

Producción de biomasa y nutrientes que genera la poda en sistemas agroforestales sucesionales y tradicionales con cacao, Alto Beni, Bolivia

Geraldine Guzmán Rivero, Alberto Levy Mérida

Departamento de Ciencias Exactas e Ingeniería, Universidad Católica Boliviana
Av. General Galindo s/n, Cochabamba, Bolivia

e-mail: geriguz@gmail.com

Resumen

El Alto Beni es una zona de producción agrícola, donde alrededor de 2.000 familias rurales dependen de la producción y comercialización del cacao. La producción de cacao sigue los requerimientos de una certificación orgánica, y no se usan fertilizantes químicos debido al costo y acceso, entre otros. Por lo tanto, el mantenimiento de la fertilidad y sostenibilidad del suelo dependen principalmente del ciclaje de biomasa y nutrientes que brinda el sistema de producción. Existen varias deficiencias en cuanto al manejo del cultivo; los agricultores desconocen los beneficios y funciones de la biomasa que aportan los árboles de sombra, y no cuentan con conocimientos ni herramientas adecuadas para realizar prácticas de manejo, como la poda.

El presente estudio evaluó de forma comparativa la producción de biomasa y nutrientes que genera la práctica de poda en plantaciones de cacao, en el sistema agroforestal sucesional (AS) y tradicional (TR) de la zona.

En la metodología adaptada para el presente estudio se realizó una caracterización inicial a través de la estimación de la biomasa aérea y un estudio de suelos en plantaciones de cacao. Se evaluó la producción de biomasa de la poda y el contenido de nutrientes presente en la biomasa (nitrógeno, fósforo y potasio), se estimó la descomposición de la materia orgánica a partir de la relación carbono nitrógeno (C:N) y se midió la incidencia solar producida por la poda de las plantaciones.

La producción de biomasa y el contenido de nutrientes fueron superiores en el sistema AS y difieren significativamente del TR. Por lo tanto, el sistema AS es alternativo y recomendable debido a que adiciona importantes cantidades de biomasa y nutrientes, a favor de la productividad y sostenibilidad de las plantaciones de cacao de la zona.

Palabras clave: biomasa, nutrientes, árboles de sombra, práctica de poda, sistema agroforestal sucesional y sistema tradicional.

1 Introducción

La región de Alto Beni presenta un potencial natural de producción, allí la principal actividad es la agricultura y la comercialización de seis cultivos dominantes: cacao, cítricos, banano, papaya, café y arroz. En el año 1999, el Alto Beni produjo el 90% de la producción total de cacao en Bolivia (2.400 t), por lo que se convirtió en la región productora de cacao del país. Sin embargo, las estadísticas indican que allí se concentra un porcentaje considerable de la pobreza rural de Bolivia [8].

La mayoría de los agricultores del Alto Beni provienen de regiones del altiplano de La Paz, Oruro y Potosí, fueron dirigidos a esta zona por el programa nacional de colonización en 1960. El programa no contempló asistencia técnica o tutoraje para los recién asentados, que al desconocer la vegetación natural del trópico instalaron bajo monocultivo arroz, maíz y cacao un cultivo tropical de la zona. De igual forma, el Programa de implementaciones agroecológicas y forestales afirma que en la zona se desconoce del manejo de sistemas agroforestales tropicales y técnicas adecuadas de producción [16].

Actualmente, el manejo del cultivo es bastante deficiente, gran mayoría de los agricultores desconocen la forma adecuada de realizar prácticas de manejo como la poda, por lo tanto esta práctica se realiza de forma incorrecta e irregular. Por otro lado, en la producción de cacao se siguen los requerimientos de una certificación orgánica, y no se usan fertilizantes químicos debido al elevado costo, acceso, entre otros. En consecuencia, el mantenimiento de la fertilidad del suelo y la producción del cultivo de cacao, depende principalmente del ciclaje de biomasa y nutrientes que brinde el sistema de producción.

Según Nair [13], el ciclaje de biomasa y nutrientes generado a partir de prácticas de manejo, son la principal fuente de fertilización y una forma eficiente de conservar la materia orgánica del suelo en cultivos a los que no adhieren fertilizantes externos. Por lo tanto, la incorporación constante de biomasa en los sistemas de producción del Alto Beni, podría mejorar la productividad del suelo, los rendimientos de la producción e indirectamente la calidad de vida de los agricultores.

En base a lo citado con anterioridad, se evaluó de forma comparativa el aporte de biomasa de poda en un sistema agroforestal sucesional (AS) y en un sistema tradicional (TR) de la zona.

Inicialmente se realizó una caracterización de la biomasa aérea y una descripción preliminar del suelo, en las plantaciones de estudio. Se determinó la producción de biomasa (de poda) en peso seco (t/ha), y de ésta se analizaron tres nutrientes esenciales; nitrógeno, fósforo y potasio. La metodología adoptada por el siguiente estudio, permitió diferenciar el aporte generado por componente (foliar, tallo tierno, tallo leñoso y frutos secos).

Posteriormente, se estimó la tasa de descomposición de biomasa a través de la relación C:N y la incidencia de radiación solar que se proyecta en los cultivos al efectuar la práctica de poda, a través de mediciones antes y después de realizar esta práctica.

2 Materiales y métodos

Las plantaciones de cacao del sistema agroforestal sucesional son una asociación masiva de cultivos anuales y perennes con especies arbóreas de diferentes hábitos de crecimiento, usos o beneficios, que buscan optimizar el uso de recursos y aumentar la productividad por unidad de terreno [10]. Para instalar las parcelas se realizan prácticas de roza y tumba. El manejo de la plantación consiste en deshierbes selectivos, complementación de especies y refallos, y la poda de especies, para controlar la estratificación y sincronización entre especies.

