

## Los minerales industriales y su empleo en la agricultura

### The industrial minerals and their employment in the agriculture



<https://cu-id.com/2144/v16e15>

<sup>1</sup>Humberto Ferrán\*, <sup>2</sup>Miguel Soca Núñez

**RESUMEN:** Este trabajo tuvo como objetivo evaluar diferentes dosis de magnesita, cal agrícola, dolomita, caliza fosfatada, fosforita, zeolita y el empleo del yeso y en diferentes suelos y cultivos. Para localizar los suelos se empleó información de los mapas digitales a 1:25000 y su caracterización química. Durante los años 2018 -2019 se condujeron en casa de cristal 4 experimentos en los cuales se utilizaron macetas de 1,6 kg de capacidad como unidad experimental, utilizando un diseño completamente aleatorizado, se evaluaron 5 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 5 dosis (0.00, 1.88, 4.74, 6.88 y 9.38 g kg<sup>-1</sup> de suelo). Cada tratamiento contó con cuatro réplicas y se utilizó como planta indicadora el Rhodes (Chlorys gallane c.v Pioneer). Para el resto de los acondicionadores se utilizaron diseños estadísticos de bloque al azar con 4 tratamientos y 4 repeticiones (0, 1, 2,3 t/ha cal agrícola y Dolomita), y (0, 60,120,160gr/planta de magnesita), las dosis de caliza fosfatada correspondieron a (0,7,1.4 y 2.1 t/ha), el yeso se evaluó utilizando fórmulas de cálculo. Los suelos considerados fueron Ferríticos, Alíticos, Pardo grisáceo, Pardo con carbonatos y Húmicos sialíticos por ser los más representativos y con vocación agrícola en Cuba. La dosis de 180 grs de magnesita/árbol en la toronja, 2t/ha de Dolomita en naranja y 0.7 t/ha de caliza fosfatada en tomate y 2,5 t/ha de cal agrícola en el tabaco resultaron las mejores variantes, se comprobó la aplicación directa de la fosforita en suelos ácidos y la alternativa del empleo del yeso en suelos sódicos de Guantánamo, en el caso de la zeolita los tamaños de partícula entre 1,00 y 3,00 mm obtuvieron los mejores resultados al mejorar las condiciones químicas de los suelos y reducir hasta en un 57% la volatilización del nitrógeno. Las mayores dosis de aplicación de zeolita lograron incrementar el contenido de bases intercambiables en el suelo, así como el rendimiento de masa seca y la concentración foliar de nutrientes de la planta indicadora.

**Palabras Clave:** clinoptilonita, Rhodes, enmiendas de suelos, minerales industriales.

**ABSTRACT:** This work had as objective to evaluate different magnesita dose, agricultural lime, dolomita, calcareous fosfatada, fosforita, zeolita and the employment of the plaster and in different floors and cultivations. For to locate the floors information was used from the digital maps to 1:25000 and its chemical characterization. During the years 2018 -2019 behaved at home of glass 4 experiments in which gavels of 1,6 kg of capacity like experimental unit were used, using a totally randomized design, 5 sizes of zeolita particle were evaluated (<0,25 mm, 0,25-0,50, 0,50-1,00, 1,00-2,00 and 2.00-3,00) and 5 dose (0.00, 1.88, 4.74, 6.88 and 9.38 g floor kg<sup>-1</sup>). Each treatment had four replicas and it was used like indicative plant the Rhodes (Chlorys gallane c.v Pioneer). Para the rest of the conditioners statistical designs of block were used at random with 4 treatments and 4 repetitions (0, 1, 2,3 t/ha agricultural lime and Dolomita), and (0, 60,120,160gr/planta of magnesita), the doses of calcareous fosfatada corresponded to (0,7,1.4 and 2.1 t/ha), el plaster were evaluated using calculation formulas. The considered floors were Ferríticos, Alíticos, Brown grizzly, Brown with carbonates and Húmicos sialíticos to be the most representative and with agricultural vocation in Cuba. The dose of 180 magnesita/árbol grs in the toronja, 2t/ha of Dolomita in orange and 0.7 t/ha of calcareous fosfatada in tomato and 2,5 t/ha of agricultural lime in the tobacco was the best variants, he/she was proven the direct application of the fosforita in sour floors and the alternative of the employment of the plaster in sodium floors of Guantánamo, in the case of the zeolita the particle sizes between 1,00 and 3,00 mm obtained the best results when improving the chemical conditions of the floors and to reduce until in 57% the volatilización of the nitrogen. The biggest doses of zeolita application were able to increase the content of interchangeable bases in the floor as well as the yield of dry mass and the concentration to foliate of nutritious of the indicative plant.

**Words Key:** clinoptilonita, Rhodes, amendments of floors, industrial minerals.

Recibido: 07/11/2024

Aprobado en su forma original: 19/12/2024

<sup>1</sup>Departamento Provincial de Suelos, Ministerio de Agricultura, MINAG, Cuba Autopista Costa y Antigua Carretera de Vento, Km81/2 Capdevila, Boyeros, La Habana, Cuba

<sup>2</sup>Dirección Nacional de Suelos y Fertilizantes, Ministerio de Agricultura, MINAG, Autopista Costa y Antigua Carretera de Vento, Km81/2 Capdevila, Boyeros, La Habana, Cuba. Correo electrónico: [suelopncms2@oc.minag.gob.cu](mailto:suelopncms2@oc.minag.gob.cu)

\*Correo electrónico: [suelos@dlg.minag.gob.cu](mailto:suelos@dlg.minag.gob.cu)

**Conflicto de Intereses:** Los autores de este trabajo declaran que no existe conflicto de intereses.

**Contribuciones de los autores:** **Investigación:** Humberto Ferrán y Miguel Soca Núñez. **Metodología:** Humberto Ferrán y Miguel Soca Núñez. **Redacción:** Humberto Ferrán. **Revisión y ajustes:** Humberto Ferrán.

Artículo bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

## INTRODUCCIÓN

Los principales compuestos y elementos de origen mineral que se utilizan en la agricultura son nitratos, rocas fosfóricas, dolomitas, azufre, yeso, magnesita, zeolitas, bentonitas, vermiculitas y turbas. La intervención humana en la agricultura, por ejemplo, la constante producción de cultivos intensivos sin adecuada reposición de nutrientes, puede llevar a balances de nutrientes negativos. En estos sistemas, se extraen más nutrientes del suelo que los que se agregan. Consecuentemente, la constante remoción de nutrientes del suelo por medio de los cultivos ("explotación o minado del suelo") es una de las principales causas biofísicas para la tendencia descendente de la producción de alimentos en muchas partes del mundo en desarrollo. Para superar los suelos inherentemente infértiles y el agotamiento o reducción de suelos infértiles inducidos antropogénicamente, los agricultores suelen utilizar insumos como fertilizantes y enmiendas. Estos agregados incrementan la productividad del suelo, la producción y la seguridad de los alimentos.

