

Grupo eumed.net / Universidad de Málaga y
Red Académica Iberoamericana Local-Global
Indexada en IN-Recs (95 de 136), en LATINDEX (33 DE 36), reconocida por el DICE, incorporada a la
base de datos bibliográfica ISOC, en RePec, resumida en DIALNET y encuadrada en el Grupo C de la
Clasificación Integrada de Revistas Científicas de España.

Vol 10. N° 29
Junio 2017
www.eumed.net/rev/delos/29

EFFECTOS DE LA APLICACIÓN DE COMPOST SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS DEL SUELO Y EL RENDIMIENTO DE AZÚCAR

Walter Oswaldo Jara Olea¹

Ingenio Azucarero Valdez, Milagro, Ecuador
wjara@valdez.com.ec

Mónica del Rocío Munzón Quintana²

Universidad Agraria del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrarias
mmunzon@uagraria.edu.ec

Allan Alberto Alvarado Aguayo³

Universidad Agraria del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrarias
aalvarado@uagraria.edu.ec
Ecuador

CONTENIDO

Resumen	2
Abstract	3
1. Introducción	4
1.1. Aspectos generales de la nutrición en la caña de azúcar	4
1.2. Abonos orgánicos en caña de azúcar	4
2. Materiales y métodos	6
2.1. Caracterización del área del ensayo	6
2.2. Método estadístico	6
2.3. Variables del ensayo	8
3. Resultados	8
3.1. Brix en el jugo de la caña	8

¹ Ingeniero Agrónomo; Magister en Agroecología y Agricultura Sostenible; Director de Experimentación Agrícola, Ingenio Azucarero Valdez, San Francisco de Milagro, Ecuador

² Ingeniera Agrónoma; Magister en Riego y Drenaje; Profesora Titular Auxiliar de la Universidad Agraria del Ecuador, Unidad Académica Programa Regional de Enseñanza El Triunfo

³ Ingeniero Agrónomo; Magister en Docencia Superior; Profesor Titular Auxiliar de la Universidad Agraria del Ecuador, Unidad Académica Programa Regional de Enseñanza El Triunfo

3.2.	Sacarosa en jugo de caña	9
3.3.	Pureza en el jugo de caña	9
3.4.	Rendimiento de azúcar en sacos por hectárea	10
3.5.	Efecto de la aplicaciones de compost, solo o combinado con fertilizantes minerales, sobre la producción de azúcar (t ha ⁻¹).	11
3.6.	Valoración económica.....	12
4.	Discusión.....	13
5.	Conclusiones.....	14
6.	Recomendaciones	15
7.	Referencias	15

RESUMEN

En un suelo Vertic Haplustept del Ingenio Valdez, Ecuador, se desarrolló una investigación de campo con el objetivo de evaluar la influencia de la aplicación individual y combinada de compost y fertilizantes minerales sobre la calidad de la caña, como materia prima para la producción de azúcar. La investigación se desarrolló en un tablón de soca 1 plantado con el cultivar Ecu-01. Los tratamientos evaluados fueron compost a razón de 5, 10 y 15 t ha⁻¹ aplicados solo o en combinación con 50 y 75 % del fertilizante mineral requerido para el tablón de acuerdo al análisis de suelo. Los resultados mostraron que no se detectó diferencia significativa entre los tratamientos evaluados respecto al Brix, el contenido de sacarosa en jugo y la pureza de la caña al momento de realizar la cosecha. Sin embargo existe una tendencia, desde el punto de vista aritmético que no debe ser desechada, ya que el tratamiento VIII (Compost 15 t ha⁻¹ + 50 % de fertilización mineral) presenta un valor de 14.13 % superior al tratamiento VII el cual muestra 11.88 % (Compost 15 t ha⁻¹) con relación al contenido de sacarosa, mientras con respecto a la pureza, el tratamiento IX (Compost 15 t ha⁻¹ + 75 % de fertilización mineral) presenta un valor de 84.82 % superior al tratamiento VII (Compost 15 t ha⁻¹) cuyo valor es de 81.03 %, lo que puede estar asociado, en ambos parámetros de calidad, a la aplicación de compost y fertilizantes minerales. En producción de azúcar/ha⁻¹ el tratamiento 5 t de compost ha⁻¹ combinado con 75 % del fertilizante mineral origina el mayor incremento. Los diferentes tratamientos evaluados no mostraron influencia alguna sobre la calidad industrial de la caña, como materia prima para producir azúcar.

Palabras clave: Compostaje - calidad de la caña de azúcar - fertilizantes minerales - producción.

ABSTRACT

In a soil Vertic Haplustept del sugar mill Valdez, Ecuador, field research was developed with the objective of evaluating the influence of individual and combined application of compost and mineral fertilizers on the quality of the cane as raw material for sugar production. The research was conducted on a bulletin soca 1 planted with the cultivar Ecu-01. The treatments were compost at 5, 10 and 15 t ha⁻¹ applied alone or in combination with 50 and 75% of mineral fertilizer required for the board according to soil analysis. The results showed that no significant difference was detected between treatments regarding Brix, sucrose content in juice and pure cane at the time of harvest. However there is a tendency from the arithmetical point of view that should not be discarded, since treatment VIII (Compost 15 t ha⁻¹ + 50% mineral fertilization) has a value of 14.13% superior to treatment VII which shows 11.88% (Compost 15 t ha⁻¹) relative to the sucrose content, while with respect to purity, treatment IX (Compost 15 t ha⁻¹ + 75% mineral fertilization) has a value of 84.82% superior to treatment VII (compost 15 t ha⁻¹) whose value is 81.03%, which may be associated, in both quality parameters, the application of compost and mineral fertilizers. In production sugar/ha-1 treatment 5 t ha⁻¹ compost combined with 75% of mineral fertilizer causes the greatest increase. The different treatments evaluated did not show any influence on the industrial quality of the cane, as raw material to produce sugar.

