

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

The application of organic fertilizers and natural minerals in the sugar cane crop (part II): Long term effect on the yield of sugar cane crop and soil quality

Bladimir Díaz¹, Bárbara Barreto², Pedro Cairo¹, Enma Pineda², Rafael Mas², Fidel Acosta², Everaldo Becerra², Betsy Clavelo³, Reinaldo Quiñones⁴.

1. Centro de Investigaciones Agropecuarias. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba. DESARROLLO
 2. Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (ETICA), Villa Clara-Cienfuegos, Cuba.
 3. Laboratorio Provincial de Suelos, Villa Clara, Cuba.
 4. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.
- E-mail: 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. Se establecieron 9 tratamientos con materiales orgánicos y minerales naturales. La estructura del suelo se mejoró significativamente cuando se aplicaron minerales naturales y materiales orgánicos en comparación con la fertilización química. Las aplicaciones de la cachaza 15 t.ha⁻¹ + zeolita 2 t.ha⁻¹ y el compost 4 t.ha⁻¹ + caliza fosfatada 2 t.ha⁻¹ provocaron un efecto residual positivo en el suelo sobre el factor de estructura y el rendimiento agrícola e industrial por más de 3 años. Existió una relación proporcional entre la calidad del suelo y el rendimiento agrícola de la caña de azúcar.

Palabras clave: fertilizantes orgánicos, minerales naturales, rendimiento de la caña de azúcar, calidad del suelo.

Abstract

The study was carried out in the Territorial Research Station of Sugar Cane on the Inceptisol soil. It was established 9 treatments with organic materials and natural minerals. The soil structure was improved significantly when natural minerals and organic materials were applied in comparison with the chemical fertilization. The application of the sugar cane filter cake 15 t.ha⁻¹ + Zeolith 2 t.ha⁻¹ and the compost 4 t.ha⁻¹ + calcareous phosphate rock 2 t.ha⁻¹ caused a positive residual effect on the soil structure factor and the agricultural and industrial yield for more than 3 years. A proportional relationship existed between the soil quality and the agricultural yield of the sugar cane.

Key words: organic fertilizers, natural minerals, yield of sugar cane crop, soil quality.

INTRODUCCIÓN

Desde el siglo XVII la producción azucarera ha sido la principal fuente económica de Cuba con la caña de azúcar como materia prima, aunque en la actualidad la cantidad de área dedicada a este cultivo ha disminuido, todavía es significativa su extensión. Al cultivo de esta gramínea se han destinado numerosos recursos materiales dirigidos a obtener altos rendimientos, sin considerar las consecuencias de su aplicación sobre el ecosistema agrario a mediano y largo plazos.

Lo anterior, unido a labores culturales excesivas o mal reguladas y al empleo de equipos pesados ha acrecentado los procesos degradativos que provocan un aumento en la compactación, alteran la estructura natural de los suelos y por tanto su calidad, disminuyendo los rendimientos finales. La agricultura convencional pretende cubrir estas pérdidas añadiendo fertilizantes a base principalmente de nitrógeno, fósforo y potasio que, al no ser aprovechados totalmente por las plantas, contaminan al medioambiente.

Producto de la actividad de la propia agroindustria azucarera se generan una gran cantidad de residuos que al ser aprovechados en el propio cultivo contribuyen a evitar la contaminación del medioambiente, es por ello que en el trabajo se valor el efecto de estos materiales orgánicos en combinación con minerales naturales y el efecto que provocan a largo plazo sobre la calidad del suelo y el rendimiento agrícola e industrial 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 de Villa Clara. El experimento se estableció el 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 aplicaron los tratamientos siguientes:

1. Control (sin fertilización).
2. Fertilización química
3. Compost 4 t.ha⁻¹
4. Cachaza 15 t.ha⁻¹
5. Ceniza 10 t.ha⁻¹
6. Compost 4 t.ha⁻¹+ zeolita 2 t.ha⁻¹
7. Cachaza 15 t.ha⁻¹+ zeolita 2 t.ha⁻¹
8. Compost 4 t.ha⁻¹+ caliza fosfatada 2 t.ha⁻¹
9. Cachaza 15 t.ha⁻¹+ caliza fosfatada 2 t.ha⁻¹

Las variantes de fertilización se aplicaron de forma manual en el fondo del surco, para el caso de la fertilización química se realizó de la forma siguiente: 75 kg.ha⁻¹ de N (urea-46 %), 35 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato triple-46 %) y 110 kg.ha⁻¹ K₂O (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). Agregados estables en agua: por el método de Henin *et al.* (1958).