Las plantaciones de cacao tradicionales de la zona, son monocultivos (un cultivo principal) que se encuentran en asociación de especies frutales y maderables en su mayoría de regeneración natural, sin una distribución uniforme de plantación [14]. En general, las parcelas fueron instaladas con prácticas de roza, tumba y quema. El manejo en las plantaciones es bastante deficiente debido a la falta de conocimientos en prácticas de manejo y a falta de herramientas básicas. A raíz de esto, las copas de los árboles se cierran, los cacaotales tienen poca sombra o mal distribuida, se obstruye el crecimiento del cultivo, el control de las enfermedades y el manejo de la cosecha [21]. Según López [10] este sistema de producción es intensivo y provoca la disminución paulatina de la fertilidad del suelo.

La estimación de biomasa aérea se realizó por el método “ecuaciones matemáticas”, según la ecuación y densidad básica correspondiente a cada especie [18] [3]. Para esto se midieron variables como la altura total (Ht), diámetro a la altura del pecho (Dap), diámetro a la altura del tocón (Dat), tanto para el cacao como para las especies del dosel de sombra (maderables, frutales y de servicio).

Tabla 1: Ecuaciones matemáticas para la estimación de biomasa aérea.

N	Ecuación	Parámetros		
		A	b	c
1	$\text{LogBt} = a + b * \text{LogDat}_{30}$	-1,625	2,626	
2	$\text{LogBt} = a + b * \text{LogDap}$	-1,110	2,640	
3	$\text{LogBt} = a + b * \text{LogDap}$	-1,270	2,200	
4	$\text{Bt} = a + b * \text{dap} + c * \text{Dap}^2$	21,300	-6,950	0,740
5	$\text{Bt} = (\exp(a + b * \text{Dap}^2)) * c$	0,760	0,00015	1000
6	$\text{Bt} = a + b * \text{ht} + c * \text{ht}^2$	24,560	4,920	1,020
7	$\text{Bt} = e^{(a + b \ln(\text{Dap}^2 \text{ ht } \delta))}$	-2,409	0,952	

Bt= Biomasa total; **Dat**= Diámetro a la altura del tocón; **Dap**= Diámetro a la altura del pecho; **ht**= Altura total y **δ**=Densidad básica

Fuente: Ecuación 1, 2, 3, 4, 5 y 6 [18]; 7 [3].

La ecuación número uno fue determinada para los árboles de cacao, la número dos se utiliza para todas las especies frutales (naranja, toronja, mandarina, mango, entre otros). La ecuación número tres fue ajustada para maderables jóvenes o pequeños con altura total y diámetro a la altura del pecho establecido entre $Ht \geq 1,5m$ y $Dap < 10cm$. La ecuación número cuatro fue desarrollada para determinadas especies del trópico húmedo y la número cinco para especies remanentes del bosque natural, con diámetro a la altura del pecho entre 60 y 105 cm. En palmas como la chima (*Bactris gasipaes*), se utilizó la ecuación seis, dicha ecuación se puede utilizar para todas las palmas que tengan una arquitectura similar. Finalmente, la ecuación número siete estima, la biomasa aérea total de los árboles maderables con diámetro a la altura del pecho mayor a 10 cm ($Dap > 10cm$), y para el uso de esta fórmula se utilizó la densidad básica de madera que varía en función a la especie.

El muestreo de suelos se realizó empleando el “muestreo al azar estratificado” [7], el cual se basó en 8 sub muestreos a tres profundidades diferentes, profundidad $S_1 = 0 - 10$ cm, profundidad $S_2 = 10 - 30$ cm y profundidad $S_3 = 30 - 60$ cm, para el muestreo de especies frutales y especies forestales de acuerdo a Buduba (2004; cit. por Gruberg [6]).

Los análisis de las muestras de suelo se realizaron en el Laboratorio de Calidad Ambiental de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA). Allí se analizaron los parámetros físicos y químicos, según el método y límite de determinación utilizados por el laboratorio.

Tabla 2: Métodos del análisis de las muestras de suelo

Parámetro	Límite de determinación	Método
Textura		
Físico		
Arena, %	2,5	Hidrómetro (Bouyoucos)
Limo, %	1,1	
Arcilla, %	1,10	
Químico		
pH	1 -14	Potenciometría
Conductividad eléctrica, $mS\ cm^{-1}$	1	Conductivimetría
Materia orgánica, %	0,06	Walkley-Black
Carbono orgánico, %	0,1	Walkley-Black
Nitrógeno total, %	0,0014	Kjeldahl modificado
Fósforo disponible, P_a , $mg\ kg^{-1}$	1,5	Olsen modificado
Potasio intercambiable, $cmol\ kg^{-1}$	0,0053	Flamometría

La cuantificación de biomasa en peso seco (t/ha) se obtuvo a través de la metodología y la fórmula que plantea el grupo de Schlegel *et al.* [19], en el manual de procesamiento para inventarios de carbono en ecosistemas forestales. Pero además, la biomasa (de poda) fue separada según el modelo de ciclaje de nutrientes de Accardi [1],

este modelo considera cinco componentes para la separación de biomasa, para el estudio se consideró solo cuatro excluyendo al componente radicular.

