

Nota Técnica

EL FERTILIZANTE ORGÁNICO INCREMENTA LA PRODUCCIÓN DE RAÍCES EN PEJIBAYE (*Bactris gasipaes* K.)^{1/}

Francisco Paulo Chaimsohn ^{2/*}, Enrique Villalobos ^{**}, Jorge Mora Urpi ^{***}.

Palabras clave: Pejibaye, *Bactris gasipaes*, fertilización orgánica, desarrollo de raíces

Keywords: Peach palm, *Bactris gasipaes*, organic fertilizer, root development

Recibido: 09/05/2007

Aceptado: 05/09/2007

RESUMEN

Se evaluó la densidad de raíces finas (diámetro <1 mm) y gruesas (diámetro ≥1,1 mm), en plantas de pejibaye cultivadas para la producción de palmito, fertilizadas con abono químico, enmienda orgánica, y la combinación, en partes iguales de N, de ambos fertilizantes. Se aplicó 42,4 y 21,2 t ha⁻¹ año⁻¹ de enmienda orgánica en el tratamiento orgánico y químico-orgánico, respectivamente. Las plantas con el fertilizante orgánico mostraron 3,97 y 1,46 veces la densidad de raíces finas, y 2,83 y 1,60 veces la densidad de raíces gruesas, de aquellas plantas con fertilizante químico y químico-orgánico, respectivamente. Estos resultados son promisorios para la eventual producción comercial del palmito en forma orgánica.

ABSTRACT

Organic fertilizer increases root production in peach palm (*Bactris gasipaes* K.). Peach palm fine (diameter <1 mm) and gross (diameter ≥1.1 mm) root densities, were evaluated in response to three types of fertilizer: inorganic; organic; and a mixture of both forms with equivalent N parts. A total of 42.4 and 21.2 t ha⁻¹ year⁻¹ of organic amendment were applied in the organic and organic-chemical fertilizer treatments, respectively. Palms with organic fertilizer showed 3.97 and 1.46 times the fine root density and 2.83 and 1.60 times the gross root density production, shown by plants with the chemical and the chemical-organic fertilizer, respectively. These results are promising for an eventual implementation of organic peach palm commercial production.

INTRODUCCIÓN

El pejibaye (*Bactris gasipaes*), como todas las palmas, posee un sistema radical fibroso conformado por raíces primarias gruesas y fibrosas, así como raíces secundarias, terciarias y cuaternarias progresivamente más delgadas, y no posee pelos radicales. Las raíces terciarias y cuaternarias son consideradas los órganos

principales de absorción de las palmas y pueden alcanzar un desarrollo óptimo si la fertilidad y la materia orgánica (MO) del suelo son altas (Tomlinson 1990).

Las raíces del pejibaye son superficiales y, bajo condiciones físicas del suelo favorables, 70-80% se encuentran en los primeros 40 cm de profundidad y se extienden en un radio aproximado de 40 cm alrededor de la planta (Ferreira

1/ Parte de la tesis de doctorado del primer autor. Sistemas de Producción Agrícola Tropical Sostenible, Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Universidad de Costa Rica.

2/ Autor para correspondencia. Correo electrónico: fpchaimsohn@yahoo.com.br

* Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR). Paraná, Brasil.

** Centro de Investigación en Granos y Semillas, Universidad de Costa Rica.

*** Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica.

et al. 1995, Bassoi *et al.* 1999, Ramos 2002, Salas *et al.* 2002).

La adición de MO puede favorecer el desarrollo radical tanto en forma directa como indirecta. La aplicación de enmiendas orgánicas estimula la producción de raíces finas (Vance y Nadkarni 1992, Tufekcioglu *et al.* 1999, He *et al.* 2000, Vega *et al.* 2005), lo que favorece la absorción de nutrientes. Indirectamente, los abonos orgánicos pueden mejorar las propiedades físicas del suelo, como la estructura y la densidad aparente, mediante un efecto floculante propio de la MO. Esto mejora el movimiento del aire, el agua, y los nutrientes; lo que permite incrementar el crecimiento y la penetración radical. Las enmiendas orgánicas también pueden aumentar la capacidad de intercambio catiónico de los suelos y favorecer la proliferación de microorganismos benéficos (Bovi *et al.* 1999, Molina 2000, Vega *et al.* 2005).