Las determinaciones químicas se realizaron en el Instituto Provincial de Suelos y Fertilizantes por los métodos siguientes:

Materia Orgánica: Método colorimétrico de Walkley y Black. pH (H₂O) y pH (KCL): mediante el potenciómetro. Relación suelo: Solución (1: 2,5).

El índice de calidad del suelo y el índice de calidad aditivo se determinó según Andrews.¹

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 y el análisis de los componentes principales.

Las cosechas se realizaron en caña planta el 11-02-05, en retoño-1 el 10-03-06 y en retoño-2 el 20-03-07. Los muestreos de suelo se realizaron a los 10 y 22 meses a partir de la siembra del cultivo a las profundidades 0-10 cm, 10-20 cm y 20-40 cm.

Resultados y discusión

Análisis de los Componentes Principales para el primer muestreo de suelo

Cuando se analizaron los componentes principales para el primer muestreo se observó que la estructura del suelo (variable formada por la materia orgánica, la permeabilidad, los agregados estables y el factor estructura) se encontraba en el componente 1 y explica el 40 % de la varianza y en el componente 2 está presente la reacción del suelo (variable formada por el pH en H₂O y KCl) que representa el 23 % de la varianza. Estas dos nuevas variables explican el 63,50 % de la varianza acumulada (tablas 1 y 2).

La estructura del suelo (variable 1) mejora con la aplicación de los tratamientos órgano-minerales existiendo una diferencia significativa con respecto al testigo sin fertilizar y la fertilización química (tabla 3), lo cual se reflejó en los rendimientos agrícola e industrial obtenidos (tablas 4 y 5). En cuanto a la variable reacción del suelo aunque existió la tendencia al incremento, no se hallaron diferencias tan marcadas entre los tratamientos.

Tabla 1. Componentes principales para el muestreo 1

Componente	Valor propio	% de la varianza	% acumulado
1	3,210	40,127	40,127
2	1,870	23,381	63,508

Tabla 2. Matriz de componentes rotados muestreo 1

	Componente	
	1	2
MO	,836	
Log 10k	,849	
AE	,815	
FE	,840	
pH KCl		-,878
pH H ₂ O		-,722

Extraction Method: Principal Component Analysis.

Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.

Tabla. 3 Análisis de componentes principales en el muestro 1

Tratamiento	Variable 1	Variable 2
1-T	C	D
2-NPK	C	BCD
3-Co	AB	CD
4-Cz	A	ABC
5-Ce	B	ABC
6-Co + Z	A	AB
7-Cz + Z	AB	A
8-Co + CF	AB	ABC
9-Cz + CF	AB	A

Variable 1: Estructura del suelo

Variable 2: Reacción del suelo

Efecto residual de los tratamientos en el tiempo

En las figuras 1, 2 y 3 se aprecia el efecto residual de los tratamientos sobre el factor estructura en el tiempo en las variantes de fertilización órgano-minerales para las profundidades 0-10 cm, 10-20 cm y 20-40 cm, lo cual es sumamente importante para obtener un buen balance aire-sólido en el suelo y, por

consiguiente, el mejor desarrollo radical del cultivo, con un efecto directo sobre los rendimientos obtenidos en caña planta, retoño 1 y retoño 2 (tablas 4 y 5; figura 4).

