

**La aplicación de fertilizantes orgánicos y minerales naturales en el cultivo de la caña de azúcar (parte I): efecto sobre las propiedades físicas del suelo Pardo sialítico carbonatado y el rendimiento de la caña planta.**

**The application of organic fertilizers and natural minerals in the sugar cane crop (part I): effect on the physical properties of Inceptisol soil and the yield of sugar cane crop.**

Bladimir Díaz<sup>1</sup>, Bárbara Barreto<sup>2</sup>, Pedro Cairo<sup>1</sup>, Enma Pineda<sup>2</sup>, Rafael Mas<sup>2</sup>, Fidel Acosta<sup>2</sup>, Everaldo Becerra<sup>2</sup>, Betsy Clavelo<sup>3</sup>.

1. Centro de Investigaciones Agropecuarias. Universidad Central de Las Villas, Cuba.
2. Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (ETICA), Villa Clara-Cienfuegos, Cuba.
3. Laboratorio Provincial de Suelos, Villa Clara, Cuba.

E-mail: [bladimir@uclv.edu.cu](mailto:bladimir@uclv.edu.cu)

## **Resumen**

El estudio se realizó en áreas de la Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (ETICA) sobre un suelo Inceptisol, y en el laboratorio de suelos del Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP). Se establecieron 9 tratamientos con materiales orgánicos y minerales naturales. El estado estructural del suelo fue mejorado con la aplicación de las variantes orgánicas y organo-minerales expresados en el incremento de los agregados estables, factor de estructura y la permeabilidad. La consistencia del suelo se modificó con tendencia a ser mayor el límite inferior de plasticidad en las variantes orgánicas y organo-minerales. El mayor rendimiento en Pol t.ha<sup>-1</sup> al igual que el agrícola se obtuvo cuando se aplicó compost 4 t.ha<sup>-1</sup>+caliza fosfatada 2 t.ha<sup>-1</sup>(con 110.38 t.ha<sup>-1</sup> de caña) y la cachaza 15 t.ha<sup>-1</sup>+ caliza fosfatada 2 t.ha<sup>-1</sup>(con 96.27 t.ha<sup>-1</sup> de caña) sobrepasando a la fertilización química en un 16,50% y el 1,60% respectivamente.

**Palabras claves: fertilizantes orgánicos, minerales naturales, caña de azúcar, propiedades físicas del suelo.**

## **Abstract**

The study was carried out in the Territorial Research Station of Sugar Cane on the Inceptisol soil, and in the soil lab. of Agricultural Research Institute. It were established 9 treatments with organic

materials and natural minerals. The structural state of soil was improved with the application of the organic and organic-minerals variants expressed in the increment of stable aggregates, soil structure factor and permeability. The soil consistency was modified with tendency to be bigger the inferior limit of plasticity in the organic and organic-minerals variants. The biggest yield in Pol ( $t \cdot ha^{-1}$ ) and agricultural one was obtained when was applied compost  $4 t \cdot ha^{-1}$  + calcareous phosphate rock  $2 t \cdot ha^{-1}$  (with  $110.38 t \cdot ha^{-1}$ ) and sugar cane filter cake  $15 t \cdot ha^{-1}$  + calcareous phosphate rock  $2 t \cdot ha^{-1}$  (with  $96.27 t \cdot ha^{-1}$ ) surpassing the chemical fertilization in 16,50% and 1,60% respectively.

**Key words: organic fertilizers, natural minerals, sugar cane crop, soil physical properties.**

## **Introducción**

La caña, bajo condiciones de monocultivo, provoca la explotación intensiva del recurso suelo debido a la gran extracción de elementos que realiza. Situación que puede agotarlo de no atenderse a tiempo las consecuencias generadas por esta forma de agricultura. Reducir el empobrecimiento de los suelos exige no solo suministrar los elementos tomados por el cultivo, sino realizar, además, acciones para la recuperación y el mejoramiento de las características óptimas desde el punto de vista agroproductivo, que permitan sostenibilidad de su uso. Hace varios años, distintas formas de agricultura plantean como premisa fundamental utilizar mayor cantidad de recursos renovables del entorno. De este modo persiguen reducir la aplicación de insumos externos y racionalizar la energía utilizada en la producción permitiendo el funcionamiento de los ciclos naturales.

En Cuba se realizan ingentes esfuerzos en el estudio de mecanismos sustentables y ecológicamente viables en el cultivo de la caña de azúcar, para obtener no solo rendimientos apropiados sino también que promuevan la recuperación del medio. En este marco los enmendantes orgánicos provenientes de residuos de la propia industria azucarera combinados con minerales naturales de producción nacional pueden ser una alternativa útil en el empeño de mejorar y elevar la calidad del suelo Pardo Sialítico, además de contribuir a la protección del medioambiente y garantizar rendimientos adecuados del cultivo.

