

EFECTO DE LA APLICACIÓN DE COMPOST, SOLO O COMBINADO CON FERTILIZANTES MINERALES, SOBRE EL RENDIMIENTO AGRÍCOLA DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN EL INGENIO VALDEZ, ECUADOR.

Irán Rodríguez Delgado¹
Hipólito Israel Pérez Iglesias¹
Walter Oswaldo Jara Olea²

¹Universidad Técnica de Machala, Ecuador. irodriguez@utmachala.edu.ec

¹Universidad Técnica de Machala, Ecuador. hperez@utmachala.edu.ec

²Ingenio Valdez, Ecuador. Wjara@valdez.com.ec

RESUMEN

El presente trabajo se desarrolló con el objetivo de determinar la influencia de la aplicación individual y combinada de compost y fertilizantes minerales sobre el rendimiento de caña de azúcar en el ingenio Valdez, cantón Milagro, provincia del Guayas, Ecuador. La investigación se efectuó en un tablón de soca 1 plantado con el cultivar ECU-01, sobre un suelo Vertic Haplustept, y los tratamientos evaluados fueron 5, 10 y 15 t ha⁻¹ de compost solo y combinados con el 50 y 75% de la recomendación de fertilizantes a partir de la necesidad de nutrientes en dependencia del análisis de suelo y el rendimiento del tablón, además del 100% de la dosis recomendada y el testigo absoluto sin compost y sin fertilizante mineral. Las variables evaluadas fueron la cantidad de tallos por metro lineal y altura de tallos a los tres, seis y nueve meses de edad, además del rendimiento agrícola por unidad de superficie (ha). Las diferencias significativas entre tratamientos se determinaron mediante Análisis de Varianza de una vía y la utilización del paquete estadístico SPSS. Respecto a la cantidad de tallos por metro lineal no se presentan diferencias estadísticamente significativas en la evaluación realizada a los tres meses de edad; sin embargo para la medición realizada a los seis y nueve meses se presentan diferencias significativas entre tratamientos, mientras el rendimiento agrícola fue superior en todos los tratamientos que recibieron compost, siendo la aplicación de 5 t ha⁻¹ con el 75 % del fertilizante mineral el que mostró diferencia significativa con relación al testigo absoluto con el mayor volumen de producción de caña ha⁻¹. El resto de los tratamientos que recibieron compost solo o combinado con fertilizantes minerales no mostraron diferencias estadísticas entre ellos, no obstante si se aprecian incrementos que oscilaron entre 8,57 y 24,09 t de caña ha⁻¹.

Palabras clave: Aplicación de compost, fertilizantes minerales, rendimiento agrícola, caña de azúcar.

Introducción

La degradación de los suelos tiene su origen en factores económicos, sociales y culturales, los cuales se manifiestan en la explotación excesiva de los recursos naturales y en prácticas de manejo que no consideran como prioritaria la conservación de estos recursos donde el agua y el suelo son claves para la sostenibilidad de las presentes y futuras generaciones (Pérez, Santana, & Rodríguez, 2015).

El crecimiento y rendimiento de un cultivo está determinado por la especie o variedad de planta, que posee un rendimiento potencial, que será alcanzado en mayor o menor medida atendiendo a los factores abióticos (clima, suelo) y bióticos (enfermedades, insectos plagas, arvenses).

Cuando cualquiera de esos factores se presenta en un rango que puede afectar la cantidad o calidad del producto agrícola, el manejo agronómico del hombre deberá modificarlo favorablemente y de

ser posible optimizarlo. En caso de tratarse de un factor no modificable no quedara otra posibilidad que aplicar la mejor variante agronómica que permita mitigar su efecto negativo o dedicar el suelo a otra opción de uso.

Desde el punto de vista ambiental, el aprovechamiento de los residuos para elaborar compost, resulta favorable, ya que con su empleo se evita que los mismos contaminen las aguas y por tanto se mejora la fertilidad del suelo (Pérez, Arzola, & Rodríguez, 2015).

La cachaza o torta de filtro como subproducto de la agroindustria azucarera puede ser utilizada de forma alterna incorporándola al suelo directamente o para producir composta (Salgado, Lagunes, Nuñez, Ortiz, & Aranda, 2013).

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).

