

EFECTO DE DIFERENTES DOSIS DE CACHAZA EN EL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays*)

EFFECT OF DIFFERENT DOSES OF FRESH FILTER CAKE IN THE CORN CROP (*Zea mays*)

Fabio Emilio Forero¹, Juan Pablo Fernández², Javier Giovanni Álvarez-Herrera³

¹ Profesor Tiempo Completo. Grupo de Investigaciones Agrícolas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Av. Central del Norte km 0 vía Paipa. Tunja, Colombia. e-mail: fabio.forero@uptc.edu.co ² I.A. Grupo de Investigaciones Agrícolas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Av. Central del Norte km 0 vía Paipa. Tunja, Colombia. e-mail: jpfero@gmail.com. ³ Profesor asistente. Grupo de Investigaciones Agrícolas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Av. Central del Norte Km 0 vía Paipa. Tunja, Colombia. e-mail: jgalvarezh@gmail.com.

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 13 (1): 77-86, 2010

RESUMEN

La cachaza puede ser utilizada en la agricultura como corrector del suelo o enmienda, pero su potencial no ha sido explorado hasta ahora. Esta investigación, realizada en Chitaraque (Boyacá), evaluó en un cultivo de maíz, el efecto de diferentes dosis de esta enmienda, en comparación con un testigo comercial y maíz sin tratamientos. Cada UE estaba compuesta de 96 plantas, con un total de 2.304 para el experimento. Las variables fisiológicas, se analizaron y se midieron al final de la cosecha, seleccionando ocho plantas del centro de cada UE y fueron: número de granos por mazorca, peso de 100 granos, altura de planta, diámetro del tallo a 50 y 100cm de altura de la planta, área foliar, materia fresca y materia seca. La mayor producción se obtuvo con la aplicación de 7,5t.ha⁻¹ de cachaza. El empleo de 5,8t.ha⁻¹ originó un mayor peso de los granos y la mayor altura de la planta resultó de la aplicación de 15t.ha⁻¹ de cachaza fresca; la misma dosis causó los tallos más gruesos. La mayor cantidad de materia follaje fresco, se logró con la dosis de 12,5t.ha⁻¹. La materia seca no mostró diferencias significativas entre las variadas aplicaciones de cachaza. La aplicación de cachaza generó mayor masa fresca y la dosis de 8t.ha⁻¹ aumentó el número de granos por mazorca, por lo que el empleo de esta

enmienda orgánica ayudó a aumentar la producción del cultivo de maíz y puede suplir, en este caso, la fertilización química.

Palabras clave: Enmienda, panela, biomasa, área foliar, fertilizante.

SUMMARY

Filter cake can be used in agriculture as soil corrective or fertilizer, but its potential is unexplored until now. This research, carried out at Chitaraque/Boyacá, aimed to evaluate the effect of different doses of soil corrective (fresh filter cake), compared with a commercial fertilizer and maize without treatments. Each experimental unit (EU) was composed of 96 plants for a total of 2,304 for the experiment. The physiological variables analyzed were measured at harvest time, selecting eight plants of the center of each EU, and were: kernel number per cob, weight of 100 kernels, plant height (cm), stalk diameter at 50 and 100cm of plant height, leaf area (cm²), fresh matter (g) and dry matter (g). The higher kernel production was obtained with the application 7.5t. ha⁻¹ of fresh filter cake. The doses of 5.8t.ha⁻¹ resulted in the highest production of dry kernels and the greatest height was founded with 15t.ha⁻¹ of fresh filter cake;

the same dosage originated the thickest diameter. The greatest amount of foliage and fresh matter were found with 12.5t.ha⁻¹. Dry matter, on the other hand, didn't show statistically significant differences between the various doses of fresh filter cake. The use of fresh filter cake showed higher fresh mass and the dose of 8t.ha⁻¹ increased the kernel number, since the application of this organic amendment helped to improve corn yield and can supply, in this case, the chemical fertilization.

Key words: Ameliorating material, brown sugar, biomass, leaf area, fertilizer.

INTRODUCCIÓN

La cachaza, subproducto de la industria panelera, puede ser empleada en la agricultura como enmienda o fertilizante, pero todavía no se ha aprovechado este potencial. Actualmente, se está empleando 47% de este material como alimento para animales domésticos y el 53% restante que corresponde, aproximadamente, a 21,812t por año, se abandona al aire libre (Rodríguez & Gottret, 2006), generando problemas de contaminación ambiental en las unidades de producción agrícola panelera.

De acuerdo a Zérega (1993), las principales limitaciones de la cachaza para usos agronómicos son el alto contenido de humedad (75-80%) que presenta en estado fresco, lo cual, encarece los costos de transporte y su alta relación carbono/nitrógeno (C/N), que ocasiona retraso en el crecimiento de los cultivos, cuando es incorporada en el momento de la siembra; aún así, estas limitaciones pueden ser solventadas si la cachaza es deshidratada y enriquecida con nitrógeno, previo a su aplicación, pudiéndose producir con este tratamiento gas metano para combustible.

