

Efecto de la aplicación de tres dosis de cachaza al cultivo de fríjol (*Phaseolus vulgaris* L.) en Tunja, Boyacá

Effect of Application of three doses of “cachaza” to bean (*Phaseolus vulgaris* L.) crop on Tunja, Boyacá

Carlos Eduardo Estupiñán-Fernández¹, Gina Mayerly Garzón-Amaya², Fabio Forero-Ulloa³

Resumen

La cachaza es un residuo del proceso de producción de panela. En los últimos años se han realizado estudios para evaluar la posible utilización de este subproducto en la agricultura, a fin de ofrecer a los agricultores alternativas más económicas para fertilizar sus cultivos. El objetivo principal de esta investigación fue evaluar la cachaza como fertilizante orgánico en el cultivo de fríjol y como mejorador de suelo. Se aplicaron seis tratamientos, con cuatro repeticiones: 3 dosis de cachaza (12 t·ha⁻¹, 6 t·ha⁻¹ y 6 t·ha⁻¹ + 400 kg 15-15-15 NPK), el requerimiento de fertilización química (800 kg·ha⁻¹ 15-15-15 NPK) y el de orgánica (6 t·ha⁻¹ Abimgra), basados en análisis de suelos, y todo se comparó con un testigo absoluto (sin fertilización) en un diseño completamente al azar. De acuerdo con investigaciones anteriores, la cachaza se aplicó a las parcelas 25 días antes de sembrar el cultivo, para que cumpliera su proceso de descomposición normal y no afectara la germinación. Al momento de la cosecha se evaluaron variables morfológicas (altura de planta, diámetro del tallo, número de

Abstract

The “cachaza” is a residue in the production process of panela. In recent years there have been studies to evaluate the possible use of this product in agriculture, to provide farmers with cheaper alternatives to fertilize their crops. The main objective of this research was to evaluate the “cachaza” as organic fertilizer for the bean crop and as soil improver. Were applied six treatments with four repetitions: 3 doses of “cachaza” (12 t·ha⁻¹, 6 t·ha⁻¹ and 6 t·ha⁻¹ + 400 kg 15-15-15 NPK), the requirement of chemical fertilization (800 Kg·ha⁻¹ 15-15-15 NPK) and organic fertilization (6 t·ha⁻¹ Abimgra) based on soil analysis and all was compared with absolute witness (no fertilization) in a completely randomized design. Based on previous research the “cachaza” was applied to plots 25 days before planting the crop to perform its normal decomposition process and did not affect germination. In the harvest were evaluated morphological variables (plant height, stem diameter, leaves number, number of pods per plant, number of grains per pod, fresh weight of 10

¹ Ingeniero Agrónomo, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja. e-mail: carlos.es24@gmail.com

² Ingeniero Agrónomo, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja. e-mail: ginmayis@yahoo.com

³ Docente. Programa de Ingeniería Agronómica, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja. e-mail: guatoquero@gmail.com

hojas, número de vainas por planta, número de granos por vaina, peso fresco de 10 granos, área foliar, fitomasa en fresco y seco de tallo y hojas, y variables edáficas (densidad aparente y estabilidad estructural). Los mayores rendimientos se obtuvieron con la mezcla de 50% de dosis de cachaza + 50% de fertilización química.

Palabras clave: Beans, Amendments, Organic fertilizers. (*Fuente: USDA*)

grains, leaf area, fresh and dry phytomass of stem and leaves) and soil variables (Apparent density and structural stability). The highest performance was obtained with the mixture of 50% dose of "cachaza" + 50% chemical fertilization.

Key words: Filter cake, organic amendment. (*Source: USDA*)

Introducción

El cultivo de caña panelera (*Saccharum officinarum* L) se convirtió en los últimos años en uno de los principales renglones de la economía campesina en la Hoya del Río Suárez, zona ubicada en los límites de los departamentos de Boyacá y Santander. En el proceso de obtención de la panela se genera un residuo llamado cachaza o torta de filtro que, a pesar de tener potenciales usos agrícolas, no es aprovechado por los cultivadores de caña; actualmente, el 47% se utiliza como alimento para animales domésticos, y el excedente (53%) es abandonado al aire libre (Rodríguez y Gottret, 2006), generando problemas de contaminación hídrica, visual y odorífica en las diferentes fincas trapicheras. La investigación sobre esta problemática es mínima, solamente Forero (2009) evaluó el potencial que tiene la cachaza como enmienda orgánica en cultivo de maíz y asocio maíz-frijol bajo condiciones de clima medio; investigación que también estuvo encaminada a dar un manejo adecuado de los residuos del trapiche.

En la región se desconoce el valor agregado que puede tener la cachaza en la actividad agrícola, como fuente de nutrientes y mejorador físico del suelo; sumado a ello, en la zona productora de frijol (*Phaseolus vulgaris* L) del departamento de Boyacá existe una costumbre sobre la aplicación de insumos de síntesis química, desconociendo la existencia de otras alternativas para aportar nutrientes al cultivo que representarían una disminución importante en la aplicación de agroquímicos, y, de igual modo, la disminución en la inversión del agricultor.

En el departamento de Boyacá se cultivaron 5.915 hectáreas de frijol, con una producción de 6.232 toneladas y un rendimiento promedio de 1.054 kg·ha⁻¹ (URPA, 2004). Por otra parte, según Fenalce (2009), en el año 2007 Colombia importó 30.440 toneladas de frijol para satisfacer su demanda interna.

Esta investigación tuvo como objetivo principal evaluar el potencial de la cachaza como enmienda orgánica en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L), teniendo en cuenta las diferentes dosis de aplicación, para finalmente establecer la cantidad óptima de cachaza por aplicar y, de esta manera, ofrecer al agricultor alternativas de fertilización económicas, y mitigar el efecto contaminante de los residuos generados por el proceso de producción

de panela. A la fecha no se han encontrado trabajos específicos sobre la utilización de la cachaza fresca en sistemas de cultivo de frijol en el municipio de Tunja-Boyacá, lo que destaca la importancia del presente estudio.

Materiales y Métodos

La investigación se realizó en la granja "La María", de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, con sede en Tunja-Boyacá, ubicada a una latitud de 5° 33' norte y una longitud de 73° 24' oeste, y a una altura de 2690 msnm. Las condiciones climáticas de esta zona durante los cuatro meses que duró el experimento fueron: temperatura promedio, 12,8 °C; precipitación acumulada, 26 mm, y evaporación acumulada, 58,3 mm (Estación Agroclimatológica UPTC). Los análisis físicoquímicos de suelos se realizaron en el laboratorio de docencia de suelos, y los análisis químicos de la cachaza, en el laboratorio de nutrición animal de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UPTC.

