

NOTA TÉCNICA

EVALUACIÓN AGRONÓMICA DEL USO DE COMPOST DE RESIDUOS DE LA INDUSTRIA AZUCARERA (BIOFERTILIZANTE) EN EL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays* L.)

Jesús E. Matheus L.¹

RESUMEN

Se evaluó agronómicamente un compost elaborado con desechos sólidos de la industria azucarera (biofertilizante La Pastora) como alternativa para restaurar la fertilidad de un suelo degradado y suplir los requerimientos nutricionales del cultivo de maíz (híbrido Himeca 2000). La experiencia se realizó en el Núcleo Universitario Rafael Rangel en el estado Trujillo, Venezuela, mediante un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones se evaluaron los siguientes tratamientos: biofertilizante (4, 6 y 8 Mg·ha⁻¹), fertilización química convencional (159 kg·ha⁻¹ N, 90 kg·ha⁻¹ P₂O₅ y 90 kg·ha⁻¹ K₂O) y una mezcla de 2 Mg·ha⁻¹ de biofertilizante + ½ dosis del fertilizante químico. Se evaluaron variables fitométricas y de rendimiento del cultivo. La mayor respuesta en altura de planta y diámetro del tallo correspondió a los tratamientos con fertilización química, la mezcla de fertilizante químico y biofertilizante y el nivel alto de producto biofertilizante; el mayor rendimiento en grano se obtuvo con la mezcla de fertilizante químico y biofertilizante. Los resultados reafirman los beneficios de los sistemas de fertilización integral y balanceada basada en el uso complementario de fertilizantes orgánicos y minerales.

Palabras clave adicionales: Agroindustria, desechos, compost, reciclaje, fertilización

ABSTRACT

Agronomic evaluation of using composted sugar cane industry wastes in corn (*Zea mays* L.)

A compost coming from the sugar cane industry wastes (La Pastora Biofertilizer) was evaluated as an alternative to restore fertility of a degraded soil and to supply nutritional requirements of corn (hybrid Himeca 2000). The field study was conducted at the Campus Rafael Rangel of the Universidad de Los Andes, located at Pampán, Trujillo, Venezuela. By means of a randomized complete block design with four replicates, the following treatments were evaluated: three levels of biofertilizer (4, 6, and 8 Mg·ha⁻¹), conventional chemical fertilization (159 kg·ha⁻¹ N, 90 kg·ha⁻¹ P₂O₅, and 90 kg·ha⁻¹ K₂O), and a mixture of 2 Mg·ha⁻¹ of biofertilizer + ½ dose of the chemical fertilizer. Plant growth variables and corn yield were quantified. The largest responses in plant height and cane diameter were found in the treatments under chemical fertilization, the mixture, and the highest level of biofertilizer; the best corn yield was obtained with the mixture. These results confirm the benefits of integrated and balanced fertilization systems based on the complementary use of organic and mineral fertilizers.

Additional key words: Agroindustry, waste, compost, recycling, fertilization

INTRODUCCIÓN

Los avances biotecnológicos actuales y la necesidad de reciclar desechos y subproductos orgánicos para solventar problemas ambientales, han generado el desarrollo de una serie de alternativas tecnológicas para la producción de abonos orgánicos de alta calidad (biofertilizantes, bionutrientes, bioactivadores) a partir del proceso

de descomposición de desechos sólidos (Terry et al. 2002; Acuña 2003). La biodegradación aeróbica de residuos orgánicos, constituye una forma simple y eficiente para transformar los desechos agroindustriales en acondicionadores de suelos; este proceso permite el uso de estos recursos al reducir el volumen de transporte, eliminar patógenos, plagas, malezas e incrementar la disponibilidad de nutrimentos (Ferrer et al.,

Recibido: Noviembre 10, 2003

Aceptado: Julio 2, 2004

¹ Dpto. de Ciencias Agrarias, Núcleo Universitario "Rafael Rangel". Universidad de Los Andes. Trujillo. Venezuela
e-mail: jmatheusl@ula.ve

1997; Uribe, 2003).

Existe abundante información en la cual se señala el efecto positivo de mantener o incrementar la materia orgánica del suelo sobre las propiedades químicas (Contreras et al., 1995; Rivero y Paolini, 1995; Salas y Ramírez, 2001), físicas (Sevilla et al., 1996; Whalen et al., 2003) y biológicas (Carpenter et al., 2000) así como su contribución sobre el rendimiento del maíz (Leite et al., 2003). Esto justifica el uso de materiales orgánicos como una alternativa importante para la recuperación de la fertilidad de los suelos.

