

## ESTIMACIÓN DE BIOMASA POR MÉTODOS ALOMÉTRICOS, NUTRIMENTOS Y CARBONO EN PLANTACIONES DE PALMITO EN COSTA RICA<sup>1</sup>

Adrián Ares<sup>2</sup>/\*, Jimmy Boniche\*\*, José Pablo Quesada\*\*, Russell Yost\*, Eloy Molina\*\*, Thomas J. Smyth\*\*\*

**Palabras clave:** Palmito, biomasa, alometría, nutrientes, trópico húmedo.

**Keywords:** Heart-of-palm, biomass, allometry, nutrients, humid tropic.

### RESUMEN

El agroecosistema de palmito (*Bactris gasipaes*) es un sistema de producción sostenible en los trópicos húmedos. Los métodos alométricos permiten predecir la producción de biomasa en forma no destructiva en cualquier momento y a partir de este dato determinar las fases de crecimiento del cultivo, los componentes de la biomasa y los nutrientes asociados a cada componente, así como el rendimiento económico esperado de una plantación. Los objetivos generales del presente trabajo fueron obtener y validar funciones de predicción de la biomasa seca y de palmitos producidos en plantaciones comerciales, para correlacionarlos con la biomasa y la producción comercial de palmitos en las mismas. De esta manera, en varias fincas de la región Atlántica de Costa Rica se cosechó plantas de palmito y se separó sus componentes: follaje, pecíolos y tallos. Se utilizó modelos de regresión no lineales para calcular en forma independiente los coeficientes de las ecuaciones y así estimar los componentes de la biomasa y de la biomasa total. El diámetro basal fue una variable más efectiva para predecir la producción de biomasa que la altura hasta la hoja candela, la altura total y el número de

### ABSTRACT

**Biomass estimation by allometric relationships, nutrients, and carbon associated to heart-of-palm plantations in Costa Rica.** Peach palm (*Bactris gasipaes*) agroecosystems constitute a productive and sustainable land use for the humid tropics. Allometric methods allow to predict biomass non-destructively at any time and, subsequently, to determine the span of growth phases, biomass and nutrient pools, and economic yields. The overall goals of this study were to obtain and validate predictive functions of above-ground dry biomass, and to relate standing biomass with heart-of-palm yields as well. Towards this purpose, peach palm shoots were harvested and separated into components: foliage, petiole and stem, in the Atlantic region of Costa Rica. A non-linear seemingly unrelated regression (NSUR) procedure, which simultaneously fits the component equations that predict leaf, petiole and stem in order to assure biomass additivity, was used to generate the allometric equations. Basal diameter (BD) was a more effective predictor of biomass than height to the fork between the spear leaf and the first fully expanded leaf, total height

1/ Recibido para publicación el 18 de marzo del 2002.

2/ Autor para correspondencia. Correo electrónico: aares@spa.ars.usda.gov

\* 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.

\*\*\* Soil Science Department, North Carolina State University. Raleigh, North Carolina, USA.

hojas de cada rebrote. Los modelos de regresión explicaron el 70-89% de la variancia de los componentes de la biomasa (follaje, pecíolos y tallos) y de la biomasa total. El estudio permitió identificar 3 etapas de crecimiento de las plantaciones de palmito: establecimiento (0-1 año), crecimiento (1-3 años o 1-8 años, dependiendo de la densidad de plantación) y madurez (> 8 años) las cuales requieren de ecuaciones de predicción específicas. El contenido de nutrimentos en la biomasa aérea mostró el siguiente orden: N (hasta 150 kg ha<sup>-1</sup>)>K (hasta 119 kg ha<sup>-1</sup>)>Ca (hasta 45 kg ha<sup>-1</sup>)>Mg=S=P (entre 15-17 kg ha<sup>-1</sup>). La relación entre la biomasa subterránea y la aérea aumentó con la edad de la plantación.

## INTRODUCCIÓN

Los cultivos leñosos perennes presentan distintas fases de crecimiento que difieren en las tasas de acumulación de biomasa radical y aérea así como en sus necesidades nutricionales. La acumulación de biomasa en relación con la biomasa existente alcanza el valor máximo normalmente durante el período entre la fase inicial de crecimiento (establecimiento) y la fase en la cual se alcanza el equilibrio relativo en la biomasa del cultivo. La identificación de las fases de crecimiento es importante para diagnosticar requerimientos y deficiencias nutricionales, calcular cantidades de fertilizantes a aplicar y determinar la conveniencia económica de la fertilización u otras prácticas de manejo. Estas fases tienen que determinarse separadamente para cada cultivo y aplicarse a un conjunto de condiciones de manejo y áreas geográficas.

El palmito (*Bactris gasipaes*) es una palmera cespitosa que produce rebrotes ("hijos"), controlados en número para optimizar la producción. La cosecha de palmitos comienza 1 año o año y medio después de la plantación y continúa hasta los 20 años o más. Para los fines prácticos del manejo de la fertilización y del control de la densidad de los rebrotes, las fases de crecimiento en palmito pueden dividirse en establecimiento, crecimiento rápido y madurez. Dentro del contexto de este trabajo, el término madurez se

and number of leaves. Regression models explained 70-89% of the variance in biomass components (foliage, petiole and stem) or total shoot biomass. Three growth stages were identified: establishment (0-1 years), fast growth (1-3 or 1-8 years depending on plant density) and maturity (> 8 years). Nutrient contents associated to above- and below-ground biomass were measured. For above-ground biomass nutrient contents were N (up to 150 kg ha<sup>-1</sup>)>K (up to 119 kg ha<sup>-1</sup>)>Ca (up to 45 kg ha<sup>-1</sup>)>Mg=S=P (between 15-17 kg ha<sup>-1</sup>). The below-ground biomass: above-ground biomass ratio increased with the plantation age.

refiere a la fase en la cual el cultivo alcanza un nivel estable de biomasa.