Para esta prueba se realizó un diseño completamente al azar (DCA), con seis tratamientos y cuatro repeticiones, generando un total de 24 unidades experimentales (UE). Cada UE corresponde a una parcela con dimensiones 2x5 m, para un área de 10 m²/parcela. Se utilizó semilla de frijol variedad ICA Cerinza, la cual se adapta muy bien a zonas entre 2200 y 2800 msnm, con un periodo vegetativo de 140-160 días y de la cual se obtienen rendimientos promedio de 1,5 t·ha⁻¹ en seco (Fenalce, 2009).

La cachaza fue conseguida en el municipio de Barbosa (Santander) e incorporada a las parcelas que lo requerían el mismo día que se consiguió y con una antelación de 25 días a la siembra; de esta forma se evitó fitotoxicidad debida a la liberación de CO₂ y CH₄, que conlleva el proceso de descomposición (Zerega, 1993).

La siembra se hizo con una distancia entre surcos de 50 cm, dejando 25 cm de borde de la unidad experimental y entre plantas 25 cm, dejando 20 cm de desborde y colocando dos granos por sitio, para posteriormente realizar un raleo.

Las primeras plántulas de frijol emergieron 17 días después de sembradas, y la aplicación de los fertilizantes químicos y orgánicos se hizo 28 dde. Basados en los resultados del análisis de suelos, se obtuvieron las cantidades de fertilizante, tanto químico (800 kg·ha⁻¹ 15-15-15 NPK) como

orgánico (6 t·ha⁻¹ Abimgra), que se debían aplicar; luego, con los datos obtenidos se calculó el total por aplicar en cada una de las parcelas.

Resultados y Discusión

Número de vainas. El número total de vainas por planta no presentó diferencias significativas entre tratamientos; no obstante, se obtuvo mayor

número de vainas con la aplicación del 50% de cachaza y 50% de la fertilización comercial, y, por el contrario, el menor número de vainas totales fue logrado con la aplicación de Abimgra. Respecto al total de vainas productivas, tampoco se presentaron diferencias estadísticas. Sin embargo, hubo mayor cantidad de vainas productivas con la fertilización comercial, y un menor número con la aplicación de Abimgra.

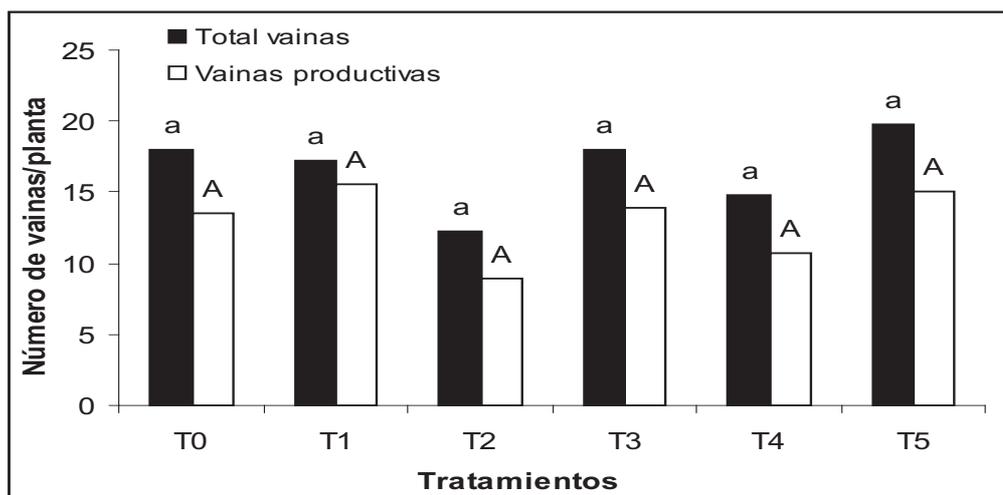


Figura 1. Efecto de la aplicación de tres dosis de cachaza al cultivo de fríjol sobre el número de vainas/planta y número de vainas productivas/planta. **T0:** testigo absoluto; **T1:** 800 kg·ha⁻¹ 15-15-15; **T2:** 6 t·ha⁻¹ Abimgra; **T3:** 12 t·ha⁻¹ de cachaza; **T4:** 6 t·ha⁻¹ de cachaza; **T5:** 50% de la dosis T3 y 50% de la dosis T1. Promedios seguidos de letras iguales no presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

El mayor número de vainas lo produjo el tratamiento 5 (50% fertilización química+50% dosis de cachaza), lo cual se debe a la disponibilidad de nutrientes que representan cada uno de los productos aplicados. Sumado a ello, la cachaza, por ser un material de origen orgánico, tiende a favorecer la asimilación de nutrientes por parte de la planta, gracias a que los retiene y evita su lixiviación o pérdida.

Sin embargo, el número total de vainas productivas fue mayor con la aplicación de la dosis comercial de fertilizante químico; esta respuesta se basa en la disponibilidad inmediata de nitrógeno que tuvo

la planta, el cual es un elemento estrechamente ligado a la producción de biomasa (Mogollón, 2000); dicho proceso se debió a que el fertilizante químico, por estar compuesto de sales solubles, suplió fácilmente los requerimientos de la planta en todo el ciclo del cultivo (Gutiérrez, 1997).

La aplicación de fertilización orgánica produjo un menor número de vainas/planta, lo cual se explica fácilmente basados en que este tipo de enmiendas liberan muy lentamente los minerales que contienen, y estos procesos de liberación se ven influenciados por los factores ambientales de la zona donde se realizó el ensayo.

Número de granos/planta. Con diferencias significativas, la aplicación del 50% de la dosis de cachaza y 50% de la dosis de fertilización comercial generó el más alto número de granos por planta; respuesta contraria se observó con la aplicación de Abimgra. La producción de granos estuvo ligada a la disponibilidad de microelementos y macroelementos que aportó el tratamiento 50% fertilización química + 50% dosis de cachaza.

