



IMPACTO DE *Alnus acuminata* Kunth EN LOS FLUJOS DE N₂O Y CALIDAD DEL PASTO *Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov

Alnus acuminata Kunth impact on N₂O fluxes and quality of *Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov grass

Amanda Silva-Parra¹, Seydyss Garay-Rodríguez² & Arturo S. Gómez-Insuasti³

Silva-Parra, A., Garay-Rodríguez, S., & Gómez-Insuasti, A. (2018). Impacto de *Alnus acuminata* Kunth en los flujos de N₂O y calidad del pasto *Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov. *Colombia Forestal*, 21(1), 47-57

Recepción: 15 de febrero de 2017

Aprobación: 28 de agosto de 2017

Resumen

El Aliso *Alnus acuminata* Kunth es un forestal del trópico alto de Colombia que se asocia con pasto *Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov como sistema silvopastoril (SSP) y fija N atmosférico. El SSP se comparó con 0, 50, 100, 150 y 200 kg.N.ha⁻¹. año⁻¹ a los 30, 45 y 60 días sobre la calidad del pasto, expresada en forraje verde (FV), materia seca (MS), porcentaje de proteína cruda (%PC) y N absorbido; también se evaluaron los flujos de emisiones de N₂O a la atmósfera. El SSP superó a 0 y 50 kg.N.ha⁻¹ en todas las variables, menos en los flujos de emisiones de N₂O que fue mayor a 0 kg.N.ha⁻¹ (P<0.05) e igual a 50 kg.N.ha⁻¹ (P>0.05) y en FV fue similar a 100 kg.N.ha⁻¹ (p>0.05); 150 y 200 kg.N.ha⁻¹.año⁻¹ superó en todas las variables al SSP. Se alcanzó mayor FV y MS a los 45 días y %PC a los 30 días.

Palabras clave: calentamiento global, deforestación, forestal, gases de efecto invernadero GEI, productividad de las pasturas.

Abstract

The Aliso *Alnus acuminata* Kunth is a forest species of the of the Colombian Andes associated with Kikuyu grass as silvopastoral system (SPS) and fixe atmospheric N. The SPS was compared with 0, 50, 100, 150 and 200 kg N ha⁻¹ year⁻¹ at 30, 45 and 60 days on pasture quality, expressed as green forage (GF), dry matter (DM), percentage of crude protein (% CP) and N absorbed, also fluxes N₂O emissions to the atmosphere were evaluated. The SPS exceeded to 0 and 50 kg.N.ha⁻¹ in all variables, less in the N₂O emission fluxes that was greater than 0 kg.N.ha⁻¹ (P<0.05), equal to 50 kg.N.ha⁻¹ (P>0.05), and in GF was similar to 100 kg.N.ha⁻¹ (p>0.05). 150 and 200 kg.N.ha⁻¹.year⁻¹ exceeded all the variables to the SSP. A higher GF and DM was achieved at 45 days and %CP at 30 days.

Key words: global warming, deforestation, forestry, greenhouse gases GHG, pastures productivity.

1 Universidad de los Llanos. Villavicencio, Colombia. asilvap@unillanos.edu.co. Autor para correspondencia.

2 Universidad de los Llanos. Villavicencio, Colombia. sgaray@unillanos.edu.co

3 Universidad de Nariño. Pasto, Colombia. asgomezi@yahoo.com.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción ganadera en el trópico alto de Colombia han sido responsables en gran parte de los altos ritmos de deforestación, provocados principalmente por los cambios en los usos del suelo, debido a la conversión de bosques naturales en pastizales permanentes (Staley *et al.*, 2008; Murgueitio *et al.*, 2011).

Esto ha provocado procesos de degradación en el suelo y las pasturas, disminuyendo su fertilidad física y química (Zapata *et al.*, 2009; Hansen *et al.*, 2010) y la capacidad productiva de las pasturas en el corto, mediano y largo plazo (Murgueitio *et al.*, 2011).

Para contrarrestar la baja capacidad de producción de las pasturas, se ha recurrido a la fertilización nitrogenada (Teitzel *et al.*, 1991; Soto *et al.*, 2005), invirtiendo grandes cantidades de N, principalmente de Urea, que han incrementado los costos de producción (Soto *et al.*, 2005). Estos son causantes también de efectos negativos en el medio ambiente y aumentos de GEI debido a las emisiones de N₂O a la atmósfera (Pattey *et al.*, 2005; IPCC, 2007).

Se estima que los sistemas agropecuarios son responsables directamente entre un 10 y un 12 % de las emisiones totales de GEI (Smith *et al.*, 2008). El N₂O ha sido responsable por el 5 % del efecto invernadero total a lo largo de los últimos 100 años (IPCC, 2006) y presenta un potencial de calentamiento global de 310 veces el de CO₂ (IPCC, 2007). La mayor parte de estas emisiones tienen lugar en forma de N₂O emitido por los suelos fertilizados (Smith *et al.*, 2008).

Las altas emisiones de GEI debidas a N₂O en sistemas de producción ganadera son provocadas por el manejo del estiércol y deposición de orinas y heces de los bovinos en las praderas (Bathia *et al.*, 2004). Según el IPCC (2006), las emisiones directas de N₂O de las excreciones bovinas (heces y orina), equivalen al 2 % del N presente en las excretas y por la fertilización de pasturas (Bolan *et al.*, 2004), y en una menor escala por el manejo de los residuos (IPCC, 2006).

