

Uso de compost durante la etapa de aclimatación de vitroplantas de banano clon “Gran Enano” (*Musa AAA*)

*Use of compost during the acclimatization stage of banana clone “Grand Nain” (*Musa AAA*) vitroplants*

MARÍA DE LOURDES ADRIANO-ANAYA¹, YEYETSIT LARA-PÉREZ¹, ALFREDO VÁZQUEZ-OVANDO¹, DORY GLEDIS RAMOS-PÉREZ¹ Y MIGUEL SALVADOR-FIGUEROA¹

¹Centro de Biociencias. Universidad Autónoma de Chiapas.
Carretera a Puerto Madero Km 2.0. Tapachula, Chiapas. México. Tel y Fax (962) 6427972
*Autor para correspondencia: Correo-e: msalvad@hotmail.com

RECIBIDO EL 14 DE MARZO DE 2013 / ACEPTADO EL 23 DE JUNIO DE 2013

RESUMEN

El empleo de compost maduro como componente del sustrato de siembra de plántulas de banano clon “Gran Enano” (*Musa AAA*), obtenidas por micropropagación, durante la etapa de aclimatación, fue estudiado. Utilizando diversas proporciones suelo – compost (100-0%, 90-10%, 80-20%, 70-30%, 60-40%), un diseño completamente al azar fue establecido. Durante los 56 días que duró el estudio, se midió altura de las plantas, número de hojas, perímetro del tallo, área de la 3ª hoja, volumen de raíz, actividad de peroxidasa y catalasa (hoja y raíz) y colonización. En el sustrato de siembra se midió la actividad de esterases e invertasas. Las plantas cultivadas en el sustrato 90% - 10%, suelo-compost mostraron las mejores características morfológicas. El desarrollo de las plantas fue inhibido en los sustratos con más de 30% de compost (posiblemente un efecto de fitotoxicidad). Por las características químicas de los sustratos de siembra, se piensa que el contenido de sales en ellos pudiera ser el factor que limitó el desarrollo de las plantas.

Palabras clave: banano, bio-fertilizante, desarrollo, micropropagación.

INTRODUCCIÓN

Convencionalmente los bananos comestibles (*Musa sp*) se propagan vegetativamente a partir de brotes laterales de plantas “madre”; sin embargo, su cantidad es limitada y su calidad fitosanitaria es baja. La mejor alternativa para conseguir material de buena calidad genética y fitosanidad garantizada que permite tanto la renovación en las zonas productoras como la apertura de nuevas áreas, son las plantas propagadas in vitro. Pero el tamaño reducido de las vitroplantas y su desarrollo bajo condiciones ambientales controladas, son limitantes para su traslado al campo de cultivo. La aclimatación es la etapa en la que plantas desarrolladas in vitro se transfieren hacia condiciones climáticas naturales. En dicha etapa las vitroplantas desarrollan el sistema radicular y transitan del estado heterótrofo al estado autótrofo. El proceso se realiza paulatinamente para evitar la muerte por estrés o daño del vegetal.

ABSTRACT

The use of mature compost during the acclimatization stage of banana plantlets clone of “Grand Nain” (*Musa AAA*), obtained by micropropagation, was studied. Using various proportions of soil-compost (100-0%, 90-10%, 80-20%, 70-30%, 60-40%), a completely randomized design was established. During the 56 days of the study, plant height, number of leaves, stem perimeter, area of the 3rd leaf, root volume, catalase and peroxidase activity (leaf and root) and mycorrhizal colonization were measured. In the planting substrate, esterases and invertases activity was measured. Plants grown on the substrate 90%-10% soil-compost, showed the best morphological characteristics. Plant growth was inhibited in the substrates with more than 30% of compost (possibly due to a phytotoxic effect). Based on the chemical properties of the seeding substrates, it is thought that the salt content in them could be the factor limiting the development of the plants.

Keywords: banana, bio-fertilizer, development, micropropagation.

Durante la fase de aclimatación (realizada en invernadero o casa sombra) las vitroplantas se cultivan generalmente en un sustrato inerte estéril y se fertilizan con productos químicos. Bajo estas condiciones, las plántulas no tienen forma de interactuar con la microbiota normalmente presente en el suelo, por lo que no desarrollan los sistemas fisiológicos que le permiten soportar de mejor forma los diferentes tipos de estrés a los que se someterá al establecerse en campo. Pensando en esto, diversos trabajos se han enfocado al empleo de microorganismos promotores del crecimiento de plantas (MPCP) durante esta fase. Hasta ahora los MPCP más empleados han sido las rizobacterias promotoras, el crecimiento de plantas y los hongos formadores de micorrizas arbusculares (Ovando-Medina et al., 2007; Russo et al., 2008; Vettori et al., 2010; Ruiz, Adriano, Ovando, Navarro y Salvador, 2011). Los resultados de estos trabajos han mostrado

que las plantas inoculadas tienen mejores características morfológicas y se adaptan mejor a las condiciones de campo.