Tabla 3: Componentes de estudio en la biomasa de poda

Componente	Denotación	Descripción
Foliar	A	Hojas y ramas (diámetro ≤ 2 cm)
Tallo tierno	B	Ramas (diámetro $2\text{cm} < x \leq 5$ cm)
Tallo leñoso	C	Ramas o fustes (diámetro > 5 cm)
Frutos	D	Frutos secos

Para optimizar el procedimiento metodológico en campo, se determinaron seis sub parcelas de 64 m² por plantación (unidad experimental), para esto se utilizó la fórmula del muestreo aleatorio simple para un tamaño de muestras finitas y un rango de confiabilidad del 95%. Así también, se decidió formar un grupo de podadores, para brindar a los agricultores la misma posibilidad de realizar la poda y para reducir la variabilidad que existe en la forma de podar entre una persona y otra.

Las muestras de biomasa en peso seco fueron llevadas al Laboratorio de Calidad Ambiental, para la determinación del contenido total de nutrientes (tabla 4).

Tabla 4: Métodos empleados para el análisis de nutrientes

Parámetro	Límite de determinación	Método
Nitrógeno total, %	0,003	Kjeldahl modificado
Fósforo total, mg kg ⁻¹	0,40	Digestión horno microondas - Lectura en espectrofotómetro de absorción atómica
Potasio total, mg kg ⁻¹	8,00	

El porcentaje de sombra de los cacaotales fue medido utilizando un densímetro óptico de placa convexa, el cual mide el porcentaje de opacidad dentro de cada parcela, es decir, el porcentaje de espacios “opacos” que interfieren en el paso de la luz solar [20].

Entre las variables de estudio, sólo la biomasa obtenida en la poda (t/ha) fue evaluada según el modelo estadístico factorial (2 x 3) con tres repeticiones, donde el sistema tradicional (TR) y el sistema agroforestal sucesional (AS) constituyeron el factor A, y las edades de las plantaciones constituyeron el factor B [4]. Seguidamente se realizó un análisis de varianza (ANVA) y pruebas de significancia según Fisher (F), utilizando el programa estadístico S.A.S., bajo un rango de significación del 1% (P: 0.01).

3 Resultados

La estimación de biomasa aérea total se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 5: Biomasa aérea de plantaciones de cacao, bajo dos sistemas de producción.

Nº de Parcela	Sistema de producción	Edad de la plantación	Biomasa aérea		
			Cacao	Árboles del dosel de sombra	Total
		- años -	----- t/ha -----		
1	TR	5	3,429	33,257	36,686
2	AS	5	2,058	83,669	85,727
3	TR	7	6,417	37,190	43,607
4	AS	7	5,536	101,440	106,976
5	TR	12	16,914	2,106	19,020
6	AS	12	15,813	66,400	82,231

La biomasa aérea total fue mayor en el sistema AS comparado con el sistema TR, en 57,2%, 59,2% y 76,8% para las edades de plantación de 5, 7 y 12 años respectivamente, como se observa en la siguiente figura:

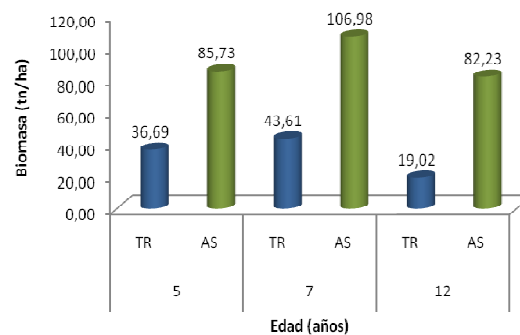


Figura 1: Biomasa aérea total de plantaciones de cacao, en dos sistemas de producción.

La biomasa aérea fue mayor en el sistema AS debido al diseño de la plantación de este sistema, el cual incluye la presencia de un gran número de individuos por unidad de superficie. De acuerdo con Nair [13], el efecto combinado de la selección de especies y

el manejo de los sistemas agroforestales, dan por resultado mayor índice de producción de biomasa primaria neta de un ecosistema.

La biomasa aérea del cacao fue mayor en el sistema TR (tabla 5), debido a que el desarrollo de la arquitectura de los árboles de cacao difieren de un sistema a otro. Los árboles de cacao en el sistema AS tienden a crecer de forma esbelta y vertical, debido a que se encuentran en crecimiento conjunto con otras especies y compiten entre ellas por espacio y por luz, en cambio los árboles de cacao del sistema TR desarrollan de forma frondosa y horizontal, aumentando claramente su volumen de área basal.

Por el contrario, la biomasa aérea de las especies del dosel de sombra fue mayor en el sistema AS (tabla 5), porque si bien el sistema TR es asociado con más de una especie, con el fin de obtener ingresos económicos a corto plazo (frutales) y a largo plazo (maderables), estos sistemas no siguen un diseño uniforme de plantación. Mientras que el sistema AS se ha establecido bajo un diseño de plantación, donde el cultivo principal es sembrado en asociación con otras especies con el fin de optimizar servicios (leña, madera, frutos, fijación de nutrientes, sombra, etc.) y aumentar la producción por unidad de terreno.

El estudio de suelos mostró un pH que varió entre 5,5 a 7,5, valores que corresponden a suelos ligeramente ácidos, neutros y ligeramente alcalinos. Estos valores se encuentran dentro de los niveles de pH recomendables para el cultivo de cacao según Mejía y Arguello [11], puesto que solo valores extremos de pH influyen en la disponibilidad de nutrientes, actividad microbial y solubilidad de minerales del suelo.

La CE de los suelos analizados se encontró en la clasificación de suelos no salinos (0 - 0,98 dS/m). Por lo tanto, son suelos favorables para el crecimiento de todos los cultivos, ya que a niveles altos de iones disueltos en el suelo aumenta el potencial osmótico y a la vez la succión del agua del suelo, por lo que los cultivos deben utilizar mayor energía para poder absorber el agua y los nutrientes disueltos en ella [7].