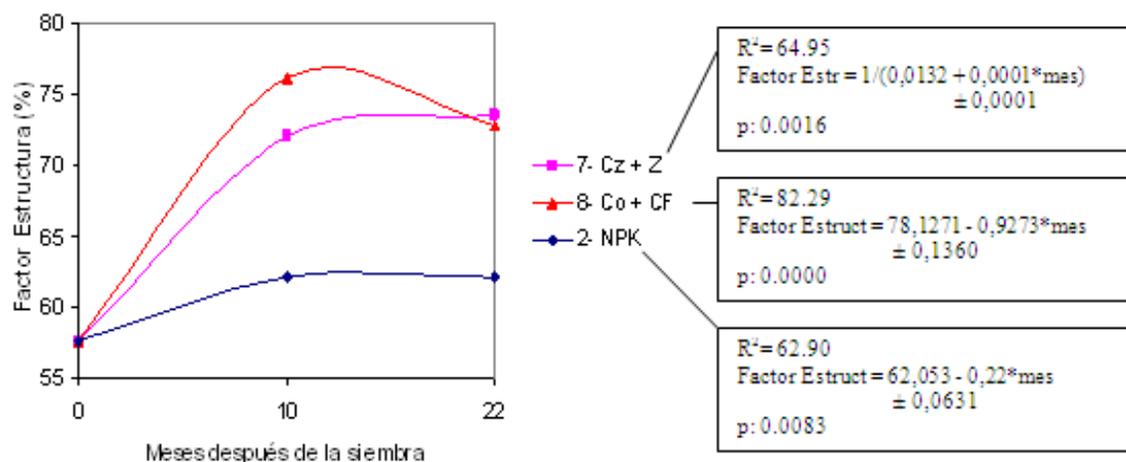


Fig. 1. Efecto residual sobre el Factor estructura en la profundidad 0-10 cm

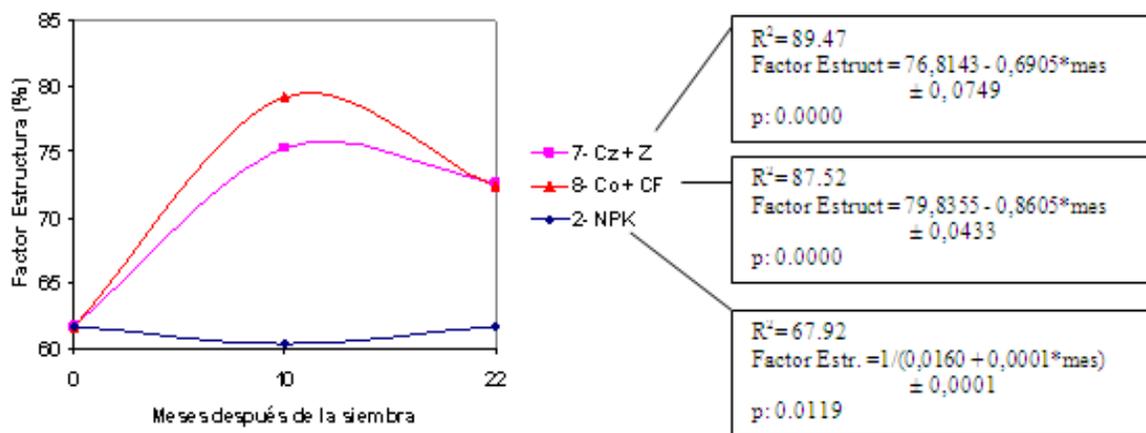


Fig. 2. Efecto residual sobre el Factor estructura en la profundidad 10-20 cm

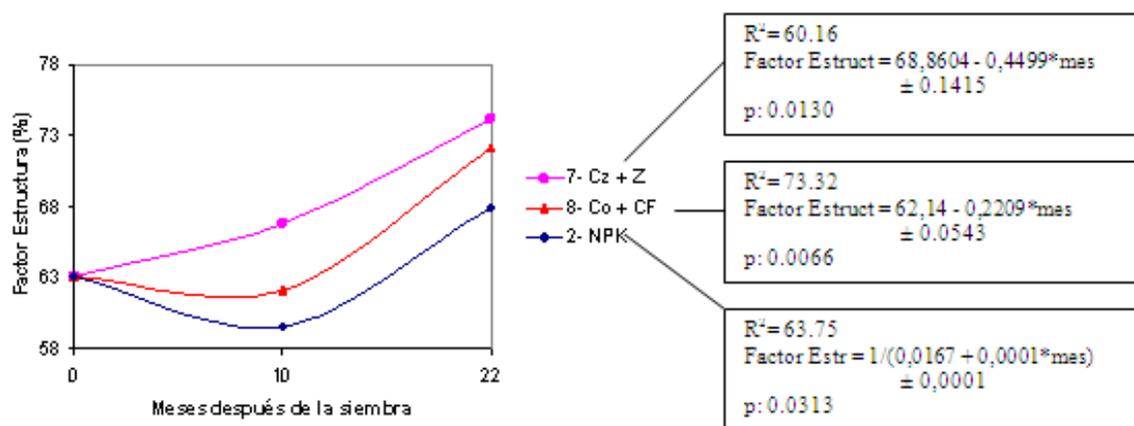


Fig. 3. Efecto residual sobre el Factor estructura en la profundidad 20-40 cm

Es muy significativo el efecto residual que se manifiesta en toda la profundidad del perfil analizado, aspecto éste de suma importancia por el valor agronómico que representa la capa activa del suelo y su profundidad efectiva si se tienen en cuenta los estudios realizados,⁷ donde se considera a la profundidad efectiva como uno de los factores edáficos limitativos en el rendimiento de la caña de azúcar.

Efecto de la aplicación de los abonos orgánicos y minerales naturales sobre los rendimientos de la caña de azúcar

Se encontraron incrementos en el rendimiento de la caña de azúcar con respecto al testigo sin fertilización en todas las restantes variantes de fertilización estudiadas (tabla 4) destacándose el tratamiento 7 (cachaza 15 t.ha⁻¹ + zeolita 2 t.ha⁻¹) con 66,68 t/ha (que representan un 33,83 % de incremento por encima del tratamiento sin fertilizar) y el tratamiento 8 (compost 4 t.ha⁻¹ + caliza fosfatada 2 t.ha⁻¹) con 70,57 t/ha (que representan un 35,81 %). En comparación con la fertilización química también se evidenció en los tratamientos 7 y 8 un aumento en rendimiento de 11,02 t/ha y 14,91 t/ha que representan el 4,36 % y el 5,90 % respectivamente.

Lo anterior pone de manifiesto los beneficios que pueden 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, lo que coincide con otras investigaciones^{4,8} que plantean que en ocasiones los incrementos del rendimiento con el empleo de cachaza son notables, 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. Además los minerales naturales y sus combinaciones pueden hacer perdurar su efecto en el suelo por un período de 4 o 5 años.^{3,2}