Con la excepción del nitrógeno (N), prácticamente todos los nutrientes agrícolas derivan de recursos geológicos. Estos recursos de nutrientes de origen geológico pueden ser aplicados al suelo directamente o sin mayores modificaciones (aparte de la molienda del producto) o son transformados industrialmente en fertilizantes o enmiendas del suelo antes de ser aplicados. El objetivo principal de este trabajo una vez definido las mejores alternativas del empleo de estos minerales en la agricultura, es incentivar la búsqueda de nuevos yacimientos locales, consolidar las inversiones en los existentes, así como promover el conocimiento que permita ampliar los usos y aplicaciones de estos minerales en el sector agropecuario del país.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Las caracterizaciones de las áreas de estudio, se ejecutaron utilizando la información del mapa de suelo a escala 1,25000 en formato digital de la Isla de la Juventud y Pinar del Río. Para evaluar el efecto de la magnesita semicalcinada, se utilizó un ensayo en un Diseño de Bloque al azar con 4 tratamientos (0,60, 120 y 180 g de magnesita/árbol/año). Para los experimento de campo de la cal agrícola, dolomita y magnesita se emplearon un diseño experimental de bloque al azar con 4 réplicas y 5 tratamientos. Los minerales industriales empleados en el estudio provino de las menas de Tasajera (zeolita) ubicada en Villa Clara a la cual se le realizó en colaboración con el Centro de Investigaciones para la Industria Minero

Metalúrgica (CIPIMM), la identificación del mineral, empleando la Difracción de Rayos X y análisis químicos y mineralógicos. Esta zeolita tuvo una composición de 85% de clinoptilonita + Heulantita, 5-10% de Modernita y 5-10% de otros componentes, la cal agrícola de Herradura Pinar del Río, La fosforita de Trinidad de Guedes, la caliza fosfatada de Loma de Candela, Mayabeque, la dolomita de Remedio, la magnesita de Camagüey y el yeso de Punta alegre Ciego de Ávila, a todas se le hicieron sus caracterizaciones correspondientes.

Durante los años 2018 y 2019 se llevaron a cabo en invernaderos de cristal cuatro experimentos de laboratorio, utilizando diseños completamente aleatorizado con 4 repeticiones donde se estudiaron diferentes granulometrías y dosis de zeolita natural aplicados a diferentes suelos. Cada unidad experimental consistió en una maceta con capacidad de 1,6 kg en la cual fue sembrada una planta indicadora de Grama Rhodes (*Chlorys gallane c.v Pioneer*). Esta planta fue sometida a cortes cada 15 días.

### Efecto de la granulometría de la zeolita en las propiedades del suelo y en la volatilización del nitrógeno

Este experimento consistió en evaluar seis fracciones de tamaño de partícula de zeolita: < 0.25 mm, 0.25-0.50 mm, 0.50-1.00 mm, 1.00-2.00 mm, 2.00-3.00 mm y 3.00-5.00 mm en las propiedades de un suelo Pardo sialítico y en la volatilización del nitrógeno amoniacal. Por cada fracción de tamaño se aplicó a cada unidad experimental una dosis de 15% de zeolita con respecto al suelo previamente tamizado por malla de 2 mm y se distribuyó homogéneamente. También se utilizó la dosis recomendada de 120 kg hm<sup>-2</sup> de urea la cual contenía 46% de N.

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 0,5N de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y glicerina al 3%. La espuma inferior ubicada a 20 cm desde la superficie, tiene como objetivo capturar el amoníaco de los tratamientos, en tanto que la espuma superior, localizada a 35 cm, cumple la función de adsorber el compuesto que alcanza a ingresar desde la atmósfera.

## Efecto de la dosis de zeolita en la materia seca de Grama Rhodes (*Chlorys gallane* c.v Pioner)

Este experimento consistió en evaluar 5 dosis de zeolita (0,00, 1,88, 4,74, 6,88 y 9,38 g kg<sup>-1</sup> de suelo) en cuatro tipos de suelos (Alítico, Pardo grisáceo, Pardo con carbonato y húmicos sialíticos). Los suelos Alíticos se caracterizan por su perfil tipo ABC, alteración intensa de minerales primarios y saturaciones de aluminio intercambiable superiores a 50%. Los suelos pardos se caracterizan por la presencia de horizontes síalicos que muestran composiciones mineralógicas arcillosas de tipo caolinítico. Los suelos húmicos sialíticos presenta perfiles tipo AC y rara vez presenta horizonte B y se caracterizan por el predominio de procesos de sialitización que se ve reflejado en la composición mineralógica arcillosa del horizonte A y límites bruscos entre horizontes. La variable de respuesta considerada fue la masa seca por unidad experimental o maceta.

## Efecto de la aplicación de zeolita en propiedades del suelo y la materia seca de Rhodes (*Chlorys gallane* c.v Pioner)

Este experimento consistió en la aplicación de zeolita en suelos pardos grisáceos, pardos con carbonatos y húmicos sialíticos empleando las mínimas dosis que brindaron los mejores resultados en el experimento 2 correspondientes a 4,73, 6,87 y 9,37 g kg<sup>-1</sup> respectivamente. Por cada suelo se tuvo un tratamiento testigo sin ninguna aplicación. A los 45 días se determinaron propiedades del suelo como pH medido en cloruro de potasio, porcentaje de materia orgánica, contenido de bases intercambiables, CIC y CICE. También se determinó el peso de materia seca por maceta.

## Efecto de la aplicación de diferentes dosis en la nutrición de Rhodes (*Chlorys gallane* c.v Pioner) en tres suelos diferentes

Se evaluaron 6 dosis de zeolita (0,00, 1,88, 4,74, 6,88 y 9,38 g kg<sup>-1</sup> de suelo) en tres tipos de suelos pardos (grisáceos, con carbonatos y sin carbonatos) y su efecto en el contenido foliar de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio en Rhodes (*Chlorys gallane* c.v Pioner).

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 y Duncan para determinar diferencias significativas entre tratamientos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de los estudios realizados a todos los cultivos de importancia indican que pueden obtenerse rendimientos superiores a 50% del potencial en una amplia gama de cultivos; 76,8% del área la constituyen suelos de poca a muy poca productividad, afectados por factores edáficos limitantes que impiden alcanzar los rendimientos potenciales, por lo que es necesario, ampliar las medidas de acondicionamiento y mejoramiento de suelos para aumentar su productividad. En términos generales la degradación del suelo provoca alteraciones en el nivel de fertilidad del suelo y consecuentemente en su capacidad de sostener una agricultura productiva. Unido a los factores antropogénicos, las características del clima, suelo y relieve en la isla, propician la vulnerabilidad de los ecosistemas. Los cambios climáticos que tienen lugar en el mundo incrementan los riesgos de la degradación. Mapas nacionales a escalas 250 000, 50 000 y 25 000, así como a escalas detalladas que caracterizan los suelos resultan la base fundamental para la explotación de los mismos (Instituto de Suelos, 2001).

### Experimento 1. Efecto de la magnesita Semicalcinada en el cultivo de la toronja

En el **grafico 1**, se muestran los indicadores de acidez, químicos y nutricionales de diferentes sitios de la Isla de la Juventud, de los suelos Ferralíticos (Ferralítico Cuarzítico amarillo lixiviado y rojizo y Ferralítico amarillento).

En general los suelos son muy ácidos con una tendencia a incrementar el aluminio tóxico (Al<sup>3+</sup>), que puede llegar a ocupar más del 25 % del valor de la CIC, la toronja se desarrolla en un PH de 5.5 a 6.0, la Capacidad de Intercambio Catiónico varía en rango de 1.90 hasta 4.3 cmol/kg<sup>-1</sup>, el Ca y el Mg sigue igual tendencia, las reservas nutricionales son de bajas a muy bajas. La necesidad de mantener una producción agrícola estable, dependería de contrarrestar la erosión y disminución de la fertilidad de los suelos, aspectos que influyen en las variables de desarrollo de la toronja, (Juventud Rebelde, 2010).

