%
Si O <sub>2</sub>	62,58
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,60
Fe O	0,42
Ca O	6,2
MgO	1,50
Na <sub>2</sub> O	5,4
K <sub>2</sub> O	1,8

Tabla 10. Algunas propiedades Físico – Químicas. Fuente: Soca (2012)

Propiedad	Valor
Peso Específico (gr.cm <sup>3-1</sup> )	2,18-2,22
Peso Volumétrico (gr.cm <sup>3-1</sup> )	0,8-1,2
Porosidad (%)	28,4-30,2
Coefficiente de Dureza (según M.M Prodinlonov)	F = 3,4
Capacidad de humedad dinámica (gr.cm <sup>3-1</sup> )	50-60
Capacidad de humedad estática (%)	No menos de 6
Capacidad de Intercambio iónico de NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mmol.100g <sup>-1</sup> )	64,9
Capacidad de Intercambio Catiónico (mmol.100g <sup>-1</sup> )	250-300

Las singulares propiedades de la clinoptilolita, tales como su resistencia a altas temperaturas, medios corrosivos, irradiación ionizante, selectividad a cationes grandes de álcalis y algunos metales pesados, así como su capacidad absorbente y efecto de cribado por acción molecular, la hacen atractiva tanto en la industria como en la agricultura.

## MORDENITA

Es el segundo mineral que compone las rocas zeolíticas cubanas, el resultado de un análisis químico realizado a una muestra de mordenita se presenta en la tabla 11.

Tabla 11. Composición Química. (% de Óxidos). Fuente: Soca (2012)

Óxidos	%
Si O <sub>2</sub>	66,92
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,55
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,74
Ca O	4,35
MgO	0,46.
K <sub>2</sub> O	5,4
Agua	11,0
Otros	0,32

### 1.1.8. Principales propiedades de los minerales zeolíticos.

Las principales propiedades de los minerales zeolíticos son abordadas por un numeroso grupo de investigadores como Mumpton (1999); Curi *et al.* (2006); Cross (2010); Soca (2012); Pérez (2014) y Jordán *et al.* (2014) y éstas son:

**Porosidad.** Las zeolitas están formadas por canales y acvidades regulares y uniformes de dimensiones moleculares de 0,3 a 1,3 A°, que son medidas similares a los diámetros cinéticos de una gran cantidad de moléculas. Este tipo de estructura microporosa hace que las zeolitas presenten una superficie interna extremadamente grande en relación a su superficie externa. Estos autores reconocen tres tipos de poros en los minerales atendiendo a su tamaño. Si son mayores de 5 A° se conocen como macroporos, si su diámetro está comprendido entre 0, 2 y 5 A° se trata de mesoporos y si son menores de 0,2 A°, como es el caso de los poros de las zeolitas, son microporos.

**Capacidad de Intercambio Catiónico.** Es la propiedad más interesante e importante de las zeolitas y consiste en que los minerales zeolíticos al presentar cargas negativas libres pueden retener e intercambiar cationes propios con los presentes en la solución del suelo. Los valores reportados oscilan entre 120-200 mmol.100g<sup>-1</sup>.

La propiedad de Intercambio catiónico es característico en minerales silicatados cristalinos como arcillas, feldspatos y zeolitas, considerándosele una propiedad intrínseca de estos minerales pues es el producto de la sustitución isomórficas de los átomos de silicio de su estructura cristalina por otros. En el caso de las zeolitas esta sustitución ocurre por átomos tetravalentes de aluminio lo que produce una carga neta negativa en la estructura que se compensa por cationes fuera de ella. Estos cationes son intercambiables, de ahí la

propiedad intrínseca de intercambio catiónico que también es una manifestación de su naturaleza de estructura cristalina microporosa, pues las dimensiones de sus cavidades y de los cationes que se intercambian determinan el curso del proceso.

El comportamiento del intercambio catiónico en las zeolitas depende de varios factores que determinan una mayor selectividad en las zeolitas a determinados cationes siendo éstos: naturaleza de los cationes en solución, temperatura, concentración de los cationes en solución, aniones asociados con los cationes en solución, solvente agua, solvente orgánico, estructura de la zeolita y densidad de la carga de red.

