

Estimación de la captura y almacenamiento de carbono y producción de forraje en un sistema silvopastoril con Acacia decurrens y pasto Pennisetum clandestinum en el municipio de Mosquera, Cundinamarca.

Estimation of carbon capture and storage and forage production in a silvopastoral system with Acacia decurrens and Pennisetum clandestinum grass in Mosquera, Cundinamarca.

Carlos Mario Artunduaga* María Alexandra Huertas** Juan Carlos Cerón***

Yeimy Rodríguez*** Jair Bermúdez***

*Médico Veterinario y
Zootecnista, Magister
en Ciencias Pecuarias /
Instructor en el Centro
de Biotecnología
Agropecuaria, SENA ,
Mosquera, Cundinamarca.
** Zootecnista Universidad
de Cundinamarca /
Magister en Ciencias
Pecuarias - Universidad del
Tolima
*** Zootecnista
Universidad Santo Tomás

Resumen

Los gases efecto invernadero (GEI) han venido afectando de manera importante el medio ambiente, generando un calentamiento global asociado al cambio climático actual. La ganadería tradicional se caracteriza por un impacto significativo como contribuyente importante en esta problemática, dada la fisiología digestiva de los rumiantes. Los sistemas silvopastoriles (SSP) se han constituido como una alternativa viable para la mitigación de los efectos nocivos anteriormente señalados. El potencial de la mitigación del impacto de los GEI en estos sistemas de producción sostenible, puede ser determinado mediante la estimación de la captura y almacenamiento de carbono que hacen las especies arbóreas por medio del proceso fotosintético. La fase experimental se realizó en un lote con un sistema silvopastoril (SSP) localizado en el Centro de Biotecnología Agropecuaria del SENA en el municipio de Mosquera.

En el presente trabajo se determinaron las características nutricionales del pasto *Pennisetum clandestinum* en el SSP mencionado con valores de 17,4% de materia seca (MS); 13,8% de proteína cruda (PC), con fracciones de

Cornell de 48,55% 22,46 para la fracción de proteína de mayor digestibilidad (A y B1 respectivamente.); lo anterior permite inferir que la pastura analizada presenta una composición química interesante para la dieta basal en rumiantes. Los valores de FDN y FDA de 69,7% y de 34,3%, respectivamente se relacionan con una composición de pared celular de digestibilidad media alta, por su componente de carbohidratos estructurales.

Los valores de energía metabolizable para *Pennisetum clandestinum* de 1,9 Mcal/Kg de MS, plantean una densidad energética igualmente interesante para la dieta de rumiantes. Se estimó la producción de biomasa del estrato bajo, incidida de manera importante por la densidad variable de las copas de los árboles en tres zonas del lote experimental, así: la biomasa obtenida del pasto *Pennisetum clandestinum* en la zona perimetral que limita con un SSP de árboles dispersos de *Alnus acuminata* y *Pennisetum clandestinum*, fue de 1078Kg/FV en la totalidad de la parcela; en la zona central del lote experimental fue de 878,43 Kg/FV/en la totalidad de la parcela; y en la zona perimetral que limita con un cultivo de papa fue de 954,37 Kg/FV/ en la totalidad de la parcela.

Adicionalmente, se determinó la cantidad de carbono almacenado por plantas arbóreas de la especie *Acacia decurrens* en el SSP, mediante el uso de modelos alométricos propuestos en la Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories del IPCC. Se encontró que la zona de muestreo Borde-Papa, fue la que mayor cantidad de carbono arriba del suelo almacenó con $1,79 \text{ t/ha} \pm 0,22$, mostrando diferencias significativas ($p < 0,0378$) con las demás áreas de muestreo.

El sistema de análisis estadístico fue un diseño completamente al azar. Se realizaron análisis de varianza y pruebas de comparación de medias LSD Fisher, utilizando la herramienta estadística Infostat.

Palabras clave: Efecto borde, especies arbóreas, gases efecto invernadero, mitigación del impacto de los GEI, modelos alométricos, trópico de altura.

Abstract

GHGs have been affecting the environment significantly, generating global warming associated with current climate change. The traditional livestock, is characterized by a significant impact as an important contributor to this problem, given the digestive physiology of ruminants. The SSPs have been established as a viable alternative for the mitigation of the aforementioned harmful effects. The potential of mitigation of GHG impact, in these systems of sustainable production, can be determined, by estimating the capture and storage of carbon by tree species through the photosynthetic process. The experimental phase was carried out in a lot with a Silvopastoral System (SSP) located in the Agricultural Biotechnology Center of SENA in the Municipality of Mosquera.

In the present work the nutritional characteristics of *Pennisetum clandestinum* grass were determined in the mentioned SSP with values of 17.4% dry matter (DM); 13.8% crude protein (PC); with Cornell fractions of 48.55% 22.46 for the most digestible protein fraction (A and B1 respectively); the previous thing allows to infer that the pasture analyzed presents an interesting chemical composition for the basal diet in ruminants; The NDF and ADF values of 69.7% and 34.3%, respectively, are related to a cell wall composition of high average digestibility due to its structural carbohydrate component.