Se ha estimado que alrededor de 1.5 teragramos (1 teragramo equivale a 1 megatón y este a 1 000 000 t) de N son introducidos directamente a la atmósfera cada año bajo la forma de óxido nítrico, en donde las aplicaciones de fertilizantes a ecosistemas agrícolas (sin tener en cuenta abonos animales ni fijación biológica de nitrógeno) representa un 15.8 % de estas emisiones (IPCC, 2007). El N₂O es responsable por la reducción del ozono estratosférico (Phongpan & Mossier, 2003).

En las zonas de altura de los trópicos, la búsqueda de sistemas de producción más sostenibles tanto productiva como ambientalmente factibles se han convertido en una necesidad frente a los graves problemas de degradación de las pasturas, consolidándose los sistemas silvopastoriles (SSP) como alternativas viables a mediano y largo plazo (Naranjo *et al.*, 2012). Lo anterior, por la importancia que tienen en el mejoramiento de la calidad de los pastos y forrajes (Mahecha, 2002; Razz & Clavero, 2006), debido a un mayor reciclaje de nutrientes y mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y en la reducción de fertilizantes nitrogenados y de los flujos de GEI a la atmósfera (Murgueitio *et al.*, 2011; Naranjo *et al.*, 2012).

El Aliso (*A. acuminata* Kunth) es una especie que se viene implementando en Colombia con pasto kikuyo *Pennisetum clandestinum*, el cual es predominante en los sistemas ganaderos extensivos del trópico alto colombiano (Apráez & Moncayo, 2003), constituyéndose en un sistema silvopastoril de importancia (Murgueitio *et al.*, 2011). *A. acuminata* presenta en sus raíces una simbiosis tripartita con un actinomiceto del género *Frankia* y con especies de hongos micorrízicos (Becerra *et al.*, 2005), permitiendo que las plantas sean capaces de fijar N y absorber P, representando una ventaja también para el crecimiento de las pasturas (Beer, 1980).

Dentro de este contexto, y dada la importancia para el desarrollo de la ganadería sostenible en el trópico alto andino colombiano y en la minimización de GEI a la atmósfera, esta investigación tuvo

como objetivo evaluar el impacto del SSP de Aliso (*A. acuminata* Kunth) asociado con pasto kikuyo (*P. clandestinum* Hochst. ex Chiov) y diferentes dosis de N sobre la calidad forrajera del pasto kikuyo y los flujos de las emisiones de óxido nitroso N₂O a la atmósfera

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se realizó en una zona del altiplano de Pasto, vereda Obonuco, departamento de Nariño, Colombia. Ubicada en las coordenadas geográficas de latitud 1°12'52.48"N y longitud 77°16'41.22"O, a 2710 m de altitud, temperatura media de 12°C, precipitación promedio anual de 840 mm y una humedad relativa del 70 %.

El lugar de evaluación corresponde a una zona de vida Bs-pm (bosque seco premontano) (Holdridge, 1947); los suelos están clasificados como Vitric Haplustands originados de cenizas volcánicas, muy profundos a moderadamente profundos, desde bien a imperfectamente drenados y de fertilidad moderada a alta, pertenecen al grupo textural franco arcilloso y con pendiente de 10 % (IGAC, 2004).

Se utilizó una pradera establecida por más de 10 años con pasto kikuyo *P. clandestinum*.

Se evaluó un SSP extensivo de Aliso *A. acuminata* asociado con *P. clandestinum*, el cual no recibió fertilización de N con Urea, y se comparó con cinco niveles de fertilización nitrogenada a 0, 50, 100, 150 y 200 kg.N.ha⁻¹.año⁻¹. Los árboles del forestal estaban organizados dentro del lote como cerca viva, a una distancia de 3 m, y con una edad aproximada de ocho años. Se evaluaron tres periodos de corte (30, 45 y 60 días), la fertilización nitrogenada se realizó al voleo con fertilizante Urea (0-0-46).

Para el estudio se empleó un diseño de bloques completamente al azar con arreglo factorial 3 x 6, en parcelas divididas, asignando las parcelas principales al factor período de corte (factor A) y las subparcelas al factor B (tratamientos), con tres repeticiones, para un total de 18 tratamientos y 54

unidades experimentales en cada época. El modelo matemático corresponde a:

$$Y_{ijk} = \mu_{...} + \rho_{.k} + \alpha_i + \xi_{(\alpha)} + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \xi_{(\beta)}$$

$$i = 1, 2, \dots, a \quad j = 1, 2, \dots, b \quad k = 1, 2, \dots, r$$

Donde:

Y_{ijk} = valor en el k bloque en la parcela i y la subparcela j .

$\mu_{...}$ = valor constante similar a la media de la población.

α_i = efecto del i -ésimo nivel del factor A.

$x_{(a)}$ = error experimental de parcelas grandes.

β_j = efecto del j -ésimo nivel del factor B.

$(\alpha\beta)_{ij}$ = efecto de la interacción del i -ésimo nivel del factor A con el bloque j -ésimo nivel del factor B.

$x_{(b)}$ = error experimental de sub parcelas.

