

DESCOMPOSICIÓN DE RESIDUOS DE COSECHA Y LIBERACIÓN DE NUTRIMENTOS EN PLANTACIONES DE PALMITO EN COSTA RICA¹

Gabriela Soto*, Pedro Luna**, Michael Wagger**, Thomas J. Smyth**, Alfredo Alvarado^{2/*}

Palabras clave: Trópicos húmedos, descomposición de residuos, liberación de nutrientes, pejobaye, palmito.

Keywords: Humid tropics, residue decomposition, nutrient release, peach palm, heart-of-palm.

RESUMEN

El sistema de producción de palmito (*Bactris gasipaes*) se caracteriza por la baja extracción de nutrientes del suelo, resultado de la gran cantidad de residuos de cosecha dejados en el campo. Así, se planteó este trabajo con el objetivo de comprender mejor el patrón de descomposición y liberación de nutrientes de este tipo de residuos durante los picos de baja y alta cantidad de lluvias en Guápiles, Costa Rica. El estudio se realizó durante 2 períodos de alta precipitación (entre julio y septiembre de 1998) y un período de poca lluvia (entre febrero y abril de 1999), en una plantación comercial de 16 años con suelos clasificados como Typic Hapludands. Como material de descomposición, se utilizó sólo residuos de la tercera hoja secos al aire y colocados en bolsas de descomposición de nylon y no los residuos de las 5 hojas cortadas al momento de la cosecha del palmito. Las bolsas se colocaron sobre la superficie del suelo dentro de la plantación y se recogieron a 1, 2, 4, 8, 16, 24, 32 y 48 semanas después de iniciado el experimento. Con los porcentajes del residuo original seco y los contenidos de nutrientes en el mismo material, se realizó un modelo de regresión en el tiempo. Las concentraciones iniciales en el material a descomponer en los 3 períodos de estudio variaron entre

ABSTRACT

Foliage residue decomposition and nutrient release from heart-of-palm plantations in Costa Rica. The peach palm (*Bactris gasipaes*) cropping system for heart-of-palm production is characterized by relatively low nutrient exports from the field and a considerable amount of plant residue left on the ground as mulch. The objective of this study was to gain an understanding of peach palm foliage residue decomposition and nutrient release patterns under high and low rainfall periods in a mature peach palm plantation at Guápiles, Costa Rica. The study was conducted on a Typic Hapludands, in a 16-year commercial peach palm stand. Residue decomposition and nutrient release were monitored during 2 high rainfall seasonal periods (starting in July and September 1998) and a dryer season between February and April 1999. The third leaf, of the 5 leaves cut during harvest of the stem portion, was air-dried and placed in 1-mm mesh nylon bags. Bags were placed on the soil surface and retrieved at 1, 2, 4, 8, 16, 24, 32, 40, and 48 weeks. Percentage of the original residue dry weight and nutrients remaining were regressed on time. Initial N residue concentrations over the 3 placement

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

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

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

** Human Resources Development Program. North Carolina State University, Raleigh, North Carolina. USA.

24,2 y 28,1 g N kg⁻¹, 251 y 325 g celulosa kg⁻¹ y entre 80 y 104 g lignina kg⁻¹. La velocidad de descomposición del material fue de 0,15% semana⁻¹, mientras que la liberación de nutrimentos osciló entre 0,03 y 0,30% semana⁻¹. El orden general de liberación de nutrimentos fue N=K>P>Mg>Ca. Al utilizar las ecuaciones que describen la liberación de nutrimentos y la acumulación de los mismos en plantaciones de palmito de 4 y 8 años, del trabajo de Molina *et al.* (2001), se estimó que la cantidad de nutrimentos potencialmente disponibles en base anual, proveniente de los residuos de cosecha, oscila entre 93 y 107 kg ha⁻¹ de N, 14 a 15 kg ha⁻¹ de P, 90 a 116 kg ha⁻¹ de K, 19 a 23 kg ha⁻¹ de Ca y 13 a 14 kg ha⁻¹ de Mg. La descomposición relativamente rápida y la liberación de nutrimentos de los residuos de cosecha de palmito parecen ser ideales para este cultivo perenne, en el cual la demanda de nutrimentos es relativamente constante durante todo el año.