Keywords: Application of compost, sugar cane quality, mineral fertilizers, sugar production.

Clasificación JEL: Q01, Y10, C93

1. INTRODUCCIÓN

El procesamiento de la caña de azúcar para la obtención de sacarosa comienza en el campo. El cultivar empleado, las condiciones edafoclimáticas, las prácticas de manejo, como la dosis y época de aplicación de los fertilizantes y el riego, son factores que influyen en el grado de madurez y determinan la calidad del material producido. Esta calidad se reconoce en el momento de la molienda por la cantidad de azúcar recuperable o rendimiento que se obtiene por tonelada de caña molida, lo cual depende de características como alto contenido de sacarosa, bajo contenido de materias extrañas, bajo contenido de azúcares reductores, bajo niveles de fibra, lo que tiene una relación directa con el volumen de producción final de azúcar por tonelada de caña molida. Así mismo, la calidad de los jugos afecta el procesamiento de la caña y la recuperación de sacarosa en los ingenios azucareros.

1.1. Aspectos generales de la nutrición en la caña de azúcar

La producción de caña está influenciada por una nutrición del cultivo. En este aspecto, una fertilización mineral no puede ser reemplazada por fuentes orgánicas, y viceversa, ya que ambas se complementan. Sin embargo, todas las fuentes orgánicas deben ser utilizadas para reciclar los nutrientes, garantizar un entorno saludable y proteger la fertilidad de los suelos y otros recursos naturales (Leng, y otros 2009).

Algunos fertilizantes nitrogenados, como el sulfato de amonio, causan acidez en el suelo y contaminación del agua por nitratos y nitritos (Galaviz, y otros 2010). Los abonos de origen animal y vegetal, constituyen una opción que permite el aporte de materia orgánica, actuando como un depósito de nutrimentos que se suministran en forma lenta y regular a las plantas en crecimiento (Salgado, Palma, y otros 2006). El contenido de materia orgánica (MO) del suelo es favorecido con la aplicación de residuos del procesamiento agroindustrial de la caña de azúcar, lo que está en correspondencia con la necesidad de reciclar los mismos, dada las mejoras que de esta forma se obtiene en el suelo y el daño que se deja de hacer a las aguas y a la atmósfera (Arzola 2006).

1.2. Abonos orgánicos en caña de azúcar

La cachaza es un buen ejemplo de reciclaje de MO, al ser un residuo de la industria azucarera formado a partir de los lodos formados por las impurezas, ceras, hidrocarburos y azúcares que aporta la caña (Hernández, y otros 2008). Cuando se compostea la cachaza en fresco y se aplica al suelo, beneficia su estructura y aireación y promueve el desarrollo de raíces y la penetración del agua en su interior (Elsayed, y otros 2007), disminuye la compactación causada por la maquinaria que se utiliza al momento de la cosecha (Sánchez 1994), aumenta su capacidad de almacenaje de agua (Romero, y otros 2002).

La aportación de vermicomposta derivada de cachaza y estiércol de bovino disminuye la densidad aparente del suelo, fomentando la formación de agregados estables en agua y

promoviendo una estructura granulada y menos compacta del suelo (Sánchez, y otros 2005). Por lo que se refiere a la vinaza, otra alternativa de aprovechamiento de la MO, obtenida a partir del jugo de caña o de la melaza, Goncalves, y otros (2013) no reportan diferencias significativas en la densidad aparente de suelo a diferentes profundidades. Después de un año de aplicar cachaza compostada, la cantidad de P y MO en el suelo se incrementa (Hernández, Lagunes y Palma 2008).

La mezcla de cachaza y bagazo de caña con 90 días de compostaje presenta una relación carbono-nitrógeno (C/N) estable, así como una baja cantidad de nitrógeno amoniacal (NH_4), lo cual permite que exista una cantidad de nitratos disponibles para la planta (Meunchang, Weaber y Panichsakpatana 2005). Los efectos favorables para el suelo también han sido reportados por Elsayed, y otros (2007) quienes indican que la aplicación de cachaza estimula el aumento de las reservas de materia orgánica del suelo, el carbono orgánico, el nitrógeno total y la cantidad de fósforo.

Por lo que se refiere a los efectos de la vinaza obtenida a partir de la melaza, aporta el doble de nutrimentos que la obtenida directamente de jugo de caña de azúcar, aunque estas tienen un bajo contenido de P y N, al irrigar con vinazas y agregar un complemento 60 kg ha⁻¹ de N estas aumentan el nivel de K, Fe, y P, así como el pH (Bautista 2000). La vinaza posee un efecto beneficioso sobre las propiedades físicas del suelo, lo que resulta de interés en aquellos donde el mal drenaje y la falta de aireación limitan los rendimientos del cultivo, mejora la estructura y agregación de las partículas, así como de la permeabilidad del suelo (Arzola, y otros 2015).

El compost de cachaza presenta 59.8% de materia orgánica (Hernández, y otros 2008), que es el alimento de una multitud de microorganismos y favorece procesos de mineralización, el desarrollo de la cubierta vegetal y estimula el crecimiento de la planta en un sistema ecológico equilibrado (Julca, y otros 2006).