El fertilizante mineral no puede ser reemplazado en su totalidad por fuentes orgánicas, sin embargo, estas deben ser utilizadas, para reciclar los nutrientes, garantizar un entorno saludable y proteger la fertilidad de los suelos y otros recursos naturales (Leng, Shukri, Ong, & Zainuriab, 2009).

Para corregir la falta de nutrimentos en el suelo se utilizan normalmente fertilizantes minerales, no obstante algunos fertilizantes nitrogenados causan acidez (sulfato de amonio) en el suelo y contaminación del agua por nitratos y nitritos (Galaviz, y otros, 2010).

En el ingenio Valdez se produce compost a partir de la mezcla de los residuales del proceso de fabricación de azúcar y alcohol, lo que permite darle un uso eficiente a estos residuos, altos contaminantes de los efluentes fluviales, además de mejorar las propiedades fisicoquímicas del suelo y disminuir los costos en la compra de fertilizantes minerales, por el aporte de nutrientes que el compost realiza con su aplicación al suelo.

El presente estudio se realizó con el objetivo de determinar la influencia de la aplicación individual y combinada de compost y fertilizantes minerales en el rendimiento de la caña de azúcar, a través de conteos de brotes, medición de altura de tallos a los tres, seis y nueve meses de edad; y el pesaje de la producción obtenida en la cosecha del cultivo, que posibilite la optimización del uso de compuestos orgánicos producidos en el ingenio Valdez.

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en áreas de la Compañía Azucarera Valdez, ubicada en las coordenadas 08° 09' de latitud sur y 79° 39' de longitud oeste, a 13 msnm, en el cantón Milagro, Provincia del Guayas, Ecuador, sobre un tablón de soca I de la variedad ECU-01, con compost elaborado en el propio Ingenio con los residuos de la fabricación de azúcar y alcohol.

Se utilizó un diseño en bloques completamente al azar con arreglo factorial con parcelas de una superficie total de 96 m² cada una. El área efectiva para realizar las evaluaciones y los cálculos fue en base a 64 m².

Las parcelas experimentales constaron de seis hileras con distancias entre ellas de 1.60 m, y una longitud de 10 m. Las evaluaciones se realizaron en los cuatro surcos centrales de cada unidad experimental.

En el estudio se evaluaron 11 tratamientos, compost aplicado a razón de 5, 10 y 15 t ha⁻¹ aplicado solo o combinado con fertilizantes minerales en la proporción de 50 y 75 % comparados con el 100 % de fertilización mineral y con un testigo absoluto sin compost y sin fertilizantes minerales (Tabla I).

Tabla I. Diferentes dosis de compost y porcentajes de fertilización mineral recomendada utilizadas en cada tratamiento objeto de estudio.

Tratamiento	Dosis
I	Compost a 5 t ha ⁻¹
II	Compost a 5 t ha ⁻¹ + 50 % de la dosis de fertilización mineral
III	Compost a 5 t ha ⁻¹ + 75 % de la dosis de fertilización mineral
IV	Compost a 10 t ha ⁻¹
V	Compost a 10 t ha ⁻¹ + 50 % de la dosis de fertilización mineral
VI	Compost a 10 t ha ⁻¹ + 75 % de la dosis de fertilización mineral
VII	Compost a 15 t ha ⁻¹
VIII	Compost a 15 t ha ⁻¹ + 50 % de la dosis de fertilización mineral
IX	Compost a 15 t ha ⁻¹ + 75 % de la dosis de fertilización mineral
X	Fertilización mineral (100 % de la dosis recomendada)
XI	Testigo absoluto (0 Compost y sin fertilización mineral)

Se realizaron conteos de la cantidad de brotes y mediciones de altura de los tallos a los tres, seis y nueve meses de iniciado el ciclo vegetativo del cultivo y el rendimiento agrícola se determinó mediante pesaje directo del total de caña producida en toneladas en cada unidad experimental.