INTRODUCCIÓN

En el sistema de producción de palmito (*Bactris gasipaes*), la cosecha del producto vendible remueve muy pocos nutrimentos del ecosistema, ya que la mayoría de los residuos de follaje frescos quedan sobre el suelo. Molina *et al.* (2001), caracterizaron la fluctuación estacional y la acumulación anual de biomasa y nutrimentos cosechados, reciclados y remanentes en las plantaciones de palmito en Guápiles, Costa Rica, encontrando que a la cosecha tan solo el 13 y 9% de la materia seca total cosechada salió del ecosistema en plantaciones de 4 y 8 años, respectivamente. Los mismos autores también encontraron que la absorción promedio total de nutrimentos varió en el orden K>N>Ca>P>Mg y que el porcentaje promedio de nutrimentos extraídos de las 2 plantaciones en el producto cosechado fue de 16 para K, Mg y P, 13 para N y 12 para Ca. Dentro de los diferentes tipos de material dejados en el campo, el follaje (raquis, hojas y pecíolos) fue el material con mayor contenido de nutrimentos, con valores promedio de 59% de K y

periods ranged from 24.2 to 28.1 g kg⁻¹, cellulose from 251 to 325 g kg⁻¹, and lignin from 80 to 104 g kg⁻¹. The residue decomposition rate was 0,15% week⁻¹, while nutrient release rates ranged from 0,03 to 0,30% week⁻¹. The general order of nutrient release was N=K>P>Mg>Ca. When the equations describing nutrient release were applied to nutrient accumulation values from 4 and 8-year-old peach palm stands from a paper of Molina *et al.* (2001), the potentially available nutrient pools on an annual basis ranged from 93 to 107 kg ha⁻¹ of N, 14 to 15 kg ha⁻¹ of P, 90 to 116 kg ha⁻¹ of K, 19 to 23 kg ha⁻¹ of Ca, and 13 to 14 kg ha⁻¹ of Mg. The relatively fast decomposition and nutrient release rates would seem to be ideal for this perennial cropping system, where nutrient demand in a heart-of-palm plantation occurs at a relatively constant rate during the year.

74% de N. En otro estudio realizado por Vargas y Flores (1995) con residuos de banano en la zona Atlántica de Costa Rica, también se encontró una velocidad de descomposición rápida, además de una liberación de nutrimentos dependiente del tipo de tejido considerado.

El estudio mencionado verifica que la mayoría de la biomasa y los nutrimentos asociados a los residuos de cosecha en plantaciones de palmito permanecen en el campo y representan una fuente potencial de fertilización en este sistema de producción. La hipótesis del presente trabajo es que la sincronización del reciclaje de nutrimentos podría ocurrir para el caso de cultivos perennes como el palmito, caracterizados por una extracción de nutrimentos baja y una elevada concentración en la biomasa aérea remanente en el campo como residuos de cosecha. De esta manera, el objetivo de este estudio fue mejorar el conocimiento sobre la descomposición de residuos de cosecha de palmito y la liberación de nutrimentos asociados a esos residuos, bajo condiciones de alta y baja precipitación pluvial en plantaciones maduras del cultivo en Costa Rica.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se llevó a cabo en una plantación de palmito con 5000 plantas ha^{-1} (1×2 m) de 16 años de edad en Guápiles, Costa Rica. Las plantas se cosecharon 2 veces por mes cuando tenían 4 tallos de 2-3 m de altura y 6-8 hijos, que eventualmente se convertirían en material de cosecha.

La nutrición estándar de la plantación consistió en aplicar fertilizante 2 veces al mes hasta totalizar una cantidad de 250-300 kg ha^{-1} de N, 22-44 kg ha^{-1} de P, 42-167 kg ha^{-1} de K, 10-36 kg ha^{-1} de Mg, 40-80 kg ha^{-1} de S y 55-2000 kg ha^{-1} año⁻¹ de calcita (Molina 2000) a un suelo que clasifica como Typic Hapludands (ceniciento, amorfo, isohipertérmico). Algunas propiedades químicas seleccionadas del horizonte superior del suelo (0-20 cm) son las siguientes: pH 5,7 (relación suelo:agua 1:2,5), capacidad de intercambio de cationes efectiva 12,35 cmol (+) l^{-1} (sumatoria de Ca, Mg y acidez extraídos con KCl 1M y K extraído con Olsen Modificado); 84,2 g materia orgánica kg^{-1} de suelo (digestión húmeda). La elevación del sitio de estudio es de 210 msnm, con una temperatura media anual de 25,5°C, una precipitación media anual de 3650 mm y un régimen de humedad del suelo perúdic. Durante los meses de febrero a abril se presenta un período menos lluvioso, lo que define una distribución bimodal de las lluvias de importancia en la descomposición de los residuos de cosecha; por esta razón, el estudio se diseñó de manera que se estudiara 2 períodos húmedos iniciándose en julio (S1) y septiembre (S2) y otro más seco entre febrero y abril (S3). Durante el período de menos lluvias en Guápiles (S3) caen entre 50 y 75 mm de lluvia al mes y la producción de palmito puede declinar hasta en un 50%.