Hipótesis $H_o : \alpha_i = 0$ $H_o : \beta_j = 0$ $H_o : (\alpha\beta)_{ij} = 0$

$H_a : \alpha_i \neq 0$ $H_a : \beta_j \neq 0$ $H_a : (\alpha\beta)_{ij} \neq 0$

El área experimental fue una parcela de 14 m² (2 m x 7 m) y un área efectiva de corte de 9.75 m² (6.5 m x 1.5 m) correspondiendo a un borde de 0.25 entre parcela y 0.50 entre bloques, con separación entre parcelas de 2 m.

Mediante aforo, haciendo uso de un cuadro de 0.25 m por cada lado, se lanzó al azar tres veces en cada una de las parcelas y se estimó la biomasa de forraje verde FV, la cual se pesó, y fue expresada en t.ha⁻¹, luego se tomó una submuestra de 0.5 kg en bolsas de papel debidamente marcadas para análisis de tipo bromatológico (AOAC, 1975). Las muestras se secaron a 70°C en estufa de aire circulante por 72 horas y se determinó el contenido de materia seca, el cual en seguida se molió con un molino de martillo de criba de 1 mm. Para determinar las cantidades de N total de las muestras, se efectuó mediante el método de micro kjeldahl (AOAC, 1975). El N absorbido (kg.N.ha⁻¹.año⁻¹) en cada uno de los tratamientos se obtuvo a partir de los %PC.

Cálculo de los flujos de las emisiones de N₂O

Los flujos de las emisiones de N₂O correspondientes a estiércoles y manejo de residuos y fertilizantes se calcularon teniendo en cuenta las metodologías del IPCC (2006).

En el cálculo del flujo de las emisiones de N₂O, debido al manejo de los estiércoles, se consideró la ecuación 1 adaptada del IPCC (2006).

Consumo de N (kg.N.cab⁻¹.año⁻¹) = kg CMS x % PC / 100 / 6.25 ecuación 1.

Donde:

CMS = consumo de materia seca en kg.MS.día⁻¹.

%PC = porcentaje de proteína cruda, de los valores obtenidos en los análisis bromatológicos.

Para el cálculo de la cantidad de N excretado se aplicó la ecuación 2 adaptada del IPCC (2006).

Excreción de N (g.N.cab⁻¹.año⁻¹) = consumo de N (kg.N.cab⁻¹.año⁻¹) x % N retenido x 1000 ecuación 2.

Donde:

Consumo de N (kg.N.cab⁻¹.año⁻¹) = valor obtenido del cálculo en la ecuación 1.

%N retenido = 0.71 % N consumido.

Según Correa (2003), la fracción del consumo de N anual retenido por el animal es 0.71 en vacas lactantes, correspondiente a 0.40 en las heces y 0.31 retenido en las orinas, por lo cual, se asumió este valor. Para expresar los flujos de las emisiones en kg.N₂O.ha⁻¹.año⁻¹ se tuvo en cuenta la carga UGG ha⁻¹ (1 UGG=450 kg), en SSP extensivo se consideró 1.5 UGG ha⁻¹, en sistema extensivo de pastura degradada 0 kg.N.ha⁻¹.año⁻¹ 0.50 UGG.ha⁻¹, y para pasturas mejoradas 100, 150 y 200 kg.N.ha⁻¹.año⁻¹ 1.0 UGG.ha⁻¹ (Parra-Silva, 2015).

Para el cálculo del flujo de las emisiones de N₂O debido a residuos dejados por *P. clandestinum* en el SSP y las dosis de N, se consideraron las cantidades de N absorbido (kg.N.ha⁻¹.año⁻¹) a partir de los %PC obtenidos y las cantidades de

FV, considerando una fracción correspondiente a 0.1 % dejadas por residuos (IPCC, 2006). Se consideró un factor de emisión FE de 1.25 kg de N emitido kg de N⁻¹ en los residuos como fracción de N perdido durante el proceso de nitrificación y un FE de 0.01 kg de N emitido kg de N⁻¹ en los residuos como fracción de N en los residuos que se volatiliza como NH₃ y NO_x (IPCC, 2006).

Los mismos FE fueron utilizados para calcular los flujos de las emisiones de óxido nitroso debido a fertilizantes, para lo cual se consideraron las dosis de N aplicado en cada uno de los tratamientos. Se tuvo en cuenta un factor de conversión de 44/28 para pasar de N a N₂O (IPCC, 2006). Las emisiones evitadas por flujos de óxido nitroso debidas a fijación simbiótica de N de *A. acuminata* fueron calculadas a partir de la cantidad de N fijado por el cultivo (IPCC, 2006), considerando 180 kg.N.ha⁻¹.año⁻¹ (Caru et al., 2000).

Las emisiones de N₂O se expresaron en kg.CO₂e.ha⁻¹, teniendo en cuenta un potencial de calentamiento global (PCG) de 310 (IPCC, 2006).

Los resultados de las variables por efecto de los tratamientos se sometieron a un análisis de varianza y cuando se presentaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos y la interacción se realizó la prueba de comparación de medias con el test de Tukey (p< 0.05) utilizando el paquete estadístico *Statistical Analysis System-SAS versión 9.0* (2002).

