



07

Efecto del compost con propiedades físico-químicas en un suelo dedicado al cultivo de caña de azúcar en el ingenio Valdéz, Ecuador

Influence of compost of physicochemical properties in a soil dedicated to the cultivation of sugarcane in sugar Mill Valdez, Ecuador

Dr.C. Hipólito Israel Pérez Iglesias¹

E-mail: hperez@utmachala.edu.ec

MSc. Irán Rodríguez Delgado¹

MSc. Alexander Moreno Herrera¹

Ing. Walter Oswaldo Jara Olea²

¹Universidad Técnica de Machala, Ecuador.

²Ingenio Valdez, Ecuador.

Cita sugerida (APA, sexta edición)

Pérez-Iglesias, H., Rodríguez-Delgado, I., Moreno-Herrera, A. & Jara-Olea WO. (2017). Efecto del compost en un suelo dedicado al cultivo de caña de azúcar en el Ingenio Valdez, Ecuador. *Revista científica Agroecosistemas*, 5 (2), 55-65. Recuperado de <http://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/index>

RESUMEN

El compost es un fertilizante orgánico que puede constituir una alternativa factible, ya que posibilita el incremento productivo en ingenios azucareros, sin efectos adversos para el ambiente. La investigación se desarrolló con el objetivo de evaluar el efecto de la aplicación de diferentes dosis de compost sobre algunas propiedades físicas y químicas de un suelo bajo cultivo intensivo de caña de azúcar. Se desarrolló un experimento de campo en el Ingenio Valdez, cantón Milagro, provincia Guayas, Ecuador, en un suelo *Vertic Haplustepts*, sobre un tablón de soca I con el cultivar ECU-01. Se utilizó un diseño en bloques completamente al azar y las dosis de compost aplicadas fueron de 5, 10 y 15 t ha⁻¹. El tratamiento de 15 t ha⁻¹ fue el que más incremento produjo en el contenido de materia orgánica del suelo, con un valor de 2,81 %, significativamente superior al testigo, que presentó el valor más bajo (2,42 %). La aplicación de compost produjo una disminución de la densidad aparente del suelo y mejoró el pH. El contenido de fósforo, calcio y magnesio, aumentó en todos los tratamientos que recibieron compost en relación al testigo, no así con el potasio. En la cosecha se incrementó significativamente el rendimiento, con valores de 18,82; 23,37 y 20,68 t de caña ha⁻¹, en relación al testigo, donde no se aplicó la enmienda.

Palabras clave:

Caña de azúcar, enmienda orgánica, propiedades físicas y químicas del suelo.

ABSTRACT

Compost is an organic fertilizer that can be a viable alternative that allows the productive increase in sugar mills and the protection of the environment. The research was carried out with the objective of evaluating the effect of the application of different doses of compost with some physical and chemical properties in a soil under intensive cultivation of sugarcane, for which a field experiment was carried out at Sugar Mill Valdez, Milagro Canton, Guayas province, Ecuador on a *Vertic Haplustepts* soil, on a plank I with the cultivar ECU-01. A completely randomized block design was used and the applied compost doses were 5, 10 and 15 t ha⁻¹. The treatment of 15 t ha⁻¹ was the one that produced the most increase in the organic matter content of the soil, with a value of 2,81%, significantly higher than the control, with the lowest value of 2,42%. The application of compost improved the pH of the soil by decreasing the acidity. Regarding the content of assimilable phosphorus, potassium, calcium and magnesium exchangeable the increase was not significant. However, the application of compost significantly increased the agricultural yield (cane t ha⁻¹) in all treatments with respect to the control, with values of 18,82; 23,37 and 20,68; without showing statistical difference among them.

Keywords:

Sugar cane, organic amendment, physical and chemical soil properties.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo industrial a nivel mundial ha logrado ventajas indiscutibles, centradas en el aumento de la calidad de vida de las personas, aunque de manera conjunta se han generado mayores volúmenes de residuos, los cuales han originado graves problemas higiénico-sanitarios y ambientales, además de otros daños colaterales (Hassen, 2000; Bernui & Rivero, 2016; Moreno, Moral, García, Pascual & Bernal, 2014); por ello, en la actualidad las agroindustrias son valoradas por su desempeño productivo y económico y por su impacto en el medio ambiente (Wadhwa & Bakshi, 2013).

Según Cury, Aguas, Martínez, Olivero, & Chams (2017), los procesos fotosintéticos que ocurren en la tierra, generan una producción de residuos orgánicos que oscila alrededor de 155 billones de toneladas por año, de las cuales una mínima fracción es aprovechada por el hombre y los animales, y el resto constituye una fuente de contaminación ambiental que afecta a los ecosistemas de varias formas, siendo la degradación de suelos uno de los principales problemas que se presenta en el mundo, debido a los impactos adversos que provoca en la productividad de los cultivos, la seguridad y soberanía alimentaria y el cambio climático global.

Existen extensas áreas consideradas ecosistemas frágiles, en las cuales los procesos degradativos de los suelos se manifiestan en diferentes formas, siendo la erosión, desertificación, salinización, compactación, contaminación, sequía, exceso de humedad, acidificación y pérdida de materia orgánica (MO), problemas actuales que amenazan con disminuir la fertilidad del suelo, recurso natural que requiere de un periodo de formación tan prolongado, que es considerado como no renovable.

Los residuos agroindustriales de la fabricación de azúcar y alcohol, como la cachaza y la vinaza, se utilizan en varios países latinoamericanos con muy buenos resultados. La cachaza se considera un subproducto muy importante de los ingenios azucareros, debido a su valor como fertilizante (Zurro, 2005). Es producida con una tasa de tres toneladas (t) húmedas, por cada 100 t de caña molida, y presenta cierto potencial como fertilizante y mejorador de las propiedades físicas del suelo (Pérez & Rodríguez, 2015). Así mismo, su utilización favorece el incremento del carbono orgánico total en el suelo, lo cual se encuentra asociado al elevado aporte de carbono que realiza (Pérez, Santana, & Rodríguez, 2015a) y el incremento del porcentaje de MO, fósforo (P) asimilable, nitrógeno (N) total, calcio (Ca) cambiante y potasio (K) acuoso soluble, en tanto que disminuye

la acidez del suelo (Pérez, Santana, & Rodríguez, 2015b).

