

EFECTO DEL HUMUSBOL (HUMATO DOBLE DE POTASIO Y FÓSFORO) EN EL CRECIMIENTO DEL MAÍZ EN FASE VEGETATIVA

José Vicente Lazo¹, Jocelyne Ascencio¹, Jorge Ugarte¹ y Luis Yzaguirre²

RESUMEN

Se evaluó el efecto de una enmienda líquida orgánica constituida fundamentalmente por ácidos húmicos y fúlvicos, sobre el crecimiento del maíz en fase vegetativa, mediante un ensayo de umbráculo con un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones y los siguientes seis tratamientos: Humusbol aplicado al suelo en dosis de 5, 6, 7 y 8 L·ha⁻¹ + 1 L en 200 L de agua al follaje; un testigo comercial (humus de lombriz) en dosis de 5 L·ha⁻¹ aplicado al suelo + 4 L en 200 L de agua al follaje; y un testigo absoluto (no tratado). Se utilizaron recipientes plásticos opacos a la luz, con 8 kg de suelo de textura franco-arenosa, fertilizado con 120, 50 y 40 kg·ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O. En cada recipiente se cultivó una planta del híbrido de maíz blanco H-2020. Los tratamientos al suelo se aplicaron a los 14 días después de la emergencia, y los del follaje 14 días después. Las variables medidas por planta fueron la tasa fotosintética, contenido relativo de clorofila (SPAD), número de hojas, altura de la planta, diámetro del tallo, área foliar y biomasa seca tanto de raíces como de la parte aérea. Los resultados indicaron valores superiores de todas las variables morfológicas en las plantas tratadas con la enmienda líquida orgánica en comparación con los controles (testigos comercial y absoluto) pero no hubo diferencias en la tasa de fotosíntesis. Se concluye que la enmienda líquida orgánica estimuló considerablemente el crecimiento de la planta de maíz.

Palabras clave adicionales: Ácidos húmicos y fúlvicos, clorofila, enmiendas al suelo, sustancias húmicas

ABSTRACT

Effect of Humusbol (double humate of potassium and phosphorus) on corn growth in vegetative phase

The effect of a liquid organic amendment, consisting mainly of humic and fulvic acids, on the vegetative growth of corn plants was evaluated under greenhouse conditions. The experiment was performed as a completely randomized design with four replications and the following six treatments: Humusbol applied to soil at doses of 5, 6, 7 and 8 L·ha⁻¹ + 1 L in 200 L of water to foliage; a commercial check (humus from earthworms) at doses of 5 L·ha⁻¹ applied to the soil + 4 L in 200 L of water to the foliage, and an untreated check. The plants were grown in plastic pots opaque to light, filled with 8 kg of fertilized sandy loam soil (120, 50, and 40 kg·ha⁻¹ N- P₂O₅ -K₂O). In each pot, one maize plant, hybrid H-2020, was grown. The soil treatments were applied 14 days after emergence, and treatments to foliage 14 days thereafter. The variables measured per plant were photosynthetic rate, relative chlorophyll content (SPAD), number of leaves, plant height, stem diameter, total leaf area, and dry biomass of roots and aerial organs. Results indicated that maize plants treated with the liquid organic amendment, had higher values for all tested morphometric variables as compared to the commercial and untreated checks. No significant differences were found for photosynthetic rates. Results suggest that the liquid organic amendment greatly stimulated the corn plant growth.

Additional key words: Humic and fulvic acids, chlorophyll, soil amendments, humic substances

INTRODUCCIÓN

En Venezuela, el maíz (*Zea mays* L.) es el cereal más importante; en el año 2010 se produjeron 3.378.400 toneladas métricas en una superficie total cosechada de 770.700 ha (FAO, 2012). Las regiones del país donde se siembra maíz abarcan un amplio rango de condiciones

agroecológicas y se concentran en los llanos occidentales y centrales, así como en el valle medio del río Yaracuy (Meléndez et al., 2001). Por lo general, los suelos de estas zonas maiceras son pobres en nutrientes y en materia orgánica, con bajos contenidos de nitrógeno (Solórzano y Rengel, 2004). La disponibilidad de agua y nutrientes minerales son considerados los

Recibido: Febrero 18, 2014

Aceptado: Junio 9, 2014

¹ Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Apdo. 4579. Maracay. Venezuela.
e-mail: josevicente.lazo@gmail.com

Venezuela. Apdo. 4579. Maracay. Venezuela.

² INSAI-Aragua. Maracay, Venezuela

factores abióticos que más inciden en la productividad del maíz, el cual posee un elevado potencial de rendimiento que depende mucho del manejo de su crecimiento vegetativo previo a la fase reproductiva. El rendimiento de granos depende de la distribución de la biomasa acumulada entre los órganos de cosecha y el resto de la planta, y en tal sentido, Uhart y Andrade (1995) enfatizan que el número de granos se asocia con la capacidad de crecimiento de la planta en su fase vegetativa y durante la floración, cuando se determina la disponibilidad de asimilados para los granos en formación. De tal manera que para garantizar que la planta logre un rendimiento óptimo de acuerdo con su potencial genético, es necesario estimular un vigoroso crecimiento vegetativo desde las fases iniciales de su ciclo de desarrollo. En opinión de Andrade et al. (1999) el rendimiento de grano de maíz no sólo depende del estado fisiológico de la planta en la fase crítica de la floración, sino en toda la ontogenia.