Según Arzola, y otros (2015) la formación de humus y en especial del ácido húmico, tiene efecto altamente beneficioso en los suelos. Hace que sean estables en el aspecto de biodegradación y consecuentemente a la descomposición microbiana, le imparte buenas propiedades físicas que implican mejor aireación y menos compactación, eleva la CIC lo que influye grandemente en la nutrición de las plantas y, finalmente, balancea las cantidades de los principales elementos nutritivos: N, P, K, Ca y Mg (Quiroz y Pérez 2013).

Los nutrientes contenidos en el compost se incorporan al suelo de una forma gradual, lo que está más acorde con las necesidades de las plantas que en el caso de los fertilizantes minerales que se solubilizan rápidamente. Además el compost disminuye las pérdidas de nutrientes del suelo y hace más eficiente la asimilación por las plantas, de los nutrientes aportados con los fertilizantes minerales (Arzola, y otros 2015).

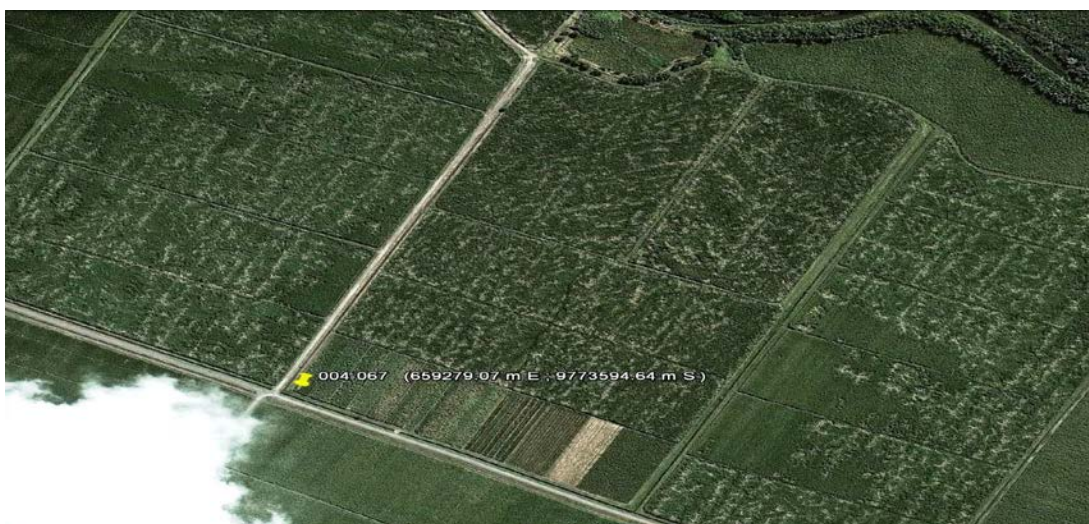
En la realización de este trabajo se evaluó el efecto de las aplicaciones de compost solo o combinado con fertilizante mineral en los grados Brix, la pureza y contenido de sacarosa en el jugo de caña, así como la cantidad de azúcar producida en t ha⁻¹.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Caracterización del área del ensayo

La investigación se desarrolló en un tablón de soca 1 plantado con el cultivar ECU-01, sobre un suelo Vertic Haplustept de la Compañía Azucarera Valdez, ubicada en las coordenadas 79° 39' de longitud oeste y los 08° 09' de latitud sur, a 13 msnm, en el cantón Milagro, Provincia del Guayas, Ecuador. El clima es estable, característico de la zona tropical húmeda con temperaturas mínimas de 21.3 °C, media de 25.1 °C y máxima de 29.8 °C, la lluvia total anual es de 1520,7 mm, la humedad relativa media anual es de 80%, horas luz de 2019,1 de heliofanía anual y la evaporación presenta valores de 1305,1 mm anual, lo cual es adecuado para el normal crecimiento y desarrollo del cultivo de la caña de azúcar.