Aunque la etapa de aclimatación proporciona vigor vegetativo y ayuda a desarrollar las raíces y rizomas de bananos micropropagados, Santos, Silva, Carvalho y Nascimento (2004) reconocen que pocos trabajos de investigación han estudiado los detalles de esta fase intermedia entre el laboratorio y el campo, por lo que hay carencia de información en cuanto al tipo de estructura física del invernadero, tamaño y forma de los recipientes a utilizar, las prácticas de manejo a emplear y los sustratos y sus componentes. En este último sentido Rodríguez y Ramírez (2006) evaluaron el empleo de mezclas de arena con cascarilla de arroz o con aserrín de coco en el desarrollo de plántulas tipo espada, seleccionadas en una plantación comercial. Los resultados de dicho trabajo muestran que la adición de materia orgánica mejoró las características de las plantas después de 12 semanas de estancia en el vivero. Por su parte, Domínguez, Sebben, da Silva, da Silva y Sanchez (2006) aplicaron fertilizante constituido por la combinación de fuentes minerales y orgánicas, en la fase de adaptación de plántulas de banano variedad "Nanicao". Las plantas fertilizadas con la mezcla orgánico-mineral tuvieron mejor desarrollo después de 65 días de cultivo.

Por otro lado, la materia orgánica procesada (compost) es una alternativa para sustituir la fertilización inorgánica (López, Cabrera, Madejón, Sancho y Álvarez, 2008). Independientemente de que la composición química y su efecto en el suelo varía según procedencia, edad, manejo y contenido de humedad, su influencia sobre la fertilidad de los suelos, el crecimiento de las plantas y el control de microorganismos productores de enfermedades en las plantas ha sido ampliamente demostrada (Romero, Ferrera-Cerrato, Almaraz-Suárez, Galvis-Spinola y Barois-Boullard, 2001). En este sentido, el compost redujo la incidencia de antracnosis y la mancha bacteriana en los frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum*) (Abbasi, Al-Dahmani, Sahin, Hoitink y Miller, 2002), en el pepino (*Cucumer sativa*) previno la pudrición en la

raíz (Zhang, Dick y Hoitink, 1996; Bonanomi, Antignani, Pane y Scala, 2007) y en lechuga (*Lactuca sativa*) controló efectivamente al nematodo agallador de la raíz (Gamliel y Stapleton, 1993; Bananomi et al., 2007). Por otro lado, se ha demostrado que la adición de compost al suelo modifica la comunidad microbiana. Inbar, Green, Hadar y Minz (2005) demostraron que la comunidad de estreptomicetos está afectada tanto por la cantidad de compost como por la proximidad a la raíz. De igual forma, Ofek, Hadar y Minz (2009) demostraron que las poblaciones de hongos y bacterias en la rizosfera de calabaza se incrementaron significativamente, mientras que Ibekwe et al. (2001) demostraron que la adición de compost aumentó la población microbiana con capacidad para degradar compuestos xenobioticos.

Así mismo, se ha demostrado que la adición de compost al suelo incrementa la cantidad de poros (>50 µm) y mejora la actividad de L-asparaginasa, arilsulfatasa, deshidrogenasa, fosfodiesterasa y fosfomonoesterasa alcalina (Giusquiani, Pagliai, Gigliotti, Businelli, y Benetti, 1995; García-Gil, Plaza, Soler-Rovira y Polo, 2000), mantiene más humedad, mejora la infiltración de agua, estabiliza la estructura y la conductividad eléctrica (Zheljazkov y Warman, 2004; Pathak, Kumar y Singh, 2012) y reduce la fitodisponibilidad de Cu, Zn, Mn, Pb (Cao y Ma, 2004; Nwachukwu y Pulford, 2009).

A pesar de las bondades del compost, éste no se ha empleado en el proceso de adaptación de plántulas micropropagadas de ningún tipo de vegetal, por lo que en el presente trabajo se evaluó el efecto del compost a base de desechos de banano como coadyuvante para la maduración de vitropiantas de banano clon "Gran Enano".

MATERIALES Y MÉTODOS

Material biológico

Se emplearon plantas de banano clon "Gran Enano" obtenidas por micropropagación, proporcionadas por la empresa AGROMOD, S.A.

Tratamientos

Se estableció un diseño completamente al azar con siete tratamientos (Cuadro 1) y 100

Cuadro 1. Tratamientos empleados en este trabajo

Tratamiento	Compost (%)	Suelo (%)
1	40	60
2	30	70
3	20	80
4	10	90
5	0	100
6*	0	100

* Tratamiento fertilizado con solución de Hewitt (1966).

plantas por tratamiento. Las plantas se sembraron en bolsas de polietileno con 2 kg de la mezcla correspondiente.

Suelo y compost utilizados

El suelo empleado en el estudio se extrajo de una plantación de banano y el compost se elaboró con residuos de banano (hojas, raquis, frutos, pseudotallos), estiércol fresco de ganado vacuno y cascabillo de café, en relación 1:1:1. Previo a su empleo el suelo se esterilizó por 2 h a 121 °C con vapor húmedo. En el Cuadro 2 se muestran los parámetros químicos de los diferentes sustratos de siembra (tratamientos) empleados.

