

FERTILIZACIÓN FOSFORADA DEL PEJIBAYE PARA PALMITO (*BACTRIS GASIPAES*) EN VIVERO Y EN PLANTACIÓN¹

Adrián Ares*, Eloy Molina^{2/**}, Fred Cox*, Russell Yost*, Jimmy Boniche**

Palabras clave: *Bactris gasipaes*, palmito, fósforo, fertilización, suelos.

Keywords: *Bactris gasipaes*, heart-of-palm, phosphorus, fertilization, soils.

RESUMEN

Se realizó 2 ensayos en pejibaye para palmito con el objetivo de evaluar la respuesta a la fertilización con P, y el nivel de predicción del análisis de suelos y foliar como herramienta de diagnóstico de deficiencia de P. El primero en invernadero en Guápiles, Limón, con plantas de almácigo de 30 cm de altura, variedad Putumayo, evaluando la aplicación de 6 dosis de P, establecidas con base en el coeficiente buffer. Se utilizó 5 Andisoles y 5 Ultisoles, todos con valores deficientes de P disponible. Luego de 6 meses se midió la altura, el peso fresco y seco de biomasa aérea, el contenido de P en la planta y el nivel de P extraíble en Olsen Modificado y Mehlich 3. El segundo experimento se ubicó en Caño Negro, San Carlos, en una plantación comercial de 2 años de la variedad Tucurrique con espinas. Se evaluó la respuesta a la fertilización con P en un Inceptisol deficiente en P y de baja fertilidad, utilizando 6 dosis, definidas también con base en el coeficiente buffer. Durante 2 años se midió mensualmente el peso fresco de palmitos cosechados, con muestreos de suelos y follaje cada 3 meses, para el análisis del P disponible y P total, respectivamente. En la prueba de invernadero se estimó un nivel crítico de P en

ABSTRACT

Phosphorus fertilization of peach palm (*Bactris gasipaes*) for heart-of-palm in nurseries and plantations. Two trials in peach palm for heart-of-palm were carried out to evaluate fertilizer response and the predictive level of foliar and soil analysis as diagnostic tools of P deficiency. The first in a greenhouse in Guápiles, Limón, with 30 cm-high nursery plants of the Putumayo variety, by evaluating the application of 6 rates of P established on the basis of the buffer coefficient. Five Andisols and 5 Ultisols were used, all with deficient values of available P. After 6 months, measurements were made for height, fresh and dry weight of aerial biomass, P content in the plant and the level of extractable P by Modified Olsen and Mehlich 3. The second experiment was in Caño Negro, San Carlos, in a 2 year-old commercial plantation of the Tucurrique spiny variety. Response to P fertilization was evaluated in a P deficient Inceptisol of low fertility, using 6 rates also defined by the buffer coefficient. During a 2-year period, monthly measurements were made for fresh weight of reaped heart-of-palm; trimestral sampling of soil and foliage was done for the analysis of available P and total P, respectively.

1/ Recibido para publicación 18 de marzo del 2002.

2/ Autor para correspondencia. Correo electrónico: eamolina@cariari.ucr.ac.cr.

* Department of Tropical Plant and Soil Sciences,

University of Hawaii at Manoa. 3190 Maile Way, Honolulu HI, 96822, USA.

** Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

Ultisoles de 10 mg l^{-1} con la solución Olsen Modificado, el cual se relacionó con un valor mínimo de P foliar de 0,14%. El P extraíble en Olsen Modificado no fue un parámetro eficiente para el diagnóstico de deficiencia de P en Andisoles. En el ensayo de campo, si bien todos los tratamientos superaron al testigo, no se encontró una respuesta clara a la fertilización con P luego de 2 años de evaluación. Para el primer año de cosecha los rendimientos oscilaron entre 14785 y $16238 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de palmito fresco, en tanto que en el segundo año la producción varió entre 12109 y $13561 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Los métodos convencionales de diagnóstico de deficiencia de P a través del análisis de suelos y foliar, en general, no fueron útiles para indicar una respuesta positiva del palmito a la aplicación de P. Esto reafirma la necesidad de investigaciones sobre métodos alternativos de diagnóstico para cultivos leñosos perennes, como el análisis de P orgánico soluble, P en la solución del suelo, y el efecto de las micorrizas en el suministro de P al palmito.

INTRODUCCIÓN

El pejobaye para palmito (*Bactris gasipaes* Kunth) es un cultivo con gran potencial para la diversificación agrícola de suelos ácidos de zonas muy lluviosas, debido a su gran rusticidad y capacidad de adaptación a limitaciones de fertilidad del suelo. Estas características sumadas al valor del palmito, han incentivado su siembra e industrialización en Costa Rica y otros países como Brasil, Colombia, Bolivia, Ecuador, México, Perú y Venezuela (Mora *et al.* 1997). A pesar de su adaptación a suelos ácidos poco fértiles, la nutrición es generalmente necesaria para alcanzar y sostener la producción comercial del cultivo. De esta forma, las plantaciones de palmito son regularmente fertilizadas en las principales regiones de cultivo de Costa Rica (Molina 1999) y Brasil (Yuyama 1997, Bovi 1998, Bovi *et al.* 2000).

Existen poca información acerca de la fertilización con P en palmito. En Brasil ha sido recomendado el uso de $220 \text{ g de P m}^{-3}$ de sustrato en

In the greenhouse test, a critical level of 10 mg l^{-1} of P in Ultisols was estimated with the Modified Olsen solution, which was related to a minimum value of foliar P of 0.14%. Extractable P by Modified Olsen was not an efficient parameter for the diagnosis of P deficiency in Andisols. In the field, although all the treatments exceeded the control, no clear response to P fertilization was found after 2 years of evaluation; yields of the first year reaping varied between 14785 and $16238 \text{ kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ of fresh heart-of-palm and in the second year between 12109 and $13561 \text{ kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$. The conventional methods of diagnosis of P deficiency through soil and foliar analyses were, in general, not useful to indicate a positive response of heart-of-palm to P applications. This reaffirms the need for research on alternative diagnostic methods for woody perennials, such as the analysis of soluble organic P, P in the soil solution, and the effect of mycorrhizas on the P supply to heart-of-palm.

plantas de almácigo (Bovi 1998), en tanto que Molina (2000) sugiere la aplicación de 300 kg ha^{-1} de 10-30-10 en almacigales. Para el establecimiento de las plantas en el campo, las recomendaciones varían entre 31 - 62 kg ha^{-1} de P en Brasil (Bovi y Cantarella 1997, Bovi 1998). Estos mismos autores sugieren aplicaciones de 0 - 35 kg ha^{-1} de P durante la fase de producción de palmito. Las recomendaciones de P en Costa Rica oscilan de 50 - $100 \text{ kg P}_2\text{O}_5$, durante el período de producción (Molina 2000) aunque en los últimos años ha disminuido el uso del P debido a la caída de los precios del palmito.