En términos de área, el palmito es el segundo cultivo perenne más importante en la región Atlántica de Costa Rica, después del cultivo del banano. Comprende alrededor de 12000 ha, mientras que el área total de palmito en América Central y Sudamérica es de aproximadamente 24000 ha. En años recientes, la densidad de plantación del palmito en Costa Rica se ha incrementado del nivel tradicional de 3800-4200 plantas ha<sup>-1</sup> (con espaciamentos de 2,5 ó 2,7x1 m) a 10000 plantas ha<sup>-1</sup> (2x0,5 m) o más. Este hecho es importante pues la acumulación de biomasa y el comienzo y duración de las fases de crecimiento dependen, en parte, de la densidad de la plantación. El tipo de suelo, por otro lado, tiene un efecto menor sobre el crecimiento del cultivo porque el estado nutricional del suelo tiende a uniformarse por la fertilización y porque el palmito raramente sufre de estrés hídrico en la región Atlántica de Costa Rica.

En Hawaii la biomasa aérea de palmito a los 16 meses de edad varió entre 0,45 y 1,40 kg de materia seca planta<sup>-1</sup> (2-7 t ha<sup>-1</sup>) en parcelas experimentales con una densidad equivalente a 5000 plantas ha<sup>-1</sup> (Clement 1995). En Costa Rica, el peso seco de la biomasa aérea se estimó en 7,1 t ha<sup>-1</sup> en una plantación de 3 años (Herreña 1989).

La biomasa subterránea podría constituir una importante proporción de la biomasa total en palmito, especialmente a medida que la edad del cultivo aumenta. El palmito posee raíces gruesas y superficiales con 58-80% de la biomasa radical en los primeros 20 cm del suelo (Ferreira *et al.* 1980, 1995; López y Sancho 1990, Jongschaap 1993), pero no existe información sobre la biomasa total radical producida. Es posible que las raíces, rizoma y el tejido fibroso debajo de la base del tallo aumenten en tamaño con el tiempo, y por lo tanto, la biomasa subterránea sobrepase a la biomasa aérea en plantaciones maduras.

La cantidad de C acumulado en plantaciones de palmito es otro aspecto importante, dado el interés actual en la retención de C por cultivos agrícolas y bosques en regiones tropicales. En Costa Rica, se ofrece en la actualidad compensaciones por preservar bosques, y se están llevando a cabo investigaciones sobre el potencial de distintos usos de la tierra para acumular C (Bulte *et al.* 2000). El largo período de cultivo de las plantaciones de palmito puede inducir un incremento en el C orgánico del suelo dada la abundante producción de residuos vegetales. En mediciones realizadas durante 48 semanas en cultivos de palmito de 4 y 5 años, esta producción promedió 11,4 t ha<sup>-1</sup> de materia seca. En este tipo de plantaciones, variables edáficas como el pH y el contenido de cationes se ven afectadas por la fertilización continua. En un experimento en Costa Rica con aplicaciones de N:P:K de 550:87:225 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, el pH del suelo decreció de 5,5 a 4,5; y los niveles de Ca, Mg y K también disminuyeron después de 48 meses de producción continua de palmito (Guzmán 1985).

La alometría es un método rápido, económico y no destructivo que consiste en desarrollar ecuaciones al relacionar diferentes dimensiones de un objeto (por ejemplo una planta, órgano vegetal o plantación). Estas ecuaciones permiten determinar la producción de biomasa de un cultivo, definir sus fases de crecimiento y patrones de reciclaje de nutrientes. Este método se ha aplicado en particular en el área forestal, debido al elevado costo y dificultades logísticas envueltas en la recolección de datos de cosecha, y más recientemente en estudios para estimar la fijación biológica de C a nivel global.

El presente estudio incluye información sobre: 1) biomasa aérea y nutrientes en el cultivo de palmito de diferentes edades y sobre distintos tipos de suelo, así como sobre la metodología para estimar biomasa en el campo; 2) fases de crecimiento basadas en patrones de biomasa aérea y densidad de plantas y tallos; 3) cantidad de biomasa subterránea en comparación con la biomasa aérea; y 4) impacto del cultivo de palmito a largo plazo sobre las características del suelo y estimaciones de la cantidad de C en biomasa y suelo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Estimación de biomasa en el campo y desarrollo de ecuaciones alométricas

El material vegetal se colectó de una plantación desarrollada sobre un suelo Andisol en Guápiles, región Atlántica de Costa Rica. La precipitación anual media de la región es de 4000-5000 mm, mientras que la temperatura anual media es de 24,5°C. Se cosechó 129 rebrotes de 25 cepas de palmito de la variedad Utilis-Tucurrique. Cada rebrote fue cortado al nivel del suelo y se le midió el diámetro basal a 5 cm de altura (Figura 1), el número de hojas, la altura total y la altura hasta la base de la candela (Figura 2). Los rebrotes fueron separados en tallo (denominado estípite), pecíolo y follaje (raquis más folíolos) (Figura 3), cada porción fue pesada en el campo. Submuestras de cada componente fueron llevadas al Laboratorio de Suelos y Foliares del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica y secadas a 65°C para determinar la relación entre la biomasa seca y la biomasa fresca.