RESULTADOS

Forraje verde (FV) y materia seca (MS) de *P. clandestinum*

En el SSP se determinó que *P. clandestinum* produjo una cantidad similar de FV a la obtenida con 100 kg.N.ha⁻¹.año⁻¹ (P>0.05) (tabla 1) y fue mayor a las obtenidas con 0 y 50 kg.N.ha⁻¹.año⁻¹, que fueron iguales (P>0.05). Con 100, 150 y 200 kg.N.ha⁻¹.año⁻¹ se obtuvieron los valores más altos de MS, con 200 kg.N.ha⁻¹.año⁻¹ se obtuvo más alto FV (P<0.05) (tabla 1).

Tabla 1. Producción y calidad del pasto *P. clandestinum* por efecto del impacto de *A. acuminata* en SSP, dosis de N y edades de corte.

Corte (días)	SSP	0	50	100	150	200	Media
	kg.N.ha ⁻¹ .año						
Forraje verde FV t.ha⁻¹							
30	15	8	9	16.75	18	21.50	14.71B
45	23.60	8.12	14	24.90	29.50	32.00	22.67A
60	14	8.10	9.87	15.85	21.30	20.60	14.94B
Medias ¹	17.53c	19.37f	10.96d	19.17c	22.93b	24.70a	
Materia seca MS t.ha⁻¹							
30	3.2	1.97	2.53	3.57	3.53	4	3.13C
45	4.47	3	3.23	3.93	5.10	5.65	4.23A
60	4.03	2.17	2.47	4.47	4.47	5.03	3.61B
Medias	3.90c	2.38d	2.74d	4.37b	4.37b	4.89a	
Proteína cruda PC (%)							
30	15.13	7.93	9	18.85	19.50	19.75	15.03A
45	10.63	8.75	9.97	14.07	13.53	10.63	11.91B
60	11.25	12.47	12.50	11.90	11.33	11.25	11.92B
Medias	12.34b	9.72c	10.49c	14.94a	14.79a	15.45a	

¹Valores con distinta letra presentan diferencias estadísticas altamente significativas, prueba de Tukey P<0.05. Letras mayúsculas corresponde a los periodos de corte y letras minúsculas a los niveles de fertilización y el SSP.

En el SSP se obtuvo que la MS de *P. clandestinum* fue mayor a 0 y 50 kg.N.ha⁻¹.año⁻¹ (P<0.05) (tabla 1), sin embargo, entre 0 y 50 kg.N.ha⁻¹.año⁻¹ no hubo diferencias (P>0.05); 100 y 150 kg.N.ha⁻¹.año⁻¹ superó en MS al SSP, 0 y 50 kg.N.ha⁻¹.año⁻¹ (P<0.05). En la tabla 1 se observa que las dosis crecientes de N incrementaron la MS, con 200 kg.N.ha⁻¹.año⁻¹ se logró el valor más alto (P<0.05). A los 45 días se obtuvo la mayor cantidad de FV como de MS, sin diferencias a los 30 y 60 días para FV y mayor a los 60 que a los 30 días para MS (P<0.05).

Proteína cruda

El % PC de *P. clandestinum* aumentó a medida que el N incrementó de los 100 a 200 kg.N.ha⁻¹.año⁻¹, 14.79, 14.94 y 15.45 %, sin diferencias entre sí (P>0.05) (tabla 1). En el SSP *P. clandestinum* superó en %PC (12.34 %) a 0 y 50 kg.N.ha⁻¹.año⁻¹ (10.49 y 9.72 %) (P<0.05) (tabla 1), a su vez estos no mostraron diferencias (P>0.05). En la tabla 1 se

observa que mayor %PC se presentó a los 30 que a los 45 y 60 días (P<0.05).

N absorbido por el pasto kikuyo

En la figura 1 se observa que la cantidad de N absorbido por *P. clandestinum* en el SSP superó a 0 y 50 kg.N.ha⁻¹.año⁻¹ a los 30, 45 y 60 días (P<0.05), presentando un CV de 3 %, más bajo con respecto a las medias de las otras dosis de N, esto indica que la incorporación constante del N al suelo se mantuvo, aumentando la calidad de la pastura en el tiempo. También se observa que con 200 kg.N.ha⁻¹.año⁻¹ el N absorbido de *P. clandestinum* fue más alto comparado con las otras dosis de N y el SSP en todas las épocas de corte. Se determinó que no hubo una relación directamente proporcional entre los incrementos de N con el N absorbido por *P. clandestinum* y las épocas de corte, influyendo en la variabilidad de los datos estimados (figura 1).

Simulación de los flujos de las emisiones de N_2O a la atmósfera

Los flujos de las emisiones parciales y totales de N_2O en $kg.CO_2eq.ha^{-1}.año^{-1}$ aumentaron con los incrementos de N (figura 2). Los flujos de las emisiones totales fueron mayores con 200 $kg.N.ha^{-1}.año^{-1}$ (2154.5 $kg.CO_2eq.ha^{-1}.año^{-1}$) y menores

con 0 $kg.N.ha^{-1}.año^{-1}$ (311.86 $kg.CO_2eq.ha^{-1}.año^{-1}$) ($P<0.05$). La diferencia en los flujos de las emisiones de N_2O entre el SSP y 200 $kg.N.ha^{-1}.año^{-1}$ indican reducciones en cerca de 1605.97 $kg.CO_2eq.ha^{-1}.año^{-1}$ a la atmósfera. El SSP generó flujos de emisiones de N_2O a la atmósfera similares a los de 50 $kg.N.ha^{-1}.año^{-1}$ ($P>0.05$) (figura 2).