Este trabajo tuvo como objetivo documentar la densidad de raíces finas y gruesas del pejíbaye, cultivado para palmito, en función de la fertilización orgánica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio del estudio

Los datos correspondientes a esta investigación se derivan de un estudio más amplio, donde se evaluó la densidad y el arreglo espacial de las plantas bajo 3 tipos de fertilización, que

se ejecutó de octubre de 2003 a octubre de 2004 en la Estación Experimental Los Diamantes, Guápiles, Costa Rica, ubicada a 10° 22' N y 83° 76' O (Chaimsohn 2006a). El suelo de la parcela experimental posee una textura franco arenosa y se clasifica como un Andic Oxyaquic Dystrudepts. Años antes la parcela experimental estuvo dedicada al pastoreo de novillos de engorde.

El análisis químico del suelo, realizado antes del inicio de la investigación y 18 meses después de la siembra (mds), de las subparcelas que recibieron los 3 tipos de fertilizante, se realizó en el Laboratorio de Suelos del Ministerio de Agricultura y Ganadería (Cuadro 1). La temperatura promedio durante el período experimental fue de 24,4°C y la precipitación anual fue de 4373,3 mm (Figura 1).

Manejo del área experimental

El terreno se preparó con 1 doble arada y 2 pases de rastra en enero del 2003. El manejo de malezas, fundamentalmente *Paspalum fasciculatum*, se hizo con glifosato. La siembra en el campo se realizó los días 2 y 3 de octubre de 2003, con almácigos de la variedad -sin espinas- 'Diamantes 10' con 3 meses y 2 pares de hojas formadas. Las plantas perdidas se repusieron de forma sistemática durante los primeros 5 meses, usando plantas que se mantuvieron alrededor de la parcela experimental para ese fin.

Las malezas se controlaron con chapeas y con aplicaciones de glifosato mezclado con 2,4 D,

Cuadro 1. Características químicas del suelo, al inicio del experimento y a los 18 meses después de la siembra, en las subparcelas con los diferentes tipos de fertilización.

Fertilización	pH	cmol(+) l ⁻¹				mg l ⁻¹					MO %
		Al	Ca	Mg	K	P	Zn	Mn	Cu	Fe	
Inicial	4,9	0,5	3,9	1,7	0,5	4,3	3,0	17,3	9,8	333,0	4,3
Química	5,1	0,8	3,0	1,0	0,3	3,5	1,2	10,8	5,8	95,0	4,3
Orgánica	5,0	1,0	3,1	1,1	0,4	3,0	1,1	9,3	6,5	104,5	4,3
Quim.-org.	5,0	0,9	3,5	1,2	0,3	3,5	1,2	10,8	4,5	101,3	4,3

