

## DOSIS DE ZEOLITA Y FRACCIONES GRANULOMÉTRICAS PARA CULTIVOS DE PLÁTANO Y CAÑA DE AZÚCAR<sup>1</sup>

*Miguel Soca-Núñez<sup>2</sup>; José Ezequiel Villarreal-Núñez<sup>3</sup>*

### RESUMEN

La aplicación de zeolita natural en la agricultura es una práctica que ha tomado auge en los últimos veinte años, por lo que es necesario realizar seguimiento a los suelos donde es aplicada. Este trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de diferentes tamaños de partículas en macetas sobre las pérdidas de amonio por volatilización y la dosis de zeolita en los cultivos de plátano, caña de azúcar, así como las propiedades químicas de los suelos. Durante los años 2010-2012 se condujeron en casa de vegetación con techo de cristal, se utilizaron macetas de 1,6 kg de capacidad como unidad experimental, utilizando un diseño completamente aleatorizado, se evaluaron cinco tamaños de partícula de zeolita (< 0,25 mm, 0,25-0,50; 0,50-1,00; 1,00-2,00 y 2,00-3,00) y las pérdidas de amonio por volatilización, así como dosis de zeolita en campo (0; 12,5; 25,50 y 75% mezclada con fertilizantes). Cada tratamiento contó con cuatro réplicas y se utilizaron dos variedades de plátano y caña de azúcar. Los suelos considerados fueron alítico, pardo grisáceo, pardo con carbonatos y húmicos sialíticos por ser los más representativos con vocación agrícola. Los tamaños de partícula entre 1,00 y 3,00 mm obtuvieron los mejores resultados en cuanto a las condiciones químicas de los suelos. Las mayores dosis de aplicación de zeolita lograron incrementar el contenido de bases intercambiables en el suelo, así como el rendimiento y la concentración de nutrientes.

**PALABRAS CLAVES:** Clinoptilolita, suelos pardos, enmienda de suelos, tamaño de partículas, propiedades químicas.

---

<sup>1</sup>Recepción: 11 de agosto de 2016. Aceptación: 18 de octubre de 2016. Proyecto: Empleo de la zeolita en el sector agropecuario, Instituto de Suelos de La Habana

<sup>2</sup>Ph.D. en Edafología. Dirección de Suelos-Ministerio de Agricultura-MINAG, Cuba. e-mail: programas@minag.cu

<sup>3</sup>Ph.D. en Edafología. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria Central (CIAC). e-mail: jevilla38@gmail.com

## ZEOLITE DOSE AND GRANULOMETRIC FRACTIONS TO BANANA AND SUGAR CANE CROPS

### ABSTRACT

The application of natural zeolite in the agriculture is a practice that has taken peak in the last twenty years, for what is necessary to carry out pursuit to the soil where it is applied. This work had as objective to evaluate the effect of different sizes of particles in gavels and lost by volatilization of ammonia and the zeolite doses in the banana cultivations, cane of sugar and chemical properties of the soil. During the years 2010 -2012 behaved at home of glass experiments in which gavels of 1,6 kg of capacity like experimental unit were used and using a totally randomized design, five sizes of zeolite particle were evaluated (< 0,25 mm, 0,25-0,50; 0,50-1,00; 1,00.-2,00 and 2,00-3,00) and lost by volatilization of ammonia, as well as zeolite dose in field of (0; 12,5; 25; 50 and 75% blended with the fertilizers). Each treatment had four replicas and two banana varieties and cane of sugar were used. The considered soils were Alitic, Brown grizzly, Brown with carbonates and humic sialitics to be the most representative with agricultural vocation. The particle sizes between 1,00 and 3,00 mm obtained the best results when improving the chemical conditions of the floors. The biggest doses of zeolite application were able to increase the content of interchangeable bases in the soil well as the yield and the concentration to soil of nutritious of the cultivations.

**KEY WORDS:** Clinoptilolite, brown soils, soils amendment, size of particle, chemical properties.

### INTRODUCCIÓN

Los suelos Pardos en Cuba (Inceptisoles y Mollisoles) ocupan una superficie de 2 526 000 millones de hectáreas siendo los más extensos e importantes para la economía del país donde son utilizados en diferentes tipos de cultivos. Dentro de las limitaciones de su uso se encuentran la presencia de zonas erosionadas y su baja profundidad efectiva. Para incrementar la producción en estos suelos, se vienen usando diferentes tipos de enmiendas como las zeolitas que mejoran sus propiedades

y contribuyen a la sostenibilidad de los sistemas agropecuarios.