El efecto positivo de la magnesita se muestra en la **tabla 1**, donde se encontraron entre los tratamientos diferencias significativas, con el incremento de las dosis. En general en este tipo de suelo, el magnesio se encuentra a un nivel bajo, y de ahí la respuesta de los diferentes tratamientos. Como este efecto depende principalmente entre otros factores de la relación del magnesio con otros cationes se valoró este impacto observándose en que en la medida que se incrementa las dosis de aplicación estas relaciones se normalizan y pasan de muy bajas a bajas y normal según los criterios de la **Organización Veracruzana de la Toronja (2015)**. La aplicación de la magnesita reduce la tras locación y aumenta la acumulación de fotosíntesis y la activación del O<sub>2</sub>,

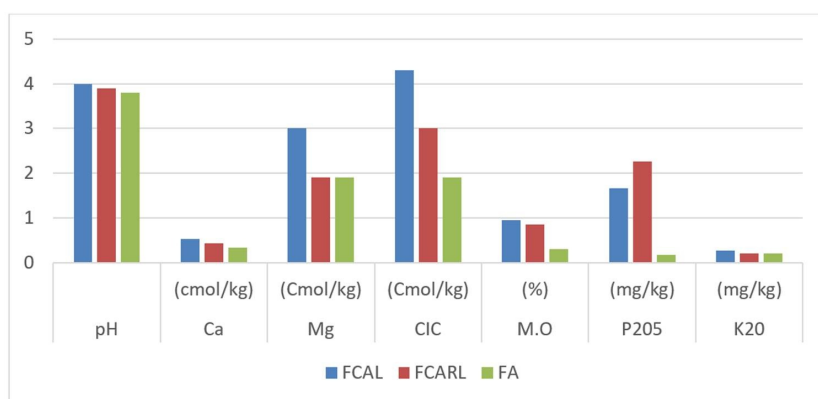


Gráfico 1. Indicadores de acidez, químicos y nutricionales de los suelos Ferralíticos

Tabla 1. Efecto de la magnesita Semicalcinada sobre el suelo FCAL y la toronja

ANÁLISIS FOLIAR								
Tratamientos grs/árbol	Rendimientos (t/ha)	Relaciones Intercambio Catiónico en el Suelo (Kg/Mg) (Ca/Mg)		Nitrógeno (mg/kg <sup>-1</sup> )	Fósforo (mg/kg <sup>-1</sup> )	Potasio (mg/kg <sup>-1</sup> )	Calcio (mg/kg <sup>-1</sup> )	Magnesio (mg/kg <sup>-1</sup> )
NPK+0 0Mg	18 a	0.96	2.53	2.05 a	0.11b	0.49 b	2.90	0.14 d
NPK+60	25 b	0.29	1.64	2.46 b	0.14 b	0.57 b	3.00	0.27 c
NPK+120	27 b	0.23	1.51	2.66 c	0.16 b	0.73 a	2.89	0.29 b
NPK+180	38 c	0.15	0.98	2.79 d	0.17 b	0.86 c	3.10	0.52 a
ES+-	1.18	0.03	0.10	0.08	0.01	0.07	NS	0.01

a, b, c medias con letras desiguales difieren significativamente según la prueba de Duncan para p < de 0.05

Tabla 2. Influencia de diferentes dosis de cal agrícola en el rendimiento y extracción de nutrientes por las hojas del tabaco negro (promedio de 2 cosechas)

Dosis de CaCo3 t/ha	Rendimiento Kg/ha	Extracción de N Kg/ha	Extracción de P2O5 kg/ha	Extracción de K20 Kg/ha	Extracción Ca kg/ha	Extracción de Mg Kg/ha
Testigo	1517.8 <sup>a</sup>	19.25 <sup>e</sup>	7.31	43.26 <sup>d</sup>	34.91 <sup>e</sup>	7.41
0.5	1553.7 <sup>a</sup>	21.44 <sup>de</sup>	7.51	40.58 <sup>e</sup>	35.99 <sup>d</sup>	7.75
1.5	1685.9 <sup>b</sup>	24.33 <sup>cd</sup>	7.60	68.40 <sup>b</sup>	42.15 <sup>b</sup>	7.57
2.5	1867.7 <sup>c</sup>	49.30 <sup>a</sup>	7.87	75.83 <sup>a</sup>	46.56 <sup>a</sup>	7.65
3.0	1747.5 <sup>c</sup>	26.93 <sup>c</sup>	7.89	76.36 <sup>a</sup>	39.01 <sup>c</sup>	7.10
4.0	1742.6 <sup>c</sup>	22.31 <sup>de</sup>	7.20	63.57 <sup>c</sup>	39.95 <sup>b</sup>	7.63
5.0	1684.8 <sup>b</sup>	35.09 <sup>b</sup>	7.20	63.57 <sup>c</sup>	39.95 <sup>c</sup>	7.63
E.S.x+-	-	1.00	0.240	0.685	0.218	0.296
C.V %		6.11	5.49	1-.93	0.97	6.15

a, b c, d e: Medias en una misma columna con letras iguales no difieren significativamente entre sí, según prueba de rango múltiple de Duncan al 5 .

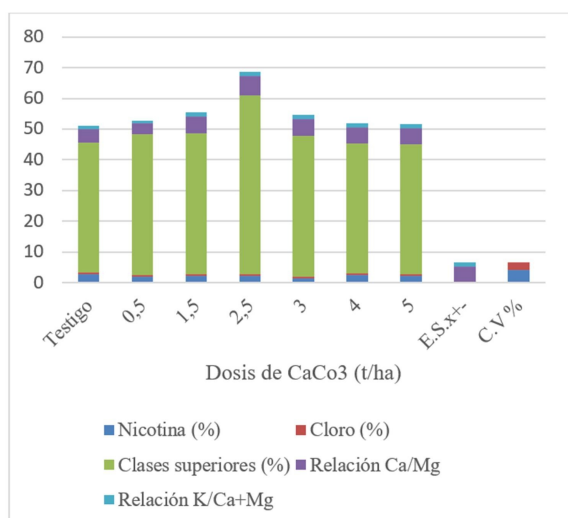
que causa la formación de radicales tóxicos de oxígeno responsables de la clorosis y necrosis de las hojas del cítrico. Entre 30 y 40 kg ha<sup>-1</sup> de MgO se puede lograr un correcto equilibrio de las relaciones intercатиónicas cuando se utiliza cal agrícola.

### Experimento 1. Efecto del carbonato de calcio en el cultivo del tabaco

En el gráfico No. 2, se presentan los resultados promedio de 2 cosechas de extracción por las hojas

de N,P,Ca, y Mg donde se observa que el encalado influyo significativamente sobre la extracción de N,K, y Ca. De cómo impacta la cal sobre los principales indicadores de la calidad.

La relación Ca/Mg mostró una tendencia a aumentar con los incrementos de las dosis de cal, alcanzándose su mayor valor con una dosis de 2.5 t/ha. La relación K/Ca+Mg, alcanzó su mayor valor con una dosis de 3ta/ha lo que tuvo motivado por la máxima absorción de K por las hojas.



**Gráfico 2.** Influencia de diferentes dosis de cal agrícola en los indicadores de calidad de las hojas del tabaco negro (promedio de 2 cosechas)

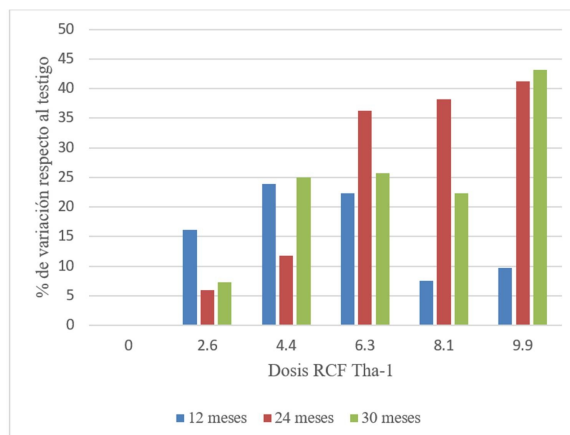
De forma general el contenido de nicotina en las hojas del tabaco es menor del 2 % el cual se considera normal, sobre el cloro no se manifestó una tendencia marcada, en el, caso de las clases superiores se alcanzó su máximo con 3 t/ha. Sin embargo, en términos generales se puede indicar que casi ningún cultivo soporta más de 60% de saturación de acidez intercambiable, y el valor deseable para la mayoría de las plantas oscila entre 10 y 25%. El pH del suelo está directamente relacionado con el % de saturación acidez, ya que el aluminio intercambiable precipita entre pH 5.5 y 6.0. Cuando el pH es menor de 5.5 el aluminio se solubiliza, y por tanto, resulta más abundante y tóxico para las plantas. La suma de bases (Ca + Mg + K + Na) es también importante, ya que se considera que un valor inferior a 5 cmol(+)/L puede llegar a disminuir el rendimiento de los cultivos. En síntesis, se puede indicar que los problemas de acidez aumentan cuando se presentan las siguientes condiciones en el suelo:

- pH < 5.5
- Acidez o aluminio intercambiable > 0.5 cmol(+)/L
- Suma de bases (Ca + Mg + K) < 5 cmol(+)/L
- Saturación de acidez > 20%

El criterio práctico que domina en la actualidad es utilizar una dosis de cal que reduzca el % de saturación de acidez del suelo a un nivel que sea tolerable por el cultivo.