Actualmente en Venezuela los desechos sólidos de la industria azucarera, son empleados en la producción de abonos orgánicos como una alternativa para la solución de un problema ambiental que se origina por la acumulación de un volumen grande de estos desechos que contaminan el medio ambiente. Además, constituye una actividad productiva que genera ingresos a las empresas que los producen reduciendo los costos de fertilización química y mejorando las condiciones del suelo.

En el Central Azucarero La Pastora del estado Lara, a partir del año 1996 se inició la producción de abono orgánico empleando como materia prima los desechos agroindustriales (cachaza y bagazo) mediante el proceso de biodegradación aeróbica y el uso de una mezcla polienzimática como catalizadora del proceso.

La producción de abono se ha incrementado hasta tal punto, que no sólo se usa para la recuperación de los suelos dedicados al cultivo de caña de azúcar, sino que las cantidades excedentes se comercializan en el área de influencia del Central.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de este producto biofertilizante sobre las variables fitométricas y de rendimiento del maíz en suelos degradados de los llanos de Monay en el estado Trujillo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionó y delimitó el área experimental en la Operadora Agrícola Núcleo Universitario Rafael Rangel, propiedad de la Universidad de Los Andes ubicada al norte de la población de Monay en el estado Trujillo, Venezuela. El biofertilizante utilizado provino del Central La

Pastora en el estado Lara. El ensayo fue establecido en campo con plantas de maíz (híbrido Himeca 2000) bajo un diseño de bloques al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron:

T0 = Fertilización química tradicional (testigo)

T1 = Biofertilizante, nivel bajo ($4 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$)

T2 = Biofertilizante, nivel medio ($6 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$)

T3 = Biofertilizante, nivel alto ($8 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$)

T4 = 50% fertilizante químico + $2 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de biofertilizante

La dosis del fertilizante químico fue establecida según las condiciones del suelo por el Laboratorio de Servicios de Análisis de Suelos de la Institución y correspondieron a niveles de $159 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ N}$, $90 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ y $90 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$.

Cada unidad experimental constó de ocho surcos de 5,4 m de longitud espaciados a 0,8 m con una distancia entre puntos de siembra de 0,30 m, obteniéndose una densidad de 83.333 plantas por hectárea (dos plantas por punto de siembra). Se consideró como parcela útil a los cuatro surcos centrales ($13,44 \text{ m}^2$), manteniendo dos surcos a ambos lados y dos hileras de plantas como bordes.

La aplicación del biofertilizante se realizó 15 días antes de la siembra, esparciéndolo uniformemente al voleo sobre la superficie de las parcelas y se incorporó mediante un pase de rastra liviana. El fertilizante químico se aplicó en la forma tradicional de la zona: la mitad del nitrógeno, todo el fósforo y el potasio entre siete y diez días después de la siembra y un reabonamiento con la otra mitad del nitrógeno 25 días después de la siembra. Todas las labores agronómicas, a excepción de la preparación del suelo, se realizaron en forma manual; se utilizó un sistema de riego por aspersión.

La evaluación agronómica de la incorporación del producto biofertilizante, fue cuantificada a través de la respuesta del cultivo en las siguientes variables fitométricas y de rendimiento.

a) Días a floración masculina y femenina: número de días transcurridos desde la siembra hasta la formación de las estructuras reproductoras masculina (espigas) y femenina (mazorcas) respectivamente, en el 50 % de las plantas de la parcela útil (IBPGR, 1991); se realizaron observaciones y conteos diarios cuando aparecieron las primeras espigas y mazorcas.

b) Altura de la planta: Longitud desde el nivel del suelo hasta la base de la espiga una vez alcanzada la etapa de máximo crecimiento (IBPGR, 1991).

c) Diámetro del tallo: grosor del tallo en la parte central del segundo entrenudo desde el nivel del suelo una vez alcanzada la etapa de máximo crecimiento (IBPGR, 1991).

d) Características de la mazorca (IBPGR, 1991): Longitud de mazorca y diámetro (grosor en la parte central) de la mazorca.

e) Rendimiento en grano: Corregido por la humedad que presentó el grano en el momento de la cosecha.

Las variables altura de planta, diámetro del tallo, longitud y diámetro de las mazorcas se efectuó en una muestra de 80 plantas en cada unidad experimental

Una vez recopilada la información de campo, el procesamiento de los datos fue efectuado empleando el programa estadístico SAS (Cary, NC). Se realizó el análisis de la varianza mediante el procedimiento GLM y separación de medias por la prueba de rangos múltiples de Duncan.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Cuadro 1 muestra el rango de días y valores promedio en cuanto a floración masculina y femenina para los respectivos tratamientos aplicados.

