

Caracterización química de lixiviados de pseudotallos y láminas foliares de plátano 'Hartón' en el estado Yaracuy

Chemical characterization of leachates pseudostems and leaf blades of 'Harton' plantain in Yaracuy state

Giomar Blanco^{1*}, Blas Linares¹, Julitt Hernández¹, Anna Maselli², Amalia Rincón², Rogelio Ortega¹, Elena Medina¹, Livia Hernández¹ y Juan Morillo¹

¹⁻²Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) estado Yaracuy. ²Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA-CENIAP). Venezuela.

Correo electrónico: gblanco@inia.gob.ve, gioma@hotmail.com*

RESUMEN

La obtención de lixiviados efectivos contra enfermedades de interés, al igual que su potencial como estimuladores de crecimiento en musáceas, surge como alternativa para el aprovechamiento de restos de cosecha del plátano (*Musa* AAB). Para caracterizar químicamente los lixiviados de pseudotallos (PS) y láminas foliares (LH) de plátano 'Hartón', biomasa proveniente de dos localidades con diferente manejo, fue colocada en recipientes plásticos para su descomposición, bajo un diseño experimental completamente aleatorizado y arreglo factorial 2x2 (tipo de lixiviado y localidad) y tres repeticiones. Se determinó la concentración de proteínas, macro y microelementos, ácidos húmicos y fúlvicos, espectros de absorción de cada lixiviado comparados con los de reguladores de crecimiento y la presencia de metabolitos secundarios. Se encontró que independientemente de la localidad, los compuestos analizados estuvieron presentes en los lixiviados. La mayor concentración de proteínas se obtuvo en los lixiviados de LH, alcanzando valores de 128 µg ml⁻¹. El potasio fue el elemento más abundante en ambos extractos, representando el 77% de la composición de macroelementos. Solo se detectaron ácidos húmicos y fúlvicos en lixiviados de LH en concentraciones de 0,06 y 0,35%, respectivamente. Los máximos de absorción entre 220 y 250 nm obtenidos para los lixiviados, coincidieron con los de auxinas y citocininas. Los metabolitos secundarios observados en mayor intensidad fueron: flavonoides, alcaloides, ácidos carboxílicos, antraquinonas y fenoles. La presencia de proteínas, nutrientes, metabolitos secundarios y reguladores de crecimiento en los lixiviados estudiados, infieren propiedades para el control de enfermedades y la promoción del crecimiento en plantas.

Palabras clave: *Musa* AAB, metabolitos secundarios, nutrientes, proteínas, reguladores de crecimiento.

ABSTRACT

Leachate obtaining effective against diseases of interest, like its potential as growth stimulators in *Musa*, it emerges as an alternative to the use of crop residues bananas (*Musa* AAB). To chemically characterize the pseudostems and leaf blades leachate of 'Harton' plantain biomass from two locations with different management were placed in plastic containers for decomposition, under a completely randomized design and factorial arrangement 2x2 (type of leachate and locality) with three replications. Protein concentration, macro and microminerals, humic and fulvic acids, absorption spectra of each leachate, in comparison with the absorption spectra of growth regulators and the presence of secondary metabolites were determined. It was found that, regardless of the locality, the analyzed compounds were present in leachates. The highest concentration of protein was obtained in leaf blades, reaching values of 128 µg ml⁻¹. Potassium was the most abundant element in both extracts, representing 77% of the composition of macroelements. Only in leaf blades humic and fulvic acids were detected, at concentrations of 0.06 and 0.35%, respectively. The maxima absorptions obtained for leachates were between 220 and 250 nm, coinciding with auxin and cytokinin absorptions. The higher intensity secondary metabolites observed were flavonoids, alkaloids, carboxylic acids, phenols and anthraquinones. The presence of protein, nutrients, secondary metabolites and growth regulators in the plantain leachates had properties for disease control and promoting growth in plants.

Key words: *Musa* AAB, secondary metabolites, nutrients, proteins, growth regulators.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción de plátano, a nivel mundial, generan una gran cantidad de desechos orgánicos, provenientes de la cosecha y comercialización del rubro, tales como pseudotallos (PS), láminas foliares (LH) y restos de frutos o del racimo; los cuales son dejados en la misma plantación (Mazzeo *et al.*, 2010). Belalcázar *et al.* (1991) señalan que cuando se cosecha el racimo, solo se está utilizando del 20 al 30% de su biomasa.

Estos restos vegetales, a pesar de poseer grandes contenidos de nutrimentos (Hernández *et al.*, 2009), si se dejan en la plantación sin tratamiento, se convierten en hospederos de insectos plagas y enfermedades (Mazzeo *et al.*, 2010) como el gorgojo negro, el rayado del plátano (*Cosmopolites sordidus* Germán y *Metamasius hemipterus* L., respectivamente) y la sigatoka negra causada por el hongo *Mycosphaerella fijiensis* Morelet; además, dificulta las labores del cultivo (Hernández y Zamora, 2001).

Por lo anteriormente expuesto, se ha tomado interés en aprovechar estos residuos de cosecha a nivel industrial, con la obtención de harinas para consumo humano y animal (Mazzeo *et al.*, 2010; Hernández *et al.*, 2009), así como, almidones y papel (Mazzeo *et al.*, 2010). Mientras que en lo artesanal se utiliza la cepa del plátano para la elaboración de artesanías, muebles y postizos para el cabello (Hernández y Zamora, 2001). En el aprovechamiento directo, estos materiales son usados como fuente de alimento y para agua en la alimentación del ganado.

Estudios realizados por Garcés (2010) y Blanco (2010), señalan el uso de estos residuos en la obtención de extractos vegetales y lixiviados para el control de enfermedades y como promotores del crecimiento en el musáceas.

La composición de nutrimentos de estos extractos está asociada al efecto que los mismos ejercen sobre la planta (Garcés, 2010; Ortiz, 2009); sin embargo, es necesario profundizar sobre la detección de compuestos orgánicos tales como metabolitos secundarios, reguladores del crecimiento y proteínas que pudieran contribuir a explicar el efecto y determinar si la composición

varía cuando se usa material vegetal proveniente de localidades diferentes.