Tradicionalmente, el aumento de rendimiento de los cultivos se ha asociado al uso de fertilizantes químicos, pero su uso indiscriminado en muchos casos ha causado serios problemas de contaminación ambiental. Si a esto se le suman los altos costos de los fertilizantes químicos y la necesidad de racionalizar su uso para minimizar el negativo impacto ambiental sin desmedro de las ventajas agronómicas de su utilización (Sebahattin y Necdet al., 2005; Majidian et al., 2006), se hace evidente la necesidad del uso de fuentes naturales de nutrimentos para aumentar la producción agrícola de manera sostenible. En este sentido, una alternativa complementaria podría obtenerse con el uso de enmiendas líquidas orgánicas comerciales, especialmente aquellas derivadas del mineraloide conocido como leonardita. Muchas de las características beneficiosas de la materia orgánica del suelo se asocian con sustancias húmicas (ácidos húmicos, fúlvicos y huminas) que son los compuestos químicamente más activos en los suelos, con capacidades de intercambio de cationes y aniones muy por encima de las arcillas (Koopal et al., 2005). Estos compuestos no sólo permiten la reducción de las dosis de fertilizantes comerciales (NPK), sino que además ejercen un significativo impacto positivo en la salud del suelo y un efecto directo en el crecimiento de la planta (Varanini y

Pinton, 2001).

Por lo anteriormente expuesto, se realizó el presente trabajo para evaluar el efecto de una enmienda líquida orgánica (humato doble de potasio y fósforo derivado de la leonardita) sobre el crecimiento de la planta de maíz durante las fases iniciales de su desarrollo, con la finalidad de valorar su uso potencial como estimulador del crecimiento vegetativo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en un umbráculo a cielo abierto, con tela metálica en las paredes laterales. Se utilizaron recipientes plásticos de color marrón oscuro, con 8 kg de suelo de textura franco arenosa, previamente desinfectado con Basamid y fertilizado con 120, 50 y 40 kg·ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O. Se sembraron tres semillas por recipiente del híbrido de maíz blanco H-2020, y a los cuatro días después de la emergencia se realizó un raleo selectivo para dejar una sola planta por recipiente. Se aplicó un cronograma de riego con agua de chorro, aplicando el mismo volumen para cada recipiente, para evitar algún estrés por déficit hídrico.

Para los tratamientos se utilizó una enmienda líquida orgánica de ácidos húmicos y fúlvicos denominada Humusbol, de origen natural (C₆₇H₂₅K₂₀P₄O₃₇), cuya etiqueta de envase indica que contiene 16 % de materia orgánica, 7 % de fósforo, 5 % de potasio y trazas de cobre, magnesio, hierro, cobalto, manganeso, molibdeno, boro y calcio. Tiene clasificación toxicológica IV (muy poco tóxica) y la dosis recomendada para el productor indica aplicaciones de 80 % al suelo y 20 % al follaje. Se evaluaron cuatro dosis de la enmienda líquida orgánica junto a un testigo comercial y un testigo absoluto para totalizar seis tratamientos (Cuadro 1). El testigo comercial estuvo constituido por humus de lombriz con la siguiente composición: materia orgánica 49,2 %, nitrógeno total 2,18 %, nitrógeno inorgánico 0,096 %, fósforo 0,55 %, potasio 0,84 % y relación C/N de 13/1.

Los tratamientos fueron aplicados al suelo a los catorce días después de la emergencia de las plántulas y se efectuó una aplicación al follaje dos semanas después. Un día antes de la aplicación de los tratamientos se realizó un riego hasta saturación del suelo.

Cuadro 1. Tratamientos evaluados para estudiar el efecto del Humusbol sobre el crecimiento vegetativo del maíz híbrido H-2020

| Tratamiento | Descripción del tratamiento |
|-------------|---|
| T1 | Enmienda líquida orgánica (5 L·ha ⁻¹ al suelo + 1 L/200 L agua al follaje) |
| T2 | Enmienda líquida orgánica (6 L·ha ⁻¹ al suelo + 1 L/200 L agua al follaje) |
| T3 | Enmienda líquida orgánica (7 L·ha ⁻¹ al suelo + 1 L/200 L agua al follaje) |
| T4 | Enmienda líquida orgánica (8 L·ha ⁻¹ al suelo + 1 L/200 L agua al follaje) |
| T5 | Humus de lombriz (5 L·ha ⁻¹ al suelo + 4 L/200 L agua al follaje) |
| T6 | Testigo absoluto (agua al suelo + agua al follaje) |

Enmienda líquida orgánica: concentrado soluble (ácidos húmicos y fúlvicos de leonardita); humus de lombriz: concentrado soluble de humus de lombriz

Durante el desarrollo del experimento se evaluó la tasa de fotosíntesis, contenido relativo de clorofila, altura de la planta, número de hojas fotosintéticamente activas, diámetro del tallo, área foliar total y la biomasa seca del tallo, hojas y raíces.

La tasa de fotosíntesis neta se determinó en plantas intactas en la porción media de la hoja más joven completamente expandida debajo de la hoja bandera. Las mediciones se realizaron al mediodía bajo luz natural a los 42 días de edad de las plantas. Para estas mediciones se usó un analizador infrarrojo de CO₂ marca Li-Cor modelo Li-6400 colocando la hoja en la cámara foliar durante 60 segundos. La radiación fotosintéticamente activa promedio durante el tiempo de medición fue de aproximadamente 1300 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ y la temperatura promedio en la cámara foliar fue de 36,8 °C. El tiempo total de medición de todas las plantas fue de 30 minutos (12:00 a 12:30 horas) y se realizó en el mismo orden de aleatorización del ensayo.