No se encontraron diferencias significativas en el tiempo transcurrido hasta las floraciones masculinas y femeninas aunque se observó una ligera tendencia a ser más tardías en las plantas que recibieron biofertilizante.

Variables fitométricas

Al analizar la variable altura de planta se observaron diferencias ($P \leq 0,01$) en función de los tratamientos (Cuadro 2); las plantas más altas se produjeron sucesivamente con la incorporación del fertilizante químico convencional (T0), la mezcla (T4) y el mayor nivel de aplicación de biofertilizante (T3); en aquellas parcelas en las que solo se usó el producto biofertilizante la altura de planta aumentó al incrementar el nivel de aplicación de dicho producto. Las plantas de menor tamaño correspondieron a las parcelas tratadas con el nivel medio (T2) y bajo (T1) del producto biofertilizante.

Cuadro 1. Tiempo transcurrido para la floración masculina y femenina en maíz bajo diferentes fuentes y dosis de fertilizante

Tratamientos	Floración masculina		Floración femenina	
	Rango	Promedio	Rango	Promedio
T0 (químico)	55-59	56,50	59-63	60,50
T1 (4 Mg·ha ⁻¹ de biofertilizante)	60-64	62,00	64-67	65,75
T2 (6 Mg·ha ⁻¹ de biofertilizante)	60-62	61,25	64-66	65,25
T3 (8 Mg·ha ⁻¹ de biofertilizante)	53-66	58,00	57-70	62,25
T4 (½ químico + 2 Mg·ha ⁻¹ de biofertilizante)	53-64	57,75	58-68	62,00
Significancia	ns		ns	

En relación al diámetro de tallo, los resultados muestran un mayor grosor en los tallos de las plantas tratadas con fertilizante químico (T0) y la mezcla de fertilizantes (T4) ($P \leq 0,01$).

Así mismo, el diámetro del tallo aumentó cuando se incrementó el nivel de aplicación del biofertilizante $T3 > T2 > T1$ (Cuadro 2).

En general, los valores promedio de las variables fitométricas cuantificadas se encuentran cercanos a los rangos referidos por los obtenidos en otros trabajos de investigación en los cuales se ha evaluado la adaptabilidad de este híbrido (Millán y Malavé, 1997).

En general, el crecimiento vegetativo de las plantas de maíz fue afectado por la incorporación de las distintas fuentes y niveles de productos fertilizantes aplicados; la mayor respuesta se manifestó en las parcelas tratadas con el fertilizante químico convencional (T0), seguidas de la mezcla (T4) y luego el nivel alto de biofertilizante (T3). Aparentemente, estos tratamientos suplieron en mayor grado y oportunamente los requerimientos nutritivos del cultivo, reflejándose fundamentalmente en la altura de la planta y el diámetro del tallo. En los niveles bajos de biofertilizante se produjo el

menor crecimiento y grosor del tallo de las plantas de maíz.

Cuadro 2. Variables fitométricas en maíz bajo diferentes fuentes y dosis de fertilizante

Tratamientos	Variables	
	Altura de planta (m)	Diámetro de tallo (cm)
T0 (químico)	2,045 a	2,260 a
T1 (4 Mg·ha ⁻¹ biofert.)	1,405 c	1,905 c
T2 (6 Mg·ha ⁻¹ biofert.)	1,477 c	1,922 c
T3 (8 Mg·ha ⁻¹ biofert.)	1,772 b	1,965 c
T4 (½ quím.+ 2 Mg·ha ⁻¹ biofert.)	1,932 ab	2,140 b

Valores medios con la misma letra son iguales estadísticamente según la prueba de rangos múltiples de Duncan ($P \leq 0,01$)

Variables de rendimiento

La longitud y diámetro de la mazorca muestran diferencias entre los tratamientos evaluados ($P \leq 0,01$); los valores medios de longitud de la mazorca variaron entre 13,00 y 15,25 cm (Cuadro 3) estando la mayoría de ellos dentro del rango de 14,6 a 17,2 cm encontrado por Salazar (1996) cuando evaluó variedades, híbridos y maíces criollos en los estados Apure, Portuguesa y Barinas, aunque por debajo del referido por la empresa productora de esta semilla (15 a 18 cm).