Los cultivos del sistema AS presentaron porcentajes de MO moderados, mientras que el sistema TR presentó porcentajes que variaron entre moderados a altos. Sin embargo, por la naturaleza del estudio no se tomaron repeticiones para cada edad de cultivo, por lo tanto los resultados de suelo encontrados no pueden generalizarse para ambos sistemas de producción de la región. Por otro lado, un estudio anterior realizado en Alto Beni por Gruberg [6] menciona que los sistemas AS fueron instalados en parcelas con suelos degradados por la naturaleza experimental del sistema, y por lo tanto los suelos siguen un proceso de recuperación.

Con respecto a los nutrientes del suelo, el sistema TR obtuvo resultados de N total y K intercambiable que variaron entre moderados a altos y el sistema AS resultados entre bajos a moderados, en los resultados de P disponible los niveles fueron muy bajos tanto para el sistema TR como en el sistema AS. Los niveles de N total y K intercambiable posiblemente se pueden relacionar con los resultados de MO hallados anteriormente. Con respecto al P disponible se conoce que la concentración de este elemento es baja, principalmente en los trópicos [17].

En cuanto a las variables de estudio, el análisis de varianza correspondiente a la biomasa de poda total mostró diferencias significativas entre sistemas. Se obtuvo 6,76 t/ha para el sistema AS y 4,45 t/ha para el sistema TR, siendo mayor el sistema AS en 34,17% como se puede ver en la siguiente figura:

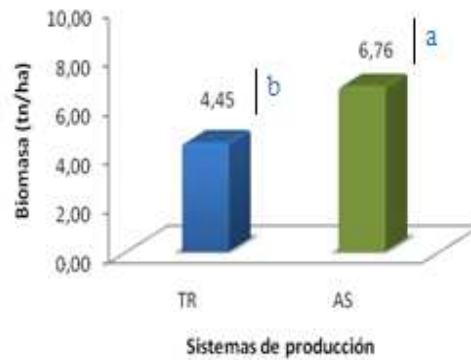


Figura 2: Producción de biomasa de poda total, en dos sistemas de producción.

En el sistema TR la biomasa de poda se debió principalmente al aporte del cultivo de cacao, y como se observó en la estimación de biomasa aérea, este sistema acumula grandes cantidades de biomasa en el cultivo de cacao. Sin embargo, la producción de biomasa fue mayor en el sistema AS debido a la densidad y composición de especies del diseño de plantación, puesto que en éste se asocian especies arbóreas (maderables, frutales y de servicio). Según Nair [13], la producción de biomasa da por resultado altos niveles de materia orgánica y nutrientes disponibles para el suelo, que inciden en los rendimientos de la producción.

De igual forma, existe diferencia significativa entre la biomasa de poda a diferentes edades de la plantación, esta variable es directamente proporcional a la edad (figura 3).

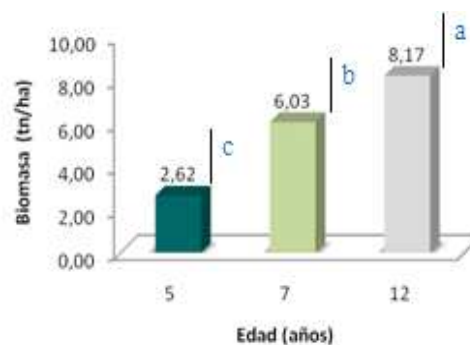


Figura 3: Producción de biomasa por edades de plantación.

Se encontró mayor biomasa a mayor edad de plantación, porque la planta adquiere mayor volumen a medida que la edad aumenta. La variación es notoria en las edades de plantación evaluadas, sin embargo, esta variación irá disminuyendo a medida que la comunidad vegetal desarrolle hasta acumular la energía o biomasa máxima a partir de la cual se mantendrá en constante.

El análisis entre sistemas de producción según la edad de plantación (figura 4), indica que los promedios de los sistemas de producción con diferente letra son significativamente diferentes dentro de cada edad de plantación.

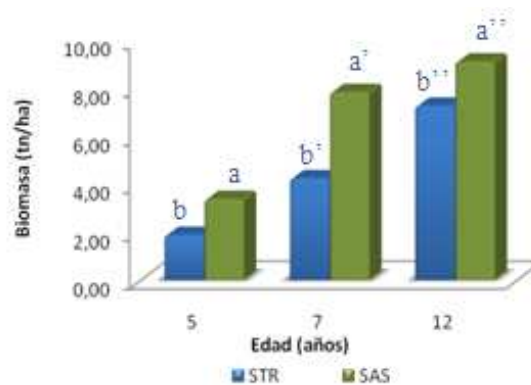
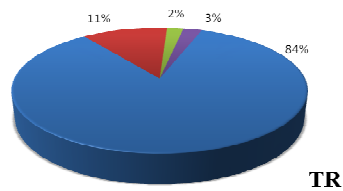


Figura 4: Producción de biomasa en el sistema TR y en el AS, según la edad de plantación.

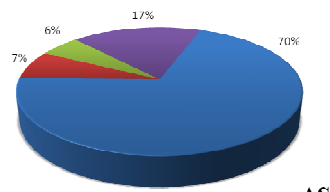
El aporte del sistema AS fue mayor en 44,7% 46,0% y 20,2% para los cultivos de 5, 7 y 12 años correspondientemente, porque éste fue un aporte conjunto del cacao y de los árboles del dosel de sombra. En estudios similares Alpizar *et al.* (1983), obtuvieron 6,5 t/ha año para cacao/*Erythrina*, 5,8 t/ha año para cacao/*Cordia* y 8,4 t/ha año para cacao/sombra mezclada.