En varios países cañameleros, como Cuba, Puerto Rico, Colombia, Brasil, Trinidad e India, la cachaza es utilizada como fertilizante, en la mejora de algunas propiedades físicas del suelo, para elevar el pH y/o en el manejo de suelos afectados por sales (Zérega, 1993).

Según Castilla (2000), la aplicación de grandes cantidades de enmiendas orgánicas a base de residuos vegetales, residuos orgánicos de animales, compost, entre otros, se ha incrementado, pero su baja eficiencia ha terminado por afectar la rentabilidad de los cultivos,

debido a que la aplicación de enmiendas orgánicas no es acompañada por una fertilización química adecuada (Álvarez *et al.* 2008).

La dosis y el aporte de nutrimento de la cachaza al suelo depende de su composición, que varía con las condiciones agroecológicas de la zona donde se produce la caña, con el cultivar sembrado y método de clarificación de jugos utilizado, entre otros (Zérega, 1993).

En Colombia, el 85% de los cultivos de maíz son de pequeños productores, con extensiones de tierra menores a cinco hectáreas (Comfecampo, 2008). En el país son necesarios 4,5 millones de toneladas al año de maíz, de las cuales, 1,2 millones son abastecidas por la producción nacional y 3,3 millones son importadas, lo que indica que para suplir la demanda interna del país se necesita aumentar el área de siembra, la productividad del cultivo y la disminución de los costos de producción (Fenalce, 2008). Los productores de maíz de la región, habitualmente, no utilizan la cachaza en la actividad agrícola como suplemento fertilizante y desconocen el aporte de nutrientes y el efecto mejorador que ésta tiene sobre las propiedades físicas de los suelos.

Por lo anterior, es necesario valorar la respuesta agroeconómica de la aplicación de cachaza fresca como enmienda y fertilizante en la producción de maíz, con lo cual, se brindaría una alternativa al manejo de dicho residuo y, a su vez, disminuiría la contaminación ambiental que este sub producto genera.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de campo, se desarrolló durante los meses de octubre de 2007 a mayo de 2008, en el Departamento de Boyacá, Municipio de Chitaraque, Vereda Tume Grande, Finca La Florida, con coordenadas: Norte 5° 59' 87" y Oeste 73° 27' 78", a una altura de 1729msnm, con una temperatura máxima de 18°C y una mínima de 13°C, humedad relativa del 80%, precipitación de 660mm al año.

Los análisis físicos y químicos 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 Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, sede Tunja.

Se usó un diseño de bloques al azar, con ocho tratamientos, siete conformados por diferentes dosis de cachaza y un testigo tradicional ($0t \cdot ha^{-1}$, $2,5t \cdot ha^{-1}$, $5t \cdot ha^{-1}$, $7,5t \cdot ha^{-1}$, $10t \cdot ha^{-1}$, $12,5t \cdot ha^{-1}$, $15t \cdot ha^{-1}$, fertilización tradicional). Cada tratamiento tuvo tres réplicas, para un total de 24 unidades experimentales (UE). Cada UE correspondió a una parcela de 6m de ancho por 4m de largo, separadas entre sí, a 0,5m. Las propiedades químicas y físicas del suelo del estudio, se presentan en la tabla 1.

Se sembró maíz ICA V-305, que presenta las siguientes características: adaptación entre 0 y 1.800 msnm; días de cosecha, entre 100 y 110, en choclo o mazorca (grano pastoso); con rendimiento promedio de $10t \cdot ha^{-1}$; distancia de siembra de 0,90m, entre surcos y 0,45m, entre plantas; altura promedio de la planta de 2,34m, altura de inserción de la mazorca de 1,26m; longitud de la mazorca de 19cm; diámetro de la mazorca de 4,8cm; número de hileras 14 a 16; número de granos por hilera de 42 y densidad de siembra de 40.000 a 50.000 plantas ha^{-1} .

Tabla 1. Propiedades químicas y físicas del suelo estudiado en el experimento.

Propiedad	Valor
pH	4,6
CO (%)	4,12
P Bray II (ppm)	8,5
Ca ($cmol_c \cdot kg^{-1}$)	3,41
Mg ($cmol_c \cdot kg^{-1}$)	0,56
K ($cmol_c \cdot kg^{-1}$)	0,41
Na ($cmol_c \cdot kg^{-1}$)	0,46
Fe (ppm)	97,7
Cu (ppm)	2,43
Zn (ppm)	3,00
Mn(ppm)	1,93
$Al^{+3} \text{ } cmol_c \cdot kg^{-1}$	5,1
H $cmol_c \cdot kg^{-1}$	0,1
CICe ($cmol_c \cdot kg^{-1}$)	10,04
Saturación Ca (%)	33,96
Saturación Mg (%)	5,57
Saturación K (%)	4,08
Saturación Na (%)	4,58
Saturación Al (%)	50,79
Relación Ca/Mg	6,08
Relación Mg/K	1,36
Relación Ca/K	8,31
Relación Ca+Mg/K	968
Profundidad	0 – 36cm
Arena (%)	42,88
Arcilla (%)	29,12
Limo (%)	28
Textura	Franco arenosa
CE ($dS \cdot m^{-1}$)	0,70