## **Materiales y métodos**

El estudio se llevó a cabo en áreas de la Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (ETICA), ubicada en el municipio de Ranchuelo, provincia Villa Clara. El experimento se estableció 4

de diciembre de 2003, con un diseño de bloques al azar, a razón de 30 trozos en 7,5 m (90 yemas) empleando la variedad C87-51.

Se establecieron los siguientes tratamientos:

1. Control (sin fertilización).
2. Fertilización química
3. Compost 4 t.ha<sup>-1</sup>
4. Cachaza 15 t.ha<sup>-1</sup>
5. Ceniza 10 t.ha<sup>-1</sup>
6. Compost 4 t.ha<sup>-1</sup> + Zeolita 2 t.ha<sup>-1</sup>
7. Cachaza 15 t.ha<sup>-1</sup> + Zeolita 2 t.ha<sup>-1</sup>
8. Compost 4 t.ha<sup>-1</sup> + Caliza fosfatada 2 t.ha<sup>-1</sup>
9. Cachaza 15 t.ha<sup>-1</sup> + Caliza fosfatada 2 t.ha<sup>-1</sup>

Las variantes de fertilización se aplicaron de forma manual en el fondo del surco, siendo para el caso de la fertilización química de la siguiente forma: 75 kg.ha<sup>-1</sup> de N (urea-46%), 35 kg.ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (superfosfato triple-46%) y 110 kg.ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O (cloruro de potasio-60%).

Las determinaciones físicas se llevaron a cabo en el laboratorio de suelos del Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP) por los métodos siguientes:

Permeabilidad: se determinó según Henin et al. (1958). Factor de estructura (FE): Vageler y Alten (1958). Límite superior de plasticidad (LSP): se determinó por el método del cono del balancín de Basiliev. Límite inferior de plasticidad: se determinó por los rollitos de Atterberg.

Índice de plasticidad: se determinó por la diferencia numérica entre los límites superior e inferior. No tiene unidad de medida. Agregados estables en agua: Se determinó por el método de Henin et al. (1958).

Para el procesamiento estadístico se utilizó el paquete estadístico SPSS ver. 13.0 sobre Windows XP. Se aplicó Anova de clasificación simple con la prueba de comparación de medias Tukey HSD

## **Resultados y discusión**

### **Efectos sobre el estado estructural y consistencia del suelo.**

El factor de estructura (tabla 1) pasa de ser regular en el tratamiento control sin fertilizar y la fertilización química a bueno en todos los demás tratamientos orgánicos y organo-minerales, encontrándose los valores más altos en los tratamientos de Cachaza sola (trat. 4) y en la combinación

de Compost más zeolita (trat. 6), disminuyendo en la profundidad, lo cual coincide con otros autores,<sup>5</sup> que encontraron efectos positivos sobre este tipo de suelo cuando se aplicó materia orgánica sola o combinada con minerales.

Los Agregados Estables (tabla 1) clasifican en la categoría de excelente, exceptuando en el testigo y el tratamiento con NPK que se encuentran en la de bueno,<sup>6</sup> los menores valores se presentan a la profundidad de 20-40 cm. Lo anterior es de gran importancia ya que la baja estabilidad de los agregados en la capa superficial es una de las causas fundamentales del sellamiento de los suelos de los trópicos,<sup>1</sup> lo que condiciona entre otros aspectos negativos, su erosionabilidad y encostramiento, que en la actualidad transforma en improductiva miles de hectáreas de suelos agrícolas.

La permeabilidad log 10k (tabla 1 se clasifica como excelente en las enmiendas orgánicas y órgano-minerales aplicadas al suelo en comparación con el testigo y el tratamiento con NPK que clasifica como adecuado,<sup>1</sup> todo lo anterior coincide con otros autores,<sup>2</sup> que plantean que cuando la permeabilidad (Log 10k) es próxima a 2 los suelos tienden a manifestar un buen estado estructural, aumentando la humedad para el límite inferior de plasticidad, lo que tiende a igualar la capacidad de campo por lo que existe mayor posibilidad de almacenamiento de agua y su disponibilidad para las plantas.

La consistencia del suelo,<sup>1</sup> indica que los valores del límite inferior de plasticidad (% hbss) clasifican al suelo como plástico en todo su perfil, aunque se presenta tendencia general al aumento en los tratamientos donde se aplicaron materiales orgánicos ya sea solos o combinados (tabla 2) en comparación con el tratamiento control y con la fertilización química, lo cual aumenta el rango de tempero y puede ser trabajado el suelo con porcentos de humedad superiores.

