

INFLUENCIA DE *Alnus acuminata* H. SOBRE LA CANTIDAD Y CALIDAD DE FITOMASA EN UN SISTEMA SILVOPASTORIL.¹

INFLUENCE OF *Alnus acuminata* H. ON THE QUANTITY AND QUALITY OF PHYTOMASS IN A SILVOPASTORAL SYSTEM.

Jhoana Gómez B.²; Deisy Soraida Palacios M.²; Jorge Alberto Vélez L.³

RESUMEN

La investigación se realizó en la Granja Experimental Botana de la Universidad de Nariño, ubicada en el municipio de Pasto (Colombia) a 77° 18' 58'' longitud oeste y 1° 10' 11.4'' latitud norte, a 2.820 msnm y temperatura promedio de 12 °C. El objetivo del estudio fue evaluar la incidencia de la sombra de *Alnus acuminata* H. sobre la cantidad y calidad de fitomasa de *Lolium hybridum* H. y *Trifolium pratense* L. en un sistema de árboles dispersos en potreros. Las variables medidas incluyeron producción de las pasturas en forraje verde, materia seca y calidad nutricional en PC, FDN, FDA, hemicelulosa, celulosa y lignina. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar en un arreglo factorial 2x2, con 4 tratamientos y 3 repeticiones, el factor A representa dos sistemas silvopastoriles (*A. acuminata* H. + *L. hybridum* H. y *A. acuminata* H. + *T. pratense* L.) y el factor B está formado por dos distancias con respecto al árbol 0 a 3 m y 3 a 6 m. Se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas en sistemas silvopastoriles para todas las variables evaluadas. Con respecto a la distancia, las variables que presentaron diferencias significativas fueron MS, FDN, FDA y celulosa. No se encontró diferencias para la

¹ Artículo científico presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agroforestal, 2010.

² Estudiantes de Ingeniería Agroforestal, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Pasto, Colombia. E-mail: johannitta@hotmail.es – palaciosmontenegro@gmail.com

³ Profesor Tiempo Completo, Ingeniero Agroforestal, M.Sc. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Pasto, Colombia. E-mail : jvelezlozano@gmail.com

interacción: sistema silvopastoril y distancia. El análisis parcial de costos muestra que el sistema de árboles dispersos en potreros resulta ser rentable económicamente, debido a que el VAN es mayor que cero y la TIR es mayor que la tasa de descuento.

Palabras clave: sombra, forraje verde, proteína, fibra.

ABSTRACT

The research was realized in the Botana Experimental Farm of the University of Nariño, located in the municipality of Pasto (Colombia) to 77° 18' 58" west longitude and 1° 10' 11.4" north latitude, at 2.820 msnm and average temperature of 12 °C. The objective of this study was to evaluate the impact of the shadow of *Alnus acuminata* H. on the quantity and quality of phytomass of *Lolium hybridum* H. and *Trifolium pratense* L. in a system of dispersed trees in pastures. The measure variables included the production of the pastures in green grass, dry matter and nutritional quality in CP, NDF, ADF, hemicellulose, cellulose and lignin. The design was a random complete block in a 2x2 factorial arrangement with 4 treatments and 3 replications, factor A represents two silvopastoril systems (*A. acuminata* H. + *L. hybridum* H. y *A. acuminata* H. + *T. pratense* L.) and factor B consists of two distances to the tree 0 a 3 m y 3 a 6 m. We found highly significant differences in silvopastoril systems for all variables. Respect to the distance, the variables presented significant differences were DM, NDF, ADF and cellulose. No were differences found for interaction: silvopastoril system and distance. The partial cost analysis shows that the system of dispersed trees in pastures result be economically profitable, because the NPV is greater than zero and the IRR is greater than the discount rate.

Key words: shadow, green grass, protein, fiber.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción ganadera, han surgido después de la tala y quema de los bosques, dando como resultado áreas de pastoreo susceptibles a procesos erosivos, más aún cuando se encuentran en zonas de ladera. Al mismo tiempo, la producción ganadera en forma tradicional, implica una alta dependencia de insumos externos, incrementando los costos de producción y ocasionando muchas veces graves problemas ambientales (Ojeda *et al.*, 2003).

De acuerdo a lo anterior, una alternativa para la sostenibilidad de la producción es el establecimiento de sistemas silvopastoriles, en los cuales se incorpora el árbol como componente productivo, que en muchos casos hace aportes a la alimentación animal y genera interacciones positivas entre el suelo, las pasturas y los animales. Los árboles mejoran la fertilidad del suelo, reducen la evaporación, pueden ser utilizados como barreras rompevientos, controladores de la erosión y permiten diversificar la producción (madera, leña, frutos, entre otros) (ACOVEZ, 2008).

Sin embargo, Shelton *et al.* (1987), sostienen que el principal factor limitante para el crecimiento de pasturas en sistemas silvopastoriles es el nivel de sombra ejercido por los árboles y arbustos. Si bien en la mayoría de situaciones, la tasa de crecimiento de las pasturas es menor cuando crecen bajo la copa de los árboles que a pleno sol (Horne y Blair, 1991), no todas las forrajeras responden de igual manera a la disminución en la incidencia de energía lumínica.