Tabla 4. Incrementos o decrecimientos en cuanto al rendimiento de la caña de azúcar por tratamiento con respecto al testigo y a la fertilización química en tres cosechas consecutivas

Tratamiento	Rendimiento acumulado Caña (t.ha ⁻¹)	Incremento o decrecimiento			
		Respecto al testigo		Respecto al NPK	
		Caña (t.ha ⁻¹)	%	Caña (t.ha ⁻¹)	%
1- T	197,08	-	-	-55,66	-22,02
2- NPK	252,74	55,66	28,24	-	-
3- Co	245,44	48,36	24,54	-7,3	-2,89
4- Cz	236,69	39,61	20,10	-16,05	-6,35
5- Ce	233,29	36,21	18,37	-19,45	-7,70
6- Co + Z	250,89	53,81	27,30	-1,85	-0,73
7- Cz + Z	263,76	66,68	33,83	11,02	4,36
8- Co + CF	267,65	70,57	35,81	14,91	5,90
9- Cz + CF	248,57	51,49	26,13	-4,17	-1,65

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

.....⁻¹ tuvo respuesta positiva en todas las variantes orgánicas y órgano-minerales aplicadas en comparación con el testigo sin fertilizar (tabla 5). Se debe destacar el tratamiento 8, que incluye Compost 4 t.ha⁻¹+caliza fosfatada 2 t.ha⁻¹ que presentó los mayores rendimientos con diferencias estadísticas con el resto, superando incluso a la fertilización química, lo que demuestra el efecto positivo que ejercen el compost y la caliza fosfatada sobre el suelo en estudio y sobre el desarrollo de la planta. Además se preserva el medioambiente al evitar la utilización de productos químicos que contaminan las aguas y el suelo en general.⁸

Tabla 5. Rendimientos en Pol t/ha de tres cosechas consecutivas (caña planta, Retoño 1 y Retoño 2)

Tratamiento	Pol Caña planta (t.ha ⁻¹)	Pol R1 (t.ha ⁻¹)	Pol R2 (t.ha ⁻¹)
1-T	13,64 c	12,65 d	11,06 b
2-NPK	18,37 b	13,65 bcd	16,34 a
3-Co	17,66 b	14,18 abc	15,00 a
4-Cz	17,58 b	13,80 bcd	14,06 ab
5-Ce	16,26 b	13,14 cd	15,49 a
6-Co + Z	13,60 b	14,88 ab	17,18 a
7-Cz + Z	18,24 b	15,21 a	16,98 a
8-Co + CF	21,41 a	15,27 a	14,46 a
EE(x)	± 1.01	±0.32	± 1,83