Este trabajo tiene como objetivo determinar la composición química de lixiviados de pseudotallos y láminas foliares de plátano 'Hartón' (*Musa* AAB) provenientes de dos localidades productoras del estado Yaracuy.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se llevó a cabo en el Laboratorio Integral Agropecuario del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), ubicado en el km 3, sector La Ermita, vía aeropuerto, municipio Cocorote, estado Yaracuy, en las coordenadas 10°17'29", latitud norte, 68°45'9,6" longitud oeste y altitud de 254 m.s.n.m.

Material vegetal

Se utilizaron PS y LH de plátano Hartón (*Musa* AAB) provenientes de dos localidades o zonas productoras del estado Yaracuy con diferente manejo del cultivo:

Localidad 1: Asentamiento Campesino Macagua-Jurimiquire, parroquia Farriar, municipio Veroes (10°25'4" LN y 68°37'46,61" LO), con manejo agronómico deficiente y poca o nula fertilización del cultivo.

Localidad 2: Sector San Javier, parroquia San Javier, municipio San Felipe (10°22'18" LN y 68°39'58" LO), con un manejo agronómico adecuado y fertilización con base a los análisis de suelo.

Obtención de los lixiviados

Para la obtención de los lixiviados, se utilizó el modelo diseñado por Linares (2009), el cual consiste en la descomposición de restos de cosecha de plátano, en recipientes plásticos con tapa y volumen de 40 litros, a los que se les adaptó una plumilla para la toma de muestras del extracto. En el fondo de cada recipiente, se colocaron 10 kg de grava de río, con una tela tipo malla en el orificio de la plumilla, para evitar su obstrucción (Figura 1).



Figura 1. Aspectos sobre la instalación del sistema de producción de lixiviados de pseudotallos y láminas foliares de plátano: a) recipientes de 40 litros con tapa y plumilla adaptada para la colecta de lixiviados; b) grava de río y malla en el fondo del recipiente; c y d) llenado de los recipientes con el material vegetal; e) agua agregada para garantizar la humedad en el proceso; f) vista de los recipientes ya instalados.

Se siguió un diseño experimental completamente aleatorizado con arreglo factorial 2x2, que corresponden a dos niveles de los factores: tipo de lixiviado (PS y LH) y localidad (localidad 1 y localidad 2), con tres repeticiones, lo que generó las siguientes combinaciones: 1) lixiviado de PS-localidad 1; 2) lixiviado de PS-localidad 2; 3) lixiviado de LH-localidad 1; 4) lixiviado de LH-localidad 2.

El ensayo fue repetido dos veces en el tiempo para evaluar la consistencia en la respuesta de las variables, lo que determinó dos ciclos de producción (ciclo 1 y ciclo 2).

La cantidad de materia fresca utilizada para la obtención de estos extractos fue de 10 kg en el caso de PS y 5,5 kg para LH, establecida por la máxima capacidad de recepción de los recipientes. Una vez colocado el material vegetal dentro de los envases se le agregó 1 litro de agua para garantizar la humedad necesaria para el inicio del proceso de descomposición. Los recipientes fueron tapados para prevenir la entrada de

contaminantes y permanecieron bajo condiciones ambientales con temperaturas promedio de 36 °C. Semanalmente fueron aireados, drenando el volumen del extracto obtenido y volviéndolo a regresar al recipiente; para determinar el tiempo de duración del proceso, se midió el volumen producido hasta obtener un valor constante, momento que fue considerado como el final de dicho proceso.

Se tomaron muestras semanales (hasta que el volumen de producción del extracto fue constante) para determinar la concentración de proteínas totales, aplicando la técnica de microensayos descrita por Bradford (1976), que consistió en pipetear en un tubo de ensayo por duplicado 100 µl del extracto y agregarle 1 ml del reactivo proteína de Bradford, cuya preparación consiste en disolver 100 mg de Coomassie Blue G250 en 50 ml de etanol al 95%, mezclarlo con 100 ml de ácido fosfórico al 85%, aforando a 1 litro con agua destilada y filtrarlo en papel Whatman N° 1, para ser utilizado inmediatamente.

Una vez adicionado el reactivo proteína, se midió la absorbancia a una $\lambda=595$ nm, utilizando un espectrofotómetro modelo BioMate 3 Marca Thermo Electron Corporation®. La concentración de proteínas se determinó a partir de una curva de calibración con suero de albúmina bovina, la cual se obtuvo pipeteando volúmenes por duplicado de 10, 20, 40, 60, 80 y 100 μl de una solución estándar de esta proteína de 100 $\mu\text{g ml}^{-1}$ y ajustando el volumen a 100 ml con agua destilada estéril. Luego se le agregó 1 ml del reactivo proteína antes mencionado y se midió a una $\lambda=595$ nm.

Con fines de identificar la presencia de los reguladores de crecimiento, se determinó el espectro de absorción a cada muestra de lixiviado obtenida semanalmente, utilizando un espectrofotómetro NanoDrop 1000 marca Thermo Scientific® y se comparó con los espectros de absorción determinadas para auxinas y citocininas. Durante el primer ciclo de producción de estos extractos vegetales se realizaron 13 muestreos identificados del 1 al 13 y durante el segundo ciclo se verificaron 9 muestreos identificados del 14 al 22.

Al final del proceso de descomposición se tomaron muestras de los lixiviados para ser llevadas al laboratorio de agua-suelo-planta del INIA Yaracuy para la determinación de su composición química (macro y microelementos, pH y conductividad eléctrica). Además, se determinaron los principales grupos de metabolitos secundarios presentes mediante cromatografía de papel (Marcano y Hasegawa, 2002).

Los análisis para determinar la concentración de ácidos húmicos y fúlvicos fueron realizados según el método de Walkley-Black (1934), en el Laboratorio comercial SEDICOMVET, C.A ubicado en Maracay, estado Aragua. Los datos obtenidos fueron analizados a través del uso del programa InfoStat® (2013e). Se realizó la prueba de normalidad de Wilk y Shapiro modificada y las pruebas de varianza y de diferencias de medias de Tukey, en los casos donde se detectó diferencias entre los tratamientos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La expresión descrita por la curva patrón utilizada para calcular la concentración de proteína fue la

siguiente: $Y=0,0037x+0,0438$, con $R^2=98,5$; donde Y = absorbancia y X = concentración de proteínas. Esta variable presentó un comportamiento fluctuante en el tiempo (Figura 2), detectándose diferencias altamente significativas ($P>0,01$) para la interacción tipo de lixiviado*localidad en cada muestreo realizado, para ambos ciclos.