Arreglo de las plantas en invernadero y muestreo

Las plantas se colocaron en un invernadero en un arreglo completamente al azar. Después de 14, 28, 42 y 56 días de sembradas, 10 plantas de cada tratamiento, tomadas al azar, fueron empleadas para los correspondientes análisis. Con excepción del Tratamiento 6, al cual se le adicionaron 10mL de solución de Hewitt (1966) en cada muestreo, durante el período de estudio no se emplearon fertilizantes químicos.

VARIABLES ANALIZADAS

A cada planta muestreada se le determinó: altura, número de hojas, perímetro del tallo (5 cm por encima del suelo), área de la tercera hoja, volumen de raíz, actividad de la enzima peroxidasa (Pox) en raíz y hoja (Kar y Mishra, 1976) y colonización de la raíz por hongos micorrízicos arbusculares (Phillips y Hayman, 1970; Giovannetti y Mosse, 1980). En el sustrato de acondicionamiento se determinó: actividad de esterases (Kokalis-Burelle, Rodríguez-Kabana, Weaver, King, 1994), actividad de invertasas (Bailey, Brely y Poutanen, 1992), nitrógeno total (método de Kjeldahl), nitratos [Cardy NO₃-Nitrate Meter (Horiba)], fósforo soluble (método de Bray y Cruz, AS-11) y potasio [Cardy K⁺ Meter (Horiba)] en muestras complejas formadas con ≈ 100 g de los sustratos de 10 plantas de cada tratamiento y analizadas por triplicado. La actividad de las enzimas esterases e isomerasas se reportó en unidades catalíticas (katal g⁻¹). La actividad de Pox se reportó como unidades (U g⁻¹).

Análisis de resultados

Los resultados se sometieron al análisis de varianza y comparación de medias de Fisher ($\alpha=0.05$) con el programa estadístico Infostat Profesional versión 2011.

RESULTADOS

Altura de planta

La altura de las plantas fue significativamente afectada por la composición del sustrato de siembra (Cuadro 3). A los 56 días después de la siembra, las plantas aclimatadas en sustrato con 10 y 20% de compost fueron las de

Cuadro 2. Características fisicoquímicas de los diferentes sustratos de siembra (tratamientos) empleados en este estudio

Tratamiento	pH	Conductividad eléctrica (mS cm ⁻¹)	NO ₃ ⁻ (mg kg ⁻¹)*	K ⁺ (mg kg ⁻¹)*	Materia orgánica (%)*	Nitrógeno total (%)*	Fósforo soluble (mg kg ⁻¹)*
1	7.48	3.38	516.66	186.66	7.91	0.61	5.38
2	7.45	2.36	490.00	153.33	6.89	0.49	3.75
3	7.33	1.60	403.33	116.66	4.47	0.44	3.50
4	6.96	1.17	160.00	83.00	3.06	0.37	3.18
5	6.04	0.43	116.66	25.66	2.55	0.26	2.10
6	6.03	0.42	113.33	25.33	2.55	0.26	2.10

Valores promedio de seis repeticiones. *Valores en peso seco.

Cuadro 3. Parámetros morfológicos y bioquímicos de vitroplantas de banano clon "Gran Enano" aclimatadas por 56 días en sustrato con diferentes proporciones de compost

P	Altura (cm)	Perímetro (cm)	Hojas (cantidad)	Área 3ª hoja (cm ²)	Volumen de raíz (cm ³)	Pox Hojas (U g ⁻¹)	Pox Raíz (U g ⁻¹)	HMA (%)
0	22.14 C	14.38 D	7.5 D	262.3 C	15.4 AB	288.8 A	208.5 B	1.7 C
0*	22.67 C	15.90 C	7.7 CD	304.9 A	14.8 B	274.4 A	214.0 B	1.5 C
10	26.48 A	17.46 AB	8.6 A	276.6 B	15.9 A	98.5 D	163.3 D	12-3 B
20	24.24 B	18.31 A	8.5 AB	263.8 C	15.3 AB	179.2 C	168.4 D	15.3 A
30	20.39 D	16.71 BC	8.1 BC	200.1 D	12.4 C	237.9 B	179.2 C	12.6 B
40	16.92BE	15.99 C	8.0 C	121.6 E	11.9 C	288.2 A	250.5 A	1.0 C
EE	0.25	0.31	0.17	3.93	0.34	5.68	3.34	0.28
DMS	0.70112	0.89	0.49	11.15	0.96	16.11	9.36	0.79
p	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

P = porcentaje de compost en el sustrato de siembra; * = fertilizado con solución de Hewitt; Pox = peroxidasa; U = unidades de actividad enzimática; HMA = hongos micorrízicos arbusculares en la raíz; EE = error estándar; DMS = diferencia mínima significativa; p = valor de p. Valores con letras iguales no son significativamente diferentes empleando la prueba de Fisher a $p < 0.05$.

mayor altura (25.36 cm en promedio) y las de menor altura las aclimatadas en sustrato con 50% de compost. Las plantas aclimatadas en 10 y 20% de compost fueron, en promedio, 13% más altas que las aclimatadas en suelo o en suelo con fertilización química (Cuadro 3). Por su parte, las plantas aclimatadas en sustrato con 40% de compost fueron 24% más pequeñas respecto a las aclimatadas en suelo o en suelo con fertilización química.