El contenido relativo de clorofila (índice SPAD) en la hoja fue medido utilizando un medidor portátil Minolta SPAD 502, el cual mide instantáneamente la cantidad relativa de clorofila (grado de verdor de la hoja). En cada tratamiento y replicación, se realizaron cuatro mediciones en la porción media de la hoja más joven completamente expandida, debajo de la hoja bandera (dos mediciones a cada lado de la nervadura central) y el promedio de estas lecturas representó el valor SPAD de dicha unidad experimental. Las lecturas se tomaron a los 29, 38 y 42 días de edad de las plantas.

Las variables de altura de planta, número de

hojas y diámetro del tallo se tomaron a las mismas edades de planta ya señaladas, y adicionalmente, a los 52 días. Las variables de biomasa seca y área foliar total se tomaron al final del experimento a los 54 días. El área foliar total por planta se determinó utilizando un medidor fotoeléctrico Hayashi Denkoh, modelo AAM-7, y para la determinación de la biomasa seca de raíces, tallos y hojas, se colocaron las muestras individualizadas por planta en una estufa a 60 °C y se pesaron luego de 72 horas.

Las unidades experimentales se distribuyeron según un diseño completamente aleatorizado, con un total de cuatro replicaciones por cada uno de los seis tratamientos (una planta por unidad experimental). Los datos de las variables evaluadas fueron sometidos a análisis de varianza, previa comprobación de los supuestos del análisis, ANAVA y prueba de medias de Tukey utilizando el programa Statistics StatSoft, versión 6.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tasa de fotosíntesis. Para el momento en que se tomaron las mediciones, no hubo diferencias significativas ($P>0,05$) entre los tratamientos en lo que respecta a los valores de tasa de fotosíntesis (Cuadro 2). Es importante recalcar que en la bibliografía hay información controversial sobre el efecto de sustancias húmicas en la tasa de fotosíntesis y en muchos casos se señala el efecto indirecto de un aumento del contenido de clorofila que, a su vez, podría influir en la tasa de fotosíntesis. Sin embargo, el aumento de la clorofila no necesariamente implica un mayor

crecimiento o rendimientos más altos. Por otra parte, Pflugmacher et al. (2006) señalaron que había pocos informes disponibles con relación al impacto de los ácidos húmicos y su relación con el contenido de clorofila y el transporte de electrones. En otros trabajos se ha reportado que los ácidos húmicos estimulan la actividad de enzimas relacionadas con la reducción fotosintética del sulfato (Ferretti et al., 1991). Zhang et al. (2003) señalan que las sustancias húmicas podrían estar implicadas en la protección del fotosistema II mediante la activación de la superóxido dismutasa, aunque no aportan evidencias de un efecto directo sobre la tasa de fotosíntesis. Por otra parte, Abbas et al. (2013) reportan un efecto consistente de sustancias húmicas sobre el proceso fotosintético de la mandarina Kinnow (*Citrus reticulata*) e indican que hubo una influencia positiva significativa en el contenido de clorofila y la conductancia estomática.

Cuadro 2. Tasa de fotosíntesis en plantas de maíz híbrido H-2020, de 42 días de edad, tratadas con diferentes dosis de sustancias húmicas

| Tratamiento | Fotosíntesis ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) |
|-------------|--|
| T1 | 14,07 a |
| T2 | 14,18 a |
| T3 | 14,54 a |
| T4 | 14,49 a |
| T5 | 13,89 a |
| T6 | 13,96 a |

T1 al T6: Dosis de los productos según los valores del Cuadro 1. Valores con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P\leq 0,05$)

Es importante enfatizar que las respuestas con sustancias húmicas, pueden ser contrastantes entre distintos experimentos, dado lo complejo de su estructura química, origen y fuente del material (Steinberg et al., 2003) y estos efectos también pueden diferir entre especies y etapa del desarrollo (Santos y Camargo, 1999). Los resultados de Ameri y Tehranifar (2012) refuerzan lo anterior con lo obtenido en *Fragaria ananassa* var Camarosa donde no hubo una respuesta definida sino más bien aleatoria, en la tasa de fotosíntesis por efecto de la aplicación de ácidos húmicos.

Contenido relativo de clorofila (índice SPAD). Se detectó un aumento del contenido relativo de clorofila a medida que aumentó la dosis de la

enmienda líquida orgánica aplicada al suelo ($P\leq 0,05$), significativo a los 42 días pero sin tendencia para los 29 y 38 días de edad de la planta (Cuadro 3). Los menores contenidos relativos de clorofila se presentaron en el testigo no tratado y en el testigo comercial, sin diferencias significativas entre ellos, pero ambos fueron estadísticamente inferiores a los tratamientos con la enmienda.

Cuadro 3. Contenido relativo de clorofila (índice SPAD) en plantas de maíz híbrido H-2020, de diferentes edades, tratadas con diferentes dosis de sustancias húmicas

| Tratamiento | Contenido relativo de clorofila | | |
|-------------|---------------------------------|---------|----------|
| | Edad de la planta | | |
| | 29 días | 38 días | 42 días |
| T1 | 43,83 a | 35,73 a | 30,83 b |
| T2 | 43,13 a | 38,90 a | 35,88 ab |
| T3 | 43,78 a | 38,20 a | 38,33 a |
| T4 | 44,40 a | 37,93 a | 38,35 a |
| T5 | 23,15 b | 21,70 b | 24,10 c |
| T6 | 27,43 b | 24,70 b | 24,25 c |

T1 al T6: Dosis de los productos según los valores del Cuadro 1. En cada columna, valores con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P\leq 0,05$)

