

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Efectos de la caliza fosfatada sobre la estructura y calidad de vertisoles bajo caña de azúcar

Effects of phosphate limestone on structure and quality under sugarcane vertisoles

Pedro Cairo Cairo¹, Joaquín Machado de Armas², Pedro Torres Artiles², Alianny Rodríguez Urrutia², Oralia Rodríguez López² y Rafael Jiménez Carrazana²

¹Universidad de Atacama. CRIDESAT (Centro Regional de Investigaciones y Desarrollo Sustentable de Atacama) Copayapu 485, Copiapó, Chile, CP 1530000

²Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP), Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas (UCLV). Carretera a Camajuani km 5 ½. Santa Clara, Villa Clara, Cuba, CP 54830

Emails: pedro.cairo@uda.cl ; aliannyru@uclv.edu.cu; oralialr@uclv.edu.cu

RESUMEN

El trabajo se desarrolló en áreas cañeras de Vertisoles de la costa norte de la provincia de Villa Clara, municipio de Sagua la Grande, Cuba, para evaluar la efectividad de la caliza fosfatada y sus combinaciones con fertilizantes y abonos orgánicos sobre la estructura y calidad de Vertisoles cultivados con caña de azúcar. Se realizó un experimento con niveles de caliza fosfatada y combinaciones de abonos orgánicos (compost, cachaza) y fertilizantes (NPK). El diseño empleado fue bloques en franjas. Se utilizaron los datos de análisis de suelos realizados a la profundidad de 0-20 y de 20 -40 cm a los 36 meses después de aplicados los tratamientos. Se evaluaron los siguientes indicadores: Materia Orgánica, Agregados Estables, Factor de Estructura, Permeabilidad, Valor T, Cationes Cambiables, Índice de Calidad del Suelo y Rendimiento de la Caña de Azúcar. La Caliza Fosfatada y sus combinaciones con abonos orgánicos manifestaron efectos positivos significativos sobre la estructura del suelo, tanto en la capa superficial como en el subsuelo, con impacto residual en el tiempo hasta los 36 meses. Los resultados obtenidos demuestran la estrecha relación existente entre caliza fosfatada y sus combinaciones con abonos orgánicos, el Índice de Calidad de Suelo Aditivo, el rendimiento de Caña de Azúcar y su impacto económico.

Palabras clave: estructura, índice de calidad del suelo, materia orgánica, rendimiento, *Saccharum*, vertisol

ABSTRACT

The work was developed in sugarcane areas of cuban vertisols of the north coast of the province of Villa Clara municipality of Sagua la Grande, with the aim of evaluating the effectiveness of phosphate limestone and their combinations with fertilizers and organic manure on the structure and

quality of vertisols under sugarcane cultivation. An experiment with phosphate limestone levels and combinations with organic manure (compost, filter cake) and fertilizers (NPK) was carried out on a wasstrip-block design. A soil analysis was performed at the depth of 0-20 and 20 -40 cm 36 months after the application of treatments. Organic matter, stable aggregates, factor structure, permeability, T value, exchangeable cations, index soil quality and productivity of sugarcane were evaluated. Phosphate limestone and there combinations with organic manures manifested significant effects on soil structure both in the surface layer and subsurface with residual impact over time to 36 months. The results show the close relationship between phosphate limestone and there combinations with organic manures on soil quality index additive, yield of sugarcane and economic impact.

Keywords: structure, soil quality index, organic matter, yield, *Saccharum*, vertisol

INTRODUCCIÓN

Cuba posee conocimientos geológicos y grandes reservas de minerales tipo zeolitas, calizas fosfatadas, bentonitas, carbonatos, dolomitas, caliza dolomítica, tobas potásicas, los cuales tributan a la agricultura y constituyen fortalezas para brindar alternativas de fertilización y mejoramiento en las acciones de transformación del ambiente natural, con el fin de lograr condiciones más favorables para el suelo y el desarrollo de los cultivos (Velázquez- Garrido *et al.*, 2013). El empleo de minerales naturales de fuentes ricas en calcio y fósforo siempre han sido prioridad para suelos ácidos de baja fertilidad natural (Osorno, 2012; Castro y Muneva 2013; Ayodele y Shittu, 2014); sin embargo se ha comprobado que su utilización en suelos con limitaciones físicas y alta fertilidad natural, como los Vertisoles puede ser de gran interés práctico y económico (Lugones y Torres, 1996).