#### Experimento 4. Efecto de la caliza fosfatada en el cultivo del tomate

Como se observa en el gráfico 3, cuando se aplica el material en la superficie y se incorpora al suelo crea un abastecimiento del fósforo al suelo, que es suficiente para abastecer a las plantas *Morejón et al.*



**Gráfico 3.** Aportes del fósforo al suelo por la caliza fosfatada

(1994) en un suelo ácido de textura arcillosa y en un área de King Grass utilizando caliza fosfatada logró incrementos del rendimiento en masa seca de un 20% con dosis de 1tha<sup>-1</sup> y un efecto residual de 3 años, según el propio autor cuando se utiliza este enmendante en combinación con fuentes orgánicas los efectos sobre el rendimiento son notables. La influencia de las dosis de roca caliza fosfatada de Loma Candela en la producción de Tomate suelo Pardo Grisáceo, se muestra en la *Tabla 3*.

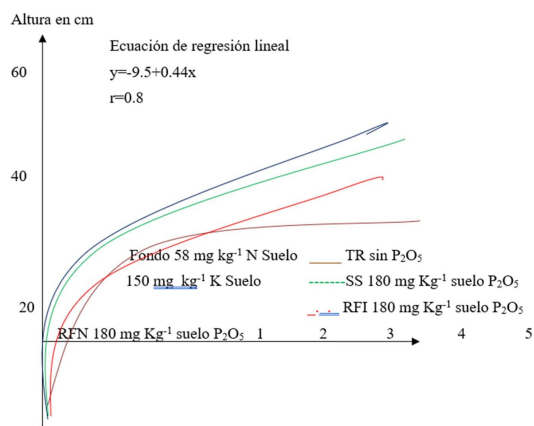
**Tabla 3.** Impacto de la caliza fosfatada sobre el rendimiento del tomate

Dosis Tha <sup>-1</sup>	Rendimiento de tha <sup>-1</sup>			
	1er año	2do año	3er año	Promedio 3 años
Testigo	7.87b	23.82	5.04c	12.44b
0.70	20.51a	23.30	6.03bc	16.61a
3.60	21.83a	26.75	7.37ab	18.65a
6.50	20.86a	26.22	6.31 <sup>a</sup>	18.46a
ESx <sup>-</sup>	2.36	1.66	0.42	0.89

Se observa que niveles de 0.7tha<sup>-1</sup> producen incrementos del rendimiento del tomate con diferencias significativas de 4.17 tha<sup>-1</sup>.

En el gráfico 4. se muestran las curvas de respuesta de pasto a rocas fosfóricas natural y acidulada respecto al superfosfato sencillo.

En los últimos años, por razones económicas y ambientales, ha cobrado interés el uso de RF en aplicación directa. La Comunidad Económica Europea, de acuerdo con sus regulaciones comerciales, establece que una RF para ser aplicada directamente debe poseer no menos de 11% de P total, al menos 55% del P total debe ser soluble en ácido fórmico y el 95% de las partículas deben ser 1,0-2.0 mm. Por tal razón, se ha indicado la necesidad de establecer otras normas, específicamente para suelos ácidos tropicales donde las RF muestran un gran potencial agronómico. En suelos de bajo nivel fosfórico, hay dos opciones: (1) llevar el nivel



**Gráfico 4.** Curvas de Rebrote Semanal Hierba Guinea (C Panicum Maximum) Jacg

de fertilidad a un nivel medio de P mediante la aplicación de fertilizantes solubles en agua y luego hacer aplicaciones de roca fosfórica, o (2) incorporar dosis altas de roca fosfórica (500-1 000 kg/ha) seguidas por una aplicación regular de la dosis de mantenimiento fosfatado. En los suelos muy ácidos (pH menor de 5.5) con alta capacidad de retención de P, se recomienda la incorporación de la roca fosfórica inmediatamente antes de la siembra para minimizar la conversión del P disuelto a formas no disponibles para las plantas. Sin embargo, en los suelos menos ácidos (pH 5.5-6) con baja capacidad de retención de P, se prefiere la incorporación de la roca de unas 4 a 6 semanas antes de la siembra. Esto deja tiempo para su disolución y su disponibilidad para las plantas. Experimentos de laboratorio han mostrado que se necesitan de 4 a 8 semanas para que las rocas fosfóricas alcancen su máximo de solubilidad.

### Experimento 7. Efecto de la Zeolita en los cultivos

En la **tabla 4**, se muestra la influencia de las diferentes fracciones granulométricas de la zeolita

en las propiedades químicas de un suelo Pardo sialítico.

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 hallados con los demás tamaño 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 0,05-1,00 mm pero sin diferencias con los otros tamaños evaluados. Las concentraciones 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 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 potasio intercambiable, encontrándose una relación inversa entre tamaño de partícula y capacidad de retención de bases intercambiables. Los mejores resultados, se obtiene utilizando tamaño de partículas comprendidas

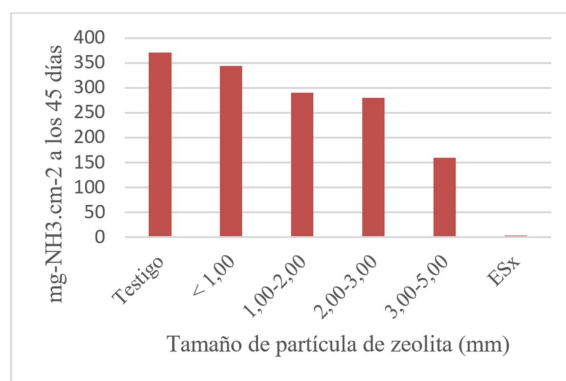
**Tabla 4.** Evaluación de fracciones granulométricas de zeolita en propiedades químicas de un suelo Pardo sialítico.

Fracciones en mm	pH KCl	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	CICE*	CIC**
		Cmol (+) 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
C.V%****	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.

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 mantienen bajos.

La CICE encontrada estuvo alrededor de los 10 cmol(+) kg<sup>-1</sup> sin diferencias significativas entre tamaños de partícula, aumentando en alrededor de un 12% dicha capacidad en comparación con el testigo. La mayor CIC hallada 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. 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 (Tabla 3), (Malekian et al, 2011). El testigo fue el que presentó la mayor pérdida de NH<sub>3</sub>, 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 - 5,00 mm redujo hasta en un 57% la pérdida de nitrógeno a la atmósfera en comparación con el testigo. Especie 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 la volatilización de otras formas químicas de nitrógeno como el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) 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.



**Grafica 5.** Efecto de la dosis de zeolita en la materia seca de Rhodes (*Chlorys gallane* c.v Pioneer)

Al comparar las dosis empleadas se encontró que con excepción de los suelos Alíticos, a mayor dosis de zeolita, mayor fue el contenido de materia seca por maceta encontrada (Tabla 5).