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

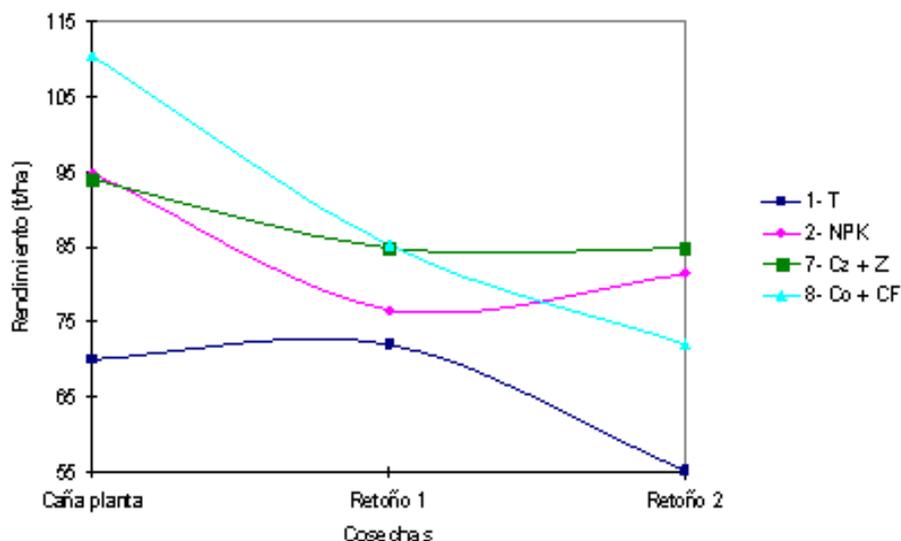


Fig.4. Respuesta del rendimiento ante el efecto residual de los tratamientos

En la figura 4 se refleja el efecto residual en el tiempo de los tratamientos 7 y 8 en cuanto al rendimiento agrícola observándose la mayor estabilidad del rendimiento durante las tres cosechas consecutivas en el tratamiento 7.

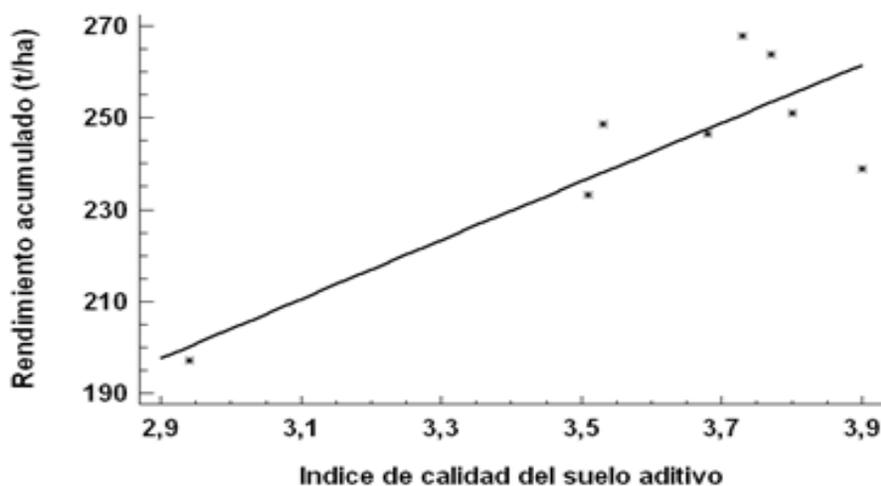
La calidad del suelo y su relación con el rendimiento

En la tabla 6 se observa el índice de calidad del suelo calculado a partir de los indicadores de calidad MO, Log k, AE, FE, seleccionados a su vez sobre la base de las correlaciones que se establecen de cada uno de ellos con cada una de las variables analizadas y su efecto sobre el suelo según la metodología propuesta por Andrews¹. 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 la fertilización química y el testigo sin fertilización denotando el aumento en la calidad del suelo de los primeros en relación con estos últimos, coincidiendo con los criterios de Díaz,⁵ que en estudios realizados para este mismo tipo de suelo considera al sistema de agricultura actual utilizado en el monocultivo de la caña donde se aplica la fertilización química como poco sostenible después de analizar diferentes indicadores de calidad del suelo.