La Calidad de los Vertisoles está muy limitada por problemas de degradación estructural, procesos de acidificación debido al uso inadecuado de fertilizantes, compactación por el uso continuo de la mecanización en las cosechas de Caña de Azúcar (Hernández *et al.*, 2015; Cairo *et al.*, 2017). Estos suelos son extremadamente plásticos y de mal drenaje con una alta capacidad de absorción de agua y una mala distribución del agua y el aire. A medida que se profundiza en el sustrato el aire es menor por lo que las raíces de la caña se desarrollan hasta una profundidad de 25 cm (Vidal *et al.*, 1997; Hernández *et al.*, 2015). Esto trae como consecuencia que la planta no pueda tomar los nutrientes necesarios que se encuentran disponibles en el suelo por lo que hay menor crecimiento y rendimiento en las cosechas.

Los objetivos de la investigación están dirigidos a evaluar la efectividad de la caliza fosfatada y sus combinaciones con fertilizantes y abonos orgánicos sobre la estructura y calidad de Vertisoles cultivados con caña de azúcar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y descripción del área de estudio

Este trabajo se realizó en el Centro de Investigaciones Agropecuarias adjunto a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Para ello se realizó un experimento en la Estación Experimental “Jesús Menéndez” del municipio de Sagua la Grande, perteneciente a la Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de azúcar (ETICA) de Villa Clara, durante abril 1999 hasta marzo 2002. La mayor parte del área de estudio está representada por Vertisoles, dentro de ellos predominan el Vertisol Pellico (Hernández *et al.*, 2015). Las lluvias anuales alcanzan el valor de 1150 mm como promedio.

Descripción del Experimento

Los tratamientos fueron:

1. Control
2. NPK (100-60-200 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente)
3. 2 t ha⁻¹ de caliza fosfatada
4. 4 t ha⁻¹ de caliza fosfatada
5. 6 t ha⁻¹ de caliza fosfatada
6. 4 t ha⁻¹ de caliza fosfatada + K (200 kg ha⁻¹ de K₂O)
7. 4 t ha⁻¹ de caliza fosfatada + N y K (100 y 200 kg ha⁻¹ de N y K₂O, respectivamente)
8. 4 t ha⁻¹ de caliza fosfatada + NPK

(100-60-200 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente)

9. 4 t ha⁻¹ de caliza fosfatada + 15 t ha⁻¹ de cachaza

10. 4 t ha⁻¹ de caliza fosfatada + 4 t ha⁻¹ de Compost

Se utilizó como cultivo la Caña de Azúcar, variedad Cuba 323-68. La caliza fosfatada se aplicó al suelo en bandas unidas con las diferentes alternativas. El trabajo se realizó en un área de 0,29 ha con 4 réplicas. El diseño experimental utilizado fue bloques en franjas. El muestreo de suelo se realizó en todos los tratamientos a la profundidad de 0-20 y de 20-40 cm, pasados 36 meses de su aplicación.

Descripción de los métodos de análisis utilizados

Análisis físicos

- Coeficiente de la Permeabilidad (Log10K): Se realiza según el método de Henin *et al.* (1958)
- Factor Estructura % (FE): según Vageler y Alten (1931)
- Agregados Estables % (AE): por el método de Henin *et al.* (1958)
- Límite Inferior de Plasticidad (LIP): Se determinó por el método de los rollitos de Atterberg (% humedad base suelo seco, hbss).