La biomasa de poda por componentes determinó la influencia dentro del ciclaje de nutrientes en ambos sistemas evaluados (figura 5). Como se puede observar, el aporte de biomasa del componente foliar A, en las tres edades de plantación es mayor al 60% tanto para el sistema TR como para el sistema AS, lo que es muy común en estudios con plantaciones jóvenes. Por ejemplo, en un estudio realizado en tres tipos de sistemas de cultivo de cacao se encontró un aporte de biomasa foliar mayor al 50% por la edad joven de las plantaciones [9].

Plantación de 5 años de edad

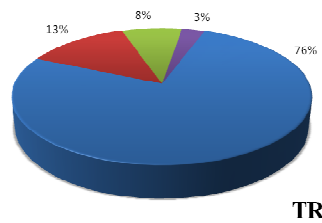


TR

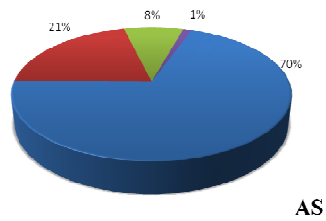


AS

Plantación de 7 años de edad



TR



AS

Plantación de 12 años de edad

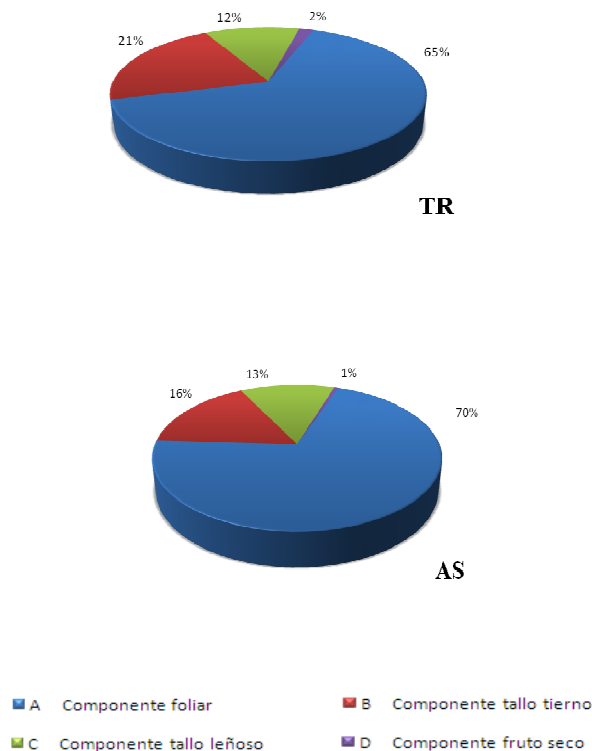


Figura 5: Producción de biomasa por componente para el sistema TR y el sistema AS, en plantaciones de 5, 7 y 12 años de edad.

El resultado de los análisis de nutrientes de la biomasa se observa en la tabla 6.

Tabla 6: Concentración total de nutrientes en la biomasa de poda de plantaciones con cacao

Parcela	Sistema de Producción	Edad de la plantación	Nutrientes			Total
			Nitrógeno	Fósforo	Potasio	
		-- años --	----- kg/ha -----			
1	TR	5	35,68	0,02	22,34	58,04
2	AS	5	76,96	0,04	36,80	113,81
3	TR	7	71,05	0,05	35,13	106,23
4	AS	7	148,83	0,10	127,98	276,91
5	TR	12	101,00	0,06	82,79	183,84
6	AS	12	156,00	0,11	77,70	233,81

La concentración de nitrógeno fue mayor en el sistema AS en 53,6%, 52,6% y 35,3% para las edades de 5, 7 y 12 años respectivamente.

El N fue mayor en el sistema AS, porque éste cuenta con mayor diversidad de especies que acumulan nutrientes de forma selectiva, por ejemplo, especies reconocidas por su capacidad de fijar nitrógeno presentan mayor contenido de este elemento en su componente foliar, como la *Inga edulis*, *Erythrina poeppigiana*, y *Gliricidia sepium* (Palm, 1995, cit. por [22]). El N obtenido en el sistema AS representa el 17%, 34% y 35% para las plantaciones de 5, 7 y 12 años, en relación al nitrógeno ideal que necesita un cultivo de cacao en producción (438 kg/ha) [11].

La concentración de P fue mayor en el sistema AS comparado con el sistema TR, en 51%, para las edades de plantación de 5 y 7 años y 46% para la plantación de 12 años.

El contenido de P fue bastante bajo en ambos sistemas de producción y en comparación con otros estudios similares. Éste no cubrió la cantidad de P que se necesita para un cultivo de cacao en producción (48 kg/ha) [11].

La concentración de potasio fue mayor en el sistema AS, en 39,3% y 72,6% para las plantaciones de 5 y 7 años, sin embargo, la plantación de 12 años fue similar pero superior en el sistema TR en 6,2%.

La concentración de este nutriente fue mayor en el sistema AS por la composición diversificada de especies que se encuentran en el sistema, por ejemplo, se encontró especies como la *Gliricidia sepium*, *Leucaena leucocephala* y palmas como la *Bactris gasipaes* que son reconocidas porque acumulan altas cantidades de potasio [5]. Se puede observar que en el sistema AS el potasio disminuye notoriamente en la plantación de 12 años, lo que posiblemente se debe a que dicha plantación obtuvo la menor cantidad del componente frutos secos, por el contrario, la plantación de 12 años del sistema TR obtuvo la mayor cantidad del componente frutos secos, en relación a los demás cultivos (tabla 6).