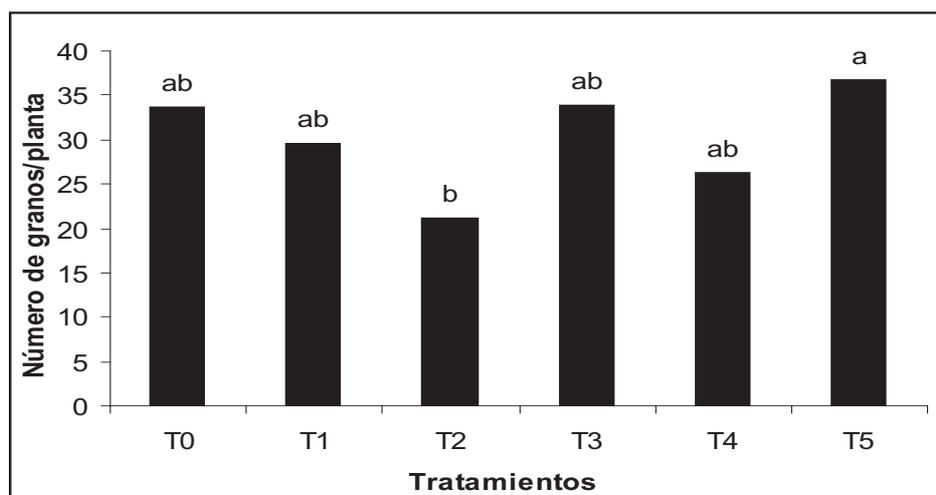


Figura 2. Efecto de la aplicación de tres dosis de cachaza al cultivo de frijol sobre el número de granos/planta. **T0:** testigo absoluto; **T1:** 800 kg·ha⁻¹ 15-15-15; **T2:** 6 t·ha⁻¹ Abimgra; **T3:** 12 t·ha⁻¹ de cachaza; **T4:** 6 t·ha⁻¹ de cachaza; **T5:** 50% de la dosis T3 y 50% de la dosis T1. Promedios seguidos de letras iguales no presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Arrieché y Mora (2005), quienes evaluaron el efecto de la cachaza frente a estiércol de pollo compostados en el rendimiento del maíz, y encontraron mayor rendimiento con la aplicación de la cachaza. El efecto consistente de la cachaza concuerda con los resultados de Escalona (2002) en los cultivos de cebolla y pimentón, y por Matheus (2004), en maíz. Todos ellos obtuvieron mayores producciones en cada uno de los cultivos evaluados. También, Forero (2009) evaluó el

rendimiento del cultivo de maíz fertilizado con cachaza, y encontró que el mayor número de granos por planta lo produjo la aplicación de 12,5 t·ha⁻¹ de cachaza fresca, lo cual coincide con los resultados de este experimento.

Número de hojas/planta. El número de hojas por planta fue estadísticamente similar entre tratamientos; pero fue levemente mayor con la aplicación del 50% de la dosis de cachaza y 50% de la dosis de fertilización comercial, mientras que la respuesta contraria se obtuvo con la fertilización comercial. Dicha respuesta pudo deberse al proceso normal que sufren las plantas de frijol cuando terminan su ciclo vegetativo, etapa que se caracteriza por la maduración y secado de las vainas, y la caída de las hojas. Un cultivo inicia esta etapa cuando en el 50% de las plantas por lo menos una vaina inicia su decoloración y secado (CIAT, 1982).

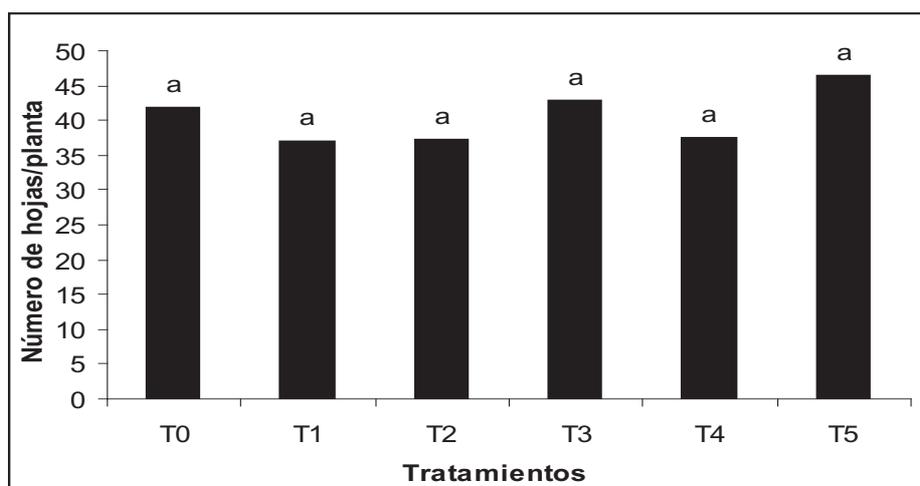


Figura 3. Efecto de la aplicación de tres dosis de cachaza al cultivo de frijol sobre el número de hojas/planta. **T0:** testigo absoluto; **T1:** 800 kg·ha⁻¹ 15-15-15; **T2:** 6 t·ha⁻¹ Abimgra; **T3:** 12 t·ha⁻¹ de cachaza; **T4:** 6 t·ha⁻¹ de cachaza; **T5:** 50% de la dosis T3 y 50% de la dosis T1. Promedios seguidos de letras iguales no presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Altura. Los tratamientos generaron una respuesta estadísticamente diferente en la altura de las plantas de frijol. Las plantas más altas fueron aquellas que se fertilizaron con 50% de la dosis de cachaza y 50% de la dosis de fertilización comercial, y con la aplicación de Abimgra se obtuvieron plantas con menor altura.

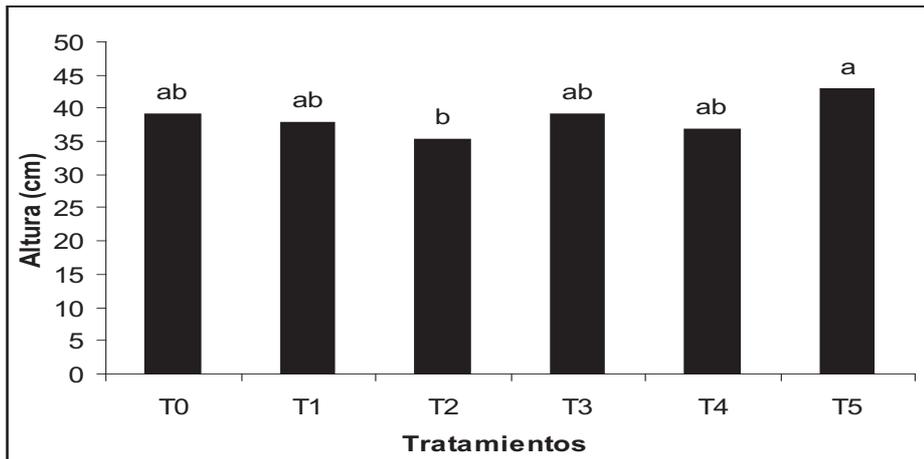


Figura 4. Efecto de la aplicación de tres dosis de cachaza al cultivo de frijol sobre la altura de planta. **T0:** testigo absoluto; **T1:** 800 kg·ha⁻¹ 15-15-15; **T2:** 6 t·ha⁻¹ Abimgra; **T3:** 12 t·ha⁻¹ de cachaza; **T4:** 6 t·ha⁻¹ de cachaza; **T5:** 50% de la dosis T3 y 50% de la dosis T1. Promedios seguidos de letras iguales no presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

5 t·ha⁻¹ de cachaza (2,53 m) y la interacción de los dos (2,9 m).