Para obtener las ecuaciones alométricas, se utilizó un método lineal de mínimos cuadrados generalizados en forma conjunta (Parresol 1999). Con este método, las ecuaciones de regresión se calculan con la restricción de que la suma de la biomasa de cada uno de los componentes de la planta (tallo, pecíolo y follaje) es igual a la biomasa total. El ajuste de los valores de biomasa, calculados por las ecuaciones a los valores observados, se evaluó por medio del porcentaje de la variancia explicada, sesgo y precisión. El porcentaje de la variancia explicada indica qué fracción

de la variabilidad de la biomasa se puede atribuir a otra variable (por ejemplo diámetro basal). En modelos lineales, la fracción de la variancia explicada es el coeficiente  $R^2$ . Cuanto más alto es el porcentaje de la variancia explicada, mejor es el modelo de regresión. Sesgo es una desviación sistemática de los valores reales (X) y precisión se refiere al agrupamiento de los valores alrededor del promedio (independientemente de la dirección de la desviación). En el contexto de este trabajo valores menores a los índices de sesgo y precisión indican un mejor ajuste del modelo a los valores observados.



Fig. 1. Medición de diámetro basal.



Fig. 2. Altura hasta base de candela.

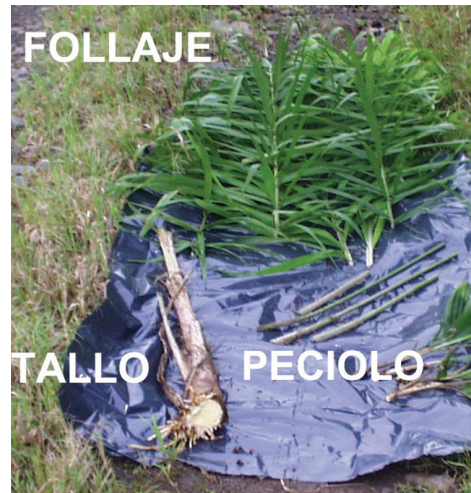


Fig. 3. Componentes de biomasa de palmito.

### Validación de las ecuaciones alométricas y estimación del rendimiento de palmito

Para determinar la precisión de las ecuaciones alométricas, se cosechó 20 cepas de palmito en 4 plantaciones cuya edad varío desde los 23 meses hasta los 21 años. A cada rebrote se le midió el diámetro basal y se le separó y pesó el tallo, el pecíolo y el follaje. Además, se cosechó la biomasa aérea de cepas de palmito en 12 parcelas dentro de 2 plantaciones de 5 y 9 años, respectivamente. Cada rebrote fue separado en pecíolo, follaje y tallo; este último fue luego dividido en cáscara y palmito.

### Biomasa aérea y nutrimentos

Para este estudio, se seleccionó 18 plantaciones de palmito de la variedad Utilis-Tucurrique, localizadas en la región Atlántica de Costa Rica y desarrolladas principalmente sobre Andisoles y Ultisoles, excepto una que se encontraba sobre un Inceptisol.

En cada sitio se eligió una parcela de 200 m<sup>2</sup> al azar. A los rebrotes de cada cepa en la parcela, se les midió el diámetro basal a los 5 cm sobre el suelo y se les calculó la biomasa del tallo, el pecíolo y el follaje, y la biomasa total usando las ecuaciones descritas en la sección anterior.

Posteriormente, se realizó un ajuste biomasa vs. edad para cultivos de baja (<4200 plantas ha<sup>-1</sup>) y alta densidad (>4200 plantas ha<sup>-1</sup>). En la fase inicial de este estudio, se incluyó los datos de 132 días, de una plantación con 4000 plantas ha<sup>-1</sup> desarrollada sobre un Andisol. No se encontró plantaciones de más de 5,7 años de edad y más de 6000 plantas ha<sup>-1</sup>, debido a que la utilización de densidades altas es una tendencia relativamente reciente en Costa Rica. Para ajustar las ecuaciones se asumió que plantaciones con más de 4200 plantas ha<sup>-1</sup> alcanzaban la misma biomasa máxima que plantaciones con menos de 4200 plantas ha<sup>-1</sup>.

La concentración de N, P, K, Ca, Mg, Al, Na, Fe, Mn, Cu, Zn y S se determinó en muestras de tallo, pecíolo y follaje. Muestras de suelo fueron tomadas a 0-5 cm y 5-20 cm de profundidad en 10 posiciones en cada parcela también se analizó C orgánico, N total, P, K, Ca, Mg, S, B, Zn, Cu, Fe, pH y la acidez del suelo.

### Biomasa subterránea y nutrientes

En un muestreo separado, se excavó 11 plantas de palmito en 4 plantaciones cuya edad varió entre 23 meses y 21 años. La biomasa subterránea (Figura 4) se separó en 2 componentes: la sección basal y las raíces. A ambos componentes se les determinó el peso seco y la concentración de nutrientes. El término “sección basal” se refiere al rizoma y al tejido fibroso debajo del tallo. Para determinar la relación entre la biomasa aérea y la subterránea, se cortó a nivel del suelo los rebrotes de las plantas seleccionadas y se separó el follaje, el pecíolo y el tallo. Cada fracción fue pesada después de medir el diámetro basal. La relación peso fresco:peso seco se determinó en submuestras en el laboratorio.