Por lo anterior, es importante buscar nuevas alternativas forrajeras para desarrollar sistemas más productivos y sostenibles. Distintas investigaciones han demostrado que la asociación de leguminosas con gramíneas en un sistema silvopastoril representa una opción económica para mejorar la calidad del forraje ingerido por los animales (Lascano, 2002). Las leguminosas aumentan el nivel de proteína de la ración y la disponibilidad de forraje a través de todo el año, sobre todo durante la estación seca cuando las gramíneas maduran

rápidamente y su valor nutritivo no es suficiente para sostener la producción animal (Minson, 1990; Ullrich *et al.*, 1994).

Estudios realizados por Builes *et al.* (2004), afirman que la asociación de *A. acuminata* H. con *Pennisetum clandestinum* H., aumenta la calidad nutricional del pasto en términos de mayor degradabilidad de la materia seca, menos fibra y mayor contenido de proteína, pero también ocasiona una disminución significativa en la producción de materia seca comparada con sistemas de pasto en monocultivo y fertilización química. Todo lo anterior, lleva a deducir que la biomasa total es superior en un sistema a libre exposición solar, pero que la calidad nutricional de los pastos es mejor en un sistema silvopastoril.

Torres *et al.* (2009), reportan que *Lolium multiflorum* L. presentó mayores valores de altura de plantas y de forraje verde cuando se encontraba sembrado a una distancia de 0 a 1 m respecto a árboles de *Acacia decurrens* W., la relación hoja:tallo fue mayor a una distancia de 0 a 0.5 m bajo la influencia de la copa del árbol y el porcentaje de materia seca fue superior cuando en el pasto se hallaba de 1.5 a 2 m. Se observó un efecto positivo del árbol en la pastura sembrada a menores distancias, posiblemente porque *A. decurrens* W. tiene la capacidad de fijar altas cantidades de nitrógeno atmosférico.

Teniendo en cuenta lo anterior, en la presente investigación se evaluó la incidencia de la sombra de *Alnus acuminata* H. en un sistema de árboles dispersos en potreros, planteándose los siguientes objetivos: determinar la cantidad de fitomasa producida por *Lolium hybridum* H. y *Trifolium pratense* L.; evaluar la calidad nutricional en términos de proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), hemicelulosa, celulosa y lignina tanto de la leguminosa como de la gramínea; realizar un análisis parcial de costos del sistema silvopastoril.

METODOLOGÍA

La investigación se realizó en la Granja Experimental Botana de la Universidad de Nariño, ubicada en la vereda Botana, municipio de Pasto, localizado al occidente del Meridiano de Greenwich a 77° 18' 58'' longitud oeste y 1° 10' 11.4'' latitud norte. Se encuentra a una altura de 2.820 msnm, con temperatura promedio de 12 °C, precipitación media anual de 800 a 1000 mm, humedad relativa de 70 a 80% y 900 horas sol promedio año (Acosta y Tupaz, 2007). Según Holdridge (1990), pertenece a la zona de vida bosque húmedo montano bajo (bh – MB).

Para el establecimiento del sistema silvopastoril se aprovechó la existencia de árboles de *A. acuminata* H. de 9 años de edad, en un área aproximada de 7.160 m². Posteriormente el lote se dividió en dos parcelas: en la parcela 1 se sembró *L. hybridum* H. y en la parcela 2 se sembró *T. pratense* L., en cantidades de 30 kg ha⁻¹ y 4 kg ha⁻¹, respectivamente. La siembra se realizó al voleo.

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar en un arreglo factorial 2x2, con 4 tratamientos y 3 repeticiones (árboles), para un total de 12 unidades experimentales. El factor A representa dos sistemas silvopastoriles (*A. acuminata* H. + *L. hybridum* H. y *A. acuminata* H. + *T. pratense* L.) y el factor B está formado por dos distancias con respecto al árbol 0 a 3 m y 3 a 6 m (Tabla 1).

Tabla 1. Tratamientos propuestos para el estudio.

Tratamiento	Sistema	Distancias (m)
1	<i>A. acuminata</i> H. y <i>L. hybridum</i> H.	0 a 3
2	<i>A. acuminata</i> H. y <i>L. hybridum</i> H.	3 a 6
3	<i>A. acuminata</i> H. y <i>T. pratense</i> L.	0 a 3
4	<i>A. acuminata</i> H. y <i>T. pratense</i> L.	3 a 6

La cantidad de fitomasa de *L. hybridum* H. y *T. pratense* L. se determinó a través de aforos (Basto y Fierro, 1999), utilizando un marco de muestreo de 0.25 m x 0.25 m de lado, el cual

se lanzó al azar en cada uno de los tratamientos para conocer la producción de forraje verde en $t\ ha^{-1}$. El material vegetal se cortó a 10 cm de altura y se llevó a bolsas plásticas que se pesaron en campo con una balanza de reloj. En total se realizaron tres cortes por tratamiento, el primer corte de *L. hybridum* H. se realizó a los 60 días y de *T. pratense* L. a los 90 días después de la siembra, con un periodo de descanso entre cortes de 45 y 60 días respectivamente.

Del forraje verde recolectado, se tomó una submuestra de 300 g por tratamiento en cada corte y se llevó al Laboratorio de Bromatología de la Universidad de Nariño. Las submuestras se dividieron en dos partes: la primera se utilizó para determinar el contenido de materia seca (MS), para lo cual se sometió al forraje a un secado en estufa a 65 °C durante 48 horas y después a 105 °C por 4 horas hasta alcanzar peso constante (Cortés y Viveros, 1975). La segunda parte se utilizó para el análisis de calidad nutricional donde se determinó: proteína cruda (PC) a través del método de Kjeldahl (Bateman, 1970), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), hemicelulosa, celulosa y lignina (Van Soest y Robertson, 1985).