Perímetro del pseudotallo

El perímetro del pseudotallo de las plantas aclimatadas en los sustratos con distinta proporción de compost fue entre 11.2 y 27.3% mayor que el de las plantas acondicionadas en suelo (Cuadro 3). Por su parte, el perímetro de las plantas acondicionadas en suelo adicionado con fertilizante químico fue 15.2% menor que el de las plantas acondicionadas en sustrato adicionado con 20% de compost. Las diferencias fueron significativas.

Cantidad de hojas

La cantidad de hojas de las plantas acondicionadas por 56 días en sustrato adicionado con diferentes proporciones de compost tuvieron en promedio 8.3 hojas funcionales, mientras que las acondicionadas en suelo tuvieron en promedio 7.6 hojas (Cuadro 3).

Área de la 3ª hoja

El área de la tercera hoja de las plantas acondicionadas en sustrato con diferentes propor-

ciones de compost disminuyó conforme este componente se incrementó, y fue significativamente menor respecto al área de esa misma hoja de las plantas acondicionadas en suelo adicionado con fertilizante químico (Cuadro 3). Respecto a las plantas acondicionadas en suelo, el área de la tercera hoja de dichas plantas fue 5.5% menor a las acondicionadas en sustrato con 10% de compost, y similar a las acondicionadas con 20% de compost.

Volumen de raíz

El volumen de raíz de las plantas acondicionadas en sustrato con 10 y 20% de compost fue estadísticamente similar al de las plantas acondicionadas en suelo (Cuadro 3). Por su parte, el volumen de raíz de las plantas acondicionadas en suelo adicionado con fertilizante químico fue similar al de las plantas acondicionadas en sustrato con 20% de compost y 5.7% menor que el de las plantas acondicionadas en suelo o en suelo con 10% de compost. Así mismo, las plantas acondicionadas en suelo con compost al 30 y 40% tuvieron 21.8% menos raíz que las plantas acondicionadas en suelo o en suelo adicionado con 10 y 20% de compost.

Actividad de Pox

Conforme se incrementó la cantidad de compost en el sustrato de acondicionamiento la actividad de Pox de la raíz y de las hojas, también se incrementó (Cuadro 3). La mayor actividad de Pox de las hojas se encontró en las plantas acondicionadas en sustrato con 40% de com-

post y fue similar a la encontrada en las plantas acondicionadas en suelo o suelo adicionado con fertilizante químico. En raíz, la mayor actividad de Pox se encontró en las plantas acondicionadas en sustrato con 40% de compost. Las plantas desarrolladas en sustrato con 10 y 20% de compost tuvieron, respectivamente, 2.9 y 1.6 veces menos actividad de Pox en la raíz en relación con las plantas que expresaron la mayor actividad. Por otro lado, en la raíz de las plantas acondicionadas en 10 y 20% de compost la actividad de Pox fue 1.5 veces menor respecto a la encontrada en las plantas acondicionadas en sustrato con 40% de compost.

Colonización de la raíz con HMA

El nivel de colonización por HMA de las raíces de las plantas acondicionadas en sustrato con 10, 20 y 30% de compost fue de similar magnitud, siendo las acondicionadas con 20% de compost las que presentaron la mayor colonización (Cuadro 3). Así mismo, las plantas aclimatadas en sustrato con 40% de compost, en suelo y en suelo con fertilizante químico tuvieron, en promedio, 10.9 veces menos HMA respecto a lo encontrado en las plantas acondicionadas en sustrato con 20% de compost.

Actividad de esterasas e isomerasas en el sustrato de acondicionamiento

La actividad de las enzimas esterasas e isomerasas en el sustrato de aclimatación se incrementó conforme se aumentó el porcentaje de compost y conforme transcurrió el tiempo de aclimatación (Cuadro 4). Las diferencias observadas fueron significativas.

A los 56 d de aclimatación, en todos los tratamientos la actividad de esterasas duplicó el valor observado a los 14 d, mientras que la actividad de invertasas tetraplicó el valor inicial. En general, no se encontraron diferencias en la actividad de las enzimas estudiadas entre los sustratos de acondicionamiento a base de suelo y siempre fueron significativamente menores que los sustratos con compost. En estos últimos, las dos actividades enzimáticas estudiadas fueron hasta 10 veces mayores. De igual manera, a los 56 días en los sustratos con diferentes concentraciones de compost se

Cuadro 4. Actividad de esterasas e invertasas en los sustratos de acondicionamiento de las vitroplantas de banano clon "Gran Enano"