The metabolizable energy values for *Pennisetum clandestinum*, of 1.9 Mcal / Kg of DM, pose an equally interesting energy density for the diet of ruminants. The biomass production of the low stratum was estimated, significantly affected by the variable density

of tree canopies in three zones of the experimental lot, as follows: the biomass obtained from the *Pennisetum clandestinum* grass in the perimeter zone bordering an SSP of dispersed trees of *Alnus acuminata* and *Pennisetum clandestinum* was 1078Kg / FV in the whole plot; in the central zone of the experimental lot was 878.43 Kg / FV / in the whole plot; and in the perimeter zone that borders on a potato crop was 954.37 Kg / FV / in the whole plot. Additionally, the amount of carbon stored by arboreal plants of the species *Acacia decurrens* in the SSP was determined by using allometric models proposed in the Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories of the IPCC.

It was found that the Borde-Papa sampling area was the one with the highest amount of carbon above the ground, with 1.79 t / ha \pm 0.22, showing significant differences ($p < 0.0378$) with the other sampling areas. The statistical analysis system was a completely randomized design. Analysis of variance and Fisher LSD means comparison tests were performed, using the statistical tool Infostat.

KeyWords: Allometric models, border effect, greenhouse gases, height tropics, mitigation of GHG impact, tree species.

Introducción

La producción ganadera a nivel mundial, independientemente del sistema de producción y de sus componentes, así como de los niveles de responsabilidad social de productores e instituciones estatales, ha venido contribuyendo de manera importante con la emisión de gases efecto invernadero (GEI), lo cual se soporta en estudios e investigaciones en diferentes países. El sistema de alimentación determina en gran medida la cantidad, frecuencia y proporción

de metano, dióxido de carbono y óxido nitroso que un rumiante emite a la atmósfera a través del sistema gastrointestinal mediante eructos y heces. Los rumiantes que pastorean en potreros con establecimiento de sistemas silvopastoriles (SSP) donde se encuentran árboles o arbustos dispersos producen GEI, igual que en pastoreo con praderas sin presencia de leñosas, con la ventaja de que el establecimiento en los primeros pueden ser captados y almacenados de forma indefinida y en variables cantidades

por los árboles presentes en el área de pastoreo (captura de carbono), dado la actividad fotosintética, disminuyendo considerablemente la dispersión de estos gases a la atmósfera; así mismo la posibilidad que tienen los animales de ramonear follaje de éstos, contribuye una menor producción y consecuente disminución de la emisión de GEI, debido a los componentes nutritivos, metabolitos secundarios y complejos enzimáticos presentes en los árboles forrajeros.

Las dos acciones, tanto la de captura y almacenamiento como la posibilidad de una menor producción de GEI, hacen que los SSP constituyan una alternativa viable y de alta eficiencia para mitigar el impacto ambiental generado por su emisión, generalmente de origen antropogénico en los sistemas de producción animal; además de contribuir efectivamente con la mitigación de las variables generadoras del cambio climático y calentamiento global mediante prácticas sostenibles de producción animal. La presencia de algunas especies de leñosas en potreros establecidos con forrajes de bajo porte, determina cambios en la dinámica fenológica de estas pasturas, presentando en algunas asociaciones disminución en el tiempo de recuperación de la pradera, mayor concentración y disponibilidad de nutrientes, por las raíces de las pasturas ya que la presencia de árboles en un SSP presentan beneficios tales como, mejor tasa de infiltración, activa los ciclos biogeoquímicos, incrementa la población y por ende las asociaciones

simbióticas de micro y meso fauna, adicionalmente se mejora la estructura y textura del suelo.

En la actualidad, existen métodos confiables para la estimación de la biomasa y carbono almacenado en especies leñosas de los bosques tropicales, llamados modelos alométricos, basados en la aplicación de ecuaciones, a partir de la colecta de datos obtenidos en estos ecosistemas (dasometría). La utilización de estas metodologías, son indispensables para la implementación eficiente de proyectos de reducción de emisiones por deforestación y/o degradación de los bosques-REDD (IPCC 2007). En el mundo existe un interés creciente por el diseño y manejo de los sistemas desde un enfoque holístico, con el fin de mejorar y diversificar la productividad de las fincas, asegurando su sostenibilidad y brindando servicios ecológicos, tales como: la conservación de las fuentes de agua, de la biodiversidad y el secuestro de carbono (Beer et al., 2003). La tasa de deforestación de los bosques tropicales en América latina ha tenido un incremento alarmante en la última década, y si bien hay países en los cuales la tasa ha presentado disminuciones importantes debido a prácticas conservacionistas, dirigidas y coordinadas desde lo institucional. Existen otros Estados en los que la tasa se incrementa año a año de manera preocupante. En Colombia se registró un total de 120.934 hectáreas deforestadas en 2013, mientras que en 2014 el área deforestada registrada fue de 140.356 hectáreas, presentando un incremento de 16%, principalmente

en los departamentos de Caquetá, Antioquia, Meta, Putumayo y Chocó, ocurriendo la mayor pérdida de bosques en la región caribe. (IDEAM 2015).