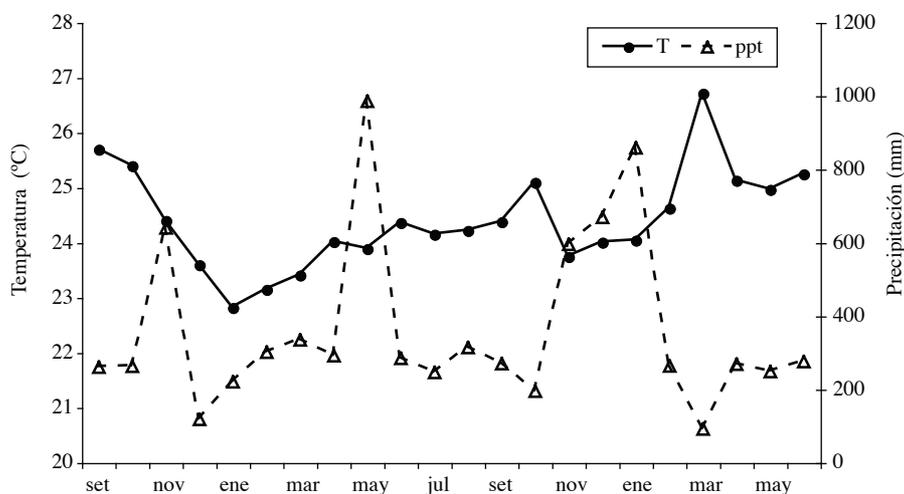


Fig. 1. Temperatura media y precipitación mensuales, observadas en el período de octubre del 2003 a junio del 2005.

en función del tipo e intensidad de infestación de las mismas. A los 40 días después de la siembra (dds) y en el periodo de los 132 a los 201 dds se aplicó mensualmente fosfato diamónico (30 g planta^{-1}) para promover el desarrollo de las raíces de las plantas y homogeneizar la plantación experimental.

A partir del octavo mes, se aplicó, trimestralmente, abono químico y enmienda orgánica, de acuerdo con los tratamientos de fertilización descritos en el cuadro 2. En la primera aplicación de enmienda orgánica se utilizó estiércol vacuno, el cual posteriormente fue cambiado por compost, cuyas características se presentan en el cuadro 3. Se aplicó un total de $8,48 \text{ kg planta}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de enmienda orgánica en las parcelas con fertilización exclusivamente orgánica y $4,24 \text{ kg planta}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en las parcelas con fertilización químico-orgánica, lo que corresponde a $42,4$ y $21,2 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}$, respectivamente, para una densidad de siembra de $5000 \text{ plantas ha}^{-1}$ con un espaciamiento de $2 \times 1 \text{ m}$.

Muestreo y evaluación de las raíces

La evaluación de raíces se realizó empleando la metodología descrita por Bohn (1979) y Bovi *et al* (1999). El muestreo de las raíces se hizo a los 21 mds. Se utilizó un barreno cilíndrico con $15,5 \text{ cm}$ de alto \times 7 cm de diámetro, con un volumen de $596,51 \text{ cm}^3$. Se procedió al muestreo de una cepa por parcela procurando, mediante el recuento y evaluación del crecimiento de los rebrotes, que esta fuera representativa de la población en cada subparcela. Se tomó una muestra a 50 cm de la base y a ambos lados de la cepa, en la misma hilera; a 40 cm de la base y a ambos lados de la cepa, entre hileras; y a 60 cm de la base y a ambos lados de la cepa, entre hileras. Luego las muestras dobles se mezclaron para dejar solamente 3 muestras que representaron la distribución de raíces finas y gruesas en 3 puntos específicos alrededor de la cepa. Las raíces se separaron del suelo con la ayuda de una criba de 5 mm . Posteriormente, se lavaron y se secaron en

Cuadro 2. Fertilizantes químicos y enmiendas orgánicas utilizados en la investigación.

dds	Material [†]	Fertilización (g planta ⁻¹)		
		químico	orgánico	quim.-org.
68	fosfato diamónico - DAP	40	-	20
	boñiga	-	2000	1000
236	18-5-15-6-0,7	30	-	15
	lombri compost (1)	-	1200	600
335	nitrate de amonio	30	-	15
	lombri compost (2)	-	2000	1000
432	18-5-15-6-0,7	100	-	50
	compost de palma (3)	-	2500	1300
523	nitrate de amonio	45	-	23
	lombri compost (2)	-	3000	1500
622	18-5-15-6-0,7	110	-	55
	lombri compost (2)	-	3000	1500

[†] (1) compost de la Estación Experimental de Ochozogo – UCR; (2) compost de Hacienda ganadera Pozo Azul, Río Frío de Sarapiquí; (3) compost de desecho de palma de aceite.

Cuadro 3. Características nutricionales de las enmiendas orgánicas usadas en la investigación.