La dinámica suelo-zeolita-nitrógeno es variable, dependiendo de las características físico-químicas de los suelos, de la dosis aplicada, del manejo del cultivo y de la época del año en la cual se realizan los ensayos (Kolyagin & Karasev, 1999). Este hecho sugiere la necesidad de hacer evaluaciones periódicas en los suelos donde se utilice

En los suelos Alíticos no se encontraron diferencias significativas entre dosis en la materia seca de la planta indicadora utilizada, aunque la aplicación de zeolitas logró incrementos entre 22 y 26% con respecto al testigo. En los suelos pardos grisáceos la mayor dosis empleada de zeolita (9,38 g kg<sup>-1</sup>), alcanzó el mayor contenido de materia seca, aunque sin diferencias significativas con las dosis de 4,74 y 6,88 g kg<sup>-1</sup> de zeolita. Los incrementos en materia seca estuvieron entre 12 y 27% con respecto al testigo. En los suelos pardos con carbonatos, las mayores dosis de zeolita fueron las que obtuvieron el mayor peso de materia seca, siendo estadísticamente diferente de las demás dosis mientras que para los suelos húmicos sialíticos la mayor dosis fue la que logro un incremento significativo de 22% con respecto al testigo.

**Tabla 5.** Efecto de dosis de zeolita en la materia seca de Rhodes (*Chlorys gallane* c.v Pioneer) evaluada en diferentes tipos de suelo

Tipo de Suelo	Dosis de Zeolita g kg <sup>-1</sup>					Esx	C.V (%)
	0,00	1,88	4,74	6,88	9,38		
	<b>g maceta<sup>-1</sup> de Materia Seca</b>						
Alítico	6,30 ab	8,12a	8,52a	8,35a	8,33a	0,39	9,76
% incremento	-	22	26	25	24		
Pardo Grisáceo	7,46c	8,47b	9,46ab	9,56a	10,17a	0,25	5,41
% incremento	-	12	21	22	27		
Pardo con Carbonatos	11,44c	12,47b	12,48b	14,20a	13,40ab	0,35	7,00
% incremento	-	8	8	19	15		
Húmicos Sialíticos	14,40c	15,06c	16,08b	16,02b	18,51a	0,21	5,70
% incremento	-	4	10	10	22		

### Efecto de la aplicación de zeolita en propiedades del suelo y la materia seca de Rhodes (*Chlorys gallane c.v Pioneer*)

En la **tabla 6** se indican los rendimientos de materia seca y los análisis de propiedades químicas obtenidos con las mejores dosis de zeolita aplicados a los suelos evaluados. Para los tres suelos se encontró que la aplicación de zeolita incrementó los valores de pH y los contenidos de bases intercambiables, así como la capacidad de intercambio catiónico. Similares resultados fueron reportados por (Flórez Macías *et al.*, 2007) quienes sostienen que el incremento en el valor del pH obedece al intercambio entre el ion  $\text{NH}_4^+$  y cationes como el  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Na}^+$  con la solución del suelo donde se produce liberación de  $\text{OH}^-$ . Para el suelo pardo grisáceo el mayor incremento ocurrió para el  $\text{Mg}^{+2}$  en un 61%, mientras que para el suelo pardo con carbonatos los mayores incrementos fueron para el  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Na}^+$  (16% y 71% respectivamente). El suelo húmico sialítico presentó el mayor incremento en el K (30%). Es de resaltar el efecto que tiene la aplicación de zeolita en el aumento de la CIC, independiente de la ya presente en el suelo; esta capacidad permite mejorar las condiciones de acidez de los suelos y favorecer la disponibilidad de nutrientes y por ende el desarrollo de las plantas. Al ser este tipo de zeolita de tipo sódico, las concentraciones de este elemento se incrementaron, por lo que se hace necesario realizar evaluaciones periódicas al utilizar este tipo de enmiendas, puesto que el sodio es reconocido como agente dispersante y nocivo para la estructura del suelo.

### Efecto de la aplicación de diferentes dosis en la nutrición de Rhodes (*Chlorys gallane c.v Pioneer*) en tres suelos diferentes

En la **tabla 7** se muestra la respuesta del contenido foliar de nutrientes del Rhodes a la aplicación de diferentes dosis de zeolita. En general para todos los suelos, la aplicación de zeolita incrementó los contenidos foliares de N, P, K y Ca. En los suelos grisáceos, a mayor dosis, los niveles de N, K y Ca se incrementaron, mientras que para el caso del Mg sólo las dosis más altas lograron hacerlo; el P se incrementó con la dosis más baja de zeolita pero entre dosis los niveles se comportaron similares.

Similares resultados fueron hallados para los suelos Pardos sin carbonatos y los suelos húmicos sialíticos, con la diferencia de que en los primeros las dosis de zeolita lograron incrementar el contenido de Mg, mientras que para los segundos los niveles de Ca permanecieron muy similares al testigo y los de Mg disminuyeron con respecto al mismo. Similares resultados fueron encontrados por Soca *et al.*, (2004) y (Millán *et al.*, 2008) quienes encontraron incrementos significativos en los contenidos foliares y rendimientos de las plantas al usar zeolita.

**Tabla 7.** Efecto de diferentes dosis de zeolita en el contenido foliar de nutrientes de Rhodes (*Chlorys gallane c.v Pioneer*).

Dosis aplicadas g kg <sup>-1</sup>	Contenido foliar en %				
	N	P	K	Ca	Mg
Pardos Grisáceos					
0,00	1,17	0,16	1,46	0,40	0,21
1,88	1,32	0,20	1,78	0,54	0,18
4,74	1,47	0,21	1,52	0,59	0,19
6,88	1,68	0,21	1,51	0,65	0,18
9,34	1,81	0,20	1,53	0,65	0,20
15,99	2,08	0,22	1,46	0,76	0,22
Pardos sin Carbonatos					
0,00	1,79	0,19	1,45	0,40	0,22
1,88	1,87	0,21	1,50	0,62	0,24
4,74	2,04	0,23	1,50	0,69	0,26
6,88	2,28	0,21	1,90	0,72	0,35
9,34	2,43	0,20	1,76	0,85	0,33
15,99	2,55	0,20	1,68	0,97	0,35
Húmicos sialíticos					
0,00	1,71	0,18	2,12	0,95	0,20
1,88	1,90	0,18	2,68	1,00	0,20
4,74	1,95	0,18	2,62	1,00	0,18
6,88	2,05	0,17	2,64	1,02	0,16
9,34	2,50	0,18	2,67	1,04	0,15
15,99	2,62	0,19	2,70	1,04	0,14

Diversos trabajos han demostrado la utilidad del uso de la zeolita, ya sea como un medio para reducir la cantidad de  $\text{N-NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  residual en la solución del suelo, reducir la tasa de nitrificación (Flórez Macías *et al.*, 2007) o incrementar el contenido de N en el tejido vegetal (Millán *et al.*, 2008).

**Tabla 6.** Efecto de la aplicación de zeolita en propiedades químicas de diferentes suelos

Tipos de suelo	Tratamientos g kg <sup>-1</sup> de suelo	Rendimiento g maceta <sup>-1</sup>	pH	% M.O	Ca	Mg	Na	K	CICE	CIC
					cmol (+) kg <sup>-1</sup>					
Pardo Grisáceo	Testigo	7,46	4,20	2,16	6,00	0,74	0,15	2,99	9,88	12,50
	4,73	9,46	4,60	2,38	6,75	1,89	0,22	3,10	11,96	13,50
Pardos con Carbonato	Testigo	11,44	4,60	3,22	9,50	4,95	0,15	0,75	15,35	20,00
	6,87	14,20	4,80	3,43	11,00	5,21	0,52	0,87	17,60	23,10
Húmicos Sialíticos	Testigo	14,40	5,43	3,44	62,00	4,34	0,70	0,95	67,90	67,00
	9,37	18,51	5,90	3,71	62,50	4,76	1,00	1,35	70,10	70,00

## Experimento 6. El yeso agrícola. Estudio de caso del Valle Guantánamo

En general, se puede afirmar que las plantas de cultivo en esta región del país tienen un hábitat muy poco favorable y de no llevarse a cabo una agricultura científicamente orientada, tendrán que abandonarse extensas áreas que no podrán ser utilizadas para este fin. Ortega *et al.* (1983). Con relación al riego y el drenaje es necesario destacar que el riego que se efectúa en diferentes áreas, encuentra el drenaje deficiente, pues prácticamente se carece de éste; Pérez *et al.* (1990) aplicando lavado y drenaje se logró elevar el rendimiento de la caña de azúcar. El drenaje impedido en los suelos en esta provincia ha llevado a la elevación progresiva del manto freático que constituye una de las causas fundamentales del proceso de salinización, El riego en los suelos solonchales de manto freático alto, mineralizado sin previo sistema de drenaje salinizan los campos. La evaporación supera el régimen pluviométrico; es necesario un sistema de riego con normas preestablecidas de acuerdo con las condiciones hidrofísicas de los suelos salinos que enmienden este déficit y un buen sistema de drenaje que controle la elevación del agua subterránea, Hernández (1980).