Con la finalidad de conocer si existen diferencias significativas entre los diferentes tratamientos estudiados se efectuó Análisis de Varianza de una vía, previo cumplimiento de los supuestos de normalidad de los datos y homogeneidad de varianzas. Cuando se presentaron diferencias entre tratamientos se ejecutó la prueba de Duncan con el objetivo de conocer cuál es la combinación que mayor influencia presenta sobre la cantidad de brotes, altura de tallos a los tres, seis y nueve meses de edad de la plantación y el rendimiento agrícola una vez efectuada la cosecha el cultivo. Para ejecutar las pruebas estadísticas se utilizó un nivel de significación de $\alpha=0.05$. Para el procesamiento de los datos se utilizó el paquete estadístico SPSS versión 22 para Windows (IBM, 2013).

Resultados y discusión

Conteo de tallos

Los resultados obtenidos en los conteos de tallos realizados evidencian que no se presentan diferencias estadísticamente significativas en la evaluación efectuada a los tres meses del inicio del ciclo de desarrollo del cultivo, debido a que se obtuvo una significación de 0,345 la cual es superior a 0,05; sin embargo para la medición realizada a los seis y nueve meses del crecimiento vegetativo de la plantación se presentan diferencias significativas ya que los valores obtenidos de 0,041 y 0,037 respectivamente, son inferiores al alfa predefinido para realizar la prueba, lo que explica que en estos dos momentos existe influencia de la aplicación de compost combinada con fertilizantes minerales sobre la cantidad de brotes.

El análisis muestra que a los seis meses de iniciado el ciclo vegetativo del cultivo los tratamientos que mayores valores presentan, son el II (Compost a 5 t ha⁻¹ + 50 % de la dosis de fertilización mineral) y el tratamiento VII (Compost a 15 t ha⁻¹), ambos con 12,75 brotes como promedio y el tratamiento V (Compost a 10 t ha⁻¹ + 50 % de la dosis de fertilización mineral) con 12,50 brotes, los cuales no presentaron diferencia estadísticas con el resto de los tratamientos excepto con el tratamiento IV (Compost a 10 t ha⁻¹) el cual presenta un valor de 10,50 brotes. A los nueve meses el tratamiento XI (Testigo absoluto con 0 Compost y sin fertilización mineral) presentó un valor de 10,5 brotes y estadísticamente mostró diferencias significativas con el tratamiento II (Compost a 5 t ha⁻¹ + 50 % de la dosis de fertilización mineral) donde se obtuvieron 12,5 brotes, ambos tratamientos no presentan diferencias con el resto de los estudiados (Tabla II).

Tabla II. Cantidad de tallos por metro lineal para cada tratamiento a los tres, seis y nueve meses de iniciado el ciclo vegetativo del cultivo (Prueba de Duncan).

Tratamiento	Tallos/metro lineal		
	Tres meses	Seis meses	Nueve meses
I	12.25 a	11.50 ab	11.25 ab
II	15.00 a	12.75 b	12.50 b
III	14.50 a	12.00 ab	11.75 ab
IV	12.00 a	10.50 a	10.75 ab
V	13.75 a	12.25 b	12.00 ab
VI	13.50 a	11.50 ab	10.75 ab
VII	13.25 a	12.75 b	11.25 ab
VIII	12.00 a	11.50 ab	10.75 ab
IX	12.50 a	11.50 ab	10.50 ab
X	12.00 a	11.25 ab	10.75 ab
XI	11.50 a	11.00 ab	10.25 a
Mean	12.93	11.68	11.14
E_x	0.326	1.171	1.199
CV	16,71	9,73	11,86

*Letras diferentes para cada columna y tratamiento difieren para $p < 0.05$.

Altura de la planta

Los resultados obtenidos en la medición de la altura de la planta explican que no se presentan diferencias estadísticamente significativas en la evaluación realizada a los tres y nueve meses de iniciado el ciclo de desarrollo del cultivo, sin embargo a los seis meses se presentan diferencias significativas entre tratamientos.

El compost a $5 \text{ t ha}^{-1} + 50\%$ de la dosis de fertilización mineral (tratamiento II) con un valor de 2.76 m, presenta diferencias estadísticas significativas con los tratamientos I (Compost a 5 t ha^{-1}) con un valor de 2.31 m, el tratamiento IX (Compost a $10 \text{ t ha}^{-1} + 50\%$ de la dosis de fertilización mineral) con un valor de 2.36 y el tratamiento XI (Testigo absoluto con cero compost y sin fertilización mineral) con 2.42 m de altura (Tabla III).

