

RETORNO POTENCIAL DE NUTRIENTES VÍA HOJARASCA FOLIAR EN SISTEMAS SILVOPASTORILES EN EL NORTE DE COLOMBIA*

Judith Martínez-Atencia^{1/**}, Nelson Osorio-Vega², Juan León-Peláez³, Yasmín Cajas-Girón⁴, José Contreras-Santos⁵, Emel Berrío-Guzmán⁶

Palabras clave: Sistemas silvopastoriles; ciclaje de nutrientes; hojarasca foliar; especies arbóreas; pradera.

Keywords: Silvopastoral systems; nutrient cycling; leaf litter; tree species; grassland.

Recibido: 16/03/22

Aceptado: 08/07/22

RESUMEN

Introducción. Los sistemas ganaderos del Caribe Colombiano presentan problemas de degradación de suelo, lo que afecta la productividad y calidad de las gramíneas. Los sistemas silvopastoriles son alternativas para el manejo sostenible del suelo, ya que contribuyen con el ciclaje de nutrientes a través de la hojarasca de las especies vegetales que los conforman. **Objetivo.** Cuantificar el retorno potencial de nutrientes a través de la hojarasca foliar de especies vegetales, en 3 sistemas silvopastoriles de 13 años y en una pradera de solo gramíneas, bajo condiciones de bosque seco en el norte de Colombia. **Materiales y métodos.** Se estimó la cantidad anual

de nutrientes en la hojarasca foliar de diferentes especies vegetales en sistemas silvopastoriles y en una pastura de solo gramíneas, con trampas de hojarasca instaladas en el área de influencia de cada especie vegetal. **Resultados.** Las especies arbóreas en los sistemas silvopastoriles generaron mayor cantidad de hojarasca foliar y nutrientes que la pastura de solo gramíneas. *Albizia saman* presentó los mayores valores de producción de hojarasca foliar y retorno de nitrógeno y fósforo dentro de los sistemas silvopastoriles, con respecto a las otras especies. **Conclusión.** La producción de hojarasca de las diferentes especies fue independiente del sistema silvopastoril en el cual se encontraban, y el retorno potencial de nutrientes vía hojarasca foliar de las especies arbóreas en los sistemas

* Proyecto de investigación financiado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Agrosavia.

** Autora para correspondencia. Correo electrónico: jmartinez@agrosavia.co

1 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Agrosavia, C.I Turipaná, Colombia.  0000-0003-0492-2486.

2 Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Biociencias, Medellín – Antioquia, Colombia.  0000-0002-0654-1399.

3 Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Ciencias Forestales, Medellín – Antioquia, Colombia.

 0000-0002-3442-7649.

4 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Agrosavia, Colombia  0000-0002-8740-9567.

5 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Agrosavia, C.I Turipaná, Colombia.  0000-0002-8179-3430.

6 Corporación Colombiana de investigación Agropecuaria - Agrosavia, C.I Turipaná, Colombia.  0000-0002-1195-9220.

silvopastoriles fue superior a la registrada en la gramínea de la pradera sin árboles.

ABSTRACT

Potential return of nutrients by leaf litter in silvopastoral systems in Northern Colombia. Introduction. Livestock systems in the Colombian Caribbean present soil degradation problems, which decreases productivity and quality of grasses. Silvopastoral systems are alternatives for sustainable soil management, since they contribute to nutrient cycling through litter of plant species that comprise them. **Objective.** To quantify the potential return of nutrients through leaf litter of plant species, in three thirteen-year silvopastoral systems and in a grass-only pasture, under dry forest conditions

in Northern Colombia. **Materials and methods.** Annual amount of nutrients in foliar litter of different plant species was estimated in three silvopastoral systems and in a grass-only pasture, by the use of litter traps installed in the area of influence of each plant species. **Results.** Tree species in the silvopastoral systems generated a greater amount of foliar litter and nutrients than the grass-only pasture. *Albizia saman* presented the highest values of foliar litter production and nitrogen and phosphorus return within the silvopastoral systems, with respect to the other species. **Conclusion.** Litter production of the different species was independent of the silvopastoral system in which they were found, and the potential return of nutrients through foliar litter of tree species in silvopastoral systems was higher than that recorded in the grass-only pasture.

INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de alimentos ha conllevado a la transformación de ambientes boscosos en tierras de cultivo y pastoreo, mediante la modificación de los ecosistemas, la biodiversidad, agua, suelo y ambiente; en este sentido, los sistemas ganaderos tropicales basan su productividad en grandes extensiones de tierra asociadas a gramíneas nativas poco productivas sin árboles y alta carga animal (sobrepastoreo), asociado a procesos degradativos de suelo (Mora *et al.* 2017). En Colombia el 13,3% del área total del país presenta suelos con vocación ganadera (15 Mha), de las cuales el 33,9% tienen procesos degradativos asociados al cambio en el uso del suelo, sobrepastoreo y mal manejo (IDEAM-UDCA 2015). Sumado a esto, la región Caribe Colombiana presenta alta vulnerabilidad asociada a eventos climáticos extremos como inundaciones, sequías y deslizamientos, con la consecuente disminución en el reciclaje de nutrientes por la escasa producción de hojarasca en las praderas, que conlleva a

baja disponibilidad y calidad de forrajes para los bovinos. El retorno potencial de nutrientes vía hojarasca foliar es uno de los eslabones más importante en los ciclos biogeoquímicos, en el mejoramiento de la fertilidad del suelo, mediante la redistribución de los nutrientes extraídos por las raíces, desde capas profundas del suelo (Pau-del *et al.* 2015, Del Valle-Arango 2003).

Los sistemas silvopastoriles y/o agroforestales representan alternativas que permiten mejorar el sistema productivo ganadero en la región caribe y ofrecen mayor disponibilidad de forraje en épocas críticas, lo que reduce los procesos degradativos del suelo, agua y aire, además del aporte de servicios ecosistémicos y adaptabilidad a los efectos del cambio climático actual (Martínez-Atencia *et al.* 2020, Contreras *et al.* 2019). El objetivo de esta investigación fue cuantificar el retorno potencial de nutrientes a través de la hojarasca foliar de especies vegetales que componen 3 sistemas silvopastoriles de 13 años y una pradera de solo gramíneas, bajo condiciones de bosque seco en el norte de Colombia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se desarrolló, durante el 2013, en el Centro de Investigación-CI Turipaná de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA, localizado en Cereté, Córdoba, Colombia (8°51' N, 75°49' W, Altitud 18 m), ubicado en la parte media de la cuenca del río Sinú con presencia de sedimentos

finos y condición natural imperfectamente drenado. Según la clasificación de Holdridge (2000), el área de estudio corresponde a la zona de vida bosque seco tropical, con temperatura media anual de 28°C, humedad relativa de 81% y precipitación anual de 1380 mm; con un periodo seco de diciembre a abril y otro lluvioso de mayo a noviembre (Figura 1).