Con el fin de medir la descomposición de residuos durante cada uno de los períodos definidos anteriormente, se seleccionó la tercera hoja como representativa del peso seco y del contenido de nutrimentos de las 5 hojas que se cortan y desechan en el campo al momento de cosechar el palmito. Las terceras hojas se dejaron secar al aire sobre mesas en un invernadero y posteriormente una hoja se introdujo en una bolsa de des-

composición de nylon de 90x45 cm. El peso seco de material por bolsa correspondiente a los períodos S1, S2 y S3 fue de 4,0; 3,0 y 2,7 Mg ha^{-1} , respectivamente. Las hojas se manejaron cuidadosamente para evitar que se desprendieran los folíolos y poder simular lo mejor posible las condiciones en que los residuos quedan en el campo. En total, al inicio de cada período, se colocó sobre el suelo de la plantación 36 bolsas con residuos (9 épocas de recolección y 4 repeticiones), a una distancia de 2 m de las plantas de palmito, el 31 de julio (S1) y el 24 de septiembre (S2) de 1998, y el 11 de marzo de 1999 (S3). Las bolsas se recolectaron 1, 2, 4, 8, 16, 24, 32, 40 y 48 semanas después de haberse depositado en el campo, su contenido se secó a 70°C, se digirió por combustión húmeda con HNO_3 y HClO_4 para la determinación de P, K, Ca y Mg. El P se determinó en un espectrofotómetro después de reducirlo con cloruro estañoso y acomplejarlo como fosfomolibdato (Chapman y Pratt 1973), mientras que el K, Ca y Mg se determinaron por absorción atómica. Por aparte se efectuó digestiones de muestras para determinar N por el método modificado de Kjeldhal y el NH_4 se analizó en un autoanalyzer de flujo continuo marca Lachat. La contaminación por suelo en las muestras se dedujo convirtiendo en cenizas una submuestra de 1 g a 550°C. Los resultados del análisis de los residuos remanentes se expresan en base peso seco.

Al mismo tiempo que se tomó muestras foliares para llenar las bolsas de descomposición, se tomó 10 terceras hojas de palmito adicionales en cada período de estudio para el análisis inicial de N, P, K, Ca y Mg, así como la determinación de celulosa y lignina por el método de Van Soest y Win (1968).

Los porcentajes de N, P, K, Ca y Mg en el material original en los residuos en cada muestreo se sometieron al análisis de regresión en el tiempo, empleando el procedimiento de regresión no lineal del Paquete de Análisis Estadístico (SAS 1998). La merma en peso y en nutrimentos en el tiempo, generalmente se ajustó a un modelo exponencial; así, los 3 modelos siguientes se consideraron los mejores para la explicar la respuesta de cada variable: (i) exponencial simple, (ii) exponencial doble y (iii) asintótico. En adición, se

encontró otro modelo para explicar el comportamiento de los promedios de las 4 repeticiones de cada período de estudio. En el modelo exponencial simple (Ecuación 1) se asume que todo el residuo fresco o los nutrientes adicionados se descomponen o liberan a una tasa constante desde el principio hasta el fin, mientras que en el modelo exponencial doble (Ecuación 2) se considera que el residuo fresco o los nutrientes adicionados se descomponen o liberan a 2 velocidades diferentes. El modelo asintótico (Ecuación 3) asume una sola tasa de descomposición, en la cual el residuo fresco o los nutrientes adicionados no se descomponen o liberan totalmente durante el período de estudio. La forma general de las ecuaciones mencionadas es la siguiente:

$$Y = \theta_0 e^{-kx} + \varepsilon \quad \text{Ecuación 1}$$

$$Y = \theta_0 e^{-k_1x} + (\theta_1 - \theta_0) e^{-k_2x} + \varepsilon \quad \text{Ecuación 2}$$

$$Y = \theta_0 + (\theta_1 - \theta_0) e^{-kx} + \varepsilon \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

Y representa el porcentaje de peso seco o nutrientes que se mantienen en el residuo hasta el tiempo x , θ_0 es el peso seco o el contenido de nutrientes, k es la tasa de descomposición o la de liberación de nutrientes, x es el tiempo en semanas y ε es el error aleatorio.