La vinaza es un residuo industrial del proceso de destilación del alcohol, que genera por cada litro obtenido entre 10 y 14 litros de este subproducto, que contiene gran variedad de macro y microelementos (Bautista & Durán de Bazúa, 1998; Pérez et al, 2015b); además, debido al contenido de microorganismos que posee, influye de forma favorable sobre las propiedades físicas (incremento de la capacidad de retención de humedad y porosidad) y químicas de los suelos (aumento del contenido de K y la conductividad eléctrica (Da Gloria, Santa Ana, & Biagi, 1973).

Los subproductos orgánicos sólidos y líquidos se utilizan en la agricultura convencional y orgánica para el mejoramiento de la estructura, la fertilidad del suelo, la capacidad de intercambio catiónico (CIC), la cantidad de microorganismos benéficos, por el valor agregado de los residuos y uno de los objetivos más importantes, es evitar la contaminación del ambiente.

En un estudio realizado en suelos representativos de la zona de Tableros Costeros de Brasil dedicados fundamentalmente a caña de azúcar, en los que se aplicó cachaza a una dosis de 10, 20 y 30 t ha⁻¹ y vinaza a 30, 60 y 90 m³ ha⁻¹ sin previo compostaje, en ninguno de los casos se inhibió la actividad biológica en el suelo al añadir las enmiendas de forma directa (Tenório, Silveira, Ribeiro, Gascó, & Guerrero, 2000).

Sin embargo, es conveniente que los residuos generados en el proceso agroindustrial azucarero se reduzcan a la cantidad mínima, mediante el compostaje aeróbico y la producción de abono orgánico, el cual puede aplicarse a los campos de caña de azúcar para mejorar la fertilidad y las propiedades físico químicas del suelo, lo que constituye una alternativa sostenible en la explotación del sistema productivo.

El compost se define como una mezcla de materiales orgánicos (con agua o sin ella), suelo o fertilizantes que han sufrido descomposición biológica principalmente bajo condiciones aeróbicas y termófilas (Cundiff & Markin, 2003). La adición de compost a un suelo favorece el desarrollo de lombrices de tierra; las cuales según Domínguez, Lazcano, & Gómez-Brandón (2010) presentan un efecto beneficioso sobre la fertilidad del suelo, contribuyen al crecimiento vegetal e incrementan la productividad de los cultivos de forma sostenible; y según lo indicado por Jongmans, Pulleman, Balabane, Van Oort, & Marinissen (2003), Edwards (1998) y Edwards

& Bohlen (1996), mejoran la estructura, la capacidad de retención de humedad, el drenaje interno y la agregación de partículas, así como la descomposición de la materia orgánica, el reciclaje de nutrientes (Scheu, 1987; Daniel & Anderson, 1992; Aira, Monroy & Domínguez; 2003, 2007), y la actividad de los microorganismos (Schindler-Wessels et al, 1996).

El uso de compost también puede ser una alternativa factible para el control de la pudrición de raíces, al aumentar el vigor de la planta y su resistencia a los patógenos del suelo (Pérez, Rodríguez, & Arzola, 2015).

En un estudio desarrollado en el cantón La Concordia, provincia Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador, con el objetivo de establecer las bases para la elaboración de una estrategia de gestión ambiental, se identificaron 78 problemas ambientales y de gestión, que fueron agrupados en 15 categorías, señalándose entre los principales una sobreutilización de los recursos, especialmente del suelo, a través de actividades ganaderas; y altas descargas de efluentes a los cursos de agua en zonas agrícolas y forestales (Cevallos, Gómez, & Roldán, 2015).

En la actualidad, los residuos orgánicos originados en el proceso de la agroindustria del azúcar y alcohol, como la cachaza, bagazo, ceniza y la vinaza, se aprovechan para producir compost en el ingenio Valdez. Este material orgánico sustituye fertilizantes minerales, cada vez más costosos y dañinos al ambiente, además de favorecer la productividad del proceso de producción de caña de azúcar.

El objetivo del estudio es evaluar el efecto de la aplicación de diferentes dosis de compost sobre algunas propiedades físicas y químicas de un suelo bajo cultivo intensivo de caña de azúcar en el Ingenio Valdez.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se desarrolló en un tablón de soca I, plantado con la variedad ECU-01, ubicado en los predios de la compañía Azucarera Valdez SA, cantón Milagro, provincia del Guayas, Ecuador, en las coordenadas 79° 39' de longitud oeste y los 08° 09' de latitud sur, a 13 msnm. El clima es estable, característico de la zona tropical húmeda, con temperatura media anual de 25,1 °C, precipitación anual promedio de 1520,7 mm, humedad relativa media anual de 80% y una heliofanía anual de 2019,1 horas luz. El suelo está clasificado como un *Vertic Haplustept* típico de la región, con una pendiente plana o casi plana (entre 0-2%) y una clase textural franca arcillosa.

La zona pertenece a la formación de bosque tropical húmedo (Holdridge, 1947).

El compost fue elaborado en el propio Ingenio, con los residuos de la fabricación de azúcar, mediante una mezcla a base de cachaza, bagazo y ceniza en la proporción de 80, 10 y 10 % respectivamente, humedecida con vinaza de la destilería de alcohol. Cuando se aplicó el compost tenía un pH de 8,5, conductividad eléctrica de 4,9 dS m⁻¹, y 33% de MO.

Diseño experimental

Se aplicaron tres dosis de compost (5, 10 y 15 t ha⁻¹) sobre un terreno dedicado a la explotación comercial de caña de azúcar, durante 20 años sucesivos. Se utilizó un testigo absoluto en el que no se aplicó ningún tipo de fertilizante. Los tratamientos fueron arreglados en bloques completamente al azar con cuatro repeticiones y las unidades experimentales contaron con una superficie total de 96 m² cada una. El área efectiva para efectuar las evaluaciones fue de 64 m². Las parcelas experimentales constaron de seis hileras con distancias entre ellas de 1,60 m; y una longitud de diez metros.