Basados en las condiciones climáticas de la zona (Tunja-Boyacá), se puede concluir que los procesos de mineralización y humificación de la materia orgánica son más lentos, y prueba de ello son los resultados que se obtuvieron con la aplicación de Abimgra, los cuales, estadísticamente, estuvieron muy por debajo de los obtenidos con los demás tratamientos, incluyendo el testigo absoluto.

Los resultados obtenidos en el experimento concuerdan con los de Cuenya et al. (2007), quienes no encontraron diferencias significativas en la altura de plantas de caña con la adición de cachaza; sin embargo, determinaron un aumento en la altura en función del incremento de la cachaza aplicada. Forero (2009) encontró mayor respuesta con el sistema de maíz (2,29 m), la aplicación de

Diámetro de tallo. Se presentaron diferencias estadísticas al 5% en el diámetro de tallo. La aplicación de 50% de la dosis de cachaza y 50% de la dosis de fertilización comercial generó plantas con tallos más gruesos, y la respuesta contraria fue obtenida con la fertilización a base de Abimgra.

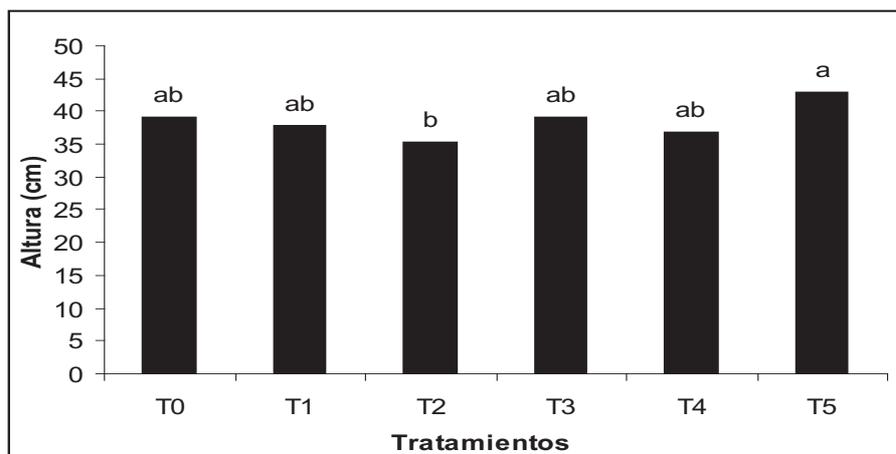


Figura 5. Efecto de la aplicación de tres dosis de cachaza al cultivo de frijol sobre el diámetro de tallo a 5 cm. **T0:** testigo absoluto; **T1:** 800 kg·ha⁻¹ 15-15-15; **T2:** 6 t·ha⁻¹ Abimgra; **T3:** 12 t·ha⁻¹ de cachaza; **T4:** 6 t·ha⁻¹ de cachaza; **T5:** 50% de la dosis T3 y 50% de la dosis T1. Promedios seguidos de letras iguales no presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Por tanto, se concluye que estos tratamientos suplieron en mayor grado y oportunamente los requerimientos nutritivos del cultivo, reflejándose fundamentalmente en la altura de la planta y en el diámetro del tallo. En los niveles bajos de fertilizante se produjo el menor crecimiento y grosor del tallo de las plantas de maíz, lo cual coincide con la presente investigación.

Matheus (2004), citado por Forero (2009), evaluó el efecto de 4 dosis de biofertilizante a base de cachaza y bagazo (4,6 y 8 t·ha⁻¹), fertilización química convencional (159 kg·ha⁻¹ N, 90 kg·ha⁻¹, 1 kg·ha⁻¹ P₂O₅ y 90 kg·ha⁻¹ K₂O) y una mezcla de 2 t·ha⁻¹ de biofertilizante + 50% dosis de fertilizante químico en el cultivo de maíz. Con relación al diámetro de tallo, los resultados mostraron un mayor grosor en los tallos de las plantas tratadas con fertilizante químico y la mezcla de fertilizantes con diferencias estadísticas ($p < 0,01$). Sin embargo, el diámetro del tallo aumentó cuando se incrementó el nivel de aplicación de biofertilizante.

Se puede constatar que la mezcla de cachaza con fertilizante químico representa la mejor alternativa para fertilizar los cultivos, ya que produjo plantas con tallos más gruesos; a la par, el uso de Abimgra se muestra como el que propició la formación de tallos más delgados, por la lenta disponibilidad con que les ofrece los minerales a las plantas.

Masa fresca de 10 granos. Se presentaron diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$). La mayor masa fresca de granos se obtuvo con la aplicación de gallinaza, y la menor masa fresca se debió a la aplicación del 50% del requerimiento de cachaza.

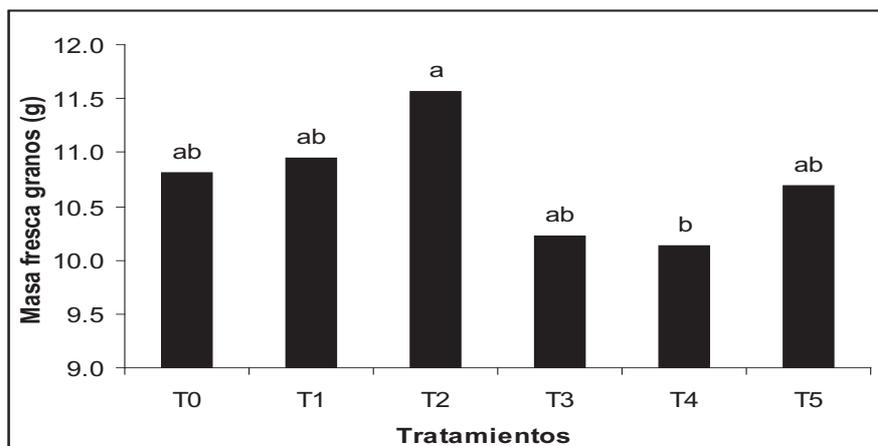


Figura 6. Efecto de la aplicación de tres dosis de cachaza al cultivo de frijol sobre la masa fresca de 10 granos. **T0:** testigo absoluto; **T1:** 800 kg·ha⁻¹ 15-15-15; **T2:** 6 t·ha⁻¹ Abimgra; **T3:** 12 t·ha⁻¹ de cachaza; **T4:** 6 t·ha⁻¹ de cachaza; **T5:** 50% de la dosis T3 y 50% de la dosis T1. Promedios seguidos de letras iguales no presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

Contrario a las demás variables morfológicas, el mayor peso de 10 granos lo obtuvo el tratamiento orgánico con Abimgra, lo que refleja un menor desarrollo del cultivo frente a las demás parcelas,

lo que hizo que los granos mantuvieran un alto contenido de agua, a diferencia de los demás tratamientos, que en ese momento ya se encontraban en proceso de maduración, lo que causa amarillamiento y secamiento de las vainas y los granos (CIAT, 1982).