Los datos fueron sometidos a análisis de varianza y para evaluar las diferencias de las medias entre los tratamientos, se empleó la prueba de comparación de Tukey mediante el programa SAS (Statistical Analysis System).

Finalmente, se realizó un análisis económico del sistema árboles dispersos en potreros, con el fin de conocer la rentabilidad del sistema a través de los indicadores: VAN y TIR.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza para las variables forraje verde, MS, PC, FDN, FDA, hemicelulosa, celulosa y lignina detecta diferencias estadísticas altamente significativas ($p < 0.01$) en sistemas silvopastoriles. Las variables MS, FDN, FDA y celulosa presentaron diferencias

estadísticas significativas en distancia. En cuanto a la interacción, no se encontraron diferencias para ninguna de las variables consideradas (Tabla 2).

Tabla 2. Cuadrados medios para las variables forraje verde, MS, PC, FDN, FDA, hemicelulosa, celulosa y lignina de *L. hybridum* H. y *T. pratense* L. sembrados a diferentes distancias con respecto a *A. acuminata* H.

FUENTE DE VARIACIÓN	GL	CUADRADOS MEDIOS							
		Forraje verde	MS	PC	FDN	FDA	Hemi-celulosa	Celulosa	Lignina
Modelo	5	121.13	27.663	204.82	713.61	325.19	78.967	122.53	42.538
Bloque	2	41.604	27.163	124.87	125.22	32.646	29.583	17.804	8.939
SSP	1	520.14**	75.082**	774.32**	3296.48**	1539.12**	334.89**	569.38**	192.15**
Distancia	1	2.171ns	8.266*	0.035ns	20.809*	21.359*	0.029ns	7.645*	2.117ns
SSP*Distancia	1	0.116ns	0.643ns	0.016ns	0.338ns	0.156ns	0.751ns	0.0038ns	0.550ns
Error	30	4.024	0.883	4.914	7.183	3.787	5.034	0.704	1.990
Total corregido	35								
R ²		0.834	0.839	0.874	0.943	0.935	0.723	0.967	0.781
C.V.		13.851	6.373	10.686	6.390	7.072	15.574	3.947	21.639

** Diferencias estadísticas altamente significativas (p<0.05)

* Diferencias estadísticas significativas

ns No significativo

Tabla 3. Prueba de comparación de medias para las variables forraje verde, MS, PC, FDN, FDA, hemicelulosa, celulosa y lignina de *L. hybridum* H. y *T. pratense* L. teniendo en cuenta el factor sistema silvopastoril.

SISTEMA SILVOPASTORIL	Forraje verde	MS	PC	FDN	FDA	Hemicelulosa	Celulosa	Lignina
<i>A. acuminata</i> H. y <i>L. hybridum</i> H.	18.28a	16.19a	16.11a	51.51a	34.06a	17.46a	25.23a	8.83a
<i>A. acuminata</i> H. y <i>T. pratense</i> L.	10.68b	13.30b	25.38b	32.37b	20.98b	11.36b	17.28b	4.21b

Promedios dentro de una misma columna con letra similar, no difieren significativamente según la prueba de Tukey (p < 0.01)

Producción de forraje verde (t ha⁻¹corte⁻¹). La prueba de comparación de medias indica diferencias estadísticas significativas entre sistemas silvopastoriles (Tabla 3), ya que el sistema *A. acuminata* H. asociado con *L. hybridum* H. fue el que presentó la mayor producción de forraje verde con 18.28 t ha⁻¹, a comparación del sistema *A. acuminata* H. asociado con *T. pratense* L., que presentó una producción de 10.68 t ha⁻¹. Esto

probablemente se debe a que la respuesta productiva de cada especie no solamente depende del ambiente en donde se desarrolla, sino también de sus características morfológicas y genéticas (Sosa *et al.*, 1998) y como resultado las plantas pueden responder en forma distinta en crecimiento y producción.

Tabla 4. Prueba de comparación de medias para las variables forraje verde, MS, PC, FDN, FDA, hemicelulosa, celulosa y lignina de *L. hybridum* H. y *T. pratense* L. teniendo en cuenta el factor distancias.

DISTANCIA (m)	Forraje verde	MS	PC	FDN	FDA	Hemicelulosa	Celulosa	Lignina
0 a 3	14.24a	15.22a	20.78a	41.18a	26.75a	14.38a	20.79a	6.28a
3 a 6	14.73a	14.27b	20.71a	42.70b	28.29b	14.43a	21.71b	6.76a

Promedios dentro de una misma columna con letra similar, no difieren significativamente según la prueba de Tukey ($p < 0.01$)

No se presentaron diferencias estadísticas significativas entre las distancias (Tabla 4), pero se observó una tendencia numérica hacia mayor producción de forraje verde en el pasto que se encontraba a una distancia de 3 a 6 m respecto al árbol. Esta respuesta concuerda con Obispo *et al.* (2008), quienes afirman que la influencia de los árboles sobre la producción de *Panicum maximum* J., considerando únicamente la intersección de la radiación solar, resultó en una disminución en la producción de biomasa, en comparación con los potreros abiertos. Así mismo, Lesmes *et al.* (2009), sostienen que por cada 250 árboles ha^{-1} de aumento en la densidad arbórea existe una pérdida en la producción de biomasa de *P. clandestinum* H. aproximada al 11%. Otros autores (Mesquita *et al.*, 1994; Somarriba, 1988) también afirman que la producción de biomasa disminuyó con el sombreado.