Toma de muestras de suelo

En cada parcela experimental se tomaron muestras de suelo compuestas antes de establecer el experimento, o sea, antes de efectuar la aplicación de compost, al inicio del nuevo ciclo vegetativo del cultivo e inmediatamente después de efectuada la cosecha, a una profundidad de 0-20 cm, las cuales fueron mezcladas y homogenizadas previamente a partir de 20 submuestras (10 en el surco de caña y 10 en el camellón), ubicadas en los cuatro surcos centrales de la unidad experimental. Las muestras fueron depositadas en fundas de nylon, con sus respectivas etiquetas de identificación, previo envío al laboratorio de suelos para efectuar los análisis físicos y químicos correspondientes.

Análisis de suelo

Para la caracterización de las propiedades físicas y químicas del suelo antes de iniciado el ciclo vegetativo y después de efectuada la cosecha, se realizaron las determinaciones de densidad aparente (DA) (g/m³) por el método del cilindro, la MO (%) por el método de Walkley & Black (1947) modificado, el pH en agua en una relación suelo/solución 1:2,5 (peso/volumen; p/v) (McLean, 1982) mediante potenciometría, P-asimilable (mg/100 g de suelo) y K-intercambiable (meq/100 g de suelo) por el método de Oniani; y el Ca-cambiable (ppm) y Mg-cambiable (ppm) por extracción con AcNH₄ 1N, pH 7) conectura en conductímetro (marca HANNA).

Procedimiento estadístico

Se aplicó análisis de varianza (ANOVA) de un factor intersujetos, en los datos generados en las muestras tomadas antes de aplicados los tratamientos en el inicio del ciclo vegetativo y después de efectuada la cosecha, con la finalidad de conocer si existen diferencias significativas en relación con las variables numéricas DA, MO, P-asimilable, K-intercambiable, Ca-cambiable, Magnesio (Mg)-cambiable y pH, previo cumplimiento de los requisitos de normalidad de los datos (prueba de Shapiro-Wilk), homogeneidad de varianzas (test de Levene) e independencia de los datos.

Cuando se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos objeto de estudio, una vez cosechados, se aplicó la prueba de rangos múltiples de Scheffé para conocer las mejores dosis

de compost relacionadas con las variables dependientes estudiadas. La confiabilidad fue del 95% ($\alpha = 0,05$). Los datos obtenidos fueron procesados con el paquete estadístico SPSS versión 24 de prueba para Windows.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Antes del inicio del ciclo vegetativo del cultivo

Al aplicar las pruebas paramétricas, los datos generados para cada variable objeto de estudio en cada unidad experimental, previo establecimiento de los tratamientos y el desarrollo del ciclo vegetativo del cultivo, evidenciaron normalidad en su distribución de datos y homogeneidad en las varianzas (Tabla 1), lo que significó que la relación entre las variables sería real.

Tabla 1. Resultados de la verificación del cumplimiento de los requisitos de normalidad de datos y homogeneidad de las varianzas (p-valor) antes de la aplicación de los tratamientos.

| Tratamiento (antes de la aplicación) | DA (g/cm ³) | MO (%) | P-asimilable (mg/100 g de suelo) | K-intercambiable (mg/100 g de suelo) | Ca-cambiable (ppm) | Mg-cambiable (ppm) | pH |
|--|-------------------------|--------|-------------------------------------|---|-----------------------|-----------------------|-------|
| (p-valor) Normalidad de datos (Shapiro-Wilk)* | | | | | | | |
| I | 0,556 | 0,806 | 0,739 | 0,952 | 0,586 | 0,683 | 0,272 |
| II | 0,517 | 0,189 | 0,376 | 0,224 | 0,189 | 0,272 | 0,224 |
| III | 0,065 | 1,000 | 0,347 | 0,272 | 0,414 | 0,051 | 0,972 |
| Testigo | 0,262 | 0,296 | 0,069 | 0,240 | 0,275 | 0,272 | 0,683 |
| Homogeneidad de las varianzas (Test de Levene)** | | | | | | | |
| (p-valor) | 0,218 | 0,107 | 0,684 | 0,409 | 0,054 | 0,386 | 0,227 |

*En cada columna valores mayores a 0,05 indican distribución normal en los datos ($p < 0,05$).

**Para cada celda un valor mayor a 0,05 indica homogeneidad en las varianzas ($p < 0,05$).

El ANOVA de un factor intersujetos realizado, evidenció que antes de aplicar los tratamientos en cada unidad experimental, no existían diferencias significativas en ninguna de las variables evaluadas (se obtuvo p -valor $> 0,05$), excepto el Ca-cambiable (p -valor $= 0,000$), que sí presentó diferencia estadística, pero con el testigo absoluto, lo cual confirmó que

el ensayo se desarrolló en condiciones homogéneas para el material y entorno experimental, por lo que las posibles diferencias significativas en los parámetros de estudio, una vez realizada la cosecha, se podían atribuir a la aplicación de compost. Luego se obtuvieron las medias en cada grupo para cada variable (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados del ANOVA de un factor intersujetos para cada variable antes de la aplicación de los tratamientos.

| UE(antes de la aplicación) | DA (g/cm ³) | MO (%) | P-asimilable (mg/100 g de suelo) | K-intercambiable (mg/100 g de suelo) | Ca-cambiable (ppm) | Mg-cambiable (ppm) | pH |
|--|-------------------------|--------|-------------------------------------|---|-----------------------|-----------------------|-------|
| ANOVA de un factor intersujetos* | | | | | | | |
| p-valor | 0,053 | 0,146 | 0,722 | 0,573 | 0,000 | 0,433 | 0,328 |
| Medias para los grupos (Prueba de Scheffé)** | | | | | | | |
| Testigo | 1,60a | 2,45a | 4,32a | 0,20a | 15,24a | 0,98a | 6,50a |
| I | 1,53a | 2,37a | 3,80a | 0,17a | 18,12b | 0,90a | 6,58a |
| II | 1,61a | 2,52a | 4,01a | 0,18a | 18,34b | 0,88a | 6,43a |
| III | 1,64a | 2,63a | 5,36a | 0,20a | 17,54b | 1,05a | 6,45a |

*Para cada variable un p -valor $< 0,05$ indica diferencia significativa entre las unidades experimentales (UE) en las que se aplicarán los diferentes tratamientos.

**Letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa entre las medias para cada tratamiento (p -valor $< 0,05$) según la prueba de rangos múltiples de Scheffé.

Después de efectuada la cosecha

Las pruebas de verificación de los requisitos de normalidad de datos (Shapiro-Wilk) y homogeneidad de las varianzas (test de Levene), para las mediciones

realizadas después de efectuada la cosecha, evidenciaron su cumplimiento y el argumento estadístico para la aplicación de pruebas paramétricas (Tabla 3).

Tabla 3. Resultados de la verificación del cumplimiento de los requisitos de normalidad de datos y homogeneidad de las varianzas (p-valor) después de efectuada la cosecha.

| Tratamiento (después de la cosecha) | DA (g/cm3) | MO(%) | P-asimilable (mg/100 g de suelo) | K-intercambiable (mg/100 g de suelo) | Ca-cambiable (ppm) | Mg-cambiable (ppm) | pH |
|--|---|-------|----------------------------------|--------------------------------------|--------------------|--------------------|-------|
| Compost | (p-valor) Normalidad de datos (Shapiro-Wilk)* | | | | | | |
| I (5 t ha-1) | 0,667 | 0,906 | 0,505 | 0,538 | 0,463 | 0,724 | 0,406 |
| II (10 t ha-1) | 0,556 | 0,054 | 0,679 | 0,714 | 0,434 | 0,272 | 0,683 |
| III (15 t ha-1) | 0,240 | 0,850 | 0,994 | 0,995 | 0,400 | 0,850 | 0,850 |
| Testigo | 0,962 | 0,399 | 0,568 | 0,103 | 0,329 | 0,262 | 0,850 |
| Homogeneidad de las varianzas (Test de Levene)** | | | | | | | |
| (p-valor) | 0,143 | 0,137 | 0,084 | 0,790 | 0,230 | 0,082 | 0,515 |

*En cada columna valores mayores a 0,05 indican distribución normal de los datos (p<0,05).

**Para cada celda un valor mayor a 0,05 indica homogeneidad en las varianzas (p<0,05).

Para la totalidad de las variables estudiadas, el ANOVA de un factor intersujetos realizado mostró valores menores a 0,05, con diferencias significativas entre los tratamientos para cada variable después de efectuada la cosecha, lo

que indicó que la aplicación de diferentes dosis de compost puede generar modificaciones en las propiedades físicas y químicas de un suelo cultivado con caña de azúcar (Tabla 4).

Tabla 4. Resultados del ANOVA de un factor intersujetos para cada variable después de efectuada la cosecha.

| UE(después de la cosecha) | DA (g/cm3) | MO(%) | P-asimilable (mg/100 g de suelo) | K-intercambiable (mg/100 g de suelo) | Ca-cambiable (ppm) | Mg-cambiable (ppm) | pH |
|---------------------------|------------|-------|----------------------------------|--------------------------------------|--------------------|--------------------|-------|
| p-valor | 0,003 | 0,026 | 0,024 | 0,001 | 0,000 | 0,033 | 0,005 |

*Letras diferentes indican diferencia significativa entre las medias de los tratamientos objeto de estudio para cada variable (p-valor<0,05).

Densidad aparente

Los resultados de DA mostraron el valor mayor para el testigo (1,62g/cm³), diferente al resto de los tratamientos que recibieron compost, aunque presentó diferencia probabilística con la aplicación de 15 t de compost ha⁻¹, lo que significa que la adición de este material al suelo disminuye la compactación y beneficia la agregación de partículas y la aireación, lo que permite un mejor desarrollo del sistema radical de la caña, al crearse condiciones favorables para la penetración y expansión de las raíces. Entre tratamientos con aplicación de compost en dosis de 5, 10 y 15 t ha⁻¹, no se encontraron diferencias significativas. Por ello, para mejorar la DA, en suelos con condiciones similares al área del estudio, la aplicación de 5 t de compost ha⁻¹ resulta suficiente, no obstante, a medida que se incrementa la cantidad de compost la DA disminuye (Figura 1).

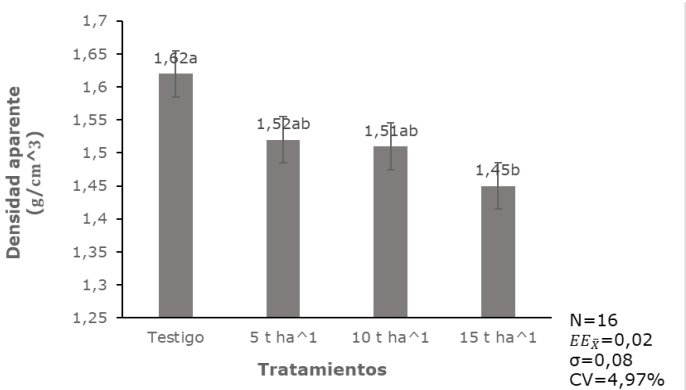


Figura 1. Efecto del compost en la densidad aparente del suelo (g/cm³) después de efectuada la cosecha (N=número de casos, EE=error estándar de la media, σ=desviación típica o estándar, CV=coeficiente de variación). Letras diferentes difieren estadísticamente para p-valor<0,05.

Materia orgánica

Se observó un incremento de la MO del suelo con el aumento de la dosis de compost, ya que la aplicación de 15 t ha⁻¹ produjo un valor de 2,81%, significativamente superior al testigo, que presentó un

valor de 2,42% y a los tratamientos I (5 t ha⁻¹) y II (10 t ha⁻¹ de compost), que alcanzaron valores de 2,46% y 2,65% respectivamente. Estos resultados confirman los beneficios del material sobre la fertilidad del suelo, debido a que el porcentaje de MO aumenta según se eleva la cantidad de compost aplicado (Figura 2).