La presencia de proteínas comenzó a detectarse en forma más temprana en el caso de los lixiviados provenientes de PS, comparados con los de LH, lo que pudiera reflejar que el inicio del proceso de descomposición de las LH es más tardío (seis semanas después), relacionado esto al carácter fibroso y de menor contenido de agua de las LH.

Durante las primeras semanas, la concentración de proteínas alcanzó los mayores valores en los lixiviados provenientes de PS de la localidad 1, donde el efecto de la localidad sobre esta variable está asociada al manejo del cultivo (poca o nula fertilización y poco deshoje fitosanitario), que refleja una menor intervención al ambiente y por tanto, una mayor diversidad y cantidad de microorganismos presentes en el filoplano del plátano (Urdaneta *et al.*, 2002).

Sin embargo, esta concentración de proteínas tanto en los lixiviados de PS de la localidad 1, como de la localidad 2, comienzan a disminuir en el tiempo, mientras que la tendencia es la de aumentar en los provenientes de LH, lo que pudiera estar asociado a lo tardío del proceso de descomposición en estos últimos extractos.

A pesar del retardo observado en el inicio de descomposición de las LH, al comparar los valores alcanzados por este tipo de lixiviado y el de PS, se puede apreciar que su concentración de proteínas llegó a superar los valores obtenidos para el caso de PS, independientemente de la localidad de procedencia, lo que era de esperarse debido a que en plátano las hojas tienen un mayor contenido de proteínas que los PS (Babatunde, 1991).

Estos resultados son de gran relevancia, considerando que las proteínas son fuente de aminoácidos, los cuales pueden tener un efecto directo sobre el metabolismo de la planta. Albuja *et al.* (2011) señalan que los aminoácidos libres agregados a la planta pueden ser incorporados inmediatamente al material proteínico y que por dicha razón, los biofertilizantes

a base de estos compuestos presentan grandes ventajas, entre las cuales está su efecto sobre la multiplicación celular y una acción positiva sobre la fertilidad del polen y la flor, aumentando las probabilidades productivas en los cultivos.

De igual manera, actúan como reguladores del transporte de microelementos, formando complejos con metales en forma de quelatos. La principal ventaja del uso de aminoácidos libres en la fertilización es que al ser absorbidos rápidamente

por la planta son utilizados inmediatamente, sin requerir mayores transformaciones (Albuja *et al.*, 2011).

Espectros de absorción de los lixiviados obtenidos

Los espectros de absorción de cada lixiviado (PS y LH) para las dos localidades (1 y 2) y en dos ciclos de producción, son presentados en las Figuras 3 y 4.

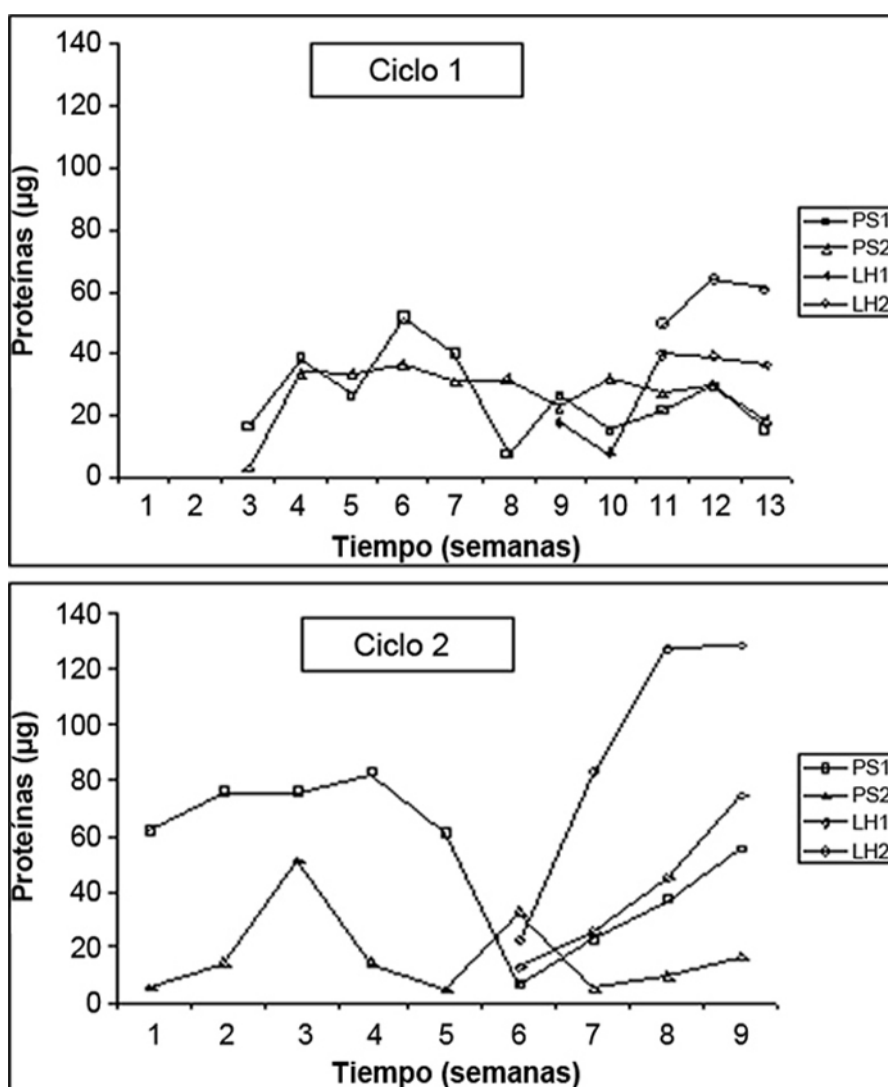


Figura 2. Concentración de proteínas totales ($\mu\text{g ml}^{-1}$) en lixiviados de pseudotallos (PS) y láminas foliares (LH) provenientes de dos localidades (1 y 2), durante dos ciclos de producción.