Los ensayos de fertilización de palmito han mostrado respuesta principalmente a la aplicación de N, con poco o escaso efecto de la aplicación de P (Deenick *et al.* 2000). En un experimento de 4 años de fertilización con N, P y K conducido por Guzmán (1985) en Costa Rica, sólo encontró respuesta significativa en la producción de palmitos con el uso del N, siendo la dosis de 367 kg ha^{-1} de N en la que obtuvo el mayor

número de palmitos cosechados. No se encontró efecto significativo en el rendimiento por la aplicación de P y K. En un estudio similar realizado por Pérez *et al.* (1987) en pejibaye para fruta no hubo efecto significativo de la aplicación de P en el rendimiento luego de 6 años de evaluación.

Otro experimento en Brasil con plantas de almácigo mostró respuesta en crecimiento a la aplicación de una dosis combinada de 400 g de N, 80 g de P y 241 g de K m⁻³ de sustrato (Kato *et al.* 1997).

La información sobre los requerimientos nutricionales de palmito en vivero y cultivo en general, y de P en particular, todavía es limitada, y más aún el conocimiento sobre métodos de diagnóstico de deficiencias nutritivas (Deenik *et al.* 2000).

La detección anticipada de deficiencias nutritivas es importante para diseñar medidas de corrección y prevenir pérdidas económicas. Una característica deseable de los métodos de diagnóstico es la "sensibilidad", que indica si (y cuán rápidamente) un método determinado (por ejemplo, el análisis foliar) puede detectar cambios en la propiedad estudiada (por ejemplo, crecimiento) (Meynard *et al.* 1997). La sensibilidad del análisis nutritivo es considerada menor en cultivos perennes que en cultivos anuales porque los cultivos perennes requieren un tiempo más prolongado para responder a la fertilización (Yost *et al.* 1999). Por otra parte, la distribución heterogénea de raíces y nutrientes en el suelo es un factor que reduce la utilidad del análisis de suelo en cultivos leñosos perennes. Para dichos cultivos, el análisis foliar podría ser más útil que el análisis de suelo (Novais 2000). El análisis foliar, por otro lado, no siempre ha permitido predecir respuestas de crecimiento porque la concentración de nutrientes es afectada por diversos factores como la posición de la hoja dentro de la copa, posición de muestreo dentro de la hoja, edad del cultivo y de la hoja, interacciones entre nutrientes y estacionalidad climática (Deenik *et al.* 2000). Por ello, el diagnóstico nutricional en palmito requeriría métodos diseñados para reflejar las características particulares de las plantas perennes en la absorción, reciclado y conservación de los nutrientes.

El rango de concentración adecuado de P en la hoja 3 de palmito varía entre 0,15 y 0,3% (Molina 2000) aunque el nivel crítico de P en ensayos de cultivo hidropónico oscila entre 0,06 y 0,1% (La Torraca *et al.* 1984, Falcao *et al.* 1996). Los síntomas visuales de deficiencia de P rara vez se observan en el campo. Estos deberían consistir en paralización del crecimiento y reducción del volumen de raíces; con reducción en el tamaño de hojas viejas y nuevas, las hojas viejas presentan amarillamiento seguido de necrosis y secamiento de puntas, y las hojas más nuevas presentan una coloración verde opaco (La Torraca *et al.* 1984, Molina 2000).

Las recomendaciones de P basadas en el contenido de P disponible en el suelo requieren del conocimiento de al menos 3 factores: a) el nivel de P óptimo para el cultivo, b) el contenido de P disponible en el suelo, c) la cantidad de P que debe ser agregada para elevar el nivel en el suelo a un grado óptimo (Kamprath y Watson 1980). Este último factor se conoce como el "coeficiente buffer", el cual provee una medida de la habilidad del suelo para transformar el P adicionado en formas menos disponibles para las plantas, a través de mecanismos de sorción y precipitación. Es un factor que permite estimar la cantidad de P que debe ser agregada al suelo para elevar el contenido de este elemento a un nivel óptimo. Con el fin de ampliar el conocimiento sobre los requerimientos de P en palmito y examinar el valor de distintos métodos de diagnóstico, se realizó ensayos de fertilización en Costa Rica correspondientes a las fases de crecimiento de vivero y cultivo. Los objetivos principales de estos estudios fueron: 1) determinar la respuesta del palmito a la aplicación de P; 2) establecer niveles críticos de P en suelo y planta; 3) evaluar la utilidad del valor del P en el suelo extraído por distintos métodos y del P en la planta, como mecanismos de diagnóstico nutricional. Los resultados de estos ensayos se utilizarán en el diagnóstico de deficiencia de P y en el cálculo de necesidades de P en el módulo palmito del sistema de ayuda para la toma de decisiones en el manejo de nutrientes (NuMaSS).