Cuando se comparó el contenido de clorofila foliar en las plantas tratadas con la menor dosis ($5 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$) versus el testigo absoluto y versus la misma dosis del testigo comercial, se observa que hubo, respectivamente, aumentos en el orden de 60, 45 y 27 % y de 89, 65 y 28 % a los 29, 38 y 42 días de edad de las plantas. Por otra parte, al comparar este mismo efecto entre las plantas que recibieron la mayor dosis de la enmienda ($8 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$) y los testigos absoluto y comercial, los aumentos del contenido de clorofila fueron respectivamente de 62, 54 y 58 % y de 92, 75 y 59 %, a los 29, 38 y 42 días de edad. Los resultados anteriores no sólo muestran que la enmienda líquida orgánica ejerció un impacto positivo en el contenido de clorofila foliar, sino que además su efecto fue mayor a medida que aumentó la dosis aplicada. El incremento de clorofila foliar por acción de las sustancias húmicas también ha sido reportado en *Allium sativum* (Abdel-Razzak y El-Sharkawy, 2013), *Capsicum annuum* (Karakurt et al., 2009), *Citrullus lanatus* (Silva et al., 2012), *Citrus reticulata* (Abbas et al., 2013) y *Triticum*

aestivum (Patil et al., 2013). Este efecto estimulante fue estudiado por Clapp et al. (2001), quienes sugieren que la respuesta pudiera deberse a que los compuestos húmicos en el suelo aumentan la tasa de absorción de iones en la superficie de la raíz y mejoran su penetración en las células del tejido de la planta, aumentando además la disponibilidad de nutrientes, particularmente del hierro y nitrógeno (Barrios et al., 2012), que son considerados de alta relevancia para la síntesis de clorofila.

Con relación al efecto de la enmienda líquida orgánica sobre las diferentes variables morfológicas, los resultados indican que, en todos los casos, la aplicación de la enmienda se tradujo en aumentos significativos sobre el número de hojas, altura de planta, diámetro del tallo, área foliar total, y biomasa seca de tallos, hojas y raíces (Cuadros 4, 5, 6 y 7).

Cuadro 4. Número de hojas en plantas de maíz híbrido H-2020, de diferentes edades, tratadas con diferentes dosis de sustancias húmicas

| Tratamiento | Número de hojas por planta | | |
|-------------|----------------------------|---------|---------|
| | Edad de la planta | | |
| | 29 días | 38 días | 42 días |
| T1 | 8,5 bc | 9,0 a | 8,8 abc |
| T2 | 8,0 c | 9,3 a | 9,5 ab |
| T3 | 9,0 ab | 9,3 a | 10,5 a |
| T4 | 9,5 a | 10,0 a | 10,0 a |
| T5 | 6,5 d | 7,5 b | 7,8 bc |
| T6 | 6,0 d | 7,5 b | 7,0 c |

T1 al T6: Dosis de los productos según los valores del Cuadro 1. En cada columna, valores con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

Cuadro 5. Altura de plantas de maíz híbrido H-2020, de diferentes edades, tratadas con diferentes dosis de sustancias húmicas

| Tratamiento | Altura de planta (cm) | | | |
|-------------|-----------------------|---------|---------|---------|
| | Edad de la planta | | | |
| | 29 días | 38 días | 42 días | 52 días |
| T1 | 16,5 a | 20,5 bc | 23,7 b | 31,5 bc |
| T2 | 18,0 a | 24,5 ab | 27,2 b | 39,5 b |
| T3 | 20,0 a | 27,7 a | 38,5 a | 52,7 a |
| T4 | 20,2 a | 27,2 a | 37,5 a | 50,7 a |
| T5 | 12,0 b | 17,5 cd | 19,0 c | 24,7 cd |
| T6 | 11,7 b | 14,5 d | 15,5 c | 20,2 d |

T1 al T6: Dosis de los productos según los valores del Cuadro 1. En cada columna, valores con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

Cuadro 6. Diámetro del tallo en plantas de maíz híbrido H-2020, de diferentes edades, tratadas con diferentes dosis de sustancias húmicas

| Tratamiento | Diámetro de tallo (cm) | | | |
|-------------|------------------------|---------|---------|---------|
| | Edad de la planta | | | |
| | 29 días | 38 días | 42 días | 52 días |
| T1 | 11,0 ab | 14,8 b | 16,6 b | 17,0 a |
| T2 | 12,5 bc | 16,0 b | 18,4 b | 19,0 a |
| T3 | 15,2 a | 20,0 a | 21,7 a | 19,0 a |
| T4 | 15,0 a | 20,0 a | 21,7 a | 18,2 a |
| T5 | 7,0 bc | 9,2 c | d/p | 9,5 b |
| T6 | 6,5 c | 7,7 c | d/p | 8,0 b |

T1 al T6 son las dosis de los productos según los valores del Cuadro 1. En cada columna, valores identificados con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). d/p: dato perdido

Cuadro 7. Área foliar total y biomasa seca del tallo, hojas y raíces en plantas de maíz híbrido H-2020, de 54 días de edad, tratadas con diferentes dosis de sustancias húmicas

| Tratamiento | Área foliar (cm ²) | Biomasa seca (g) | | |
|-------------|--------------------------------|------------------|----------|---------|
| | | Tallo | Hojas | Raíces |
| | | T1 | 2414,5 b | 7,92 b |
| T2 | 2806,5 b | 8,41 b | 14,94 b | 12,14 a |
| T3 | 4059,4 a | 1,15 a | 23,39 a | 16,85 a |
| T4 | 4000,5 a | 17,09 a | 22,36 a | 14,42 a |
| T5 | 1250,1 c | 2,65 c | 4,88 c | 3,11 b |
| T6 | 1184,6 c | 2,36 c | 4,62 c | 2,91 b |