Las zeolitas son enmiendas que mejoran las propiedades químicas de los suelos y son efectivas para incrementar la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en la zona de las raíces y disminuir las aplicaciones de fertilizantes, reduciendo las pérdidas por volatilización y lixiviación de los mismos (Gholamhoseini *et al.* 2013).

Las zeolitas son aluminosilicatos cristalinos y porosos que les permite el intercambio iónico sin cambiar su estructura atómica (López *et al.* 2010). De acuerdo con Jha *et al.* (2009), las zeolitas son apropiadas para retener iones como el amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y retrasar el proceso de nitrificación, reduciendo la lixiviación de amonios y nitratos hacia aguas subterráneas gracias a su alta CIC del orden de 120 a 200  $\text{cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$ . Inclusive investigadores como Zwingmann *et al.* (2009), han reportado que las zeolitas tratadas pueden incrementar hasta once veces la capacidad de retención de amonio, pudiéndolas clasificar como fertilizantes de liberación lenta.

Otros beneficios de su aplicación han sido reportados como: mejorar la capacidad de retención de humedad de la capa arable, facilitar el movimiento del agua en el perfil y reducir la densidad aparente del suelo, lográndose un incremento de producción en la cosecha de los cultivos, y sobre todo, reduciendo el impacto ecológico (Colombani *et al.* 2014).

La zeolita no actúa como fertilizante sino como enmienda que permite incrementar la eficiencia de los fertilizantes, permitiendo una disponibilidad controlada de los cationes que son utilizados por las plantas en su nutrición (Costafreda 2014).

Sin embargo, estudios recientes como los realizados por Colombani *et al.* (2015), muestran el potencial de uso de las zeolitas junto al estiércol de cerdo como abonos de liberación lenta, minimizando la lixiviación de nutrientes. Sin embargo, al igual que otras enmiendas como las cales agrícolas, la eficiencia de desempeño puede estar determinada por el tamaño de su partícula y por la dosis empleada.

El potasio (K) es de vital importancia para la correcta nutrición del plátano durante su desarrollo (López y Espinoza 2000) y su deficiencia presenta síntomas más evidentes antes de la floración. El plátano y el cultivo de la caña de azúcar tienen una elevada capacidad para extraer nutrientes del suelo, por lo cual, las características químicas de este son muy importantes para el crecimiento y desarrollo del cultivo, al igual que el manejo de la fertilización del cultivo, el cual requiere de elementos químicos imprescindibles para su crecimiento y producción denominados elementos esenciales.

La clinoptilolita, extraída de varios yacimientos, se ha empleado para ayudar a retener en el suelo los cationes por periodos mayores de tiempo. Según Casals (1988), su adición a los suelos aumenta el rendimiento, la retención de humedad, evita enfermedades propias

de las raíces de las plantas y sirve como fuente de macro-componentes.

El plátano es una de las mayores fuentes de ingreso de los países en vías de desarrollo, además de su importancia en la seguridad alimentaria de la región. La producción del plátano y la caña de azúcar puede verse afectada por las carencias nutricionales de los suelos, principalmente del nitrógeno y el potasio.

La utilización de la zeolita en la caña de azúcar surge a partir de los trabajos realizados por Ortiz *et al.* (1998) los cuales utilizaron este mineral como potenciador de los fertilizantes químicos, ya que permite reducir sus pérdidas por lavado y denitrificación.

El ensayo de estos dos cultivos con zeolita, se convierte en una inversión que asegura la sustentabilidad de la actividad de los mismos, debido a que disminuye el costo de fertilización e incrementa su productividad.

El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la aplicación de diferentes fracciones granulométricas de zeolita sobre las pérdidas de amonio por volatilización, así como la dosis porcentual de zeolita mezclada con los fertilizantes químicos para los cultivos de plátano y caña de azúcar.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Durante los años 2010 y 2012 se llevaron a cabo experimentos en casa de vegetación con techo de cristal, ubicados en el Instituto de Suelos de La Habana, utilizando diseños completamente aleatorizados con cuatro repeticiones donde se aplicaron zeolitas con diferentes granulometrías a varios suelos. Cada unidad experimental consistió de una maceta con capacidad de 1,6 kg en la cual fue sembrada una planta indicadora de Grama Rhodes (*Chlorys gallane* cv. Pioner). Esta planta fue sometida a cortes cada 15 días.