Enmienda [†]	N	P	Ca	Mg	K	Fe	Cu	Zn	Mn	Humedad	[‡] mg C.mic 100 mg ⁻¹
	%					mg kg ⁻¹				%	
Boñiga	2,40	0,49	0,63	0,28	0,34	20200	87	433	623	84,17	-
Lombri compost (1)	1,92	1,63	1,99	0,80	1,59	844	69	340	359	63,34	4,48
Lombri compost (2)	2,15	1,34	5,26	0,83	2,79	7265	105	382	745	59,54	2,20
Compost palma (3)	1,79	0,24	1,78	1,20	1,38	30350	82	91	460	60,52	3,10
Lombri compost (2)	1,33	1,07	5,15	0,79	2,24	8397	80	329	800	71,84	2,20

[†] (1) compost de la Estación Experimental de Ochozogo – UCR; (2) compost de Hacienda Pozo Azul, Río Frío; (3) compost de desecho de palma de aceite.

[‡] concentración de la biomasa microbiana (mg de C microbiano por 100 mg de suelo seco), de acuerdo con la metodología de Vandevivere y Ramírez, 1995

papel toalla; finalmente las raíces finas (<1,1 mm de diámetro) y las gruesas (≥1,1 mm de diámetro) se separaron para luego secarlas en un horno a 70°C, por 48 h. El peso seco se obtuvo mediante una balanza de precisión de 4 decimales.

Análisis estadístico

Las muestras de suelo, representando 3 distancias o puntos alrededor de la cepa, se analizaron como variables independientes con-

formando un arreglo factorial 3x3 (3 tipos de fertilización x 3 puntos de muestreo) en un diseño de bloques completos al azar con 4 repeticiones. La comparación de promedios se hizo con la aplicación de la prueba de Duncan y el programa de análisis estadístico SAS®.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se observó una disminución en la concentración de minerales en el suelo, con respecto a la concentración inicial de estos elementos (Cuadro 1), independientemente del tipo de fertilización. Esta observación no debe pasar inadvertida, ya que podría considerarse como un indicador de un agotamiento de nutrimentos en respuesta a una fertilización insuficiente. Obviamente, la región tropical húmeda de Costa Rica, donde se concentra la mayor parte de las fincas productoras de pejíbave para palmito es en extremo lluviosa. El efecto de la dilución y lixiviación de nutrimentos, debido a la fuerte precipitación (Figura 1), se nota en la concentración uniforme de elementos minerales y de MO a los 18 mds, independientemente del tipo de fertilización empleado; incluso, aquellas parcelas

que recibieron 42 t ha⁻¹ de enmienda orgánica no mostraron incremento alguno en el contenido de carbono. Surge entonces la interrogante de cuál sería la posible causa de la mayor densidad de raíces finas y gruesas en aquellas parcelas que recibieron la enmienda orgánica.

La densidad de raíces finas en las parcelas que recibieron el fertilizante orgánico fue 3,97 y 1,46 veces mayor que aquella que se observó en las parcelas bajo fertilización química y químico-orgánica, respectivamente. Igualmente, la densidad de raíces gruesas en las parcelas con fertilizante orgánico superó en 2,8 y 1,6 veces aquella de las parcelas con fertilización química o químico-orgánica, respectivamente (Cuadro 4). Puede afirmarse que esta respuesta en la densidad radical no se debe al aporte de minerales en el fertilizante orgánico, según se deduce de los resultados que se consignan en el cuadro 1, aunque hay evidencia de que el N y el K estimulan la densidad radical del palmito (Bovi *et al.* 1999). Estos autores observaron que el N aplicado en forma de material de desecho de alcantarillado también ha mostrado efectos positivos en el incremento de la biomasa radical del palmito de 3 a 4 veces, cuando el contenido del elemento en el material alcanzó los 400 kg ha⁻¹. Por su parte,

Cuadro 4. Densidad de raíces finas, gruesas y total (g dm⁻³) en función del tipo de fertilización y de la distancia de la base de la planta.