T1 al T6: Dosis de los productos según los valores del Cuadro 1. En cada columna, valores con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

Número de hojas. El número de hojas de las plantas tratadas con la menor dosis de la enmienda líquida orgánica aplicada al suelo ($5 \text{ L} \cdot \text{ha}^{-1}$) superó al de los testigos absoluto y comercial en 42, 20 y 26 % y en 31, 20 y 13 %, respectivamente, a los 29, 38 y 42 días de edad de las plantas (Cuadro 4). La misma comparación, pero con la dosis más alta de la enmienda ($8 \text{ L} \cdot \text{ha}^{-1}$) resultó, respectivamente, en aumentos de 58, 33 y 43 % con relación al testigo absoluto y de 46, 33 y 28 % con relación al testigo comercial, para las mismas edades de la planta. Los resultados muestran que la enmienda afectó positivamente el número de hojas y que el estímulo fue mayor a medida que aumentó la dosis del producto. El testigo comercial no presentó diferencias al compararse con el testigo absoluto ($P > 0,05$), pero ambos fueron estadísticamente inferiores a las diferentes dosis de la enmienda líquida en todas las fechas de muestreo ($P \leq 0,05$).

Es importante recalcar que, dado que en los muestreos se contaban solamente las hojas fotosintéticamente activas, se observó una disminución de las diferencias del número de hojas con la edad de la planta debido a la senescencia de las hojas inferiores.

Es importante resaltar que en maíz el número de hojas por planta (número de nudos) ha sido utilizado como un descriptor varietal (Muñoz et al., 1993), es decir, este parámetro estaría prefijado genéticamente. Lo anterior podría sugerir que las diferencias observadas en el presente trabajo no sean debidas a un efecto directo de las dosis de la enmienda sino a un efecto estimulador del crecimiento, lo cual habría acelerado el proceso de diferenciación y desarrollo con respecto a las plantas testigo, las cuales presentaron un menor número de hojas para el momento del muestreo con respecto a las plantas de la misma edad tratadas con la sustancia húmica.

Algunos trabajos parecen indicar que la estimulación del crecimiento y el efecto bioestimulante de las sustancias húmicas sobre la fisiología de la planta es debido a un efecto hormonal; por ejemplo, Mato et al. (1972) comprobaron que las sustancias húmicas podían inhibir la actividad de AIA-oxidasa, lo que contribuía a mantener altos niveles de AIA en los tejidos y por consiguiente estimular el crecimiento. Igualmente, Biondi et al. (1994) encontraron que la aplicación de ácidos húmicos sobre plantas de trigo, aumentó la actividad de enzimas que favorecen la incorporación y transferencia de amonio, y síntesis de aminoácidos, a la vez que inhibió la actividad catabólica de otras.

Los resultados del presente trabajo coinciden con los de Daur y Bakhshwain (2013) quienes reportaron un aumento en el número de hojas de la planta de maíz forrajero a medida que aumentaron la dosis de ácido húmico aplicado al suelo y atribuyeron este aumento a una mejora de la condición del suelo de la zona de la raíz. El aumento del número de hojas en plantas tratadas con sustancias húmicas también ha sido reportado en trigo por Patil et al. (2010), quienes evaluaron el efecto del humato de potasio (sal de ácido húmico) a los 64 días de edad de la planta y encontraron un aumento de 53,2 % en el número de hojas versus las plantas testigo absoluto.

Altura de planta. Todas las dosis de la enmienda líquida, en los cuatro muestreos, produjeron mayores alturas de planta que los testigos comercial y absoluto ($P \leq 0,05$), y no existieron diferencias entre estos dos últimos (Cuadro 5). Al momento del primer muestreo (29 días de edad de la planta) no hubo diferencias significativas en la altura entre las diferentes dosis de la enmienda, pero a partir del segundo muestreo (38 días) comenzaron a diferenciarse las dosis menores (T1 y T2) con respecto a las dosis mayores (T3 y T4). Estas diferencias se hicieron más evidentes en los dos últimos muestreos (42 y 52 días), donde se aprecia claramente que la mejor dosis de la enmienda para el efecto sobre la altura de la planta estuvo entre 7 y 8 L·ha⁻¹. Cuando se compara el aumento porcentual de la altura en la menor dosis de la enmienda (5 L·ha⁻¹) versus los testigos absoluto y comercial, a los 29, 38, 42 y 52 días se obtienen, respectivamente, incrementos de 40, 41, 53 y 56 % y de 38, 17, 25 y 27 %. Por otra parte, la mayor dosis de la enmienda líquida (8 L·ha⁻¹) mostró con respecto al testigo absoluto, incrementos de 72, 88, 142 y 151 %, a los 29, 38, 42 y 52 días, mientras que esta misma comparación con el testigo comercial produjo, respectivamente, aumentos de 69, 57, 97 y 105 %.

Los resultados indican que para el efecto sobre altura de planta, la mejor dosis de la enmienda fue de 7 L·ha⁻¹. Cuando se compara el incremento porcentual de altura de las plantas tratadas con esta dosis de la enmienda, entre el primer y el último muestreo hubo un aumento de 164 %, mientras que las plantas del testigo absoluto y comercial, en este mismo intervalo, aumentaron su altura en 72 y 106 %, respectivamente, lo cual refleja el estímulo de la enmienda líquida sobre el crecimiento en altura. En efecto, estos valores representan una tasa de crecimiento en altura de planta de 1,42 cm·día⁻¹ para la dosis de 7 L·ha⁻¹ versus 0,37 y 0,55 cm·día⁻¹ para los testigos absoluto y comercial, respectivamente.