Finalmente el contenido de nutrientes total fue mayor en el sistema AS comparado con el sistema TR, en 49%, 61,6% y 21,4% para las plantaciones de 5, 7 y 12 años de edad, como se puede ver en la siguiente figura.

Se observó un mayor aporte de nutrientes en el sistema AS comparado con el sistema TR. Los resultados pueden influenciar directamente en el rendimiento del cultivo, ya que este se debe a la extracción e interacción de elementos nutritivos que se encuentran disponibles en el suelo [5]. Por otro lado, la concentración de fósforo fue bastante baja en ambos sistemas de producción, coincidiendo con el fósforo disponible encontrado anteriormente en el estudio del suelo, en base a estos resultados se puede afirmar que el fósforo es un elemento limitante, por la escasez que presenta en el ciclo de nutrientes en ambos sistemas de producción. Según Rodríguez [17], el fósforo puede limitar el desarrollo y productividad de las plantas a pesar de suficiente cantidad de los demás elementos esenciales, por la "ley del mínimo".

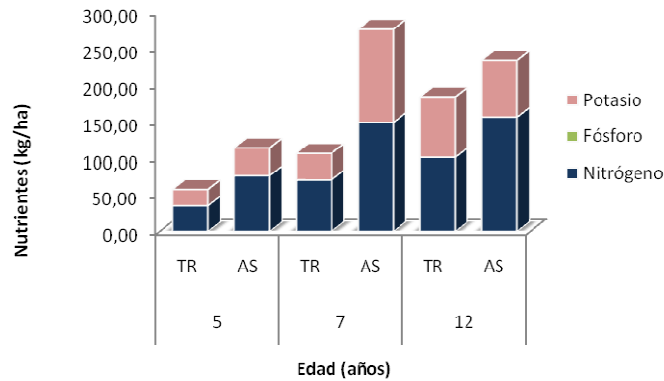


Figura 6: Concentración total de nutrientes en la biomasa de poda, en plantaciones con cacao.

En la estimación de la descomposición de biomasa por la relación C:N, se encontró lo presentado en la Tabla 7.

Tabla 7: Relación Carbono/Nitrógeno, en sistemas de producción de cacao

Parcela	Sistema de Producción	Edad de la plantación	Relación C/N			
			Foliar (A)	Tallo tierno (B)	Tallo leñoso (C)	Frutos secos (D)
		-- años --	----- % -----			
1	TR	5	26,39	80,51	109,18	33,35
2	AS		22,24	51,15	104,19	33,35
3	TR	7	28,36	65,17	98,71	37,70
4	AS		21,75	96,01	102,30	26,39
5	TR	12	30,03	66,19	96,01	37,70
6	AS		26,10	113,59	96,01	33,72

El componente foliar (A) varió entre 20 y 30, y el componente frutos secos (D) entre 26 a 38 en ambos sistemas de producción. Según Brady y Weil [2] estas relaciones son frecuentes en regiones húmedas, por lo tanto, la tasa de descomposición en ambos componentes orgánicos dado por la concentración de nitrógeno, permite que la mineralización e inmovilización de nutrientes se encuentren en equilibrio.

En cuanto a los componentes tallo tierno (B) y leñoso (C), la relación C:N se encontró por encima de 50 en ambos sistemas de producción, dentro del rango de inmovilización de nutrientes, por lo tanto la velocidad de descomposición de estos residuos es baja [5]. En estos componentes la concentración de nitrógeno es baja y más

bien la concentración de celulosa, lignina y polifenoles es alta, estas estructuras orgánicas son difíciles de degradar por la comunidad descomponedora del suelo [2].

En cuanto a la sombra del cacaotal, los resultados expusieron la información presentada en la figura 7.

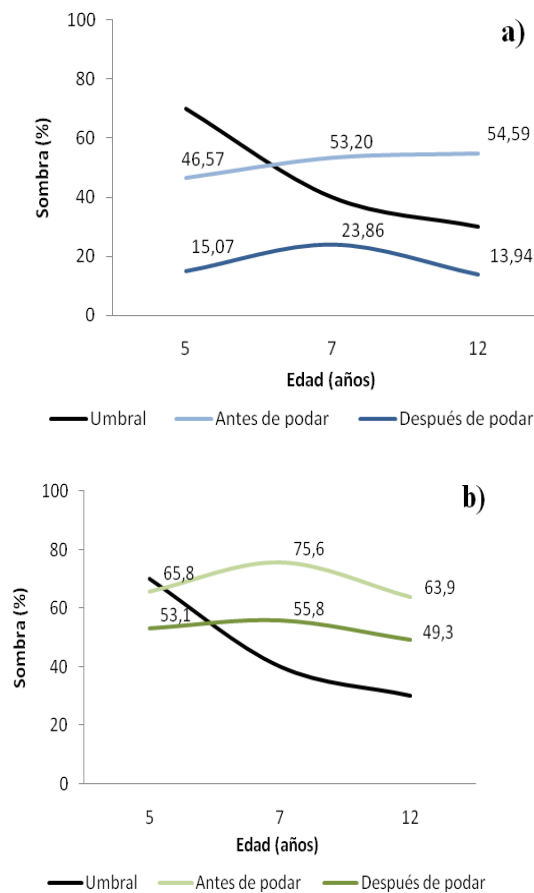


Figura 7: Mediciones de sombra en plantaciones con cacao antes y después de realizar la práctica de poda en a) sistema TR b) sistema AS

Después de realizar la práctica de poda se pudo observar un cambio en el porcentaje de sombra proyectado en los cacaotales del sistema TR, éste disminuyó en 67%, 55% y 75% para las plantaciones de 5, 7 y 12 años respectivamente. La sombra resultante se encontró por debajo del umbral en cada edad de plantación, lo que para el cultivo de cacao se considera una sombra deficiente (10 - 30%) [11].