Lo anterior tiene un efecto negativo potencializado debido a que la inmensa mayoría de los bosques talados pertenecen a zonas de conservación y de alta vulnerabilidad ecológica en las cuales se ubican nacimientos de importantes recursos hídricos (ríos, lagunas, quebradas) los cuales surten los acueductos que surten un gran número de centros urbanos, agravando el problema de disponibilidad de agua potable para igual cantidad de población, además de la severa afectación de la biodiversidad. La situación anterior tiene un efecto adverso en la tasa de captura y almacenamiento de carbono por parte de las especies leñosas que son las que mayormente captan GEI (Álvarez et al., 2015). Ante la grave situación presentada en el mundo, debido a la tasa deforestación y pérdida de ecosistemas dado por la ampliación de las fronteras agrícolas y ganaderas entre otras actividades antropogénicas, el estudio e implementación de estrategias que mitiguen su impacto, permiten proponer a los SSP como una alternativa en la restauración, el mantenimiento y la sostenibilidad de los recursos naturales en los paisajes ganaderos. Estos ofrecen beneficios socioeconómicos y ecológicos evidenciados por diversos estudios científicos y experiencias exitosas de productores ganaderos (Zapata, Murgueitio, Mejía, Zuluaga e Ibrahim, 2007).

Los SSP han tenido un auge importante en los últimos años por que han demostrado constituirse en una alternativa eficiente en la transición de los sistemas de producción animal convencional, extractivo y de gran impacto sobre la sostenibilidad y el equilibrio ecosistémicos que permita asegurar la preservación de recursos naturales para el futuro. Dentro de las ventajas socioeconómicas están: diversifican los productos generados en la finca (madera, postes, leña y frutos), mejoran la productividad animal y proveen alimento de alto valor nutritivo, especialmente durante la época de seca. Además, son generadores de servicios ambientales, como la protección de las cuencas hidrográficas, la conservación de la biodiversidad, el secuestro de carbono y la belleza escénica (Ibrahim y Harvey, 2003) Adicionalmente, los sistemas silvopastoriles se convierten en una alternativa para reducir la pobreza en el sector rural, ya que ofrecen oportunidades de empleo, los productos tienen un valor agregado y se pueden mercadear como productos verdes u orgánicos producidos en armonía con el ambiente (Beer et al., 2003). Uno de los servicios ecosistémicos más importantes de los SSP es la captura de carbono por parte de las plantas leñosas, proveniente de diferentes fuentes que originan emisiones de GEI a la atmosfera, los cuales afectan de manera sensible el equilibrio térmico del planeta, al impedir el retorno de la radiación solar hacia el espacio, generando un efecto invernadero, responsable del

calentamiento global del planeta. La cantidad de C fijado en los sistemas silvopastoriles es afectada por el tipo de especies de gramíneas y leñosas, la densidad y la distribución espacial de las leñosas, y la tolerancia de las especies herbáceas a la sombra (Nyberg y Hogberg, 1995; Jackson y Ash, 1998).

En la búsqueda de sistemas de producción más sostenibles tanto biológica como económicamente, los sistemas silvopastoriles (SSP) parecen ser una alternativa a corto y largo plazo. Los árboles de *Acacia decurrens*) establecidos en asocio con pasturas comúnmente utilizadas en el trópico de altura como *Pennisetum clandestinum* que es una de las especies más adaptadas a la zona de clima frío, además de ofrecer forraje de buena calidad a los animales, pueden ser utilizados como barreras rompevientos, controlar la erosión y mejorar la fertilidad de los suelos. Adicionalmente proporcionan leña, madera y frutos, permitiendo otros ingresos al productor y dándole mayor estabilidad económica. En estudios preliminares con la especie *Acacia decurrens*, se ha encontrado que ésta tiene un alto potencial para el desarrollo y en sistemas silvopastoriles en clima frío, lo que valida su asocio con la gramínea en cuestión, debido a su buena adaptación y a su aporte al suelo desde el punto de vista biológico y de producción de biomasa de las especies con las cuales

se encuentra incorporada. Además de presentar excelente supervivencia después ser trasplantada, posee un acelerado crecimiento, además de su alta producción de biomasa comestible de alta calidad (Escobar, 1993). Lo anterior se justifica en una base metodológica para probar las especies arbóreas establecidas en el trópico de altura; por tales razones el objetivo de este trabajo fue estimar de la captura y almacenamiento de carbono y producción de forraje en un sistema silvopastoril con *Acacia decurrens* y pasto *Pennisetum clandestinum* en el municipio de Mosquera, Cundinamarca.