La fertilización tradicional estuvo compuesta por úrea, superfosfato triple y cloruro de calcio, en mezcla física (10-31-6) y Micronfos (N 80g·kg⁻¹, P₂O₅ 52g·kg⁻¹, CaO 150g·kg⁻¹, MgO 50g·kg⁻¹, S 15g·kg⁻¹, Fe 50g·kg⁻¹, Cu 7,5g·kg⁻¹, Zn 22g·kg⁻¹, B 10g·kg⁻¹, Mn 3g·kg⁻¹ y MoO₃ 1g·kg⁻¹) y cachaza como enmienda orgánica, cuyas propiedades se presentan en la tabla 2.

La cachaza fresca, se aplicó al voleo y se incorporó con azadón; la siembra, se realizó 20 días después. Para la fertilización tradicional, el fertilizante se suministró a los 20 días después de la emergencia (dde).

Cada UE estuvo compuesta por 96 plantas, para un total de 2.304. Las UE estaban separadas entre sí por 90cm, entre surcos y 45cm, entre hileras y tenían un efecto de borde de 30cm. Las variables fisiológicas analizadas, se midieron al momento de la cosecha, escogiendo ocho plantas del centro de cada UE. estas fueron: número de granos por mazorca, en ocho mazorcas por parcela, que se desgranaron y se cuantificaron manualmente; peso de 100 granos de mazorca, en la balanza de precisión BJ-410C; altura de planta (cm) desde el cuello de la raíz hasta la punta de la espiga, con flexómetro; diámetro del tallo a 50cm y 100cm de altura, con un medidor comercial marca Stayles; área foliar (cm²), que se determinó directamente con el equipo CI-202 Leaf Area Meter, a los 110 días de sembrado el cultivo.

El peso fresco final (g) de toda la planta, se determinó mediante balanza electrónica de precisión BJ-410C, a ocho plantas de maíz, a los 110 días después de sembrado; el peso seco final (g), se determinó después de dejar las plantas en estufa, a 75 C, durante 48 horas.

Se utilizó un modelo de análisis de regresión, con el fin de determinar el comportamiento de la aplicación de las diferentes dosis de cachaza. Se calcularon los valores máximos derivando la ecuación que mejor se ajustaba a los datos medidos. Además, se realizó un análisis de varianza (Anova) para todas las variables y se aplicó la prueba de rango múltiple de Duncan, con una confiabilidad del 95%, para determinar las diferencias entre tratamientos. Para el análisis de los datos, se utilizó el paquete estadístico SAS v.8e (Cary N.C.). Las variables que no cumplieron con el supuesto de normalidad, se transformaron; estas fueron número de granos, diámetro del tallo a 50cm y biomasa fresca. La transformación usada fue basada en la función de Box- Cox que tiene la forma:

$$\text{Transformación} \begin{cases} \frac{x^\lambda - 1}{\lambda} & \text{si } \lambda \neq 0 \\ \ln(x) & \text{si } \lambda = 0 \end{cases}$$

Para ello, los valores de lambda aplicados por variable fueron -1,727; 0,336 y -0,724, respectivamente.

Tabla 2. Aporte de nutrientes por tonelada de la cachaza fresca aplicada.

Propiedad	Valor (kg·t ⁻¹)
M.O.	211
C.O.	122,3
N	11,5
Ca	65,2
Mg	6,6
K	7,35
Na	3
P	0,74
Cu	0,5
Zn	0,755
Mn	0,57
Fe	0,465

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Número de granos por mazorca: Presentó ajuste a un modelo cuadrático, en el cual, la mayor producción de granos al obtener el máximo en la ecuación, se obtuvo con la aplicación de $8\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de cachaza superior, significativamente, al tratamiento sin aplicación (Figura 1A). Esto indica, que el cultivo de maíz llega a un punto en el que la mayor tasa de materia orgánica aplicada no incrementa la producción de granos de maíz por mazorca y, las aplicaciones en exceso, disminuyen el número de granos. La fertilización tradicional presentó un comportamiento similar a la dosis de $10\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de cachaza, siendo estas dos aplicaciones las que mostraron la menor producción.

Arrieché & Mora (2005) 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 Matheus (2004), en maíz, quien observó un aumento en el rendimiento del cultivo con la mezcla de biofertilizante a base de cachaza y fertilizante químico, sin diferencias sobre la fertilización comercial, pero sí sobre la aplicación únicamente del biofertilizante, encontrando disminución en el rendimiento en función de la reducción de la dosis de biofertilizante ($4, 6$ y $8\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$). Uhart & Andrade (1995) afirman que el número de granos está asociado a la

tasa de crecimiento del cultivo (TCC) en el momento de la floración y que esta puede ser modificada por la disponibilidad de nitrógeno, con lo cual, el N aplicado a través de la cachaza, durante el periodo comprendido entre prefloración y posfloración, puede llegar a determinar el número de granos por mazorca.