Por su parte el porcentaje de sombra de los cacaotales del sistema AS, disminuyó en 19,3%, 26%, 23% para las plantaciones de 5, 7 y 12 años respectivamente. La sombra

resultante para la plantación de 5 años se encontró por debajo del umbral, pero en las plantaciones de 7 y 12 años se encontró por encima del umbral. Según Mejía *et al.* [12] la sombra es considerada como buena (> 46%) para el cultivo de cacao, en las tres edades de plantación evaluadas.

La radiación solar está relacionada directamente con la actividad fotosintética del cultivo, es decir a baja incidencia solar disminuye la actividad fotosintética de la planta afectando a la productividad, pero a alta incidencia solar aumenta la demanda de agua y nutrientes, y al no compensar el contenido de nutrientes del suelo puede presentarse deficiencias nutricionales en el cultivo [11]. Al respecto observamos que si bien el sistema AS demostró niveles de incidencia solar más acordes con la teoría, es necesario regular los niveles de radiación solar de las plantaciones de 7 y 12 años.

4 Conclusiones

En la estimación de la biomasa aérea se encontró que el sistema AS presenta un fuerte potencial de producción primaria neta, en comparación con el sistema TR.

En el análisis de suelos, se determinó que la materia orgánica, nitrógeno y potasio en los cultivos del sistema AS, variaron entre niveles bajos a moderados, mientras que en los cultivos del sistema TR entre moderados a altos.

En cuanto a las variables de estudio, se determinó que la práctica de poda genera mayor producción de biomasa en las plantaciones del sistema AS que en el sistema TR de la zona. La producción de biomasa promedio determinado por el análisis de varianza fue significativamente diferente entre sistemas, ya que el sistema AS produjo 6,76 t/ha, y el sistema TR 4,45 t/ha, siendo mayor el sistema AS en 34,17%, donde más del 60 % de esta cantidad es aportada por el componente foliar. Los resultados encontrados para el sistema AS se deben a la densidad y composición del diseño de plantación, puesto que en éste se asocian especies maderables, frutales y de servicio, juntamente con el cultivo de cacao.

En el análisis de nutrientes de la biomasa de la poda, se obtuvo mayor contenido de nitrógeno y potasio en el sistema AS comparado con el TR, debido al diseño de la plantación de este sistema, el cual está conformado por una diversidad de especies que crecen a diferentes estratos de vegetación y permiten una captación de nutrientes más efectiva, primero por la absorción radicular a diferentes niveles de profundidad del suelo y segundo porque incluyen especies que acumulan nutrientes de forma selectiva.

El contenido de fósforo fue bastante bajo tanto en los análisis de biomasa como en el de suelos, afirmando que este elemento es un limitante en el ciclaje de nutrientes de ambos sistemas de producción.

La tasa de descomposición de la biomasa de poda estimada por la relación C:N, mostró que la descomposición de los componentes foliar y frutos secos, se encuentra en equilibrio entre la mineralización e inmovilización de nutrientes. En cuanto a la

descomposición de los componentes tallo tierno y leñoso, se observó que la inmovilización excede a la mineralización de nutrientes.

Por otro lado, se encontró que el porcentaje de sombra resultante (después de la poda) es buena (> 46%) en las plantaciones del sistema AS y deficiente (10 - 30%) en plantaciones del sistema TR, según los niveles de sombra recomendables para el cultivo de cacao [12]. El nivel de sombra resultante en el sistema AS se debe al crecimiento multi-estratificado de las especies que proyectan un nivel de sombra favorable para el cultivo de cacao.

El presente estudio evidencia la importancia de realizar constantemente prácticas de manejo en cultivos de cacao en ambos sistemas de producción, puesto que la poda tiene la capacidad de modificar el ciclo de biomasa y nutrientes para volverlo más dinámico y adicionalmente controla el nivel de radiación solar regulando el dosel de sombra del cultivo.

Finalmente, el sistema AS obtuvo resultados superiores y significativamente diferentes en comparación con el sistema TR de la zona. En consecuencia es un sistema de producción alternativo y recomendable para el cultivo de cacao, debido a que la adición de importantes cantidades de biomasa y nutrientes mejoran la materia orgánica del suelo, a favor de la productividad y la sostenibilidad de los cultivos de cacao de la zona.

5 Recomendaciones

Se recomienda que se realicen nuevos estudios de investigación en:

- El ciclaje de biomasa y nutrientes en el sistema AS y en el sistema TR, en relación al rendimiento de la producción de cacao de la zona.
- La dinámica del fósforo en el suelo como en la biomasa, para corroborar con los resultados encontrados en el presente estudio, donde se advirtió que este elemento es un limitante en los cultivos de cacao evaluados del sistema AS y TR de la zona.
- La estimación de biomasa y carbono en sistemas agroforestales de cacao como un servicio ambiental de la región del Alto Beni, a través del uso de ecuaciones matemáticas como las que se utilizaron en la estimación de la biomasa aérea del presente estudio.
- La determinación de nuevos análisis de suelo en los cultivos evaluados en el presente estudio después de un determinado tiempo, para comparar con los análisis de suelo actuales y observar la evolución de la MO en el tiempo.
- Realizar capacitaciones teóricas y prácticas, sobre la práctica de poda en cultivos de cacao y otras plantaciones de árboles frutales en Alto Beni, que contemplen en lo posible la oportunidad de acceder a herramientas (tijera de podar, sierra, machete corto y mazo) que se necesitan para realizar correctamente esta práctica.