Tabla 6. Índice de calidad del suelo y aditivo para los parámetros MO, Log k, AE, FE

Tratamiento	Índice de calidad del suelo para el parámetro				Índice de calidad del suelo aditivo
	MO	Log K	AE	FE	
1- T	0,59	0,85	0,75	0,76	2.95
2- NPK	0,73	0,86	0,78	0,78	3.15
3- Co	0,96	0,94	0,87	0,91	3.68
4- Cz	1,00	0,97	0,97	0,96	3.90
5- Ce	0,84	0,93	0,85	0,89	3.51
6- Co + Z	0,98	0,95	0,94	0,93	3.80
7- Cz + Z	0,85	0,97	1,00	0,95	3.77
8- Co + CF	0,87	1,00	0,86	1,00	3.73
9- Cz + CF	0,93	0,89	0,88	0,83	3.53
Efecto sobre el suelo	Mayor es mejor				

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



$$R^2 = 78.29$$

$$\text{Rendimiento Acumulado} = 1 / (0,0002 + 0,0139 / \text{Índice de calidad del suelo aditivo}) \pm 0.0003$$

$$P: 0.0035$$

Fig. 5. Relación entre el rendimiento acumulado en (t/ha) y el índice de calidad del suelo aditivo

Al observar la figura 5 podemos aseverar que mientras mayor es la calidad del suelo mayores serán los rendimientos del cultivo de la caña de azúcar, encontrándose en el caso de estudio un R^2 de 78.29, lo cual coincide con los criterios de Masto,⁶ que halló una estrecha relación entre el índice de calidad del suelo y los rendimientos del maíz y el trigo.

CONCLUSIONES

1. La estructura del suelo se mejoró significativamente cuando se aplicaron minerales naturales y materiales orgánicos en comparación con la fertilización química.
2. Las aplicaciones de la cachaza 15 t.ha⁻¹ + zeolita 2 t.ha⁻¹ y el compost 4 t.ha⁻¹ + caliza fosfatada 2 t.ha⁻¹ provocaron un efecto residual positivo en el tiempo sobre el factor de estructura y el rendimiento agrícola e industrial por más de 3 años.
3. Existió una relación proporcional entre la calidad del suelo y el rendimiento agrícola de la caña de azúcar

de diferentes combinaciones órgano-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, 2006.

BIBLIOGRAFIA

1. Andrews, S.S.; D.L. Karlen and J.P. Mitchell: "A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California," *Agriculture Ecosystems and Environment* 90:25-45, 2002.
2. Cairo, P.; J. Machado; T. Artiles, y otros. Minerales naturales alternativos. Su uso en el mejoramiento de los suelos degradados, Informe Final. Proyecto territorial CITMA, Villa Clara, 2002.
3. Carvajal, Malbis: Alternativa para el mejoramiento de los suelos de la provincia de Sancti Spiritus, Tesis de Maestría. Fac. de C. Agropecuarias, UCLV, 1996.
4. Cuellar, I. A.; M. de León; H. Pérez y R. Villegas: *Manual de fertilización de la caña de azúcar en Cuba*, Editorial PUBLINICA, Ciudad de la Habana, Cuba, pp.7-111, 2002.
5. Díaz, B.; P. Cairo; O. Rodríguez; I. Abreu; P. Torres y otros: "Evaluación de la sostenibilidad del manejo del suelo Pardo con Carbonato (Inceptisol) a través de indicadores de calidad del mismo," *Centro Agrícola*. 2: 73-78, 2005.
6. Masto, E. R.; P. K. Chonkar; D. Singh and K. P. Patra: "Soil quality response to long-term nutrient and crop management on semi-arid Inceptisol," *Agriculture, Ecosystems*. 118: 130-142, 2007.
7. Pineda, Enma: Factores asociados con las respuestas de la caña de azúcar a los fertilizantes minerales, Tesis presentada en opción al grado científico de doctor en Ciencias Agropecuarias, 2002.
8. Rodríguez, Alianny: Efecto de la aplicación