No obstante, los árboles pueden ejercer otros efectos positivos en los sistemas silvopastoriles, encontrándose resultados muy variables dependiendo de las especies de pastos y árboles que son utilizados (Giraldo y Bolívar, 2000). Algunos autores reportan aumentos en la disponibilidad de forraje verde cuando está asociado con árboles (Bustamante, 1991; Libreros, 1993). Según Córdoba y Hernández (2006), la cobertura moderada (30% y 40%) puede favorecer el crecimiento de las pasturas mediante la

regulación de la temperatura y la humedad cerca del suelo, la cual es valiosa para la necromasa y la absorción de nutrimentos.

De acuerdo a lo anterior, Ruiz (1985), encontró en un sistema silvopastoril con *P. clandestinum* H. un mejor crecimiento del pasto, debido a la alta fijación de N ejercida por *A. acuminata* H. Torres *et al.* (2009), afirman que la altura de plantas y la producción de forraje verde de *Lolium multiflorum* L. fue mucho más significativa cuando el pasto se encontraba a distancias de 0 a 0.5 m y 0.5 a 1 m con respecto a *A. decurrens* W., en comparación con pasturas sembradas a distancias mas amplias del árbol. Del mismo modo, Piñeros *et al.* (2009), encontraron que las plantas a libre exposición solar fueron las que menos crecieron, posiblemente porque en presencia de sombra, las plantas tienden a una mayor elongación para la búsqueda de radiación solar, coadyuvadas por una mejor reserva de agua retenida en el suelo bajo el dosel de los árboles. Tal característica es deseable, en la medida que plantas de mayor altura podrán acumular más biomasa.

Porcentaje de materia seca. Se presentaron diferencias estadísticas significativas para el contenido de materia seca (MS) en los sistemas silvopastoriles. La prueba de comparación de medias (Tabla 3) muestra un mayor contenido de MS en el sistema *A. acuminata* H. asociado con *L. hybridum* H. con valor de 16.19%, mientras que *A. acuminata* H. asociado con *T. pratense* L. presentó un valor inferior con 13.3%. El contenido de MS varía de acuerdo a la especie y esta relacionado con incrementos en los componentes de la pared celular y la disminución de proteína y carbohidratos no estructurales (Estrada, 2002).

Así mismo, se encontraron diferencias estadísticas significativas entre las distancias evaluadas (Tabla 4). El mayor porcentaje de MS se obtuvo en el pasto sembrado a una distancia de 0 a 3 m con respecto al árbol con 15.22%. Este resultado coincide con Torres *et al.* (2009), para quienes los porcentajes de MS de *Lolium multiflorum* L. fueron superiores cuando el pasto se encontraba a una distancia de 1.5 a 2 m con respecto a la *A. decurrens* W. De igual forma, Chamorro *et al.* (2009), encontraron que la producción de MS fue mayor en el sistema silvopastoril *A. decurrens* W. + *A. acuminata* H. + *P.*

clandestinum H., superando en un 16.6% a la pradera a cielo abierto. Por lo tanto, cabe suponer que los árboles tienen influencia en la producción de la pastura asociada, debido especialmente al reciclaje de nutrientes por aporte de hojarasca, bombeo de nutrientes por las raíces y fijación de nitrógeno atmosférico, favoreciendo en este sentido la producción de materia seca (Montagnini *et al.*, 1992; Russo y Botero, 1996).

Por otro lado, cuando Piñeros *et al.* (2009), evaluaron la producción de materia seca de *Bothriochloa saccharoides* K. en el valle cálido del Magdalena (Tolima), no encontraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, debido a que la respuesta productiva de MS fue similar bajo los dos niveles de sombra evaluada (30% y 50%) y la pradera a total exposición a la radiación solar.

Contenido de proteína cruda (PC). La prueba de comparación de medias indica diferencias estadísticas significativas entre sistemas silvopastoriles (Tabla 3), presentando un mayor contenido de PC el sistema *A. acuminata* H. asociado con *T. pratense* L. con 25.38%, frente al sistema *A. acuminata* H. asociado con *L. hybridum* H. con valor de 16.11%. Este resultado concuerdan con Laredo (1985), quien reporta promedios de PC de 24.4% para *T. pratense* L. y de 17.5% para *L. hybridum* H. Como era de esperarse en esta investigación *T. pratense* L. mostró un mayor porcentaje de proteína cruda, debido a que las leguminosas tienen un contenido celular superior al de las gramíneas (Estrada, 2002). Cabe resaltar que, los resultados obtenidos se analizaron como sistema silvopastoril y no como monocultivo.