Referencias

- [1] Accardi, A. 1985. Biomasa aérea y radical, distribución espacial y contenido de nutrientes en tres especies de árboles de sombra (*E. poeppigiana*, *A. altalis* y *C. elástica*) en cacaotales. Caracas - Venezuela.
- [2] Brady, Nyle y Ray Weil. 1999. The nature and properties of soil. 12ava Edición. Prentice Hall. Nueva Jersey - Estados Unidos.
- [3] Brown, S., M. Powell y M. Delaney. 1999. Proyectos forestales para mitigación del efecto invernadero. Manual de Entrenamiento para hacer inventarios y monitorear carbono. Winrock International. Prepared for the World Bank. Arlington, Virginia – EEUU.
- [4] Calzada, J. 1987. *Métodos estadísticos para la investigación*. 5^{ta}. Edición. Editorial Milagros S. A. Lima - Perú
- [5] Diehl, R. y J. M. Mateo Box. 1978. *Fitotecnia General*. 2da Edición. Mundi Prensa. Madrid - España.
- [6] Gruberg, H. 2007. *Evaluación comparativa de la sostenibilidad económica, sociocultural y ecológica de la agroforestería sucesional en la zona del Alto Beni, Bolivia*. Tesis de grado de Licenciatura en Ingeniería Ambiental, Universidad Católica Boliviana San Pablo (UCB). Cochabamba - Bolivia.
- [7] Henríquez, C. y G. Cabalceta. 1999. *Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con enfoque agrícola*. 1ra Edición, San José, Costa Rica, pag 105.
- [8] INE (Instituto nacional de estadística). 2001. Condición de actividad. La Paz, Bolivia. En: < <http://www.ine.gob.bo> > (06.06.07)
- [9] Jaimez, E. Ramón y Franco Wilfredo. 1999. Producción de hojarasca, aporte en nutrientes y descomposición en sistemas agroforestales de cacao y frutales. En *Agrotropica* 11(1): 1-8, Centro de Pesquisas de cacao. Bahía – Brasil.
- [10] López, A. 2001. Asistencia técnica y capacitación en sistemas agroforestales tipo multiestratos. ALADI. Montevideo - Uruguay.
- [11] Mejía y Arguello, 2000. Tecnología para el mejoramiento del sistema de producción de cacao. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. CORPOICA. Colombia. En: < www.corpoica.org.co > (24.04.08)
- [12] Mejía, L., G. Palencia y N. Ramírez. 2003. Manual para la renovación y rehabilitación de plantaciones de cacao. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. CORPOICA. Bucaramanga - Colombia. En: < www.corpoica.org.co > (28.04.08)
- [13] Nair, P. y K. Ramachandran. 1997. *Agroforestería*. Centro de agroforestería para el Desarrollo Sostenible. Universidad Autónoma, 1ra Edición. Chapingo - México.

- [14] Orozco, L. 2005. *Enriquecimiento agroforestal de fincas cacaoteras con maderables valiosos en Alto Beni, Bolivia*. Tesis de grado para optar por el título de Magíster Scientiae en Agroforestería Tropical. Turrialba - Costa Rica. En :< <http://orton.catie.ac.cr> > (12.05.07).
- [15] Ortiz, M. 2006. *Conocimiento local y decisiones de los productores de Alto Beni, Bolivia, sobre el diseño y manejo de la sombra en sus cacaotales*. Tesis de grado para optar por el título de Magíster Scientiae en Agroforestería Tropical. Turrialba - Costa Rica. En :< <http://orton.catie.ac.cr> > (20.05.07).
- [16] PIAF (Programa de Implementaciones Agroecológicas y Forestales, El Ceibo). 2001. Guía de especies forestales del Alto Beni. La Paz - Bolivia.
- [17] Rodríguez, M. 1991. *Fisiología Vegetal*. 1ra edición. Editorial Los amigos del libro. Cochabamba – Bolivia.
- [18] Segura, M. 2005. *Proyecto captura de carbono y desarrollo de mercados ambientales en sistemas agroforestales indígenas con cacao en Costa Rica*. Tesis de grado para optar por el título de Magíster Scientiae en Agroforestería Tropical. Turrialba - Costa Rica. En :< <http://orton.catie.ac.cr> > (27.08.07)
- [19] Schlegel, B., J. Gayoso y J. Guerra. 2001. Manual de procesamiento para inventarios de carbono en ecosistemas forestales. Proyecto FONDEF. En: <<http://www.mediciondelacapacidaddecapturadecarbonoenbosquesdechilepromocionenelmercadomundial.pdf>, > (21.05.07)
- [20] Somarriba, E. 2004. ¿Cómo evaluar y mejorar el dosel de sombra de los cacaotales? Revista Agroforestería en las Américas. CD- ROM. Centro agronómico de investigación y enseñanza CATIE. N ° 41-42, 122-130
- [21] Somarriba, E. y L. Trujillo. 2005. El Proyecto “Modernización de la cacaocultura orgánica del Alto Beni, Bolivia”. Revista Agroforestería en las Américas. CD- ROM. Centro agronómico de investigación y enseñanza CATIE. N° 16, 12-16.
- [22] Villegas, R. 2008. *Descomposición de las hojas del cacao y de seis especies arbóreas, solas y mezcla en Alto Beni, Bolivia*. Tesis de grado para optar por el título de Magíster Scientiae en Agroforestería Tropical. Turrialba - Costa Rica. En: < <http://orton.catie.ac.cr> > (18.09.07).