Materiales y Métodos

Localización área de estudio

El procedimiento experimental para la medición de variables dasométricas de los individuos arbóreos del SSP, se realizó en las instalaciones del Centro de Biotecnología Agropecuaria del SENA, el cual se encuentra ubicado en el municipio de Mosquera departamento de Cundinamarca. Las características de ubicación y medioambientales son las que se describen a continuación: Latitud: 40 41' 47" N (Norte). Longitud: 740 12' 52" N (Oeste). Altitud (msnm): 2640 msnm Precipitación (mm/año): 670 mm/año Evaporación promedio anual: 1133 mm aprox. Zona de vida (Holdridge): Bosque seco montano bajo Temperatura promedio anual: 12.60°C.



Figura 1. Sistema Sistema silvopastoril con *Acacia decurrens* y pasto *Pennisetum clandestinum* en el municipio de Mosquera, Cundinamarca.

Diseño de muestreo

Se seleccionó un sistema silvopastoril 4200 m² compuesto por la especie *Acacia decurrens* en asocio con la gramínea *Pennisetum clandestinum*, uno de los bordes del sistema limita con una matriz de cultivo de papa y el otro con un SSP de *Alnus acuminata* en asocio con *Pennisetum clandestinum*. Se establecieron tres parcelas de muestreo en el sistema, cada una de 868.96 m², con un total de 87 árboles por parcela; se midieron 54 árboles de cada parcela, a los cuales se les tomaron variables dasométricas como: diámetro a la altura del pecho (DAP), altura de la copa y altura total del árbol (medidos en metros); para posteriormente estimar

la biomasa área (en Kg) y carbono total almacenado (en tn/ha) por medio de ecuaciones del modelo alométrico multiespecie de Chavé y colaboradores (2005) para bosques secos tropicales.

Análisis bromatológico

En la Tabla 1 se observa la composición bromatológica del pasto *Pennisetum clandestinum*, el cual se realizó en el Laboratorio de Análisis y Ensayos NUTRIANÁLISIS; el procedimiento fue determinado mediante el análisis químico proximal según los métodos establecidos por la AOAC (2000) para contenido de materia seca, materia orgánica, proteína cruda, extracto etéreo y cenizas; la fibra detergente neutro y

fibra detergente ácido se halló por medio del protocolo propuesto por Van Soest (Robertson & Lewis, 1991).

Determinación del almacenamiento de carbono: se estimó con base en el modelo alométrico propuesto por Chavé et al., (2005) para bosques secos tropicales

$$\begin{aligned} \text{AGB} &= \exp((-2,187 + 0,916 \cdot \ln[p \cdot D^2 \cdot H]) \\ &= 0,112 \cdot (p \cdot D^2 \cdot H)^{0,916} \\ &= e^{(-2,187 + 0,916 \cdot \ln(p \cdot D^2 \cdot H))} \\ B &= 0,112 \cdot (\rho \cdot D^2 \cdot H)^{0,916} \end{aligned}$$

Dónde: **p:** Es gravedad específica de la madera (g/cm³)

D: Diámetro normal (cm)

H: Altura total (m)

El carbono en la biomasa se estimó empleando un default de 0,5, el cual es recomendado por el IPCC (2006).

Los datos de diámetro a la altura del pecho y altura total de los árboles fueron tomados con cinta diamétrica y clinómetro.

Biomasa y carbono arriba del suelo

La biomasa arriba del suelo de árboles individuales se estimó utilizando el modelo alométrico propuesto por Chave y colaboradores (2005) para bosques secos tropicales descrito a continuación:

$$B = 0.112 \cdot (p \cdot \text{dap}^2 \cdot H)^{0.916}.$$

Dónde: **p:** gravedad específica de la madera (g/cm³), **dap:** diámetro del

tronco a la altura del pecho (cm) y **H:** altura total (m). La gravedad específica de la madera fue consultada en la literatura especializada y en sección la base de datos The Global Wood Density (<http://hdl.handle.net/10255/dryad.235>; Chave et al., 2009; Andrade et al., 2017). El carbono contenido en la biomasa se estimó empleando por defecto 0.5, el cual es recomendado por el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2006).

Producción de biomasa

Para calcular la producción de biomasa forrajera del estrato inferior del sistema productivo se utilizó la metodología de aforo ponderado en cada una de las parcelas de estudio (centro, borde papa y borde aliso), en las cuales se clasificó la producción forrajera a partir de la altura del pasto en alto, medio y bajo (Densidad forrajera), asignado un porcentaje de cobertura a cada clasificación en el lote en estudio, mediante recorrido y estimación visual.

De cada categoría de producción forrajera se tomaron tres muestras mediante el uso de un marco de 1 metro cuadrado de lado, realizando cortes simulando el consumo que hace un bovino en una pastura, dejando entre 5-7 cms. de la planta adherida al suelo. Se procedió a pesar cada muestra de forma individual en báscula electrónica, descartando el peso de la bolsa que contenía el forraje, registrando los datos en una tabla previamente diseñada para tal fin. Se promediaron las tres muestras y se

registró igualmente el dato resultante. Este dato se multiplico por el factor de cobertura de acuerdo a la siguiente ecuación:

Peso promedio de la muestra X % de cobertura/100

Posteriormente se sumaron los datos resultantes de las tres categorías siendo el resultado la producción promedio por metro cuadrado de cada parcela de estudio. El promedio ponderado calculado de cada parcela se multiplicó por el área de cada una de estas para obtener la producción forrajera del área total de forraje.