No se presentaron diferencias estadísticas significativas entre las distancias respecto al árbol (Tabla 4). Los resultados concuerdan con los obtenidos por Conde *et al.* (2007), cuando evaluaron un sistema silvopastoril de sombra y ramoneo con tres especies arbóreas y su efecto sobre la calidad del forraje, en el departamento de Cundinamarca. Igualmente, Obispo *et al.* (2008), no encontraron diferencias estadísticas significativas en *P. maximun* J. bajo diferentes niveles de sombra, aunque se observó una tendencia numérica hacia mayor contenido de proteína cruda con el incremento en el nivel de sombreado.

Por otro lado, Chamorro *et al.* (2009), reportan que los porcentajes de proteína de *P. clandestinum* H. fueron superiores cuando estaba asociado con *A. acuminata* H. y *A. decurrens* W. Pezo e Ibrahim (1998), afirman que en varios ensayos con gramíneas se han detectado incrementos en el contenido de proteína cruda a medida que aumenta la interferencia al paso de la luz solar. Este comportamiento se explica porque en condiciones de sombreado moderado, se han obtenido mayores concentraciones de nitrógeno en el forraje de las pasturas que crecen en la sombra de los árboles, en relación con los no sombreados (Belsky, 1992).

Sin embargo, Lesmes *et al.* (2009), reportan que *P. clandestinum* H. creciendo a plena exposición solar y bajo condiciones de sombreado alto (750 árboles ha⁻¹), presentaron en ambos casos bajos contenidos de proteína y altos contenidos de fibra, lo cual va en detrimento del valor nutricional de la pastura, en comparación con una densidad media (500 árboles ha⁻¹), en la cual los parámetros nutricionales presentan una composición superior y más adecuada para la nutrición animal.

Contenido de FDN y FDA. La prueba de comparación de medias indica diferencias estadísticas significativas entre sistemas silvopastoriles (Tabla 3), puesto que los porcentajes de FDN y FDA de *A. acuminata* H. asociado con *L. hybridum* H. (51.51% y 34.06%, respectivamente) superaron a los porcentajes de FDN y FDA de *A. acuminata* H. asociado con *T. pratense* L. (32.37% y 20.98%, respectivamente). Los valores de FDN y FDA de *L. hybridum* H. son mayores que los promedios reportados por Laredo (1985) (50.04% y 26.28%), mientras que los valores de FDN y FDA de *T. pratense* L. se mostraron inferiores frente a los promedios reportados por el mismo autor (37.37% y 27.41%). Este resultado coincide con Estrada (2002), quien afirma que la diferencia entre especies se debe a que las gramíneas tienen mayor contenido de fibra a comparación de las leguminosas.

De igual manera, se presentaron diferencias estadísticas significativas entre las distancias, ya que el pasto que se encontraba entre 3 y 6 m con respecto al árbol fue el que presentó el

mayor contenido de FDN (42.70%) y FDA (28.29%) (Tabla 4). Este resultado concuerda con Obispo *et al.* (2008), quienes afirman que los constituyentes de la pared celular (FDN y FDA) se incrementaron significativamente al disminuir los niveles de sombra. Esta respuesta coincide con lo reportado por Paciullo *et al.* (2007), puesto que encontraron incrementos en la digestibilidad de las plantas con los mayores niveles de sombreado, asociados a una disminución en los contenidos de las paredes celulares en las plantas evaluadas.

Otros autores (Giraldo y Bolívar, 2000), no encontraron diferencias estadísticas significativas en el contenido de FDN y FDA de una pastura asociada con *A. decurrens* W. en alta densidad (1110 árboles ha⁻¹) y en baja densidad (407 árboles ha⁻¹). Según Barahona y Sánchez (2005), los cambios en el contenido de fibra en pastos asociados a sistemas silvopastoriles, pueden llegar a ser muy significativos; esto parece depender de la interacción específica entre el árbol y la gramínea y podría estar asociado a la competencia por luz, agua y nutrientes.

Contenido de hemicelulosa. Se presentaron diferencias estadísticas significativas entre sistemas silvopastoriles (Tabla 3). La prueba de comparación de medias indica un mayor contenido de hemicelulosa en el sistema *A. acuminata* H. asociado con *L. hybridum* H. con 17.46%, a diferencia del sistema *A. acuminata* H. asociado con *T. pratense* L. con 11.36%. El bajo contenido de hemicelulosa en *T. pratense* L. se debe a que los constituyentes de la pared celular en gramíneas esta alrededor de 70.8% y en leguminosas es de solamente 49.2% (Combella *et al.*, 1971).

No se encontraron diferencias estadísticas significativas entre las distancias evaluadas (Tabla 4). En contraste, Bugarín *et al.* (2009), afirman que el menor porcentaje de hemicelulosa se obtuvo cuando *Brachiaria brizantha* C. se encontraba asociada con *Clitoria ternatea* L. y *Leucaena leucocephala* L. con 29.22%, en cambio al evaluar el contenido de hemicelulosa de *B. brizantha* en monocultivo, se obtuvo un valor de 32.14%. Igualmente, Norton *et al.* (1991), encontraron que gramíneas tropicales cultivadas a pleno

sol presentaron un mayor contenido de hemicelulosa a comparación con aquellas que se hallaban bajo 50% de interferencia de la radiación solar. Por lo tanto, es válido afirmar que el árbol favorece a la disminución de los componentes de la pared celular del pasto asociado y por consiguiente mejora la calidad del forraje en términos de nutrición animal.