El criterio empleado para seleccionar los modelos se basó en el menor valor del cuadrado medio del error y con el propósito de comparar los modelos encontrados para cada uno de los 3 períodos estudiados se comparó un modelo reducido contra los modelos completos. La significancia de aumentar la suma de cuadrados del error como resultado de reducir el número de parámetros se comprobó empleando una prueba aproximada de F (Ratkowsky 1983). La hipótesis de que las curvas para cualquier variable bajo estudio fueron iguales sin importar el período de comparación fue:

$$H_0: \theta_{01} = \theta_{02} = \theta_{03}; \theta_{11} = \theta_{12} = \theta_{13}; k_1 = k_2 = k_3; k_{11} = k_{12} = k_{13}; k_{21} = k_{22} = k_{23}$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los 3 períodos seleccionados para colocar las bolsas de descomposición no siempre correspondieron con la distribución de las lluvias, de manera que los períodos S1 y S2, en los cuales se esperaba coincidir con los picos de máxima precipitación, por lo menos en los 3 a 6 meses subsiguientes, no ocurrió debido a lo errático de las lluvias del año de estudio (Figura 1). La estación menos lluviosa (S3) se inició normalmente; sin embargo, el total de lluvias durante este período fue superior al contabilizado durante los períodos S1 y S2. En el ambiente pérfido de la zona de estudio, parece poco probable que alguno de los períodos estudiados pudiera considerarse como limitante en humedad para la velocidad de descomposición de los residuos. Aún más, la adición continua de residuos frescos en un ambiente con tan alta humedad relativa podría proporcionar suficiente humedad para actuar en el proceso de descomposición de los mismos sin importar el período de lluvias a considerar.

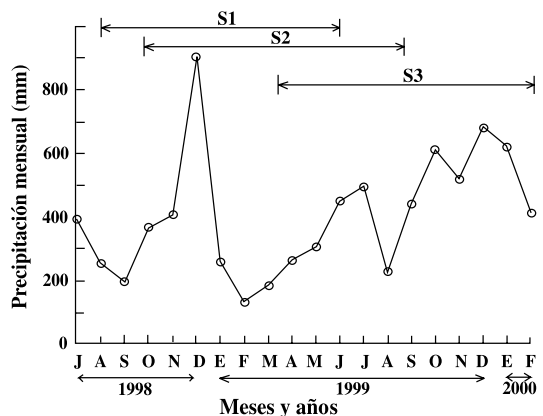


Fig. 1. Distribución de la lluvia en Guápiles durante el período de estudio de descomposición de residuos.

Cuadro 1. Composición química de los residuos de cosecha de palmito al inicio de cada estación comparada.

Estación	C	N	P	K	Ca	Mg	Celulosa	Lignina	Lig N ⁻¹	C N ⁻¹	CP ⁻¹
	g kg ⁻¹										
S1	400ab*	24,3a	1,8a	11,1a	3,2a	1,7a	325b	104b	4,3b	16a	222a
S2	395a	24,2a	2,0a	13,2a	5,0b	2,5b	295b	94ab	3,9b	16a	198a
S3	475b	28,1b	2,2a	14,4a	3,5ab	1,8a	251a	80a	2,8a	17a	216a
DMS 0,05	49	1,9	NS	NS	1,6	0,53	42	14	0,64	NS	NS

* Los números en la misma columna seguidos por la misma letra son estadísticamente similares al nivel de probabilidad del 0,05.

Composición química del tejido foliar seco

La composición química promedio de la tercera hoja al inicio de cada período de estudio fue de 25,5 g kg⁻¹ de N, 2,0 g kg⁻¹ de P, 12,9 g kg⁻¹ de K, 3,9 g kg⁻¹ de Ca y 2 g kg⁻¹ de Mg (Cuadro 1). La concentración inicial de N y la relación C:N del material estaban sobre los valores teóricos (170 a 180 g kg⁻¹ de N y 25:1, respectivamente) requeridos para la mineralización neta de N (Allison 1966, Costantinides y Fownes 1994). Las concentraciones de carbohidratos estructurales oscilaron entre 251 y 325 g kg⁻¹ para la celulosa y entre 80 y 104 g kg⁻¹ para la lignina. En adición a la buena relación C:N, considerada como un indicador de la descomposición de los residuos, puede mencionarse que la baja relación lignina:N correlaciona significativamente con la liberación de N de residuos de plantas (Ranells y Wagger 1992). En forma colectiva, las propiedades químicas son lo suficientemente elevadas como para permitir la mineraliza-

ción y la liberación de los nutrimentos asociados a los residuos de cosecha de palmito sin que haya limitaciones por la calidad de este material.

Molina *et al.* (2001) midieron la biomasa aérea total cosechada y su contenido de nutrimentos por un período de 52 semanas en plantaciones de 4 y 8 años en Guápiles, Costa Rica y encontraron que la cantidad de residuos que permanece en el campo fue de 85 Mg ha⁻¹ año⁻¹, los cuales adicionaron un promedio de 129 kg ha⁻¹ de N, 19 kg ha⁻¹ de P, 114 kg ha⁻¹ de K, 31 kg ha⁻¹ de Ca y 17 kg ha⁻¹ de Mg.