Teóricamente el uso de mejoradores se basa en la aplicación de sustancias que contengan calcio para que promuevan su incremento en la solución del suelo y pueda intercambiarse con el sodio adsorbido, el cual pasa a la solución y puede ser eliminado a través del lavado Llerena (1986). De los mejoradores químicos el más utilizado es el yeso, el cual es una fuente de calcio, de solubilidad alta o media. Estos criterios se originan a partir del conocimiento de la afectación del yeso por la composición y la posición iónica original del suelo, lo cual influye en los cambios de pH, alcalinidad, RAS y PSI. Su efectividad depende en gran medida del tamaño de las partículas según Khosla & Abrol (1972), considerando los primeros, que esto tiene vinculación

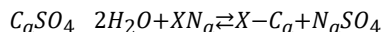
con la precipitación de los carbonatos. Otros autores afirmaron que esa acción depende del método de aplicación y de la forma en que se efectuó el lavado. Según Prather (1978), este enmienda ha sido el más utilizado por su bajo costo mientras que Gobran & Miyamoto (1985), lo atribuyen a su posibilidad para mejorar la calidad del agua y prevenir la sodificación del suelo. Un gran número de investigaciones han mejorado la efectividad del yeso cuando este se combina con la labranza del suelo, entre ellos Aziz (1999). efectividad del yeso cuando este fue aplicado en la superficie mezclado con el suelo antes del lavado. En resumen, las principales características del yeso y del escenario agrícola que explicarían las buenas perspectivas de demanda del  $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$  para el mercado agrícola y los problemas de los suelos sódicos (Pizarro, 1985) La aplicación de yeso como corrector de pH de los suelos alcalinos es la forma más generalizada de utilización de este mineral. La presencia de los suelos sódicos es una limitante muy importante para la productividad de los cultivos, tanto en zonas áridas, semiáridas así como en regiones húmedas. Los suelos sódicos se caracterizan por tener niveles de pH superiores a 8.5 y niveles de conductividad eléctrica menores de 4 dS/m. también existen los suelos salinos-alcalinos, que además de tener un pH superior a 8.5, tienen un CE superior a 4dS/m. La aplicación de yeso permite desplazar el sodio absorbido en las arcillas del suelo. Una vez que la enmienda entra en contacto con la masa del suelo, comienza a reaccionar y actuar el efecto del yeso como corrector. Luego de la aplicación se produce una reducción progresiva del pH como consecuencia del fenómeno de intercambio iónico a nivel de las arcillas. El  $\text{Ca}^{2+}$  aportado por el yeso, por tener preferencia de adsorptividad y además por un efecto de concentración (incremento de la concentración de iones  $\text{Ca}^{2+}$  provocado por la aplicación de la enmienda), va reemplazando progresivamente a los cationes de sodio. Por ello, para lograr la rehabilitación del suelo, es necesario que el sulfato de sodio generado en la reacción de

Tabla 8. Método de aplicación de yeso, (Boroto *et al.*, 1980)

Riego	Drenaje	Profundidad manto freático	Mét. De aplicación del yeso
Con riego	Con drenaje artificial	Fluctuante	El yeso debe aplicarse preferentemente a los 30 cm y labores superficiales hasta lograr un hecho de siembra adecuado; posteriormente, a los 5-10 días aplicar agua hasta la capacidad de campo. El drenaje debe asegurar la no intervención del manto freático en el proceso.
Con riego	Sin drenaje	1.5 m	Debe aplicarse el yeso a una profundidad de 30 cm, labores superficiales hasta lograr el lecho de siembra adecuado; posteriormente, a los 5-10 días aplicar riego elevando la norma en un 10%.
Sin riego	Sin drenaje	1.5 m	Aplicar yeso superficialmente mezclándolo bien con el suelo; ello deberá hacerse atendiendo a la curva de precipitaciones durante la primera quincena de mayo, septiembre, octubre.
Sin riego	Sin drenaje	1.5 m	No procede el ensayo.

intercambio sea lavado fuera del suelo, ya que sea a través de la acción pluvial (en zonas con balance hídricos positivos) o a través de drenaje en el caso de que sea rentable efectuarlos (Iglesias Livares, 1993).

La reacción teórica global de intercambio iónico del yeso en el suelo es:



Yeso Sodio absorbido Calcio Absorbido Sulfato de sodio (drenaje)

La dosis de aplicación de la enmienda depende de varios factores, entre ellos el tipo de suelo (textura y capacidad de buffer), Origen de alcalinidad (genético, antrópico, etc.), nivel de PSI (Porcentaje de Sodio Intercambiable) y objetivo de reducción del mismo, Cultivo a implantar etc. La cantidad de enmienda de yeso aplicar se puede estimar en forma teórica mediante la siguiente expresión:

$$DT = (PSI - PSI_f) \times CIC \times P_e \times h \times da \times 100$$

Donde:

Dt: dosis teórica del mejorada, en kg ha<sup>-1</sup>

PSI: PSI inicial, en %

PSI<sub>f</sub>: PSI final, en %

CIC: capacidad de intercambio catiónico, en cmol kg<sup>-1</sup>

H: profundidad del terreno en cm

Da: densidad aparente del suelo

La CIC es la capacidad de intercambio de cationes de suelo, el PSI inicial es el porcentaje de sodio intercambiable determinado antes de realizar la corrección de pH y el PSI final es el porcentaje de sodio intercambiable objetivo, que dependerá del tipo de agro-sistema (suelo, cultivo, etc) pero que el valor deseado es habitualmente 10 y tomando como área de incorporación los primeros 20cm de suelo, la necesidad de yeso sería:

a- Cálculo de cmol de yeso

$$Yeso (cmol \text{ kg}^{-1}) = 16(20 - 10) = 1.6 = cmol / 100g \text{ de suelo}$$

b- Estimación de Necesidad de Yeso

$$Yeso (kg \cdot ha^{-1}) = 860 \times 10^{-6} \times 2.6 \times 10^6 \times 1.6$$

$$Yeso (kg \cdot Ha^{-1}) = 3577$$

Es relevante resaltar que este requerimiento es teórico y se debería considerar una eficiencia del 60-75% de remplazo del sodio intercambiable y además es necesario ajustar según la pureza del producto ya que las fórmulas presentadas consideran a un yeso puro. Por ello, la dosis real de aplicación es superior a la estimada por las fórmulas consignadas (necesidad teórica) En términos orientativos podríamos establecer como rango más usual de dosis de aplicación entre 2-4 toneladas/ha en corrección de pH de suelos

alcalinos. Las oportunidades y formas de aplicación varían notablemente, pero en términos generales se procura realizar anticipadamente a la implantación del cultivo (por lo menos 3-4 meses según el ambiente) y se debe lograr una cierta incorporación del yeso con el suelo mediante el tipo de laboreo superficial. Para optimizar la reactividad de la enmienda con el suelo es deseable un tamaño de partículas más bien fina. También es imprescindible lograr una buena distribución del producto lote. La frecuencia de aplicación dependerá fundamentalmente del tipo de suelo y del origen del sodio dentro del sistema. El mejor resultado en Cuba para la obtención efectiva de mejoradores químicos.