Contenido de celulosa. La prueba de comparación de medias indica diferencias estadísticas significativas entre los sistemas silvopastoriles (Tabla 3), presentando un mayor contenido de celulosa el sistema *A. acuminata* H. asociado con *L. hybridum* H. con 25.23%, a diferencia del sistema *A. acuminata* H. asociado con *T. pratense* L. con 17.28%. Valores similares fueron reportados por Combellas *et al.* (1971), encontrando promedios para celulosa de 31.95% en gramíneas y 27.35% en leguminosas. Esto se debe a que en las gramíneas se presenta un mayor porcentaje de los constituyentes de la pared celular y por ende un mayor porcentaje de celulosa.

De igual manera, se encontraron diferencias estadísticas significativas en las distancias (Tabla 4), ya que se presentó un mayor contenido de celulosa en aquellas plantas que se encontraban fuera de la influencia del árbol con 21.71%. En los sistemas silvopastoriles, muchas gramíneas y leguminosas toleran bajos niveles de radiaciones solares, así mismo, la arquitectura de los árboles y el tipo de follaje influyen en el grado de interceptación de luz. En general, las investigaciones científicas demuestran un mejoramiento en la calidad nutricional de las gramíneas localizadas bajo la copa de los árboles, en relación con las expuestas completamente al sol (Abadía *et al.*, 2006).

Contenido de lignina. La prueba de comparación de medias indica diferencias estadísticas significativas entre los sistemas silvopastoriles (Tabla 3), ya que se presentó un mayor contenido de lignina en el sistema *A. acuminata* H. asociado con *L. hybridum* H. con valor de 8.83%, a diferencia del sistema *A. acuminata* H. asociado con *T. pratense* L. con 4.21%. Esto se explica porque con la madurez, varios tipos de células se lignifican en las gramíneas, mientras que en las leguminosas sólo lo hacen las células del xilema (Wilson y Mertens, 1995).

No se encontraron diferencias estadísticas significativas entre las distancias (Tabla 4). Sin embargo, en esta investigación se presentó una pequeña variación en el contenido de lignina, puesto que fue mayor sin la influencia del árbol con 6.76%. Al respecto, CORPOICA (2001), encontró que el contenido de lignina de *P. clandestinum* H. disminuyó cuando se encontraba asociado con *A. acuminata* H. con valor de 4.4%, caso contrario ocurrió a cielo abierto en donde *P. clandestinum* H. presentó un valor de 5.7%.

Análisis parcial de costos. La inversión que se hizo en el sistema árboles dispersos en potreros involucra gastos en: insumos, herramientas, alquiler de maquinaria y mano de obra directa e indirecta. Adicionalmente, los ingresos directos están relacionados con la venta de forraje de *L. hybridum* H. y *T. pratense* L. y los ingresos indirectos a la venta de leña para procesos de combustión y pago de servicios ambientales por árbol/año.

Tabla 5. Indicadores financieros del sistema árboles dispersos en potreros.

INDICADORES	AÑOS PROYECTADOS			
	0	1	2	3
Ingresos directos e indirectos	2.365.800	2.094.000	1.662.024	1.390.272
Inversiones	3.736.261	745.967	699.629	675.492
Diferencia	-1.370.460	1.348.033	962.394	714.780
Valor Actual Neto-VAN	1.529.479			
Tasa Interna de Retorno-TIR	62%			

El análisis económico muestra que el sistema árboles dispersos en potreros, a través de los criterios de evaluación utilizados, es económicamente viable, ya que genera una riqueza adicional de \$1.529.479 correspondiendo al valor actual neto, VAN (Tabla 5). Esto significa que no solo se recupera lo invertido en el sistema, sino que también se obtiene un beneficio adicional. Por otro lado, el dinero invertido en el sistema rinde a una tasa del 62% valor correspondiente a la TIR, lo cual resulta ser mayor al compararse con la tasa de descuento de 2.4%. De acuerdo a estos indicadores, el sistema es viable y resulta ser atractivo para el productor.

Cuando Martínez y Martínez (2005), realizaron un análisis económico de un sistema silvopastoril, sistema agroforestal, sistema agrosilvopastoril y sistema silvopastoril con alquiler de pasturas, encontraron que el sistema agrosilvopastoril fue el que presentó mayores ingresos y el componente forestal es el que tuvo mayor participación en los ingresos con un 86.36% promedio en los cuatro sistemas de producción estudiados. Sin embargo, el sistema silvopastoril obtuvo el mejor indicador de retorno (VAN) y una tasa interna de retorno (TIR) de 84.73% superior a la tasa de interés del sistema financiero.

Monicault (2009), afirma que el valor actual de los beneficios netos de la inversión realizada en un sistema silvopastoril en bosque nativo, indicó que además de recuperar la inversión realizada, a la tasa de descuento del 12% se recibieron \$12.776,00 adicionales. La tasa interna de retorno fue de 16.35%, representando la capacidad de rentabilidad media de la inversión en el sistema silvopastoril. El autor sostiene que si se contabilizaran los ingresos forestales y se internaliza el resto de los beneficios ambientales y ecológicos provistos por los sistemas silvopastoriles, se incrementarían los indicadores financieros y se mejoraría aún más la opción de invertir en tecnologías silvopastoriles.

CONCLUSIONES

La mayor cantidad de forraje verde se presentó en la asociación *A. acuminata* H. con *L. hybridum* H. y no se encontró diferencias estadísticas significativas en cuanto a la distancia.