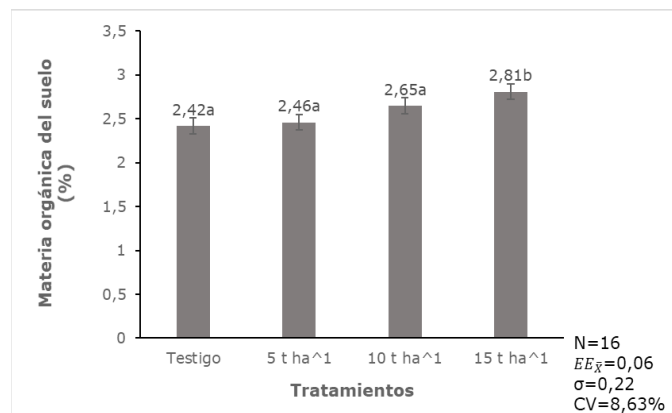


Figura 2. Efecto del compost en el contenido de MO del suelo (%) después de efectuada la cosecha. Letras diferentes difieren estadísticamente para un p-valor < 0,05.

Atendiendo a los resultados obtenidos por Loveland y Webb (2003) y hasta que se disponga de mayor información, se proponen a modo de orientación los rangos de contenido de carbono orgánico y MO del suelo como índices de categorías de abastecimiento (Tabla 5).

Tabla 5. Rangos de abastecimiento para el contenido de carbono orgánico total del suelo.

| Rango de abastecimiento | % de carbono | % de MO |
|-------------------------|--------------|---------|
| Muy pobre | <1 | <1,7 |
| Pobre | 1-2 | 3,4-1,7 |
| Rico | >2 | >3,4 |

Fuente: Loveland y Webb (2003).

El contenido de MO está muy relacionado con el de nitrógeno del suelo, ya que más de un 95 % del nitrógeno total del suelo es orgánico; e influye favorablemente en minimizar sus pérdidas en los agroecosistemas, lo cual es de vital importancia para la fertilidad de los suelos y para atenuar la contaminación ambiental de la biosfera.

Las reservas de nitrógeno (N) de un agroecosistema con vegetación permanente, como un bosque, en que el suelo permanece cubierto sin que se exporte la biomasa formada ni se labore el suelo, tienen mayores posibilidades de conservación que cuando se implanta un cultivo económico. Por ello se hace necesario el suministro adicional de nitrógeno, para que el suelo bajo cultivo no disminuya su fertilidad y capacidad productiva.

Como la MO representa la principal reserva de carbono de la biosfera y constituye la principal fuente de carbono y nitrógeno en los ecosistemas terrestres, de su conservación depende en gran medida la vida del planeta. Según Ros (2012) la mineralización del nitrógeno se encuentra principalmente relacionada con el tamaño de fracciones de la MO total y extraíble, independientemente de la ubicación geográfica, el uso de la tierra y el tiempo de muestreo; suelos con altos niveles de MO tienen mayores tasas de mineralización.

De León (2001) reportó que a contenidos de MO del suelo menores de 2,5% se incrementaba la respuesta de la caña de azúcar a las aplicaciones de N y que con valores superiores a 6% no se observaba respuesta a la fertilización nitrogenada; Pablos (2008) también ha corroborado la importancia de la MO del suelo como factor determinante en la estimación de las dosis de nitrógeno en caña de azúcar (Figura 3).

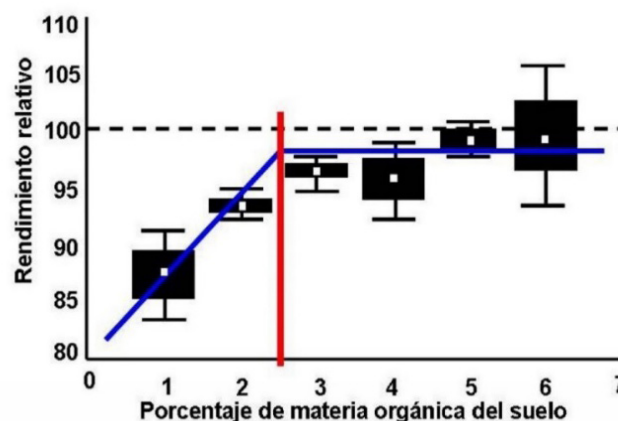


Figura 3. Relación entre contenido de MO del suelo y el rendimiento relativo de la caña de azúcar (De León, 2001).

Basado en este índice crítico de la MOS, en las reconvenientes de fertilizantes vigentes actualmente para la caña de azúcar en Cuba, no se aplica fertilizantes nitrogenados cuando el contenido de la MO del suelo es igual o superior a 2,5% (Pérez & Rodríguez, 2015).

Fósforo asimilable

El contenido de P-asimilable del suelo mostró un incremento significativo en todos los tratamientos que recibieron compost con valores de 3,69; 4,19 y 5,21 mg/100g de suelo para la aplicación de 5, 10 y 15 t de compost ha⁻¹ respectivamente, mientras el tratamiento testigo, presentó el valor más bajo (2,87 mg de P/100 g de suelo). El tratamiento con 15 t de compost ha⁻¹ presentó diferencias estadísticas con el testigo (Figura 4).

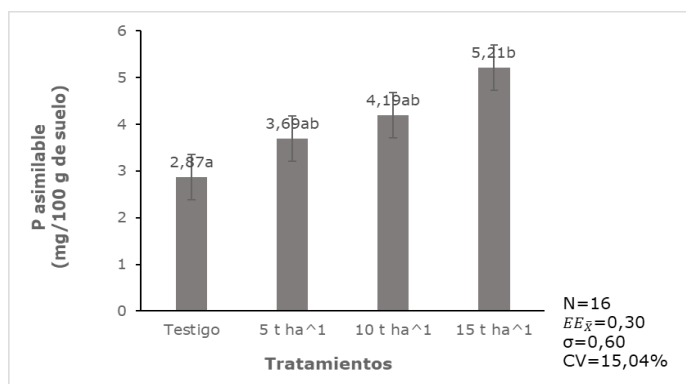


Figura 4. Efecto del compost en el contenido de P-asimilable del suelo (mg/100 g de suelo) después de efectuada la cosecha. Letras diferentes difieren estadísticamente para un p-valor<0,05.