Si bien no se realizaron otros muestreos de la producción forrajera para contrastar producción durante la evolución del estudio, los datos obtenidos en la medición realizada fueron relevantes en la medida en que se evaluó la incidencia de la presencia de la especie leñosa en el potrero, la cual presenta características que pueden tener impacto positivo y negativo sobre la producción de biomasa forrajera de bajo porte debido a dos parámetros que determinan estos resultados; uno es la espesa densidad de dosel de los árboles de *A. decurrens*, derivada de la distancia de siembra al establecimiento de 4X4 tanto entre arboles como entre surcos. Por otro lado, el aspecto inherente a las especies leguminosas y su interacción simbiótica con bacterias del genero *Rhizobium*, que por su capacidad fijadora de nitrógeno ejercen una alta concentración del elemento en la zona rizosférica del

árbol impactando la productividad de la pradera.

Diseño experimental

El análisis estadístico fue un diseño completamente al azar, donde el tratamiento (variable independiente) correspondió a la ubicación de los árboles de *Acacia decurrens* sembrados a finales del año 2011 y principios de 2012, y la variable respuesta fueron la captura y almacenamiento de carbono, la producción forrajera por sector y la composición química del estrato forrajero inferior de *Pennisetum clandestinum* por cada sector de muestreo. Se realizó análisis de varianza y pruebas de comparación de medias LSD Fisher, utilizando la herramienta estadística Infostat.

El modelo matemático empleado para el análisis estadístico fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

Dónde: Y= variable de respuesta a evaluar en el tratamiento i, repetición j; **T_i** = efecto del tratamiento i; **E_{ij}** = error experimental.

Resultados y Discusión

Análisis bromatológico

En este estudio se encontró un contenido de proteína del 13,8% para la biomasa del pasto *Pennisetum clandestinum*, sin embargo, Correa, Pabón y Carulla

(2008) han descrito el contenido promedio de proteína cruda de esta gramínea en un 20.5%, valor similar al encontrado por Osorio 1999, Naranjo 2002 en el departamento de Antioquia, no obstante más bajo que el hallado por León et al (2007) en el departamento de Cundinamarca (22.9%). Valores similares a los encontrados en este trabajo, han sido descritos por Vela y Vargas (2009) quienes describen un nivel de proteína mayor para la biomasa de *Pennisetum clandestinum* colectado en época de lluvias (14,1%) comparado con el analizado en época seca (10.3%), además encontraron niveles de proteína del 18,8% para la pradera de *Pennisetum clandestinum* asociada al bosque de Alisos (*Alnus acuminata*), en la época de lluvias y de 16,6% en la época seca.

Adicional a lo anterior se encuentran similitudes en cuanto al contenido de PC, reportados en un trabajo de Sánchez et al (2010), en el cual los valores de PC fueron bajo SSPs de 14,1% y en sistema de manejo tradicional (Sin árboles) fue de 11,1%, presentando se diferencias de 27% entre estos dos sistemas. La diferencia porcentual hallada sobre el manejo tradicional en el presente trabajo en PC fue de 24%.

Teniendo en cuenta los resultados de la fracción proteica obtenidos en este trabajo, es importante destacar que la fracción A corresponde a la fracción proteica que es rápidamente digestible (NRC 2001). Se presume que dicha porción es rápida y completamente degradada en el rumen (Hedqvist 2004, NRC 2001, Schwab et al 2003) e incluye al nitrógeno no proteico (NNP) y una pequeña fracción de proteínas de alta solubilidad (NRC 2001, Schwab et al 2003). En cuanto a los contenidos de las fracciones de Cornell, los resultados obtenidos contrastan con los reportados en el trabajo anteriormente referido. Los valores hallados de Fracciones A, B1, B2, B3 y C de 48,55%, 22,46%, 0%, 15,9% y 13% respectivamente, son significativamente diferentes a los reportados por Sánchez et al (2010) de 2,82%, 43,06, 27,8%, 20,75% y 5,56% para las mismas fracciones. Frente a estos valores, se puede afirmar que las fracciones proteicas de alta solubilidad hallados en la biomasa de *P. clandestinum* del SSP con *A. decurrens*, es mucho mayor que la reportada para SSP con *A. acuminata*.

La biomasa del pasto *Pennisetum clandestinum*, mostró los siguientes valores nutricionales.

Tabla 1. Análisis bromatológico en base seca de la biomasa de *Pennisetum clandestinum*, procedente del sitio de estudio.