Se evaluó el pH, el contenido de bases intercambiables, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE, determinada por la suma de bases intercambiables) del suelo medidos a los 45 días después de la siembra. También se determinó las pérdidas de nitrógeno por volatilización utilizando la metodología descrita por Lara *et al.* (1997). Esta consiste en un colector tipo semiabierto-estático, al interior del cual se instalan dos discos de espumas de poliuretano impregnadas con solución 0,5 N de  $H_2SO_4$  y glicerina al 3%. La espuma inferior ubicada a 20 cm desde la superficie, tenía como objetivo capturar el amoníaco de los tratamientos, en tanto que la espuma superior, localizada a 35 cm, cumplió la

función de adsorber el compuesto que alcanza a ingresar desde la atmósfera.

La enmienda zeolítica empleada provino de la mina de Tasajera, ubicada en la provincia de Villa Clara-Cuba, a la cual, en colaboración con el Centro de Investigaciones y Proyectos para la Industria Minero-Metalúrgica (CIPIMM), se le realizó la caracterización del contenido mineral, empleando métodos de difracción de rayos X y análisis químicos y mineralógicos. Esta zeolita tuvo una composición de 85% de clinoptilolita + Heulantita, 5-10% de Modernita y 5-10% de otros componentes (Cuadro 1).

Los experimentos de plátano se realizaron bajo un diseño de bloque al azar donde se estudiaron cinco tratamientos (0; 12,5; 25; 50 y 75% de zeolita) y cuatro replicas en suelo inceptisol.

El área experimental estuvo conformada por 45 plantas, de las cuales 25 corresponden a la unidad experimental, ubicados en la finca Celia María.

Una vez finalizada la fase de emisión foliar, en época de parición, se procedió a cosechar 25 plantas por tratamiento a los 140 días después de la floración y de 25 racimos de los cuales se tomaron las frutas que se separaron en cáscara y pulpa que fueron llevadas al laboratorio para su análisis. Se realizaron tres aplicaciones de fertilizantes mezclados con zeolita en las siguientes etapas: Fase 1 hoja 5; fase 2, después de la floración y fase 3 cercano al belloteo.

Se efectuaron tres aplicaciones de fertilizantes con dosis de 100, 50 y 200 kg/ha/año utilizando Urea (46 %), SFT (46%) y KCl (60%), respectivamente.

El estudio de la zeolita en la caña de azúcar se realizó en el Ingenio Progreso de Cuba.

Para dar inicio a la campaña de fertilización en las nuevas áreas de siembra se mezclaron 240 t de la fórmula 24-05-22 con 25% de zeolita. Esta mezcla se guardó dentro del almacén de fertilizantes del ingenio durante 85 días.

**CUADRO 1. ANÁLISIS QUÍMICO Y COMPOSICIÓN CATIONICA DE LA ZEOLITA EMPLEADA.**

Mina	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	N <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	F <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PPI	CICT	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>
	%									cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup>			
Tasajera	66,0	10,1	0,4	2,9	2,9	0,8	1,8	15	138	92	4	9	34

PPI=Perdidas por ignición de gases.

CICT: Capacidad de intercambio catiónico total.

Inicialmente, a esta mezcla se le midió compactación, friabilidad y resistencia mecánica de los terrones formados, según metodología de Fernández *et al.* (2006). Las pruebas agronómicas se efectuaron en 58 parcelas de producción de una hectárea de extensión cada una, en cuatro tipos de suelos (tratamientos del experimento) los cuales son representativos del 96% de la superficie del ingenio.

En total se realizaron 240 mediciones de altura y grosor medio del tallo. La evaluación estadística se efectuó utilizando software libre, empleando el test de Tukey como prueba de comparación de medias para una  $P < 0,05$ .

Los análisis químicos de suelos se realizaron según la norma NRAG 879.88 (1996) del Instituto de Suelos y los análisis foliares por la norma Ramal NRAG/CNTN-O5 (2010).

El análisis estadístico de los datos consistió en la verificación de su distribución normal a través de la prueba de Shapiro Wilk y homogeneidad de varianzas con la prueba de Levene. Se realizaron análisis de varianza y la prueba de Tukey para determinar diferencias significativas entre tratamientos. En los experimentos de los cultivos se empleó la prueba de Duncan.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Experimento 1. Efecto de la granulometría de la zeolita sobre las propiedades del suelo y en la volatilización del nitrógeno.

No hubo diferencia significativa por efecto del tamaño de la fracción granulométrica de la zeolita utilizada sobre la CICE del suelo Inceptisol. La fracción menor de 0,25 mm fue la que presentó los mejores resultados sobre las propiedades químicas del suelo (Cuadro 2).