El límite superior de plasticidad (% hbss) se presenta en todas las profundidades estudiadas como ligeramente plástico (tabla 2), encontrándose en el testigo y en el tratamiento con NPK los mayores valores, muy próximos a la categoría de plástico, aunque existe tendencia a la disminución de la plasticidad en los restantes tratamientos donde se aplicaron materiales orgánicos y órgano-minerales, destacándose la aplicación de compost 4 t.ha<sup>-1</sup>, de igual forma en la medida que se desciende en el perfil del suelo ocurre un aumento en la plasticidad del mismo.

Al analizar el índice de plasticidad vemos que el testigo y el tratamiento con NPK se clasifican como plásticos con ligeras variaciones en las diferentes profundidades, en los demás tratamientos pasa a la categoría de ligeramente plástico, siendo la aplicación de compost solo (trat. 3) donde se encuentran los menores valores llegando a ser no plástico lo que resulta muy positivo para el desarrollo de la planta, ya que según algunos autores,<sup>7</sup> entre los principales factores limitantes que afectan el cultivo de la caña de azúcar están entre otros la consistencia y compactación. Estos autores refieren que la compactación atrofia el sistema radical, disminuye su volumen total con aplastamiento y concentración de las raíces en la superficie, disminuye la porosidad de aireación lo que limita la capacidad de absorción de los nutrimentos.

### **Efecto de la aplicación de los tratamientos orgánicos y organo-minerales sobre los rendimientos de la caña de azúcar.**

Se constataron incrementos en el rendimiento de la caña de azúcar con respecto al testigo sin fertilización en todas las demás variantes de fertilización estudiadas (tabla 3) destacándose el tratamiento 8 (compost 4 t.ha<sup>-1</sup> + caliza fosfatada 2 t.ha<sup>-1</sup>) con 40 t.ha<sup>-1</sup> (que representa un 57,60% de incremento con respecto al testigo sin fertilizar) y el tratamiento 9 (cachaza 15t.ha<sup>-1</sup> + caliza fosfatada 2 t.ha<sup>-1</sup>) con 26.23 t.ha<sup>-1</sup> (37,45%). Estos dos tratamientos 8 y 9 evidenciaron un aumento en el rendimiento con respecto a la fertilización química de 15,63 t.ha<sup>-1</sup> y 1.52 t.ha<sup>-1</sup> que representan el 16,50 y el 1,60% respectivamente, en correspondencia con lo anterior se pueden observar en la figura 4.2 la coincidencia también con los mayores valores de Pol t.ha<sup>-1</sup>.

Tabla 1. Efecto de los tratamientos sobre el estado estructural del suelo en las profundidades 0-10, 10-20, 20-40 cm.

Trat	FE (%)			AE (%)			Permeabilidad (Log 10k)		
	0-10 cm	10-20cm	20-40 cm	0-10	10-20cm	20-40 cm	0-10 cm*	10-20cm	20-40 cm
1- T	57,64 d	60,39 e	57,28e	62,21 d	62,21 b	61,16 b	1,90 b	1,87 e	1,81 e
2- NPK	62,04 d	61,53 e	59,57ed	64,60cd	64,60 b	63,44ab	1,73 b	1,89 e	1,86 de
3- Co	67,97 c	72,10 bc	69,74ab	73,38ab	72,54 b	70,91 a	2,24ab	2,08bc	2,04 ab
4- Cz	79,66 a	76,09 ab	71,79 a	77,75 a	80,11 a	68,73ab	2,16ab	2,15ab	2,08 a
5- Ce	67,42 c	70,18 c	65,60 c	69,45bc	70,58 b	66,35ab	2,10 b	2,05bc	1,96 c
6- Co + Z	78,19 a	73,85 bc	70,51 a	74,62ab	77,72ab	71,80 a	2,28b	2,11bc	2,05 a
7- Cz + Z	72,04 bc	75,33 ab	66,84bc	74,93ab	83,00 a	67,97ab	2,30ab	2,14 ab	1,99 bc
8- Co + CF	76,19 ab	79,21 a	62,14 d	69,53bc	71,57 b	67,50ab	2,39ab	2,21 a	1,90 d
9- Cz + CF	68,63 d	65,94 d	69,75 ab	71,70 b	72,79 b	70,26 a	2,48 a	1,97 d	2,04 ab
<b>EE(x)</b>	±1,01	±0,85	±0,67	±1,16	±1,24	±2,07	±0,003	±0,02	±0,02

(a, b, c, d, e), medias con letras no comunes en una misma columna difieren por Tukey a ( $p < 0.05$ )

T- Control sin fertilización; NPK- fertilización química; Co- Compost; Cz- Cachaza; Ce- Ceniza; Z- Zeolita; CF- Caliza fosfatada

Tabla 2. Efecto de los tratamientos sobre la consistencia del suelo en las profundidades 0-10, 10-20, 20-40 cm.