Diámetro del tallo. En los primeros muestreos (29, 38 y 42 días) los tratamientos T3 y T4 de la enmienda líquida se diferenciaron del T1 y T2 en lo relativo al grosor del tallo ($P \leq 0,05$), pero esas diferencias se fueron acortando a medida que la planta fue creciendo, y ya para el último muestreo (52 días) no hubo diferencia significativa entre las dosis de la enmienda (Cuadro 6). Por otra parte, los resultados mostraron diferencias significativas

entre el diámetro del tallo de las plantas tratadas con la enmienda versus las plantas de ambos testigos. El aumento porcentual del diámetro de tallo en la dosis de 7 L·ha⁻¹ de la enmienda versus los testigos absoluto y comercial fue de 135, 158, 314 y 138 % y de 118, 116, 278 y 100 %, respectivamente, para las cuatro fechas de muestreo ya señaladas. Hubo problemas con las lecturas del diámetro del tallo en las plantas del testigo absoluto y comercial correspondientes al tercer muestreo (42 días) por lo cual no se registraron los valores correspondientes a ese momento (Cuadro 6).

Los aumentos en altura de planta y diámetro del tallo obtenidos en este trabajo, se suman al conjunto de respuestas de estímulo del crecimiento de las plantas por acción de los ácidos húmicos y fúlvicos, ya sea por efectos directos o indirectos, que ha sido reportado ampliamente en la literatura (Méndez et al., 2012; Cavalcante et al., 2011; Hagag et al., 2011).

Área foliar total. Cuando se comparan los valores del área foliar (Cuadro 7) versus el número de hojas por planta (Cuadro 4), se deduce que el aumento en área foliar producido por la enmienda líquida orgánica, se debió fundamentalmente al aumento de las dimensiones de la hoja y no al número de hojas (hubo aumentos importantes del área foliar pero sólo aumentos moderados en el número de hojas). Por otra parte, el área foliar total fue superior en las plantas donde hubo mayores dosis de la enmienda líquida, observándose que el efecto estimulante sobre las dimensiones de la hoja se estabilizó en el rango definido por los tratamientos T3 y T4 (7 y 8 L·ha⁻¹). De igual manera entre los tratamientos T3 y T4 no hubo diferencias significativas, pero ellos fueron superiores ($P \leq 0,05$) a T1 y T2 (4 y 5 L·ha⁻¹) y a los testigos absoluto y comercial. Entre estos dos últimos no hubo diferencia estadística ($P > 0,05$). La dosis de 7 L·ha⁻¹ de la enmienda promovió el desarrollo de plantas con un área foliar 243 % mayor con respecto al testigo absoluto y 225 % mayor que en las plantas del testigo comercial. Este aumento del área foliar por efecto de la aplicación de sustancias húmicas también ha sido reportado en maíz (Daur y Bakhawain, 2013) y en otras especies como *Cicer arietinum* (Rasaei et al., 2013), *Theobroma cacao* (Calima et al., 2005), *Triticum* spp. (Atarzadeh et al., 2013), *Quercus robur* (Ferrini et

al., 2005) y *Vigna radiata* (Khalilzadeh y Tajbakhsh, 2012).

Biomasa seca de tallos, hojas y raíces. La acumulación de biomasa seca de tallo, hojas y raíces mostró una tendencia predominante del aumento de biomasa seca en las porciones aéreas a medida que aumentó la dosis de la enmienda (Cuadro 7). La biomasa seca de tallo y hojas en las dosis más altas (7 y 8 L·ha⁻¹) fue estadísticamente superior a la biomasa de las dosis más bajas (5 y 6 L·ha⁻¹) y éstas, a su vez, fueron superiores a la biomasa de los testigos comercial y absoluto. Las respuestas no fueron significativas ($P > 0,05$) entre los tratamientos T1 y T2 (5 y 6 L·ha⁻¹) ni entre T3 y T4 (7 y 8 L·ha⁻¹). Tampoco hubo diferencia entre ambos testigos. La magnitud del efecto estimulante de la sustancia húmica sobre la síntesis y acumulación de biomasa seca foliar y del tallo, se pudo apreciar mejor cuando se expresó en incrementos porcentuales. Las dosis de 7 y 8 L·ha⁻¹ de la enmienda incrementaron la biomasa seca del tallo en más del 500 % con respecto a ambos testigos, y para la biomasa seca de las hojas el incremento fue superior al 300 %.

En lo que respecta al efecto sobre el desarrollo del sistema radicular, se puede apreciar que aun cuando no hubo diferencias significativas entre las diferentes dosis de la enmienda, fue evidente el efecto estimulante en el desarrollo de este órgano, ya que donde se aplicó la sustancia húmica hubo incrementos de la biomasa seca de raíces iguales o superiores al 400 % con respecto a las plantas de los testigos absoluto y comercial. En opinión de algunos investigadores, las sustancias húmicas no sólo promueven la absorción de nutrientes del suelo, sino que además aumentan la permeabilidad celular y parecen regular mecanismos implicados en la estimulación del crecimiento de la planta (Dobbss et al., 2007). Sin embargo, no ha sido fácil distinguir entre los efectos directos, como por ejemplo, la influencia de las sustancias húmicas en las rutas metabólicas y de señalización implicadas en el desarrollo de la planta, e indirectos, atribuibles a una mejora general de la fertilidad del suelo. Quizá la actividad auxínica de estas sustancias es probablemente el principal factor biológico responsable de los efectos positivos ejercidos en la fisiología de las plantas (Mato et al., 1972; Zandonadi et al., 2007; Baldotto y Baldotto, 2013).