Análisis Químicos

- La materia orgánica (MO): se determinó por colorimetría según Walkley y Black
- Valor T: El método de Schaschtschabel, el cual utiliza una solución extractiva de acetato de amonio NH₄(C₂H₃O) 1N regulando el pH=8,5 para lixiviar los cationes cambiables del suelo
- K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ intercambiable: por extracción con acetato de amonio según Schaschtschabel, posterior determinación de K⁺, Na⁺ por fotometría de llama y Ca²⁺ Mg²⁺ por complejometría (Versenato)
- Valor S= suma de las bases cambiables (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺)
- Valor V= según la igualdad

$$V = \frac{S}{T} \times 100 \quad (1)$$

Determinación del rendimiento agrícola e industrial

Se determinaron diferentes indicadores del crecimiento de la caña al nivel de las réplicas y los tratamientos, como son altura de la caña, número de tallos totales por metros lineales y grosor del tallo. Se determinó también indicadores del rendimiento agrícola e industrial, t ha⁻¹ de caña sobre la base del peso de 10 cañas de cada réplica y tratamiento así como su Brix, Pol, Pureza y rendimiento. Se utilizaron los datos de primera cosecha de Caña Planta.

Procedimiento estadístico

Para el procesamiento estadístico se utilizó el paquete Statgraphics Plus ver. 4.1 sobre Windows 2000. Se aplicó ANOVA de clasificación simple con la prueba de comparación de medias Duncan. Se establecieron regresiones de las propiedades estudiadas.

Índice de la Calidad del suelo

El Índice de Calidad del Suelo utilizado en la presente investigación se basa en el trabajo de Andrews *et al.* (2002). Para obtener el Índice de Calidad de suelo, las observaciones de cada variable fueron transformadas a una escala de 0-1. El Índice de Calidad de Suelo Aditivo (ICSA) fue la sumatoria de las puntuaciones de las variables. Se asumió que una puntuación alta significaba una mayor Calidad del Suelo.

Evaluación económica

Se realizó una evaluación económica de los resultados utilizando para ello las fórmulas:

$$VI(USD) = IP \times PV \quad (2)$$

$$G(USD) = VI - C_t \quad (3)$$

donde,

- VI: Valor Incrementado (USD)
- IP: Incremento Pol
- PV: Precio de venta (USD)
- G: Ganancia (USD)
- VI: Valor Incrementado (USD)
- C_t: Costo total

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Caliza Fosfatada y sus relaciones con el Calcio y la Estructura del Suelo

Cairo y Fundora (2005) declararon la presencia de suelos Vérticos ácidos en la zona de estudio,

algo muy particular de esta Región y en Cuba por lo que la aplicación de Caliza Fosfatada puede tener efectos sobre la cantidad de calcio y a la vez, sobre la estructura, considerando un estado de dispersión inicial extremo. La Tabla 1 evidencia estadísticamente las relaciones entre los niveles de caliza fosfatada con el calcio y los indicadores de la estructura. Los valores de R^2 y P Valor oscilan de 0,63 a 0,81 y de 0,005 a 0,0001 respectivamente. La presencia de calcio en la caliza fosfatada puede tener una influencia importante en la formación de los agregados del suelo y en los procesos de descomposición y mineralización de la materia orgánica (Osorno, 2012). Chilon y Chilon (2014) demuestran, con la utilización de la Harina de Roca y Compost, la efectividad de estas medidas para lograr

un mejor balance del pH y el calcio, en la recuperación de la estructura y la fertilidad de suelos andinos del altiplano boliviano.

Influencia de la caliza fosfatada y sus combinaciones con abonos orgánicos y fertilizante sobre la estructura del suelo

Tanto los diferentes niveles de caliza fosfatada, así como sus combinaciones con fertilizantes y abonos orgánicos manifiestan respuestas significativas en la recuperación de la estructura del suelo tanto en las profundidades de 0-20 como de 20-40 cm aún 36 meses después de aplicado los tratamientos (Tablas 2 y 3). La presencia de calcio en la Caliza Fosfatada puede tener una influencia importante para la formación de los agregados del suelo (Osorno, 2012). Es

Tabla 1. Relaciones entre diferentes niveles de caliza fosfatada con el calcio intercambiable e indicadores de la estructura del suelo

Propiedades	R^2	P
Calcio $\text{cmol}^{(+)} \cdot \text{Kg}^{-1}$	0,78	0,0003
Suma de las Bases $\text{cmol}^{(+)} \cdot \text{Kg}^{-1}$	0,63	0,005
Calcio % de T	0,81	0,002
Agregados Estables (%)	0,78	0,0004
Factor de Estructura (%)	0,75	0,001
LIP % Hbss	0,80	0,0001