Área foliar. Con diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$), la fertilización con 50% de la dosis de cachaza y 50% de la dosis de fertilización comercial favoreció la mayor área foliar en las plantas de frijol; por el contrario, hubo menor área foliar con la aplicación del 50% de la dosis de cachaza.

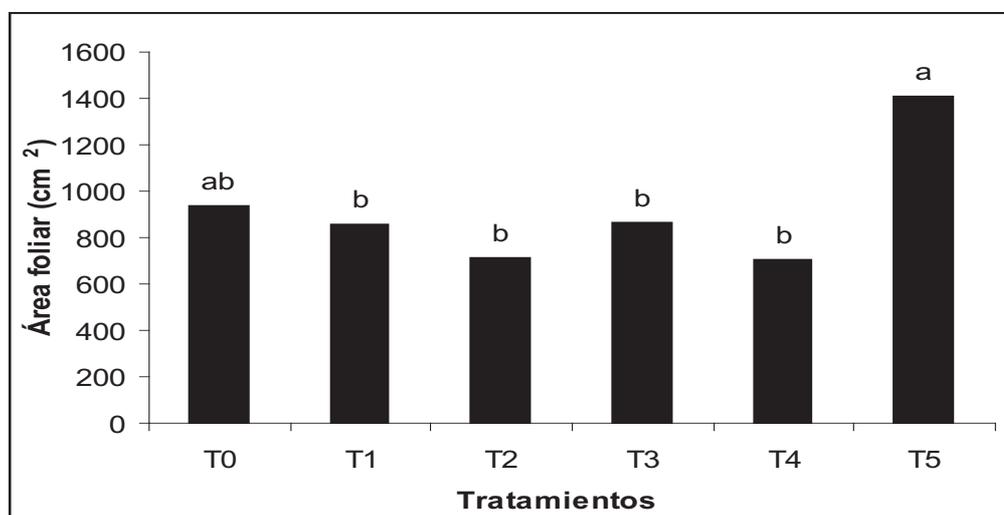


Figura 7. Efecto de la aplicación de tres dosis de cachaza al cultivo de frijol sobre el área foliar. **T0:** testigo absoluto; **T1:** 800 kg·ha⁻¹ 15-15-15; **T2:** 6 t·ha⁻¹ Abimgra; **T3:** 12 t·ha⁻¹ de cachaza; **T4:** 6 t·ha⁻¹ de cachaza; **T5:** 50% de la dosis T3 y 50% de la dosis T1. Promedios seguidos de letras iguales no presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Estos resultados coinciden con los reportados por Chaves *et al.* (2006), quienes encontraron que hubo mayor área foliar en plántulas de la leguminosa *Anadenanthera macrocarpa* obtenidas en un sustrato de una mezcla de bagazo de caña y cachaza (3:2; v:v) y la adición de nitrógeno mineral, respecto a las plántulas que fueron sembradas en el solo sustrato.

El mayor aporte de nutrientes que tuvo el tratamiento 50% de dosis de cachaza+50% de dosis comercial, en especial de nitrógeno, fue el responsable de generar una mayor área foliar, ya que este elemento se caracteriza por aumentar la cantidad de follaje (Triboi-Blondel, 1988). Esto concuerda con estudios realizados mediante la adición de compost, donde la cantidad de follaje aumenta al incrementarse este material orgánico (De Grazia *et al.*, 2001).

Masa fresca aérea. Los tratamientos no generaron diferencias significativas en la masa fresca aérea. No obstante, hubo mayor masa fresca al suplir el requerimiento con sola cachaza, y se presentó menor masa con la aplicación de Abimgra.

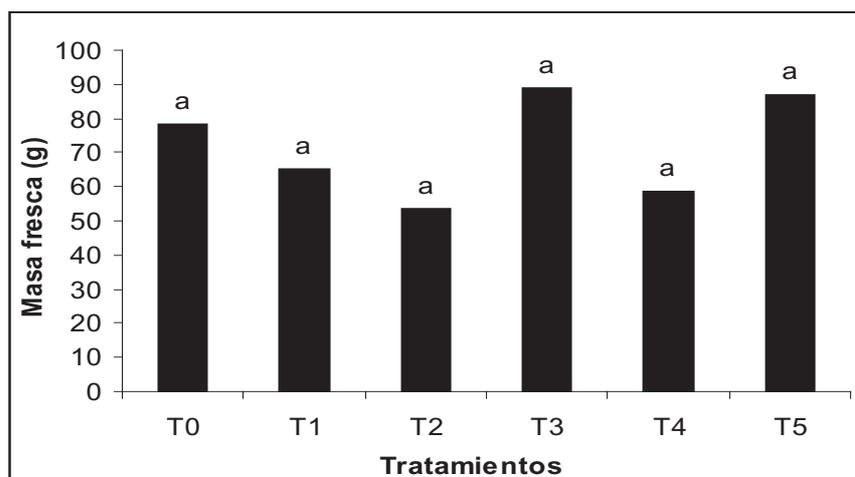


Figura 8. Efecto de la aplicación de tres dosis de cachaza al cultivo de fríjol sobre la masa fresca aérea. **T0:** testigo absoluto; **T1:** 800 kg·ha⁻¹ 15-15-15; **T2:** 6 t·ha⁻¹ Abimgra; **T3:** 12 t·ha⁻¹ de cachaza; **T4:** 6 t·ha⁻¹ de cachaza; **T5:** 50% de la dosis T3 y 50% de la dosis T1. Promedios seguidos de letras iguales no presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Arreola (2003), en México, utilizando tres dosis de cachaza enriquecida con N (0.6%) y K (0.2%), sobre propiedades del suelo, rendimiento y calidad del jugo de caña de azúcar, obtuvo resultados positivos de las propiedades químicas frente al testigo absoluto con una dosis de 10 t·ha⁻¹ y de 15 t·ha⁻¹ de producto órgano-mineral de cachaza, arrojando en MO (15-24%), pH (6 y 8%), N total (48-70%), N mineral (144-162%), P (300-461%) y K (46-47); incrementos en la producción

de caña de azúcar en 84.6 t·ha⁻¹ con cachaza, en comparación con el testigo absoluto de 35 t·ha⁻¹; mejoras en grados brix, sacarosa, pureza y fibra, y disminución de la contaminación ambiental por exceso de fertilizantes de síntesis química y por el arrojado de cachaza a fuentes hídricas.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos en este experimento, debido a que el tratamiento donde iba incluida la cachaza + fertilización química (T5) generó un mayor peso fresco de la parte aérea de la planta, que era lo esperado desde el inicio de la investigación.