Peso de 100 granos de mazorca: Se ajustó a un modelo cuadrático y presentó un máximo, cuando se aplicó $5,8\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de cachaza. Se presentaron diferencias entre los distintos tratamientos, siendo las dosis de $2,5$ y $5\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ las que promediaron los mayores pesos (Figura 1B). Al aplicar $15\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$, se presentó un comportamiento similar al visto en el número de granos, en los cuales, se obtuvo los valores más bajos, generando menor producción, tanto de granos como de peso.

El mayor peso de 100 granos de maíz hace pensar que las plantas pueden producir mayor cantidad de fotoasimilados, debido a una menor competencia por luz y recursos del suelo sobre los componentes del rendimiento y la estructura fotosintética (Vélez *et al.* 2007).

Una menor cantidad de N reduce el rendimiento en grano, afectando tanto el número de granos como el peso de los granos. Las deficiencias de N reducen el rendimiento en grano, a través de la disminución de la materia seca total y a la caída en la partición de fotoasimilados que

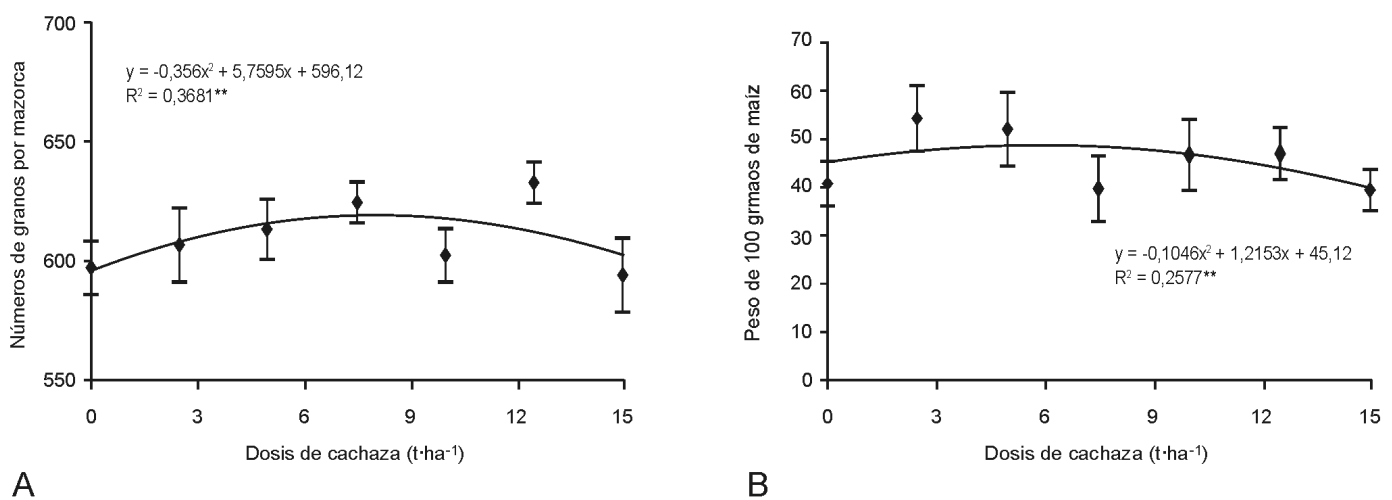


Figura 1. A. Número de granos por mazorca bajo el efecto de diferentes dosis de cachaza, aplicadas a un cultivo de maíz (*Zea mays*). B. Peso seco de 100 granos de mazorca bajo el efecto de diferentes dosis de cachaza, aplicadas a un cultivo de maíz. ** El modelo presenta diferencias altamente significativas entre las dosis evaluadas.

llega al grano directamente (Uhart & Andrade, 1995). Por otro lado, cuando las aplicaciones de N son excesivas, el crecimiento vegetativo se incrementa y la partición de fotoasimilados hacia el grano también se ve disminuida (Marschner, 2002).

En caña de azúcar, la cachaza tiene alto potencial, pues cuando se aplicó en dosis de $5t \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$ el rendimiento se incrementó substancialmente, así como las propiedades físicas y químicas de la caña, pues se aumentó el número de tallos de 87.654 a 116.049 y la altura de los mismos pasando de 2,31 a 2,68m, al igual que el contenido de sacarosa (Epstein, 1997).