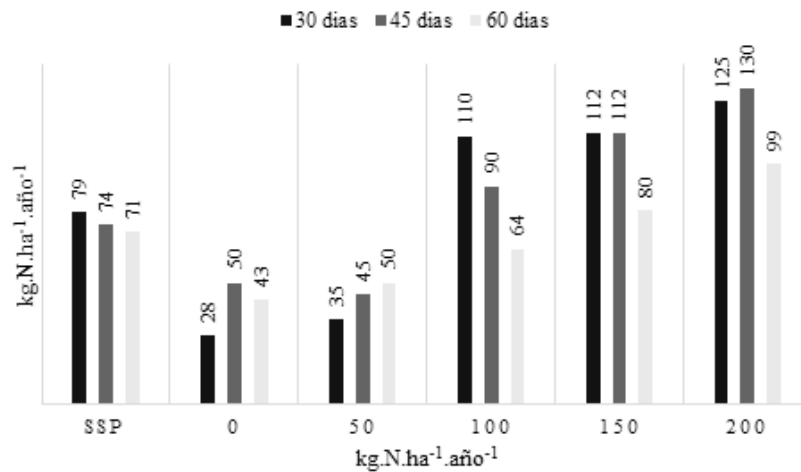


Figura 1. N absorbido de *P. clandestinum* por efecto del impacto de *A. acuminata*, dosis de N y épocas de corte. Medias y CV %: SSP (74.6 $kg.N.ha^{-1}.año^{-1}$ y 3 %), 0 (40.3 $kg.N.ha^{-1}.año^{-1}$ y 26 %), 50 (43.3 $kg.N.ha^{-1}.año^{-1}$ y 21 %), 100 (88.0 $kg.N.ha^{-1}.año^{-1}$ y 24 %), 150 (101.3 $kg.N.ha^{-1}.año^{-1}$ y 17 %), 200 (118.0 $kg.N.ha^{-1}.año^{-1}$ y 16 %).

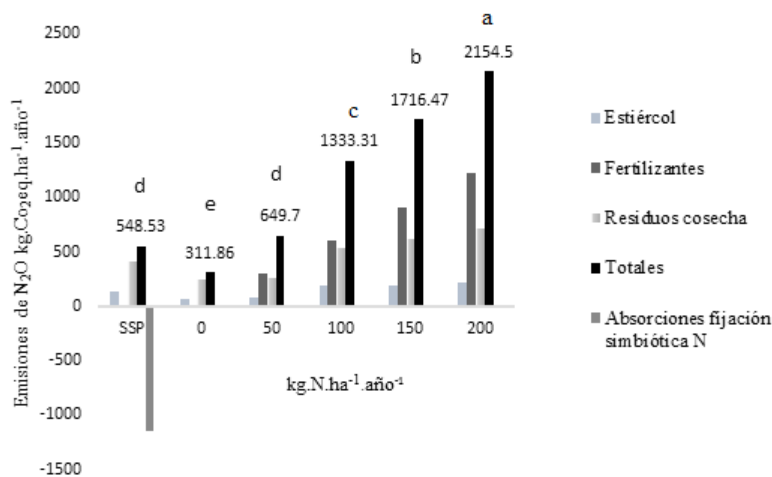


Figura 2. Flujos de las emisiones de N_2O a la atmósfera por efecto del impacto de Aliso *A. acuminata* en SSP con pasto kikuyo *P. clandestinum* y dosis de N. Valores con distinta letra presentan diferencias estadísticas altamente significativas, prueba de Tukey $P<0.05$.

DISCUSIÓN

Se presentó influencia positiva del SSP en la producción de FV del pasto *P. clandestinum* que superó a 0 y 50 kg.N.ha⁻¹.año, más alto al encontrado por Builes & Gómez (2004), en pasto kikuyo *P. clandestinum* en arreglo silvopastoril con Aliso *A. acuminata*, con una producción de FV de 5.41 t.ha⁻¹corte⁻¹.

La respuesta positiva de aumentos de FV de *P. clandestinum* asociado con *A. acuminata* puede ser explicada por lo expuesto por Molina et al. (2008), el FV del pasto presentó una alta correlación ($r=0.83$) con el crecimiento en altura de *A. acuminata* de 2.5 años de edad con una densidad de 1200 árboles ha⁻¹, debido a una alta fijación de N fijado (188 kg.N.ha⁻¹), ya que las raíces de Aliso hacen simbiosis radical con actinomicetos del género *Frankia* (Caru et al., 2000).

A mayores dosis de N la tendencia fue a aumentos en la cantidad de FV. Según Mejía et al. (2014), los incrementos de N hasta 50 kg.N.ha⁻¹.año con fertilizante sólido, incrementaron la producción de FV de *P. clandestinum* hasta 9.59 t.FV.ha⁻¹.corte⁻¹, y superó al testigo en 167 % (3.65 t.FV.ha⁻¹.corte⁻¹), valores que fueron inferiores a los reportados con esta misma dosis.

Se comprobó el efecto positivo de las dosis crecientes de N en los aumentos de MS de *P. clandestinum*. Al respecto, Mejía et al. (2014) reportaron que la producción de MS incremento con cada 10 kg.N.ha⁻¹ adicionado tanto en fertilizante sólido como líquido, con la dosis más alta de 50 kg.N.ha⁻¹ se alcanzaron valores de 1.91 y 1.63 t.MS.ha⁻¹ respectivamente, inferiores a los reportados en este estudio con la misma dosis y a los de Lotero (1995). Apréiz & Moncayo (2003) reportaron que el tratamiento sin fertilizante produjo 21 % de MS, mientras que el tratamiento con fertilizante 15.2 %.