MATERIALES Y MÉTODOS

Respuesta de plantas de pejíbaye para palmito al P en invernadero

Muestras de 10 suelos (5 Ultisoles y 5 Andisoles) con bajo contenido de P disponible fueron recolectadas a una profundidad de 0-20 cm, a lo largo de un transecto desde la falda norte del volcán Turrialba hasta el cantón de Los Chiles en el norte del país (Cuadro 1). Los suelos se secaron y molieron, y luego fueron analizados en el Laboratorio de Análisis de Suelos y Foliar del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica, los análisis comprendieron: pH en agua, Ca, Mg y acidez intercambiable extraídos con KCl 1 M, K y P con Olsen Modificado, materia orgánica con digestión húmeda de dicromato (Díaz-Romeu y Hunter 1978), P extraíble con Mehlich 3 (Mehlich 1984), Al y Fe amorfos con KOH (Alvarado 1984), Al y Fe amorfos con oxalato de amonio (Blakemore *et al.* 1981), contenido de arcilla por el método de Bouyoucos (Henríquez y Cabalceta 1999). Se realizó un curva de fijación de P mediante la mezcla e incubación de cada suelo con 4 dosis de P (0, 35, 71, y 140 mg kg⁻¹) en un estudio de laboratorio, haciendo la extracción posterior de P disponible por los métodos de Olsen Modificado (Díaz-Romeu y Hunter 1978) y Mehlich 3 (Mehlich 1984). El coeficiente buffer es la pendiente de la ecuación de regresión lineal del P extraído vs. P agregado y sirvió para calcular la cantidad de P necesaria para incrementar el P disponible del suelo hasta 10 mg l⁻¹. Usando esta cantidad como unidad (o X), se calculó la dosis de P para los siguientes tratamientos: 0; 0,25X; 0,5X; X; 2X y 4X. En suelos con alta capacidad de retención de P, como los empleados en este estudio, la fijación de P presenta un comportamiento lineal con dosis agregadas de 0 a 140 mg l⁻¹ de P, siendo su ecuación de regresión altamente significativa.

El experimento en invernadero se inició en septiembre del 2000, en la finca La Leona en Guápiles, Limón, Costa Rica. Se utilizó plantas de almácigo de pejíbaye para palmito, variedad Putumayo sin espinas, de aproximadamente 30 cm de altura, provenientes de la Estación Experimental Los Diamantes. Se transplantaron en macetas de 3,6 l de capacidad, colocadas sobre bandejas de plástico

para retener el líquido de drenaje. El ensayo se estableció con 6 tratamientos de fertilización con P, cuyas dosis fueron calculadas con base en el requerimiento de P necesario para elevar el contenido inicial del elemento a 10 mg l⁻¹, de acuerdo con el coeficiente buffer de cada uno (Cuadro 2). Los suelos fueron mezclados en seco con las diferentes dosis de fertilizante fosfatado (CaH₂PO₄2H₂O). Se realizó 5 repeticiones por tratamiento para cada uno de los 10 suelos, de los cuales se utilizó, para el análisis estadístico 5 repeticiones en 7 suelos y al menos 4 en los otros 3. El diseño experimental fue de bloques completos al azar. En abril del 2001, se midió el número de hojas y la altura de cada planta, y posteriormente se recolectó la planta entera para medir el peso fresco y seco de biomasa aérea. Se determinó el P disponible en el suelo con los métodos de Olsen Modificado y Mehlich-3, en muestras tomadas después de la cosecha de biomasa. Se determinó el contenido de P en la parte aérea, utilizando el procedimiento de digestión nitroperclórica (Briceño y Pacheco 1984).

Respuesta al P en plantaciones de palmito en Costa Rica

El sitio experimental se ubicó en Caño Negro, San Carlos, a 200 msnm. La precipitación media anual en Santa Clara a 171 msnm, en las cercanías de Caño Negro, es de 3170 mm y la temperatura media anual de 25,5°C. El suelo fue clasificado como Inceptisol ácido, moderadamente drenado. El contenido de arcilla varió de 29-57% y el pH entre 4,2 y 4,4 (Cuadro 3). El P disponible inicial determinado por el método de Olsen fue de 2,7 mg kg⁻¹ a 0-5 cm de profundidad y de 1,7 mg kg⁻¹ a 5-20 cm. Un reconocimiento preliminar en el área de plantación indicó que los valores de P foliar en palmito eran bajos (0,13-0,15%) en comparación con los niveles críticos tentativamente propuestos (Molina 2000). El experimento fue establecido en una plantación de pejíbaye para palmito de 2 años, del cultivar Tucurrique con espinas, y sembrado a 2 m entre hileras y 0,5 m entre plantas (10000 plantas ha⁻¹).

Se determinó el coeficiente buffer del suelo con el mismo procedimiento mencionado anteriormente y se calculó la cantidad de fertilizante

Cuadro 1. Características de los suelos usados en el ensayo de invernadero en Guápiles, Costa Rica.

No. Sitio	Orden	KOH		Oxalato		pH	KCl			Olsen Modificado								
		Al	Fe	Al	Fe		Acidez	Ca	Mg	K	P	Cu	Fe	Mn	Zn			
		%										mg l ⁻¹						
0	Indaco	Andisol	2,33	0,14	2,08	1,13	--	8,6	4,5	2,53	2,12	0,32	0,11	6	8,0	234	8,9	0,6
1	Venezia	Andisol	1,98	0,03	1,88	1,78	--	6,6	4,7	1,75	1,05	0,59	0,14	5,3	9,7	186	21,5	2,1
2	Diamantes	Andisol	1,60	0,03	1,86	0,88	--	7,9	5,3	0,38	4,29	0,96	0,15	4,1	3,5	6,7	2,1	0,2
3	Diamantes	Andisol	1,43	0,13	1,89	0,92	--	7,6	5,3	0,40	3,48	1,02	0,20	3	1,2	56	4,6	0,5
4	Guaria	Andisol	2,99	0,13	3,18	1,46	--	14,5	5,3	0,40	3,18	0,93	0,11	2,4	0,8	26	1,5	0,2
5	Chiles	Ultisol	0,66	0,24	0,38	0,69	54	2,1	4,6	1,66	0,90	0,60	0,04	5,7	7,0	107	133	1,7
6	Chiles	Ultisol	0,79	0,27	0,40	0,61	72	2,9	4,7	1,20	1,31	0,70	0,05	3,2	4,7	131	47,9	0,6
7	Chiles	Ultisol	0,31	0,04	0,29	1,32	55	7,4	5,7	0,21	13,00	3,70	0,80	7,3	11,3	227	76	4,0
8	Aragonez	Ultisol	0,61	0,24	0,69	0,87	72	6,3	4,6	0,69	3,79	0,64	0,55	7,6	15,3	568	39,9	3,3
9	Berrocal	Ultisol	0,75	0,28	0,69	0,72	60	7,4	4,2	1,96	3,29	0,89	0,22	4,9	15,0	541	22,9	2,0

Cuadro 2. Cálculo de la dosis de P para los diferentes tratamientos en el ensayo de invernadero.