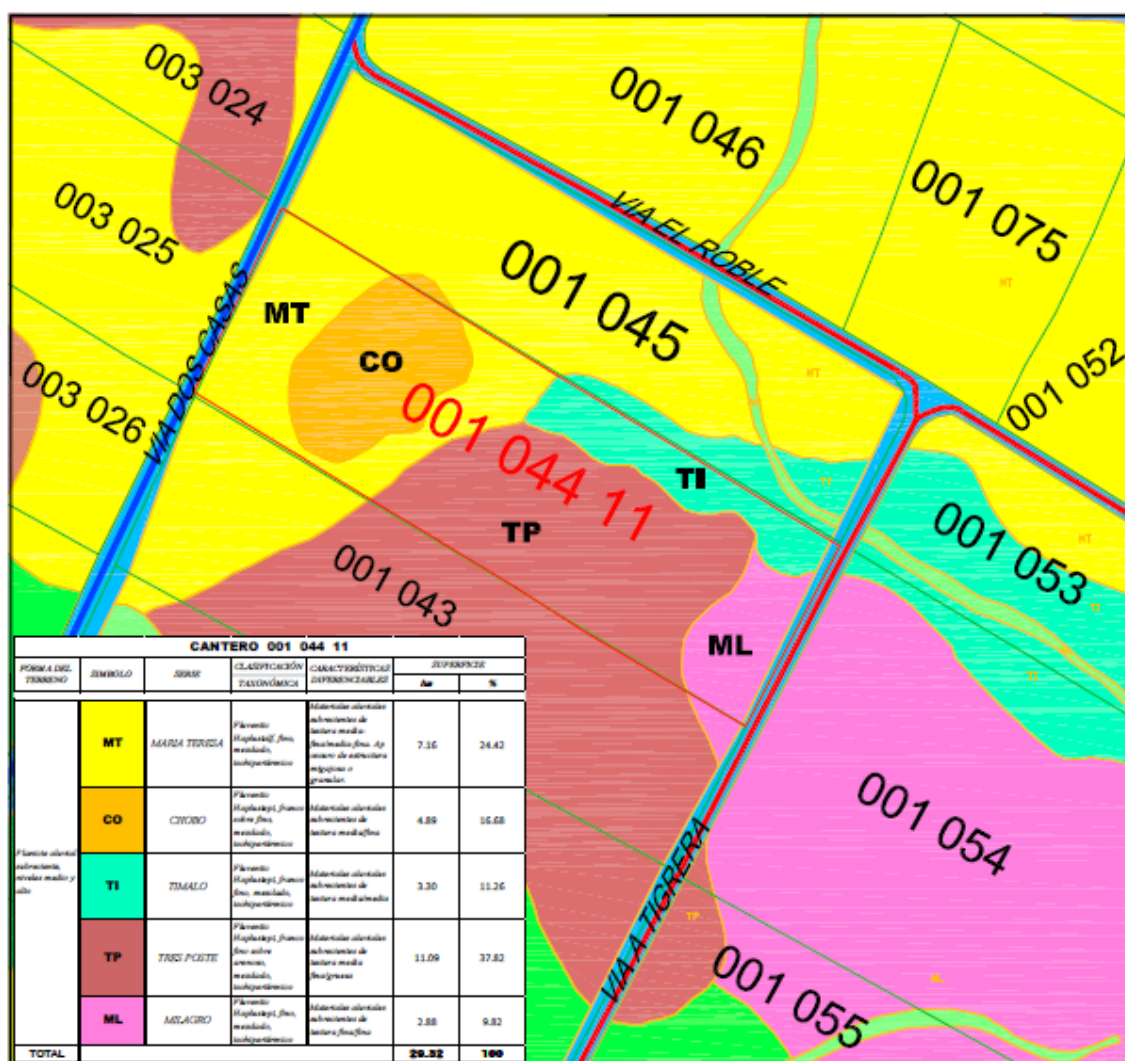
Figura 1. Mapa de ubicación geográfica del Ingenio Valdez en la ciudad de Milagro, Ecuador



Fuente: Google Maps

2.2. Método estadístico

Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con arreglo factorial de once tratamientos y cuatro réplicas (11x4=44 parcelas), con una superficie total cada una de 96 m². El área efectiva para las evaluaciones y la realización de los cálculos fue de 64 m². El experimento tuvo una protección de dos surcos de borde a ambos lados y dos metros por el frente y el fondo del mismo. Los tratamientos evaluados fueron compost a razón de 5, 10 y 15 t ha⁻¹ aplicado solo o en combinación con 50 y 75 % del fertilizante mineral requerido para el tablón de acuerdo al análisis de suelo.

Anexo 3. Cartilla de suelos donde se encuentra ubicada el área del experimento desarrollado

Fuente: Jara, W. 2016

Se utilizó estadística inferencial debido a que se realizó una investigación experimental en la que se determinó la influencia de los diferentes tratamientos, con sus diferentes dosis y combinaciones, sobre las variables dependientes evaluadas, y para determinar las diferencias significativas se efectuó un ANOVA de una vía, previa comprobación de los supuestos de independencia de los datos, homogeneidad de varianzas y normalidad de las distribuciones de datos, con una confiabilidad de 95% ($\alpha=0,05\%$) el cual constituye la probabilidad máxima de error que se aceptó en la investigación; cuando se presentaron diferencia estadísticamente significativas se crearon los subconjuntos homogéneos a partir de la prueba HSD de Tukey. Para realizar el procesamiento estadístico se utilizó el Paquete Estadístico SPSS Versión 22 para Windows.

2.3. Variables del ensayo

Para determinar la influencia de la aplicación de compost solo o combinado sobre la calidad de la materia prima, se analizaron muestras de caña de cada unidad experimental al momento de la cosecha donde se determinó los grados Brix, la pureza y contenido de sacarosa en el jugo, posteriormente una vez obtenido el rendimiento agrícola de cada parcela se calculó la cantidad de azúcar producida por tratamiento en t ha⁻¹ y final mente se realizó una valoración económica de la producción obtenida.

Cuadro 1. Composición del compost elaborado en el Ingenio Valdez.

Abono	pH	CE 1:2,5	MO	N	P	Na	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	B	S
Sólido	8.5	4.9	33	1.22	1.35	0.7	1.35	0.26	0.23	14000	116	50	112	17.2	0.57
Líquido	7.7	25	9.5	0.1	0.011	0.028	2.4	1.3	0.4	34	1.1	0.04	1	3	0.19

Fuente: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA), 2016

3. RESULTADOS

3.1 Brix en el jugo de la caña

Los resultados obtenidos para la variable Brix en el jugo de caña evidencian que no se presentan diferencias estadísticamente significativas debido a que el nivel de significación obtenido por el ANOVA de una vía realizado (0.912) es superior al valor predefinido de antemano para realizar la prueba (alfa <0.05), por lo que se acepta la Hipótesis nula (H₀) que explica que para los distintos tratamientos estudiados el Brix en jugo de caña es similar, lo que puede ser explicado en función de que las aplicaciones de compost y fertilizantes minerales no presenta influencia en los grados Brix de la caña de azúcar

En la tabla 1 se muestran los valores de Brix en jugo de caña obtenidos para cada tratamiento, los cuales aunque no presentan diferencia estadísticas si presentan desde el punto de vista aritmético una diferencia que no debe ser desechada ya que el tratamiento VIII (Compost a 15 t ha⁻¹ + 50% de la dosis de fertilización mineral) se obtiene un valor de 17.10 superior al tratamiento VII el cual muestra 14.59 (Compost a 15 t ha⁻¹) lo que puede estar asociado a la aplicación de fertilizantes minerales.