Fertilización	Densidad de raíces (g dm ⁻³)					
	finas		gruesas		total	
Orgánica	1,7265	A	2,8517	A	4,578	A
Químico-orgánica	1,1760	AB	1,7848	AB	2,961	AB
Química	0,4347	B	1,0101	B	1,445	B
Distancia de la planta						
50 cm entre plantas	1,1772	A	3,0087	A	4,186	A
40 cm entre hileras	0,8690	A	1,7432	AB	2,612	A
60 cm entre hileras	1,2911	A	0,8947	A	2,186	A
Entre plantas	1,1772	A	3,0087	A	4,1858	A
Entre hileras	1,0800	A	1,3190	B	2,3990	A

Valores con diferentes letras en las columnas difieren estadísticamente; Duncan ($p \leq 0,05$)

Marschner (1995) señala que el suministro de nutrimentos influye en el crecimiento, morfología y distribución de las raíces. Este efecto es particularmente marcado con el N y menor con el P y el Mg y ausente con otros elementos.

Es de suponer, con base en otras investigaciones sobre el tema, que otros componentes no minerales de la enmienda orgánica hayan contribuido a la mayor producción de raíces finas y gruesas del pejibaye en esta investigación. El ácido húmico y en general, aquellas sustancias húmicas han mostrado efectos, algunas veces, espectaculares en la promoción del sistema radical de muchas especies agrícolas como el maíz (Lee y Bartlett 1976, Tan y Nopamornbodi 1979), el pasto *Agrostis stolonifer* (Cooper *et al.* 1998) y en *Lolium multiflorum* (Silva *et al.* 2000). El estiércol vacuno también ayudó a una mejor distribución, en el suelo, de las raíces del maracuyá dulce (*Passiflora alata* Dryland). Incluso la mezcla del desecho de alcantarillado (biosólido) y el fertilizante químico ha mostrado un efecto positivo en el incremento de la densidad radical del maracuyá amarillo (*Passiflora edulis f. flavicarpa* L.) (Almeida 2003).

Es bien conocido que la MO favorece el desarrollo radical de forma directa e indirecta (Bovi *et al.* 1999, Molina 2000, Vega *et al.* 2005).

Desde la perspectiva de una eventual producción orgánica de palmito, estos resultados son promisorios en tanto que un sistema radical bien desarrollado debería traducirse, en el mediano o largo plazo en una mayor productividad, aspecto que aún no ha sido posible constatar en el corto plazo (primeros 2 años) (Chaimsohn 2006a). Claro está que la producción sostenible, con el uso racional de fertilizante orgánico, requiere de un mejor precio para el palmito por su mayor costo de producción (Chaimsohn 2006b). Sin embargo, la producción orgánica de palmito debe ser una meta a corto plazo, para agregar una ventaja comparativa en la comercialización del palmito al natural.

La respuesta de la densidad radical al fertilizante orgánico, también señala la posibilidad

de mejorar el manejo de la fertilización dentro de un escenario convencional no orgánico, mediante la implementación de nuevas prácticas de aplicación del fertilizante. El efecto contraproducente de la precipitación pluvial excesiva, el efecto del fertilizante orgánico en el desarrollo radical e incluso, el efecto positivo de la combinación del fertilizante orgánico e inorgánico en cantidades equivalentes de N, llevan a proponer la pronta evaluación agronómica y económica del uso alterno del fertilizante orgánico inicial, precedido por la aplicación de fertilizante químico. El desarrollo radical inducido por el fertilizante orgánico permitiría un mejor aprovechamiento posterior del fertilizante químico.