### Experimento 7. Uso de la dolomita en naranja

La dosis entre 2 y 4 tha-1 en suelos arenosos de pH bajos, aumentaron la disponibilidad de Mg en los primeros 20cm, al igual que el pH, trayendo como consecuencia el aumento de Mg en las hojas. En los suelos de Manicaragua utilizando diferentes mejoradores minerales se emplearon compost 4tha-1+ Dolomita 2 tha-1, además de la zeolita sola a razón de 4tha-1 se logró un aumento significativo del pH, y un mejoramiento en la estructura del suelo. Se realizó un trabajo en condiciones controladas probando niveles de 0-10 tha-1 en los suelos Oscuros Plásticos. Los resultados obtenidos demuestran que la Mejor respuesta en el suelo se logra con niveles de 4tha.) En estudios sobre la efectividad de la Dolomita en el mejoramiento de los suelos oscuros plásticos obtuvieron que la aplicación de desde niveles de 2 tha-1 dolomita mejora sustancialmente las condiciones químicas del suelo estudiado, aumenta la reacción del suelo, los contenidos de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O asimilables y la Materia Orgánica del suelo. Del cálculo a partir de las relaciones entre dosis de Dolomita y rendimiento de caña (tha-1) obtuvieron que la dosis óptima agronómica es 3.76 tha-1 y la dosis óptima económica de 3.24 tha-1. Los efectos de la dolomita y sus Combinaciones se reflejan hasta los 40cm de profundidad, lo cual contribuye al aumento de la profundidad efectiva. En nuestro estudio se encontró como mejor respuesta la de 2t/ha.

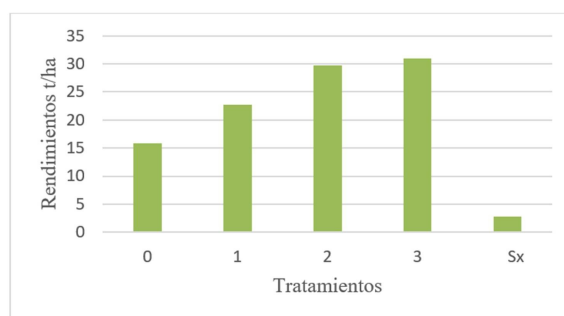


Gráfico 6. Efecto de la Dolomita sobre el rendimiento de la naranja

## CONCLUSIONES

1. En general los suelos estudiados presentan rangos de fertilidad de muy baja a baja, en todos sus índices.
2. La mejor dosis a aplicar de magnesita fue de 180 g/árbol/año la cual mejoró las relaciones de K/Mg y Ca/Mg.
3. La mejor dosis de cal agrícola correspondió a 2.5 t/ha y la caliza fosfatada a 0.7t/ha
4. El yeso agrícola puede emplearse en suelos sódicos
5. La mejor dosis de Dolomita correspondió a 2/ha
6. La zeolita incrementó los índices foliares al comparar los tratamientos y el testigo.
7. 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 y 3,00 mm fue el que obtuvo los mejores resultados al incrementar en mayor medida el pH y los contenidos de  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  y  $\text{K}^{+}$  y presentar menor retención de  $\text{Na}^{+}$ . Tamaños de partículas mayores no incrementaron la CIC con respecto al testigo mientras que tamaños más pequeños no redujeron suficientemente la volatilización del nitrógeno.
8. Al incrementar las dosis de zeolita se incrementaron los rendimientos en materia seca del cultivo indicador para todos los suelos estudiados. Los incrementos encontrados con la mayor dosis (9,38 g  $\text{kg}^{-1}$ ) estuvieron entre el 15% y el 27%.
9. La aplicación de zeolitas incrementó el pH de los suelos estudiados así como los niveles de bases intercambiables favoreciendo su fertilidad y reduciendo las pérdidas por lixiviación. Sin embargo, al ser materiales que suministran el ion sodio, su aplicación periódica debe ir acompañada.

## BIBLIOGRAFÍA

Arangón, C. 1983. Enmiendas de suelos salinos-sódicos del área de placetas a nivel de laboratorio y análisis preliminar en Guatemala. Tesis Lic. Científica universidad de Agronomía en San Carlos de Guatemala, 104 pp.

Aziz, M.A. 1999. Effect of different reclamation process on some chemical properties of saline alkal, Soil annals of Agr. Se. 36 (1): 295 - 305.

Beatriz, A. & Duggan, E. 2004. Comparative evaluation of sur face concentrated versus internally incorporated calciumchloride and gypsum in alkali Soil. Soil Sei. 146 (4): 277-283.

Berenguer, T. 1996. Ventajas de la utilización del yeso agrícola. Revista Voces / agricultura Edit. Fertilizantes, Argentina: 18-19.

Borroto, M. Stosharov, V Deli, I, Villavicencio R & Alasá D. 1984. Esquema preliminar de suelo salino. La Habana, Instituto de Investigaciones de Suelos y Agroquímica, Ministerio de la Agricultura pp. 10-15.

Borroto, M; I, Villavicencio & Alasa, D. 1980. Informe final resultado 004-1432, Cuba: Instituto de Suelos, 88 p.

Casanova, E. 2005. Fertilizantes y enmiendas de origen Mineral en Venezuela. Jornada Técnica sobre los minerales y el uso en la agricultura, Cetem (1): 17-23.

Casanova, E. & Toro M. 2002. The use nuclear abed relates techniques for evaluating the agronomy effectiveness of phosphate fertilizer in particular, rock phosphate in Venezuela. Ed IAEA-TECDOC 1272: 93-100.

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 transportmechanisms in a silty-clay soil amended with natural zeolites. Catena, 123: 195 - 204.

Costafreda, J.L. 2014. Tectosilicatos con características especiales: las zeolitas naturales. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía. Universidad Politécnica de Madrid. Editorial Fundación Gómez Pardo: Madrid. 26p. Available:< [oa.upm.es/32548/1/Tectosilicatos\\_Costafreda.pdf](http://oa.upm.es/32548/1/Tectosilicatos_Costafreda.pdf)>, [Consulted: May 6, 2023]

ECURED: Directivas del plan de desarrollo de la Isla de la Juventud hasta el año 2020. Available: < [http://www.ecured.cu/index.php/slc\\_juventud](http://www.ecured.cu/index.php/slc_juventud) >, [Consulted: May 10, 2023]

EMBRAPA. 2023. Available: < <http://www.Cobreg.cupm.embrapa.br/resue-ta/Brasil/legbr.htm;2003> [Consulted: May 10, 2023]

EspecieS.C., Baptista, M., Gómes, P.S., Polidoro, J.C., 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 byvolatilization in aqueous solutions. Sensors and actuators B: Chemical 212: 35 - 40.

Etchevenny, R. 2000. Depósitos de yeso, en recursos minerales de la República Argentina. IGRM, SEGEMAN, Anexos 35: 1091-1093, Buenos Aires, Argentina.