Altura de planta: A medida que aumentó la aplicación de cachaza, la altura de la planta fue mayor y este comportamiento se ajustó a un modelo cuadrático, cuyo máximo se presentó en $15,7t \cdot ha^{-1}$ de cachaza (Figura 2A). Al analizar el Anova, éste mostró diferencias estadísticas entre dosis de la enmienda orgánica. A pesar de conseguir mayor altura con las dosis más altas de nitrógeno, las producciones no necesariamente son altas, pues una altura reducida de la planta y una menor área foliar son consideradas deseables en el maíz tropical, ya que las plantas que son generalmente altas, tienen mucho follaje y un bajo índice de cosecha (Johnson *et al.* 1986).

Similares resultados fueron encontrados por Cuenya *et al.* (2007), quienes a pesar de no hallar diferencias significativas en la altura de plantas de caña con la adición de cachaza, determinaron un aumento en la altura en función del incremento de la cachaza aplicada. Así mismo, Betancourt *et al.* (1998) observaron en plantas de maíz diferencias de entre 13 y hasta 28cm, para diferentes fechas de muestreo, cuando se aplicaron $80kg \cdot ha^{-1}$ de N y se compararon con el testigo.

Según el análisis realizado a la cachaza, las dosis más altas contienen más nitrógeno, característica propia de este material orgánico (Tabla 2), generando mayor altura, debido a que la mayor parte del nitrógeno se concentra en el tejido vegetal de la planta como proteína enzimática en los cloroplastos y en las proteínas de las semillas. La principal función es estimular el crecimiento de la planta, especialmente, en la etapa inicial de crecimiento vegetativo, generando un alto índice de área foliar y prolongando el período útil de las diferentes partes de la planta a través del tiempo (Castro, 1998).

Área Foliar (cm²): Mostró un comportamiento lineal, en donde a mayor dosis de cachaza aplicada se presentó mayor área foliar en las plantas de maíz. La mayor cantidad de follaje fue ocasionada por la aplicación de $12,5t \cdot ha^{-1}$ de cachaza, arrojando diferencias altamente

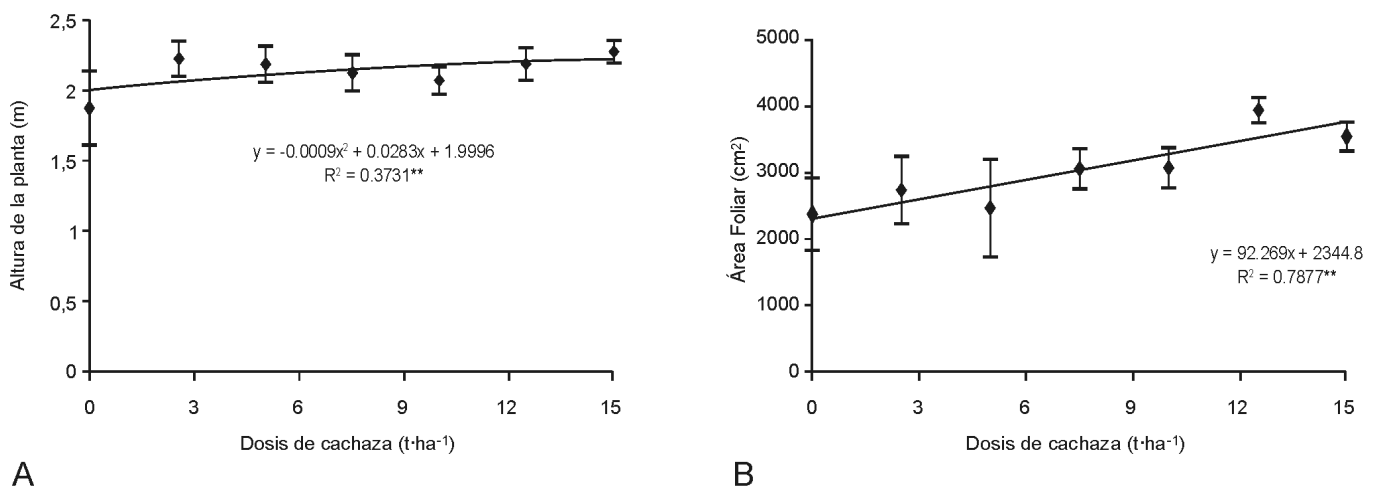


Figura 2. A. Altura de las plantas bajo el efecto de diferentes dosis de cachaza, aplicadas a un cultivo de maíz (*Zea mays*). B. Área foliar (cm²) de plantas de maíz bajo el efecto de diferentes dosis de cachaza, aplicadas a un cultivo de maíz. ** El modelo presenta diferencias altamente significativas entre las dosis evaluadas.

significativas con respecto al testigo absoluto, el cual resultó con la menor área foliar (Figura 2B).

La mayor disponibilidad de nitrógeno, calcio, potasio y elementos menores conforme, se incrementó la dosis de cachaza en el experimento, pone de manifiesto el efecto positivo de este material orgánico sobre el aumento del área foliar de las plantas de maíz, principalmente, por el aporte de nitrógeno, que se caracteriza por aumentar el follaje (Triboi-Blondel, 1988). Esto concuerda con estudios realizados mediante la adición de compost, donde la cantidad de follaje aumenta al incrementarse la aplicación de este material orgánico (De Grazia *et al.* 2007).