Sin embargo, el contenido asimilable de este elemento es bajo en todos los tratamientos, tomando como base la tabla de calibración que usan en el Ingenio Valdez para aplicar los fertilizantes fosfóricos (Tabla 6).

Tabla 6. Calibración para el uso de los fertilizantes fosfóricos en el Ingenio Valdez

| Fósforo del suelo | Categoría | Recomendación de kg de P ₂ O ₅ /ha |
|-------------------|-----------|--|
| <7,49 | Bajo | 150 |
| 7,50-14,49 | Medio | 100 |
| >14,50 | Alto | 00 |

Fuente: Ingenio Valdez, 2015.

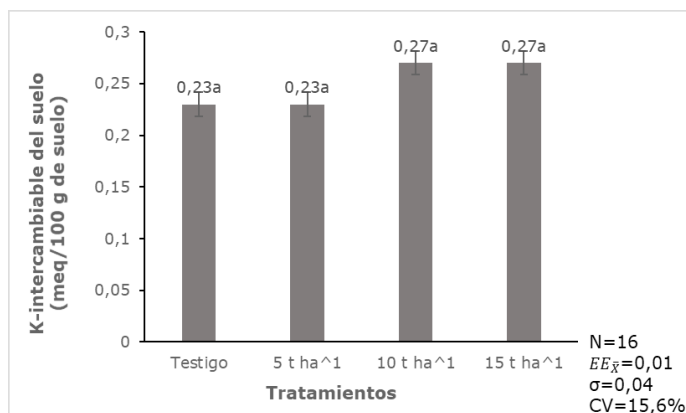


Figura 5. Efecto del compost en el contenido de K-intercambiable del suelo (meq/100 g de suelo) después de efectuada la cosecha. Letras diferentes difieren estadísticamente para un p-valor<0,05.

De acuerdo a la calibración del contenido de K-intercambiable del suelo realizada en el Ingenio Valdez para la fertilización potásica, el contenido del suelo después de aplicar el compost fue medio, por lo que se infiere que este material aporta muy poco potasio al suelo (Tabla 8).

Tabla 8. Calibración del contenido de K-intercambiable del suelo utilizado para recomendar la cantidad de fertilizante potásico a aplicar en las áreas cañeras del Ingenio Valdez.

| Potasio del suelo | Categoría | Recomendación (kg de K ₂ O ha ⁻¹) |
|-------------------|-----------|--|
| <0,15 | Bajo | 150 |
| 0,16-0,30 | Medio | 100 |
| >0,31 | Alto | 00 |

Fuente: Ingenio Valdez, 2015.

Calcio cambiabile

Los resultados obtenidos después de efectuada la cosecha para el contenido de calcio cambiabile del suelo (ppm), evidencian que sus valores se incrementan con la aplicación de compost, lo que puede encontrarse asociado a que el compost aporta niveles altos de calcio y al presentarse condiciones adecuadas de humedad (1520,7 mm de precipitación anual), puede ser solubilizado con mayor facilidad en el suelo (Figura 6).

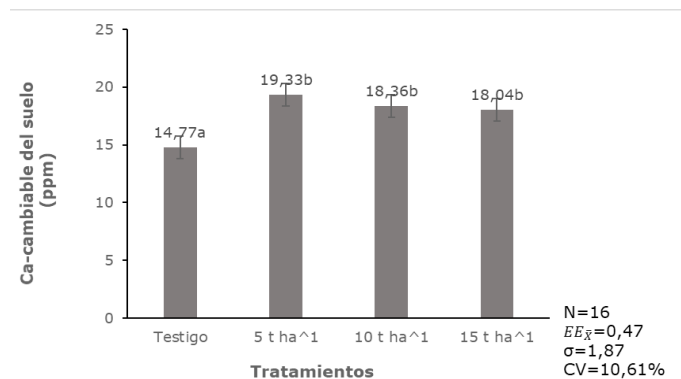


Figura 6. Efecto del compost en el contenido de Ca-cambiabile del suelo (ppm) después de efectuada la cosecha. Letras diferentes difieren estadísticamente para un p-valor<0,05.

El contenido de Ca-cambiabile se incrementó con las aplicaciones de compost, correspondiendo el menor valor después de realizada la cosecha al testigo (14,77 ppm), mientras los tratamientos que recibieron compost a 5, 10 y 15 t ha⁻¹ presentaron valores de 19,33, 18,36 y 18,04 ppm, respectivamente. Los tratamientos II, III y IV fueron significativamente superiores al testigo después de efectuada la cosecha.

Magnesio cambiabile

Los resultados obtenidos después de efectuada la cosecha sobre el contenido de Mg-cambiabile del suelo (ppm), evidenciaron un incremento significativo de los valores para todos los tratamientos de compost respecto al testigo, lo que puede atribuirse a que este material realiza un aporte importante de este elemento. Se obtuvieron los mayores valores

(1,13 ppm) con la aplicación de 15 t de compost ha⁻¹ (Figura 7).

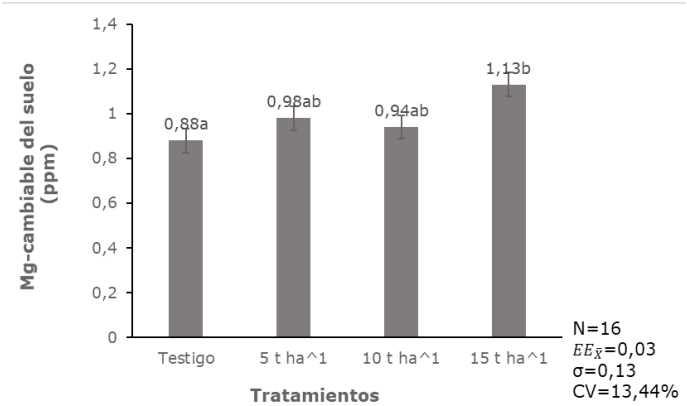


Figura 7. Efecto del compost en el contenido de Mg-cambiable del suelo (ppm) después de efectuada la cosecha. Letras diferentes difieren estadísticamente para un p-valor < 0,05.