Fernández, L.C., Rojas, N.G., Roldán, T.G., Ramírez, M.E., Zegarra, H.G., Uribe, R., Reyes, R.J., Flores, D. & Arce, J.M. 2006. Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados. México D.F.:

- Instituto Mexicano del Petróleo. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales e Instituto Nacional de Ecología. Editorial del Deporte Mexicano, 182p.
- Flórez Macías, A., Galvis, A. Hernández, T.M., De León, F. & Payán, F. 2007. Efecto de la adición de zeolita /Clinoptilolita y modernita) en un andosol sobre el ambiente químico edáfico y el crecimiento de la avena. *Rev. Ciencia Tecn. América*, 32(10): 692 - 696.
- Forber, T & F Ortega. 1985. Aumento de la salinidad y empantanamiento en la zona oriental del valle de Guantánamo vinculado con el incremento del riego. III Jornada Científica, La Habana: Instituto de suelos, pp. 357-362.
- Fuente, C., Salazar A. & Obregón, P. 2000 Rocas y Minerales industriales en el Salvador. CITED Iberoamerica, pp.66.
- 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.
- Gambando, S: Minerales para la sostenibilidad de los sistemas agropecuarios. [Http/ www: planeta Soja](http://www.planeta-soja.com). Como primer trabajo 800, Argentina 2006.
- Gobran, G, R & S. Miyamoto. 1985. Dissolution rate of gypsum in aqueous salt solutions. *Soil. Sei* 140 (2): 89-95.
- Godínez, J. 2003. Los fertilizantes y enmiendas de origen mineral edic. *Panorama Minero*, 283 pp.
- Gupta & Singh. 1986. Al evacuar la efectividad del yeso y del cloruro de calcio, usados solos o combinados, encontraron que ambos influyeron sobre el pH, sodicidad, conductividad eléctrica y en la permeabilidad, destacándose la mayor efectividad del yeso en los cambios del PSI.
- Gupta, R & P. Abrol. 1990. Salt affected soils their reclamation and management for crop production. *Adv soil Sci* 11:223-288.
- Harris, P. 2001. A field day for minerals. *Industrial Minerals*, 25 p.
- Hernández, A. 1986. Regionalización geográfica de los suelos de Guantánamo con elementos de mejoramiento para la caña de azúcar (archivo) Instituto de Suelos, 34 pp.
- Iglesia, R & Olivares, A. 1993. Recuperación de un suelo salino-sódico utilizando yeso y fuentes de fosfoyeso y su incidencia sobre el desarrollo de la yuca. Tesis de grado, Venezuela: Universidad Central de Venezuela, Departamento de edafología, 144 pp.
- Instituto de Suelos. 2001, La Habana, Cuba.
- Jha, V. K.; Hayashi, S. & Hazard, J. 2009. Modification on natural clinoptilolite zeolite for its NH<sub>4</sub><sup>+</sup> retention capacity. *Mater*. 169 (1-3): 29 - 35.
- Juventud Rebelde. 2010. Diversificar la agricultura es propósito clave en la Isla de la Juventud. Available: < [http. /www juventud rebelde.cu/Cuba/ 2010](http://www.juventud-rebelde.cu/Cuba/2010) >, [Consulted: February 10, 2023]
- Khosla, B, K & P. Abrol. 1972. Effect of gypsum fineness on the composition of saturation extract of saline sodic. *Soil. Sei*, 113 (3): 204-206.
- Kolyagin, Yu, S. & O. A. Karasev. 1999. Root nutrition and the quality of sugar beet. *Bulgaria. Sakharnaya Svekla*, 6:11-12.
- Korda, V. 1980. Land aridization and drought control westview special studies in natural resource and energy management. westview Press, inc. Boulder, Colorado.
- Lamoru, G. 1980. Formación de Suelos. Conferencia impartida en la primera Reunión Nacional de Suelos Salinos. Cuba. P. 13-18.
- Lara C. & W.A.R. 1980. Trivelin, P.C.O. 1997. Eficiencia de un colector semi-abierto estático no cuantificado de N-NH<sub>3</sub> volatilizado da urea aplicado a un suelo. *Revista brasileira de ciencia do solo* 14:481-487.
- Llerena, F. H., Becerra A. & Velázquez. 1988. Recuperación extensiva de suelos altamente salinos - sódico del lago de Texcoco, *Terra*, 4(2):173-179.
- 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.
- Malekian, R, Koupai, A & Eslamian. Y. 2011. Influences of clinoptilolite and factant-modified clinoptilolite zeolite on nitrate leaching and plant growth. *JH. Mater*, 185: 970-976.
- Martínez, G & Walthall, P. 2000. *Terra*, 18 (3) 187-197.
- Mengel, K. & Kirby, E. 2000. Principios de nutrientes vegetal, 4nd ed., Suiza: Instituto Internacional de Potasa, Basilea 607 p.
- Millán, G., Agosto, F., Vásquez, L., Botto, L., Lombardi, L. & Juan, L. 2008. Uso de clinoptilolita como un vehículo de fertilizantes nitrogenados en un suelo de la región Pampeana de Argentina. *Cien. Inv. Agr*. 35(3): 293-302.
- Mogollón, P. 2002. Aplicación de yeso en la agricultura. Instituto de Tecnología Minera. Venezuela. *Revista SEGEMAR*: 68-72.
- Morejón, L. Pozo, C & Gandarilla, J. 1995. Informe del resultado 01305004-02 (inédito). Cuba: Instituto de Suelos.
- Pozo, C & Vallin, G. 1994. Informe del resultado 01305004-03 (inédito). Cuba: Instituto de Suelos.
- Nadlen, A & N. Margaritz. 1986. Long - term effect of extensive gypsum adment on soil properties and soil solution chemical composition *Soil. Sei*, 142 (2): 192-202

- Niborski, M. 2000. El exceso de sales de sodio en los suelos de las regiones áridas y semiaridas. Cátedra de Manejo y conservación de Suelos. Facultad de agronomía de la universidad de Buenos Aires 19pp.
- Instituto de Suelos de Cuba. 1996. NRAG 879.88. Norma Ramal de Análisis Químicos de Suelo, Cuba.
- Instituto de Suelos de Cuba. 2010. NRAG/CNTN-05. Norma Ramal de análisis foliares, Cuba.
- Organización Veracruzana de la Toronja. 2015. Agrotécnica de la Toronja. Available: < [http://www.org/agricultural/frutales, toronja/html](http://www.org/agricultural/frutales/toronja/html) >, [Consulted: February 12, 2023]
- Ortega, S., Forbes, T & Lamoru, G. 1983. El avance de la senilidad en el Valle de Guantánamo área de la empresa cañera Paraguay. Informe interno. Cuba: Instituto de suelos, A.C. 11 p.
- Pérez, J., Cabrera, R & García, J. 1990. Determinación de parámetros para el lavado de suelos salinizados del valle de Guantánamo. Inf. Parcial. Cuba: ECICARA, MINAZ. INICA, 48p.
- Pizarro, F. 1985. Drenaje agrícola y Recuperación de Suelos Salinos. Madrid. Agrícola Española, 542 p.
- Pizarro, F. 1985. Drenaje agrícola y recuperación de Suelos Sódicos, Madrid. Agrícola Española 155 p.
- Ponce, M & Torres Duggan. 2006. Yeso en Minerales para la agricultura. Argentina, Univ. Nac. De San Martín: Latinoamérica Ed. Nelson, H CytEA, 12T, 188 p.
- Prather, R. J. 1978. Efficient amendment use sodic soil reclamation. *Soil Sei. Soc. Am. J.*, 42 (5) 782 - 786.
- Proaño, G & Jarrin, J. 2000. Rocas y Minerales industriales. Iberoamérica, CITED, 72p.
- Rajan, S, Brown, M, Boyes, M & Upsdel. 1996. Extractable phosphorus to predict agronomic effectiveness of ground and urground phosphate rocks fert. Res., 32: 291-302
- Sagar, S. 2013. Monografía Toronja. Veracruz: México Available: < [http. www.Stacon.Sagarpa gob.mx](http://www.Stacon.Sagarpa.gob.mx) html>, [Consulted: February 12, 2023]
- Soca M., Castellanos J. & Febles J. 2004. Efecto de la zeolita en la eficiencia de los fertilizantes químicos, fertilizantes y enmiendas de origen mineral. Buenos Aires, Argentina. *Panorama Minero* 14:261-268.
- United Nations Industrial Development Organization and international Fertilizer Development Center (IF DC). 1998. Fertilizer manual. 615 pp.
- Zaman, M. & Nguyen, M.L. 2010. Effect of lime or zeolite on N<sub>2</sub>O and N<sub>2</sub> 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. *Academia de Ciencias de Cuba: Conferencia sobre Suelos Salinos en Guantánamo* pp. 3-9. 1978, Cuba.