El N puede afectar las tasas de aparición y expansión foliar modificando el área foliar y la interceptación de radiación solar por el cultivo. Cantidades bajas de N conducen a un menor número de hojas por planta y reduce, principalmente, la tasa de expansión foliar, con un leve impacto sobre la tasa de aparición foliar (Uhart & Andrade, 1995).

Diámetro del tallo medido a 50 y 100cm del suelo: El diámetro del tallo de las plantas de maíz, medido a 50cm del suelo, se ajustó a un modelo lineal, este fue mayor conforme, se incrementó la dosis de cachaza aplicada (Figura 3). Las plantas sometidas a la aplicación de cachaza en dosis de $15\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ expresaron mayor diámetro,

lo que implica mayor rigidez, con el fin de evitar el vuelco, mientras que sin aplicación alguna (testigo absoluto), se obtuvieron tallos muy delgados, generándose, de esta forma, diferencias altamente significativas entre estos dos tratamientos. Es probable que los niveles altos de calcio que presenta la cachaza (Tabla 2), se acumulen en el tallo e incrementen el diámetro y la resistencia del mismo (Marschner, 2002).

De igual forma, el diámetro del tallo, medido a 100cm del suelo, mostró una tendencia lineal y reflejó los mayores valores con diferencias significativas, cuando se aplicaron $15\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$, respecto al testigo absoluto. La aplicación de ésta dosis de cachaza favoreció el mayor diámetro del tallo, mientras que el testigo fue el de menor diámetro y evidenció tallos más delgados (Figura 3). Del mismo modo, Betancourt *et al.* (1998) encontraron que con las mayores dosis de N, se presentaron diámetros en un 21% superiores a los del testigo.

Matheus (2004) evaluó el efecto de cuatro dosis de biofertilizante a base de cachaza y bagazo ($4, 6$ y $8\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$), de fertilización química convencional ($159\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ N, $90\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ P_2O_5 y $90\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ K_2O) y una mezcla de $2\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de biofertilizante + $\frac{1}{2}$ dosis del fertilizante químico, en el cultivo de maíz. En relación al diámetro de tallo, éste aumentó cuando se incrementó el nivel de aplicación del biofertilizante. Por tanto, concluyó que estos tratamientos suplieron en mayor grado y oportunamente

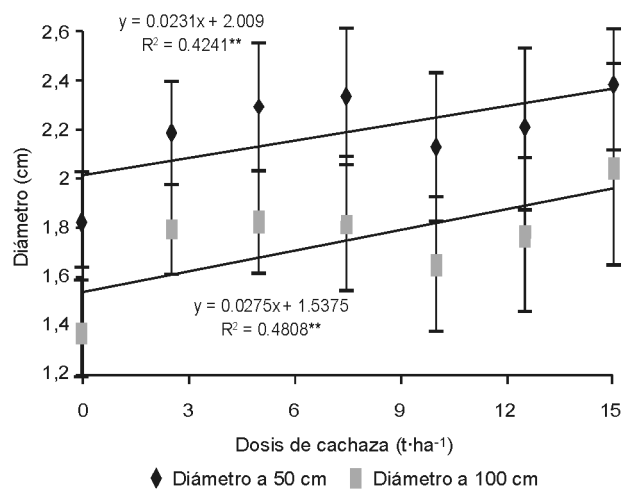


Figura 3. Diámetro de las plantas de mazorca medido a 50 y a 100cm del suelo bajo el efecto de diferentes dosis de cachaza, aplicadas a un cultivo de maíz (*Zea mays*). ** El modelo presenta diferencias altamente significativas entre las dosis evaluadas.

los requerimientos nutritivos del cultivo, lo cual, se reflejó fundamentalmente en la altura de la planta y el diámetro del tallo. Esta respuesta, probablemente, fue determinada por la disponibilidad inmediata de nutrientes, en particular N, que es un elemento estrechamente vinculado a la producción de biomasa (Mogollón, 2000).

La variación en el crecimiento y el desarrollo de las diversas partes de las plantas es debida a cambios en las condiciones ambientales, lo que denota un cambio progresivo en su composición química, en este caso, en el contenido de nitrógeno, al que se le atribuye cambios en las proporciones de los materiales de construcción de las fases vegetativas; éste manifiesta disponibilidad mediática para estimular el crecimiento y la producción de sustancias de almacenamiento (Caloin & Yu, 1984).

Biomasa: Presentó un comportamiento lineal en donde a mayor dosis de cachaza aplicada mayor masa se generó. La dosis de 12,5t·ha⁻¹ mostró los valores más altos de biomasa fresca en el cultivo de maíz (Figura 4).