Trat	LIP % (hbss)			LSP % (hbss)			IP		
	0-10 cm. Media	10-20 cm. Media	20-40 cm. Media	0-10 cm.	10-20	20-40 cm.	0-10 cm.	10-20 cm.	20-40
1- T	35,77 b	37,73 a	40,39 a	68,56 a	69,96 a	73,35 a	32,79 a	32,23 ab	32,97 a
2- NPK	35,39 b	36,94 a	38,83 a	68,43 a	71,92 a	63,77 b	33,03 a	34,98 a	24,94 bc
3- Co	41,11 a	41,26 a	39,86 a	53,03 c	53,96 e	57,42 d	11,91 c	12,71 b	17,56 d
4- Cz	37,98 ab	37,74 a	39,59 a	56,30 bc	60,32 bcd	57,17 d	18,32 bc	22,58 ab	17,59 d
5- Ce	38,24 ab	37,31a	41,35 a	60,03 b	61,43 bc	61,38 abc	21,79 b	24,04 bc	20,04 d
6- Co+ Z	35,35 ab	37,55 a	38,60 ab	59,23 bc	57,01 cde	58,88 cd	23,88 b	19,46 cb	20,28 cd
7- Cz+ Z	40,39 a	34,60 a	37,24 ab	57,60 bc	55,65 de	65,25 b	17,21 bc	21,05 cb	28,01ab
8- Co+ CF	39,59 ab	37,55 a	34,18 b	61,28 b	62,16 b	62,66 ab	21,70 b	24,61 bc	28,48 ab
9- Cz + CF	37,49 ab	37,47 a	38,50 ab	61,35 b	61,42 bc	58,91 cd	23,86 b	23,95 bc	20,41cd
<b>EE(x)</b>	±0,69	±12,61	±1,19	±1,46	±1,02	±0,90	±1,57	±2,00	±1,37

(a, b, c, d, e), medias con letras no comunes en una misma columna difieren por Tukey a ( $p < 0.05$ ) T- Control sin fertilización; NPK- fertilización química; Co- Compost; Cz- Cachaza; Ce- Ceniza; Z- Zeolita; CF- Caliza fosfatada.

Esto anterior pone de manifiesto los beneficios que puede reportar la utilización de la cachaza, el compost y la caliza fosfatada no solo en su efecto sobre el suelo sino también sobre los rendimientos del cultivo,<sup>4,8</sup> que en ocasiones los incrementos del rendimiento con el empleo de cachaza se pueden superar en mas de un 50%, además esta enmienda mejora la germinación del cultivo, la capacidad de intercambio catiónico y las propiedades físicas del suelo. Los resultados obtenidos constituyen alternativas prácticas a tener en cuenta en el control de la degradación de los suelos y en el ahorro de fertilizantes.<sup>3</sup>

Tabla 3. Incrementos o decrecimientos en cuanto al rendimiento de la caña de azúcar por tratamiento con respecto al testigo y a la fertilización química.

Tratamientos	Rendimiento Caña t/ha	Incremento o decrecimiento			
		Respecto al testigo		Respecto a NPK	
		Caña t/ha	%	Caña t/ha	%
1- T	70,04	-	-	-24,71	-26,08
2- NPK	94,75	24,71	35,28	-	-
3- Co	91,35	21,31	30,43	-3,4	-3,59
4- Cz	89,58	19,54	27,90	-5,17	-5,46
5- Ce	83,10	13,06	18,65	-11,65	-12,30
6- Co + Z	82,37	12,33	17,60	-12,38	-13,07
7- Cz + Z	94,06	24,02	34,29	-0,69	-0,73
8- Co + CF	110,38	40,34	57,60	15,63	16,50
9- Cz + CF	96,27	26,23	37,45	1,52	1,60

T- Control sin fertilización; NPK- fertilización química; Co- Compost; Cz- Cachaza; Ce- Ceniza; Z- Zeolita; CF- Caliza fosfatada.