Tabla III. Media de altura de la planta para cada tratamiento a los tres, seis y nueve meses de iniciado el ciclo vegetativo del cultivo.

Tratamiento	Media de altura de la planta (metros)		
	Tres meses	Seis meses	Nueve meses
I	0.98 a	2.31 a	3.18 a
II	1.08 a	2.76 c	3.33 a
III	1.04 a	2.65 bc	3.16 a
IV	1.14 a	2.62 abc	3.47 a
V	1.15 a	2.58 abc	3.29 a
VI	1.11 a	2.55 abc	3.35 a
VII	1.06 a	2.60 abc	3.33 a
VIII	1.02 a	2.54 abc	3.21 a
IX	0.99 a	2.36 ab	3.38 a
X	1.02 a	2.44 abc	3.35 a
XI	1.01 a	2.42 ab	3.08 a
Mean	1.05	2.53	3.28
E_x	0.02	0.03	0.04
CV	10.45	8.50	7.78

*Letras diferentes para cada columna y tratamiento difieren para un $p < 0.05$.

En la Figura 1 se muestra la comparación de las medias de altura de la planta a los tres, seis y nueve meses de edad, se produce un crecimiento más rápido de tres a seis meses que de seis a nueve, lo que evidencia que la planta está en pleno período de crecimiento, este resultado infiere que el mejor momento para evaluar la longitud de los tallos de caña, en caso de necesitar este índice como indicador, es a los seis meses de edad.

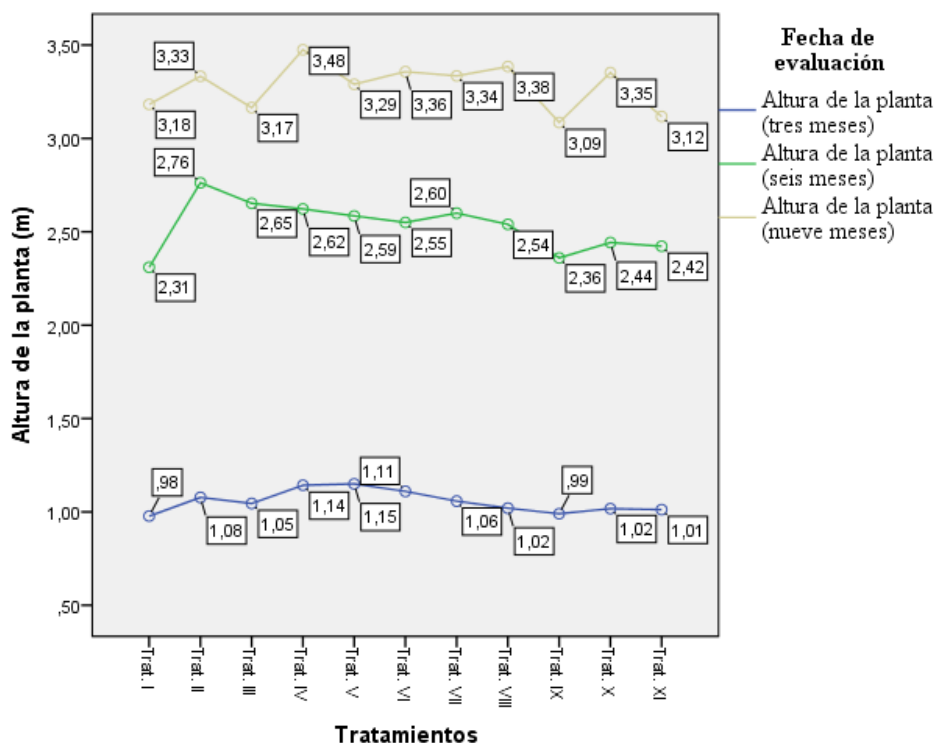


Figura 1. Comparación de las medias estimadas de altura de la planta a los tres, seis y nueve meses por cada tratamiento.

Rendimiento agrícola

En el rendimiento agrícola (t de caña/ha), parámetro que mejor evidencia la respuesta de la planta a los tratamientos utilizados en la investigación, se observa diferencia significativa de todos los tratamientos con respecto al tratamiento XI (Testigo absoluto con cero compost y sin fertilización mineral) donde se obtuvo el valor más bajo con 85.96 t de caña ha⁻¹. La aplicación de 5 t de compost combinado con el 75 % del fertilizante mineral (tratamiento III) produjo el mayor incremento de 30.10 t de caña ha⁻¹ sobre el testigo con 116.07 t de caña ha⁻¹.