Análisis bromatológico		
Variable	Unidad	Resultado
MS	%	17,4
Proteína	%	13,8
Fracción A de proteína	%	6,7
Fracción B1 de proteína	%	3,1
Fracción B2 de proteína	%	0
Fracción B3 de proteína	%	2,2
Fracción C de p	%	1,8
Proteína	%	1,05
Grasa	%	31,4
Fibra cruda	%	69,7
FDN	%	34,3
FDA	%	35,4
HEMICELULOSA	%	30,2
CELULOSA	%	4,1
LIGNINA	%	11,9
CENIZA	%	52,0
NDT	%	2,3
ENERGÍA DIGESTIBLE	Mcal/Kg	1,9
ENERGÍA METABOLIZABLE	Mcal/Kg	4,1
ENERGÍA BRUTA	Mcal/Kg	56,5
DIVMS	%	

MS: Materia seca, FDN: Fibra detergente neutro, FDA: Fibra detergente ácida, NDT: Nutrientes digestibles totales, DIVMS: Digestibilidad *in vitro* de la materia seca.

Los valores de FDN de 69,7% y para FDA de 34,3%, fueron superiores a los reportados por Sánchez et al 2010, con 60,04% y 28,57% respectivamente, presentando diferencias de 15% y 20% correspondientemente, lo cual evidencia diferencias significativas entre los dos SSP Acacia:Kikuyo y Aliso:Kikuyo. Otros factores que determinan esta diferencia en el contenido de pared celular son: El tiempo de recuperación asociado con el período vegetativo del *P. clandestinum*, la interacción entre la leñosa y la gramínea, género y especie de la leñosa; las características fisicoquímicas del suelo, y las condiciones climatológicas del período de desarrollo de la pastura.

Producción de biomasa forrajera

En la tabla 2 se presentan los resultados del aforo ponderado realizado en el SSP en estudio; la producción de pasto determinada mediante la metodología de aforo ponderado, se realizó en la primera fase del proyecto, la cual se caracterizó por presentar una densa cobertura por parte de la copa de los árboles de *A. decurrens*, con una cantidad de 268 árboles. Esta alta densidad de dosel, incidió de forma importante en la captación de luz por parte del estrato bajo del sistema.

Las evidencias del nivel de afectación por la escasa luminosidad sobre el estrato forrajero de *Pennisetum clandestinum* se observaron por amplias zonas de calvas (Figura 2B), que contrastaron con las zonas de alta luminosidad (Figura 2A), en cuanto a la producción de biomasa forrajera. Las áreas en las que se evidenció alta producción forrajera no fueron tenidas en cuenta para la evaluación de los resultados de este parámetro porque se encontraron

fuera del área de cobertura de la copa de las leñosas en las parcelas asignadas al estudio.

Otro factor que incidió en la producción de biomasa forrajera fue el sector de muestreo; la zona llamada Borde Aliso presentó la mayor producción de forraje, debido probablemente a la cercanía con especies leñosas de la especie *Alnus acuminata*, conocida por su relación mutualista con bacterias actinomicetos del género *Frankia*, fijadores de nitrógeno; así como su fuerte interacción con hongos micorrizógenos arbusculares (HMA); estas circunstancias determinan una mayor productividad forrajera. En trabajos realizados en el municipio de Usme, en potreros establecidos como sistemas Silvopastoriles en asociación de *Alnus acuminata* con especies forrajeras de bajo porte, se observaron. Se encontró que la biodiversidad de la pradera del SSPs aumentó, representada por mayor biomasa de *Kikuyo*, *Falsa poa* y *Raigrás* en comparación con la pradera tradicional sin árboles. (Sánchez, et al, 2010).



Figura 2. Comparación de la producción forrajera en zona de alta luminosidad (A) y Baja luminosidad (B) en el SSP en estudio.

Esta asociación de leñosas de *A. acuminata* y pastura *P. clandestinum* vinculadas a la interacción Microbiológica mutualista evidencia mayor productividad en volumen forrajero y calidad nutricional de esta, a través de Investigaciones recientes, donde han encontrado que en sistemas de pastoreo con presencia de aliso como sombra, los potreros

presentaron mayor producción y calidad de la biomasa forrajera. Adicionalmente, las mayores respuestas en producción de biomasa forrajera están asociadas al incremento en la población de hongos (17,3%), Bacterias (37,6%) y micorrizas (35,29%) en el suelo. (Sánchez, et al 2010).

Tabla 2. Producción forrajera de Kikuyo en el SSP asociado con *Acacia decurrens*.

	Porcentaje de cobertura estimada								
	Borde Papa			Centro			Borde aliso		
Categoría	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo
Porcentaje de cobertura estimado	20	45	35	10	25	65	30	50	20
Producción promedio de forraje (grs)	1363	1164	837	1405	1022	946	1612	1177	848
Cálculo ecuación (Grs)	272,6	523,8	292,9	140,5	255,5	614,9	483,6	588,5	169,6
Producción/M2 (Grs)	1089,3			1010,9			1241,7		
Producción total/parcela Kg	954,37			878,43			1078,98		

Biomasa y almacenamiento de carbono arriba del suelo

Los mayores valores de Dap de los individuos muestreados se encontraron en la zona de Borde-Papa (26,19 cm); esto contrastó con menores tamaños encontrados en las zonas de Borde-Aliso y Centro (18,21 cm y 20,49 cm, respectivamente) mostrando diferencias significativas (p= 0,0001).