### Carbono en el cultivo de palmito

La cantidad de C se calculó en plantas adultas de palmito creciendo sobre Andisoles y Ultisoles. Para los cálculos se usó el promedio de carbono orgánico en el suelo de los Andisoles y Ultisoles de este estudio, asumiendo una densidad aparente de 0,8 g cm<sup>-3</sup> y 1,2 g cm<sup>-3</sup> para cada orden de suelo, respectivamente. Los valores de biomasa aérea fueron convertidos a C usando una relación carbono:biomasa seca de 0,45 (Barbour *et al.*



Fig. 4. Biomasa subterránea recién cosechada.

1987). Para estimar el C presente en residuos vegetales, se asumió una cantidad adicionada anualmente de 11,4 t ha<sup>-1</sup>, distribuida equitativamente a lo largo del año y descomponiéndose de acuerdo a la tasa medida por Molina *et al.* (2000).

## RESULTADOS

### Obtención y validación de ecuaciones alométricas para palmito

En promedio la proporción de follaje, pecíolo y tallo en los rebrotes cosechados fue de 57,2; 14,4 y 28,4%, respectivamente. El diámetro basal a 5 cm fue la mejor variable para predecir la biomasa del follaje, el pecíolo, el tallo (Cuadro 1, Figura 5) y la biomasa total (Figura 6). En las ecuaciones que contenían como variable independiente la “altura hasta la base de la candela” y la “altura total” las estimaciones de biomasa fueron aceptables. Por el contrario, el número de hojas no resultó una variable eficiente para predecir la biomasa.

Las ecuaciones con la altura hasta la base de la candela como variable independiente (Cuadro 2) pueden usarse en el caso que exista

Cuadro 1. Ecuaciones alométricas para estimar el peso seco de la biomasa de rebrotes (Y en g) de palmito en función del diámetro basal (DB en cm).

Ecuación	EEE	Variancia (%)	Precisión*	Sesgo**
$Y_{\text{follaje}} = 6,8414 \text{ DB}^{2,086}$	72,4	79	818,8	0,6
$Y_{\text{tallo}} = 2,7340 \text{ DB}^{2,1837}$	27,7	89	313,6	-0,4
$Y_{\text{pecíolo}} = 2,7402 \text{ DB}^{1,9408}$	26,4	67	298,7	-0,2
$Y_{\text{planta}}$	111,8	84	1254,6	0,1

\*  $[E (\text{observado-predicho})^2]^{1/2}$ , \*\*E (Observado-predicho)  $n^{-1}$ .  
 EEE= Error estándar de estimación.

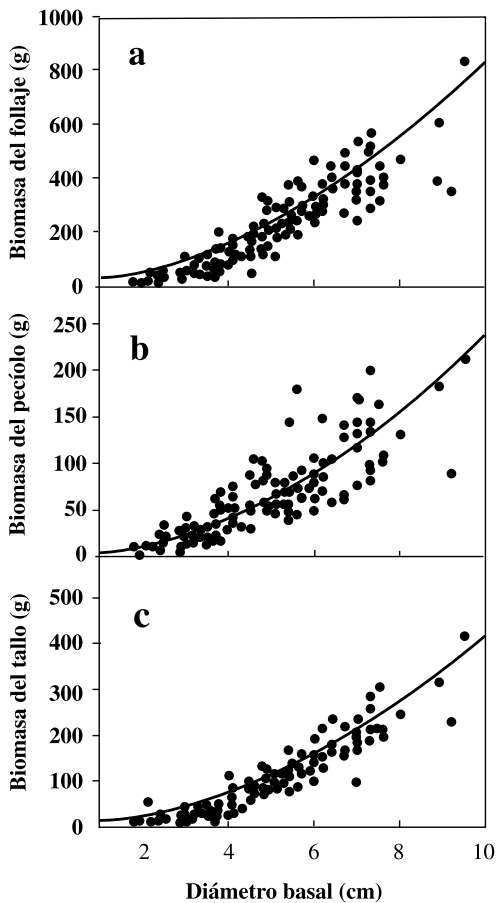


Fig. 5. Relación entre el diámetro basal de los rebrotes y la biomasa real de a) follaje, b) pecíolo y c) tallo de palmito en la región Atlántica de Costa Rica.

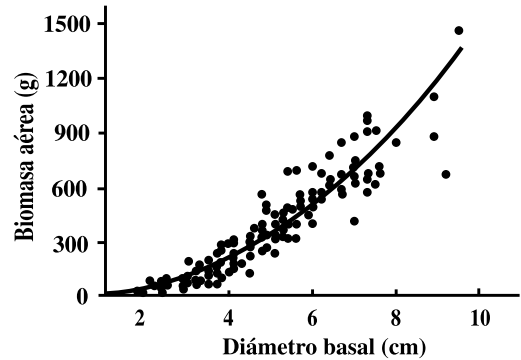


Fig. 6. Relación entre el diámetro basal de los rebrotes y la biomasa real total de palmito de Costa Rica.

dificultades para medir el diámetro basal de cada rebrote (debido a la abundante cantidad de espinas en variedades como la Tucurrique).

En general, las predicciones de biomasa basadas en las ecuaciones alométricas fueron bastante similares a los valores de biomasa cosechada (Cuadro 3). Sin embargo, en la plantación de 1,9 años, las ecuaciones sistemáticamente sobrestimaron la biomasa total y de los componentes, especialmente del pecíolo y del tallo.

En las plantaciones de 5 y 9 años, la relación entre la biomasa aérea total y el rendimiento de palmito fue lineal. Las pendientes de la función de regresión no difirieron entre plantaciones de diferente edad, por lo que una sola función se ajustó a todos los datos. La ecuación resultó ser:

Cuadro 2. Ecuaciones alométricas para estimar el peso seco de la biomasa de rebrotes de palmito (Y en g) en función de la altura hasta la base de la candela (AC en cm).