En un estudio realizado en el valle del Cauca se destaca que durante la primera soca el tratamiento con cinco toneladas de compost y 100% de NPK mostró un incremento significativo ($\alpha < 0.04$) de 22 t/ha⁻¹ (15%) de caña sobre los tratamientos sin compost. Al disminuir la dosis de fertilizante solo se observó incremento significativo en t de caña ha⁻¹ en los tratamientos con aplicación de 20 t/ha⁻¹ de compost. A pesar de que no hubo notorias diferencias ($p < 0.07$) en t de azúcar ha⁻¹ el incremento fue de 18 %. Como se puede apreciar los resultados obtenidos por este autor reafirman la conveniencia de las aplicaciones de compost en el incremento del rendimiento agrícola de la caña de azúcar (Muñoz, Villegas, & Moreno, 2012).

Es importante señalar que el tratamiento III, aunque no presenta diferencia estadística con los demás tratamientos, excepto con el testigo absoluto, presenta incrementos superiores que pueden ser de importancia desde el punto de vista económico, esta situación puede conducir a la elección de una de estas variantes para llevarlas a condiciones de producción, lo cual puede estar en dependencia del grado de degradación que presente el suelo (Tabla IV).

Tabla IV. Incremento de t de caña ha⁻¹ de los tratamientos que recibieron compost solo o combinado con fertilizantes minerales en relación con el testigo.

Tratamiento	Caña t ha ⁻¹	Incremento en relación al testigo	Orden de mérito
III	116.07	30.11	1
V	110.04	24.08	2
IV	109.33	23.37	3
VI	108.71	22.75	4
II	108.58	22.62	5
VII	106.64	20.68	6
I	104.78	18.82	7
VIII	102.93	16.97	8
X	99.89	13.93	9
IX	94.62	8.66	10
XI	85.96	0	11

Fuente: Elaboración propia.

El efecto del compost sobre el rendimiento agrícola también se destaca, al analizar el resultado del tratamiento X (100 % del fertilizante mineral) el cual queda en el lugar 9, lo cual pone de manifiesto, que el compost aporta mayor incremento de rendimiento que el fertilizante mineral. No obstante la mejor opción pudiera ser la combinación de compost con fertilizante mineral, ya que este último complementa los componentes del compost que no lleguen a satisfacer las necesidades nutricionales de la caña de azúcar.

En estudios realizados en Cuba (Arzola & Yera, 2006) señalan que con cualquiera de los residuos de la agroindustria azucarera (Cachaza o compost) se alcanzó igual o mayor rendimiento, que mediante la aplicación de fertilizantes minerales, lo que se corresponde con mejoras en la fertilidad y capacidad productiva de los suelos, además, estos pueden sustituir fertilizantes minerales, no obstante de limitar algún nutriente en particular y no poder aportar con el residuo en su totalidad, se requiere de fertilizante mineral como complemento para suplir la deficiencia de algún nutriente, como pudiera ser el caso del potasio, lo cual está en concordancia con los principios de agricultura sostenible y sustentable.

El resto de los tratamientos que recibieron compost solo o combinado con fertilizantes químicos no mostraron diferencias significativas con el testigo, no obstante fueron superiores en producción de caña por ha con incrementos que oscilaron entre 8.57 y 24.09 t de caña ha⁻¹ (Figura 2).