Descomposición de residuos de hojas frescas

Se observó que la velocidad de descomposición de los residuos en los 3 períodos estudiados fue similar, lo que permitió unir los resultados de S1-S3 en un modelo reducido (Cuadro 2, Figura 2). Este resultado era esperable, aún bajo diferentes condiciones climáticas, ya que la humedad no

Cuadro 2. Coeficientes de los parámetros en los modelos de descomposición y liberación de nutrimentos de los residuos de cosecha de palmito.

Residuo nutrimento ⁻¹	Estación	Modelo	Coeficientes			
			θ_0 a	θ_1 a	k1b	Sy.xc
Residuo	S1,S2,S3	$y=\theta_0+(\theta_1-\theta_0)*e^{-k*t}$	19,11	100	0,1472	6,9
N	S1,S2,S3	$y=\theta_0+(\theta_1-\theta_0)*e^{-k1*t}$	16,89	100	0,2819	8,0
P	S1,S2,S3	$y=\theta_0+(\theta_1-\theta_0)*e^{-k1*t}$	23,77	105,1	0,2282	9,9
K	S1,S2,S3	$y=\theta_0+(\theta_1-\theta_0)*e^{-k1*t}$	1,76	100	0,2805	6,8
Ca	S1	$y=\theta_0*e^{-k1*t}$	101,8		0,0297	15,7
Ca	S2,S3	$y=\theta_0+(\theta_1-\theta_0)*e^{-k1*t}$	28,32	106,0	0,1637	13,0
Mg	S1	$y=\theta_0+(\theta_1-\theta_0)*e^{-k1*t}$	16,79	102,7	0,1051	9,7
Mg	S2	$y=\theta_0+(\theta_1-\theta_0)*e^{-k1*t}$	13,32	107,6	0,2998	8,5
Mg	S3	$y=\theta_0+(\theta_1-\theta_0)*e^{-k1*t}$	33,68	105,5	0,2639	8,8

a= θ_2 y θ_1 representan el peso seco o el contenido de nutrimentos.

b= k1 es la descomposición o la constante de liberación de nutrimentos.

c= Raíz cuadrada del promedio del cuadrado del error.

representó una limitante para la descomposición de residuos con una relación C:N similar. El modelo asintótico fue el que mejor representó la pérdida de peso del material, quedando el 50% del mismo después de 7 semanas en el campo y tan solo el 30% después de 15 semanas de mineralización.

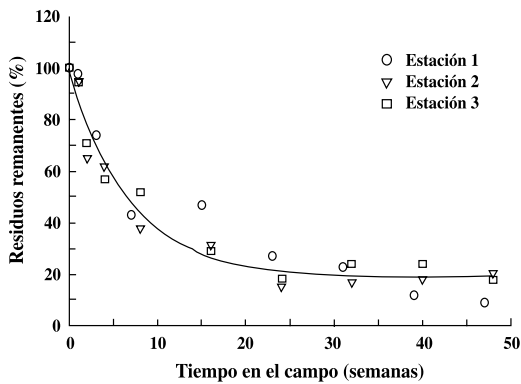


Fig. 2. Porcentaje de residuos remanentes en las bolsas de descomposición de residuos en función del tiempo para los 3 períodos estudiados.

Patrones de liberación de nutrientes del residuo de follaje de palmito

Los modelos de resumen o reducidos para los 3 períodos estudiados se justifican para el caso de N, P y K, elementos para los cuales no se encontró diferencias significativas en su tasa de liberación entre períodos (Cuadro 2). Por el contrario, la liberación de Ca y el Mg se explica mejor con el modelo expandido dependiente del período (Mg) o del reducido (Ca S1⁻¹, S2). El modelo asintótico fue el que presentó el menor error del cuadrado medio para la liberación de N, P, K y Ca (S2, S3) y Mg. El modelo exponencial simple fue el que mejor describió la liberación de Ca de los residuos en el período S1. La variación propia del contenido de Ca en los datos se reflejó en un mayor error de los valores de cuadrado medio.

En general, y coincidiendo con los datos de desaparición de la materia seca, la liberación de los nutrientes asociados a los residuos frescos fue relativamente rápida y siguió el siguiente orden: N=K>P>Mg>Ca (Cuadro 2, Figura 3).