Masa seca aérea. La masa seca aérea fue estadísticamente similar entre tratamientos; sin embargo, se obtuvo mayor masa seca con la aplicación de 50% de la dosis de cachaza y 50% de la dosis de fertilización comercial, y menor masa seca con la aplicación de Abimgra.

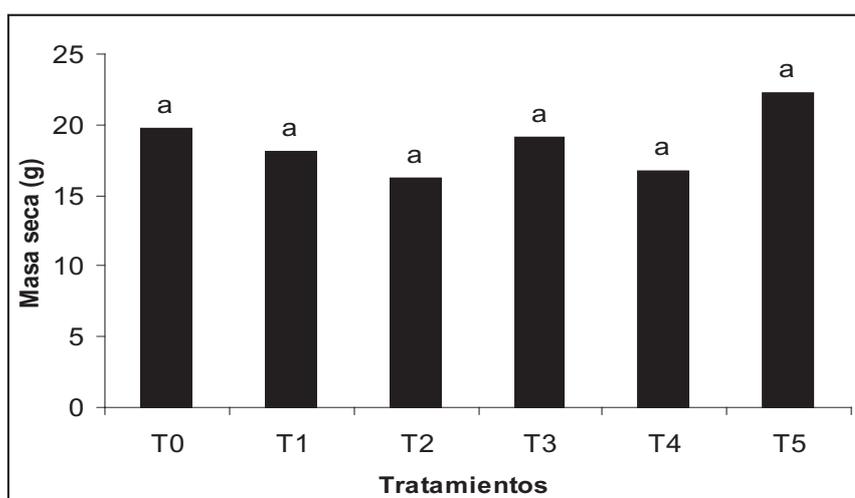


Figura 9. Efecto de la aplicación de tres dosis de cachaza al cultivo de frijol sobre la masa seca aérea. **T0:** testigo absoluto; **T1:** 800 Kg·ha⁻¹ 15-15-15; **T2:** 6 t·ha⁻¹ Abimgra; **T3:** 12 t·ha⁻¹ de Cachaza; **T4:** 6 t·ha⁻¹ de Cachaza; **T5:** 50% de la dosis T3 y 50% de la dosis T1. Promedios seguidos de letras iguales no presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Bajo las mismas condiciones agroecológicas de la zona, Plata et al. (2009) obtuvieron similares resultados en un ensayo realizado en repollo, donde evaluaron diferentes dosis de cachaza aplicada como enmienda orgánica. Resultados similares a los encontrados en este estudio fueron reportados por Morgado et al. (2000), quienes determinaron que un sustrato a base de cachaza y bagazo (30% y 70%, respectivamente) favoreció la acumulación de masa seca total en la producción de plantas de *Saccharum spp.* Por el contrario, Coutinho et al. (2006) observaron que la cachaza indujo menor crecimiento y producción de masa

seca en el crecimiento de *Sesbania virgata*, pero proporcionó mayores contenidos de N, P y K, en comparación con otros sustratos orgánicos. Por su parte, Forero (2009) determinó que hubo mayor masa seca en plantas de maíz con la aplicación de 10 t·ha⁻¹ de cachaza, y esta respuesta fue superior a la encontrada con la fertilización química.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos en este experimento, debido a que los tratamientos donde iba incluida la cachaza (T3-T4-T5) mostraron mayor masa seca de la parte aérea de la planta.

Variables edáficas

Densidad aparente. Se observaron diferencias estadísticas al 1%. Todos los tratamientos disminuyeron la densidad aparente respecto al valor inicial. El menor valor de densidad aparente se presentó al suplir el requerimiento con sola cachaza, y el mayor valor se obtuvo con el tratamiento de fertilización química.

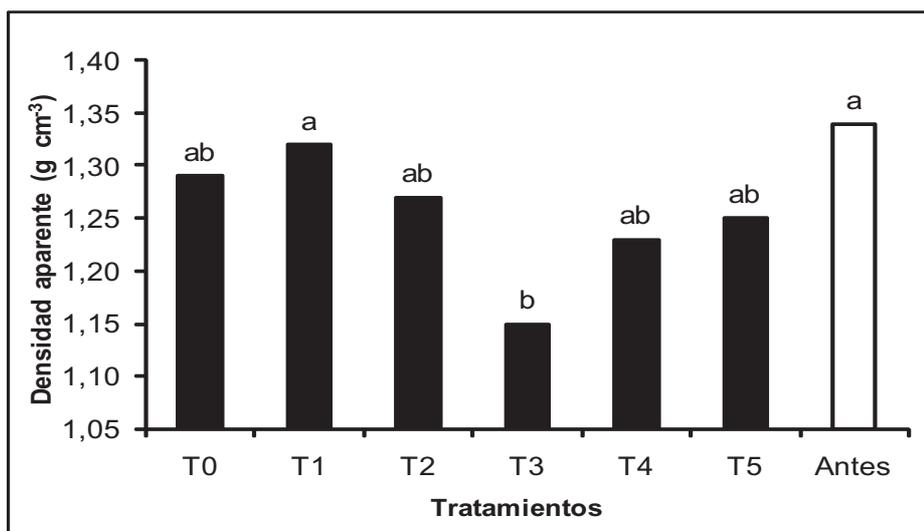


Figura 10. Efecto de la aplicación de tres dosis de cachaza al cultivo de frijol sobre la densidad aparente del suelo. **T0:** testigo absoluto; **T1:** 800 kg·ha⁻¹ 15-15-15; **T2:** 6 t·ha⁻¹ Abimgra; **T3:** 12 t·ha⁻¹ de cachaza; **T4:** 6 t·ha⁻¹ de cachaza; **T5:** 50% de la dosis T3 y 50% de la dosis T1. Promedios seguidos de letras iguales no presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Hubo diferencias significativas antes y después de la siembra con el tratamiento de la dosis calculada de cachaza 12 t·ha⁻¹; para el tratamiento a base de

fertilización química no se presentaron diferencias significativas con los resultados obtenidos antes de la siembra del frijol. Entre los demás tratamientos no se presentó una diferencia significativa. Resultados similares fueron obtenidos por Forero (2009), donde la aplicación de 15 t·ha⁻¹ de cachaza permitió observar una disminución significativa de la densidad aparente en el sistema maíz asocio frijol.