Los mayores valores de altura total (m) se registraron en las zonas Borde-

Papa y Borde-Aliso (10,78 ab y 12,4 a, respectivamente) encontrando diferencias estadísticas con la zona centro, que fue la que menores valores mostró, como se evidencia en la tabla 3. Para el almacenamiento de carbono arriba del suelo (t/ha) se evidenciaron diferencias significativas (p <0,0378) entre las áreas de muestreo, siendo la zona Borde- papa (1,79 ± 0,03) el área que mayor almacenamiento de carbono mostró, con respecto a la parcela Borde-Aliso (1,20 ± 0,03) y a la parcela Centro (1,13 ± 0,03).

Tabla 3. Resumen de las características dasométricas y almacenamiento de carbono en biomasa total arriba del suelo de un SSP con diferentes áreas de muestreo, en el municipio de Mosquera, Cundinamarca, Colombia.

Variables	Posición		
	Borde-Aliso	Centro	Borde-Papa
Dap (cm)	18,21 ± 1,07a	20,49± 1,23 a	26,19± 1,51b
Altura total (m)	12,4 ± 1,03b	10,2± 0,57 a	10,78± 0,44 ab
Carbono arriba del suelo (t/ha)	1,20 ± 0,2 a	1,13± 0,18a	1,79 ± 0,22 b

abc. Medias con una letra diferente son significativamente diferentes (p< 0,05)

Ávila, Jiménez, Beer, Gómez e Ibrahim (2001) encontraron que el almacenamiento de carbono es mayor en sistemas silvopastoriles, con respecto a pasturas en monocultivo (95 t/ha/año vs 68 t/ha/año); Andrade (1999)

obtuvo un almacenamiento de C en las pasturas de 0.35 y 1.5 t/ ha/año para *Brachiaria brizantha* en asocio con *Eucalyptus deglupta* o *Acacia mangium*, respectivamente.

Conclusiones

El volumen producido de biomasa forrajera (pastura) fue obtenido en la estación climatológica de sequía, la cual afectó sensiblemente la producción forrajera; sin embargo,fue mayor a la producción que se obtendría de un monocultivo, lo cual indica que los SSP por efectos de que la presencia de árboles regula la tasa de evapotranspiración, filtra la radiación.

Ávila y colaboradores (2001) encontraron que el almacenamiento de carbono es mayor en sistemas silvopastoriles, con respecto a pasturas en monocultivo (95 t/ha/año vs 68 t/ha/año); solar y mantiene unas temperaturas ambientales más estables, mitiga el efecto del verano sobre la producción forrajera.

El análisis bromatológico, indica que el forraje asociado a SSP, presenta características interesantes desde el punto de vista nutricional, para animales rumiantes, que puedan ser parte de un sistema de producción sostenible, incorporando técnicas de conservación y mitigación del impacto ambiental. La información presentada en este trabajo indica que los limitantes nutricionales más relevantes en el pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst Ex Chiov.) cultivado en Colombia son el alto contenido de proteína cruda, de nitrógeno no proteico, potasio y fibra en detergente neutro y el bajo contenido de carbohidratos no estructurales, calcio y sodio. El alto contenido de K podría afectar la absorción del Mg y, por ende, incrementar la aparición de hipomagnesemia en vacas lactantes. Por

otro lado, la alta proporción de ácidos grasos insaturados dentro del EE de esta gramínea, indica que la leche proveniente de hatos en los que el pasto kikuyo represente un porcentaje importante de la dieta, tendría una mayor proporción de ácidos linoléico conjugados.

La zona de estudio ubicada en el borde del sistema silvopastoril, que colinda con un cultivo de papa (Borde-papa) fue la zona que mayores valores mostró para Dap (cm), altura total (m) y almacenamiento de carbono (t/ha), esto puede ser explicado por el efecto borde de la zona en cuestión. A pesar de que se conoce la capacidad que tienen los bosques y algunos sistemas silvopastoriles para almacenar carbono, aún falta información acerca del potencial de secuestro de carbono en suelo a partir de las raíces y en la rizosfera, y en la biomasa arbórea en los sistemas de uso de la tierra predominantes en paisajes dominados por la ganadería.

Los resultados de esta investigación resaltan la importancia de especies promisorias como *A. decurrens* como potenciales sumideros de carbono, para ser implementados en sistemas silvopastoriles y agroforestales, que contribuyan a la mitigación del cambio climático.

Recomendaciones

La importancia de este trabajo, radica en que el conocimiento de la estimación del almacenamiento de carbono y composición nutricional de la pastura asociada a un SSP, permite recomendar al productor esta herramienta por su utilidad y accesibilidad, reconociendo en la práctica la dinámica propia del sistema, para poder proyectar y predecir el potencial productivo del mismo. Adicionalmente permite la implementación argumentada del establecimiento de un SSP como estrategia para la mitigación de los efectos del impacto ecológico en posible asocio con un sistema de producción animal y recomendar arreglos forestales con especies forrajeras de importancia y beneficio para la alimentación de rumiantes y por ende su productividad, aspectos de marcada importancia para los países del trópico, debido a la estacionalidad climática y escasez de alimento para los animales, además de la imperiosa necesidad de generar seguridad alimentaria con menor impacto ambiental con respecto a la producción pecuaria tradicional.