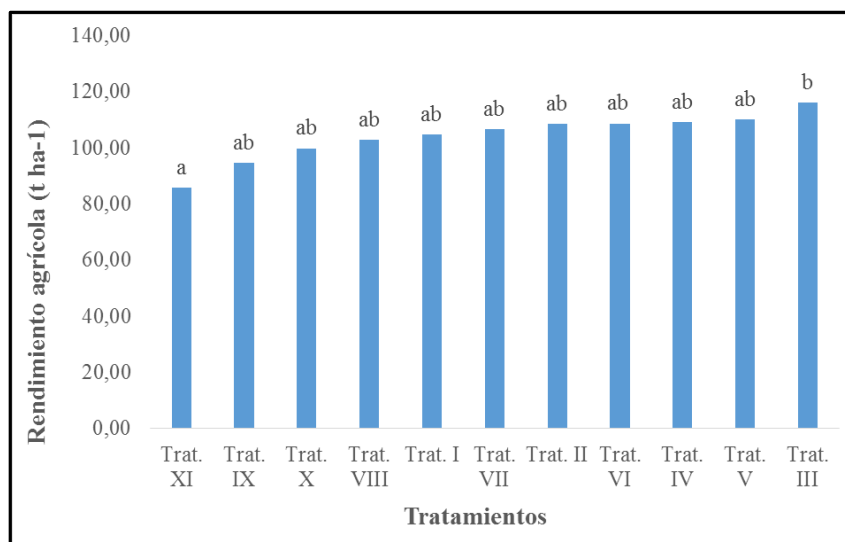


Figura 2. Rendimiento en caña ($t\ ha^{-1}$) por cada tratamiento después de efectuada la cosecha.

*Letras diferentes para cada tratamiento difieren para un $\alpha < 0.05$.

En la recta de regresión lineal realizada para relacionar altura de la planta a los nueve meses de edad y el rendimiento agrícola (t de caña ha^{-1}) se obtiene un coeficiente de determinación lineal ($R^2=0.242$) que explica que el 24.2 % de la variabilidad del rendimiento agrícola se debe a la altura de la planta a los nueve meses (Figura 3).

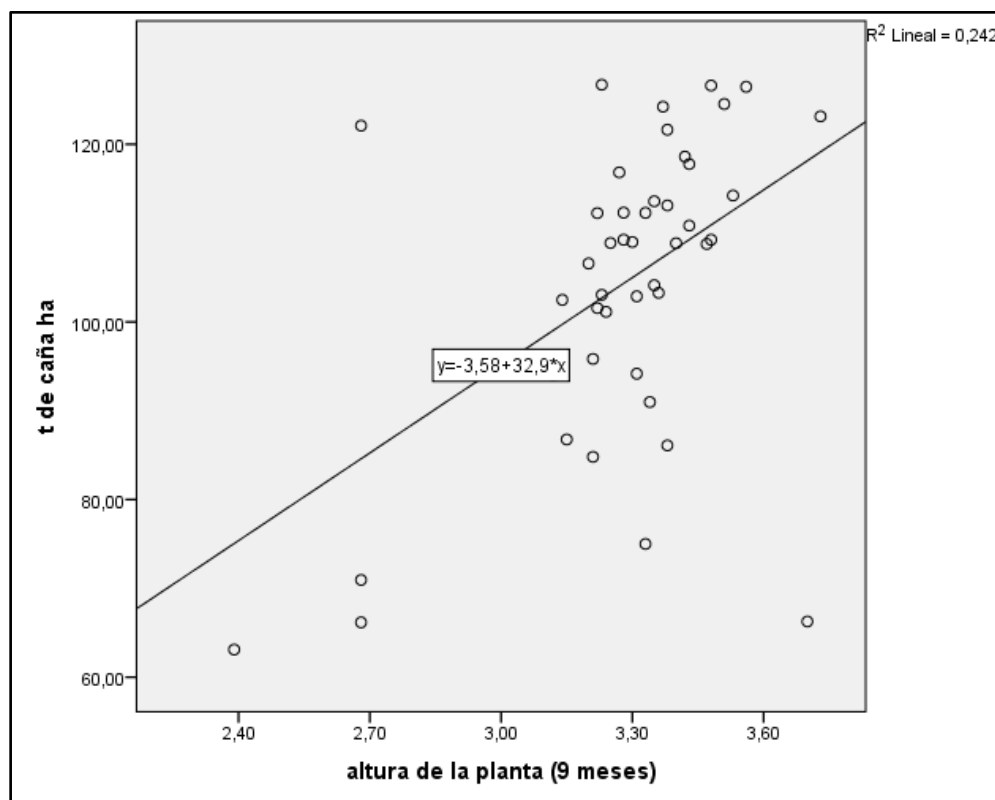


Figura 3. Grado de asociación entre las variables altura de la planta a los nueve meses y el rendimiento agrícola del cultivo (t de caña ha^{-1}).