Cuadro 3. Variables de rendimiento en maíz bajo diferentes fuentes y dosis de fertilizante

Tratamientos	Variables		
	Long. de mazorca (cm)	Diám. de mazorca (cm)	Rendim. (kg·ha ⁻¹)
T0 (químico)	15,25 a	4,18 a	3791 a
T1 (4 Mg·ha ⁻¹ biofert.)	13,00 b	3,39 c	1661 c
T2 (6 Mg·ha ⁻¹ biofert.)	13,25 b	3,72 b	2558 b
T3 (8 Mg·ha ⁻¹ biofert.)	14,50 ab	4,14 a	2831 b
T4 (½ quím.+ 2 Mg·ha ⁻¹ biofert.)	15,25 a	4,28 a	4384 a

Valores medios con la misma letra son iguales estadísticamente según la prueba de rangos múltiples de Duncan.

La mayor longitud de mazorca se obtuvo con los tratamientos T4 (mezcla) y T0 (químico) seguida por el T3 (mayor dosis de biofertilizante·ha⁻¹); los niveles bajos de biofertilizante produjeron mazorcas de menor

tamaño; similar tendencia se encontró para el diámetro de la mazorca. El mayor diámetro se obtuvo en parcelas que fueron tratadas con la mezcla ½ fertilizante químico y biofertilizante, fertilización química convencional y el nivel alto de biofertilizante, respectivamente, ubicándose dentro de la misma categoría estadística los valores promedio de estos tres tratamientos. Sin embargo, se aprecian notables diferencias ($P \leq 0,01$) con los tratamientos de nivel medio y bajo que produjeron las mazorcas más pequeñas y delgadas.

Esta respuesta probablemente fue determinada por la disponibilidad inmediata de nutrientes suministrados a través del fertilizante químico, particularmente nitrógeno que es un elemento estrechamente vinculado a la producción de biomasa (Mogollón, 2000); además, el incremento en la dosis de aplicación del biofertilizante se corresponde con una mayor cantidad de nitrógeno disponible.

El nivel de productividad obtenido fue diferente de acuerdo a los tratamientos aplicados y los valores promedio presentaron un amplio rango de variación. Los tratamientos se agruparon en tres categorías: los de mayor rendimiento correspondientes a T4 y T0, los de rendimiento intermedio T3 y T2 y por último el de menor rendimiento que correspondió a la aplicación del nivel bajo de biofertilizante (T1).

El rendimiento obtenido es superior al promedio reportado para la zona (2000 kg·ha⁻¹) a excepción del que se obtuvo con el tratamiento T1, pero fue inferior a los señalados por Salazar (1996) en los estados Barinas y Portuguesa que oscilaron entre 6270 y 6430 kg·ha⁻¹ para el híbrido de maíz Himeca.

Al analizar en conjunto las variables de rendimiento consideradas se observa que la tendencia en todos los casos fue la misma; es decir, los mayores valores siempre correspondieron a los tratamientos T4 (mezcla) y T0 (químico), seguidos de T3 (nivel alto) y por último T2 (nivel medio) y T1 (nivel bajo). En las variables de crecimiento la respuesta con fertilización química fue levemente superior a la mezcla, lo que permite señalar claramente que la aplicación del fertilizante químico (solo o combinado) fue determinante en la productividad. Sin embargo, el biofertilizante solo, en su nivel

más alto, en algunas de las variables consideradas, no difiere estadísticamente de estos tratamientos, lo cual evidencia su efectividad relativa en cuanto a la suplencia de nutrimentos para la producción del cultivo.

Los fertilizantes químicos, siendo sales solubles, tienen disponibilidad inmediata, garantizan el suministro de nutrimentos de acuerdo a las exigencias nutricionales en las diversas fases de crecimiento del cultivo (Gutiérrez 1997; Mogollón 2000). Por otro lado, los abonos orgánicos generalmente son considerados como productos de baja concentración mineral y lenta liberación, en los cuales el suministro de nutrimentos está determinado por factores que regulan la mineralización y humificación; éstos son procesos dinámicos de gran complejidad cuya evolución dependerá de los aspectos climatológicos y de las características propias de cada sistema de producción (Datzel et al., 1991; Bernal et al., 1998).

Es importante destacar que el rendimiento obtenido con el producto biofertilizante en su dosis alta y media fue superior al rendimiento promedio reportado para la zona (2000 kg·ha⁻¹) en un 41,55 % y 27,9 %, respectivamente, lo que significa que el uso de este producto constituye una alternativa para ser considerada en los programas de manejo y recuperación de la fertilidad de los suelos de la zona.

Estos resultados reafirman los beneficios del establecimiento de sistemas de fertilización integral y balanceada basada en el uso complementario de fertilizantes minerales y orgánicos que garanticen la efectividad y disponibilidad inmediata de los nutrimentos minerales esenciales por vía mineral, además de la acción residual y el efecto mejorador sobre las propiedades físicas y biológicas de los suelos proporcionada por las enmiendas orgánicas.