En el SSP la producción de MS superó a las dosis de 0 y 50 kg.N.ha⁻¹.año⁻¹. De igual forma, Builes & Gómez (2004) y Reis et al. (2009), mencionan

un mejoramiento en la calidad de *P. clandestinum* cuando estuvo asociados con árboles, debido a más bajo contenido en fibra y a mayor contenido en proteína cruda (Beer, 1980).

A diferencia de los estudios realizados por Gualdrón & Padilla (2008) y Insuasty et al. (2011) quienes encontraron que la producción de MS de *P. clandestinum* fue más alta sin la influencia de *A. acuminata*.

El %PC se redujo con la edad del pasto *P. clandestinum*. De manera similar, Naranjo (2002) encontró que el %PC de *P. clandestinum* se redujo al recolectar muestras de pasto cada 7 días entre los 21 y 63 días después del rebrote; debido a que la acumulación de N en los órganos vegetativos es alta durante las primeras etapas de crecimiento de los cultivos y disminuye con la senescencia (Reeves et al., 1996; Soto et al., 2005).

El N absorbido por *P. clandestinum* fue más alto con la influencia de *A. acuminata* en el SSP comparado con 0 y 50 kg.N.ha⁻¹.año⁻¹, debido a que una característica de los árboles fijadores de nitrógeno (AFN) es la de fijar nitrógeno (N) atmosférico en sus nódulos radicales y, a través del metabolismo, almacenarlo en su componente forrajero (hojas, peciolas, tallos tiernos y frutos) en forma de proteína cruda (N x 6.25), cuyo contenido varía entre 10 a 35 %. Se incluyen especies como *Alnus*, que sin ser leguminosas, fijan nitrógeno atmosférico (Read et al., 1976; Beer, 1980).

Los mayores aportes a los flujos de las emisiones totales de N_2O fueron debidos a fertilizantes nitrogenados, que aumentaron conforme se incrementaron las dosis de N (figura 2). Según Tarre et al. (2001) los fertilizantes nitrogenados son los mayores causantes de aumentos en los flujos de las emisiones debidas a N_2O . La nitrificación y desnitrificación son los principales procesos responsables por las emisiones del suelo (IPCC, 2006).

Naranjo et al. (2012) para pasturas mejoradas PM y 200 kg.N.ha⁻¹.año⁻¹ reportaron flujos de emisiones totales de 876.9 kg.CO₂eq.ha⁻¹.año⁻¹. En

ambos estudios, en los SSP no se reportaron flujos de emisiones de N₂O por el uso de fertilizantes nitrogenados. Los SSP minimizan el uso de fertilizantes en las pasturas (Smith *et al.*, 2008).

El SSP en este estudio generó flujos de emisiones evitadas de N₂O (absorciones de CO₂) por el proceso de fijación simbiótica de N correspondiente a -1141.78 kg.CO₂eq.ha⁻¹.año⁻¹ (figura 2). Tarre *et al.* (2001) mencionan que los SSP tienen la propiedad de neutralizar los flujos de las emisiones de GEI a la atmósfera.

Van Kernebeek & Gerber (2008) contabilizaron 13420 kg.CO₂eq.ha⁻¹.año⁻¹ debido a flujos totales de N₂O, derivadas del manejo de estiércoles, fertilización nitrogenada, residuos de cosecha y de cultivos fijadores de nitrógeno en una explotación ganadera en la India, mayores a los simulados en este estudio con 200 kg.N.ha⁻¹.año⁻¹, 2154.5 kg.CO₂eq.ha⁻¹.año⁻¹ (figura 2). Según Naranjo *et al.*, (2012), conforme se aumentó la carga animal (UGG ha⁻¹) de sistemas extensivos de praderas degradadas a sistemas silvopastoriles intensivos SSPi, los flujos de las emisiones de N₂O debidas a heces y orinas también aumentaron pasando de 355.2 a 1230 kg.CO₂eq.ha⁻¹.año⁻¹. Según Parra-Silva (2015), los flujos de las emisiones totales en sistemas ganaderos de una zona andina de Nariño, se vieron influenciados por la carga animal por hectárea.

De acuerdo con el IPCC (2006), las actividades agropecuarias tienen gran influencia en las emisiones de N₂O para la atmósfera, mencionan que el total de N excretado por Unidad Animal (UA) en Suramérica, se estima en 162 g.N.día⁻¹, valor más bajo al obtenido con 200 kg.N.ha⁻¹.año⁻¹ (235.01 g.N.día⁻¹). Los estudios de De Klein & Eckard (2008) confirman que con la adición de taninos en la dieta de los bovinos se mejora la retención de N por el animal y se pueden reducir las emisiones de N₂O en los estiércoles. El *A. acuminata* es muy rico en taninos (hasta en un 20 %).

En los últimos 250 años la concentración de N₂O ha aumentado cerca de 16 %, de 270 para

320 ppbv (partes por billón en volumen), o a una tasa de 0.8 ppbv.año⁻¹ (IPCC, 2007). Los aumentos en las emisiones de N₂O por el uso de N en fertilizantes, para sustentar una mayor carga animal de bovinos pueden ser compensadas por grandes cantidades de carbono atmosférico fijado en el suelo por los SSP y/o en los procesos de fijación simbiótica de N, que se consolidan como probables alternativas de producción ganadera mitigadoras de efecto invernadero (Soussana *et al.*, 2010).