Suelo	Pi mg l ⁻¹	Coeficiente		P requerido		Tratamientos					
		Buffer	NC=10 mg l ⁻¹	3,6 l	CaH ₂ PO ₄ g pote ⁻¹	g Ca(H ₂ PO ₄) ₂ ·H ₂ O pote ⁻¹					
						0	0,25X	0,50X	X	2X	4X
Indaco	6,00	0,125	32,0	115,5	0,468	0	0,117	0,234	0,468	0,936	1,872
Venezia	5,30	0,088	53,4	192,2	0,781	0	0,195	0,391	0,781	1,562	3,124
Diamantes P	4,10	0,124	47,6	171,4	0,697	0	0,174	0,349	0,697	1,394	2,788
Diamantes C	3,00	0,162	43,2	155,5	0,632	0	0,158	0,316	0,632	1,264	2,528
Guaria	2,40	0,122	62,3	224,3	0,912	0	0,228	0,456	0,912	1,824	3,648
Chiles 17	5,71	0,111	38,6	139,0	0,565	0	0,141	0,283	0,565	1,130	2,260
Chiles 18	3,22	0,162	41,9	150,8	0,613	0	0,153	0,307	0,613	1,226	2,452
Chiles 21	7,34	0,180	14,8	53,3	0,217	0	0,054	0,109	0,217	0,434	0,868
Aragonez	7,60	0,221	10,9	39,2	0,159	0	0,040	0,080	0,159	0,318	0,636
Berrocal	4,90	0,200	25,5	91,8	0,373	0	0,093	0,187	0,373	0,746	1,492

Pi= P inicial en Olsen, Coeficiente Buffer= cambio de P en Olsen/unidad de P aplicado, NC= cantidad de P necesaria para alcanzar un valor de 10 mg P l⁻¹.

Cuadro 3. Características de los suelos en Caño Negro, Costa Rica.

Bloque	Prof. cm	MO	Arcilla	pH	Ca	Mg	K	Acidez	CICE	P
		%								
1	0-5	3,5	50	4,3	9,9	2,7	0,3	2,4	15,3	2,5
1	5-20	4,1	52	4,3	8,1	2,9	0,1	2,9	14,1	1,3
2	0-5	5,1	29	4,3	8,3	2,3	0,2	6,7	17,6	2,8
2	5-20	4,2	30	4,4	8,8	2,9	0,1	2,5	14,4	1,4
3	0-5	5,3	51	4,3	9,1	2,8	0,2	3,4	15,5	2,5
3	5-20	3,9	49	4,3	8,7	3,0	0,1	3,2	15,2	1,4
4	0-5	5,7	56	4,2	8,5	2,6	0,4	2,4	13,9	3,1
4	5-20	4	57	4,2	8,0	2,6	0,2	2,1	12,9	2,5

necesaria para elevar el P disponible en el suelo a 5, 10 y 20 mg l⁻¹ (tratamientos derivados de la condición del suelo) y para cubrir los requerimientos del cultivo, asumiendo una eficiencia de 25 y 75% en la absorción de P (tratamientos derivados de la demanda del cultivo). De este modo, los tratamientos fueron: 0; 3,9; 7,8; 14,4; 21,0 y 47,7 kg ha⁻¹ de P.

Durante el primer año, el P se aplicó como fosfato diamónico (DAP) en 2 aplicaciones espaciadas 6 meses. También se aplicó una fertilización base de N (250 kg ha⁻¹ incluyendo el N aplicado como DAP), K (124,5 kg ha⁻¹), Mg (36,1 kg ha⁻¹) y S (60 kg ha⁻¹). El K, Mg y S se aplicaron como K-Mag (0-0-22-18-22). La fertilización base se aplicó fraccionada en 6 ciclos anuales cada 2 meses. El ensayo se realizó con un diseño de bloques completos al azar con 4 repeticiones. La parcela experimental de cada tratamiento tenía un área de 100 m² y consistió de 4 hileras de plantas de 12,5 m de largo y espaciadas 2 m entre sí. La parcela útil estuvo formada por las 2 hileras centrales, para un área de 50 m². Durante el segundo año de evaluación se modificó la dosis de P, duplicando las cantidades aplicadas en el primer año (7,8; 28,8; 42 y 95,4 kg ha⁻¹ de P), utilizando triple superfosfato como fuente, fraccionado en 2 aplicaciones anuales, y manteniendo la misma fertilización base del primer año. El fertilizante se aplicó en la superficie del suelo en una banda a 40-50 cm de distancia del centro de la cepa.

Cada mes se hizo mediciones del número de palmitos cosechados por parcela, el peso fresco por palmito, la altura de la planta, y el número

de hojas planta⁻¹, para evaluar el efecto de los tratamientos en el crecimiento y rendimiento del palmito. El experimento se inició en julio de 1999 y se realizó evaluaciones de cosecha hasta julio del 2002.