CONCLUSIONES

La fertilización química y su combinación con el biofertilizante proporcionaron la mejor respuesta en las variables vegetativas y de rendimiento del maíz, lo que demuestra el efecto benéfico del biofertilizante preparado a partir de residuos industriales de centrales azucareros.

Se reafirmaron los beneficios del establecimiento de sistemas de fertilización integral y balanceada basada en el uso complementario de fertilizantes orgánicos y minerales

LITERATURA CITADA

1. Acuña, O. 2003. El uso de biofertilizantes en la agricultura. *In*: G. Meléndez y G. Soto (eds.) Taller de abonos orgánicos. Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica. San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica. pp. 67-75.
2. Bernal, M., M. Sánchez-Monedero, C. Paredes, y A. Roig. 1998. Carbon mineralization from organic wastes at different composting stages during their incubation with soil. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 69: 175-189.
3. Carpenters-Boggs, A. Kennedy y J. Reganold. 2000. Organic and Biodynamic magnagement. Effects on soil biology. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 1651-1659.
4. Contreras, F., C. Rivero y J. Paolini. 1995. Efecto de la incorporación de residuos orgánicos sobre la actividad de la ureasa en un alfisol. *Venezuelos* 3 (1): 2-6.
5. Datzel, H., K. Biddlestone, K. Gray y K. Thurairajan. 1991. Manejo del suelo, producción y uso del composte en ambientes tropicales y subtropicales. *Boletín de suelos. FAO* N° 56. Roma. 312 p.
6. Ferrer, J., G. Páez, E. Martínez, C. Chandler, M. Chirinos y Z. Mármol. 1997. Efecto del abono de bagazo de uva sobre la producción de materia seca en el cultivo de maíz. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 14: 55-65.
7. Gutiérrez, M. 1997. Nutrición mineral de las plantas; avances y aplicaciones. *Agronomía Costarricense* 21(1): 127-137.
8. IBPGR. 1991. Descriptors for maize. *International Maize and Wheat Improvement*

- Center, México. International Board for Plant Genetic Resources. Roma. 88 p.
9. Leite, L., E. Mendonca y J. Neves. 2003. Total stocks of organic carbon and its pools in acrisols under forest and under maize cultivated with mineral and organic fertilization. *Rev. Bras. Ciên. Solo* 27(5): 821-831.
 10. Mogollón, L. 2000. Uso eficiente de los fertilizantes. *In: Lobo D. (ed.). Manejo de la Fertilidad de los Suelos. Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo. Maracay, Venezuela.* pp. 25-36.
 11. Millán, A. y E. Malavé. 1997. Evaluación de 20 híbridos de maíz blanco (*Zea mays* L.) en Santa Bárbara, estado Monagas. *Bioagro* 9(1): 26-31.
 12. Rivero, C. y J. Paolini. 1995. Efecto de la incorporación de residuos orgánicos sobre la evolución del CO₂ de dos suelos venezolanos. *Rev. Fac. Agron. (UCV)* 21(1-2): 37-49.
 13. Salas, E. y E. Ramírez. 2001. Bioensayo microbiano para estimar los nutrientes disponibles en los abonos orgánicos: calibración de campo. *Agronomía Costarricense* 25(2): 11-23.
 14. Salazar, P. 1996. Evaluación de maíces (*Zea mays* L.) criollos sembrados en los Llanos Occidentales del país. *Memorias de la III Jornada Científica Nacional del Maíz. Araure, Portuguesa. Venezuela.* pp. 23-24.
 15. Sevilla, V., R. Mijares, R. Rodríguez y X. Abreu. 1996. Efecto de la incorporación de coberturas vegetales y abonos orgánicos sobre las pérdidas de suelos y aguas en dos suelos agrícolas venezolanos. *Venesuelos* 4(1 y 2): 14-18.
 16. Terry, E., Z. Teran, R. Martínez-Viera y M. Pino. 2002. Biofertilizantes, una alternativa promisorio para la producción hortícola en organopónicos. *Cultivos Tropicales* 23(3): 43-46.
 17. Uribe, L. 2003. Inocuidad de los abonos orgánicos. *In: Meléndez G. y Soto G. (eds.). Taller de abonos orgánicos. Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica. San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica.* pp. 122-137.
 18. Whalen, J., Q. Hu y A. Liu. 2003. Compost applications increase water-stable aggregates in conventional and no-tillage systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67:1842-1847.