Tabla 2. Efecto de los tratamientos sobre algunos indicadores del estado estructural del suelo estudiado a los 36 meses (profundidad 0-20 cm)

Tratamientos	FE	AE	Perm.	LIP
	%	%	Log10k	%hbss
1	62,97ce	57,29d	1,43f	31,3j
2	62,66e	57,61d	1,64e	33,51i
3	64,78dc	63,81abc	1,93ab	36,15h
4	65,18d	61,35c	1,79d	36,27g
5	67,09c	64,92ab	1,95ab	36,29f
6	64,48dce	63,52bc	1,81d	36,74e
7	64,35dce	61,59c	1,85cd	36,98d
8	69,70b	64,67ab	1,85cd	37,7c
9	72,29a	64,59ab	1,96a	37,76b
10	71,36ab	66,50a	2,03a	38,1a
E.E. (\bar{X})	$\pm 0,63$	$\pm 0,95$	$\pm 0,04$	$\pm 0,05$

*medias con letras no comunes en una misma columna difieren por Duncan a $p < 0,05$

Tabla 3. Efecto de los tratamientos sobre algunos indicadores del estado estructural del suelo estudiado a los 36 meses (profundidad 20-40 cm)

Tratamientos	FE %	AE %	Perm. Log10k	LIP %hbss
1	57,81e	54,39e	1,47g	29,58e
2	55,90f	52,78f	1,65ef	29,98e
3	64,53d	62,03bcd	1,57fg	36,90bc
4	64,67d	59,72d	1,75de	37,41ab
5	67,08c	63,64ab	1,93bc	36,03cd
6	63,75d	66,25abcd	1,80cd	35,08d
7	64,33d	60,31cd	1,82cd	36,25bcd
8	69,72b	62,81abc	1,83cd	36,00cd
9	72,28a	64,17ab	2,08a	38,54a
10	71,35ab	64,81a	1,97ab	37,45ab
E.E. (\bar{X})	±0,66	±0,84	±0,04	±0,39

*medias con letras no comunes en una misma columna difieren por Duncan a $p < 0,05$

de resaltar que el mejoramiento estructural llega hasta la profundidad de 20-40 cm y esto sugiere que puede haber un efecto correspondiente en el drenaje subsuperficial. Es importante señalar que desde el punto de vista práctico las cantidades de material utilizado para lograr un efecto sobre la estructura del suelo y subsuelo en este tipo de suelo son reducidas, con impacto residual en un largo periodo de tiempo. Vidal (1997) refiere la posibilidad de la aplicación de cachaza y ceniza de forma localizada para mejorar el subsuelo en los Vertisoles y contribuir a la disminución de las aguas superficiales. Se han comprobado resultados similares por algunos investigadores como Lugones *et al.* (1996). Las investigaciones sobre el tema se han dirigido a suelos ácidos fundamentalmente, pero de arcillas no dilatables (Ayodele y Shittu 2014).

Efectos de la caliza fosfatada y sus combinaciones con abonos orgánicos sobre la calidad del suelo y el rendimiento de la caña de azúcar

Con la utilización de la metodología propuesta por Andrews *et al.* (2002) se aprecia que en esta escala de 0 a 1, los valores más altos están presentes en los tratamientos que contienen materiales orgánicos o las combinaciones órgano-minerales, en comparación con el Control sin fertilización o la fertilización química. Este resultado evidencia un aumento de la Calidad del Suelo objeto de estudio (Tabla 4). Los indicadores seleccionados como indicadores de calidad tienen en cuenta los resultados obtenidos por Cairo *et al.* (2010) y Rodríguez (2000). Los