En relación con la masa seca, ésta se ajustó a un modelo lineal, en el cual, la pendiente no fue significativa, por lo que no se presentaron diferencias significativas entre las distintas dosis de cachaza. Esto implica que la cachaza no influye en un aumento de la absorción de nutrientes ni de la fijación de esqueletos de carbono, a través de la fotosíntesis (Marschner, 2002); no obstante, los resultados más altos en producción de masa seca se generaron con la dosis de 10t·ha⁻¹ (Figura 4). Trapán

et al. (1999) en plantas de maíz encontraron resultados similares, en donde el suministro de nitrógeno no tiene un efecto definido sobre los fotosistemas de las plantas. De igual manera, se ha evidenciado una disminución en la actividad fotosintética de las plantas que crecen a altos niveles de nitrógeno, indicando que la tasa de asimilación por unidad de clorofila, se puede inhibir con un aumento en el suplemento de nitrógeno (Tóth *et al.* 2002).

Resultados disímiles a los hallados 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 biomasa 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 biomasa seca en el crecimiento de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers., pero proporcionó mayores contenidos de N, P y K en comparación con otros sustratos orgánicos, debido a que como aparece en la tabla 2, la cachaza posee grandes cantidades de estos nutrientes, los cuales, son absorbidos en mayor proporción y durante mayores periodos de tiempo, cuando se ha añadido cachaza al suelo (Navarro, 1978).

No obstante, en plantas de caña de azúcar, se demostró que la aplicación de la mayor dosis de cachaza fresca aumentó el peso de la materia seca de la parte aérea y tuvo un marcado efecto sobre el rendimiento, debido, principalmente, a una mayor producción de tallos y de macollas, con lo que se deduce que la cachaza posee

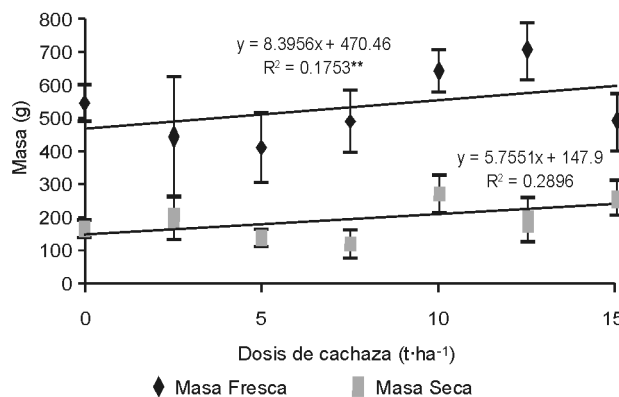


Figura 4. Masa fresca y seca final bajo el efecto de diferentes dosis de cachaza, aplicadas a un cultivo de maíz (*Zea mays*). ** El modelo presenta diferencias altamente significativas entre las dosis evaluadas.

un efecto estimulante en la producción de biomasa (Roth, 1971).

La concentración de nitrógeno de las plantas disminuye a medida que crecen y es más pronunciada para los cultivos sembrados en altas densidades. La explicación común a esto es la relación entre la disminución de la biomasa metabólicamente activa y la biomasa de apoyo, donde la primera de ellas está asociada a niveles bajos de radiación solar (Seginer, 2004). Debido a esto es importante la incorporación de un compuesto orgánico en dosis adecuadas, en este caso, la cachaza, pues ayuda a aumentar los niveles de nitrógeno disponible en el suelo para las plantas.

Las mayores aplicaciones de cachaza arrojaron los mejores resultados y rendimientos en el peso de 100 granos de maíz, número de granos, diámetro a 50 y 100cm del suelo, área foliar, biomasa. Se encontró que el cultivo de maíz presenta tasas de crecimiento y desarrollo diferentes en cada uno de sus órganos. La cachaza sirve como fertilizante orgánico o enmienda para el suelo, por aportar una gran cantidad de nitrógeno al suelo, lo que favorece el desarrollo de las plantas de maíz, y sustituye en parte la fertilización química.

Conflictos de intereses: El presente artículo de investigación no presenta ningún conflicto de interés que afecte su publicación, pues todos los autores participaron integralmente en el desarrollo de la investigación y del manuscrito.