La capacidad de intercambio catiónico de una zeolita es una magnitud que da una medida del monto de equivalentes de un catión que es capaz de retener por intercambio una unidad de zeolita. Esta capacidad está directamente relacionada con el aluminio presente en la red zeolítica y depende directamente de su composición química. Una alta capacidad de intercambio iónico corresponde a zeolitas con baja relación  $\text{SiO}_2.\text{Al}_2\text{O}_3^{-1}$  (Espinosa *et al.*, 2009). La capacidad máxima de intercambio catiónico teórica o número de equivalentes intercambiables por unidad de la celda unitaria, no siempre puede ser alcanzada debido a la existencia de sitios de intercambio inaccesibles. La figura 3 ilustra el mecanismo de intercambio.

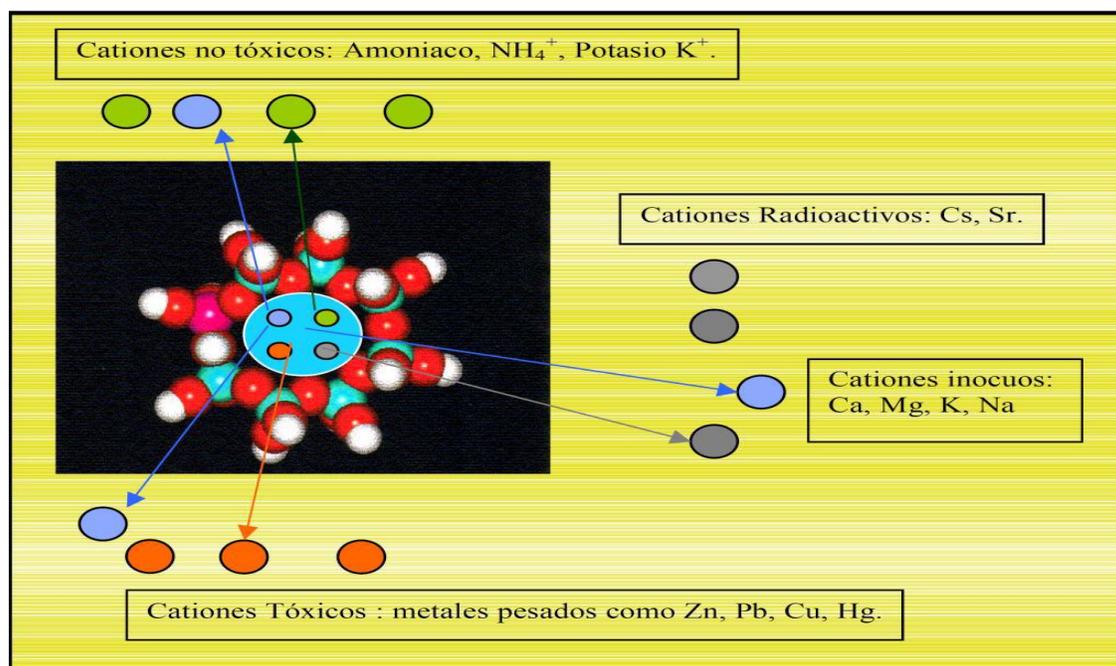


Figura 3. Mecanismo de Intercambio de una zeolita (Leiva, 2013)

**Selectividad catiónica.** Propiedad intrínseca del proceso de intercambio donde se manifiestan preferencias por los elementos de menor carga, pero con selectividad

manifiesta para el sodio, potasio, amonio y elementos pesados. Un ejemplo de la selectividad se expone a continuación:

Clinoptilolita:  $Cs^+ > Rb^+ > K^+ > Ba^{2+} > Sr > Na^+ > Ca^{2+} > Fe^{3+} > Al^{3+} > Mg^{2+} > Li^+$

**-Efecto de criba iónica.** Las zeolitas debido a su estructura presentan canales e intersticios con determinados diámetros en los cuales se lleva a cabo parte del proceso de intercambio donde la presencia de los cationes está determinada por las dimensiones de estos canales, lo que explica la presencia o no de determinados cationes.

**-Hidratación reversible.** A diferencia de los minerales arcillosos, los minerales zeolíticos carecen de interfase interna por lo que el proceso de hidratación se lleva a cabo en su superficie como en el interior de los poros o canales internos lo que conlleva ser un almacén natural de agua.