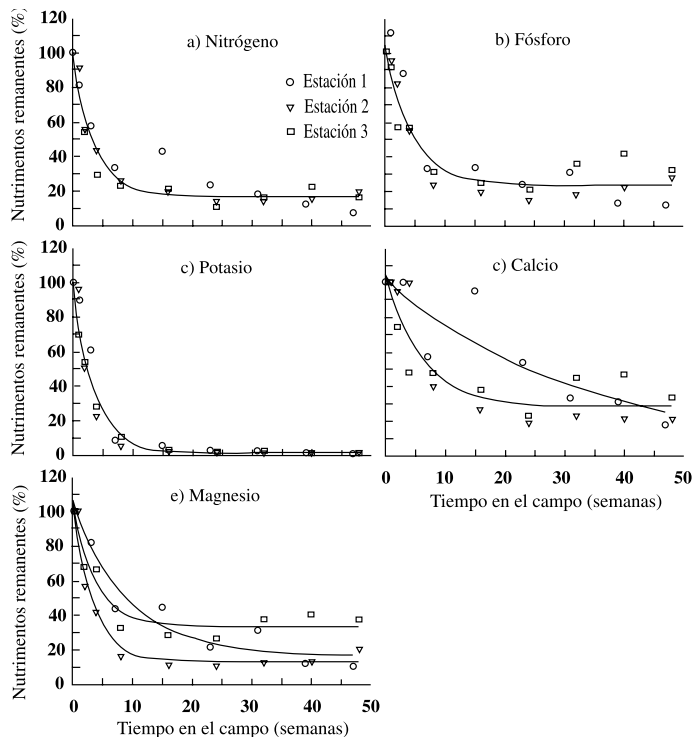


Fig. 3. Valores observados (símbolos) y predecibles (líneas) de los contenidos de N (a), P (b), K (c), Ca (d) y Mg (e) remanentes en las bolsas de descomposición de residuos en función del tiempo durante cada uno de los 3 períodos investigados.

Con excepción del Ca y Mg en el período S1, más del 50% de los nutrimentos (N, P, K y Mg en los períodos S2 y S3) se liberaron durante las primeras 6 semanas (Figura 3 a-e). Diez semanas después de colocar las bolsas de descomposición de residuos de palmito en el campo los contenidos de nutrimentos remanentes en los residuos fueron 23% N, 33% P, 9% K, 44% Ca (S2, S3) y 36% Mg.

La rápida liberación del K (0,2805% semana⁻¹) se entiendo en virtud del rol que juega este elemento en la solución de las células, por lo que una vez que ocurre la lisis de la pared celular el K puede ser liberado fácilmente. De manera similar, la pronta liberación de otros elementos primarios (N=0,282% semana⁻¹ y P=0,228% semana⁻¹) coincide con otros resultados de descomposición de residuos de plantas leguminosas (Luna *et al.* 1996, Palm y Sánchez 1990, Thomas y Asakawa 1993), en los cuales la velocidad de descomposición y liberación de nutrimentos está gobernada por la calidad del material a descomponer, en particular la relación C:N. Por su parte, la lenta liberación de Ca y Mg es atribuible al tipo de enlace que forman estos elementos con otros elementos de la pared celular (Hashimoto y Okamoto 1953, Attiwill 1968).

Estimación de la disponibilidad de los nutrimentos asociados a los residuos

Para entender completamente el efecto que tiene la descomposición de los residuos de hojas como contribuyente de nutrimentos al sistema de plantación de palmito, se hace necesario cuantificar la cantidad de nutrimentos que se libera. Con esta intención, se utilizó las ecuaciones no lineales, incluidas en el cuadro 2, para predecir la cantidad de nutrimentos liberada anualmente, las cuales fueron desarrolladas por Molina *et al.* (2001) para 48 semanas de descomposición de los residuos de cosecha, con intervalos de cosecha de 4 semanas en plantaciones de 4 y 8 años (Cuadro 3). El modelo comprimido para los períodos S2 y S3 se utilizó para predecir la liberación de Ca mientras que para la del Mg se empleó el modelo desarrollado para el período S2. Las predicciones para la plantación de 4 años (Figura 4), indican que cantidades sustanciales de nutrimentos pueden ser suplidas por la descomposición de los residuos de cosecha. Los estimados de adiciones acumuladas de materia seca de follaje reflejan variaciones en el número de tallos y follaje asociado a su corta cada

Cuadro 3. Comparaciones entre los nutrimentos adicionados como fertilizantes, su acumulación en los palmitos cosechados y la liberación de los mismos a través de la descomposición de residuos de cosecha en plantaciones de palmito de 4 y 8 años (Molina *et al.* 2001).