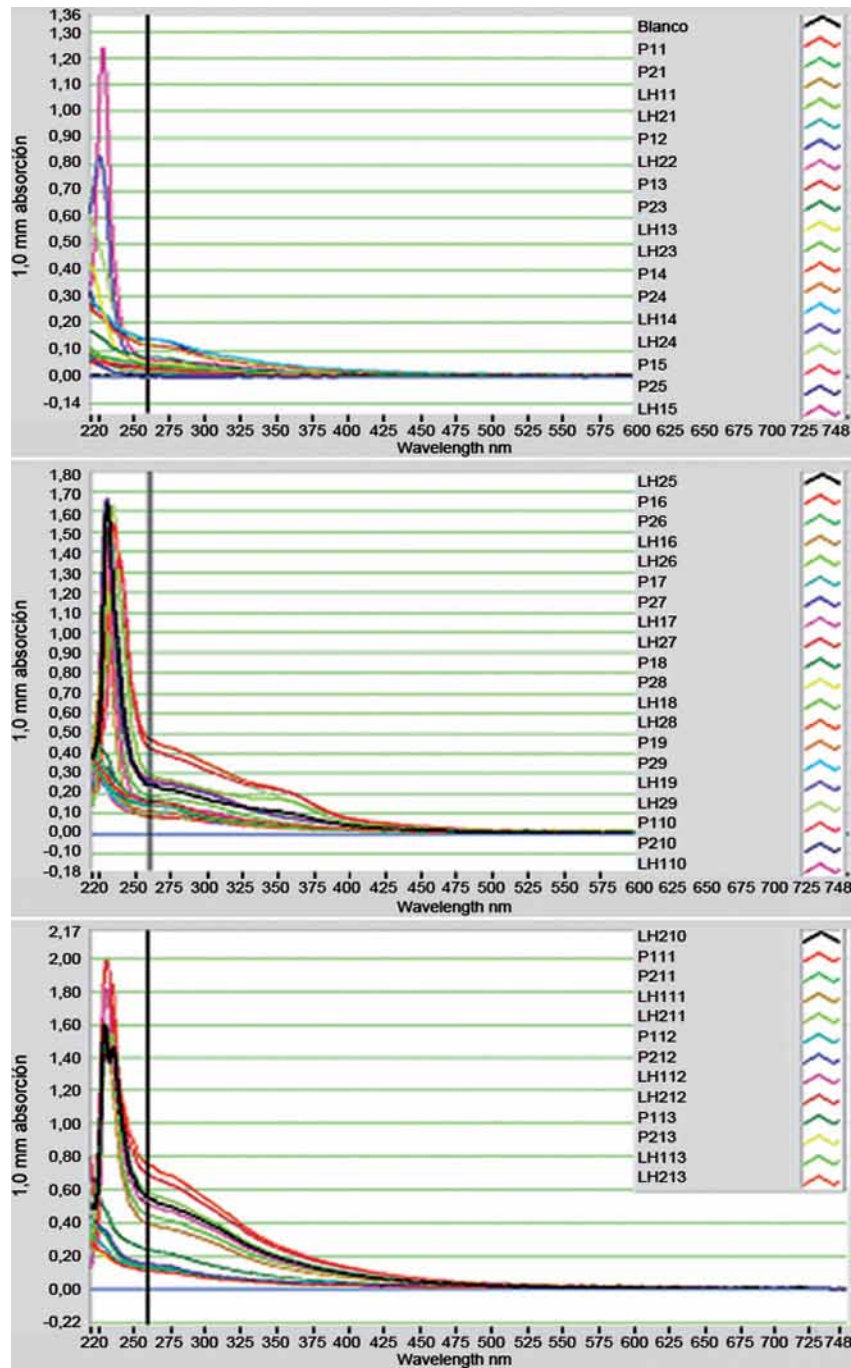


Figura 3. Espectros de absorción (absorbancia vs. longitud de onda, nm) de los compuestos presentes en los lixiviados de pseudotallos (P) y láminas foliares (LH) provenientes de dos localidades (1 y 2) colectados semanalmente durante el primer ciclo de producción de los mismos (del muestreo 1 al 13). La letra indica el tipo de lixiviado, el primer número la localidad y el segundo el número de muestreo.

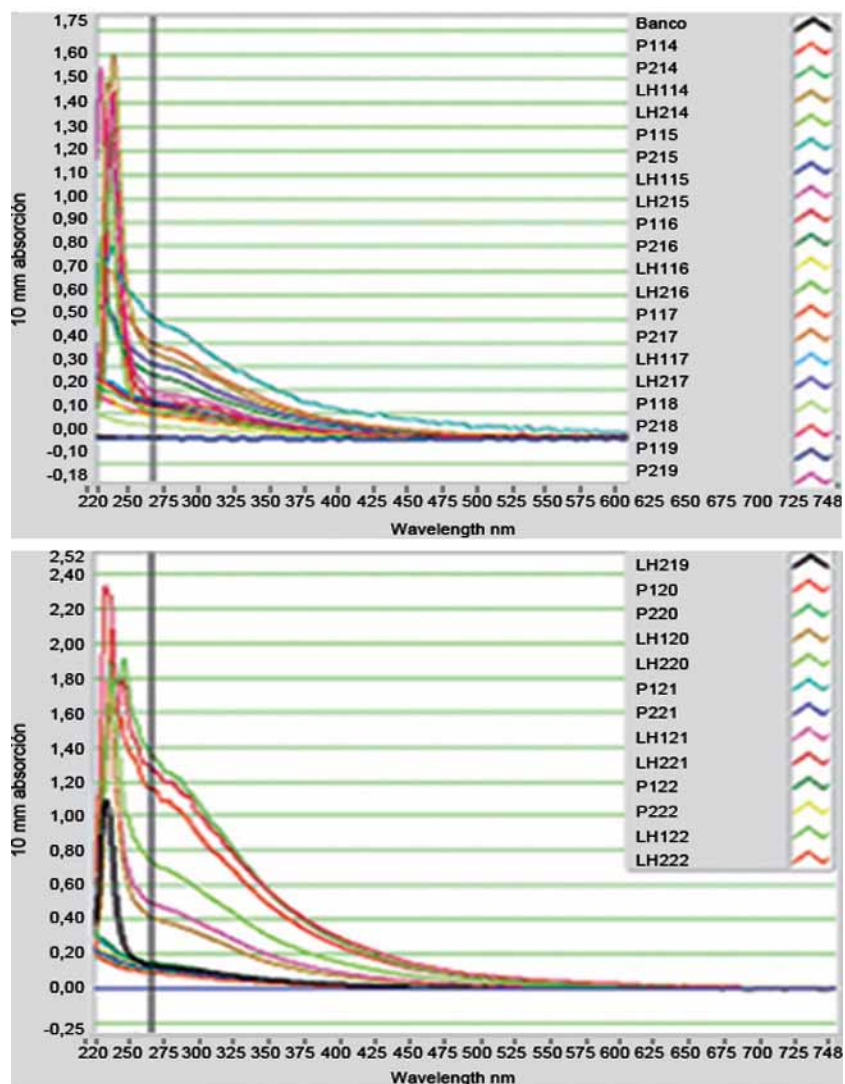


Figura 4. Espectros de absorción (absorbancia vs. longitud de onda, nm) de los compuestos presentes en los lixiviados de pseudotallos (P) y láminas foliares (LH) provenientes de dos localidades (1 y 2) colectados semanalmente durante el segundo ciclo de producción de los mismos (del muestreo 14 al 22). La letra indica el tipo de lixiviado, el primer número la localidad y el segundo el número de muestreo.