El muestreo de raíces, ha puesto en evidencia una variabilidad relativamente alta en la densidad de las mismas alrededor de las plantas, lo que reduce la posibilidad de lograr el respaldo estadístico. Los resultados obtenidos en este trabajo parecen lógicos, en tanto que la densidad radical tiende a ser más alta entre plantas (1 m) en una misma hilera que entre hileras, donde la competencia por nutrimentos con las raíces de las plantas vecinas es menor (2 m); al existir una menor competencia las plantas deberían expandir su sistema radical horizontalmente hacia la hilera vecina. Resultados congruentes con los nuestros fueron encontrados Bovi *et al.* (1999) con 2 genotipos de pejibaye, en donde uno de ellos duplicó en densidad radical con respecto al otro. Sin embargo, otra variedad presentó una densidad de raíces ligeramente mayor entre hileras que entre plantas, señalando la existencia de variabilidad para esta característica en la especie *B. gasipaes*.

La distribución de raíces finas y gruesas también resulta lógica en nuestro caso, ya que conforme el sistema radical avanza en la colonización del suelo a su alrededor, es lógico encontrar mayor densidad de raíces finas que gruesas a 60 cm que a 40 cm, independientemente del tipo de fertilizante usado (Cuadro 5). En un sistema de siembra similar al empleado en esta investigación, para producir palmito para el consumo fresco, donde se prefiere un producto de mayor grosor, sería más recomendable aplicar

Cuadro 5. Densidad de raíces finas, gruesas y total (g dm⁻³) en función del tipo de fertilización y la distancia de la base de la planta.

Fertilización	Distancia de la planta	Biomasa seca de raíces (g dm ⁻³)			F:G [†]
		finas	gruesas	total	
Orgánica	Entre plantas (50 cm)	1,99	5,15	7,14	0,39
	Entre hileras (40 cm)	0,83	2,38	3,21	0,35
	Entre hileras (60 cm)	2,36	1,02	3,38	2,31
Química	Entre plantas (50 cm)	0,39	1,31	1,70	0,30
	Entre hileras (40 cm)	0,37	0,89	1,26	0,64
	Entre hileras (60 cm)	0,54	0,84	1,38	0,64
Químico-orgánica	Entre plantas (50 cm)	1,15	2,57	3,71	0,45
	Entre hileras (40 cm)	1,41	1,96	3,37	0,72
	Entre hileras (60 cm)	0,97	0,82	1,79	1,18

† F:G = relación entre la biomasa de raíces finas y gruesas
Ninguno de los parámetros se diferenciaron estadísticamente (Duncan; p≤0,05)

el fertilizante en dirección a la hilera vecina que entre plantas, al menos después del segundo año, asumiendo que las raíces finas absorben más eficientemente los nutrientes que aquellas de mayor grosor (Tomlinson 1990).

AGRADECIMIENTOS

Al CNPq-Brasil, por el otorgamiento de la beca de doctorado al primer autor. Al Centro de Investigación en Granos y Semillas de la Universidad de Costa Rica (UCR) por la indispensable ayuda financiera y logística. A la Vicerrectoría de Investigación de la UCR por el apoyo financiero. A Guillermo Solano por su apoyo en el trabajo de campo.

LITERATURA CITADA

ALMEIDA A. 2003. Composto de lixo urbano na composição química do solo e seus efeitos no desenvolvimento

de mudas de maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis f. flavicarpa* L). Revista Biociências 9(2). Consultado en: 03.02.2006. Disponible en: <http://www.unitau.br/prppg/publica/biocienc/downloads/compostodelixo-N2-2003.pdf>.

BASSOI L.H., FLORI J.E., ALENCAR C.M., SILVA J.A.M., RAMOS C.M.C. 1999. Distribuição espacial do sistema radicular da pupunheira em solos irrigados no Vale do São Francisco. Engenharia Agrícola 19:163-176.

BÖHN W. 1979. Methods of studying root systems. In: Ecological studies analysis and systems. New York, Springer-Verlag. vol. 33, 188 p

BOVI M.L.A., SPIERING S.H., BARBOSA A.M.M. 1999. Densidade radicular de progênies de pupunheira em função de adubação de NPK. Horticultura Brasileira 17(3): 186-193.