Variables	Plantación de 4 años					Plantación de 8 años				
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
Fertilizante aplicado (kg ha ⁻¹)	155	19	108	0	31	155	19	108	0	31
Absorción por la cosecha (kg ha ⁻¹) ^a	161	36	210	44	26	192	37	172	51	30
Cantidad de nutrimentos en el residuo (kg ha ⁻¹) ^b	138	29	172	38	21	172	32	148	46	26
Nutrimentos liberados por descomposición de residuos (kg ha ⁻¹) ^c	93	15	116	19	13	107	14	90	23	14
Nutrimentos liberados por descomposición de residuos (%) ^d	81	73	96	67	85	82	74	96	69	85
Potencial de absorción del fertilizante (kg ha ⁻¹) ^e	68	20	94	25	12	85	22	83	28	16

- a Incluye todos los componentes de los palmitos cosechados o de deshija durante el período de 52 semanas que duró el experimento.
- b Incluye todo el material cosechado y de poda que permanece en el campo como residuo fresco.
- c Predicciones de los nutrimentos liberados de los residuos de follaje (hojas, raquis y pecíolos) cortados en cada plantación en forma acumulativa por año, empleando los modelos descritos en el cuadro 2.
- d Proporción del total de nutrimentos liberados de los residuos de cosecha durante el período inicial de 48.
- e Porción de los nutrimentos absorbidos por el material cosechado que exceden la cantidad de nutrimentos liberados de los residuos de cosecha (p.e. absorbido en la cosecha–nutrimentos liberados de los residuos).

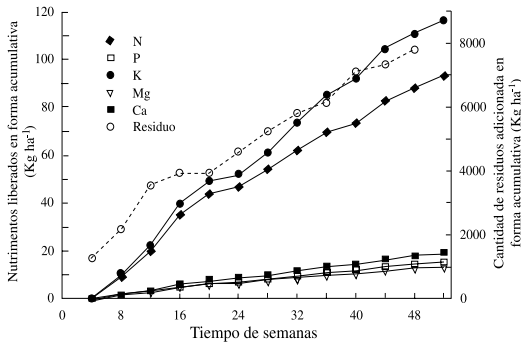


Fig. 4. Valores acumulados de residuos de cosecha y de nutrientes liberados durante 48 semanas consecutivas en una plantación de palmito de 4 años en Guápiles, Costa Rica.

4 semanas, incluyendo valores de cero durante las semanas 1 y 20. La cantidad de nutrientes potencialmente disponibles para 24 semanas, promedio de las 2 plantaciones, fue de 66 kg ha⁻¹ de N, 9 kg ha⁻¹ de P, 62 kg ha⁻¹ de K, 13 kg ha⁻¹ de Ca y 9 kg ha⁻¹ de Mg. Durante el transcurso de 52 semanas que duró el presente experimento, el promedio para las 2 plantaciones osciló entre 93-107 kg ha⁻¹ de N, 14-15 kg ha⁻¹ de P, 90-116 kg ha⁻¹ de K, 19-23 kg ha⁻¹ de Ca y 13-14 kg ha⁻¹ de Mg (Cuadro 3).

Los valores de materia seca y el contenido de nutrientes provienen del estudio de Molina *et al.* (2001).

La absorción potencial de fertilizante en plantaciones de 4 y 8 años fue estudiada por Molina *et al.* (2001) quienes la calcularon como la fracción de nutrientes absorbidos por los palmitos cosechados que excedió la cantidad acumulada de nutrientes liberados durante el proceso de descomposición de los residuos. Las comparaciones entre el fertilizante adicionado y los valores de absorción potencial de fertilizante del cuadro 3, representan un indicador de la contribución potencial de los nutrientes provenientes de la descomposición de residuos. Estas comparaciones sugieren una adición de más de N, P, K y Mg y una posible reducción de las reservas de Ca en el suelo. Sin embargo, la veracidad de estos datos requiere de mayor investigación relacionada con el destino final de los nutrientes liberados en este tipo de explotaciones agrícolas.

Si se tiene en consideración la relativamente poca cantidad (12-16%) de N, P, K, Ca y Mg que se exporta del campo como palmito cosechado y las 2 cubiertas interiores (Molina *et al.* 2001), el potencial de contribuir con nutrientes provenientes de la descomposición de residuos adquiere especial relevancia al reducir la necesidad de adicionar fertilizantes comerciales. En un sistema de cultivos perennes similar al del palmito, pareciera que este potencial existe al presentarse una sincronización casi óptima entre los nutrientes liberados y el requerimiento de los mismos por el cultivo. El grado al cual esta sincronización es posible dependerá en mucho de las condiciones climáticas y ambientales del medio.