CONCLUSIONES

Se pudo establecer que en el SSP la incorporación de *Aliso A. acuminata* mejora la calidad y el N absorbido del pasto *P. clandestinum* comparado con 0 y 50 kg.N.ha⁻¹.año, pudiendo sustituir en parte la fertilización con 100 kg.N.ha⁻¹.año.

El SSP tiene la capacidad de mitigación de GEI (absorciones-flujos GEI) de 593.25 kg.CO₂eq.ha⁻¹.año⁻¹ a la atmósfera, debido a la fijación simbiótica de N, enfrentando así de mejor manera los efectos negativos del cambio climático global.

Se recomienda el sistema silvopastoril de *A. acuminata* y pasto kikuyo *P. clandestinum* para las zonas ganaderas del trópico alto de Colombia, como una alternativa de producción importante que minimiza el uso de fertilizantes nitrogenados y las emisiones de GEI a la atmósfera sin alterar la calidad del pasto kikuyo.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN POR AUTOR

El autor único es responsable de la obra en todos los aspectos que condujeron a la elaboración de su publicación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Association of Official Agricultural Chemists (AOAC).** (1975). Official Methods of Analysis. 12th ed. Washington, D.C.: Association of Analytical Chemists International.
- Apráez, E., & Moncayo, O.** (2003). Caracterización agronómica y bromatológica de una pradera de kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst) sometida a rehabilitación mediante labranza y fertilización orgánica y/o mineral. *LEAD*, 10, 25-35.
- Becerra, A., Zak, M.R., Horton, T., & Micolini, J.** (2005). Ectomycorrhizal and arbuscular mycorrhizal colonization of *Alnus acuminata* from Calilegua National Park (Argentina). *Mycorrhiza*, 15, 525-531. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00572-005-0360-7>
- Beer, J.** (1980). *Alnus acuminata* con pasto. En *Curso sobre técnicas agroforestales para el trópico húmedo*. Catie: Turrialba, Costa Rica. 6 p.
- Bhatia, A., Pathak, H., & Aggarwal, P.K.** (2004). Inventory of methane and nitrous oxide emissions from agricultural soils of India and their global warming potential. *Current Science*, 87(3), 317-324.
- Bolan, N.S., Saggarr, S., Luo, J., Bhandral, R., & Singh, J.** (2004). Gaseous emissions of nitrogen from grazed pastures: processes, measurements and modelling, environmental implications, and mitigation. *Advances in Agronomy*, 84, 37-120. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(04\)84002-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(04)84002-1)
- Builes, A., & Gómez, M.** (2004). Evaluación de la producción y calidad de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) asociado con árboles de aliso (*Alnus acuminata*) en bmh-MB (Trabajo de pregrado). Medellín. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- Caru, M., Becerra, A., Sepúlveda, D., & Cabello, A.** (2000). Isolation of infective and effective Frankia strains from root nodules of *Alnus acuminata* (Betulaceae). *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 16, 647-651. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1008929520571>
- Correa, H.J.** (2003). Simulación del metabolismo del nitrógeno en vacas lactantes. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 16(3), 220-227.
- De Klein, C.A.M., & Eckard, R.J.** (2008). Targeted technologies for nitrous oxide abatement from animal agriculture. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 48, 14-20. DOI: <https://doi.org/10.1071/EA07217>
- Gualdron, E., & Padilla, C.** (2008). Producción y calidad de leche en vacas Holstein en dos arreglos silvopastoriles de acacia y aliso asociadas con pasto kikuyo. *Revista de Zootecnia*, 1, 63-76.
- Hansen, M. C., Stehman, S. V., & Potapov, P. V.** (2010). Quantification of global gross forest cover loss. *Proceedings of the National Academy of Sciences of The United States of America*, 107, 8650-8655. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.0912668107>
- Holdridge, L.** (1947). Determination of world plant formations from simple climatic data. *Science*, 105, 367-368. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.105.2727.367>
- Insuasty, E., Apraéz, J.E., & Navia, J.F.** (2011). Efecto del arreglo silvopastoril aliso (*Alnus Acuminata* K.) y kikuyo (*Pennisetum clandestinum* H.) sobre el comportamiento productivo en novillas Holstein en el Altiplano del departamento de Nariño. *Agroforesteria Neotropical*, 1(1), 29-36.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).** (2004). Estudio general de suelos y zonificación de tierras. Departamento de Nariño. Bogotá: IGAC. CD-ROM.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).** (2006). Agriculture, Forestry and Other Land Use. En H.S. Eggleston, L. Buendía, L.K. Miwa, T. Ngara & K. Tanabe (eds). Hayama, *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Japón: The Intergovernmental Panel on Climate Change. Institute for Global Environmental Strategies (Iges). 595p.
- IPCC.** (2007). *The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Lotero, J.** (1995). Fertilización de pastos. En: Vallejo, G., & Osorio, W. (eds) Seminario sobre fertilización de cultivos. Medellín: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo (SCSC). 1-17 p.