Ecuación	EEE	Variancia (%)	Precisión*	Sesgo**
$Y_{\text{follaje}} = 0,0945 AC^{1,8463}$	86,8	78	978,6	-2,0
$Y_{\text{tallo}} = 0,0089 AC^{2,2182}$	43,0	83	484,9	-0,2
$Y_{\text{pecíolo}} = 0,0446 AC^{1,7443}$	26,5	70	299,1	11,6
$Y_{\text{planta}} = 0,1196 AC^{1,9249}$	142,9	81	1610,9	-2,5

\*[E (observado-predicho)<sup>2</sup>]<sup>1/2</sup>, \*\*E (Observado-predicho)n<sup>-1</sup>.

EEE= Error estándar de estimación.

Cuadro 3. Comparación entre los valores observados y los calculados de biomasa total de los rebrotes y de los componentes: tallo, pecíolo y follaje.

Edad (años)	N° rebrotes planta <sup>-1</sup>	Biomasa del follaje (kg)		Biomasa del pecíolo (kg)		Biomasa del tallo (kg)		Biomasa total (kg)	
		Obs.	Calc.	Obs.	Calc.	Obs.	Calc.	Obs.	Calc.
1,9	1,1	9,6	12,7	2,1	3,7	4,3	6,3	16,0	22,7
4,2	2,5	13,0	10,8	3,7	3,3	4,8	5,1	21,5	19,2
9,2	2,4	12,1	11,8	4,1	3,7	4,9	5,5	21,1	21,0
21,0	3,6	25,3	26,5	5,9	7,8	12,0	13,0	43,2	47,3

Obs.= observado; Calc.= calculado.

RP= 0,0718 BAT (R<sup>2</sup><sub>ajustado</sub>=0,95) (Ecuación 1)

Donde:

RP= Rendimiento de palmito (kg)

BAT= Biomasa aérea total (kg)

Si bien no se desarrolló ecuaciones alométricas para calcular el número de palmitos, este dato podría derivarse dividiendo el rendimiento de palmito (una vez calculado a partir de la biomasa aérea total) por el peso seco promedio de un palmito.

### Biomasa aérea y nutrimentos

La densidad de siembra en las 18 plantaciones de palmito estudiadas varió entre

3150 y 7250 plantas ha<sup>-1</sup>, mientras que el número de rebrotes osciló entre 4000 y 24250 ha<sup>-1</sup>. El número promedio de rebrotes planta<sup>-1</sup> fue de 3,31. Para cultivos de más de 1 año, 69% de las plantaciones tenían entre 2 y 4 rebrotes planta<sup>-1</sup>, lo cual refleja un manejo adecuado.

No se encontró diferencias en la producción de biomasa en función del tipo de suelo, razón por la cual los datos de todas las plantaciones se incluyeron en forma conjunta en los análisis posteriores. La producción de biomasa aérea total se ajustó a funciones lógicas (Figura 7) y la biomasa total alcanzó un máximo de 6,31 t ha<sup>-1</sup>.

Las ecuaciones resultantes son:

$BAT=6310/1+(edad/4,672)^{-1,258}$  para cultivos con  $<$  de 4200 plantas  $ha^{-1}$  (Ecuación 2)

$BAT=6310/1+(edad/0,990)^{-1,347}$  para cultivos con  $>$  de 4200 plantas  $ha^{-1}$  (Ecuación 3)

Donde:

BAT= Biomasa aérea total ( $kg\ ha^{-1}$ ) y edad se expresa en años.

Para fines prácticos es indispensable conocer la edad del cultivo y el grupo de densidad al que pertenece, para poder así estimar la biomasa aérea total, con solo reemplazar la edad en las ecuaciones 2 ó 3.

La mitad de la biomasa máxima se alcanzó a los 4,7 años en cultivos con menos de 4200 plantas  $ha^{-1}$  y aproximadamente al año edad en cultivos con más de 4200 plantas  $ha^{-1}$ . Esto refleja un incremento acentuado en la tasa de acumulación de biomasa durante la etapa inicial de crecimiento, en las plantaciones de alta densidad. Basados en esas tendencias, se propone las siguientes fases de crecimiento para plantaciones de palmito (Figura 8):

- Establecimiento: Plantaciones de 0 a 1 año, en general aún no se cosecha palmitos.
- Crecimiento rápido: Plantaciones de 1-3 años con densidad alta ( $>4200$ ) o de 1-8 años con densidad baja; durante esta etapa se acumula biomasa y aumenta la producción de palmito.
- Madurez: La plantación alcanza un nivel estable de biomasa y producción de palmito después de los 8 años.

La cantidad acumulada de nutrientes en la biomasa aérea fue: N (hasta aproximadamente  $149\ kg\ ha^{-1}$ )  $>$  K (hasta  $119\ kg\ ha^{-1}$ )  $>$  Ca (hasta  $45\ kg\ ha^{-1}$ )  $>$  Mg=S=P (todos hasta  $15-17\ kg\ ha^{-1}$ ) (Cuadro 4). En una plantación se encontró niveles mensuales de N y K altos, estos valores probablemente no son representativos.