Se tomó muestras de suelo cada 3 meses durante los 2 primeros años de evaluación. Las muestras en la zona de aplicación del fertilizante a 0-5 y 5-20 cm de profundidad, se tomaron utilizando un barreno tipo holandés. Los suelos fueron analizados en el Laboratorio de Análisis de Suelos y Foliar del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica, para la extracción de P disponible con Olsen Modificado (Díaz-Romeu y Hunter 1978), y Mehlich 3 (Mehlich 1984). También se tomó muestras de tejido foliar en las mismas fechas que las de suelo, en la 3a y 5a hoja, considerando la hoja más joven (candela) como la número 0. Se determinó la concentración de P en las hojas mediante digestión nitroperclórica (Briceño y Pacheco 1984).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ensayo en invernadero

Los suelos seleccionados presentaron contenidos de P que oscilaron entre 2,4 y 7,6 mg l⁻¹ (Cuadro 1). Estos valores fueron utilizados para calcular las dosis de P que se presentan en el cuadro 2. Los contenidos de arcilla en Ultisoles fueron altos (54-72%), y los valores de Al extraíble

en oxalato de amonio en Andisoles variaron entre 1,86 y 3,18%, mostrando la presencia de minerales de orden corto, probablemente alofanos. La fertilidad de los suelos en general es baja, con niveles deficientes de Ca y Mg, pH ácido, y la mitad de los suelos presentó más de 1 cmol(+) l⁻¹ de acidez intercambiable. Estas características son comunes en muchos suelos ácidos de los trópicos (Bertsch 1995), y la mayor parte de las plantaciones de palmito en Costa Rica están sembradas en este tipo de suelos (Molina 2000).

Los coeficientes buffer de P determinados con Olsen modificado se presentan en el Cuadro 2. Sus valores para Andisoles variaron entre 0,088 y 0,162, siendo más bajos que los encontrados en Ultisoles (0,11-0,221). Estos resultados muestran que los Andisoles tienen mayor capacidad de fijación de P disponible que los Ultisoles (Bertsch 1995), debido a la naturaleza de su fracción de arcilla, dominada principalmente por la presencia de minerales de orden corto como alofana (Alvarado 1984), con gran capacidad de retención de P.

Se observó una correlación lineal significativa entre el P aplicado y el peso de las plantas de palmito en 7 suelos, y entre el P aplicado y la altura de las plantas en 5 suelos (Cuadro 4). La relación entre el número de hojas y la dosis de P

aplicada fue significativa sólo en 4 suelos. En todos los casos, hubo una relación altamente significativa entre el P aplicado y el P disponible por Olsen modificado (Cuadro 4).

El peso seco de las plantas se relacionó positiva y linealmente con el P disponible por Olsen modificado en 4 suelos, pero no alcanzó un punto de estabilidad a altos valores de P disponible (> 10 mg l⁻¹), a pesar que los valores más altos fueron obtenidos cuando el P disponible fue mayor que 10 mg l⁻¹ de P. La absorción de P también aumentó con el incremento en el P disponible en 5 suelos (Cuadro 4).

El contenido de P en las plantas se relacionó positivamente con el P disponible por Olsen modificado (Cuadro 5). Si se considera el valor de 10 mg l⁻¹ de P como el nivel de suficiencia general de P en los suelos (Bertsch 1995), la concentración de P correspondiente en la planta sería de alrededor de 0,14%. De acuerdo con Molina (2000), el rango de concentración adecuado de P en la hoja 3 de palmito varía entre 0,15 y 0,3%, el nivel crítico de P (valor mínimo de P en el que se presentan síntomas visuales de deficiencia en la planta) en ensayos de cultivo hidropónico oscila entre 0,06 y 0,1% (La Torraca *et al* 1984, Falcao *et al.* 1994), coincidiendo con los resultados de este estudio.

Cuadro 4. Relaciones lineales entre el peso seco, altura de la planta, P disponible, concentración de P en la planta y P absorbido por la planta, y (1) dosis de P aplicada, (2) P disponible en el suelo determinado por Olsen modificado (OM), en el ensayo en invernadero en Guápiles, Costa Rica.

Suelo	(1) P aplicado vs.			(2) P disponible vs.		
	Peso seco	Altura	P disponible (OM)	Peso seco	P en la planta	P absorbido
1	**	**	**	**	ns	*
2	**	**	**	**	ns	**
3	ns	ns	**	ns	ns	ns
4	ns	ns	**	ns	*	ns
5	**	**	**	*	**	**
6	*	**	**	**	**	**
7	**	**	**	ns	ns	*
8	ns	ns	**	ns	ns	ns
9	*	ns	**	ns	ns	ns
10	*	ns	**	ns	ns	ns

ns= no significativo, *= significativo (P=0,05), **=altamente significativo (P=0,01)

Cuadro 5. Contenido promedio de P extraíble con Olsen Modificado al final de la cosecha (Pf) y el P en la planta en el ensayo de invernadero, Guápiles, Limón.

Tratamiento	Pf	P planta
	mg l ⁻¹	%
0	7,69	0,16
0,25 X	10,06	0,14
0,50 X	10,51	0,15
X	11,70	0,16
2X	12,64	0,17
4X	16,70	0,18

X=Cantidad de P requerido para incrementar el contenido a 10 mg l⁻¹ dividido entre el coeficiente buffer de P.

En este experimento, se pudo derivar un nivel crítico aproximado de P disponible para Ultisoles de 10 mg l⁻¹ (Olsen modificado), el que coincide con el encontrado en un estudio de campo para la fase de establecimiento en palmito en Oxisoles en el noreste de Brasil (Lopes-Reis 1997). El ensayo, sin embargo, no permitió llegar a ninguna conclusión sobre el nivel crítico para Andisoles. Este hecho permite preguntarse si el método de Olsen modificado es adecuado para Andisoles, y en caso de no serlo, cuál sería el método que debería usarse?. Para ambos suelos, el P disponible por Mehlich 3 resultó demasiado bajo como para ser útil como elemento de diagnóstico.

Ensayo de campo

Antes de aplicar el P, la concentración foliar de P en el cultivo de palmito era cercana a 0,2%, especialmente en la hoja 3. Después de aplicar la fertilización base y las distintas dosis de P, la concentración foliar de P tanto en la hoja 3 como en la 5 cayó en forma drástica (Figura 1a y 1b). Posteriormente, la concentración de P aumentó significativamente en todos los tratamientos incluyendo al control. Los niveles de P foliar fueron en general, similares entre tratamientos y no reflejaron los cambios en el P del suelo ni se relacionaron con el P aplicado.