- Mahecha, L.** (2002). El silvopastoreo: una alternativa de producción que disminuye el impacto ambiental de la ganadería bovina. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 15(2), 226-231.
- Mejía-Taborda, A.C., Ochoa-Ochoa, R., & Medina-Sierra, M.** (2014). Efecto de diferentes dosis de fertilizante compuesto en la calidad del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst. Ex Chiov.). *Pastos y Forrajes*, 37(1), 31-37.
- Molina, M., Medina, M., & Mahecha, L.** (2008). Microorganismos y micronutrientes en el crecimiento y desarrollo del Aliso (*Alnus acuminata* H.B.K.) en un sistema silvopastoril alto andino. *Livestock Research for Rural Development*, 20(54).
- Murgueitio, E., Calle, Z., Uribe, F., Calle, A., & Solorio, B.** (2011). Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Forest Ecology and Management*, 10, 1654-1663. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.09.027>
- Naranjo, H.** (2002). Evaluación nutricional del pasto kikuyo a diferentes edades de corte. *Despertar Lechero*, 20, 150-167.
- Naranjo, J.F., Cuartas, C.A., Murgueitio, E., Chará, J., & Barahona, R.** (2012). Balance de gases de efecto invernadero en sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala* en Colombia. *Livestock Research for Rural Development*, 24 (150).
- Parra-Silva, A.** (2015). Greenhouse gas balance in the conversion from extensive pasture to other agricultural systems in Andean region of Colombia (Tesis de PhD). Jaboticabal, Brasil: UNESP, Department of Exacts Sciences. 49 p.
- Phongpan, S., & Mosier, A.R.** (2003). Effect of crop residue management on nitrogen dynamics and balance in a lowland rice cropping system. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 66, 133-142. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1024475229663>
- Pattey, E., Trzcinski, M., & Desjardins, R.** (2005). Quantifying the reduction of greenhouse gas emissions as a result of composting dairy and beef cattle manure. *Nutrient cycling in Agroecosystems*, 72, 173-187. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10705-005-1268-5>
- Razz, R., & Clavero, T.** (2006). *Cambios en las características químicas de suelos en un banco de Leucaena leucocephala* y en un monocultivo de *Brachiaria brizantha*. *Revista de la Facultad de Agronomía LUZ*, 23, 326-331.
- Read, D. J., Kouček, H.K., & Hodgson, J.** (1976). Vesicular-arbuscular mycorrhiza in natural vegetation systems. I. The occurrence of infection. *New Phytologist*, 77, 641-653. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1976.tb04657.x>
- Reeves, M., Fulkerson, W.J., & Kellaway, R.C.** (1996). Forage quality of kikuyu (*Pennisetum clandestinum*): the effect of time of defoliation and nitrogen fertiliser application and in comparison with perennial ryegrass (*Lolium perenne*) Australian. *Journal of Agricultural Research*, 47(8), 1349-1359. DOI: <https://doi.org/10.1071/AR9961349>
- Reis, G., Lana, Â., Mauricio, R., Lana, R., Machado, R., Borges, I., & Neto, T.** (2009). Influence of trees on soil nutrient pools in a silvopastoral system in the Brazilian Savannah. *Plant and Soil*, 329, 185-193. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0144-5>
- SAS Institute Inc.** (2002). SAS User's Guide: SAS STAT Version 9. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Smith, P., Martino, D., Zucong, C., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., Mccarl, B., Ogle, S., O'mara, F., Rice, C., Scholes, B., Sirotenko, O., Howden, M., Mcallister, T., Pan, G., Romanenkov, V., Schneider, U., Towpra-Yoon, S., Wattenbach, M., & Smith, J.** (2008). Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological*, 363, 789-813. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2184>
- Soto, C., Valencia, A., Galvis, R.D., & Correa, H.J.** (2005). Efecto de la edad de corte y del nivel de fertilización nitrogenada sobre el valor energético y proteico del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 18(1), 17-26.
- Soussana, J.F., Tallec, T., & Blanfort, V.** (2010). Mitigating the greenhouse gas balance of ruminant production systems through carbon sequestration in grasslands. *Animal*, 4, 334-350. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731109990784>
- Staley, T., Gonzalez, J., & Neel, J.** (2008). Conversion of deciduous forest to silvopasture produces soil

properties indicative of rapid transition to improved pasture. *Agroforestry Systems*, 74, 267-277. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-008-9139-0>

Tarre, R., Macedo, R., Cantarutti, R.de. P., Rezend, C., Pereira, J., Ferreira, E., Alves, B., Urquiaga, S., & Boddey, R. (2001). The effect of the presence of a forage legume on nitrogen and carbon levels in soils under *Brachiaria* pastures in the Atlantic forest region of the South of Bahia, Brazil. *Plant and Soil*, 234, 15-26. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1010533721740>

Teitzel, J.K., Gilbert, M.A., & Cowan, R.T. (1991). Sustaining productive pastures in the tropics. Nitrogen

fertilized grass pastures. *Tropical Grasslands*, 25, 111-118.

Van-Kernebeek, H., & Gerber, P. (2008). Environmental life cycle analysis of milk production in Ropar, India. India: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 34 p.

Zapata, B.G., Bautista, Z.F., & Asfier, C.M. (2009). Caracterización forrajera de un sistema silvopastoril de vegetación secundaria con base en la aptitud de suelo. *Técnica Pecuaria en México*, 47(3), 257-270.

