

Efecto del compost en el rendimiento agrícola de caña de azúcar en el Ingenio Valdez

Effect of compost on sugar cane agricultural yield in sugar Mill Valdez

*Irán Rodríguez ¹; Hipólito Pérez Iglesias ¹; Walter Jara Olea²

¹Universidad Técnica de Machala, Ecuador

²Ingenio Valdez, Ecuador

*irodriguez@utmachala.edu.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. La cantidad de tallos por metro lineal no presenta 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 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 con el mayor volumen de producción de caña.

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

ABSTRACT

This work intended to determine the influence of individual and combined application of compost and mineral fertilizers on the sugarcane yield in Valdez Sugar Mill, located in Milagro, Ecuador. The study was conducted on a 1 soca board grown with the cultivar ECU-01, on Vertic Haplustept soil. The treatments were 5, 10, and 15 t ha⁻¹ of compost combined with 50% and 75% of the regular fertilizer recommendation, considering the needs for nutrients resulting from the soil analysis and the performance of the board. 100% of the recommended dose and absolute control without compost and mineral fertilizer were also part of the treatment. The variables evaluated were the number of stems per linear meter and the height of stems at three, six and nine months old as well as the crop yield per unit area (ha). One-way Variance Analysis determined significant differences between treatments. The number of stems per linear meter did not show statistically significant differences in the assessment performed at three months of age. Meanwhile, the measurement performed at six and nine months presented significant differences between treatments. The agricultural yield was higher in all treatments that used compost. The treatment that used the application of 5 t ha⁻¹ with 75% of mineral fertilizer showed a significant difference in relation to the control with the largest volume of production of cane.

Key words: application of compost, mineral fertilizers, crop yield, sugarcane.

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 y Rodríguez, 2015).

La intensificación de la explotación agrícola constituye un elemento clave que ha permitido enfrentar la demanda creciente de alimentos con el incremento de la población humana, sin embargo ha provocado degradación en los servicios que prestan los ecosistemas, debido al aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, el arrastre de partículas en los suelos y la pérdida de biodiversidad (Bullock, Aronson, Newton, Pywell, & Rey-Benayas, 2011; Godfray, y otros, 2010).

El desarrollo y producción de un cultivo se encuentra determinado por el potencial de ren-

dimiento que posee, el cual es aprovechado en mayor o menor medida en función de los factores abióticos (clima, suelo) y bióticos (plagas, arven- ses) los que pueden presentarse en un rango que pueden afectar la cantidad o calidad del producto agrícola, por lo que el hombre a través del manejo agronómico de la plantación deberá modificarlo favorablemente y de ser posible optimizarlo (Pérez, Arzola y Rodríguez, 2015).

La intensificación sostenible que se desarrolla actualmente en los sistemas de producción agrícola requerirá cambios en establecimiento de las prácticas agrícolas, las cuales deben encaminarse a la reducción de la intensidad de las prácticas de labranza reducida y al aprovechamiento y utilización de todos los residuos que se generan, lo que conducirá a la obtención de producciones sostenibles unido a la preservación de los recursos naturales para las presentes y futuras generaciones (Townsend, Ramsden y Wilson, 2016).

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 y Rodríguez, 2015).

La aplicación de enmiendas orgánicas, las rotaciones y el uso de organismos benéficos se investigan regularmente debido a que presentan efectos sobre el control de las enfermedades de las plantas, sin embargo, comúnmente sus efectos sobre las poblaciones de microorganismos del suelo son inexploradas (Bernard, y otros, 2012).

Según Rakshapal et al. (2013) el uso de lombricompost enriquecido con bioinoculante elaborado con los desechos de destilación pueden utilizarse con seguridad como insumo bioorgánico, en particular en sistemas de agricultura orgánica donde se restringe la aplicación de fertilizantes químicos y pesticidas.

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, y 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 y 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 y 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, Landeros, Castañeda, Martínez, Pérez, Nikolskii y Lango, 2010).

Sin embargo Alwyn & Hedlund (2013) plantean que para desarrollar métodos de agricultura verdaderamente sostenibles se deben aplicar prácticas agrícolas adaptadas a las condiciones específicas de los sistemas productivos que posibiliten el aprovechamiento de las potencialidades

que aporta y no partir de recetas ya sea convencionales u orgánicas

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, para facilitar 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 1).

Tabla 1. Diferentes dosis de compost y porcentajes de fertilización mineral recomendadas 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

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 2).

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.

Tabla 2. 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
Media	12,93	11,68	11,14
ES _x ***	0,326	1,171	1,199
CV***	16,71	9,73	11,86

*Letras diferentes para cada columna y tratamiento difieren para $p < 0,05$

** Error típico o estándar de la media.

***Coeficiente de Variación

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 3).

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.

En el rendimiento agrícola (t de caña ha^{-1}), parámetro que mejor evidencia la respuesta de la planta a los tratamientos utilizados en la investigación, se observan diferencias significativas de todos los tratamientos con respecto al tratamiento XI (Testigo absoluto con cero compost y sin fertilización mineral) donde se obtuvo el valor más

Tabla 3. 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
Media	1,05	2,53	3,28
ES _x **	0,02	0,03	0,04
CV***	10,45	8,50	7,78

*Letras diferentes para cada columna y tratamiento difieren para un $p < 0,05$.

** Error típico o estándar de la media.

***Coeficiente de Variación.

bajo con $85,96 \text{ t de caña ha}^{-1}$. La aplicación de $5 \text{ t de compost combinado con el } 75 \%$ del fertilizante mineral (tratamiento III) produjo el mayor incremento de $30,10 \text{ t de caña ha}^{-1}$ sobre el testigo con $116,07 \text{ t de caña ha}^{-1}$.