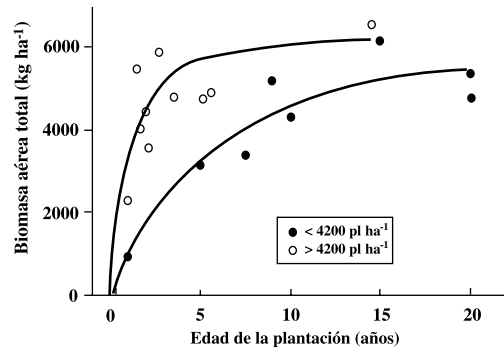


Fig. 7. Biomasa real en plantaciones de palmito en la región Atlántica de Costa Rica.



Fig. 8. Fases de crecimiento del palmito: a) Establecimiento, b) crecimiento rápido, c) madurez.



Cuadro 4. Contenido de N, P, K, Ca, Mg y S en la biomasa aérea de cultivos de palmito.

Sitio	Edad de la Plantación (años)	kg ha <sup>-1</sup>					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Río Frío	1,0	20,0	2,2	14,9	4,7	2,8	1,9
Guápiles	1,0	37,7	5,3	9,3	14,2	5,1	----
Guápiles	1,5	149,0	11,8	118,6	17,4	11,6	10,3
La Conquista	1,7	51,2	7,7	46,8	21,3	10,0	----
Río Frío	2,0	85,3	14,2	66,0	23,0	11,5	15,3
Guápiles	2,2	66,2	8,4	32,7	24,4	8,4	----
Horquetas	2,7	74,9	15,2	62,5	31,4	17,0	----
Huetar	3,6	72,9	11,4	55,7	26,0	12,9	----
Guápiles	5,0	71,3	6,4	55,7	13,4	5,7	5,8
Guápiles	5,2	55,2	13,2	70,8	19,2	11,5	----
Río Frío	5,7	92,8	11,3	31,0	30,6	13,3	----
Guápiles	7,5	75,3	7,5	35,0	17,9	8,5	12,9
Río Frío	9,0	96,5	14,9	86,6	22,5	9,9	16,2
Guápiles	10,0	101,0	9,3	69,5	17,4	10,8	11,7
Río Frío	14,5	96,0	14,1	68,5	44,7	13,5	13,6
Guápiles	15,0	118,1	7,9	50,2	25,1	12,1	9,8
Río Frío	20,0	93,1	11,6	54,4	23,7	7,7	8,2
Guápiles	20,0	96,5	11,4	88,2	17,1	8,5	12,7

### Biomasa subterránea y nutrientes

La relación entre la biomasa subterránea y la biomasa aérea fue hiperbólica a través del tiempo y varió entre 1 en el cultivo de menor edad a >2 en el cultivo de mayor edad (Figura 9). Por lo tanto, en un cultivo maduro de palmito puede haber más de 10 t ha<sup>-1</sup> de biomasa subterránea comparada con 5,5 t ha<sup>-1</sup> de biomasa aérea. Esta estimación excluye raíces finas y por lo tanto puede subestimar la biomasa subterránea real. La abundancia de raíces finas, sin embargo, fue muy baja en los sitios muestreados.

En general, el contenido total de macronutrientes en la biomasa subterránea se incrementa con la edad de la plantación (Cuadro 5). En las raíces gruesas los contenidos de N y Ca se encuentran en menor cantidad y el contenido de P es mayor que en la sección basal, mientras que los contenidos de K y Mg son casi iguales en ambos tejidos.

### Características del suelo y cantidad de C a través del tiempo

No se evidenció cambios significativos en la cantidad de C orgánico en el suelo entre plantaciones de diferente edad. En plantaciones

de más de 2 años, el promedio de C orgánico a 0-5 cm de profundidad fue de 5,5% en Andisoles y 3,7% en Ultisoles. A modo de ejemplo, puede indicarse que en un cultivo maduro de palmito hay aproximadamente 8 t ha<sup>-1</sup> de C en la biomasa aérea y en los primeros 20 cm del suelo, 83 t ha<sup>-1</sup> de C en Andisoles y 89 t ha<sup>-1</sup> de C en Ultisoles (Cuadro 6). El pH del suelo, la

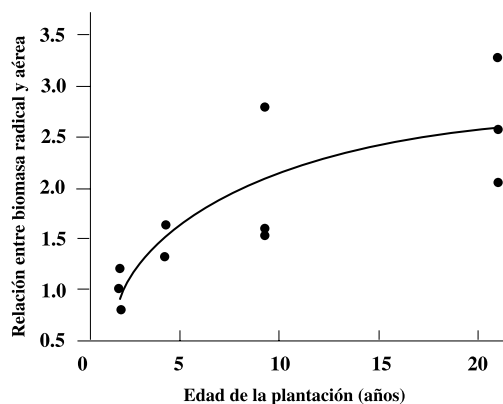


Fig. 9. Relación entre la biomasa subterránea y la biomasa aérea en plantaciones de palmito.

Cuadro 5. Contenido de macronutrientes en tejidos subterráneos de plantaciones de palmito.

Edad de la plantación (años)	N	P	K	Ca	Mg
	%				
Sección basal					
1,9	1,12 (0,24)*	0,27 (0,53)	0,52 (0,28)	0,22 (0,13)	0,14 (0,36)
4,2	0,61 (0,34)	0,09 (0,24)	0,31 (0,42)	0,17 (0,21)	0,10 (0,28)
9,2	0,90 (0,53)	0,24 (0,48)	0,78 (0,80)	0,37 (0,70)	0,12 (0,73)
21	0,46 (1,08)	0,29 (1,50)	0,59 (0,73)	0,18 (0,92)	0,13 (1,14)
Raíces gruesas					
1,9	0,62 (0,20)	0,20 (0,59)	0,53 (0,31)	0,15 (0,13)	0,08 (0,43)
4,2	0,32 (0,18)	0,10 (0,26)	0,28 (0,37)	0,23 (0,28)	0,08 (0,22)
9,2	0,50 (0,27)	0,21 (0,81)	0,52 (0,50)	0,17 (0,30)	0,10 (0,57)
21	0,47 (0,38)	0,50 (0,93)	1,07 (0,47)	0,23 (0,41)	0,17 (0,52)

\* Relación entre la cantidad de nutrientes en la biomasa subterránea y aérea.