Los espectros mostraron un comportamiento muy similar, independientemente de la localidad de procedencia del material vegetal, describiendo picos de máxima absorción entre los 220 y 250 nm; correspondientes al rango del ultravioleta, coincidiendo con los rangos de máxima absorción reportados en la literatura para la mayoría de los metabolitos

secundarios (Ariza, 2012; Alonso-Calderón *et al.*, 2008; Arango-Acosta, 2008); luego se extienden hasta alcanzar valores menores de absorción en el rango del visible (400-700 nm), donde compuestos fenólicos y flavonoides pueden también absorber. Dicho comportamiento se observa en ambos ciclos de producción de estos extractos (Figuras 3 y 4).

Si se compara esta respuesta con los espectros de absorción de las auxinas: ácido indolacético (AIA) y ácido indolbutírico (AIB) y citocinina bencilaminopurina (Figura 5), se observa que estos reguladores de crecimiento presentan picos de absorción alrededor de los 230 y 280 nm (compuestos auxínicos) y los 220 y 275 nm (citocininas), que coincide con lo reportado por Flórez y D Aleixo (2008).

Esta similitud en el comportamiento de los espectros, pueden llevar a pensar en la posibilidad de que los lixiviados evaluados tengan en su contenido compuestos auxínicos y citocininas que podrían estar contribuyendo al efecto promotor de estos extractos sobre el crecimiento reportado por Blanco (2010) y Garcés (2010) en especies de musáceas comestibles.

Análisis químico, macro y microelementos

En los Cuadros 1 y 2, se representan los valores para las variables pH, conductividad eléctrica (CE) y contenido de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn) y manganeso (Mn). Observándose que tanto los lixiviados provenientes de PS como de LH, tienen un pH cercano a la neutralidad (Cuadro 1), lo que es recomendable porque los

niveles de pH favorece la disponibilidad de los nutrientes en el suelo (Ibañez, 2007).

Sin embargo, el análisis detectó diferencias altamente significativas ($P < 0,01$) entre los tipos de lixiviados en cuanto a la CE y la concentración de N y Mg, significativas ($0,01 < P < 0,05$) para la concentración de K y Ca.

En este sentido, el lixiviado de LH presentó mayores valores de CE, lo que indica una mayor concentración de sales comparado con el de PS, y que está asociado a la mayor cantidad de macro y microelementos encontrados en dicho extracto (Cuadros 1 y 2).

Por otra parte, las diferencias observadas entre lixiviados de PS y LH en cuanto a la concentración de los macroelementos N, Ca, K y Mg, pudieran asociarse al mayor contenido de estos reportados en la literatura para LH comparados con PS (Hernández *et al.*, 2009).

Es necesario resaltar la importancia de la presencia en la composición de estos lixiviados de macro y micronutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas, lo que hace viable su uso como biofertilizantes.

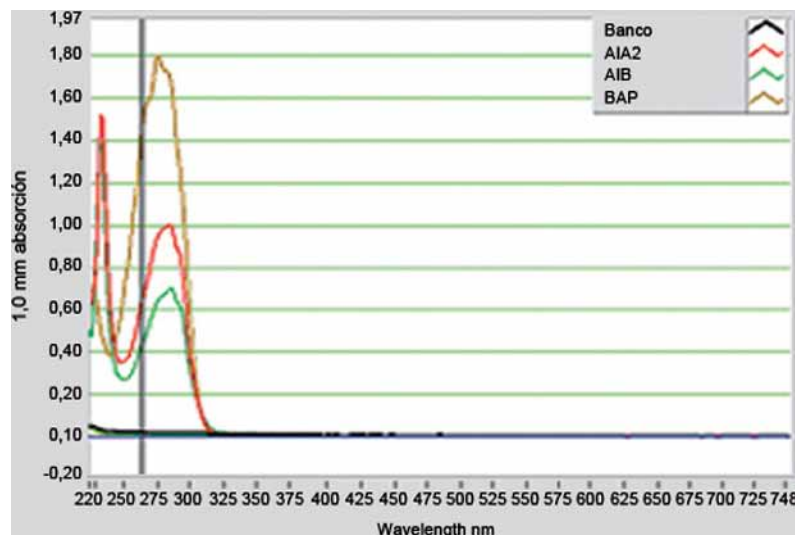


Figura 5. Espectros de absorción (absorbancia vs. longitud de onda, nm) de las auxinas: ácido indolacético (AIA) y ácido indolbutírico (AIB) y de una citocinina bencilaminopurina (BAP).

Cuadro 1. Análisis químico y macroelementos en los lixiviados de pseudotallo (PS) y láminas foliares (LH) provenientes de dos localidades (1 y 2).

| Análisis químico | Tipo de lixiviado | | Localidad | | CV (%) |
|-------------------|-------------------|-----------|-----------|---------|--------|
| | PS | LH | 1 | 2 | |
| pH | 7,90 | 7,90 | 7,87 | 7,93 | 3,12 |
| CE (dS/m a 25 °C) | 7,65 b** | 11,80 a** | 10,60 | 8,85 | 19,38 |
| N (%) | 0,01 b** | 0,02 a** | 0,02 | 0,01 | 54,43 |
| P (%) | 0,01 | 0,0033 | 0,01 | 0,0033 | 38,56 |
| K (%) | 0,17 b* | 0,24 a* | 0,21 | 0,20 | 23,85 |
| Ca (%) | 0,02 b* | 0,04 a* | 0,03 | 0,03 | 40,66 |
| Mg (%) | 0,01 b** | 0,02 a** | 0,02 a* | 0,01 b* | 37,50 |

Letras distintas indican diferencias significativas según prueba de medias Tukey ($P > 0,05$).