CONCLUSIONES

Los tratamientos con la enmienda líquida orgánica (Humusbol) aplicados al suelo y al follaje de plantas de maíz, produjeron un significativo efecto estimulante sobre el crecimiento en términos de contenido de clorofila foliar, número de hojas, diámetro del tallo, altura de planta, área foliar total y biomasa seca de la parte aérea y del sistema radicular. La aplicación de esta enmienda en las zonas maiceras del país podría utilizarse como una alternativa para disminuir las dosis de fertilizantes químicos y en consecuencia reducir la contaminación del medio ambiente y promover la recuperación de la materia orgánica de los suelos de las regiones maiceras venezolanas.

LITERATURA CITADA

1. Abbas, T., S. Ahmed, M. Ashraf, M. Shahid, M. Yasin, R. Balal, M. Pervez y S. Abbas. 2013. Effect of humic and application at different growth stages of Kinnow mandarin (*Citrus reticulata* Blanco) on the basis of physio-biochemical and reproductive responses. *Academia Journal of Biotechnology* 1(1): 14-20.
2. Abdel-Razzak, H. y G. El-Sharkawy. 2013. Effect of biofertilizer and humic acid applications on growth, yield, quality and storability of two garlic (*Allium sativum* L.) cultivars. *Asian Journal of Crop Sci.* 5(1): 48-64.
3. Ameri, A. y A. Tehranifar. 2012. Effect of humic acid on nutrient uptake and physiological characteristics of *Fragaria ananassa* var. Camarosa. *J. Biol. Environ. Sci.* 6(16): 77-79.
4. Andrade, F., C. Vega, S. Uhart, A. Cirilo, M. Cantarero y O. Valentinuz. 1999. Kernel number determination in maize. *Crop Sci.* 39: 453-459.
5. Atarzadeh, S., M. Mojaddam y T. Nejad. 2013. The interactive effects humic acid application and several of nitrogen fertilizer on remobilization of star wheat. *International Journal of Biosciences* 3(8): 116-123.
6. Baldotto, M. y L.E. Baldotto. 2013. Gladiolus development in response to bulb treatment with different concentrations of humic acids. *Rev. Ceres, Viçosa*, 60(1): 138-142.
7. Barrios, M., J. García y C. Basso. 2012. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el contenido de nitrato y amonio en el suelo y la planta de maíz. *Bioagro* 24(3): 213-220.
8. Biondi, F., A. Figholia, R. Indiati y C. Izza. 1994. Effects of fertilization with humic acids on soil and plant metabolism: a multidisciplinary approach. III: Phosphorus dynamics and behavior of some plant enzymatic activities. *In: N. Senesi y T. Miano (eds.). Humic Substances in the Global Environment and Implications on Human Health.* Elsevier, New York. pp. 239-244.
9. Calima, D.F., R.O. Paneto, M.A. G. Aguilar, F.B. Folli., C.A. Souza y S. Sonegheti. 2005. Crescimento e fotossíntese de clones de cacau (*Theobroma cacao* L.) com resistência diferencial a *Verticillium dahliae* submetidos diferentes doses de turfa líquida. *In: Encontro Brasileiro de Substâncias Húmicas* Embrapa. Rio de Janeiro. Solos 6. pp. 9-11.
10. Cavalcante, I.H.L., R.R.S. Da Silva, F.G. Albano, F.N. De Lima y A. De S. Marques. 2011. Foliar spray of humic substances on seedling production of papaya (pawpaw). *Journal of Agronomy* 10(4): 118-122.
11. Clapp, C.E., Y. Chen, M.H.B. Hayes y H.H. Cheng. 2001. Plant growth promoting activity of humic substances. *In: R.S. Swift y K.M. Sparks (eds.). Understanding and Managing Organic Matter in Soils, Sediments, and Waters.* International Humic Science Society. Madison, WI. pp. 243-255.
12. Daur, I y A. Bakhshwain. 2013. Effect of humic acid on growth and quality of maize fodder production. *Pakistan Journal of Botany* 45: 21-25.
13. Dobbss, L.B., L.O. Medici, L.E. Peres, L.E. Pino-Nunes, V.M. Rumjanek, A.R. Façanha y L.P. Canellas. 2007. Changes in root development of Arabidopsis promoted by organic matter from oxisols. *Annals Applied Biology* 151: 199-211.
14. FAO. 2012. El estado mundial de la agricultura y alimentación. FAO. Roma. *In: <http://www.fao.org/catalog/inter-s.htm>* (consulta del