El P disponible en el suelo presentó una mayor variación que el P foliar, aunque durante el primer año, los niveles de P disponible alcanzados, resultaron inferiores a los esperados de acuerdo a los

coeficientes buffer determinados en el laboratorio (Figura 2a). El P disponible extraído por el método de Olsen modificado fue mayor que el obtenido por Mehlich-3 (Cuadro 6). Los valores de P disponible a 5-20 cm fueron más estables que los valores a 0-5 cm (Figura 2b). Durante el segundo año y tras aumentar la dosis de P aplicada, se observó un amplio gradiente en el P disponible a ambas profundidades (Figura 2a y 2b). Este gradiente decayó con el tiempo y se hizo prácticamente nulo en la profundidad de 5-20 cm al final del segundo año.

Durante el primer año, el rendimiento de palmito varió entre 14785 kg (peso fresco) en el tratamiento control y 16238 kg en el tratamiento con 21 kg ha⁻¹ de P, sin diferencias significativas entre tratamientos (P=0,47) (Cuadro 7). La variación entre bloques fue considerable, siendo el máximo CV de 24%. Durante el segundo año, el rendimiento osciló entre 12109 kg para el control y 13561 kg para el tratamiento con la máxima cantidad de P aplicada (95,4 kg ha⁻¹). La variación entre bloques se redujo y el máximo CV fue de 15%. El efecto de la dosis de P sobre el rendimiento fue significativa con P=0,08. También este efecto fue significativo sobre el rendimiento de palmito acumulado en el primer y segundo año (P=0,06). El rendimiento del tratamiento control, sin embargo, sólo fue un 10% inferior al rendimiento del tratamiento que recibió la máxima dosis de P.

La respuesta del palmito a la aplicación de P en condiciones de campo ha sido escasa y no concordó con el análisis de suelo, el cual mostró inicialmente un valor bajo de este elemento. Otros autores que han investigado el efecto de la fertilización con P en palmito han encontrado también un efecto nulo o escaso (Guzmán 1985, Pérez *et al.* 1987, Bovi 1998). Es probable que el extenso volumen radicular que desarrolla una cepa de palmito y la presencia de micorrizas, expliquen en parte la falta de una respuesta clara a la aplicación de P en suelos con contenidos bajos de este elemento. Es bien conocida la relación simbiótica que existe entre las raíces del palmito y las micorrizas vesículo-arbusculares (VAM en inglés) (Janos 1977, Sudo *et al.* 1996). La infección por micorrizas podría explicar parcialmente el buen desempeño del palmito en cuanto a crecimiento y rendimiento en suelos de baja fertilidad (Clement y Habte 1995).

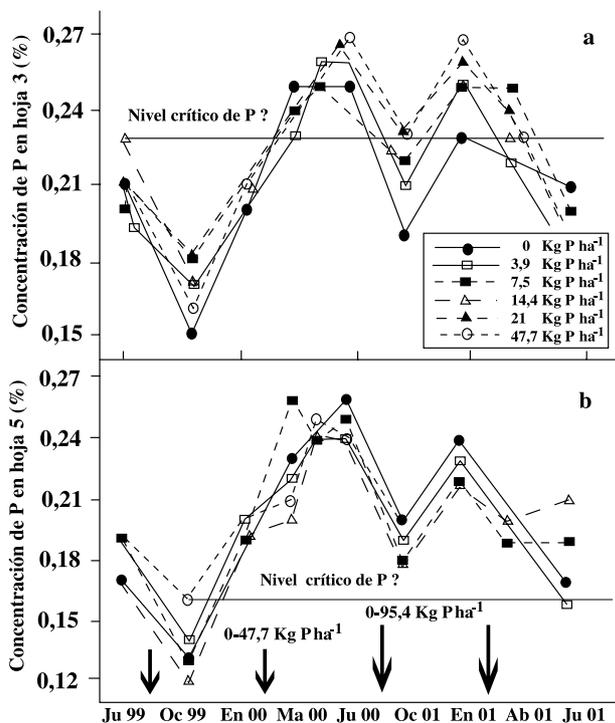


Fig. 1. Concentración de P en la tercera (a) y quinta (b) hoja de palmito en el experimento de Caño Negro, Costa Rica.

Cuadro 6. Contenido promedio de P extraíble en Olsen Modificado y Mehlich 3 durante el primer y segundo año de aplicación de P, Caño Negro, Costa Rica.

Dosis P kg ha ⁻¹	P Olsen Modificado				Dosis P kg ha ⁻¹	P Mehlich 3			
	Primer año		Segundo año			Primer año		Segundo año	
	0-5 cm	5-20 cm	0-5 cm	5-20 cm		0-5 cm	5-20 cm	0-5 cm	5-20 cm
	mg l ⁻¹								
0	5,15	4,91	7,28	6,35	0	4,77	3,82	3,53	2,53
3,9	4,80	4,01	7,72	5,98	11,7	4,29	2,99	3,44	2,52
7,8	5,64	4,25	8,91	6,64	23,4	4,71	4,31	4,40	2,72
14,4	5,76	4,33	11,23	7,62	43,2	4,66	3,72	5,67	3,03
21	6,52	4,24	14,30	8,28	63	3,89	3,72	9,52	3,36
47,7	8,54	4,65	24,22	10,50	143,1	7,86	5,01	18,43	4,11

Estudios previos han mostrado que la efectividad de las micorrizas parece depender de la presencia de un nivel mínimo inicial de P disponible en el suelo. Utilizando el P en la solución del suelo extraído con CaCl₂ 0,01M, se ha demostrado que cuando el valor de P es inferior a 0,02 mg l⁻¹, el efecto de las micorrizas estaba ausente en las raí-

ces de palmito, mientras que cuando el valor de P fue superior a 0,04 mg l⁻¹, no se encontró respuesta a la aplicación de P (Clement y Habte 1994).