BIBLIOGRAFÍA

- 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. *Rev. Bioagro (Venezuela)*. 17(3):155-159.
- ÁLVAREZ H., J.G.; DAZA, M.C.; MENDOZA, C. 2008. Aplicación de un fertilizante enriquecido con silicio y materia orgánica en el rendimiento del arroz (*Oryza sativa* L.) en Ibagué y el Guamo (Tolima). *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín (Colombia)*. 61(6):4620-4633.
- BETANCOURT Y., P.; GONZÁLEZ R., J.; FIGUEROA S., B.; GONZÁLEZ C., F. 1998. Cobertura vegetativa y fertilización nitrogenada en la producción de maíz. *Terra Latinoamericana. (México)*. 16(003):231-237.
- CALOIN, M.; YU, O. 1984. Analysis of the time course of change in nitrogen content in *Dactylis glomerata* L. using a model of plant growth. *Ann. Botany, Oxford Journals (Reino Unido)*. 54(1):69-76.
- CASTILLA, L.A. 2000. Factores que afectan la eficiencia de la fertilización en el cultivo del arroz. En: Castilla, L.A. ed. *Fundamentos técnicos de los fertilizantes y la fertilización en el cultivo del arroz*. Fedearroz. Fondo Nacional del Arroz. Ibagué (Colombia). p.7-24.
- CASTRO F., H.E. 1998. *Fundamentos para el conocimiento y manejo de suelos agrícolas*. Produmedios. Tunja (Colombia). p.271-273.
- CONFECAMPO. 2008. Estudio de mercado del maíz en Colombia. Confed. Empres. del Campo de Colombia. Disponible desde Internet en: <http://www.confecampo.com/estadisticas/cooagrocampo--maiz.ppt> (con acceso 05/04/09).
- COUTINHO, M.P.; CARNEIRO, 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 (Brasil)*. 30(1):147-153.
- CUENYA, M.I.; GARCÍA, M.B.; DÍAZ, C.; ROMERO, E.R.; CHAVANNE, E.R. 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. Tucumán (Argentina)*. 84(1):1-8.
- DE GRAZIA, J.; TITTONELL, P.A.; CHIESA, Á. 2007. Efecto de sustratos con compost y fertilización nitrogenada sobre la fotosíntesis, precocidad y rendimiento de pimiento (*Capsicum annuum*). *Cienc. Inv. Agr. (Chile)* 34(3):195-204.
- EPSTEIN, E. 1997. *The Science of composting*. Technomic Publishing. Pennsylvania (EUA). 483p.

12. FENALCE. 2008. Programa de producción de maíz en zona cafetera. Medellín. Disponible desde Internet en: <http://www.agro.unalmed.edu.co/congre-inagri/orales/programa%20de%20produccion%20de%20maiz%20en%20zona%20cafetera%20napoleon%20viv.pdf> (con acceso 10/04/09).
13. JOHNSON, E.C.; FISCHER, K.S.; EDMEADES, G.O.; PALMER, A.F.E. 1986. Recurrent selection for reduced plant height in lowland tropical maize. *Crop Sci. (EEUU)*. 26:253-260.
14. MARSCHNER, H. 2002. Mineral nutrition of higher plants. 2ª Ed. Academic Press (London). 889p.
15. MATHEUS, J. 2004. Evaluación agronómica del uso de compost de residuos de la industria azucarera (biofertilizante) en el cultivo del maíz (*Zea mays* L.). *Revista Bioagro*. 16(3):219-224.
16. 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). p.25-36.
17. MORGADO, I.F.; CARNEIRO, J.G. DE A.; LELES, P.S. DOS S.; BARROSO, G.D. 2000. Resíduos agroindustriais prensados como substrato para a produção de mudas de cana-de-açúcar. *Sci. Agric. (Brasil)*. 57(4):709-712.
18. NAVARRO, R.O. 1978. Conversión of filter cake into high-grade organic fertilizer. *Proc. Philippine Sug. Technol. Ass.* 52:131-136.
19. RODRÍGUEZ, G.; GOTTRET, M. 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. CORPOICA. CIAT. Informe técnico. (Colombia). 61p.
20. ROTH, G. 1971. The effects of filter cake on soil fertility and yield of sugarcane. *Proc. S. Afr. Sug. Technol. Ass. (Sudafrica)*. 45:142-148.
21. SEGINER, I. 2004. Plant spacing effect on the nitrogen concentration of a crop. *European J. Agronomy (Francia)*. 21(3):369-377.
22. TÓTH, V.R.; MÉSZÁROS, I.; VERES, S.; NAGY, J. 2002. Effects of the available nitrogen on the photosynthetic activity and xanthophyll cycle pool of maize in field. *J. Plant Physiology (Germany)*. 159:627-634.
23. TRAPÁNI, N.; HALL, A.J.; WEBER, M. 1999. Effects of constant and variable nitrogen supply on sunflower (*Helianthus annuus* L.) leaf cell number and size. *Ann. Botany. (England)*. 84:599-606.
24. 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 Metropolitains (CETIOM). (France). p.134-139.
25. UHART, S.A.; ANDRADE, F.H. 1995. Nitrogen deficiency in maize: I. Effects on crop growth, development, dry matter partitioning and kernel set. *Crop Sci. (USA)* 35:1376-1383.
26. VÉLEZ, L.D.; CLAVIJO, J.; LIGARRETO, G.A. 2007. Análisis ecofisiológico del cultivo asociado maíz (*Zea mays* L.) – frijol voluble (*Phaseolus vulgaris* L.). *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín. (Colombia)* 60(2):3965-3984.
27. ZÉREGA, L. 1993. Manejo y uso agronómico de la cachaza en suelos cañameleros. *Caña de Azúcar (Venezuela)*. 11(2):71-92.

Recibido: Septiembre 25 de 2009

Aceptado: Marzo 1 de 2010