

Producción de biomasa y captura de carbono en bancos de proteína en la Amazonia colombiana^φ

B. Ramírez*, J. Velásquez*, M. C. Amézquita**, E. Castañeda*** y W. Bahamón***

Introducción

El pastoreo de gramíneas forrajeras como *Brachiaria decumbens* y *B. humidicola* es la base de la producción ganadera en la Amazonia colombiana. Estas especies presentan limitadas calidad y producción de biomasa. La utilización de la asociación de gramíneas con árboles y arbustos forrajeros han demostrado su capacidad para mejorar el valor nutritivo del forraje suministrado a los animales (Suárez et al., 2006), aumentar el rendimiento de materia seca y ofrecer otros servicios ambientales como la captura y fijación de carbono en el suelo, contribuyendo de esta manera a mitigar el impacto del calentamiento global, producto de los gases de efecto invernadero (IPCC, 2000).

De otra parte, la producción agropecuaria en general es cuestionada por el excesivo uso de agroquímicos que contribuyen a la contaminación de suelos y aguas. El uso de alternativas productivas

ambientalmente amigables es cada vez más reconocido, particularmente mediante la utilización de abonos orgánicos. Los estudios realizados en este sentido son pocos y en la Amazonia colombiana se han presentado resultados de fertilización orgánica en pastos de corte (Méndez y Velásquez, 1998), pero no hay registros de producción orgánica de especies forrajeras arbóreas ni se ha documentado la capacidad de estos para capturar carbono en sistemas de manejo bajo corte y acarreo.

En este artículo se presentan los resultados de un trabajo que tuvo como objetivo evaluar la producción de biomasa y la captura de carbono de cuatro especies arbustivas forrajeras sembradas como banco de proteína para corte y acarreo, con aplicación de fertilización orgánica, en el Piedemonte amazónico de Colombia.

Metodología

Localización y clima. El experimento se estableció en el ecosistema bosque húmedo tropical de la Amazonia colombiana (Holdridge, 1978), a partir de un potrero de pastura degradada sobre terreno con pendiente entre 5% y 15%, en la granja Balcanes ubicada a 71° 30' de longitud oeste y 0° 40' de latitud sur, propiedad de la Universidad de la Amazonia en el Municipio de Florencia, Departamento del Caquetá, Colombia. La zona presenta alta precipitación (3600 mm, promedio anual), 25 °C de temperatura y 80% de humedad relativa.

^φ Este trabajo se realizó dentro del proyecto Red de Investigación para la Evaluación de Captura de Carbono en Sistemas de Pasturas, Agropasturas y Silvopasturas en el Ecosistema de Bosque Tropical de América (Proyecto Carbono), cofinanciado por el Gobierno de Holanda – CO-010402, CIAT, CIPAV, Universidad de la Amazonia en Colombia, CATIE en Costa Rica y la Universidad de Wageningen de Holanda.

* Docentes e investigadores de la Universidad de la Amazonia, Florencia, Caquetá, Colombia.

jaimevere@yahoo.com.

** Directora Proyecto Carbono.

***Estudiantes Ingeniería Agroecológica, Universidad de la Amazonia.

Preparación del suelo. El establecimiento se hizo en marzo de 2003 utilizando un suelo en avanzado estado de degradación con más del 50% del área cubierta con especies no deseables y escasa presencia de gramíneas aprovechables, un alto porcentaje del suelo descubierto y una alta presencia de hormigas y termitas. En el sitio experimental el suelo tenía un pH de 4.6, contenido de aluminio de 8.53 meq/100 g y deficiencia de la mayoría de nutrimentos minerales.

La preparación del suelo se realizó utilizando el sistema convencional de labranza manual con pala hasta una profundidad de 25 cm. Antes de efectuar la labranza, se aplicaron a voleo 2.5 t/ha de cal dolomítica y 350 kg de fosforita Huila.