**-Baja densidad:** Al presentar valores de densidad aparente en el rango de  $0,8-1,2 \text{ g.cm}^{-3}$  su presencia en los suelos no contribuye a su compactación, aún con las dosis mayores recomendadas en el mejoramiento de los suelos las cuales oscilan en el rango de  $6-12 \text{ ton.ha}^{-1}$ .

**-Adsorción selectiva de los gases (tamiz molecular).** Dados sus canales internos, las zeolitas pueden adsorber determinados gases funcionando como un tamiz molecular respecto a éstos. La alta eficiencia de adsorción de las zeolitas está relacionada a la gran superficie interna que posee. Cuando el tamaño del poro disminuye se produce un incremento significativo del potencial de adsorción, ocasionado por el solapamiento de los potenciales de las paredes del poro. Así, para un mismo adsorbato, la interacción con las paredes del poro es mayor cuanto menor es el tamaño del poro, y, por tanto, mejor el confinamiento de la molécula adsorbida.

Cuando la distancia entre dos superficies es suficientemente corta, los potenciales de adsorción se suman, de forma que una molécula situada en el interior del poro se ve atraída por toda la superficie del poro aumentando la fuerza con la que se ve atraída a medida que disminuye el tamaño del poro más profundo. En el caso de que el poro sea suficientemente ancho las moléculas se irán adsorbiendo formando una monocapa a una distancia determinada de la superficie (distancia de adsorción), y a medida que aumenta la cantidad adsorbida el adsorbato se ordena en capas sucesivas (llenado en multicapas). Otra propiedad relativa a las zeolitas es su capacidad para la separación de gases. La estructura porosa de las zeolitas puede utilizarse como "tamiz" para moléculas con un cierto tamaño permitiendo su entrada en los poros. Esta propiedad puede cambiarse variando la estructura y así cambiando el tamaño y el número de cationes alrededor de los poros (observar figura 4)

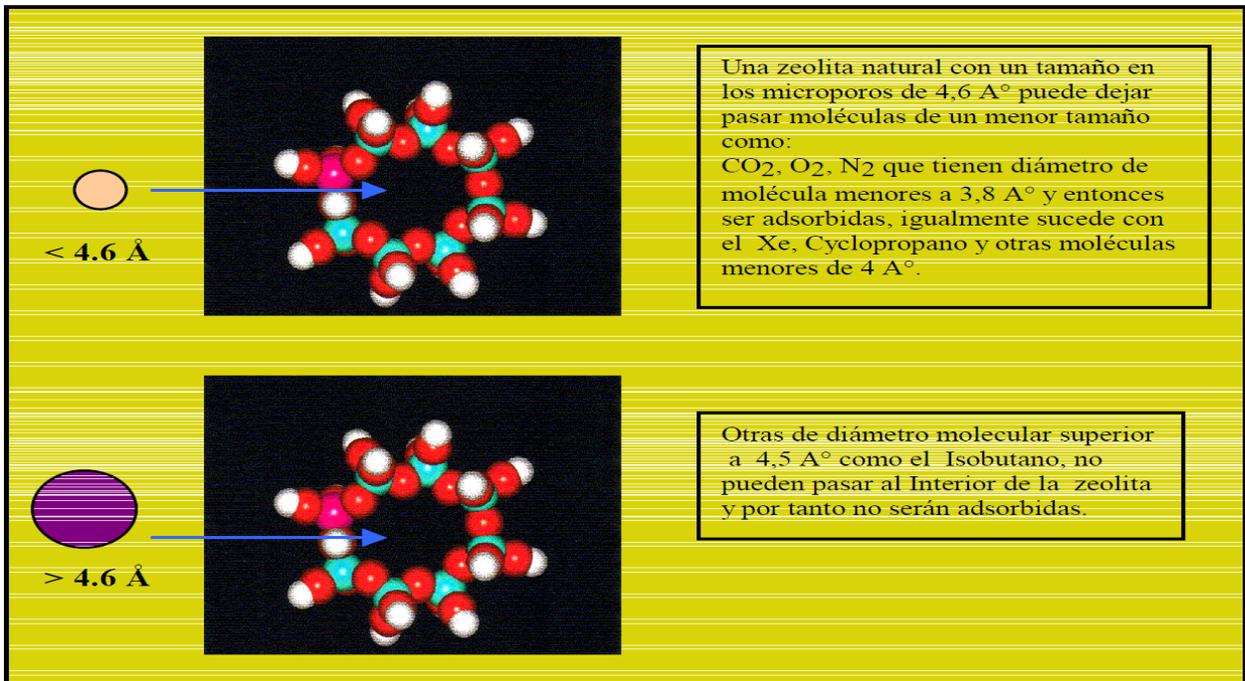


Figura 4. Mecanismo de adsorción de una zeolita (Leiva, 2013).