Los valores de pH estuvieron entre 4,35 y 5,38 con diferencias significativas entre tratamientos. El pH obtenido en el tratamiento con el mayor tamaño de partícula evaluado no presentó diferencias significativas con el testigo, pero si fue más ácido que los observados con los demás tamaños de partícula. Los valores de pH estuvieron por encima de 5,30 para los diferentes tamaños de partícula favoreciendo las condiciones de acidez para el desarrollo de las plantas.

Los contenidos de calcio intercambiable estuvieron en niveles medios en donde la mayor fracción evaluada obtuvo el menor contenido sin diferencias significativas con el testigo. El mayor contenido se presentó para el tamaño de partícula entre 0,05 mm y 1,00 mm pero sin diferencias con los otros tamaños evaluados. Las concentraciones

**CUADRO 2. EVALUACIÓN DE FRACCIONES GRANULOMÉTRICAS DE ZEOLITA SOBRE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE UN SUELO INCEPTISOL.**

raciones en mm	pH KCl	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	CICE	CIC
		cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup>					
Testigo	4,35b	7,28c	1,19b	0,20d	0,14b	8,81b	9,58c
<0,25	5,35a	8,75a	1,32a	0,32ab	0,19a	10,38a	12,32ab
0,25-0,50	5,30a	8,50abc	1,23b	0,34a	0,21a	10,20a	12,72ab
0,50-1,00	5,30a	8,80a	1,27ab	0,31b	0,20a	10,69a	12,68a
1,00-2,00	5,38a	8,65ab	1,29b	0,28c	0,15b	10,29a	12,62b
2,00-3,00	5,35a	8,45abc	1,23b	0,15c	0,10c	10,09a	11,13cd
3,00-5,00	4,43b	8,23bc	1,20b	0,19d	0,11c	10,09a	10,55cd
Esx	0,05	0,16	0,03	0,01	0,01	0,18	0,20
CV (%)	2,01	3,92	4,17	8,50	13,43	3,61	3,32

CICE= capacidad de Intercambio catiónico efectiva. CIC= Capacidad de Intercambio catiónico determinada con acetato de amonio a pH 7,0. Esx= desviación estándar. CV = Coeficiente de variación. Letras iguales indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos a un nivel de confianza del 95% realizada mediante prueba de Tukey.

de Mg<sup>2+</sup> estuvieron entre bajas y medias de acuerdo con Fernández *et al.* (2006), donde las menores concentraciones correspondieron al testigo y a tamaños de partícula 0,25-0,50; 1,00-2,00; 2,00-3,00 y 3,00-5,00 mm sin diferencias estadísticas entre ellos. Las mejores concentraciones fueron obtenidas por los tamaños de partícula < 0,25 mm sin diferencias significativas con el tamaño 0,50-1,00 mm.

Los menores valores de sodio intercambiable fueron encontrados en los tamaños de partícula entre 1,00 y 3,00 mm mientras que los tamaños menores a 1,00 mm fueron los que retuvieron

mayor cantidad de sodio, lo que no es conveniente para las condiciones físicas del suelo puesto que este elemento favorece la dispersión de arcillas. De igual manera, las partículas menores a 1,00 mm fueron los que retuvieron mayor nivel de potasio intercambiable, encontrándose una relación inversa entre tamaño de partícula y capacidad de retención de bases intercambiables.

Los mejores resultados, se obtuvieron utilizando tamaño de partículas comprendidas entre 0,25-3,00 mm con una marcada influencia en las fracciones de 1,00-2,00 mm. Para los cationes monovalentes existe una

tendencia a incrementarse con el tamaño de partículas, sin embargo, los valores de estos cationes se mantuvieron bajos.

La CICE encontrada estuvo alrededor de los  $10 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$  sin diferencias significativas entre tamaños de partícula, aumentando en alrededor de un 12% dicha capacidad en comparación con el testigo. La mayor CIC determinada en laboratorio fue para los tamaños de partícula menores a 1,00 mm, mientras que la encontrada a tamaños mayores de partícula fueron similares a la que presentaba el testigo. La diferencia encontrada entre la CICE y la CIC indica la presencia de carga variable, es decir, muestra la capacidad que tienen estos suelos de retener cationes y aniones lo cual dependería de los valores de pH.

La aplicación de zeolita con tamaño de partícula mayor a 1,00 mm, redujo significativamente las pérdidas por volatilización de nitrógeno amoniacal a la atmósfera, como se observa en el Cuadro 3. La zeolita ejerce su mayor efecto en el suelo en presencia del fertilizante nitrogenado, cuando las partículas de ambos materiales, están en contacto cercano y tienen cierta similitud granulométrica (Malekian *et al.* 2011).