Especies y distribución. Se utilizaron las especies arbóreas cratilia (*Cratylia argentea*), matarratón (*Gliricidia sepium*) y bohío (*Clitoria fairchildiana*) sembradas inicialmente por semilla sexual en germinadores de reforestación y mantenidas en vivero por 6 semanas hasta su traslado al campo. También se utilizó nacedero (*Trichanthera gigantea*) que fue propagado por estacas de 40 cm colocadas en bolsas plásticas con sustrato (3:1 tierra:abono orgánico) que después de 8 semanas se trasladó al sitio final de siembra.

En el campo, los árboles fueron distribuidas en tres bloques compuestos de 29 surcos intercalados, de 20 plantas por especie cada uno. La siembra se realizó a 1 m entre surcos y entre plantas, en hoyos de 0.25 m³ en los cuales se agregó 1 kg de gallinaza mezclada con suelo. La distribución por especie fue de 20.7% para matarratón, 31% para bohío, 27.7% para nacedero y 20.6% para cratilia. Adicionalmente, entre los surcos se sembró Maní Forrajero Perenne (*Arachis pintoii*) como cobertura del suelo.

Mantenimiento. Durante el establecimiento se realizó el control manual de malezas y 7 meses después de la siembra en el campo se hizo un corte de

uniformización de los árboles, a 1 m de altura. Después de cada corte, en la base de los árboles se colocó 1 kg de compost con 40 días de maduración, preparado previamente con 60 partes de gallinaza, 30 de arvenses picadas, 6 de cal dolomítica y 4 de una mezcla de fosforita Huila, miel de purga y levadura. Este abono orgánico aportaba 28.64% de materia orgánica, 1.14% de nitrógeno y 1.27% de fósforo, entre otros nutrientes.

Medición de biomasa. Cada 90 días se cortaron los 7 árboles del centro de cada surco y se midió el peso fresco de la biomasa separando los componentes hojas y tallos tiernos. De cada una de estos se tomaron 200 g que fueron secados en horno a 68 °C durante 48 h para estimar la producción de MS/árbol por especie y componente.

Análisis de carbono orgánico en el suelo.

Al inicio del experimento se determinó el promedio del contenido de carbono orgánico total en el suelo y en la pastura degradada. Esta misma medición se realizó 3 años después en los bloques de las especies arbustivas. En el suelo se hicieron calicatas de 1 m de profundidad y se tomaron muestras entre 0 - 10, 10 - 20, 20 - 40 y 40 - 100 cm, que fueron analizadas en el Laboratorio de Suelos del CIAT usando el método de Walkley - Black (USDA, 1996).

Carbono total en el sistema. Este cálculo se hizo teniendo en cuenta el C total del suelo más un estimado de acuerdo con la producción de MS del banco de arbustivas, obtenido al multiplicar el promedio ponderado de MS –según la proporción de especies en cada bloque– en los 3 años por la constante 0.42 (Andrade, 1999; Ruiz, 2002).

Diseño experimental. Para analizar los datos de producción de MS acumulada se utilizó un diseño de bloques al azar con las especies leguminosas como fuente de variación. La cantidad de C en el suelo se estimó como el promedio de los tres bloques entre 0 - 40 cm, 40 - 100 cm y el total entre 0 - 100 cm. La fijación de C durante los 3 años del proyecto se determinó por diferencia

con la cantidad encontrada en la pastura degradada original.

Resultados y discusión

Producción de biomasa. Durante los 2 años de mediciones de producción de biomasa, después del corte de uniformización, se realizaron ocho cortes en *C. argentea* y *G. sepium*, siete en *C. fairchildiana* y seis en *T. gigantea*. La producción de MS acumulada de hojas, tallos y total de la planta fue diferente ($P < 0.05$) entre especies. Los promedios de producción acumulada de MS a 1 m de altura de planta durante 750 días fueron más altos en cratilia y matarratón que en nacedero y bohío (Cuadro 1).