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 ($\alpha < 0,04$)

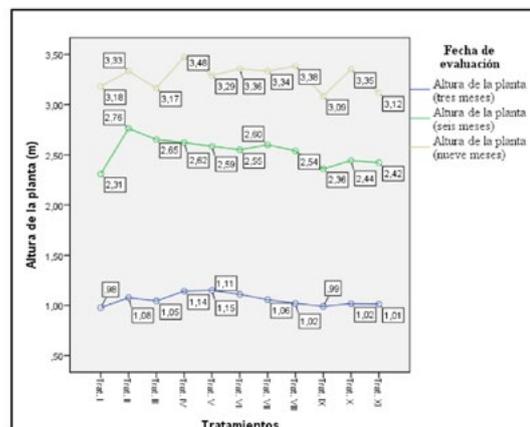


Figura 1. Comparación de las medias estimadas de altura de la planta a los tres, seis y nueve meses por cada tratamiento.

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 4).

El efecto del compost sobre el rendimiento agrí-

Tabla 4. 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 (T CAÑA HA ⁻¹)	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

cola 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 y 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 la agricultura sostenible.

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 hectárea (ha) con incrementos que oscilaron entre 8,57 y 24,09 t de caña ha⁻¹ (Figura 2).

*Letras diferentes para cada tratamiento di-

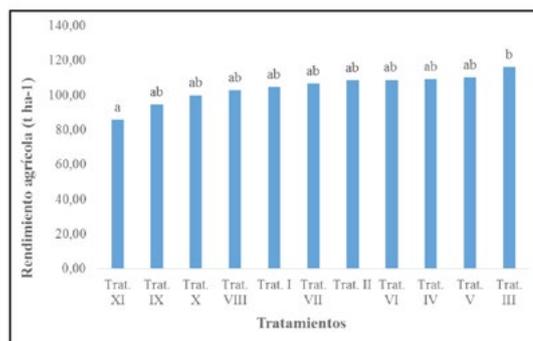


Figura 2. Rendimiento en caña (t ha⁻¹) por cada tratamiento después de efectuada la cosecha

fieren 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 (R²=0,242) que explica que el 24,2 % de la varia-

bilidad del rendimiento agrícola se debe a la altura de la planta a esta edad de la planta (Figura 3).

Investigaciones realizadas en México, utili-

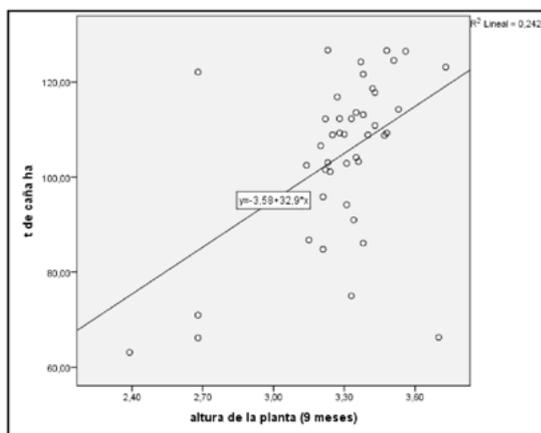


Figura 3. Grado de asociación entre las variables altura de la planta a los nueve meses y el rendimiento agrícola del cultivo (t de caña ha⁻¹)

zando 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 y Aranda, 2013).

CONCLUSIONES

La altura de la planta a los seis meses de edad de la plantación cuando se aplicó compost a 5 t ha⁻¹ + 50 % de la dosis de fertilización mineral (2,76 m), presentó diferencia estadística significativa con los tratamientos I (2,31 m), el tratamiento IX (2,36 m) y el tratamiento XI (2,42 m), sin embargo a los nueve meses en relación con la cantidad de brotes este tratamiento (12,50 tallos por metro lineal) presentó diferencia estadística con el testigo (10,25). En el rendimiento agrícola (t de caña ha⁻¹), no se presentan diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos donde se aplicó compost con fertilizantes minerales, aun-

que 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

- Alwyn, W., & Hedlund, K. (2013). Indicators of soil ecosystem services in conventional and organic arable fields along a gradient of landscape heterogeneity in southern Sweden. *Applied Soil Ecology*, 65, 1-7. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.20>
- 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.
- Bernard, E., Larkin, R., Tavantzis, S., Erich, M., Alyokhin, A., Sewell, G., Gross, S. (2012). Compost, rapeseed rotation, and biocontrol agents significantly impact soil microbial communities in organic and conventional potato production. *Applied Soil Ecology*, 52(1), 29-41.
- Bullock, J., Aronson, J., Newton, A., Pywell, R., & Rey-Benayas, J. (2011). Restoration of ecosystem services and biodiversity: conflicts and opportunities. *Trends Ecol. Evol.*, 26, 541-549.
- 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., & Lango, R. F. (2010). Agricultural contamination of subterranean water with nitrates and nitrites: an environmental and public health problem. *J. Agronomía*, 34.
- Godfray, H., Beddington, J., Crute, I., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J., . . . Toulmin, C. (2010). Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327, 812-818.

- 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 UTMACHA. ISBN. 978-9942-24-030-9
- Rakshapal, S., Singh, R., Soni, S. K., Singh, S. P., Chauhan, U., & Kalra, A. (2013). Vermicompost from biodegraded distillation waste improves soil properties and essential oil yield of *Pogostemon cablin* (patchouli) Benth. *Applied Soil Ecology*, 70, 48- 56. Obtenido de www.elsevier.com/locate/apsoil.
- 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.
- Townsend, T. J., Ramsden, S. J., & Wilson, P. (2016). Analysing reduced tillage practices within a bio-economic modelling framework. *Agricultural Systems*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2016.04.005>, 146, 91-102.