Cuadro 6. Estimaciones de carbono en biomasa aérea y subterránea en plantaciones maduras (&gt;3 años) de palmito sobre Andisoles y Ultisoles en la región Atlántica de Costa Rica.

Componente	C (kg ha <sup>-1</sup> )
Biomasa aérea	2400
Biomasa subterránea	4800
Residuos	830
Suelo (0-20 cm)	83000*
	88800**
Total	91039*
	96830**

\* Andisoles, \*\* Ultisoles.

acidez intercambiable y los contenidos de macro y micronutrientes del suelo tampoco variaron con la edad de la plantación.

## DISCUSIÓN

El cálculo de la biomasa de rebrotes individuales en plantaciones de palmito. Su estimación utilizando ecuaciones con solo el diámetro basal, como variable independiente, permite obtener valores de la biomasa del tallo, pecíolos, follaje y

planta aceptables. Sin embargo, las ecuaciones generadas en este estudio deben ser validadas en plantaciones de diferente densidad, edad y manejo. Las relaciones alométricas encontradas posiblemente no varíen demasiado entre plantaciones de palmito, ya que el número de rebrotes por cepa es restringido debido al manejo y los brotes se cosechan una vez que el rebrote dominante ha alcanzado un cierto diámetro. Debe mencionarse que las funciones alométricas sobrestimaron la biomasa total y de sus componentes en plantaciones jóvenes de palmito (fase de establecimiento) o entrando en la fase de

crecimiento rápido. Las estimaciones de biomasa en plantaciones jóvenes es, de todos modos, menos importante que en plantaciones maduras, debido a que en las primeras la acumulación de biomasa y la absorción de nutrientes son reducidas.

La biomasa aérea en plantaciones de palmito se incrementó con el tiempo. La densidad de la plantación modifica la duración de las fases de crecimiento, por lo que las fincas con densidad baja alcanzan la biomasa máxima de aproximadamente 6,3 t ha<sup>-1</sup> a una mayor edad que las plantaciones de densidad alta. El tipo de suelo, en cambio, no ejerció una influencia significativa sobre la acumulación de biomasa.

La cantidad de nutrientes asociada a plantaciones de palmito fue, aproximadamente, proporcional a las cantidades de biomasa aérea. Esto era de esperar, porque a diferencia de otros cultivos perennes, la biomasa aérea en palmito se regenera continuamente después de la cosecha. Por el contrario, en bosques o plantaciones forestales, parte de la biomasa aérea es no renovable y se incrementa continuamente durante un período prolongado, de manera que la acumulación de diferentes nutrientes puede cambiar durante la rotación. Este es el caso observado en plantaciones de Eucalipto donde el Mg se acumula durante los estadios iniciales de crecimiento, mientras que el P y el Ca se incrementan en proporción a la biomasa en el transcurso de la rotación (Laclau *et al.* 2000).

La cantidad de nutrientes en la biomasa aérea siguió, aproximadamente, el orden en las necesidades de nutrientes en palmito, sugerido en estudios previos (N>K>Ca>Mg=S=P), excepto para Mg. Varios estudios mencionan la respuesta de crecimiento del palmito a la fertilización con N y K (Guzmán 1985, Pérez *et al.* 1993, Lopes-Reis 1997), mientras que la respuesta al P no es tan frecuente. El palmito presenta a menudo síntomas visuales de deficiencia de Mg, lo que sugiere un alto requerimiento de este elemento, aunque la deficiencia de Mg también puede ocurrir por un desbalance con K.

El incremento relativo de la biomasa subterránea en el tiempo, indica que los tejidos radicales continúan su crecimiento aún después de que la biomasa aérea alcanza un estado de equilibrio. La biomasa subterránea parece seguir cre-

ciendo hasta que los órganos subterráneos ocupan la mayor parte del espacio horizontal disponible. La alta concentración de nutrientes (por ejemplo P) en tejidos subterráneos, comparada con los nutrientes en la biomasa aérea, sugiere que la sección basal y las raíces gruesas son reservorios de elementos nutritivos, aunque el contenido de los mismos varía; este fenómeno puede deberse a diferencias de absorción y acumulación de nutrientes de estos 2 tipos de raíces.

La ausencia de un efecto del cultivo de palmito sobre el pH del suelo, no concuerda con resultados obtenidos previo a este trabajo (Guzmán 1985), que indican una acidificación del suelo y la pérdida de bases después de 4 años de fertilización. Esto puede deberse en parte a las dosis modestas de fertilizante aplicadas durante el período de muestreo del presente trabajo, al reemplazo de urea por otros fertilizantes y probablemente al posible encalado en algunas plantaciones de palmito. El estudio tampoco suministró evidencia de enriquecimiento de C orgánico en el suelo cultivado con palmito, fenómeno explicable con base en la alta tasa de descomposición de residuos mencionada por Soto *et al.* (2002).