La cantidad de hoja fue aproximadamente 62% más alta en comparación con la producción de tallo, excepto en nacedero que fue 71% más alta que en el tallo. Estos resultados coinciden con los de Suárez et al. (2006) en la misma zona, quienes encontraron contenidos de hoja mayores que 60% con respecto a tallos en las mismas especies de este estudio, aunque en ese caso los contenidos de hoja en nacedero fueron muy superiores (> 138%). Las diferencias en producción de MS entre especies era de esperar debido a que es una característica propia de cada una de ellas y no necesariamente se debió al menor número de cortes para el caso de nacedero y bohío.

La producción total anual acumulada de MS/planta de cratilia (1748 g) fue menor que la encontrada por Suárez et al. (2006), quienes con la aplicación de fertilizantes químicos obtuvieron una producción de MS de 2978 g/planta. Igualmente, la producción de MS por corte (4.4 t) en este estudio fue menor que la encontrada por Argel et al. (2001) en Costa Rica (7.4 t) en cortes cada 90 días.

La producción anual estimada de MS total/planta de matarratón fue ligeramente mayor que la encontrada en el estudio de Suárez et al. (2006) en la misma zona (1380 vs. 1128 g).

La producción total de biomasa de nacedero fue afectada por el menor número de cortes durante la evaluación. Esta especie no pudo ser cosechada en los dos cortes iniciales debido a la escasa presencia de rebrotes, producto posiblemente de la menor precipitación en la época final del año cuando se realizó el corte de uniformización. Una vez la planta alcanzó su madurez fisiológica, estabilizó su producción a través del tiempo y presentó disminución en el rendimiento de forraje durante las épocas de menor precipitación. A pesar de esto, la producción estimada de biomasa total anual de MS (1116 g) fue ligeramente mayor que la encontrada por Suárez et al. (2006) (843 g) para el mismo periodo.

Cuadro 1. Biomasa acumulada en un periodo de 2 años, de cuatro especies forrajeras arbóreas. Piedemonte amazónico de Colombia.

Especie ^a	Biomasa acumulada (MS, g/árbol)		
	Hoja	Tallo	Total
<i>Cratylia argentea</i>	2118 a [*]	1378 a	3496 a
<i>Gliricidia sepium</i>	1640 ab	1123 ab	2763 ab
<i>Trichantera gigantea</i>	1235 bc	501 b	1736 b
<i>Clitoria fairchildiana</i>	977 c	631 ab	1608 b
Promedio (ESD) ^b	1492 (116.1)	908 (148.7)	2401 (252.7)

* Letras distintas dentro de cada columna indican diferencias estadísticas ($P < 0.05$) según prueba de Tukey.

a. Ocho cortes para cratilia y gliricidia; siete para clitoria y seis para trichantera.

b. Error estándar de la diferencia.

La menor producción de forraje de bohío fue debida a un menor número de cortes como consecuencia de ataque de insectos, principalmente coleopteros, lo cual impidió realizar el quinto corte. Los resultados de biomasa, sin embargo, son similares a los encontrados por Cipagauta y Orjuela (2003) en evaluación de bancos de proteína bajo condiciones similares a las del presente estudio.

Captura de carbono. Después de 3 años, el almacenamiento de carbono entre 0 y 100 cm de profundidad en el suelo con banco de leguminosas (Cuadro 2) presentó un incremento de 20.2 t/ha. El C total acumulado fue cuatro veces más alto en los primeros 40 cm comparado con profundidades entre 40 y 100 cm.

El C estimado en la biomasa de la pastura degradada fue de 0.9 t/ha, mientras que el promedio de C total estimado en la biomasa del banco de proteína fue de 9.54 t/ha (22.72 t/ha de MS * 0.42) después de 3 años. Esto aumentaría a 100.6 t/ha el total de C en el banco, incluyendo el del suelo de 0 -100 cm, lo cual significa un incremento de 40.1% en la capacidad de captura de C, porcentaje más alto en comparación con el 28.5% de incremento en el C a 1 m de profundidad en el suelo (Cuadro 2).