Investigaciones realizadas en México, utilizando cachaza o compost con adición de fertilizantes minerales indican rendimientos de $70\ t\ ha^{-1}$, con una dosis de $40\ t\ ha^{-1}$ de cachaza en el ciclo de resoca y de $80\ t\ ha^{-1}$ en plantilla con una dosis de $10\ t\ ha^{-1}$ de cachaza, recomendando utilizar una dosis de $20-30\ t\ ha^{-1}$ de este material, mientras no se genere mayor información local. Con relación

al compost en dosis de 3 t ha⁻¹ el rendimiento agrícola varió de 107 a 150 t ha⁻¹ (Salgado, Lagunes, Nuñez, Ortiz, & Aranda, 2013).

Conclusiones

1. La variable número de brotes a los tres y seis meses de iniciado el desarrollo vegetativo del cultivo de la caña de azúcar no mostró diferencias estadísticamente significativas cuando se compararon todos los tratamientos con el testigo absoluto (0 Compost y sin fertilización mineral), sin embargo a los nueve meses la cantidad de brotes cuando se aplicó compost a 5 t ha⁻¹ + 50 % de la dosis de fertilización mineral (12.50 tallos por metro lineal) presenta diferencia estadística con el testigo en el que se obtuvieron 10.25 brotes solamente.
2. La altura de la planta a los tres y nueve meses de iniciado el ciclo vegetativo del cultivo no mostró diferencias significativas en los tratamientos estudiados, sin embargo a los seis meses cuando se aplicó compost a 5 t ha⁻¹ + 50 % de la dosis de fertilización mineral (2.76 m), se presentaron diferencias estadísticas significativas con los tratamientos I (2.31 m), el tratamiento IX (2.36 m) y el tratamiento XI (2.42 m).
3. En el rendimiento agrícola (t de caña/ha), no se presentan diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos donde se aplicó compost con fertilizantes minerales, aunque si de estos con respecto al testigo absoluto, con cero compost y sin fertilización mineral, donde se obtuvo el valor más bajo con 85.96 t de caña ha⁻¹, la aplicación de 5 t de compost combinado con el 75 % del fertilizante mineral (tratamiento III) produjo el mayor incremento de 30.10 t de caña ha⁻¹ sobre el testigo con 116.07 t de caña ha⁻¹.

Referencias bibliográficas

- Arzola, N. C., & Yera, B. (2006). *Uso de los residuos de origen orgánico en la agricultura*. . Guayaquil, Ecuador: En: (ATALAC). Memorias del Sexto Congreso de la asociación de técnicos azucareros de Latinoamérica y el Caribe. Tomo II, Memoria digital en CD.
- Cundiff, J., & Markin, K. (2003). *Dynamics of Biological Systems*. Estados Unidos: St. Joseph, Mich. American Society of Agricultural Engineers.
- Galaviz, V. I., Landeros, S. C., Castañeda, C. M., Martínez, D. J., Pérez, V. A., & Nikolskii, G. I. (2010). Agricultural contamination of subterranean water with nitrates and nitrites: an environmental and public health problem. *J. Agronomía* , 34.
- IBM. (2013). *SPSS Statistics. Versión 22 para Windows*. Valencia. España: Business Machines Corp.
- Leng, T., Shukri, M., Ong, K. P., & Zainuriab, A. (2009). Alternative oil palm fertilizer sources and management. Proceedings of Agriculture, biotechnology & sustainability Conference PIPOC. *Malaysian Palm Oil Board*, 1413-1443.
- 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*. Medellín: Memorias Congreso Atalac – Tecnicaña. Tomo I- Campo.
- 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. ISBN 978-9942-24-012-5.
- Pérez, H., Santana, I., & Rodríguez, I. (2015). *Manejo sostenible de tierras en la producción de caña de azúcar*. Machala, Ecuador: Editorial UTMACH. ISBN. 978-9942-24-030-9 .
- Salgado, S., Lagunes, L., Nuñez, R., Ortiz, C., & Aranda, E. (2013). *Caña de Azúcar: Producción sustentable*. Texcoco, Estado de México: Edición Colegio de Postgraduados, Montcillo, ISBN 078-607-715-091-6 pp. 384-385.