El testigo fue el que presentó la mayor pérdida de  $\text{NH}_3$  mientras que a mayor tamaño de partícula de la zeolita, menor es la pérdida de N a la atmósfera. La aplicación de zeolita con tamaños de partícula entre 3,00 y 5,00 mm redujo hasta en un 57% la pérdida de nitrógeno a la atmósfera en comparación con el testigo (Cuadro 3).

**CUADRO 3. EFECTO DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DE ZEOLITA EN LAS PÉRDIDAS POR VOLATILIZACIÓN DEL  $\text{N-NH}_3$  EN SUELOS INCEPTISOLES.**

Tamaño de partícula de zeolita (mm)	mg- $\text{NH}_3$ . $\text{cm}^{-2}$ a los 45 días
Testigo	371,0 a
< 1,00	344,0 a
1,00-2,00	290,0 b
2,00-3,00	280,0 b
3,00-5,00	160,0 c
ESx	2,40

a, b, c Valores con letras iguales en una misma columna no difieren estadísticamente entre sí (Tukey  $P < 0,05$ ).



Espécie *et al.* (2015) encontraron que el uso de zeolita cubana (40%) aplicada en combinación con urea en forma de pellets, redujo en un 33% la volatilización del amoníaco al ser medido directamente de soluciones acuosas. Es posible que la zeolita también haya contribuido a la volatilización de otras formas químicas de nitrógeno como el óxido nitroso ( $N_2O$ ) tal como lo reportaron Zaman y Nguyen (2010), quienes consiguieron reducir en 11% su emisión cuando fue aplicada junto a orina de vaca en campos demostrativos con trébol blanco.

Las variables de desarrollo presentaron diferencias significativas. El tratamiento de NPK + 25% de zeolita mostró una tendencia de aumentar la altura y grosor del seudotallo (Cuadro 4).

#### **Experimento 2. Determinación de dosis de zeolita natural mezclada con fertilizantes en dos variedades de plátano.**

Los valores de siembra-floración, floración-cosecha y siembra-cosecha no mostraron diferencia estadísticamente significativa, sin embargo, se observa

**CUADRO 4. IMPACTO DE LA ZEOLITA + NPK SOBRE LOS PARÁMETROS DE CRECIMIENTO DEL PLÁTANO.**

Tratamientos	Altura (m)	Perímetro Seudotallo (cm)	Número hojas en floración
DOMINICO			
100-50-200	3,40 b	60b	10
NPK+12,5%	3,45 b	63b	11
NPK+25%	3,95 a	69a	11
NPK+50%	3,47 b	64b	10
NPK+75%	3,39 b	60b	10
Esx	0,051	1,052	0,183 ns
DOMINICO-HARTON			
100-50-200	3,38b	55b	12
NPK+12,5%	3,40b	61a	11
NPK+25%	3,58a	64a	12
NPK+50%	3,56a	54b	12
NPK+75%	3,40b	53b	11
Esx	0,067	1,482	0,208 ns

a, b, c, Valores con letras iguales en una misma columna no difieren estadísticamente entre sí según la prueba de Tukey al  $P < 5\%$ .

una tendencia en el tratamiento NPK + 25% de acortar el tiempo hasta cosecha (Cuadro 5).

Las variables de producción analizadas presentaron diferencias significativas para ambas variedades, destacándose el tratamiento de NPK + 25% de zeolita, que supera al testigo entre 3 y 5 kg/racimo, lo cual evidencia que la acción de la zeolita a través de la fertilización, es independiente de las exigencias de las variedades estudiadas (Cuadro 6).

Los tratamientos con porcentajes muy altos de zeolita en la fórmula del fertilizante, disminuyeron los parámetros de calidad (Cuadro 7).

En el análisis de suelo al finalizar la cosecha, los aportes de calcio y magnesio del mineral mejoraron los contenidos de estos en el suelo, lo que permitió incrementar el pH (Cuadro 8).

**CUADRO 5. IMPACTO DE LA ZEOLITA + NPK SOBRE LOS PARÁMETROS DE DESARROLLO DEL PLÁTANO.**

Tratamientos	Siembra-floración (meses)	Floración-cosecha (meses)	Siembra-cosecha (Meses)
DOMINICO			
100-50-200	9,0	3,5	12,5
NPK+12,5%	9,0	3,5	12,5
NPK+25%	9,0	3,0	12,0
NPK+50%	9,5	3,5	13,0
NPK+75%	9,7	3,5	13,2
Esx	0,794 ns	0,035 ns	0,167 ns
DOMINICO-HARTON			
100-50-200	7,5	3,3	10,8
NPK+12,5%	8,0	3,5	11,5
NPK+25%	8,0	3,0	11,0
NPK+50%	7,5	4	11,5
NPK+75%	7,0	4,5	11,5
Esx	2,052 ns	0,152 ns	0,372 ns

a, b, c, Valores con letras iguales en la misma columna no difieren estadísticamente entre sí según la prueba de Tukey al  $P \leq 0,05$ .