### 1.1.9. Utilización de las zeolitas naturales en la agricultura.

La utilización de la zeolita en la agricultura, está fundamentada en diferentes aspectos expuestos por Soca (2012); Castro *et al.* (2009) y Engormix (2010); que se exponen a continuación:

Por su alta higroscopicidad la zeolita absorbe una gran cantidad de agua procedente de la lluvia o el riego, y la almacena en sus sistemas de canales internos, para luego cederla lentamente. En caso de grandes sequías el agua acumulada mantendrá un grado tal de humedad que permitirá tener mejores condiciones las zonas radicales de las plantas donde este se ha aplicado.

Es un almacén de macro y micronutrientes con mínimos riesgos de lavado o lixiviación de nutrientes, lo que supone un importante ahorro de unidades de fertilizantes y una notable reducción de la contaminación de las aguas subterráneas por nitratos.

Por su alta capacidad de intercambio catiónico permite un mejor aprovechamiento de los fertilizantes y otros productos aplicados al suelo.

Se logra disminuir así las dosis de aplicación de todos esos productos químicos, debido a que se reducen considerablemente las pérdidas por lixiviación o volatilización principalmente del nitrógeno.

Mejora los procesos de nitrificación del suelo al suministrar una superficie ideal para la adherencia de las bacterias nitrificantes.

Aumenta las disponibilidades de fósforo y potasio del suelo.

La capacidad de captar el  $\text{NH}_3$  y el  $\text{SH}_2$  y los metales pesados del proceso compost permiten emplearlo con alta efectividad en los tratamientos de residuales orgánicos de todo tipo.

### **Beneficio del empleo de la zeolita en la agricultura**

El beneficio del empleo de la zeolita en la agricultura según Mumpton (1999); Soca (2012) y Díaz *et al.* (2015) está dado por:

- ❖ -Disminución de los costos de producción de los abonos químicos entre un 15 -25 % con incremento de la productividad de los cultivos superiores al 10 %.
- ❖ -No presenta su aplicación riesgos de fitotoxicidad incluso a dosis mucho más elevadas que las normales.
- ❖ -Mínimo riesgo de lavado o lixiviación de nutrientes.
- ❖ -Asegura una regular y equilibrada nutrición de las plantas con un menor estrés hídrico en condiciones de sequía.
- ❖ -Incrementa la fertilidad de los suelos, principalmente en su capacidad de intercambio catiónico, aumentando la solubilidad y retención del fósforo y reteniendo en forma intercambiable al nitrato, amonio y potasio asimilables.
- ❖ -Disminuyen los problemas de acidez y sodicidad de los suelos.
- ❖ -Reducen los contenidos de nitratos en frutos y en el manto freático en más de un 30 %.
- ❖ -Mejora el proceso de compostaje y la riqueza fertilizadora del compost de cualquier tipo de estiércol o restos vegetales, lográndose fertilizantes orgánicos de alta calidad. *et al.* (2009)

#### **1.1.10. Beneficio del empleo de la zeolita en los fertilizantes.**

Basados en los resultados alcanzados por Cross (2010), Brito *et al.* (2013) y Díaz, (2013) en la fabricación de fertilizantes y mejoramiento de la calidad de los mismos, nos permiten señalar la influencia positiva en:

- ❖ Fabricación de fertilizantes de liberación lenta aumentando la retención de nutrientes, lo que permite reducir hasta un 50% la aplicación de los fertilizantes minerales que se aplican tradicionalmente.
- ❖ Facilita óptimas relaciones internutrientes.
- ❖ Incrementa de la eficiencia de los portadores de nutrientes.
- ❖ Control de contaminación ambiental
- ❖ Tratamiento de aguas residuales agrícolas.
- ❖ Suplemento dietético para animales.
- ❖ Mejoramiento de los suelos (estructura, retención de humedad, aireación, porosidad, densidad, acidez, ascensión capilar, disminuye los contenidos de sodio en el suelo, que pudieran ser tóxicos para las plantas, facilitando también una mayor estabilidad de los contenidos de materia orgánica del suelo, no permitiendo sus pérdidas por mineralización.
- ❖ En los suelos arenosos mejora las condiciones físico - químicas debido a que aumenta su capacidad retenedora de humedad y en los suelos arcillosos mejora las condiciones físicas, evitando la compactación de los mismos y mejorando la capacidad de penetración de agua en ellos.
- ❖ Mejoran la nitrificación en el suelo al suministrar una superficie ideal para la adherencia de las bacterias nitrificantes por lo que ayuda a una mayor nitrificación. Por el mismo motivo, aumenta la población de bacterias del suelo que atacan a hongos patógenos.
- ❖ La aplicación de zeolita en el suelo reduce significativamente la cantidad de agua y el costo en fertilizantes, mediante la retención de nutrientes en la zona de las raíces.
- ❖ Aumenta la retención de humedad permitiendo reducir las dosis de riego en más del 15%.
- ❖ Sustrato para el cultivo de plantas en zeopónicos, huertos intensivos y casas de cultivo.
- ❖ Medio cultivo para plantas
- ❖ Conservación de tubérculos.
- ❖ Mitigación ambiental.

#### **1.1.11. Principales características de las zeolitas naturales para su uso.**

Las principales características recomendadas para el uso de las zeolitas naturales según Mumpton (1999) y Soca (2012) son:

- ❖ No tener menos de 50 % de contenido zeolítico total.
- ❖ Identificar las zeolitas exclusivas para la agricultura como la clinoptilolita, mordenita, heulandita y faujazita.
- ❖ Identificaciones de cationes intercambiables  $K^+ / Ca^{2+}$  ó  $Ca^{2+} / K^+$ .
- ❖ Evitar zeolitas con alto contenido de sodio.

#### **1.1.12. Principales limitaciones en el uso de las rocas zeolíticas en Cuba.**

En Cuba según Rodríguez y Estévez (2012) en 1988, se creó la industria de las zeolitas naturales por poseer yacimientos cuya calidad es reconocida a nivel mundial por su baja toxicidad y el valor de sus fases y que en el año siguiente es creada la Empresa Cimtec S.A. para comercializar los productos de las zeolitas naturales, con un producto líder, los sustratos NEREA para el cultivo de las plantas, que fue introducido exitosamente en el país en 350 unidades de Zeopónicos industriales. Sin embargo, las reglas del mercado en ese momento solo apuntaban a comercializar el mineral con determinada pureza y granulometría, dado que los usos mayoritarios estaban en el mejoramiento de los suelos, formulación de fertilizantes, nutrición animal y materiales de la construcción.

Dentro de los aspectos que han limitado el uso de estos minerales los autores destacan que han sido considerados como un producto terminado que solo requiere ser molido, sin importar lo heterogéneo del mismo para su explotación, el no contar con normas de calidad y procedimientos de análisis acreditados y darle valor agregado que solo es posible como lo consideró Mumpton (1999) al plantear: “En el futuro, científicos que investigan el uso de las zeolitas naturales tienen que estar más capacitados en la química de superficie, el intercambio catiónico, la reactividad biológica y la química coloidal si ellos desean continuar contribuyendo al desarrollo de las aplicaciones de las zeolitas”.

Estos autores coinciden en señalar que para que esta industria evolucione competitivamente debe contemplar los siguientes aspectos:

- ❖ Estudio geológico detallado del yacimiento
- ❖ Disponer de normas para la gerencia de la calidad.
- ❖ Capacidad para beneficio del mineral y su posterior modificación.
- ❖ Adecuado balance en la producción de productos convencionales y de nuevos con alto valor agregado.
- ❖ Proyectos de investigación-desarrollo para el diseño de nuevos productos que culminen en proyectos de innovación tecnológica.
- ❖ Escalado de los procedimientos tecnológicos de obtención de nuevos materiales y productos.
- ❖ Creación del mercado de los productos que se elaboren sobre la base de sus ventajas con garantía y calidad controlable.