Situación del sistema

Es razonable esperar que en sistemas de cultivo como el del palmito, en el cual se dan adiciones de residuos en forma constante durante todo el año, se puede alcanzar un equilibrio entre la adición y la extracción de nutrientes. La adición continua y a menudo sobrepuesta de residuos de cosecha, en conjunto con velocidades de descomposición de residuos relativamente rápidas, bien podrían favorecer este tipo de equilibrio. Sauerbeck y González (1977), estudiaron la descomposición de residuos de trigo marcados con ¹⁴C en suelos de Costa Rica (incluyendo algunos cerca del área de estudio del presente trabajo) durante 9 años y encontraron que un modelo exponencial simple se ajustaba bien a los datos. Además, al extrapolar las curvas obtenidas, encontraron que la adición de residuos al suelo una única vez, tomaría 25 años para reducirse a menos del 1% de su peso original. Asumiendo adiciones anuales constantes de residuos al suelo, obtuvieron una curva acumulativa en la cual la concentración de equilibrio entre los compuestos orgánicos recién formados y los simultáneamente descompuestos se alcanzaría en un lapso de 50 años. La adición de C anual fue de 2 Mg ha⁻¹, mientras que el nivel de saturación de C proveniente de la paja en el suelo fue de 7 Mg ha⁻¹ (5 Mg ha⁻¹ provenían de las formas estabilizadas y 2 Mg del C adicionado anualmente como paja).

En el presente estudio el 19% de los residuos originales supuestamente se incorporó al suelo cada 48 semanas y pasó a formar parte de

la fracción orgánica estable del suelo, sin que fuera posible determinar cuánto tiempo le tomaría a estos residuos descomponerse totalmente utilizando el modelo asintótico. Es posible que una plantación de 16 años se encuentre cerca del punto de equilibrio; sin embargo, no se cuenta con datos para aseverar este hecho. Se necesita realizar otros estudios (eficiencia del uso de los nutrimentos, fuentes de nutrimentos, dinámica de la fracción orgánica del suelo) para complementar la información existente sobre el sistema de cultivo de palmito y diagnosticar con precisión si se requiere poca o ninguna adición de nutrimentos para sostener su productividad.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se realizó como parte de un proyecto del Decision Aids for Soil Nutrient Management of Soil Management Collaborative Research Program, financiado en parte bajo el contrato No. LAG-G-00-97-00002-00 de la Agencia Internacional para el Desarrollo. Los autores agradecen al personal de la empresa DEMASA, S.A. por prestar sus plantaciones para la realización del presente trabajo.

LITERATURA CITADA

- ALLISON F.E. 1996. The fate of nitrogen applied to soils. *Adv. Agron.* 18:219-258.
- ATTIWILL P.M. 1968. The loss of elements from decomposing litter. *Ecology* 49:142-145.
- CHAPMAN H.D., PRATT P.F. 1973. Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. Editorial Trillas, México. 195 p.
- CONSTANTINIDES M., FOWNES J.H. 1994. Nitrogen mineralization from leaves and litter of tropical plants: relationship to nitrogen, lignin, and soluble polyphenol concentrations. *Soil Biol. Biochem.* 26:49-55.
- HASHIMOTO T., OKAMOTO M. 1953. Studies on the magnesium nutrition of crops. II. *J. Sci. Soil Manure (Japan)* 24:231-234.
- LUNA P., WAGGER M.G., GUMPERTZ M.L. 1996. Decomposition and nutrient release dynamics of 2 tropical legume cover crops. *Agron. J.* 88:758-764.
- MOLINA E.A. 2000. Manual de suelos y nutrición de pejíbabe para palmito. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo, San José, Costa Rica. 42 p.
- MOLINA E.A., ALVARADO A., BONICHE J., SMYTH T.J. 2001. Biomass and nutrient accumulation from heart-of-palm production in mature peach palm plantations of Costa Rica. *Field Crops Res.* (In review).
- PALM C.A., SANCHEZ P.A. 1990. Decomposition and nutrient release patterns of the leaves of tropical legumes. *Biotropica* 22(4):330-338.
- RANELLS N.N., WAGGER M.G. 1992. Nitrogen release from crimson clover in relation to plant growth stage and composition. *Agron. J.* 84:424-430.
- RATKOWSKY D.A. 1983. Nonlinear regression modeling: a unified practical approach. M. Dekker, NY, USA. 276 p.
- SAS 1998. The NLIN procedure, version 7. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- SAUERBECK D.R., GONZALEZ M.A. 1977. Field decomposition of carbon-14-labelled plant residues in various soils of the Federal Republic of Germany and Costa Rica. *In: International Atomic Energy Agency (IAEA). Ed. by Soil organic matter studies. Proceedings of a symposium Braunschweig, jointly organized by the IAEA and FAO in cooperation with agrochimica. Vol I. p. 159-170.*
- THOMAS R.J., ASAKAWA N.M. 1993. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. *Soil Biol. Biochem.* 25(10):1351-1361.
- VAN SOEST P.J., WIN R.H. 1968. Determination of lignin and cellulose in acid-detergent fiber with permanganate. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* 51:780-785.
- VARGAS R., FLORES C.L. 1995. Retribución nutricional de los residuos de hojas, venas de hojas, pseudotallo y pinzote de banano (*Musa AAA*) en fincas de diferentes edades de cultivo. *Revista Corbana* 20(44):33-47.