P	Días de aclimatación			
	14	28	42	56
	Esterasas (nktal kg _{sustrato} ⁻¹)			
0	13.59 D	17.37 C	24.48 E	29.44 E
0*	20.92 D	24.04 C	27.41 E	33.77 E
10	70.43 C	94.50 B	119.77 D	135.06 D
20	107.62 B	130.88 B	173.29 C	214.45 C
30	146.32 A	200.92 A	226.47 B	281.35 B
40	150.48 A	228.32 A	256.26 A	308.02 A
DMS	12.3	48.25	12.00	14.41
EE	4.0	14.04	3.09	4.68
P	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
	Invertasas (nktal kg _{sustrato} ⁻¹)			
0	7.38 C	10.69 D	19.69 C	27.55 F
0*	7.96 C	13.79 D	21.59 C	29.77 D
10	45.47B	77.37 C	156.60 B	233.98 C
20	47.43 B	81.60 C	167.97 B	250.03 BC
30	47.89 B	91.72 B	189.48 A	272.09 A
40	61.43 A	106.80 A	189.77 A	267.02 AB
DMS	7.4	10.0	13.3	17.2
EE	2.4	3.2	4.31	5.57
p	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

P = porcentaje de compost en el sustrato de aclimatación. *fertilizado con solución de Hewitt (966), DMS = diferencia mínima significativa, EE = error estándar, p = valor de p.

observó similar actividad de isomerasas (de 233 a 267 nktal kg_{sustrato}⁻¹), situación no observada en la actividad de esterasas.

DISCUSIÓN

Al igual que lo reportado previamente (Contreras, Paolini, y Rivero, 2005; Millaleo, Montecinos, Rubio, Contreras y Borie, 2006; Pérez-Piqueres, Edel-Hermann, Alabouvette y Steinberg, 2006), todos los parámetros fisicoquímicos del suelo se incrementaron con la adición de composta (Cuadro 2). La naturaleza de la materia prima empleada en la fabricación del compost está relacionada con las propiedades fisicoquímicas de ésta y con los cambios que puede ejercer sobre el suelo. En el caso particular de este trabajo la materia prima empleada para la fabricación del compost estuvo constituida mayoritariamente por residuos (pinzote) de una plantación de banano, los cuales contienen alta concentración de K⁺, por lo que no fue

extraño encontrar alto contenido de este elemento en las distintas mezclas suelo/compost. Por otro lado, al aumentar el contenido de K^+ la conductividad eléctrica de las distintas mezclas se incrementó de forma proporcional. Por otra parte, el contenido de fósforo, nitrógeno y materia orgánica en las mezclas suelo (compost) y en el suelo (sustratos de siembra), fue suficiente para cubrir las necesidades de las plántulas de banano y el pH de los sustratos de siembra estuvo dentro del rango donde se desarrolla adecuadamente dicha planta (Soto, 1991). A pesar de lo anterior, únicamente en los sustratos de siembra que tuvieron 10 y 20% de compost se observó mejor desarrollo de las plántulas que en el sustrato constituido exclusivamente de suelo e incluso que en el tratamiento fertilizado. En el resto de los sustratos de siembra no sólo no se observaron los beneficios del empleo de compost, sino que mostraron menor desarrollo morfológico (Cuadro 3).

El efecto inhibitor del compost en el desarrollo morfológico de las plántulas de banano pudo deberse a su alto contenido de sales (CE desde 2.36 a 3.38 $mS\ cm^{-1}$), como fue propuesto por Simon, Singh y Weil (2005) y se ha demostrado en jitomate (Goykovic-Cortes y Saavedra, 2007), tuna (Franco-Salazar y Vélez, 2007) y alfalfa (Bonadeo, Hampp, Bongiovani, Selva y Odorizzi, 2006), o a un efecto fitotóxico como se ha de-

mostrado para otros residuos orgánicos (Rojas, Orellana, Sotomayor y Vareno, 2005). En un ambiente salino las plantas son afectadas en dos formas: el efecto por estrés hídrico impuesto por la disminución del potencial osmótico del medio de enraizamiento y el efecto tóxico de los iones como resultado del alto contenido de solutos (Lenner, 1985). Se ha reportado que los efectos negativos de las sales son evitados por las plantas tanto por la restricción de la absorción de iones en los tallos como por la regulación osmótica a través de la absorción de iones, como el K^+ , que permiten ajustar a las altas concentraciones de sales los tejidos verdes (Lenner, Nissin, Frdman y Goloubinoff, 1994; Clipson, Tomas, Flowers y Wyn, 1985). Aunque en este estudio no se determinó el contenido de sales en las plantas de banano, al finalizar el trabajo se encontraron 96.7, 76.7, 66.3, 52.0, 21.4 y 20.3 $mg\ de\ K^+\ kg_{sustrato\ de\ siembra}^{-1}$ para los Tratamientos de 40, 30, 20, 10, 0 y 0% de compost, respectivamente. Lo anterior implica de forma indirecta que las plantas de los tratamientos con mayor contenido de compost fijaron más K^+ en sus tejidos (Figura 1). En este sentido, Cayuela, Estañ, Parra, Caro y Boltarin, (2001) y Gorham y Wyn (1983), reportaron que las concentraciones de K^+ en las hojas de *Lycopersicon esculentum* y *Suaeda maritima*, respectivamente, aumentaron en la medida en que la concentración externa de sales se incrementó.