Los métodos de diagnóstico de análisis foliar y de suelos no fueron aptos para predecir la respuesta del palmito a la aplicación de P. Si se promedia los valores de P disponible de 0-5 cm de

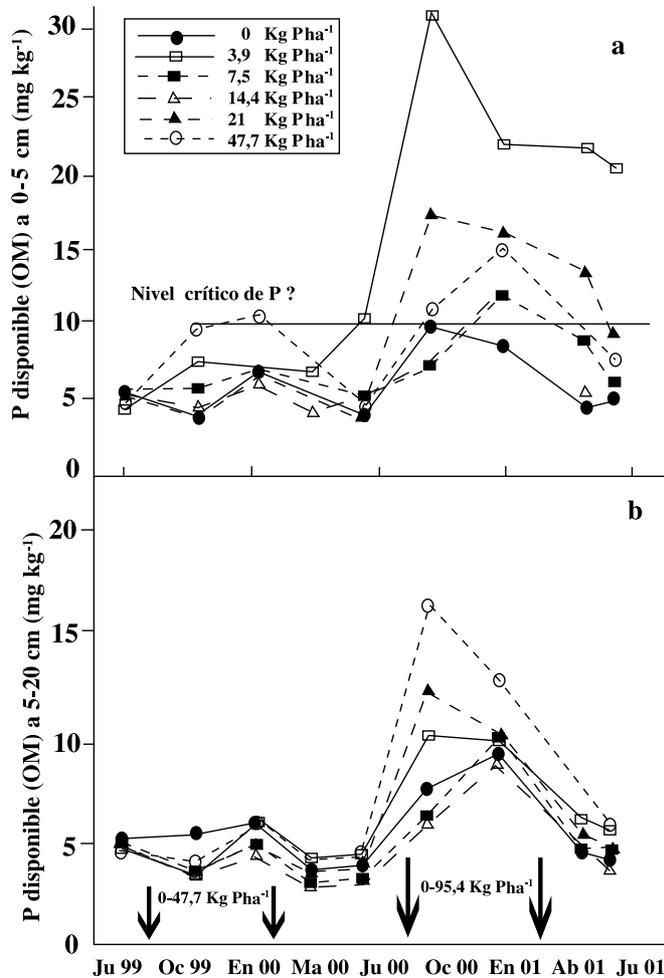


Fig. 2. Fósforo disponible (Olsen modificado) en suelo a 0-5 cm (a) y 5-20 cm (b) de profundidad en el experimento de Caño Negro, Costa Rica.

Cuadro 7. Rendimiento de palmito fresco en el ensayo en Caño Negro, Costa Rica.

Primer año		Segundo año		Primer y segundo año	
P aplicado kg P ha ⁻¹	Rendimiento kg ha ⁻¹	P aplicado kg P ha ⁻¹	Rendimiento k ha ⁻¹	P aplicado kg P ha ⁻¹	Rendimiento kg ha ⁻¹
0	14785	0	12109	0	26894
3,9	14840	7,8	12961	11,7	27801
7,8	15857	15,6	12294	23,4	28151
14,4	15152	28,8	11814	43,2	26966
21	16238	42	12882	63	29120
47,7	15947	95,4	13561	143,1	29508
ns P=0,47		* P=0,08		* P= 0,06	

profundidad para el segundo año (en el cual el P disponible se mantuvo relativamente estable), los niveles críticos para alcanzar el 90% del rendimiento máximo serían de alrededor de 23 mg l⁻¹ por Olsen modificado y alrededor de 17 mg l⁻¹ para Mehlich-3. Estos valores parecen excesivos en relación con los valores determinados para vivero y en etapa de establecimiento y pueden ser una consecuencia del aumento del P en el suelo tras aumentar la dosis aplicada, y no reflejar necesariamente una relación genuina entre los niveles de P y la respuesta de crecimiento del palmito.

La medición usual del contenido de P disponible en los suelos parece tener un valor limitado para el diagnóstico de probable respuesta del palmito a la fertilización con P. Quizás otros procedimientos podrían ser más útiles para el diagnóstico de problemas de P, como por ejemplo el análisis de P orgánico soluble, el contenido de P en otros órganos como el peciolo o la raíz, etc. La determinación del P en la solución del suelo extraíble con CaCl₂, ha sido utilizada como método de diagnóstico en especies leñosas por investigadores australianos (Smet-hurst 2000), y ha permitido determinar el rango de concentración de P en el que las micorrizas resultan eficientes para suplir el elemento al palmito, tal y como previamente se indicó Clement y Habte (1994). Sin embargo, en un experimento con palmito en la región amazónica, el P en solución recolectado con cápsulas de succión resultó demasiado bajo y variable como para ser un buen indicador de la dinámica del P en el suelo (Schroth *et al.* 2000).

CONCLUSIONES

El palmito respondió a la aplicación de P en plantas en maceta tanto en Andisoles como en Ultisoles. El nivel crítico de P en Ultisoles es de 10 mg l⁻¹ utilizando la solución Olsen Modificado, el cual se relacionó con un valor mínimo foliar de 0,14%.

En el ensayo de campo, si bien todos los tratamientos superan al testigo, no se encontró una respuesta clara a la fertilización con P luego de 2 años de evaluación, siendo el rendimiento del tratamiento con la dosis más alta de P apenas un 10% superior al testigo sin P.

Los niveles de P disponible medidos en el suelo después de la aplicación de P difirieron de los valores esperados de acuerdo a la determinación previa de coeficientes buffer en laboratorio.

Los métodos convencionales de diagnóstico de deficiencia de P a través del análisis de suelos y foliar, en general, no fueron útiles para indicar respuesta positiva del palmito a la aplicación de P. Esto reafirma la necesidad de realizar investigaciones adicionales sobre métodos alternativos de diagnóstico para cultivos leñosos perennes, como el análisis de P orgánico soluble, P en la solución del suelo, y el efecto de las micorrizas en el suministro de P al palmito.