*= Significativa; **= Altamente significativa.

Cuadro 2. Microelementos en los lixiviados de pseudotallo (PS) y láminas foliares (LH) provenientes de dos localidades (1 y 2).

| Análisis químico | Tipo de lixiviado | | Localidad | | CV (%) |
|---------------------------|-------------------|------|-----------|------|--------|
| | PS | LH | 1 | 2 | |
| Fe (mg kg ⁻¹) | 4,63 | 3,73 | 4,63 | 3,73 | 53,84 |
| Cu (mg kg ⁻¹) | 0,24 | 0,27 | 0,24 | 0,27 | 49,75 |
| Zn (mg kg ⁻¹) | 0,30 | 0,41 | 0,34 | 0,37 | 57,45 |
| Mn (mg kg ⁻¹) | 1,12 | 2,74 | 3,15 | 2,71 | 41,76 |

CV= Coeficiente de variación.

En esta composición resalta el K como el macroelemento que se presenta en mayor cantidad, representando 77% comparado con el resto de los macroelementos en lixiviado de PS y 22% en LH. Esto coincide con lo señalado por Espinosa y Mite (2012) quienes reportan alto contenido de este elemento, generalmente, acumulado en esta especie.

En el caso del factor localidad, el análisis estadístico no detectó diferencias significativas para este factor, excepto para el elemento Mg, donde se observó que la localidad 1 presentó un nivel ligeramente mayor comparado con la localidad 2.

Esta diferencia puede ser atribuible al contenido de este elemento en el suelo.

En general, dada la similitud en el contenido de nutrientes observados en extractos de ambas localidades y dado que la diferencia entre las mismas es el manejo de la fertilización, se podría hipotetizar que el plátano es eficiente en extraer los nutrientes del suelo necesarios para su desarrollo. Al respecto, López *et al.* (2001) señalan que el banano (*Musa AAA*) se caracteriza por extraer grandes cantidades de nutrientes del suelo, lo cual está relacionado con su alta productividad.

Metabolitos secundarios

Los resultados de la determinación de metabolitos secundarios (saponinas, fenoles, flavonoides, alcaloides, ácidos carboxílicos, antraquinonas, terpenos y esteroides) en los lixiviados provenientes de PS y LH de plátano, se señalan en el Cuadro 3. Estos metabolitos, estuvieron presentes en ambos tipos de extractos vegetales independientemente de la localidad en los ciclos evaluados, excepto en el caso de saponinas que estuvo ausente para los extractos provenientes de PS.

Las saponinas son terpenos, y tienen la propiedad de formar espuma al agitar la solución. De su hidrólisis se obtienen carbohidratos y se les atribuye funciones antiinflamatorias y antivirales, además reducen la tensión superficial por lo que pueden usarse como surfactantes (detergentes) y alteran la permeabilidad de las membranas celulares (Marcano y Hasegawa, 2002). La propiedad surfactante de estos compuestos le confiere a los lixiviados una mayor capacidad para ser absorbido por las plantas.

Cabe destacar que los metabolitos observados con mayor intensidad fueron los flavonoides, seguido de los alcaloides, antraquinonas y fenoles, los cuales se pueden visualizar, por el número de signos positivos asignados a cada grupo (Cuadro 3).

Dentro de estos grupos de metabolitos podrían encontrarse compuestos que ayuden a explicar el efecto de los lixiviados sobre el crecimiento de vitroplantas de plátano, tales como los fenoles y flavonoides.

En este sentido, Hegab y Ghareib (2010) reportan que el ácido vanílico, un compuesto fenólico extraído de *Chenopodium murale*, estimuló la germinación, el crecimiento y la actividad de algunas enzimas antioxidantes en plantas de tomate (*Solanum esculentum*).

De igual manera, los fenoles parecen estar asociados a la absorción de nutrimentos, síntesis de proteínas, actividad enzimática, fotosíntesis, componentes estructurales y efectos aleloquímicos.

Cuadro 3. Grupos de metabolitos secundarios presentes en lixiviados de pseudotallos (PS) y láminas foliares (LH) provenientes de dos localidades (1 y 2) durante dos ciclos de producción determinados por cromatografía de papel.

| Muestra | Saponinas | Fenoles | Flavonoides | Alcaloides | Ácidos carboxílicos | Antraquinonas | Terpenos y esteroides |
|-----------------|-----------|---------|-------------|------------|---------------------|---------------|-----------------------|
| Ciclo I | | | | | | | |
| PS/1 | - | + | ++ | + | + | ++ | + |
| PS/2 | - | + | ++ | ++ | + | ++ | + |
| LH/1 | + | ++ | ++++ | ++++ | +++ | +++ | ++ |
| LH/2 | + | ++ | ++++ | ++++ | +++ | +++ | ++ |
| Ciclo II | | | | | | | |
| PS/1 | - | + | ++++ | +++ | + | + | + |
| PS/2 | - | + | ++++ | ++ | ++ | + | + |
| LH/1 | ++ | +++ | ++++ | +++ | ++++ | +++ | ++ |
| LH/2 | ++ | +++ | ++++ | +++ | ++++ | +++ | ++ |

— Ausencia de metabolitos; += Presencia de metabolitos. **Corresponde a cantidad, indicando mayor o menor intensidad observada para cada grupo.

En el caso de los flavonoides, actúan como catalizadores en la fase fotoquímica de la fotosíntesis y como reguladores de los canales de iones envueltos en la fosforilación (Stalikas, 2007).

Al grupo de los ácido carboxílicos se le ha asociado al crecimiento de las plantas, pero mayormente a su efecto sobre el crecimiento del fruto y su calidad (Román-Moreno y Gutiérrez-Coronado, 1998; Sandoval-Rangel *et al.*, 2011).

En el caso de los alcaloides, se les ha asociado dentro de sus funciones: ser un producto final del metabolismo o producto de desecho; un importante reservorio de N; actuar como agente protector de la planta contra el ataque de los depredadores; útil para regular el crecimiento, sustituto de minerales en plantas y en la respuesta al estrés biótico y abiótico (Waller y Nevacki, 1978; War *et al.*, 2012; Amirjani, 2013).