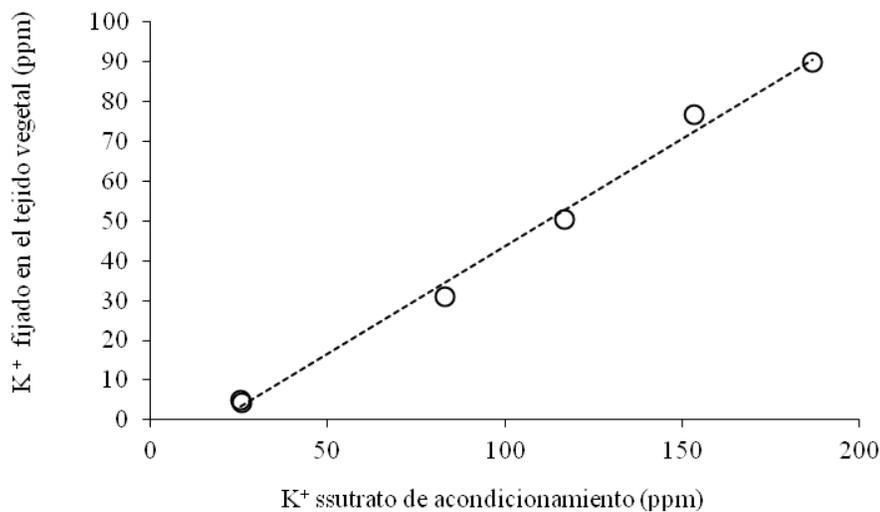


Figura 1. Relación entre el K^+ presente en el sustrato de siembra y el K^+ fijado en el tejido de plantas de banano clon "Gran Enano". La relación se obtuvo por sustracción de la concentración de K^+ residual a la concentración de K^+ inicial en los distintos sustratos de siembra (T_n) empleados en este trabajo. La relación fue lineal ($y = 0.5164x - 8.7319$; $R^2 = 0.9913$).

Un indicativo más del estrés al que fueron sometidas las plantas en los sustratos de siembra con concentración de compost mayor al 20%, fue la actividad de las enzimas responsables de eliminar las moléculas reactivas de oxígeno (ERO). Aunque las ERO normalmente son producidas durante los procesos de respiración y fotosíntesis de las plantas, ante cualquier situación de estrés su concentración se incrementa. Para eliminar estas peligrosas moléculas y evitar las reacciones de oxidación de moléculas tan importantes como las proteínas y los cromosomas, las plantas aumentan la síntesis de las enzimas involucradas en su degradación. En este estudio se encontró que la menor actividad enzimática de Pox se tuvo en las plantas de los tratamientos con 10 y 20% de compost. La actividad de esta enzima se incrementó conforme a la concentración de compost, alcanzando valores similares al tratamiento sin compost. De lo anteriormente expuesto se puede inferir que el empleo de 10 o 20% de compost en el sustrato de siembra, generó un ambiente menos agresivo para las plántulas de bananos. Como se sabe, la adición de compost al suelo no sólo provee a éste de nutrimentos accesibles para las plantas, sino que también mejora sus propiedades físicas (porosidad, densidad aparente, capacidad de retención de agua, estabilidad de los agregados, entre otros). Por lo anterior, las plantas se encuentran en un ambiente menos agresivo reflejándose en una menor actividad de las enzimas responsables de eliminar los ERO.

Por otra parte, la disminución en la colonización de la raíz por HMA observada en los tratamientos con más de 30% de compost, aporta otra evidencia al hecho de que bajo estas condiciones, en lugar de ser el compost un coadyuvante para mejorar el desarrollo vegetal, se comporta como un material inhibitor. Sin embargo, en los tratamientos con 10 y 20% de compost los efectos positivos fueron claros, es decir se estimuló la relación planta-HMA, como también lo demostraron Millaleo et al. (2006), quienes trabajaron con la adición de compost sobre la colonización radical, micelio y esporas en trigo, frijol y pasto.

Finalmente, el hecho de haber encontrado que la actividad de las enzimas indicadoras de actividad microbiana se incrementó conforme

a la concentración de compost en el sustrato de siembra, confirmó que la adición de materia orgánica estimula la actividad de la microbiota, como previamente se ha reportado (Pérez-Piqueres, 2006; Acosta y Paolini, 2005; Contreras et al., 2005), aunque esta mejora biológica no contribuyó a la mejora del desarrollo vegetal.

CONCLUSIONES

La adición de compost al suelo puede funcionar como coadyuvante del desarrollo de plántulas de banano micropropagadas siempre y cuando se emplee en una relación no mayor al 20%.

Bajo la condición anterior, las plántulas presentan mejores características morfológicas, comparadas con las plántulas que se desarrollan exclusivamente en suelo.

El efecto inhibitor o de fototoxicidad observado en los sustratos de siembra con composta en proporción igual o superior al 30% estuvo correlacionado con el contenido de sales (K^+).