Se afirma que la densidad aparente y la materia orgánica son variables aptas para mostrar

diferencias de manejo, y, de otra parte, la densidad aparente sirve para establecer el estado actual de la distribución de la porosidad (Suero *et al.*, 2000). Con la adición de cachaza al suelo es posible mejorar la densidad aparente por su alta cantidad de materia orgánica.

Por otro lado, Sánchez-Hernández *et al.* (2006) demostraron que el aporte de materiales orgánicos en suelos vertisoles durante dos años disminuyó la densidad de 1,34 a 1,16 g·cm⁻³. De otra parte,

Oliveira *et al.* (1993) y García (1998) reconocieron que el aporte de residuos orgánicos afecta favorablemente la densidad y ayuda a mantener la humedad del suelo.

Diámetro ponderado medio en seco. La mayoría de los tratamientos aumentaron el diámetro ponderado medio en seco, excepto el tratamiento de fertilización con Abimgra, que presentó el menor valor ($p \leq 0,01$); el mayor aumento del diámetro ponderado se debió a la fertilización química comercial.

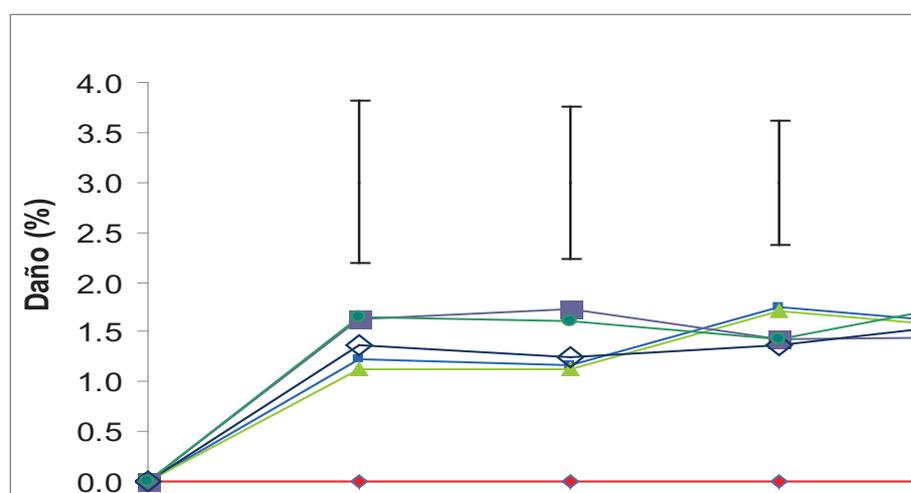


Figura 11. Efecto de la aplicación de tres dosis de cachaza al cultivo de frijol sobre el diámetro ponderado medio en seco. **T0:** testigo absoluto; **T1:** 800 kg·ha⁻¹ 15-15-15; **T2:** 6 t·ha⁻¹ Abimgra; **T3:** 12 t·ha⁻¹ de cachaza; **T4:** 6 t·ha⁻¹ de cachaza; **T5:** 50% de la dosis T3 y 50% de la dosis T1. Promedios seguidos de letras iguales no presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

El diámetro ponderado medio en seco (dpms) aumentó después de la cosecha en todos los casos, excepto en la fertilización a base de gallinaza, al compararlo con antes de la siembra. La mayor

respuesta fue lograda con el tratamiento de la fertilización comercial; cuando se analizan las dosis con aplicaciones de cachaza no se presentan diferencias significativas.

Diámetro ponderado medio en húmedo. Todos los tratamientos disminuyeron el valor del diámetro ponderado medio en húmedo con relación al valor antes de los tratamientos. La mayor disminución se observó con el suministro total del requerimiento con sola cachaza, y la menor disminución fue con el testigo absoluto.

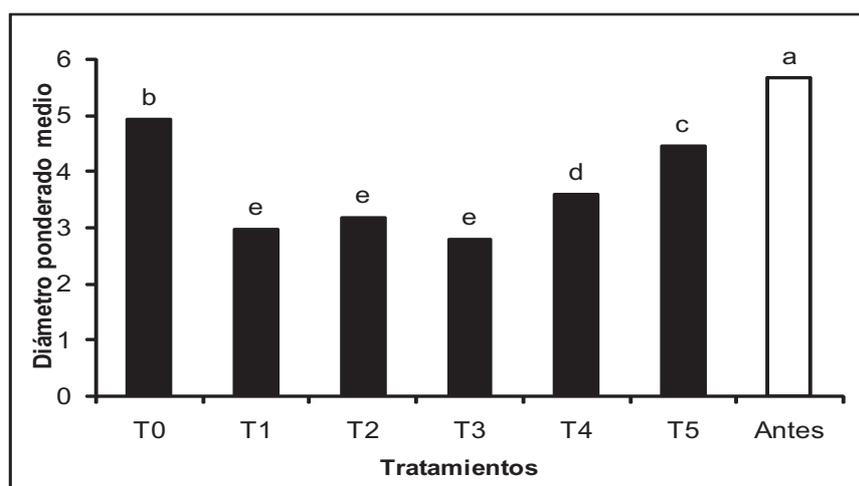


Figura 12. Efecto de la aplicación de tres dosis de cachaza al cultivo de frijol sobre el diámetro ponderado medio en húmedo. **T0:** testigo absoluto; **T1:** 800 kg·ha⁻¹ 15-15-15; **T2:** 6 t·ha⁻¹ Abimgra; **T3:** 12 t·ha⁻¹ de cachaza; **T4:** 6 t·ha⁻¹ de cachaza; **T5:** 50% de la dosis T3 y 50% de la dosis T1. Promedios seguidos de letras iguales no presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Hubo diferencias estadísticas en el diámetro ponderado medio en húmedo (dpmh) entre el inicio y el final a nivel de todos los tratamientos; la mayor disminución fue con la aplicación de la dosis de cachaza recomendada por el análisis de suelos, y la menor fue con la siembra del frijol sin aplicación alguna. No obstante, las dosis de cachaza al 50%, la dosis mezclada con fertilización química, junto con la fertilización comercial no representaron diferencias significativas.

El efecto de la cachaza fresca de trapiche panelero como material orgánico, junto con la materia

orgánica generada por las raíces muertas de la planta de frijol, en la formación de agregados, corresponde a lo afirmado por Tisdall y Oades (1982), quienes demostraron que la materia orgánica ejerce un papel importante en la formación y estabilización de agregados del suelo debido a puentes entre polímeros orgánicos y una superficie orgánica mediada por cationes polivalentes. Del mismo modo, también puede inducir la agregación de las partículas del suelo en función del mucílago excretado por los microorganismos que proliferan por los altos contenidos de azúcares; este mucílago, que es un carbohidrato de cadena pequeña, al tener contacto con el suelo favorece la agregación de las partículas, promoviendo un aumento en su estabilidad estructural (Camargo et al. 1983).