Tabla 1. Resultados de la prueba HSD Tukey que muestra el subconjunto homogéneo creado para la variable Brix en jugo de caña antes de la cosecha.

Tratamiento	Subconjunto para alfa = 0.05 1
VII	14.59
X	15.16
II	15.35
III	15.95

Tratamiento	Subconjunto para alfa = 0.05 1
IV	15.96
VI	16.15
V	16.39
I	16.73
XI	16.77
IX	16.82
VIII	17.10
Sig.	0.909

Elaboración: propia

3.2. Sacarosa en jugo de caña

Los resultados obtenidos para la variable Sacarosa en jugo de caña muestran que no existen diferencias estadísticamente significativas debido a que el nivel de significación obtenido por el ANOVA de una vía realizado (0.945) es superior al valor predefinido por la prueba (alfa <0.05), por lo que se acepta la Hipótesis nula (H0), por lo que se infiere que para los distintos tratamientos estudiados la sacarosa en el jugo de caña es similar.

En la tabla 2 se muestran los valores de Sacarosa en jugo de caña obtenidos para cada tratamiento, los cuales aunque no presentan diferencia estadísticas si presentan desde el punto de vista aritmético una diferencia que no debe ser desechada ya que el tratamiento VIII (Compost a 15 t ha⁻¹ + 50% de la dosis de fertilización mineral) se obtiene un valor de 14.135 superior al tratamiento VII el cual muestra 11.88 (Compost a 15 t ha⁻¹) lo que puede estar

Tabla 2. Resultados de la prueba HSD Tukey que muestra el subconjunto homogéneo creado para la variable Sacarosa en jugo de caña (%) antes de la cosecha.

Tratamiento	Subconjunto para alfa = 0.05 1
VII	11.88
II	12.52
X	12.85
IV	13.28
III	13.34
VI	13.52
V	13.75
XI	14.19
I	14.21
IX	14.31
VIII	14.35
Sig.	0.954

Elaboración: propia

3.3. Pureza en el jugo de caña

Los valores obtenidos para la variable Pureza en el jugo de caña demuestran que no existen diferencias estadísticamente significativas debido a que el nivel de significación obtenido por el ANOVA de una vía realizado (0.982) es superior al valor predefinido por la prueba (alfa <0.05), por

lo que se acepta la Hipótesis nula (H_0), por lo que se deduce que para los distintos tratamientos estudiados la pureza en jugo de caña presenta valores similares

En la tabla 3 se muestran los valores de Pureza en jugo de caña obtenidos para cada tratamiento, los cuales aunque no presentan diferencia estadísticas, si presentan desde el punto de vista aritmético una diferencia que no debe ser desechada ya que el tratamiento IX (Compost a 15 t ha⁻¹ + 75% de la dosis de fertilización mineral) se obtiene un valor de 84.82% superior al tratamiento VII (Compost a 15 t ha⁻¹) el cual muestra un valor de 81.03% lo que puede estar asociado a la aplicación de compost y fertilizantes minerales.

Tabla 3. Resultados de la prueba HSD Tukey que muestra el subconjunto homogéneo creado para la variable Pureza en jugo de caña (%) antes de la cosecha.

Tratamiento	Subconjunto para alfa = 0.05 1
VII	81.03
II	81.42
X	81.55
IV	82.21
VI	83.13
III	83.58
V	83.73
VIII	83.89
XI	84.33
I	84.80
IX	84.82
Sig.	0.993

Elaboración: propia

3.4. Rendimiento de azúcar en sacos por hectárea

Los resultados obtenidos para la variable Rendimiento de azúcar producida (Sacos ha⁻¹) evidencia que no existen diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, debido a que el nivel de significación obtenido por el ANOVA de una vía realizado (0.965) es superior al valor predefinido por la prueba ($\alpha < 0.05$), por lo que se acepta la Hipótesis nula (H_0), por lo que se infiere que para los distintos tratamientos estudiados el Brix en jugo de caña es similar.

En la tabla 4 se muestran los valores de producción de sacos de azúcar ha⁻¹ obtenidos para cada tratamiento, los cuales aunque no presentan diferencia estadísticas si presentan desde el punto de vista aritmético una diferencia que debe ser tomada en cuenta ya que en el tratamiento III (Compost a 5 t ha⁻¹ + 75% de la dosis de fertilización mineral) se obtiene un valor de 216.07 sacos, superior al tratamiento VII (Compost a 15 t ha⁻¹) el cual muestra un valor de 173.91 sacos ha⁻¹, lo que puede estar asociado a la influencia de otros factores.

Tabla 4. Resultados de la prueba HSD Tukey que muestra el subconjunto homogéneo creado para la variable Sacos ha^{-1} .

Tratamiento	Subconjunto para alfa = 0.05 1
VII	173.91
XI	174.78
X	175.91
II	185.75
IX	196.49
IV	201.35
VI	204.25
VIII	207.85
V	211.25
I	213.86
III	216.07
Sig.	0.991

Elaboración: propia

3.5. Efecto de la aplicaciones de compost, solo o combinado con fertilizantes minerales, sobre la producción de azúcar (t ha^{-1}).

En este caso la producción de azúcar (t ha^{-1}) está determinada principalmente por el volumen de caña, es decir, el tratamiento III (aplicación de 5 t de compost ha^{-1} combinado con el 75 % del fertilizante mineral es el que produce el mayor incremento en t de azúcar ha^{-1} . Sin embargo se observan ciertas diferencias con la producción de azúcar t ha^{-1} debido fluctuaciones del brix en algunos tratamientos.