- 01/09/2014).
15. Ferretti, M., R. Ghisi, S. Nardi y C. Passera. 1991. Effect of humic substances on photosynthetic sulphate assimilation in maize seedlings. *Canadian Journal of Soil Science* 71: 239-242.
 16. Ferrini, F., A. Giuntoli, F.P. Nicese, S. Pellegrini y N. Vignozzi. 2005. Effect of fertilization and backfill amendments on soil characteristics, growth, and leaf gas exchange of english oak (*Quercus robur* L.). *Journal of Arboriculture* 31(4): 182-190.
 17. Hagag, L.F., M.F. Shahin y M.M. El-Migeed. 2011. Effect of NPK and humic substance applications on vegetative growth of Egazy olive seedlings. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.* 11(6): 807-811.
 18. Karakurt Y., H. Unlu y H. Padem. 2009. The influence of foliar and soil fertilization of humic acid on yield and quality of pepper. *Acta Agric. Scand. Sec.B. Plant Soil Sci.* 59: 233-237.
 19. Khalilzadeh, R.H. y M.J. Tajbakhsh. 2012. Growth characteristics of mung bean (*Vigna radiata* L.) affected by foliar application of urea and bio-organic fertilizers. *Intl. J. Agri. Crop Sci.* 4(10): 637-642.
 20. Koopal, L.K., T. Saito, J.P. Pinheiro y W.H. van Riemsdijk. 2005. Ion binding to natural organic matter: General considerations and the NICA-Donnan model. *Colloids and Surfaces: Physicochemical and Engineering Aspects* 265: 40-54.
 21. Majidian, M., A. Ghalavand, N. Karimian y A.K. Haghighi. 2006. Effects of water stress, nitrogen fertilizer and organic fertilizer in various farming systems in different growth stages on physiological characteristics, physical characteristics, quality and chlorophyll content of maize single cross hybrid 704. *Iranian Crop Sciences J.* 10(3): 303-330.
 22. Mato, M.C., M.C. Olmedón y J. Méndez. 1972. Inhibition of indole acetic acid oxidase by soil humic acids fractionated I Sephadex. *Soil Biology and Biochemistry* 4: 469-473.
 23. Meléndez, L., J. Lisazo y R. Ramírez. 2001. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre dos variedades de maíz (*Zea mays* L.) sometidas a exceso de humedad en el suelo. *Bioagro* 13(3): 111-116.
 24. Méndez-Moreno, O., N.S. León-Martínez., F.A. Gutiérrez-Miceli, R. Rincón-Rosales y J.D. Álvarez-Solís. 2012. Efecto de la aplicación de humus de lombriz en el crecimiento y rendimiento de grano del cultivo de maíz. *Gayana Bot.* 69 (número especial): 49-54.
 25. Muñoz, G., G. Giraldo y J.F. de Soto. 1993. Descriptores varietales: Arroz, frijol, maíz, sorgo. CIAT. Cali, Colombia. Publicación 177. 164 p.
 26. Patil, R.B., S.B. Chavan, A.D. More y J.B. Shinde. 2013. Effect of potassium humate on biochemical aspects of wheat. *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences* 3(1): 89-91.
 27. Patil, R.B., S.S. Mokle y S.S. Wadje. 2010. Effect of potassium humate on seed germination, seedling growth and vegetative characters of *Triticum aestivum* (L.) cv. Lokvan. *International Journal of Pharma and Bio Sciences* 1(1): 1-4.
 28. Pflugmacher, S., C. Pietsch, W. Rieger y C.E. Steinberg. 2006. Dissolved natural organic matter (NOM) impacts photosynthetic oxygen production and electron transport in coontail *Ceratophyllum demersum*. *Sci. Total Environ.* 357: 169-175.
 29. Rasaei, B., M.E. Ghobadi y A. Najaphy. 2013. Reducing effects of drought stress by application of humic acid, mycorrhiza and *Rhizobium* on chickpea. *Intl. J. Agri. Crop Sci.* 5(16): 1775-1778.
 30. Santos, G.A. y F.A. Camargo (eds.). 1999. *Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: Ecosistemas Tropicais e Subtropicais. Gênese.* Porto Alegre, Brasil. 491 p.
 31. Sebahattin, A. y V. Necdet. 2005. Effects of different levels and application times of humic acid on root and leaf yield and yield components of forage turnip (*Brassica rapa* L.). *Journal of Agronomy* 4:130-133.
 32. Silva-Matos, R.R.S., I.H.L. Cavalcante, G.B.S. Junior, F.G. Albano, M.S. Cunha y M.Z. Beckmann-Cavalcante. 2012. Foliar spray of humic substances on seedling production of watermelon cv. Crimson Sweet. *Journal of*

- Agronomy 11(2): 60-64.
33. Solórzano, P.R. y M. Rengel. 2004. Crecimiento, nutrición y fertilización de cereales en Venezuela: arroz, maíz y sorgo granífero. Edit. Agroisleña. Caracas. 152 p.
34. Steinberg, C.E.W., A. Paul, S. Pflugmacher, T. Meinelt, R. Klöcking y C. Wiegand. 2003. Pure humic substances have the potential to act as xenobiotic chemicals-A review. *Fresenius Environmental Bulletin* 12(5): 391-401.
35. Uhart, S. y F.H. Andrade. 1995. Nitrogen and carbon accumulation and remobilization during grain filling in maize under different source-sink ratios. *Crop Sci.* 35: 183-190.
36. Varanini, Z. y R. Pinton. 2001. Direct versus indirect effects of soil humic substances on plant growth and nutrition. *In*: R. Pinton, Z. Varanini y P. Nannipieri (eds.). *The Rhizosphere*. Marcel Dekker. New York. pp. 141-158.
37. Zandonadi, D.B., L.P. Canellas y A.R. Façanha. 2007. Indolacetic and humic acids induce lateral root development through a concerted plasmalemma and tonoplast H⁺ pumps activation. *Planta* 225(6): 1583-1595.
38. Zhang, X., R. Schmidt y E. Ervin. 2003. Physiological effects of liquid applications of a seaweed extract and a humic acid on creeping bentgrass. *J. Amer. Soc. Hort. Sci. Soc.* 128: 492-496.