Independientemente de los tratamientos evaluados, el suelo presentó una estabilidad de agregados bastante alta, tanto en húmedo como en seco, que correspondió a estable y muy estable (IGAC, 2006).

Literatura citada

- Arreola-Enríquez, J. (2003). Evaluación de abono órgano-mineral de cachaza en la producción y calidad de la caña de azúcar. *Terra Latinoamericana*, 351-357.
- Arrieche, I., Mora, O. (2005). Efecto de la aplicación de residuos orgánicos sobre el cultivo del maíz en suelos agrícolas del estado de Yaracuy, Venezuela. *Bioagro*, 17(3), 16.
- Camargo, O. A., Valadares, J. M. A. S., Geraldí, R. N. (1983). *Características químicas e físicas do solo que recebeu vinhaça por longo tempo*. Campinas: Instituto Agronômico. Boletim Técnico. 30 p.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) (1982). *Etapas de desarrollo de la planta de frijol común*. Cali, Colombia: CIAT. Guía de estudio. 26 p.
- Chaves, L., Carneiro, J. y Barroso, D. 2006. Crecimiento de mudas de *Anadenanthera macrocarpa* (Benth) Brenan (Angico-Vermelho)

- em substrato fertilizado e inoculado com rizóbio. *R. Árvore, Viçosa-MG*, 30(6), 911-919.
- Coutinho, M. P., De-Araújo, J. G., Guerra, D., Rodrigues, L. A., Siqueira, J. (2006). Substrato de cavas de extração de argila enriquecido com subprodutos agroindustriais e urbanos para produção de mudas de sesbânia. *Rev. Árvore*, 30 (1).
- Cuenya, M. I., Romero, E. R., García, M. B., Díaz, C., Romero-Chavanne, E. R., Zavaleta, J. P. (2007). Efecto del agregado de cachaza y de diferentes densidades de plantación en la capacidad productiva de un semillero saneado de la variedad de caña de azúcar (*Saccharum* spp.). *Rev. Ind. Agríc.* 84(1), 1-8. Tucumán.
- De-Grazia, J., Tiftonell, P. A., Chiesa, A. (2001). Calidad y precocidad del plantín de pimiento (*Capsicum annuum* L.) en función de la proporción de materiales compostados presentes en el medio de cultivo. En: *Actas de la II Reunión de Producción Vegetal del NOA*. San Miguel de Tucumán, Tucumán, Argentina.
- Escalona, A. (2002). *Efecto de la aplicación de dosis altas de cachaza de caña y estiércol de pollo sobre el desarrollo de los cultivos de pimentón y cebolla en la zona de Quíbor, estado Lara*. Tesis. Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado". Barquisimeto. 87 p.
- Fondo Nacional Cerealista (Fenalce) (2009). *El frijol*. 9 p.
- Forero, F. (2009). *Respuesta agronómica a dos sistemas de producción de maíz y maíz asocio frijol a la aplicación de cachaza en la Hoya del Río Suárez, municipio de Chitaraque*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Tesis de Maestría. 151 p.
- García, T. J. C. (1998). *Arrope orgánico y de producción de caña de azúcar (Saccharum officinarum L.) en condiciones de riego y secano*. Tesis. IRENAT-Colegio de Posgraduados. Texcoco. 95 p.
- Gutiérrez, M. (1997). Nutrición mineral de las plantas; avances y aplicaciones. *Agronomía Costarricense*; 21(1), 127-137.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC); Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC) (2005). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Boyacá*. Bogotá D.C. Tomos I-II.
- Matheus, J. (2004). Evaluación agronómica del uso de compost de residuos de la industria azucarera (biofertilizante) en el cultivo del maíz (*Zea mayz* L.). *Bioagro*, 16 (3), 219-224.
- Mogollón, L. (2000). Uso eficiente de los fertilizantes. En: Lobo D. (ed.). *Manejo de la fertilidad de los suelos*. Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo. Maracay, Venezuela. 25-36.
- Morgado, I. F. (2000). *Resíduos agroindustriais prensados como substrato para a produção de mudas de Eucalyptus grandis Hill ex Maiden e Saccharum spp.* Tese (Doutorado em Produção Vegetal)-Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 102 p.
- Oliveira, O. C., Guimaraes, H.D., Urquiaga, S. S., Boddey, R. M. (1993). Efecto a largo plazo de la quema precosecha en la producción de caña de azúcar y la fertilidad del suelo. En: *Memorias de los seminarios interamericanos de la caña de azúcar*. Miami. 292-300.
- Plata, A., Balaguera, E., Serrano, P., Balaguera, W. (2009). Efecto de la aplicación de cachaza fresca al cultivo de repollo (*Brassica oleraceae* var. *capitata* L.). Artículo de investigación en proceso de publicación.
- Rodríguez, G., Gottret, M. V. (2006). *Aprendiendo del pasado para proyectarnos hacia el futuro e impacto de la tecnología de la panela en la Hoya del Río Suárez y Cundinamarca (Colombia)*. CORPOICA. CIAT. Informe técnico. 61 p.
- Sánchez-Hernández, R., Ordaz-Chaparro, V. M., Benedicto-Valdés, G. S., Hidalgo-Moreno, C. I., Palma-López, D. J. (2006). *Regeneración estructural de un suelo arcilloso por aportes de vermicompost en la chontalpa*. Tabasco, México. Recuperado de: [www.ujat.mx/publicaciones/uciencia22\(1\)m13-26](http://www.ujat.mx/publicaciones/uciencia22(1)m13-26).
- Suero, E., Costa, J., Gualati, T. (2000). Sustentabilidad de la agricultura continua. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar de Plata. CD-ROM.
- Tisdall, J. M., Oades, J. M. (1982). Organic matter and water-sable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*, 33, 141-163.
- Triboi-Blondel, A. M. (1988). Azote, croissance, rendement et qualité de la graine chez le colza d'hiver. En *Physiologie et élaboration du rendement du colza d'hiver*. Centre Technique Interprofessionnel des Oleagineux Métropolitains (CETIOM). 134-139.
- Unidad Regional para la Agricultura (URPA) (2004). *Anuario estadístico regional*. Recuperado de: www.tunja.gov.co.
- Zerega, L. (1993). *Manejo y uso agronómico de la cachaza en suelos cañameleros. Caña de azúcar*. Yaracuy, Venezuela. 11(2), 12 p.

Fecha de Recepción: 13 de abril de 2012
 Fecha de Aceptación: 6 de abril de 2013