La mayor acumulación de C en las capas superficiales del suelo se explica por una mayor actividad de las raíces; aunque esta característica no fue medida en este estudio, Ramírez et al. (2006) encontraron que más del 80% de la biomasa radicular de

Brachiaria decumbens y *B. humidicola* asociados con leguminosas, se encuentra en la capa superficial del suelo en sitios de topografía pendiente en la zona. Por otra parte, Amézquita (E. Amézquita, com. personal) en esta misma zona y con las mismas especies utilizadas en el presente estudio encontró 10 t/ha más C a 1 m de profundidad en el suelo en parcelas que recibieron fertilización orgánica en comparación con fertilización química, lo que también explica la mayor cantidad de C capturado en las parcelas que recibieron la aplicación de compost durante 3 años.

Conclusiones

- *Cratylia argentea*, *Gliricidia sepium* y *Trichanthera gigantea* establecidos en bancos mixtos de proteína para corte y acarreo, presentan buena adaptación y producción de MS en la región del Piedemonte amazónico de Colombia.
- *Clitoria farchildiana* presentó el ataque permanente de coleópteros durante todo el tiempo experimental por lo que su producción de MS fue menor que las demás especies en el estudio.
- Los bancos mixtos de proteína con especies arbóreas y arbustivas son eficientes para la captura de C, con una mayor actividad en las capas más superficiales del suelo. Esta condición contribuye a la mitigación del impacto ambiental debido al efecto de gases de invernadero y podría ser aprovechada como una herramienta en sistemas silvopastoriles para posibles negociaciones de pago por servicios ambientales.

Cuadro 2. Promedio de incremento de captura de carbono total en el suelo en un sistema de bancos de proteína en el Piedemonte amazónico de Colombia, durante un periodo de tres años.

Profundidad en el suelo (cm)	Carbono total en el suelo (t/ha en 3 años)			
	Pastura degradada inicial (agosto 2002)	Banco de proteína (noviembre 2005)	Incremento respecto a la pastura degradada inicial	Incremento (%)
0 - 40	60.4	76.7	16.3	27.0
40 -100	10.5	14.4	3.9	37.1
0 - 100	70.9	91.1	20.2	28.5

Resumen

En la granja Balcanes de la Universidad de la Amazonia en el Piedemonte amazónico de Colombia se realizó un experimento con el fin de determinar la producción de biomasa de cuatro árboles y arbustos forrajeros sembrados como banco de proteína y estimar la capacidad de captura de carbono. *Cratylia argentea*, *Gliricidia sepium*, *Clitoria fairchildiana* y *Trichantera gigantea* fueron sembradas a razón de 20.6, 20.7, 31.0, y 27.7% respectivamente, en surcos por especie separadas 1 m entre plantas y entre surcos, en un diseño de bloques al azar con tres bloques, en un suelo con una pastura degradada. Los bancos fueron fertilizados con abono orgánico y se sembró *Arachis pintoi* como cobertura del suelo. La materia seca (MS) acumulada a 1 de altura de la planta, después de ocho cortes en 750 días, fue significativamente más alta ($P < 0.05$) para *C. argentea* (3496 g/planta) que para *T. gigantea* (1736 g/planta) y *C. fairchildiana* (1608 g/planta). *Gliricidia sepium* produjo 2763 g/planta, similar ($P < 0.05$) a *T. gigantea* y *C. fairchildiana*. El contenido de C total en el suelo a 1 m de profundidad aumentó 20.2 t/ha en el banco, después de 3 años. El C total estimado en la biomasa de la pastura degradada fue de 0.9 t/ha, mientras que en la biomasa acumulada del banco fue de 9.54 t/ha. Se concluyó que las especies estudiadas tienen buena adaptación y producción como banco de proteína en la Amazonia colombiana y que el banco tiene la habilidad para capturar y secuestrar C, contribuyendo a mitigar el impacto ambiental debido a los gases que producen el efecto invernadero.