Otro punto de vista que enjuicia las principales limitaciones que han existido en Cuba con el uso de las rocas zeolíticas en Cuba es dado por Brito *et al.* (2013) quienes al analizar las posibilidades de utilización de las rocas zeolíticas en Cuba señalaron que éstas se mantienen a la zaga, pues no son aún aprovechadas al máximo para lograr todo lo que pudieran aportar en función de las necesidades actuales y futuras de la sociedad, resaltando además que una de las mayores dificultades para su uso en Cuba han sido las limitaciones económicas, que hicieron crisis a partir de los inicios de la década de los 90, siendo la escasez de transporte, capital y otros factores tales como la mala calidad del material

recolectado, los que detuvieron bruscamente el empleo de las rocas zeolíticas, que tenía sus mejores perspectivas desde los tiempos iniciales, en la esfera agropecuaria, señalando también que otra gran dificultad fue que hasta hoy día, por las normativas dictadas por la Dirección de la Rama Geólogo-Minera, para aprobar la explotación de un yacimiento se exigía no sólo el estudio geológico en general, con el correspondiente cálculo de reservas, sino que dicho cálculo debía ser avalado con pruebas tecnológicas de la materia prima mineral en cuestión, y responder a un uso específico, señalando los autores que dichas normativas estaban diseñadas para una minería a gran escala, es decir, iban dirigidas a garantizar la explotación y procesamiento de las materias primas con el fin de satisfacer centralizadamente por las empresas estatales las solicitudes de los usuarios a nivel nacional, para un período de tiempo predeterminado.

## **2. Conclusiones.**

Las zeolitas naturales cubanas se encuentran distribuidas en casi todo el territorio nacional con calidades que posibilitan su uso en la rama agropecuaria avaladas por estudios que confirman el mejoramiento de los suelos con problemas de fertilidad, escasa retención hídrica, acidez y sodicidad, el incremento en la calidad de los fertilizantes minerales con la consiguiente disminución de sus costos de producción e incremento de los coeficientes de utilización de los nutrientes lo que disminuye las dosis de aplicación de los fertilizantes, aumento en la calidad de los frutos y su conservación, control de contaminación ambiental, tratamiento de aguas residuales agrícolas, suplemento dietético para animales, calidad del compostaje y sustratos sin suelo (zeoponicos). No obstante, el uso de las zeolitas naturales en esta rama debe tener en consideración para su uso, el porcentaje del mineral, tipo de zeolita, contenido de sodio y relaciones entre sus cationes cambiables.

## **Bibliografía.**

ALEXIEV, B., A. BRITO, COUTÍN D.P. y G. TÉLLEZ. Sobre el descubrimiento en Cuba de rocas zeolíticas de importancia industrial. En el Libro Contribución a la geología de Cuba. Publicación Especial N° 2, IGP ACC. La Habana. Cuba. 1974

BRITO, A.; COUTÍN, P. y GONZÁLEZ, R. Papel actual de las zeolitas para el desarrollo local en la rama agropecuaria. V Congreso Cubano de Minería (MINERIA 2013). VI Taller de zeolitas naturales, usos y aplicaciones. La Habana. 2013.

CURI, A., GRANDA, W.; LIMA, H. y SOUSA, W. Las zeolitas y su aplicación en la descontaminación de efluentes marinos. Información Tecnológica. V.17, No.6: pp. 111-118. México. 2006.

CASTRO, M., MARTÍNEZ, M. y AYALA, L. Zeolitas naturales, su uso impostergable en el sector agropecuario. Revista ACPA 3. 2009.

COSTAFREDA, J. L. Tectosilicatos con características especiales: Las zeolitas naturales. Rocas y Minerales Industriales. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía. Universidad Politécnica de Madrid. Editorial Fundación Gómez Pardo. Madrid España 2011.

CROSS. J. Zeolita, el mineral de los mil usos. Disponible en: <http://costarica hoy.infi desarrollo/Cuba-zeolite-el mineral-de-los-mil-usos/4/>. [Consulta: 11 de febrero 2014]. 2010.

COUTÍN D.P. y A. BRITO, Las rocas zeolíticas de Cuba Occidental. CIG. Rev. Tecnológica N° 1. La Habana, Cuba. 1985.