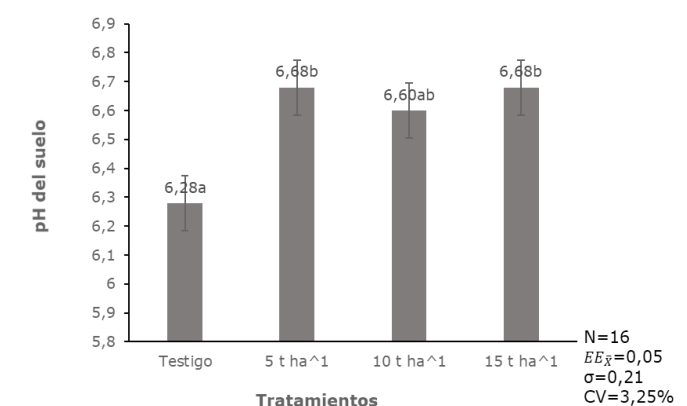


Figura 8. Efecto del compost en el pH del suelo después de efectuada la cosecha. Letras diferentes difieren estadísticamente para un p-valor < 0,05.

Los resultados evidencian una disminución de la acidez del suelo con la aplicación de compost, lo cual mejora la solubilidad y absorción de los elementos nutritivos por la planta, cuestión que se corrobora con los resultados de Cuellar (2002), citado por Salgado, Lagunes, Núñez, Ortiz, & Aranda, (2013), quien concluyó en su investigación que el proceso de composteo transforma los compuestos orgánicos en compuestos más estables, con altos contenidos de humus y nutrientes más solubles.

Rendimiento agrícola

La producción de caña (t ha⁻¹) se incrementó significativamente con la aplicación de compost. Los tratamientos donde se aplicó este material, mostraron valores de 18,82, 23,37 y 20,68 t de caña ha⁻¹ superiores al testigo que no recibió ningún tipo de fertilizante mineral ni enmienda orgánica (Tabla 9).

Tabla 9. Rendimiento agrícola según tratamientos que recibieron compost en relación con el testigo.

| Tratamiento | Caña t ha-1* | Incremento en relación al testigo (t caña ha-1) |
|-------------|--------------|---|
| Testigo | 85,96 a | 0 |
| I (5) | 104,78 b | 18,82 |
| II (10) | 109,33 b | 23,37 |
| III (15) | 106,64 b | 20,68 |

*Letras diferentes difieren estadísticamente para un p-valor < 0,05.

Cuellar (2002), citado por Salgado et al (2013) reportó que el compost aplicado como fertilizante orgánico, además de mejorar las características físicas del suelo constituye un excelente material que puede sustituir parcial o totalmente los fertilizantes minerales.