Summary

At the Balcanes farm of the Amazonia University in the Amazonia piedmont, an experiment was conducted in order to determine the biomass productivity of four foragerous shrubs and trees planted as protein banks and to estimate the capacity to capture carbon. *Cratylia argentea*, *Gliricidia sepium*, *Clitoria fairchildiana*, and *Trichantera*

gigantea were planted in proportions of 20.6, 20.7, 31.0, and 27.7% respectively, in rows by specie separated 1 m between plants and rows, in a completely randomized block design with three blocks, in a sloped soil with a degraded pasture. The banks received organic fertilization and *Arachis pintoi* was sown as coverage. The cumulated dry matter (DM) at 1 m height, after eight cuts in 750 days, was significantly higher ($P < 0.05$) for *C. argentea* (3496 g/plant) than for *T. gigantea* (1736 g/plant) and *C. fairchildiana* (1608 g/plant). *Gliricidia sepium* yield 2763 g/plant, similar ($P < 0.05$) to that of *T. gigantea* and *C. fairchildiana*. Total C content in the soil to 1m depth increased 20.2 t.ha⁻¹ in the bank, after three years. The estimated total C content of the degraded pasture was 0.9 t.ha⁻¹ whilst that in the cumulated bank biomass was 9.54 t.ha⁻¹. It was concluded that the species studied have good adaptation conditions as protein banks for cut and carry in the Amazonia and that the bank have the ability to capture and sequester C, contributing to mitigate the environmental impact due to the greenhouse gasses effect.

Referencias

- Andrade, H. J. 1999. Dinámica productiva de sistemas silvopastoriles con *Acacia mangium* y *Eucalyptus deglupta* en el trópico húmedo. Tesis MSc. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 70 p.
- Argel, P. J.; Hidalgo, C.; González, J., Lobo, M.; Acuña, V.; y Jiménez, C. 2001. Cultivar Veraniega (*Cratylia argentea* (Desv.) O. Kuntze). Una Leguminosa Arbustiva para la Ganadería de América Latina Tropical. Boletín Técnico. CIAT, Consorcio Tropileche, MAG y Escuela Centroamericana de Ganadería. 22 p.
- Cipagauta, M. y J. A. Orjuela. 2003. Utilización de técnicas agrosilvopastoriles para contribuir a optimizar el uso de la tierra en el área intervenida de la Amazonia. Corporación

- Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Fonade, Plan Colombia. 58 p.
- Holdridge, L. R. 1978. Ecología basada en zonas de vida. IICA. Serie de libros y materiales educativos no. 34. 276 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2000. IPCC Special Report: Land use, land use change and forestry. (sp.).
- Mendez S. Y. y Velásquez, J. E. 1998. Efecto de dos fertilizantes orgánicos en la producción y calidad nutricional de dos variedades de King grass (*Pennisetum hybridum*) e Imperial (*Axonopus scoparius*) en el Piedemonte amazónico (Caquetá). En: Memorias de la IV Reunión de Investigadores de la Amazonía, Florencia, Caquetá, agosto 19-21.
- Ramírez, B.; Ramírez, H.; Amézquita, M. C.; y Suárez, J. 2006. Carbon sequestration and radicular development of systems of soil use in the colombian amazon. En: Research Network for the Evaluation of Carbon Sequestration Capacity of Pasture, Agropastoral and Silvopastoral Systems in the American Tropical Forest Ecosystem. Six-month Report no. 9 Internal Document no 17.
- Ruiz, A. 2002. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles y competitividad económica en Matiguás, Nicaragua. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica. 106 p.
- Suárez, J. C.; Ramírez, B.; y Velásquez, J. E. 2006. Producción de biomasa y valor nutritivo de bancos de proteína establecidos con especies forrajeras para corte y acarreo en el Piedemonte amazónico de Colombia. Pasturas Tropicales 28(1):57.
- USDA (US Department of Agriculture). 1996. The Soil Survey Analytical Continuum. Soil survey laboratory methods manual. soil survey investigations report 42. US Department of Agriculture, Washington.