REFERENCIAS

- Acosta, Y. y Paolini, P. (2005). Actividad de la enzima deshidrogenasa en un suelo calciorthids enmendado con residuos orgánicos. *Agronomía Tropical*. 55(2): 217-232.
- Abbasi, P.A.; Al-Dahmani, J.; Sahin, F.; Hoitink, H.A.J. and Miller, S.A. (2002). Effect of compost amendments on disease severity and yield of tomato in conventional and organic production systems. *Plant Disease Journal*. 86: 156-161.
- Bailey, M.J.; Brely, P. and Poutanen, K. (1992). Interlaboratory testing of methods for assay of xylanase activity. *Journal of Biotechnology*. 23(3): 257-270.
- Bonadeo, E.; Hampp, E.R.; Bongiovani, M.D.; Selva, I. y Odorizzi, A. (2006). Relaciones entre propiedades físicas y químicas del suelo y raíces de alfalfa (*Medicago sativa* L.) afectada por "manchoneo". *Ciencia del Suelo*. 24(2): 101-107.
- Bonanomi, G.; Antignani, V.; Pane, C. and Scala, F. (2007). Suppression of soilborne fungal diseases with organic amendments. *Journal of Plant Pathology*. 89 (3): 311-324.
- Cao, X. and Ma, L.Q. (2004). Effects of compost and phosphate on plant arsenic accumulation from soils near pressure-treated wood. *Environmental Pollution* 132: 435-442.
- Cayuela, E.; Estañ, M.T.; Parra, M.; Caro, M. and Boltarin, M. (2001). NaCl pre-treatment at the seeding stage enhances fruit yields of tomato plants irrigated with SALT water. *Plant Soil* 230: 231-238.
- Clipson, J.W.; Tomas, A.D.; Flowers, T.J. and Wyn R.G. (1985). Salt tolerance in the alphyte *Suaeda maritima* L. *Dunn. Planta*. 165: 392-396.
- Contreras, B.F.; Paolini, J. y Rivero, C. (2005). Efecto de la adición de enmiendas orgánicas sobre la actividad de las enzimas de la fosfomonoesterasa ácida y arilsulfatasa en suelos del municipio Rivas Dávila (estado Mérida). *Revista de la Facultad de Agronomía*. (Maracay) 31:53-66.