estudios de Ali *et al.* (2014) que utilizó compost mezclado con roca fosfórica y otras alternativas de mejoramiento, aportaron resultados significativos sobre las propiedades del suelo así como en el rendimiento del cultivo de referencia, lo cual concuerda con los resultados de esta investigación. Díaz *et al.* (2010); Cairo *et al.* (2017) han utilizado minerales naturales para evaluar la calidad de suelos Pardos Sialíticos y Vertisoles respectivamente con resultados significativos desde el punto de vista económico y sobre el rendimiento de la caña de azúcar. En la Tabla 5 se aprecia que todas las variantes con caliza fosfatada o sus combinaciones con abono orgánico logran incrementar los rendimientos de Pol ha^{-1} respecto al control y NPK con ganancias que oscilan entre 1471 y 1953 USD ha^{-1} . Cairo *et al.* (2012) trabajando con otros mejoradores orgánicos y minerales han obtenido incrementos en Pol de 3 y 4 t ha^{-1} en suelos bajo las mismas condiciones, esto reafirma las ventajas económicas que pueden tener el uso de estas alternativas. Por otra parte Lal (2015) señala que la vía para lograr la estabilidad de la producción agrícola sustentable es a través del monitoreo de la calidad del suelo.

CONCLUSIONES

Se pudo comprobar las estrechas relaciones entre los niveles de caliza fosfatada con el calcio y la estructura del suelo.

La aplicación de caliza fosfatada y sus combinaciones con abonos orgánicos tuvo

Tabla 4. Caliza Fosfatada y sus combinaciones con abonos orgánicos sobre el Índice de Calidad del Suelo

Tratamiento	Índice de calidad del suelo para el parámetro				ICSA
	MO	AE	FE	Perm	
Control	0,73	0,86	0,87	0,70	3,16
NPK	0,74	0,86	0,86	0,80	3,26
CF 2 t ha ⁻¹	0,74	0,95	0,89	0,95	3,53
CF 4 t ha ⁻¹ +Ca 15 t ha ⁻¹	1,00	0,97	1,00	0,96	3,93
CF 4 t ha ⁻¹ + Co 4 t ha ⁻¹	0,84	1,00	0,98	1,00	3,82
Efecto sobre el suelo	Mayor es mejor				

CF-Caliza Fosfatada, Ca-Cachaza, Co-Compost

Tabla 5. Caliza Fosfatada y sus combinaciones con abono orgánico sobre la Calidad del Suelo rendimiento y su impacto económico

Manejo de Suelo	ICSA	Costo total	Incremento del Pol (t ha ⁻¹) respecto a T	Valor del incremento	Ganancia
Control	3,16	0	0,00	-	-
NPK	3,26	295	3,26	1010,60	715,60
CF 2 t ha ⁻¹	3,53	80	6,56	2033,60	1953,60
CF4 t ha ⁻¹ + Ca15t ha ⁻¹	3,93	265	5,60	1736,00	1471,00
CF4t ha ⁻¹ +Co4t ha ⁻¹	3,82	320	5,93	1838,30	1518,30

*Precio de 1 t de Pol 310 USD (Fuente Portal Caña Tucumán, 2016)

CF-Caliza Fosfatada, Ca-Cachaza, Co-Compost

efectos significativos sobre la estructura del suelo tanto en la capa superficial del suelo como en el subsuelo, con impacto residual en el tiempo hasta los 36 meses.

Los resultados obtenidos demuestran la estrecha relación existente entre la caliza fosfatada y sus combinaciones con abonos orgánicos, en el Índice de Calidad de Suelo Aditivo (ICSA), el rendimiento de la Caña de Azúcar y el impacto económico.

BIBLIOGRAFÍA

ANDREWS, S.S., D.L. KARLEN and J.P. MITCHELL. 2002. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 90 (2): 25 – 45.

ALI, A., M. SHARIF, F. WAHID, Z. Q. ZHANG, S. N. M. SHAH, S. ZAHEER (*et al.*) 2014. Effect of Composted Rock Phosphate with Organic Materials on Yield and Phosphorus Uptake of Berseem and Maize. *American Journal of Plant Sciences*, 5: 975-984.

AYODELE, O.J. and O.S. SHITTU. 2014. Fertilizer, Lime and Manure Amendments for Ultisols Formed on Coastal Plain Sands of Southern Nigeria. *Agriculture, Forestry and Fisheries*, 3 (6): 481-488.