CHAIMSOHN F.P. 2006a. Crecimiento y producción de palmito para consumo al natural, en función de la población, del arreglo de plantas y del tipo de fertilización. In: Producción y calidad del palmito al natural, en función de la población, del arreglo de plantas y del tipo de fertilización. Tesis

- de Doctorado Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. p. 12–47.
- CHAIMSOHN F.P. 2006b. Análisis económico-financiero de la producción de palmito para consumo al natural en función de la población de plantas y del tipo de fertilización. *In: Producción y calidad del palmito al natural, en función de la población, del arreglo de plantas y del tipo de fertilización.* Tesis Doctorado. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. p. 151–172.
- COOPER R.J., LIU C., FISHER D.S. 1998. Influence of humic substances on rooting and nutrient content of creeping bentgrass. *Crop Science* 38: 1639–1644.
- FERREIRA S.A.N., CLEMENT C.R., RANZANI G., COSTA S.S. 1995. Contribuição para o conhecimento do sistema radicular da pupunheira (*Bactris gasipaes* Kunth, Palmae) II. Solo Latossolo amarelo, textura argilosa. *Acta Amazonica* 25(3): 161–170.
- HEZ., YANG X, KAHN B.A., STOFFELLA P.J., CALVERT D.V. 2000. Plant nutrition benefits of phosphorus, potassium, calcium, magnesium, and micronutrients from compost utilization. *In: P.J. Stoffella, Kahan B.A. Compost utilization in horticultural cropping systems.* Boca Raton, Lewis Publ. p. 307–320.
- LEE Y.S., BARTLETT R.J. 1976. Stimulation of plant growth by humic substances. *Soil Science Society of America Journal* 40(6): 876–879.
- MARSHNER H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2^a ed. San Diego, Academic, 889 p.
- MOLINA E.A. 2000. Manual de suelos y nutrición de pejobaye para palmito. San José, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo 42 p.
- RAMOS A. 2002. Análise do desenvolvimento vegetativo e produtividade da palmeira pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth) sob níveis de irrigação e adubação nitrogenada. Tesis Doctor, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, Brasil. 113 p.
- SALAS R.E., SMYTH T.J., ALPÍZAR D., BONICHE J., ALVARADO A., RIVERA A. 2002. Corrección de la acidez del suelo con Ca y Mg y su efecto en el desarrollo del sistema radical del palmito en la etapa de previvero. *Agronomía Costarricense* 26(2): 87–94.
- SILVA R.M., JABLONSKI A., SIEWERDT L., SILVEIRA Jr. P. 2000. Desenvolvimento das raízes do azevém cultivado em solução nutritiva completa, adicionada de substâncias húmicas, sob condições de casa de vegetação. *Revista Brasileira de Zootecnia* 29(6): 1623–1631.
- TAN K. H., NOPAMORNBODI V. 1979. Effect of different levels of humic acids on nutrient content and growth of corn (*Zea mays* L.). *Plant and Soil* 51(2): 283–287.
- TOMLINSON P.B. 1990. The structural biology of palms. Oxford, Clarendon Press Oxford, 477 p.
- TUFEKCIOGLU A., RAICH J.W., ISENHART T.M., SCHULTZ R.C. 1999. Fine root dynamics, coarse root biomass, root distribution, and soil respiration in a multispecies riparian buffer in Central Iowa, USA. *Agroforestry Systems* 44: 163–174.
- VANCE E.D., NADKARNI N.M. 1992. Root biomass distribution in a moist tropical montane forest. *Plant and Soil* 142: 31–39.
- VANDEVIVERE P., RAMÍREZ C. 1995. Bioensayo microbiano para determinar los nutrientes disponibles en abonos orgánicos. *Boltec* 28(2): 90–96.
- VEGA F.V.A., BOVI M.L.A., GODOY JR. G., BERTON R.S. 2005. Lodo de esgoto e sistema radicular da pupunheira. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 29: 59–268.