Por otra parte el contenido de sacarosa, y la pureza, disminuyen con las aplicaciones de compost como el caso del tratamiento VII 15 t de compost ha^{-1} sin fertilizante mineral (Tabla 5).

Tabla 5. Incremento de t de caña ha^{-1} de los tratamientos que recibieron compost solo o combinado con fertilizante mineral sobre el testigo.

Tratamiento	t azúcar ha^{-1}	Incremento sobre el testigo	Orden de mérito
III	10.80	2.06	1
I	10.69	1.95	2
V	10.56	1.82	3
VIII	10.39	1.65	4
VI	10.21	1.47	5
IV	10.07	1.33	6
IX	9.82	1.08	7
II	9.29	0.55	8
X	8.80	0.06	9
XI	8.74	0.00	10
VII	8.70	-0.04	11

Elaboración: propia

Las producciones de azúcar que se obtienen por t de cachaza aplicada pueden servir de guía con el propósito de valorar el efecto económico de su empleo, bajo diferentes condiciones edafoclimáticas y al variar el costo de la aplicación de cachaza o el precio del azúcar. En el ejemplo

de la tabla 6, se alcanzan los mejores resultados en el suelo Ferralítico Típico bien provisto de potasio. La cachaza, mejora la germinación de las yemas, el desarrollo del sistema radical y la asimilación de nutrientes; como el fósforo, sustituyendo la fertilización mineral nitrogenada y fosfórica durante no menos de cuatro cosechas.

Tabla 6. Producción de azúcar (en kg) por cada tonelada de cachaza aplicada en diferentes suelos cubanos.

Tipo de suelo	Dosis para máximo rendimiento (t ha ⁻¹)	Kg de azúcar producido por t de cachaza aplicada		Método
		Con dosis de máximo rendimiento	Con 50 t ha ⁻¹	
Ferralítico rojo típico (alto K)	125	70	112	Incorporada
Ferralítico rojo lixiviado	141	57	93	Incorporada
Oscuro plástico gris amarillento	265	27	48	Incorporada
Gley ferralítico laterizado	292	18	64	Sobre la paja

Fuente: Pérez, y otros (2015).

3.6. Valoración económica

En la relación beneficio costo de los resultados obtenidos en el estudio, se aprecia que el tratamiento I (aplicación de 5 t de compost ha⁻¹ sin fertilizante mineral) es el que mayor beneficio neto produce, por tanto desde el punto de vista económico resulta más conveniente la aplicación de este tratamiento (Tabla 7).

Tabla 7. Diferencia (USD) en comparación al testigo para cada tratamiento en estudio.

Tratamiento	Beneficio neto (USD)	Beneficio vs testigo (USD)
I	7424.75	1307.45
II	6351.25	233.95
III	7367.45	1250.15
IV	6927.25	809.95
V	7183.75	1066.45
VI	6893.75	776.45
VII	5906.85	-210.45
VIII	7004.75	887.45
IX	6562.15	444.85
X	5976.85	-140.45
XI	6117.3	0

Elaboración: propia

De acuerdo a estos resultados la mejor variante resulta la aplicación de 5 toneladas de compost ha⁻¹ para fertilizar en las áreas cañeras del Ingenio Valdez del Cantón Milagro, Ecuador.

4. DISCUSIÓN

Según resultados obtenidos por Carter y Stewart (1996) la adición de MO se considera que aumenta la estabilidad de los agregados del suelo, reduce la densidad aparente, altera la distribución del tamaño de los poros, lo que conduce a una mayor capacidad de retención de agua y reduce la susceptibilidad a la erosión.

Sólo una parte de la MO estabiliza los agregados y es generalmente el material "fresco" o "activo", con una concentración relativamente grande de mono o poli-sacáridos, raíces e hifas fúngica (Tisdall y Oades 1982).

Greenland, Rimmer, y Payne (1975) probaron la estabilidad de los agregados de 180 muestras de suelos de Inglaterra y Gales con la prueba de Emerson miga. Aunque muchos factores fueron examinados, la conclusión general fue: suelos < 2 % de carbono orgánico total: Inestable; suelos entre 2-2.5 % de carbono orgánico total: Moderadamente estable; y suelos > 2.5 % de carbono orgánico total: Muy estable.

En un suelo Ferralítico amarillo gleysoso se encontró correlación positiva y altamente significativa entre el contenido de materia orgánica y los agregados estables en agua ($r=0.61^{**}$) (Arzola, N. C 1985a), de lo que se infiere que mejora la estructura, la percolación del agua, disminuye la escorrentía y la compactación del suelo.

Cairo (1982) encontró en 5 tipos de suelos de la región central de Cuba (Ferralítico, Ferrítico, Hidromórfico, Vertisuelo y Rendzina) correlación positiva y significativa entre sus contenidos de materia orgánica y 5 de 7 indicadores estructurales evaluados, lo cual evidencia la estrecha relación entre ambas propiedades y destaca los beneficios que de la materia orgánica se pueden derivar en aumentar la posibilidad de laboreo, disminuir los riesgos de erosión y regular el régimen del aire y agua de estos suelos.

Las relaciones anteriores resultan especialmente importantes en suelos pesados como los de la costa norte de la provincia de Villa Clara en Cuba, pues en ellos todos los factores que propicien la agregación de las partículas, aumentan el porcentaje de macroporos, por ello su aireación y benefician el rendimiento de la caña de azúcar (Cairo 1982), este resultado tiene aplicación en este estudio ya que el suelo donde se desarrollo es un vertisol muy pesado.