Las antraquinonas se conocen por su utilidad en la industria farmacéutica y de cosméticos, dada sus características antioxidantes, obteniéndose tintes naturales (Dave y Ledwani, 2012). También se le asocia con el control de enfermedades fungosas y virales (Bezerra *et al.*, 2011), lo que pudiera contribuir a explicar la capacidad antifúngica reportada en la literatura para los extractos de plátano (Ortiz, 2009; Garcés, 2010).

Es importante señalar que estos metabolitos presentes en los lixiviados, son el producto no solo de los liberados por la materia vegetal utilizada para la obtención de los mismos (PS y LH), sino de la actividad de los microorganismos presentes durante el proceso.

Estos grupos de metabolitos secundarios encontrados en los lixiviados analizados, corrobora que los espectros de absorción para cada extracto, mostraron picos de máxima absorción entre los 220 y 250 nm, similar a los picos de absorción de un gran número de metabolitos secundarios.

Contenido de ácidos húmicos y fúlvicos

Con respecto a la concentración de ácidos húmicos y ácidos fúlvicos (Cuadro 4), solo se detectó en el lixiviado proveniente de LH, encontrándose en concentraciones de 0,06 y 0,35%, respectivamente.

En el caso de los lixiviados de PS, las cantidades de estos compuestos fue muy baja para detectarlo por el método de análisis utilizado.

Cuadro 4. Concentración de ácidos húmicos y fúlvicos en lixiviados obtenidos por descomposición de láminas foliares (LH) y pseudotallos (PS) de plátano 'Hartón'.

| Análisis | Lixiviado de LH | Lixiviado de PS |
|-----------------|-----------------|-----------------|
| Ácidos húmicos | 0,06% | 0,00% |
| Ácidos fúlvicos | 0,35% | 0,00% |

Estos resultados demuestran que a las sustancias húmicas se les ha atribuido características bioestimulantes, además de actuar en el desbloqueo de los minerales (nutrimentos) en estado insoluble, aumentar la actividad microbiana en el suelo y mejorar la sanidad de las plantas.

Cabe destacar que los ácidos húmicos, además de su influencia química, física y biológica sobre las propiedades del suelo, también poseen auxinas y precursores de su síntesis o actividad, por lo que en términos globales, su efecto en el metabolismo de las plantas se nota en una mayor asimilación de dióxido de carbono, mayor síntesis de ATP, mayor respiración mitocondrial y actividad fotosintética.

CONCLUSIONES

Los lixiviados provenientes de PS y LH de plátano Hartón están químicamente constituidos por proteínas, nutrimentos (macro y microelementos), metabolitos secundarios, ácidos húmicos y fúlvicos, como posibles reguladores del crecimiento que podrían contribuir al efecto positivo que tienen estos extractos en el control de enfermedades y en la promoción del crecimiento en plantas de plátano.

Aunque el proceso de descomposición de las LH inició de manera más tardía (seis semanas después comparado con el de PS), este lixiviado en general, resultó tener mayores contenidos de proteínas, N, K, Ca y Mg, metabolitos secundarios, ácidos húmicos y fúlvicos, comparado con el lixiviado de PS.

Los máximos obtenidos al realizar el espectro de absorción para los lixiviados analizados, soportan la hipótesis de que estos extractos podrían tener en su contenido auxinas y citocininas, las cuales regulan el crecimiento en las plantas.

Se recomienda continuar las investigaciones para detectar los microorganismos que participan en la descomposición de la biomasa durante la obtención de los lixiviados y evaluar su posible uso como microorganismos eficientes que acortan la duración del ciclo para la producción de los extractos.

Además, profundizar en la identificación de los compuestos específicos que componen estos lixiviados que determinan su efecto sobre el crecimiento de la planta y el control de enfermedades.

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Socialista de Agricultura Tropical (ESAT) del INIA, y al Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (FONACIT) por el financiamiento de esta investigación. A los señores Sabino Morales y Walter Williams, así como a los productores de plátano José Garranchán y Moisés Piñero por la ayuda prestada en la realización de este trabajo.

LITERATURA CITADA

- Albuja Y. R.F., P.A. Araujo G. y A.C. López K. 2011. Obtención de un biofertilizante a partir del residuo ultra fino de *Spirulina platensis*, mediante degradación anaerobia. Boletín Técnico del Departamento de Ciencias de la Vida, Ing. en Biotecnología, Sangolquí, Ecuador. 20 p. Disponible en línea: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/5015/2/T-ESPE-033046-A.pdf> [Mar. 20, 2011].
- Alonso-Calderón A., J. Pérez-Curiel, C. Montiel-Salinas, G. Geissler, M. T. Zayas-Pérez y M. L. O. Villegas-Rosas. 2008. Eliminación de fenol, 2-clorofenol y colorantes en aguas artificialmente contaminadas y aguas residuales textiles utilizando a la peroxidasa de chayote. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 4(2):278-284.
- Amirjani M.R. 2013. Effects of drought stress on the alkaloid contents and growth parameters of *Catharanthus roseus*. *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science* 8(11):745-750.
- Arango-Acosta G. J. 2008. Alcaloides y compuestos nitrogenados. Universidad de Antioquia, Colombia. 84 p. Disponible en línea: <http://farmacia.udea.edu.co/~ff/alcaloides.pdf> [Ago. 19, 2014].
- Ariza E. 2012. Determinación del perfil de compuestos fenólicos en arazá (*Eugenia stipitata*), Universidad Nacional de Colombia. 18 p. Disponible en línea: <http://www.bdigital.unal.edu.co/6226/1/Ednaalejandraarizacubillos.2012.pdf> [Ago. 19, 2014].
- Babatunde G.M. 1991. Availability of banana and plantain products for animal feeding. In *Roots, tubers, plantains and bananas in animal feeding* (David Machin and Solveig Nyvold Editores), ISBN 92-5-103138-X. FAO Animal Production and Health Paper 95. pp. 251-276.
- Bezerra de Barros I., J.F. de Souza-Daniel, J. Pereira-Pinto, M.I. Rezende, R. Braz-Filho and D. Trevisan-Ferreira. 2011. Phytochemical and antifungal activity of anthraquinones and root and leaf extracts of *Coccolobamollis* on phytopathogens. *Braz. arch. biol. technol.* 54(3):535-541.
- Belalcázar C., J. Valencia y J. Lozada. 1991 La planta y el fruto. En: Belalcázar, S (ed) *Manual de Asistencia Técnica No. 50 ICA, El cultivo del plátano en el trópico*. Armenia, Quindío, INIBAP. Feriva, Cali. pp. 45-89.
- Blanco G. 2010. Evaluación participativa de extractos vegetales promotores del crecimiento en plátano (*Musa AAB*) en condiciones de vivero, en el asentamiento Campesino Macagua-Jurimiquire, municipio Veroes, estado Yaracuy. Informe de Proyecto del Doctorado de Biotecnología Agrícola de la Escuela Socialista de Agricultura Tropical (ESAT). 31 p.
- Bradford M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of Protein-Dye Binding. *Analytical Biochemistry* 72:248-254.