- Domínguez, J.; Sebben, G.; da Silva, W.; da Silva, E. y Sanchez, R. (2006). Efeito da aplicação de fertilizante organo-mineral fluido na aclimação de mudas de bananeiras micropropagadas. Memórias de la XVII reunión de la ACORBAT. 15-20 de octubre. Joinville, Santa Catarina, Brasil. 624-628.
- Franco-Salazar, V.A. y Vélez, J.A. (2007). Respuestas de la tuna (*Opuntia ficus-indica* (L) Mill.) al NaCl. INCI. 32 (2): 125-130.
- Gamliel, A. and Stapleton, J.J. (1993). Effect of chicken compost or ammonium phosphate and solarization on pathogen control, rhizosphere microorganisms, and lettuce growth. *Plant Disease*. 77(9): 886-891.
- García-Gil, J.C.; Plaza, C.; Soler-Rovira, P. and Polo A. (2000). Long-term effects of municipal solid waste compost application on soil enzyme activities and microbial biomass. *Soil Biology & Biochemistry*. 32: 1907-1913
- Giovanetti, M. and Mosse, B. (1980). An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist*. 84: 489-500.
- Giusquiani, P.L.; Pagliai, M.; Gigliotti, G.; Businelli, D. and Benetti, A. (1995). Urban waste compost: effects on physical, chemical and biochemical soil properties. *Journal of Environmental Quality* 24, 175-182.
- Gorham, J. and Wyn, R.G. (1983). Solute distribution in *Suaeda maritima*. *Planta*. 157: 344-349.
- Goykovic-Cortes, V. y Saavedra, G. (2007). Algunos efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y prácticas agronómicas de su manejo. *IDESIA*. 25 (3): 47-58.
- Hewitt, E.J. (1966). Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition. Technical Communication No. 22 (2nd ed.). Commonwealth Bureau of Horticulture and Plantation Crops East Malling, Maidstone, Kent. Commonwealth Agricultural Bureaux.
- Inbar, E.; Green, S.J.; Hadar, Y. and Minz, D. (2005). Competing factors of compost concentration and proximity to root affect the distribution of *Streptomyces*. *Microbial Ecology*. 50:73-81.
- Ibekwe, A.M.; Papiernik, S.K.; Gan, J.; Yates, S.R.; Crowley, D.E. and Yang, C.H. (2001). Microcosm enrichment of 1,3-dichloropropene-degrading soil microbial communities in a compost-amended soil. *Journal of Applied Microbiology*. 91, 668-676.
- Kar, M. and Mishra, D. (1976). Catalase, peroxidase and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. *Plant Physiology*. 57: 315-319.
- Kokalis-Burelle, N.; Rodríguez-Kabana, R.; Weaver, C.F. and King, P.F. (1994). Evaluation of powdered pine bark for control of *Meloidogyne arenaria* and *Heterodera glycines* on soybean. *Plant and Soil*. 162: 169-175.
- Lenner, H. (1985). Adaptation to salinity at the plant cell level. *Plant and Soil*. 89: 3-14.
- Lenner, H.; Nissin, G.; Frdman, Y. and Goloubinoff, P. (1994). The response of plants to salinity: From turgor adjustments to genome modifications. *Israel Journal Plant Sciences*. 42: 285-300.
- López, R.; Cabrera, F.; Madejón, E.; Sancho, F. and Álvarez, J.M. (2008). Urban compost as an alternative for peat in forestry nursery growing media. *Dynamic Soil, Dynamic Plant*. 2: 60-66.
- Millaleo, M.R.; Montecinos, U.C.; Rubio, H.R.; Contreras, N.A. y Borie, B.B. (2006). Efecto de la adición de compost sobre propágulos micorrízicos arbusculares en un suelo volcánico del centro sur de Chile. *Revista Chilena de Suelo y Nutrición Vegetal*. 6(3): 39-52.
- Nwachukwu, O.I. and Pulford, I.D. (2009). Soil metal immobilization and ryegrass uptake of lead, copper and zinc as affected by application of organic materials as soil amendments in a short-term green house trial. *Soil Use and Management*. 25: 159-167.
- Ofek, M.; Hadar, Y. and Minz, D. (2009). Comparison of effects of compost amendment and of single-strain inoculation on root bacterial communities of young cucumber seedlings. *Applied and Environmental Microbiology*. 75: 6441-6450.
- Ovando-Medina, I.; Adriano-Anaya, L.; Chávez-Aguilar, A.; Oliva-Llaven, M.A.; Ayora-Talavera, T.; Luc Dendooven; Gutiérrez-Miceli, F.A and Salvador-Figueroa, M. (2007). Ex vitro survival and early growth of *Alpinia purpurata* plantlets inoculated with *Azotobacter* and *Azospirillum*. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 10(19): 3454-3457
- Pathak, A.K.; Kumar, V. and Singh, M.M. (2012). Composting of municipal solid waste (viz. Kitchen waste): A tool for improving soil quality in Bundelkhand region. *International Journal of Current Research*. 4(8): 6-11.
- Pérez-Piqueres, A.; Edel-Hermann, V.; Alabouvette, C. and Steinberg, C. (2006). Response of soil microbial communities to compost amendments. *Soil Biology and Biochemistry*. 38: 460-470.
- Phillips, J.M. and Hayman, D. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*. 55: 158-161.
- Rodríguez, G. y Ramírez, H. (2006). Efecto de diferentes sustratos y dosis de nitrógeno sobre el desarrollo de plantas de banano (*Musa AAA*) en etapa de vivero. Memórias de la XVII reunión de la ACORBAT. 15-20 de octubre. Joinville, Santa Catarina, Brasil, pp. 605-615.
- Rojas, C.; Orellana, R.; Sotomayor, E. y Vareno, M.T. (2005). Fitotoxicidad de extractos de residuos orgánicos y su efecto sobre el índice de germinación de rabanito y pepino. *Revista de Ciencias del Suelo y Nutrición Vegetal*. 5(2): 61-66.
- Romero, S.S.; Ferrera-Cerrato, R.; Almaraz-Suárez, J.; Galvis-Spinola, A. y Barois-Boullard, I. (2001). Dinámica y relaciones de microorganismos, C-orgánico y N-total durante el composteo y vermicomposteo. *Agrociencia* 35: 377-384.
- Ruiz, S.; Adriano, L.; Ovando, I.; Navarro, C. and Salvador, M. (2011). Biofertilization of micropropagated *Agave tequilana*: Effect on plant growth and production of hydrolytic enzymes. *African Journal of Biotechnology*. 10(47): 9623-9630.
- Russo, A.; Vettori, L.; Felici, C.; Fiaschi, G.; Morini, S. and Toffanin, A. (2008). Enhanced micropropagation response and biocontrol effect of *Azospirillum* Sp245 on *Prunus cerasifera* L. clone Mr.S 2/5 plants. *Journal of Biotechnology*. 134: 312-319.
- Santos, J.; Silva, C.; Carvalho, J.; Nascimento, T. (2004). Efeito do calcário dolomítico e nitrato de potássio no desenvolvimento inicial de mudas da bananeira "prata-anã" (AAB) provenientes de cultura in vitro. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 26(1): 150-154.
- Simon, O.; Singh, B.K. y Weil, M.J. (2005). Elaboración y caracterización de lignosulfonatos amonificados a partir de pinzote de banano y aserrín de laurel (*Cordia alliodora*) para utilizarse como fertilizante e liberación lenta. *Tierra Tropical*. 1(1): 21-26.
- Soto, M. (1991). Bananos: Cultivo y comercialización. 3ª ed. Ed. Lil, S.A. Tibás, Costa Rica. 619 p.
- Vettori, L.; Russo, A.; Felici, C.; Fiaschi, G.; Morini, S. and Toffanin, A. (2010). Improving micropropagation: effect of *Azospirillum brasilense* Sp245 on acclimatization of rootstocks of fruit tree. *Journal of Plant Interactions*, 5(4): 249-259.
- Zhang, W.; Dick, W.A. and Hoitink, H.A.J. (1996). Compost-induced systemic acquired resistance in cucumber to *Pythium* root rot and anthracnose. *Phytopathology* 86: 1066-1070.
- Zheljzkov, V. and Warman, P.R. (2004). Source-separated municipal soil waste compost application to Swiss chard and basil. *Journal of Environmental Quality*. 33: 542-552.