Agradecimientos

Al Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, Centro de Biotecnología Agropecuaria en Mosquera, Cundinamarca, por facilitar los espacios para el desarrollo de este experimento y al Fondo de Investigaciones de la Universidad Santo Tomás por el financiamiento de este estudio.

Referencias

- Álvarez Espinosa, A. C., Ordoñez, D. A., Nieto, A., Wills, W., Romero, G., Calderón, S. L., & Delgado, R. (2015). Compromiso de Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero: Consecuencias económicas. Departamento Nacional de Planeación DNP. Documento, 440.
- Andrade-Castañeda, H. J., Segura-Madrigal, M. A., Canal-Daza, D. S., Huertas-Gonzales, A., & Mosos-Torres, C. A. (2017). Composición florística y reservas de carbono en bosques ribereños en paisajes agropecuarios de la zona seca del Tolima, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 65(4), 1245-1261.
- Andrade, H. J. (1999). Dinámica productiva de sistemas silvopastoriles con *Acacia mangium* y *Eucalyptus deglupta* en el trópico húmedo (tesis de maestría). CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- Ávila, G., Jiménez, F., Beer, J., Gómez, M., & Ibrahim, M. (2001). Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*, 8(30), 32-35.
- Beer, J., Harvey, C., Ibrahim, M., Harmand, J. M., Somarriba, E., & Jiménez, F. (2003). Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. *Agroforestería en las Américas*, 10(37-38), 80-87.
- Correa, H. J., Pabón, M. L., & Carulla, J. E. (2008). Valor nutricional del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst Ex Chiov.) para la producción de leche en Colombia (Una revisión): I-Composición química y digestibilidad ruminal y posruminal. *Livestock Research for Rural Development*, 20(4).
- Chave, J., Condit, R., Lao, S., Caspersen, J. P., Foster, R. B., & Hubbell, S. P. (2003). Spatial and temporal variation of biomass in a tropical forest: results from a large census plot in Panama. *Journal of Ecology*, 91(2), 240-252.
- Escobar, L.M. (1993). Perspectivas de la producción de follaje y leña de *Acacia decurrens*. Medellín. Servicio Nacional de protección forestal, INDERENA, 9 p, (Mimeog).
- Hedqvist, H. (2004). Metabolism of soluble proteins by rumen microorganisms and the influence of condensed tannins on nitrogen solubility and degradation (Vol. 501).
- IDEAM, U. Republica de Colombia. "Primer Informe bienal de actualización de Colombia ante la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático". [online]. 2015.
- Jackson, J., & Ash, A. J. (1998). Tree-grass relationships in open eucalypt woodlands of northeastern Australia: influence of trees on pasture productivity, forage quality and species distribution. *Agroforestry systems*, 40(2), 159-176.

- León, J. M., Mojica, J. E., Castro, E., Cárdenas, E. A., Pabón, M. L., & Fornaguera, J. E. C. (2008). Balance de nitrógeno y fósforo de vacas lecheras en pastoreo con diferentes ofertas de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) suplementadas con ensilaje de avena (*Avena sativa*). *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 21(4), 3.
- Naranjo, H. (2002). Evaluación nutricional del pasto kikuyo a diferentes edades de corte. *Despertar Lechero*, 20, 150-167. National Research Council. (2001). *Nutrient requirements of dairy cattle: 2001*. National Academies Press.
- Nyberg, G., & Högberg, P. (1995). Effects of young agroforestry trees on soils in on-farm situations in western Kenya. *Agroforestry systems*, 32(1), 45-52.
- Osorio, F. (1999). Efecto de la dieta sobre la composición de la leche. *Memorias, I Seminario Internacional sobre avances en nutrición y alimentación animal*, Medellín, marzo, 18-19.
- Pineda Hernández, J. G. (2017). La Acacia negra (*Acacia decurrens*) como alternativa forrajera en el trópico alto andino Colombiano.
- Schwab, C. G., Tylutki, T. P., Ordway, R. S., Sheaffer, C., & Stern, M. D. (2003). Characterization of proteins in feeds. *Journal of Dairy Science*, 86, E88-E103.
- Van Soest, P. V., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of dairy science*, 74(10), 3583-3597.
- Vela, J. y Vargas, M. (2009) Caracterización de la dinámica de producción de materia seca del kikuyu (*pennisetum clandestinum*) asociado con árboles y en pastoreo para producción de leche en el trópico alto colombiano *Revista Ciencia Animal* No 2: 27-40 / Septiembre de 2009
- Zapata, Á., Murgueitio, E., Mejía, C., Zuluaga, A., & Ibrahim, M. (2007). Efecto del pago por servicios ambientales en la adopción de sistemas silvopastoriles en paisajes ganaderos de la cuenca media del río La Vieja, Colombia. *Agroforestería en las Américas*, 45, 86-92.