- Dave H. and L. Ledwani. 2012. A review on anthraquinones isolated from *Cassia* species and their applications. *Indian Journal of Natural Products and Resources* 3(3):291-319.
- Espinosa J. y F. Mite. 2012. Búsqueda de eficiencia en el uso de nutrientes en banano. *International Plant Nutrition Institute*. Disponible en línea: [http://nla.ipni.net/articles/NLA0081-EN/\\$FILE/Eficiencianutrientes.pdf](http://nla.ipni.net/articles/NLA0081-EN/$FILE/Eficiencianutrientes.pdf). [Jun. 22, 2012].
- Flórez V.J. y M. de F. D. Aleixo P. 2008. Concentraciones opuestas de AIA-ABA aceleran el desarrollo floral de *Solidago x luteus*. *Agronomía Colombiana* 26(2), 237-245.
- Garcés H. H.M. 2010. Comparación de la calidad y efectos de lixiviados obtenidos a partir de raquis de banano (*Musa acuminata*) y plátano (*Musa balbisiana*) mediante transformación aeróbica y anaeróbica en condiciones de invernadero. Trabajo de Grado para la obtención del título de Ingeniero Agropecuario, Escuela Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción. Guayaquil, Ecuador. 133 p.
- Hegab M.M. and H.R. Ghareib. 2010. Antioxidative effects of acetona fraction and vanillic acid from *Chenopodium murale* L. on tomato plant. *Weed Biology and Management* 10(1):64-72.
- Hernández J. y S. Zamora. 2001. Desarrollo rural sostenible para las zonas productoras de plátano del estado Yaracuy. INIA-Secretaría de Desarrollo Agrícola de la Gobernación del estado Yaracuy. 158 p.
- Hernández F. J.B., A.E. Cañizares CH., G. Blanco, I. Arrieche, A. Pérez, C. Salazar y M. González. 2009. Contenido de nitrógeno, fósforo y potasio en harinas de clones de musáceas comestibles (*Musa* spp.). *Revista UDO Agrícola* 9(2):499-457.
- Ibañez J. J. 2007. Biodisponibilidad de los nutrientes por las plantas, pH del suelo y el complejo de cambio o absorbente. Disponible en línea: <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2007/05/09/65262>. [Jun. 22, 2012].
- InfoStat, 2013e. InfoStat profesional. Software versión 2.0. Estadística y diseño. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Linares B. 2009. Informe de seguimiento técnico anual del proyecto "Fortalecimiento de cadenas de valor de plátano: Innovaciones tecnológicas para reducir agroquímicos", caso Venezuela. FONTAGRO-INIA Yaracuy, Venezuela. 10 p.
- López A., J. Vargas, J. Espinoza y R. Vargas. 2001. Síntomas de deficiencias nutricionales y otros desórdenes fisiológicos en el cultivo del banano (*Musa* AAA). Guía de campo. *International Plant Nutrition Institute*, Quito, Ecuador. 53 p.
- Marcano D. y M. Hasegawa. 2002. Fotoquímica orgánica. Segunda edición. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico. Universidad Central de Venezuela. Editorial Torino, Caracas, Venezuela. 588 p.
- Mazzeo M.M., L. León A., L.F. Mejía G., L.E. Guerrero M. y J.D. Botero L. 2010. Aprovechamiento industrial de residuos de cosecha y poscosecha del plátano en el Departamento de Caldas. *Revista Educación e Ingeniería* (9):128-139.
- Ortiz B. M.F. 2009. Evaluación de la actividad de los lixiviados de raquis de banano (*Musa* AAA), plátano (*Musa* AAB) y banano Orito (*Musa* AA) sobre el agente causal de la sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en condiciones *in vitro*. Trabajo de Grado para la obtención del título de Ingeniera Agropecuaria. Escuela Politécnica del Litoral. Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción. Guayaquil, Ecuador. 110 p.
- Román-Moreno L.F. y M.A. Gutiérrez-Coronado. 1998. Evaluación de ácidos carboxílicos y nitrato de calcio para incrementar calidad, cantidad y vida de anaquel en tres tipos de melón. *Terra Latinoamericana* 16(1):49-54.
- Sandoval-Rangel A., A. Benavides-Mendoza, M.A. Alvarado-Vázquez, R. Foroughbakhch-Pournavab, M.A. Núñez-González and V. Robledo-Torres. 2011. Influencia de ácidos orgánicos sobre el crecimiento, perfil bromatológico y metabolitos secundarios en chile piquín. *Terra Latinoamericana* 29(4):395-401.
- Stalikas C.D. 2007. Extraction, separation and detection methods for phenolic acids and flavonoids. *V. Sep. Sci.* 30:3.268-3.295.

- Urdaneta G. L.M., A.E. Delgado A., L. Sosa and A. Piñeiro. 2002. Micobiota del filoplano en plátano Hartón (*Musa AAB*), en el municipio Francisco Javier Pulgar del estado Zulia, Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 19:95-108.
- Waller G.R. and E.K. Newacki. 1978. *Alkaloid Biology and Metabolism in Plants*. Plenum Press, New York, ISBN-13: 1468407724, 9781468407723. 294 p.
- Walkley A. and I.A. Black. 1934. An Examination of Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter and a Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method. *Soil Sci.* 37:29-37.
- War A.R., M.G. Paulraj, T. Ahmad, A.A. Buhroo, B. Hussain, S. Ignacimuthu and H. Sharma. 2012. Mechanisms of Plant Defense against Insect Herbivores. *Plant Signaling & Behavior* 7(10):1.306-1.320.