El contenido de materia seca fue superior cuando el pasto se encontraba a una distancia de 0 a 3 m respecto al árbol.

El sistema *A. acuminata* H. asociado con *T. pratense* L. fue el que presentó mayor contenido de proteína cruda frente al sistema *A. acuminata* H. asociado con *L. hybridum* H.

Los componentes de la pared celular (FDN, FDA, hemicelulosa, celulosa y lignina) fueron menores en el pasto que se encontraba bajo la influencia de la copa del árbol.

El sistema árboles dispersos en potreros es rentable económicamente. La presencia de los componentes agrícolas y arbóreos dentro del sistema permite obtener mayores ingresos, contribuyendo de esta forma a la sostenibilidad ambiental y financiera.

BIBLIOGRAFÍA

Abadía, B., Pérez, O., Parra, J., Pardo, O., Velásquez, J., Flores, H., Onofre, G. y Rincón, A. 2006. Respuestas de CORPOICA a temas de ganadería bovina en Colombia. Disponible en: <http://www.corpoica.org.co/SitioWeb/Libreria/libropreg.asp?id_libro=2&id> [citado en 8 de marzo de 2010]

Acosta, J. y Tupaz, F. 2007. Cuantificación de la captura de carbono por la biomasa aérea de aliso *Alnus jorullensis* H. en dos arreglos agroforestales en la Granja Experimental Botana, Universidad de Nariño, municipio de Pasto, departamento de Nariño. Tesis de grado Ingeniero Agroforestal, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Pasto. 31 p.

Asociación Colombiana de Médicos Veterinarios y Zootecnistas-ACOVEZ. 2008. Sistemas silvopastoriles para el diseño de fincas ganaderas sostenibles. Colombia. 4 p.

Barahona, R. y Sánchez, S. 2005. Limitaciones físicas y químicas de la digestibilidad de pastos tropicales y estrategias para aumentarla. Revista CORPOICA. 6(1):69-82.

Basto, G y L. Fierro. 1999. Manejo sostenible de praderas. Produmedios. Bogotá, Colombia. 30 p.

Bateman, V. 1970. Nutrición animal: manual de métodos analíticos. Méx. Herrero. México, D.F. 468 p.

Belsky, A. 1992. Effects of trees on nutritional quality of understorey gramineous forage in tropical savannas. Tropical Grasslands. 26(1):12-20.

Bugarín, J., Lemus, C., Sangines, L., Aguirre, J., Ramos, A., Soca, M. y Arece, J. 2009. Evaluación de dos especies de leucaena, asociadas a *Brachiaria brizantha* C. y *Clitoria ternatea* L. en un sistema silvopastoril de Nayarit, México. Pastos y Forrajes. 32(4):369-377.

Builes, A., Gómez, M. y Giraldo, L. 2004. Evaluación de la producción y calidad de kikuyo *Pennisetum clandestinum* H. asociado con árboles de aliso *Alnus acuminata* H. en bmh-PM. Tesis de grado Zootecnista, Facultad de Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 105 p.

- Bustamante, J. 1991. Evaluación del comportamiento de ocho gramíneas forrajeras asociadas con poró *Erythrina poeppigiana* W. y solas. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 131 p.
- Combellas, J., González, E. y Parra, R. 1971. Composición y valor nutritivo de forrajes producidos en el trópico. I. Digestibilidad aparente y verdadera de las fracciones químicas. *Agronomía Tropical*. 21(6):483-494.
- Conde, A., Betancourt, L., Jaramillo, C., Barrera, D. y Chamorro, D. 2007. Evaluación de un sistemas silvopastoril con *Acacia decurrens* W., *Acacia melanoxylom* R. y *Alnus accuminata* H. y sus efectos sobre suelo y la calidad de las pasturas en el trópico alto colombiano. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 20(4):653-654.
- Córdoba, E. y Hernández, S. 2006. Competencia por luz en sistemas silvopastoriles. *Ecosistemas y comunidades: procesos naturales y sociales de los bosques*. p. 21-23.
- CORPOICA. 2001. Plan de modernización de la ganadería bovina colombiana: Resumen de resultados del componente de investigación 1996- 2000, Parte I, Silvopastoreo.
- Cortés, F. y Viveros, M. 1975. Guías de laboratorio para análisis bromatológico. Pasto. Universidad de Nariño. 26 p.
- Chamorro, D., Gualdrón, E., Padilla, C. y Jaramillo, C. 2009. Respuesta animal en arreglos silvopastoriles de ramoneo y sombra del trópico alto colombiano. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 22(3):545.
- Estrada, J. 2002. Pastos y forrajes para el trópico colombiano. Centro Editorial UNICALDAS, Manizales. 511 p.
- Giraldo, L y Bolívar, D. 2000. Evaluación de un sistema silvopastoril de *Acacia decurrens* W. asociada con pasto kikuyo *Pennisetum clandestinum* H., en clima frío de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 14 p.
- Holdridge, L. 1990. Zonas de vida de Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. p. 81.
- Horne, P. y Blair, G. 1991. Forage tree legumes. IV Productivity of leucaena/grass mixtures. *Australian Journal of Agricultural Research*. 42(1):1231-1250.
- Laredo, M. 1985. Tabla de contenido nutricional en pastos y forrajes de Colombia. Cooperativa Lechera de Antioquia COLANTA – Instituto Colombiano Agropecuario ICA, Medellín. 50 p.
- Lascano, C. 2002. Caracterización de las pasturas para maximizar producción animal. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 10(2):126-132.