CONCLUSIONES

El efecto de la aplicación del compost sobre las propiedades físico-químicas de un suelo dedicado al cultivo de la caña de azúcar en el Ingenio Valdez se considera favorable; debido a la disminución de los valores de densidad aparente (los tratamientos de 5 t ha⁻¹ (1,52 g/cm³), 10 t ha⁻¹ (1,51 g/cm³) y 15 t ha⁻¹ (1,45 g/cm³), al incremento de la materia orgánica (el mayor porcentaje se registró con la aplicación de 15 t ha⁻¹ donde se obtuvo 2,81%, valor medio que puede encontrarse asociado al sistema de cosecha basado en la quema de la caña para efectuar la cosecha, diferente al testigo en el que se alcanzó 2,42%); y al aumento de contenido de P-asimilable del suelo en todos los tratamientos que recibieron compost, acentuándose con la aplicación de 15 t ha⁻¹ para la cual se registró el valor más alto (5,21 mg/100 g de suelo), estadísticamente diferente al testigo (2,87 mg/100 g de suelo), no ocurriendo así con el K-intercambiable, que no mostró incremento con el suministro de compost, lo que explica el bajo aporte de K₂O que realiza esta enmienda orgánica. El contenido de Ca-cambiable y Mg-cambiable del suelo, también se incrementaron considerablemente con las aplicaciones de compost; el tratamiento de 15 t ha⁻¹ fue significativamente superior al testigo, con un incremento de 3,27 y 0,25 ppm respectivamente. El pH del suelo se benefició con las aplicaciones de compost al disminuir la acidez del suelo, lo cual favorece la solubilidad de los nutrientes en el suelo; el tratamiento de 15 t de compost ha⁻¹ mostró un valor de 6,68, diferente estadísticamente al testigo, donde se obtuvo 6,28. La aplicación de compost incrementó significativamente el rendimiento agrícola, con valores de 18,82; 23,37 y 20,68 t de caña ha⁻¹ respectivamente, en relación al testigo donde no se aplicó.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aira, M., Monroy, F., & Domínguez, J. (2003). Effects of two species of earthworms (*Allolobophora* spp.) on soil systems: a microfaunal and biochemical analysis. *Pedobiologia*, 47, 877-881.
- Aira, M., Monroy, F., & Domínguez, J. (2007). Earthworms strongly modify microbial biomass and activity triggering enzymatic activities during vermicomposting independently of the application rates of pig slurry. *Science of the Total Environment*, 385, 252-261.
- Bautista, F., & Durán de Bazúa, C. (1998). Análisis del beneficio y riesgo potenciales de la aplicación al suelo de vinaza crudas y tratadas biológicamente. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 14, 1117.
- Bernui, F. S., & Rivero, J. F. (2016). Obtención de abono orgánico (compost) a partir de desechos agroindustriales y su influencia en el rendimiento del cultivo *Zea Mays*. *Ciencia y Tecnología*, 12(1), 45-56.
- Cevallos, E., Gómez, L. M., & Roldán, A. (2015). Análisis de los problemas ambientales en el cantón La Concordia, provincia Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador. *Revista Científica Investigación y Saberes*, IV(1), 1-16.
- Cundiff, J., & Markin, K. (2003). *Dynamics of Biological Systems*. Michigan: American Society of Agricultural Engineers.
- Cury, K., Aguas, Y., Martínez, A., Olivero, R., & Chams, L. (2017). Residuos agroindustriales su impacto, manejo y aprovechamiento. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 9(Supl), 122-132. doi:Doi: 10.24188/recia.v9.nS.2017.530.
- Da Gloria, N. A., Santa Ana, A. G., & Biagi, E. (1973). Composição dos resíduos de usinas e destilarias. *Brasil Açucareiro, Rio de Janeiro*, 95, 49-71.
- Daniel, O., & Anderson, J. M. (1992). Microbial biomass and activity in contrasting soil material after passage through the gut of the earthworm *Lumbricus rubellus* Hoffmeister. *Soil Biology and Biochemistry*, 24, 465-470.
- De León, M. E. (2001). *Perfeccionamiento del sistema nacional de recomendaciones y control del uso de fertilizantes en el cultivo de la caña de azúcar*. La Habana: Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar.
- Domínguez, J., Lazcano, C., & Gómez-Brandón, M. (2010). Influencia del vermicompost en el crecimiento de las plantas. Aportes para la elaboración de un concepto objetivo. *Acta Zoológica Mexicana*, (Número Especial 2), 359-371.
- Edwards, C. A. (1998). *Earthworm ecology*. Boca Raton: CRC/Lewis Press.
- Edwards, C. A., & Bohlen, P. J. (1996). *Biology and ecology of earthworms*. London: Chapman and Hall.
- García, M. C., Vanotti, M. B., & Szogi, A. A. (2007). Simultaneous separation of phosphorus sludge and manure solids with polymers. *Trans ASABE*, 50(6), 2205-2215.
- Hassen, H. (2000). Producción Limpia, Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible. *Revista Escuela de administración de negocios*, 39-40, 56-72.
- Holdridge, L. R. (1947). Determination of world plant formations from simple climatic data. *Science*, 105, 367-368.
- IBM Corp. (2016). *SPSS Statistics versión 24.0.0.0 de prueba para Windows*. Barcelona: International Business Machines Corp.
- Jongmans, A. G., Pulleman, M. M., Balabane, M., Van Oort, F., & Marinissen, J. C. (2003). Soil structure and characteristics of organic matter in two orchards differing in earthworm activity. *Applied Soil Ecology*, 24, 219-232.
- Loveland, P., & Webb, J. (2003). Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review? *Soil Tillage & Research*, 70(1), 1-18.
- McLean, E. (1982). Soil pH and lime requirements. En A. L. Page, R. H. Miller, & D. R. Keeney, *Methods of soil analysis. Part 2. Agronomy* 9 (pp. 199-224). Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy.
- Moreno, J., Moral, R., García, J., Pascual, J., & Bernal, M. (2014). *De residuo a recurso. El camino hacia la sostenibilidad*. Barcelona: Aedos, s.a.
- Pablos, P. (2008). *Perfeccionamiento de los criterios utilizados para la fertilización nitrogenada de la caña de azúcar en Cuba*. La Habana: Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar.
- Pérez, H., & Rodríguez, I. (2015). Fundamento para el empleo eficiente de los fertilizantes nitrogenados en la caña de azúcar en Cuba. *CUMBRES*, 1(1), 9-15. Recuperado de <http://investigacion.utmachala.edu.ec/revistas/index.php/Cumbres/article/download/1/1>
- Pérez, H., Rodríguez, I., & Arzola, N. C. (2015). *Aprovechamiento sostenible de los Residuos de origen orgánico y la zeolita en la agricultura*. Machala, Ecuador: Ediciones utmach.
- Pérez, H., Santana, I., & Rodríguez, I. (2015a). *Manejo sostenible de tierras en la Producción de caña de azúcar. Tomo I.* (2da ed) Machala, Ecuador: Editorial utmach.
- Pérez, H., Santana, I., & Rodríguez, I. (2015b). *Manejo sostenible de tierras en la Producción de caña de azúcar. Tomo II.* (2da ed) Machala, Ecuador: UTMACH.
- Primo, Y. E., & Carrasco, J. M. (1973). *Química agrícola: suelos y fertilizantes*. Madrid: Alambra.

- Ros, G. H. (2012). Predicción de mineralización de N del suelo usando fracciones de materia orgánica del suelo y propiedades: Un nuevo análisis de los datos de la literatura. *Soil Biology and Biochemistry*, 45, 132-135.
- Salgado, S., Lagunes, L., Núñez, R., Ortiz, C., & Aranda, E. (2013). *Caña de Azúcar: Producción sustentable*. Texcoco, Estado de México: Edición Colegio de Postgraduados.
- Scheu, S. (1987). Microbial activity and nutrient dynamics in earthworm casts. *Biology and Fertility of Soils*, 5(3), 230-234.
- Schindler-Wessells, M. L., Bohlen, P. J., McCartney, D. A., Subler, S., & Edwards, C. A. (1996). Earthworm effects on soil respiration in corn agroecosystems receiving different nitrogen inputs. *Soil Biology and Biochemistry*, 29, 409-412.
- Tenório, Z., Silveira, O., Ribeiro, O. R., Gascó, J. M., & Guerrero, F. (2000). Estudio de la actividad biológica de dos suelos de los tableros costeros del NE de Brasil enmendados con residuos agrícolas: Vinaza y torta de caña de azúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 4(1), 70-74.
- Wadhwa, M., Bakshi, M. P., & Makkar, H. P. (2013). *Utilization of fruit and vegetable wastes as livestock feed and as substrates for generation of other value-added products*. Roma: FAO. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i3273e.pdf>
- Walkley, A. L., & Black, A. (1947). A rapid determination of soil organic matter. *Journal of Agricultural Science*, 25, 563-568.