El rendimiento en Pol t.ha<sup>-1</sup> tuvo respuesta positiva en todas las variantes orgánicas y organo-minerales aplicadas en comparación con el testigo sin fertilizar (Fig. 1). Se debe destacar el tratamiento 8, que incluye Compost 4t.ha<sup>-1</sup>+Caliza fosfatada 2 t.ha<sup>-1</sup> que presentó los mayores rendimientos con diferencias estadísticas con el resto, superando

incluso a la fertilización química, lo que demuestra el efecto positivo que ejerce el compost y caliza fosfatada sobre el suelo en estudio y sobre el desarrollo planta, además se preserva el medioambiente al evitar la utilización de productos químicos que contaminan las aguas y el suelo en general.<sup>8</sup>

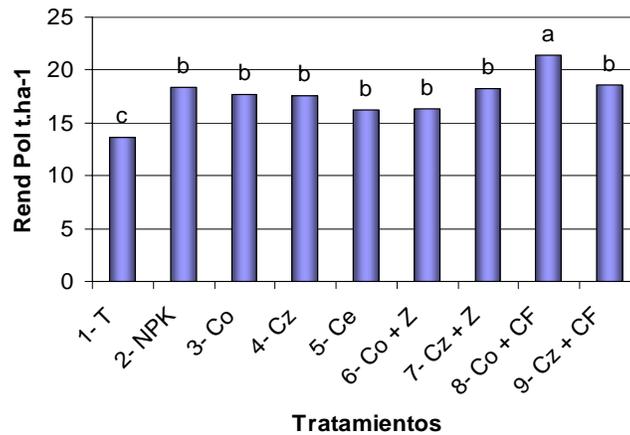


Fig 1. Efecto de los tratamientos organo-minerales sobre el Pol t.ha<sup>-1</sup>

### Conclusiones:

1. El estado estructural del suelo se mejora con la aplicación de las variantes orgánicas y organo-minerales expresados en el incremento de los agregados estables, factor de estructura y la permeabilidad.
2. La consistencia del suelo se modifica con tendencia a ser mayor el limite inferior de plasticidad en las variantes orgánicas y organo-minerales lo que permite laborar el suelo con porcentos de humedad mayores.
3. El mayor rendimiento en Pol t.ha<sup>-1</sup> al igual que el agrícola se obtiene cuando se aplica compost 4 t.ha<sup>-1</sup>+caliza fosfatada 2 t.ha<sup>-1</sup>(con 110.38 t.ha<sup>-1</sup> de caña) y la cachaza 15 t.ha<sup>-1</sup>+ caliza fosfatada 2 t.ha<sup>-1</sup>(con 96.27 t.ha<sup>-1</sup> de caña) sobrepasando a la fertilización química en un 16,50% y el 1,60% respectivamente.

## Bibliografía

1. Amezquita, E. 1998. Propiedades físicas de los suelos de los llanos orientales y sus rendimientos de labranza. Encuentro Nacional de Labranza. Villavicencio. Colombia. 29p.
2. Cairo, P.; Fundora, O. 1994. Edafología. Ed. Pueblo y Educación. La Habana. Cuba. 474p.
3. Cairo, P.; Machado, J.; Artiles, T. y otros. 2000. Minerales naturales alternativos. Su uso en el mejoramiento de los suelos degradados. Informe Final. Proyecto territorial CITMA. Villa Clara.
4. Cuellar, I. A.; M. de León; H. Pérez; R. Villegas. 2002. Manual de fertilización de la caña de azúcar en Cuba. Editorial PUBLINICA Ciudad de la Habana Cuba. pp7-111.
5. Díaz, B.; Armario, D.; Rodríguez, A; Cairo, P.; Portieles, y otros. 2006. Efecto del humus y combinaciones organo-minerales sobre el rendimiento de la variedad de banano FHIA-18 y las propiedades físicas de un suelo Inceptisol en un sistema de siembra extradenso. Centro Agrícola, año 33, no. 3. pag. 17-20.
6. López, G.; Fuentes, E. y Vázquez, H. 1981. Resumen sobre los elementos fundamentales que deben ser redactados en cada epígrafe del informe de suelos por municipio a escala 1:25 000. Dpto. de Suelos y Agroquímica. Dir. Nac. de suelos y Fertilizantes. MINAGRI.
7. Ponce de León, D. y Balmaseda, P. 1999. Elementos básicos sobre suelos y uso de fertilizantes en el cultivo de la caña de azúcar. Capítulo 1: Los factores edáficos en el cultivo de la caña de azúcar. SERFE. INICA. MINAZ. pp 1-33.
8. Rodríguez, Alianny. 2006. Efecto de la aplicación de diferentes combinaciones organo-minerales sobre la calidad del suelo pardo con carbonatos y el rendimiento del banano, cultivar fhia-18 en un sistema extradenso. Trabajo de Diploma. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Central de Las Villas.