LITERATURA CITADA

- ALVARADO A. 1984. Aluminio activo en suelos derivados de cenizas volcánicas de Costa Rica y Guatemala. Turrialba 34:386-398.
- BERTSCH F. 1995. La Fertilidad de los suelos y su manejo. San José, Costa Rica, ACCS. 157 p.
- BLAKEMORE L.C., SEARLE P.L., DALY B.K. 1981. Soil bureau laboratory methods. A method for chemical soil analysis. New Zealand Soil Bureau Scientific Report 10A, DSIRO, New Zealand.
- BOVI M.L.A., CANTARELLA H. 1997. Pupunha para extração de palmito. *In*: Recomendações de adubação e calagem para o estado de Sao Paulo. Ed. By B. Van Raij, H. Cantarella, J.A. Quaggio, A.M. Cangiani. Boletim Técnico 100, Instituto Agronômico, Campinas, Brasil.
- BOVI M.L.A. 1998. Palmito pupunha: Informações básicas para cultivo, Boletim Técnico 173, Instituto Agronômico Campinas, Brasil.
- BOVI M.L.A., TUCCI M.L.S., SPIERING S.H., GODOY G., LAMBAIS M.R. 2000. Biomass accumulation and arbuscular mycorrhizal colonization in pejobaye (*Bactris gasipaes* Kunth) as a function of NPK fertilization. Acta Horticulturae 513:153-167.
- BRICEÑO J., PACHECO R. 1984. Métodos analíticos para el estudio de suelos y plantas. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica. 136 p.
- CLEMENT C.R., HABTE M. 1994. Effect of soil solution phosphorus on seedling growth of the pejobaye palm in an oxisol. Journal of Plant Nutrition 17:639-655.

- CLEMENT C.R., HABTE M. 1995. Genotypic variation in vesicular-arbuscular mycorrhizal dependence of pejobaye palm. *Journal of Plant Nutrition* 18:1907-1916.
- DEENIK J., ARES A., YOST R.S. 2000. Fertilization response and nutrient diagnosis in peach palm (*Bactris gasipaes*): a review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 56:195-207.
- DIAZ-ROMEY, R., HUNTER, A. 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero, Turrialba, Costa Rica. CATIE. 68 p.
- FALCAO N.P.S., SILVA J.R.A., CLEMENT CH. 1996. Caracterização de sintomatologias de carencias nutricionais em mudas de pupunha cultivadas em solução nutritiva. *In: XXII Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, Sociedade Brasileira de Ciencia do Solo*. Manaus, Brasil. p. 100
- GUZMAN P. 1985. Nutrición y fertilización del pejobaye (Respuesta del pejobaye para palmito a la aplicación de N-P-K). Sétimo Informe de Labores de diversificación agrícola. ASBANA, Costa Rica. p. 41-46.
- HENRIQUEZ C., CABALCETA G. 1999. Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola. San José, Costa Rica, ACCS. 112 p.
- JANOS D.P. 1977. Vesicular-arbuscular mycorrhizae affect the growth of *Bactris gasipaes*. *Principes* 21:12-18.
- KAMPRATH E.J., WATSON M.E. 1980. Conventional soil and tissue tests for assessing the phosphorus status of soils. *In: The role of phosphorus in agriculture*. Ed. by F.E. Khasawneh. Madison, Wisconsin, SSSA. p.433-469.
- LA TORRACA S., HAAG H., DECHEN A. 1984. Nutrición mineral de frutíferas tropicales, síntomas de carencias nutricionales en pupunha. *Piracicaba* 76(1):53-56.
- LOPES-REIS E. 1997. Respostas da pupunheira ao NPK na produção de palmito no sul da Bahia. Resumen 26th Congreso Brasileño de la Ciencia del Suelo, Río de Janeiro, Brasil.
- MEHLICH A. 1984. Mehlich N°3 extractant: a modification of Mehlich N°2 extractant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 15: 1409-1416.
- MEYNARD J.M., AUBRY C., JUSTES E., LE BAIL M. 1997. Nitrogen diagnosis and decision support. *In: Diagnosis of nitrogen status in crops*. Ed. by Lemaire, G., Springer-Verlag, Berlin, p. 147-161.
- MOLINA E. 1999. Suelos, nutrición mineral y fertilización. *In: Palmito de pejobaye (Bactris gasipaes Kunth): su cultivo e industrialización*. Ed. by J. Mora Urpí, J. Gainza Echeverría. San José, Costa Rica. Editorial de la Universidad de Costa Rica. p. 78-94.
- MOLINA E. 2000. Manual de suelos y nutrición de pejobaye para palmito. Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica y Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 42 p.
- MORA URPI J., WEBER J.C., CLEMENT C.R. 1997. Peach palm, *Bactris gasipaes* Kunth. promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops 20. *International Plant Genetic Resources Institute*, Rome, Italy.
- NOVAIS R.F. 2000. Diagnosis of soil nutrient constraints and recommendations for lime, nitrogen and phosphorus in Brazil. *In: Decision processes for determining diagnostic and predictive criteria for soil nutrient management*. Ed. by D.L. Osmond, T. Metra-Corton, T.J. Smyth, R.S. Yost and W.S. Reid. Workshop Proceedings. SMCRRSP Technical Bulletin 2000-03. Maligaya, Las Filipinas. p. 66-71.
- PEREZ J.M., DAVEY C.B., MCCOLLUM R.E., PASHNASHI B., BENITES J.R. 1987. Peach palm as a soil management option on Ultisols. *Tropsoils Technical Report*. North Carolina State University. Raleigh, North Carolina. p. 26-27.
- SCHROTH G.R., SEIXAS L.F., DA SILVA L., TEIXERA W.G., ZECH W. 2000. Nutrient concentration and acidity in ferralitic soil under perennial cropping, fallow and primary forest in central Amazonia. *European Journal of Soil Science* 51:219-231.
- SMETHURST P.J. 2000. Soil solution and other soil analyses as indicators of nutrient supply: a review. *Forest Ecology and Management* 138:397-411.
- SUDO A., SILVA E.M.R., BOVI M.L.A., ALMEIDA D.L., COZZOLINO K. 1996. Produção de mudas de pupunheira colonizadas por fungos micorrízicos arbusculares. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo* 20:529-532.
- YOST R., ARES A., BAJITA J., WANG X. 1999. Diagnosing nutrient deficiencies. *In: Decision processes for determining diagnostic and predictive criteria for soil nutrient management: workshop Proceedings*. Ed. by D.L. Osmond, T. Metra-Corton, T.J. Smyth, R.S. Yost, W.S. Reid. Boletín Técnico SMCRRSP 2000-03, Maligaya, Las Filipinas. p. 107-119.
- YUYAMA K. 1997. Sistemas de cultivo para produção de palmito da pupunheira. *Horticultura Brasileira* 15:191-198.