El C almacenado en la biomasa aérea, en plantaciones de palmito, es considerablemente menor que el mencionado para bosques de la costa Atlántica de Costa Rica. La cantidad promedio de C almacenada en los bosques de la misma región fue de 100 t ha<sup>-1</sup> de C (Bulte *et al.* 2000), que es más de 10 veces la cantidad existente en plantaciones de palmito. Además, el C en la biomasa aérea es retenido durante un corto tiempo debido a las cosechas continuas; sin embargo, el C contenido en biomasa subterránea permanecerá por mayor tiempo que el de la biomasa aérea. La tasa de reemplazo de raíces de palmito en la región Atlántica de Costa Rica es presumiblemente alta, ya que las raíces necróticas (no funcionales) constituyeron el 37% de la biomasa radical hasta 1 m de profundidad en una plantación de palmito en un Andisol (López y Sancho 1990).

En los primeros 20 cm de suelo de una plantación de palmito madura se encuentra alrededor de 91-97 t ha<sup>-1</sup> de C. Estudios de perfiles verticales de C han indicado que 40-60% del C del suelo puede ser almacenado debajo de los 25

cm de profundidad (Arrouays y Pelissier 1994). Por lo tanto, en el suelo de una plantación madura de palmito habría entre 130 y 140 t ha<sup>-1</sup> de C.

### AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Decision Aids for Soil Nutrient Management Project (NuMaSS)-Soil Management Collaborative Research Support Program, USAID, por el financiamiento de esta investigación. También se agradece a la empresa DEMASA, Estación Experimental Los Diamantes y numerosas fincas particulares por permitir la cosecha destructiva de plantas para obtener los datos del presente estudio. Se agradece la contribución editorial del Dr. Alfredo Alvarado Hernández a este trabajo.

### LITERATURA CITADA

- ARROUAYS D., PELISSIER P. 1994. Modeling carbon storage profiles in temperate forest humic loamy soils of France. *Soil Science* 157:185-192.
- BARBOUR M.G., BURK J.H., PITTS W.D. 1987. *Terrestrial plant ecology*. The Benjamin Cummings Publishing Company Inc. California.
- BULTE E.H., JOENJE M., JANSEN H.G.P. 2000. Is there too much or too little natural forest in the Atlantic Zone of Costa Rica?. *Canadian Journal of Forest Research* 30:495-506.
- CLEMENT C.R. 1995. Growth and genetic analysis of pejobaye (*Bactris gasipaes* Kunth, Palmae) in Hawaii. Ph.D. dissertation, University of Hawaii, Honolulu, USA.
- FERREIRA S.A.N., CLEMENT C.R., RANZANI G. 1980. Contribuição para o conhecimento do sistema radicular da pupunheira (*Bactris gasipaes* H.B.K.-*Guilielma gasipaes* (H.B.K.) Bailey). I. Solo Latossolo Amarelo, textura media. *Acta Amazonia* 10:245-249.
- FERREIRA S.A.N., CLEMENT C.R., RANZANI G., COSTA S.S. 1995. Contribuição para o conhecimento do sistema radicular da pupunheira (*Bactris gasipaes* H.B.K.-*Guilielma gasipaes* (H.B.K.) Bailey). II. Solo Amarelo, textura argilosa. *Acta Amazonia* 25:161-170.
- GUZMAN P. 1985. Nutrición y fertilización del pejobaye (Respuesta del pejobaye para palmito a la aplicación de N-P-K). Séptimo Informe de labores de diversificación agrícola, ASBANA, Costa Rica. p. 41-46.
- HERRERA W. 1989. Fertilización del pejobaye para palmito. Serie Técnica pejobaye, Universidad de Costa Rica, Boletín Informativo 1:1-8.
- JONGSCHAAP R. 1993. Palmito (*Bactris gasipaes* H.B.K.) growth and management in the humid lowlands of the Atlantic Zone of Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Agricultural University Wageningen, Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica. Report N°60.
- LACLAU J.P., BOUILLET J.P., RANGER J. 2000. Dynamics of biomass and nutrient accumulation in a clonal plantation in Congo. *Forest Ecology and Management* 128:181-196.
- LOPES-REIS E. 1997. Respostas da pupunheira ao NPK na produção de palmito no sul da Bahia. Resúmen 26th Congreso Brasileiro de la ciencia del suelo, Río de Janeiro, Brasil.
- LOPEZ A., SANCHO H. 1990. Observaciones sobre la distribución radical del pejobaye (*Bactris gasipaes* H.B.K.) para palmito en un andosol. *CORBANA* (Costa Rica) 14:9-15.
- MOLINA E.A., BOGANTES A., ALVARADO A., SMYTH T.J. 2000. Biomass and nutrient accumulation from heart-of-palm production in mature peach palm plantations of Costa Rica. *Field Crops Research*.
- PARRESOL B.R. 1999. Assessing tree and stand biomass: a review with examples and critical comparisons. *Forest Science* 45:573-593.
- PEREZ J., SZOTT L.T., MCCOLLUM R.E., AREVALO L. 1993. Effect of fertilization on early growth of pijuayo (*Bactris gasipaes* HBK) on an Amazon Ultisol. In: IV Congreso Internacional sobre biología, agronomía e industrialización del Pijuayo. Ed. by Mora Urfí J., Szott L.T., Murillo M., Patiño V.M., Editorial de la Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. p. 209-223.
- SOTO G., LUNA P., WAGGER M., SMYTH T.J., ALVARADO A. 2002. Descomposición de residuos de cosecha y liberación de nutrimentos en plantaciones de palmito en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 26(2): 43-51.