**CUADRO 6. PARÁMETROS DE PRODUCCIÓN DEL PLÁTANO.**

Tratamientos	N° dedos	N° manos	Peso racimo(kg)
DOMINICO			
100-50-200	105	8	17 b
NPK+12,5%	105	9	18,9 b
NPK+25%	108	9	22 a
NPK+50%	105	8	17 b
NPK+75%	104	8	16 b
Esx	1,230 ns	0,974 ns	1,875
DOMINICO-HARTON			
100-50-200	30	5	13 b
NPK+12,5%	30	6	13,5 b
NPK+25%	32	6	16 a
NPK+50%	30	6	13 b
NPK+75%	27	5	12,9
Esx	1,274 ns	0,942 ns	1,9

a, b, c, Valores con letras iguales en la misma columna no difieren estadísticamente entre sí según la prueba de Tukey al  $P \leq 5\%$ .

**CUADRO 7. IMPACTO DE LA ZEOLITA SOBRE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DEL PLÁTANO.**

Tratamientos	Peso (g)	Perímetro (cm)	Longitud (cm)
DOMINICO			
100-50-200	200 c	15 b	19
NPK+12.5%	215 c	17 a	19
NPK+25%	225 a	18 a	21
NPK+50%	223 a	15 b	20
NPK+75%	198 c	14 b	18
Esx	11,49	0,279	0,739 ns
DOMINICO-HARTON			
100-50-200	260 b	15 b	20 b
NPK+12.5%	264 a	16 a	22 a
NPK+25%	265 a	17 a	23 a
NPK+50%	260 b	15 b	20 b
NPK+75%	255 c	14 b	17 c
Esx	14,01	1,03	0,365

a, b, c, Valores con letras iguales en una misma columna no difieren estadísticamente entre sí según la prueba de Tukey al  $P \leq 5\%$ .

### Experimento 3. Determinación de dosis de zeolita en el cultivo de la caña de azúcar.

Los resultados de las pruebas de almacenamiento corroboran una vez más que la inclusión de la zeolita en las formulaciones de Fertilizantes Químicos NPK, reduce considerablemente la compactación de estos y los pequeños terrones que se forman, son más fáciles de disgregar dado que presentan menor resistencia mecánica a la ruptura (Cuadro 9).

El análisis de varianza no mostró diferencias significativas en el rendimiento de campo y los contenidos del polisacaridos en caña, por lo tanto, la reducción NPK provocada por la dilución de la inclusión de la zeolita no afectó estos parámetros independiente de la zona edafoclimática de estudio, sin embargo, el rendimiento en campo se incrementó en un rango de 5 a 13 t.ha<sup>-1</sup>, correspondiendo el mayor incremento a la zona de transición, lo que puede estar relacionada con el mejoramiento de la fertilidad de los suelos y, principalmente, en el contenido de fósforo y potasio (Cuadro 10).

**CUADRO 8. IMPACTO DE LA ZEOLITA SOBRE LOS ÍNDICES DEL SUELO.**

Tratamientos	%		-----cml <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup> -----				
	pH (KCl)	MO	Ca	Mg	K	Na	CIC
DOMINICO							
Inicial	6,0	3,0	4,49	1,20	0,50	0,09	6,90
100-50-200	6,3	3,1	4,50	1,23	0,55	0,10	7,00
NPK+12,5%	6,4	3,0	4,70	1,25	0,73	0,11	7,41
NPK+25%	6,5	3,1	4,71	1,22	0,83	0,10	7,48
NPK+50%	6,7	3,1	4,75	1,20	0,84	0,12	7,53
NPK+75%	6,8	3,0	4,80	1,29	0,85	0,12	7,68
DOMINICO-HARTON							
100-50-200	6,2	2,8	4,00	1,10	0,48	0,10	6,5
NPK+12,5%	6,3	3,0	4,10	1,20	0,50	0,11	6,9
NPK+25%	6,4	3,1	4,60	1,23	0,70	0,10	7,5
NPK+50%	6,5	3,2	4,70	1,25	0,75	0,12	7,8
NPK+75%	6,6	3,3	4,85	1,26	0,80	0,13	7,8