CASALS, C. Las zeolitas. Mineral del siglo XX. Usos y aplicaciones. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos-pdf2/las-zeolitas.pdf> [Consulta: 11 de febrero 2016]. 2014.

DÍAZ, H.; MONTALVO, H.; CANTERA, V.; SALVADOR, S.; SALVADOR, S.M. y PITA, E. Inclusión de la zeolita natural en los fertilizantes granulados mezclados utilizados en el cultivo de la papa en la agricultura nacional. VII Convención Científica Internacional. Universidad de Matanzas. Palacio de Convenciones. Varadero. 2015.

DÍAZ, H. Uso de las zeolitas naturales en el manejo agroecológico de los suelos. Seminario Científico-Metodológico. FUM. Matanzas. Universidad de Matanzas. 2013.

DÍAZ. H.; ABREU, E. y LIRIANO, R. Evaluación agronómica de fertilizantes de formula completa mezclados con zeolita natural en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.). Revista Centro Agrícola. Vol.46, No.1, enero-marzo, 24-30. 2019.

ENGORMIX. Las zeolitas naturales en el mejoramiento de suelos y optimización de fertilizantes. Disponible en: [http:// www.engormix.com](http://www.engormix.com) zeolitas naturales mejoramiento de suelos Forum siew 16201.htm. [Consulta: 11 de febrero 2014]. 2010.

ESPINOSA, W., FERNÁNDEZ, J. y CURBELO, N. Interés de las zeolitas naturales en la agricultura. Revista ACPA 4. 2009.

SOCA, M. ZEOLITAS. SUS USOS AGROPECUARIOS. Editorial Dirección de Ciencia y Técnica. Ministerio de la Agricultura, Cuba.pp.165. 2012.

JORDÁN, R.; BETANCOURT, R.; y CABRERA, D. Mejorador de suelo a partir de una zeolita natural. Una propuesta sustentable para la agricultura. Nova Scientia. Año 6. Vol. 6. No. 11. León. México Universidad de la Salle. 2014.

LEIVA, E. Caracterización Geotécnica de la zeolita proveniente de las tobas de Quinámavida, Colbún, región de Maule, Chile. Memoria para optar por el título de Ingeniero Civil. Universidad Católica de la Santísima Concepción. 2013.

MUMPTON, F.A. La Roca mágica: Uses of natural zeolite in agriculture and industry. Vol 96 pp 3463-3470. New York: National Academy of Science. USA. 1999.

ORTIZ, C.; RODRÍGUEZ, I.; PETRANOVSLAI, V.; RIZO, R. y AGUILERA, L. Zeolitas naturales de diferentes yacimientos cubanos: Composición y Estabilidad química y térmica. Revista Cubana de Química. Vol. XXIII, No. 1, enero-abril. 2011.

OROZCO, G. y RIZO, R. Depósitos de las zeolitas naturales en Cuba. Acta Geológica Hispánica. V. 33 No. 1-4. Pp 335-349. 1998

PÉREZ, M.F. Evaluación de la zeolita natural utilizada como una tecnología productiva y limpia, aplicada al pasto al Maralfalfa (*Penisetum ep.*) como un complemento en el uso de los fertilizantes nitrogenados. Trabajo final para optar por el grado de Máster en Gestión de Recursos Naturales y Tecnológicos de Producción Instituto Técnico de Costa Rica .2014.

RODRÍGUEZ, G. y ESTÉVEZ, E. Ingeniería de Zeolitas naturales: una opción para la Industria. Revista Cubana de Gestión Empresarial. Nueva Empresa. Vol. 8, No. 1. La Habana. Cuba. 2012.

SOCA, M. y VILLAREAL, J. Efecto de las zeolitas en la producción de tomate. En: Soca, M. ZEOLITAS. SUS USOS AGROPECUARIOS. Editorial Dirección de Ciencia y Técnica. Ministerio de la Agricultura, Cuba.pp.165. 2012.

SOCA, M. Zeolitas. Sus usos agropecuarios. Editorial Dirección de Ciencia y Técnica. Ministerio de la Agricultura, Cuba.pp.165. 2012.

SOCA, M. Uso en la agricultura de las zeolitas naturales y modificadas. En resúmenes Taller Nacional de zeolitas Naturales. Unión Geológica Minera de Villa Clara, pp. 10. 2000.