- Lesmes, J., Rodríguez, F. y Franco, M. 2009. Incidencia de la densidad arbórea de aliso *Alnus acuminata* H. sobre la cantidad y calidad nutricional del pasto kikuyo *Pennisetum clandestinum* H. en un sistema silvipastoril. En: Memorias Seminario Internacional en Agroforestería. Pasto, Colombia. 9 p.
- Libreros, J. 1993. Efecto de depositar en el suelo material de poda de poró *Erythrina poeppigiana* W. sobre la producción y calidad de la biomasa de king grass *Pennisetum purpureum* S. P. *Typhoides* B. establecido en asocio. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 116 p.
- Martínez, A. y Martínez, S. 2005. Análisis económico y financiero de sistemas agroforestales localizados en el municipio de Valencia Córdoba. Observatorio de Precios y Costos Agrarios de la Zona Noroccidental del Caribe Colombiano. 15 p.
- Mesquita, M., De Paula, V., Sette, D. y De Assis, H. 1994. Efeito de árvores isoladas sobre a disponibilidade e composicao mineral de forragem em pastagens de Braquiaria. Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia. 23(5):709-718.
- Minson, D. 1990. Composición química y valor nutritivo de las leguminosas tropicales. Leguminosas forrajeras tropicales. FAO. 211-219.
- Monicault, L. 2009. Análisis económico-financiero de un sistema silvopastoril. Tesis de Maestría en Ciencias Forestales, con orientación en Economía y Administración Forestal. Provincia del Chaco. 54 p.
- Montagnini, F. *et al.* (1992). Sistemas agroforestales: principios y aplicaciones en los trópicos. 2 ed. San José, Costa Rica. Organización para estudios tropicales (OET). 622 p.
- Norton, B., Wilson, J., Shelton, H. y Hill, K. 1991. The effect of shade on forage quality. En: H.M. Shelton y W.W. STUR (Eds). Forages for plantation crops. ACIAR Proceedings. 32:83-88.
- Obispo, N., Espinoza, Y., Gil, J., Ovalles, F. y Rodríguez, M. 2008. Efecto del sombreado sobre la producción y calidad del pasto guinea *Panicum maximun* J. en un sistema silvopastoril. Zootecnia Tropical. 26(3):285-288.
- Ojeda, P., Restrepo, J., Villada, D. y Cesáreo, J. 2003. Sistemas silvopastoriles, una opción para el manejo sustentable de la ganadería. Primera edición, FIDAR, Santiago de Cali. 68 p.
- Paciullo, S., Carvalho, C., Aroeira, L., Morenz, M., Lopes, F. y Rossiello, R. 2007. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim braquiária sob sombreamento natural e a sol pleno. Pesq. Agrop. Bras. 42 (4): 573-579.

- Pezo, D. e Ibrahim, M. 1998. Sistemas silvopastoriles. Módulo de Enseñanza Agroforestal. CATIE-GTZ, Turrialba. 258 p.
- Piñeros, R., Silva, K., Sánchez, M., Delgado, J. y Holguín, V. 2009. Indicadores agronómicos del pasto vial *Bothriochloa saccharoides* K. bajo sombra simulada en el valle cálido del Magdalena, Tolima (Colombia). Revista Luna Azul. 29:32-36.
- Ruiz, M. 1985. Algunos aspectos de la germinación del aliso *Alnus acuminata* H. Tesis de Biología, Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 90 p.
- Russo, R. y Botero, R. 1996. El sistema silvopastoril Laurel-*Bachiaria* sp. como una opción para recuperar pastizales degradados en el trópico húmedo de Costa Rica. En: I Congreso Agropecuario y Forestal de la Región Huetar Atlántica. Guápiles, Costa Rica. 4 p.
- Somarriba, E. 1988. Pasture growth and floristic composition under the shade of guajava *Psidium guajava* L. trees in Costa Rica. Agroforestry Systems (Netherlands). 6:153-162.
- Sosa, R., Días, S., Pérez, R. y Morones, R. 1998. Producción estacional de especies forrajeras perennes en monocultivo y mezcla. Téc Pecu Méx. 36(1):59-71.
- Shelton, H., Humphreys, L. y Batello, C. 1987. Pastures in the plantations of Asia and the Pacific: performance and prospects. Tropical Grasslands. 21(1):159-168.
- Torres, L., Aragón, L. y Silva, A. 2009. Efecto de la acacia *Acacia decurrens* W. en el desarrollo y producción del pasto aubade *Lolium multiflorum*, L., Botana, departamento de Nariño, Colombia. Tesis de grado Ingeniero Agroforestal, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Pasto. 20 p.
- Ullrich, C., Vera, R. y Weniger, J. 1994. Producción de leche con vacas de doble propósito en pasturas solas y asociadas con leguminosas. Pasturas Tropicales. 16(3):10-25.
- Van Soest, P. y Robertson, J. 1985. Analysis of forages and fibrous foods. A laboratory manual for animal science. Cornell University, USA. 613 p.
- Wilson, J. y Mertens, D. 1995. Cell wall accessibility and cell structure limitations to microbial digestion of forage. Crop Science. 35(1):251-259.