**CUADRO 9. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE ALMACENAMIENTO DE FERTILIZANTES.**

Tratamientos	Almacenamiento (Días)	Fluidez (%)	Reducción compactación (%)
Primer muestreo			
Testigo (24-05-24)	15	97,80	---
24-05-24+25% Zeolita	15	99,28	45,89
Último muestreo			
Testigo	85	71,09	---
24-05-24+25% Zeolita	85	85,87	50,39

**CUADRO 10. RENDIMIENTO AGROINDUSTRIAL CAÑA PLANTA.**

Tratamientos	Rendimiento (t.ha <sup>-1</sup> )	Altura (cm)	Grosor (cm)	Polisacáridos (t.ha <sup>-1</sup> )
Suelo Agrisol (zona seca)				
NPK 25-05-24	82,00	226,80	7,80	17,05
NPK+Zeolita	90,60	239,20	7,90	19,17
Esx	9,83	29,87	1,22	--
Suelo Luvisol (zona de transición)				
NPK 25-05-24	104,60	234	8,24	19,02
NPK+Zeolita	115,20	235	9,24	20,93
Esx	13,38	14,94	1,13	--
Suelo Phaeozems (zona húmeda)				
NPK 25-05-24	108,8	257	8,62	21,06
NPK+Zeolita	113,2	258	8,83	24,65
Esx	11,36	14,35	0,51	--

El análisis del impacto de la zeolita entre diferentes suelos mostró diferencias significativas a favor de los tratamientos con zeolita en los suelos Luvisol, Phaeozems y Acrisol (Cuadro 11).

Debe señalarse que las necesidades de la caña según Humbert (1997) son de 125, 75 y 270 kg/ha de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O, respectivamente, por cada 100 t de rendimiento esperado.

**CUADRO 11. VALORACIÓN AGROQUÍMICA DEL IMPACTO DE LA ZEOLITA ENTRE DIFERENTES TIPOS DE SUELOS.**

Tratamientos	pH KCl	MO (%)	NT (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg.ha <sup>-1</sup> )	K <sub>2</sub> O (kg.ha <sup>-1</sup> )
<b>Suelo Agrisol</b>					
Inicial	4,60	3,96	0,140	56,10	72,80
NPK	3,84	3,12	0,118	76,48	157,98 a
NPK + Zeolita	4,09	3,46	0,132	86,12	182,74
Esx	0,354	0,83	0,041	10,12	12,32
<b>Suelo Luvisol</b>					
Inicial	4,65	4,04	0,30	61,93	123,00
NPK	4,64	4,16 a	0,38	78,00 a	68,57 a
NPK + Zeolita	4,67	4,44 b	0,75	100,00 b	81,90 b
Esx	0,105	0,227	0,18	15,22	7,127
<b>Suelo Phaeozems</b>					
Inicial	4,65	5,04	0,29	61,93	46,00
NPK	4,70	5,19 a	0,30	92,82	150,00 a
NPK + Zeolita	4,79	5,29 b	0,31	94,10	180,00 b
Esx	0,09	0,368	0,07	4,89	13,00

MO - materia orgánica

NT - Nitrógeno total

**CONCLUSIONES**

- La aplicación de zeolita incrementó los valores de pH y los contenidos de bases intercambiables en los suelos. El tamaño de partícula entre 1,00 mm y 3,00 mm fue el que obtuvo los mejores resultados al incrementar en mayor medida el pH y los contenidos de Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup> y K<sup>+</sup> y presentar menor retención de Na<sup>+</sup>.
- De los niveles investigados resultó para las variedades estudiadas la inclusión del 25% de zeolita la mejor

opción con diferencias significativas al analizar las variables independientes de crecimiento y parámetros productivos.

- La inclusión de la zeolita en la fórmula de los fertilizantes químicos de la Caña de Azúcar en un 25% reduce en un 10% el costo de elaboración de mezclas de NPK y reduce en 50% la compactación de la mezcla, permitiendo su almacenamiento por períodos prolongados sin afectar las propiedades físico-mecánicas.

- Los suelos tratados con fertilizantes que incluyen zeolita, se encuentran mejor abastecidos de fósforo y potasio con una disminución de su acidez y el rendimiento fue superior al testigo en un rango de 5% a 13%, con igual tendencia en el índice azucarero.