En un estudio realizado con diferentes tipos de suelo, se encontró que al aumentar la materia orgánica, también lo hacía el agua disponible ($r=0.75^{**}$) y la aireación ($r=0.55^{**}$). La materia orgánica aumenta el agua disponible y disminuye la no disponible (Arzola y Cairo 1985).

Muñoz et al., (2012) encontraron en el Valle del Cauca un incremento significativo de la producción de caña con la aplicación de compost, pero con relación a las t de azúcar ha-1 y el rendimiento industrial no se observó un efecto claro. Esto pudo estar influenciado por las condiciones de alta precipitación, 1 655 mm/año como promedio anual en el área donde se realizó el estudio, lo cual interviene de forma negativa en la acumulación de sacarosa en la caña.

Las reservas de nitrógeno de un agrosistema con vegetación permanente como un bosque, en que el suelo permanece cubierto sin que se exporte la biomasa formada ni se labore el suelo, mantiene mayores reservas de nitrógeno que cuando se implanta un cultivo económico (García, Vanotti y Szogi 2007). Ello confirma que se hace necesario el suministro adicional de nitrógeno para que el suelo bajo cultivo, no disminuya su fertilidad y capacidad productiva.

Según Ros (2012) la mineralización del nitrógeno se encuentra principalmente relacionada con el tamaño de fracciones de la materia orgánica total y extraíble, independientemente de la ubicación geográfica, el uso de la tierra y el tiempo de muestreo; suelos con altos niveles de materia orgánica (fracciones) tienen mayores tasas de mineralización (Pablos 2008)

La MO disuelta podría contribuir a formar ligandos eficaces para formar complejos con el aluminio en la solución del suelo. La descomposición de la materia orgánica en los suelos, por los organismos, origina numerosos compuestos bioquímicos tales como ácidos alifáticos, fenoles, ácidos fenólicos y complejos fenoles poliméricos (Wong, y otros 1995).

La aplicación de materiales orgánicos aumenta el pH de la solución del suelo. Un aumento en el pH puede incrementar la precipitación de Al soluble y la formación de complejos de Al por compuestos orgánicos (Bessho y Bell 1992).

Arzola, N. C. (1968) reporta incremento del pH del suelo debido al aporte de bases, principalmente de calcio con la cachaza. Las modificaciones mencionadas en este epígrafe sobre la reacción del suelo se han obtenido mediante la aplicación de residuos orgánicos, pero no proceden de una relación entre los contenidos de materia orgánica nativa del suelo y ese indicador.

Al realizar el análisis económico de un estudio en tres cortes (plantilla, soca 1 y 2), la mayor utilidad bruta por hectárea corresponde al tratamiento con cinco toneladas de compost y 100% de fertilizante mineral (NPK), lo que confirma que la aplicación comercial de este tratamiento es económicamente viable (Muñoz et al. 2012).

5. CONCLUSIONES

Una vez evaluado el efecto de las aplicaciones de compost, solo o combinado con fertilizante mineral, en los grados Brix, pureza, contenido de sacarosa en el jugo de caña y cantidad de azúcar producida en t ha⁻¹, se concluye lo siguiente:

La aplicación de compost incrementa el contenido de materia orgánica del suelo de forma ascendente y proporcional, según se aumente la dosis de compost aplicada.

Los diferentes tratamientos evaluados (compost solo, compost combinado con fertilizante mineral y fertilizante mineral solo), no mostraron diferencia significativa sobre la calidad industrial de la caña, como materia prima para producir azúcar (Brix, sacarosa en caña y pureza).

6. RECOMENDACIONES

Aplicar compost como mejorador de las propiedades físicas y químicas del suelo en dosis que pueden fluctuar entre 5 y 15 t ha⁻¹, en dependencia de las características del suelo.

La variante de 5 t de compost ha⁻¹ puede utilizarse para fertilizar las cañas del Ingenio Valdez que presentan condiciones similares a la del cantero donde se realizó el estudio.