CAIRO, P., B. DÍAZ and A. RODRÍGUEZ. 2017. Soil quality indicators in Vertisols under sugarcane. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 63 (11): 1477-1488.

CAIRO, P., A. DÁVILA, A. COLÁS, A. REYES y B. DÍAZ. 2012. Uso alternativo de mejo-

- radores de suelo, con énfasis en la materia orgánica y evaluación de indicadores de sostenibilidad (calidad de suelo). Informe Final del Proyecto Ramal de la Agricultura. MINAGRI, Habana, Cuba, 102 p.
- CAIRO, P., J. MACHADO, A. REYES y B. DÍAZ. 2010. Metodología para la evaluación y el monitoreo de la calidad del suelo en la Región Central de Cuba. Centro de Investigaciones Agropecuarias, Facultad de Ciencias Agropecuarias, UCLV, Cuba, 17 p.
- CAIRO, P. y O. FUNDORA. 2005. Edafología. Ed. Pueblo y Educación. La Habana, Cuba, 474 p.
- CASTRO, H. y O. MUNEVA. 2013. Mejoramiento químico de suelos ácidos mediante el uso combinado de materiales encalantes. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 16 (2): 409 – 416.
- CHILON, E. y J. CHILON. 2014. Compost alto andino e interacción con harina de rocas y su efecto en las plantas y la fertilidad de suelos. *Ciencia Agro*, 3 (1): 21- 38.
- DÍAZ B., B. BARRETO, P. CAIRO, E. PINEDA, R. MAS, F. ACOSTA, E. BECERRA, (et al.) 2010. La aplicación de fertilizantes orgánicos y minerales naturales en el cultivo de la caña de azúcar (parte II): efecto a largo plazo sobre el rendimiento y la calidad del suelo. *Centro Azúcar*, 37 (1): 35-42.
- HERNÁNDEZ, A., J. PÉREZ, D. BOSCH, y N. CASTRO. 2015. Clasificación de los suelos de Cuba. 2015. Ediciones INCA, San José de las Lajas, Cuba. 93 p.
- HENIN, S., G. MONNIER, S. HENIN and A. COMBEAU. 1958. Method pour l'étude de la stabilité structurelle des sols. *Ann. Agron.*, 1: 73-92.
- LAL, R. 2015. Restoring Soil Quality to Mitigate Soil Degradation. *Sustainability*, 7: 5875-5895.
- LUGONES, P. V. y S. A. TORRES. 1996. Estudios sobre el efecto de la aplicación de distintas dosis de caliza fosfatada sobre la fertilidad del suelo y la planta. Trabajo de Diploma, Fac. de C. Agropecuarias, UCLV, Santa Clara, Cuba. 63 p.
- OSORNO, H. 2012. Mitos y realidades de las cales y enmiendas en Colombia. Maestría en Ciencias, geomorfología y suelos. Universidad de Medellín, Colombia, 70 p.
- RODRÍGUEZ, R.M. 2000. Fertilización del frijol con roca fosfórica parcialmente acidulada en suelos Ferralíticos Rojos compactados de pH neutral. Tesis de Doctorado, Universidad de Ciego de Ávila, Cuba, 120 p.
- VAGELER, P. and F. ALTEN, 1931. Boden des nilsundGashZf. Pflanzanernh- Duingung. *Boden I. Mitteilung. A.* 21: 47-57.
- VELÁZQUEZ – GARRIDO, V., E. MONTEJO y E. ALFONSO. 2013. Alternativas de empleo de las Agromenas en la producción de alimentos. V Convención cubana de Ciencias de la Tierra, Geociencias'2013. Memorias en CD-Rom, 1 al 5 de abril de 2013. La Habana, Cuba, ISSN 2307-49.
- VIDAL, L. y A. GUTIÉRREZ, 1997. Efecto de la aplicación profunda de los mejoradores orgánicos y su combinación con drenaje subsuperficial en los rendimientos agrícolas de la Caña de Azúcar plantada en suelos pardos. III Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica, Libro de resúmenes, p. 26-27.

Recibido el 21 de octubre de 2016 y aceptado el 31 de agosto de 2017