Ingenieros de Minas y Energía. Universidad Politécnica de Madrid. Editorial Fundación Gómez Pardo: Madrid. 26 p. Consultado 6 mayo 2015. Disponible en [http://oa.upm.es/32548/1/Tectosilicatos\\_Costafreda.pdf](http://oa.upm.es/32548/1/Tectosilicatos_Costafreda.pdf)

### BIBLIOGRAFÍA

Casals, C. 1988. Las zeolitas minerales del siglo XX, usos y aplicaciones (en línea). Consultado 27 jul. 2013. Disponible en <http://www.monografias.com/trabajos-pdf2/las-zeolitas/las-zeolitas.pdf>

Colombani, N; Mastrocicco, M; Di Giuseppe, D; Faccini, B; Coltorti, M. 2015. Batch and column experiments on nutrient leaching in soils amended with Italian natural zeolitites. *Catena* 127:64 - 71.

Colombani, N; Mastrocicco, M; Di Giuseppe, D; Faccini, B; Coltorti, M. 2014. Variation of the hydraulic properties and solute transport mechanisms in a silty-clay soil amended with natural zeolites. *Catena* 123:195 – 204.

Costafreda, JL. 2014. Tectosilicatos con características especiales: las zeolitas naturales (en línea). Escuela Técnica Superior de

Espécie, SC; Baptista, M; Gómes, PS; Polidoro, JC; Lopes, S; Silva, M; Vargas, H; Mota, L; Gomes, L. 2015. Cuban zeolite as ammonium carrier in urea-based fertilizer pellets: Photoacoustic-based sensor for monitoring N-ammonia losses by volatilization in aqueous solutions. *Sensors and actuators B: chemical* 212:35 - 40.

Fernández, L; Rojas, N; Roldán, T; Ramírez, M; Zegarra, H; Uribe, R; Reyes, R; Flores, D; Arce, J. 2006. Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados. Instituto Mexicano del Petróleo. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales e Instituto Nacional de Ecología. Editorial del Deporte Mexicano: México D.F. 182 p.

Gholamhoseini, M; Ghalavand, A; Khodaei-Joghan, A; Dolatabadian, A; Zakikhani, H; Farmanbar, E. 2013. Zeolite-amended cattle

- manure effects on sunflower yield, seed quality, water use efficiency and nutrient leaching. *Soil Tillage Res.* 126:193 - 202.
- Humbert, S. 1997. Referencia de México Nutrientes en Caña. Edit. Grop. Tercera edición. 440 p.
- Jha, VK; Hayashi, S; Hazard, J. 2009. Modification on natural clinoptilolite zeolite for its  $\text{NH}_4^+$  retention capacity. *Mater*, 169(1-3):29 - 35.
- Lara C, WAR; Trivelin, PCO. 1997. Eficiencia de un colector semiabierto estático no cuantificado de  $\text{N-NH}_3$  volatilizado da urea aplicado a un suelo. *Revista brasileira de ciencia do solo* 14:481 - 487.
- López, M; Hernández, M; Barahona, C; Martínez, M; Portillo, R; Rojas, F. 2010. Propiedades fisicoquímicas de la clinoptilolita tratada con fertilizantes a usar como aditivo en el cultivo de *Pleurotus ostreatus*. *Terra Latinoamericana* 28:1 - 8.
- López, A; Espinosa, J. 2000. Manual sobre nutrición y fertilización de banano. Potash & Phosphate Institute & Corporación Bananera Nacional. CR.
- Malekian, R; Koupai, A; Eslamian, Y. 2011. Influences of clinoptilolite and factant-modified clinoptilolite zeolite on nitrate leaching and plant growth. *Mater* 185. p. 970 - 976.
- NRAG 879.88 (Norma Ramal de Análisis Químicos de Suelo). 1996. Instituto de Suelos. CU.
- NRAG/CNTN-O5 (Norma Ramal de análisis foliares). 2010. Instituto de Suelos. CU.
- Ortiz, P; De La Fe, C; Lara, D. 1998. Aportes a la tecnología del cultivo de caña de azúcar en Cuba. I. Sustratos más eficientes para la adaptación de plantas. *Cultivos tropicales* 19(2):45 - 53.
- Zaman, M; Nguyen, ML. 2010. Effect of lime or zeolite on  $\text{N}_2\text{O}$  and  $\text{N}_2$  emissions from a pastoral soil treated with urine or nitrate-N fertilizer under field conditions. *Agriculture, ecosystems and environment* 136:254 - 261.
- Zwingmann, N; Singh, B; Mackinnon, I; Gilkes, R. 2009. Zeolite from alkali modified kaolin increases  $\text{NH}_4^+$  retention by sandy soil: Column experiments. *Applied Clay Science* 46:7 - 12.