7. REFERENCIAS

- Arzola, N. C. (1968) «Utilización de la cachaza en el cultivo de la Caña de Azúcar.» *Serie Caña de Azúcar*,: 10.
- Arzola, N. C., y P. Cairo. (1985) «Monografía sobre los suelos y la fertilización de la caña de azúcar.» *Revista Centro Agrícola* 12, nº 1: 1-131.
- Arzola, N. C. (1985a) «Comparación del estiércol vacuno y el ovino como abono orgánico.» *Revista Centro Agrícola* 12, nº 2: 89-96.
- Arzola, N. (2006) *Diagnóstico de la necesidad de fertilizante nitrogenado en caña de azúcar. Parte II. Nuevo Enfoque. Tomo I*. ATALAC. 6to Congreso de la Asociación de Técnicos Latinoamericanos y del Caribe, Guayaquil, Ecuador: Memoria en CD-ROM.
- Arzola, N., H. Pérez, I. Rodríguez, y I. Santana. (2015) *Aprovechamiento sostenible de los residuos de origen orgánico y la zeolita en la agricultura*. La Habana, Cuba: Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA) : En proceso de revisión.
- Bautista, Z. F., y M. C. y Lozano, R. Durán de Bazua (2000). «Cambios químicos en el suelo por aplicación de materia orgánica soluble tipo vinazas.» *Revista Internacional Contaminación Ambiental* 16: 89-101.
- Bessho, T., y L. C Bell (1992). «Soil solid and solution phase changes and mung bean response during amelioration of aluminum toxicity with organic matter.» *Plant and Soil* 140: 183-196.
- Cairo, P. (1982) «Relaciones entre la materia orgánica y las propiedades estructurales de los suelos.» *Revista Centro Agrícola*, 9, nº 2: 73-79.
- Carter, M. R., y B. A. Stewart (1996). *Structure and Organic Matter Storage in Agricultural Soils*. Boca Raton. Estados Unidos: CRC Press.
- Elsayed, M. T., H. M. Babiker, E. M. Abdelmalik, N. O. Montage, y Mukhtar. D. (2007) «Impact of filter mud applications on the germination of sugarcane and small-seeded plants and on soil and sugarcane nitrogen contents.» *Bio. Technology*, nº 99: 4164-4168.
- Galaviz, V. I, y otros (2010). «Agricultural contamination of subterranean water with nitrates and nitrites: an environmental and public health problem.» *J. Agronomía*: 34.
- García, M. C., M. B. Vanotti, y A. A. Szogi (2007). «Simultaneous separation of phosphorus sludge and manure solids with polymers.» *Trans. ASABE* 50, nº 6: 2205-2215.
- Goncalves, O. B., C. J. L. Nunes, C. C. E. Pellegrino, C. C. Josefinae, y F. B. Clemente (2013). «Soil greenhouse fluxes from vinasse application in Brazilian sugar cane areas .» *Soils science*: 77-84.
- Greenland, D. J., Rimmer, D., y D. Payne (1975). «Determination of the structural stability class of English and Welsh soils, using a water coherence test.» *Journal Soil Science* 26: 294-303.
- Hernández, Gloria I, S. Salgado, D. J. Lagunes, Luz del C Palma, M Ruiz, y M. Castelán (2008). «Vinaza y composta de cachaza como fuente de nutrientes en caña de azúcar en un gleysol Mólico de Chiapas, México.» *INTERCIENCIA* 33, nº 11: 22-27.
- Julca, O. A., F. L. Meneses, S. R. Bello, y Blas A. S. (2006) «La materia orgánica, usos y experiencias de su uso en la agricultura.» *Revista Científica de Suelo y Nutrición Vegetal*, nº 24: 49-61.

- Leng, T., M. Shukri, K. P. Ong, y A. Zainuriab (2009). «Alternative oil palm fertilizer sources and management. Proceedings of Agriculture, biotechnoplogy & sustainability Conference PIPOC.» *Malaysian Palm Oil Board*: 1413-1443.
- Meunchang, S. S., R. Weaber, y W Panichsakpatana (2005). «Co-composting of filter cake and bagasse; by-products from a sugar mill.» *Biores. Technology*: 437-443.
- Muñoz, F., Villegas, A., & Moreno, C. (2012). *El compost de residuos agroindustriales de la caña de azúcar. Componente clave para la sostenibilidad y mejoramiento de la calidad de los suelos*. Cali, Colombia: Memorias Congreso Atalac– Tecnicaña. Tomo I- Campo.
- Pablos, P. (2008) *Perfeccionamiento de los criterios utilizados para la fertilización nitrogenada de la caña de azúcar en Cuba*. Tesis de Doctorado. Ministerio del Azúcar, La Habana, Cuba: Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar, 100.
- Pérez, H., y I. Rodríguez (2015). «Fundamentos para el empleo eficiente de los fertilizantes nitrogenados en la caña de azúcar en Cuba.» *Cumbres*. ISSN 1390-9541 1, nº 1: 9-15.
- Pérez, H., Arzola, N., & Rodríguez, I. (2015). «Aprovechamiento sostenible de los residuos de origen orgánico y la zeolita en la agricultura». Machala, Ecuador: Editorial UTMACHA. 2015
- Quiroz, I, y A. Pérez (2013). «Vinaza y compost de cachaza: efecto en la calidad del suelo cultivado con caña de azúcar.» *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, nº 5: 1069-1075.
- Romero, E. R., R R. Scandalaris, M Rufino, F Pérez, R Alonso, y L. Rufino (2002). «Efecto de los factores de manejo en la emergencia de caña planta.» *Avance Agroindustrial*: 7-11.
- 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, G. S., Bucío A., L. L. Lagunes-Espinoza, y Riestra. L. C. (2003) *Caña de azúcar hacia un manejo sustentable*. Villahermosa Tabasco: Colegio de Postgraduados campus Tabasco.
- Salgado, G. S., L. D. J Palma, E. L. C Castelán, y Lagunes. M. E. (2006) *Manual para el muestreo de suelos, plantas, y aguas e interpretación de análisis*. Colegio de Postgraduados, Campus-Tabasco, México: ISPROTAB.
- Sánchez, H. R., C. V. M. Ordaz, V. G. S. Benedicto, M. C. I Palma, y Hidalgo. L. D. P. (2005) «Cambios en las propiedades físicas de un suelo arcilloso por aportes de lombricompost de cachaza y estiércol.» *Interciencia*, nº 30: 775-779.
- Sánchez, P. A. (1994) «Tropical Soil Fertility Research: Towards the Second Paradigm.» *15th*,. Acapulco, México: World Congress of Soil Science, 10 de 10 de 1994. 65-68.
- Tisdall, J. M., y J. M Oades (1982). «Organic matter and water-stable aggregates in soils.» *Soil Science* 33: 141-163.
- Wong, M. T. F., E. Akyeampong, S. Nortcliff, M. R. Rao, y R. S. Swift. (1995) «Initial responses of maize and beans to decreased concentrations of monomeric inorganic aluminum with application of manure or tree prunings to an Oxisol in Burundi.» *Plan soil* 171: 275-282.