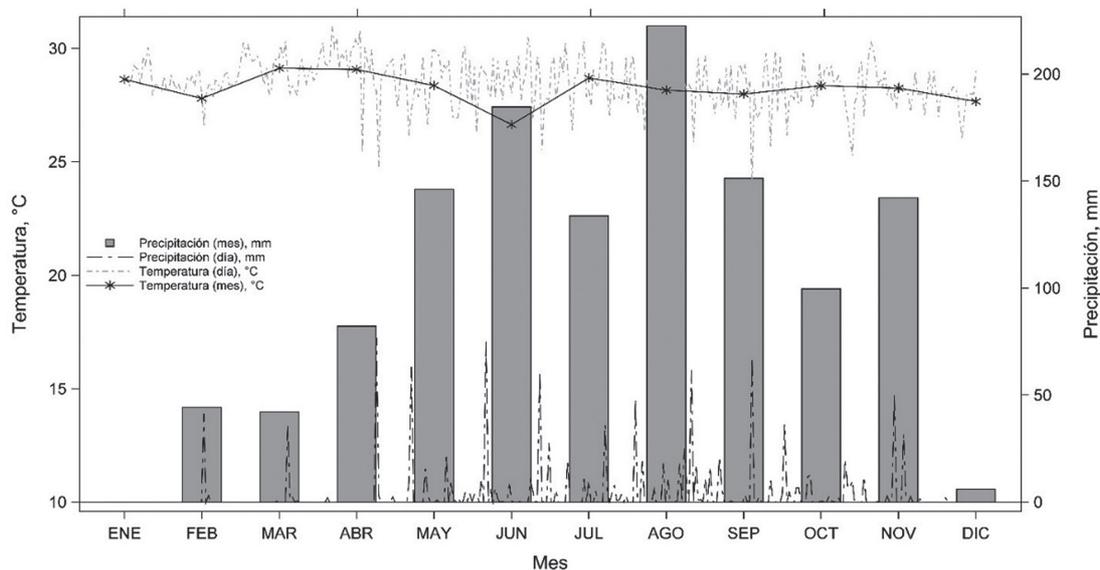


Figura 1. Variación de temperatura y precipitación durante el periodo de estudio. Estación meteorológica CI Turipaná.

Este estudio se realizó en el área de sistemas silvopastoriles de estratos múltiples establecidos en 1998 (Cajas y Sinclair 2001), bajo un diseño de bloques completos al azar, con 3 repeticiones; cada unidad experimental con un área de 2 ha, para un total de 24 ha en todo el

experimento (Figura 2). Los tratamientos consistieron en 3 sistemas silvopastoriles (SSP₁, SSP₂ y SSP₃) de diferente complejidad estructural y diversidad vegetal y una pastura de gramíneas, utilizada como control, tal como se describe a continuación:

	SSP₃ <i>D. aristataum+P. maximum+G. ulmifolia+C. grandis+A. saman+L. leucocephala+C. kujete+P. quinata+S. macrophylla</i>	p. control <i>D. aristataum+P. maximum</i>	SSP₁ <i>D. aristataum+P. maximum+G. ulmifolia+C. grandis+A. saman</i>
Repetición II			
SSP₁ <i>D. aristataum+P. maximum+G. ulmifolia+C. grandis+A. saman</i>	SSP₂ <i>D. aristataum+P. maximum+G. ulmifolia+C. grandis+A. saman+L. leucocephala+C. kujete</i>	SSP₃ <i>D. aristataum+P. maximum+G. ulmifolia+C. grandis+A. saman+L. leucocephala+C. kujete+P. quinata+S. macrophylla</i>	SSP₂ <i>D. aristataum+P. maximum+G. ulmifolia+C. grandis+A. saman+L. leucocephala+C. kujete</i>
SSP₃ <i>D. aristataum+P. maximum+G. ulmifolia+C. grandis+A. saman+L. leucocephala+C. kujete+P. quinata+S. macrophylla</i>		SSP₂ <i>D. aristataum+P. maximum+G. ulmifolia+C. grandis+A. saman+L. leucocephala+C. kujete</i>	Repetición I
p. control <i>D. aristataum+P. maximum</i>	SSP₁ <i>D. aristataum+P. maximum+G. ulmifolia+C. grandis+A. saman</i>		p. control <i>D. aristataum+P. maximum</i>
Repetición III			

Figura 2. Plano de campo con diseño experimental.

Pastura control (p. control). Pradera combinada con las gramíneas *Dichanthium aristatum* y *Panicum maximum*.

SSP₁. Tratamiento con las gramíneas *D. aristatum* y *P. maximum* asociadas con árboles de *Guazuma ulmifolia*, *Cassia grandis* y *Albizia saman*. Árboles establecidos a 16 m x 16 m.

SSP₂. Tratamiento que contiene lo descrito en SSP₁ más la inclusión de arbustos forrajeros *Leucaena leucocephala* y *Crescentia kujete*, establecidos a 4 m x 4 m.

SSP₃. Tratamiento que combina el SSP₂ con las especies maderables *Pachira quinata* y *Swietenia macrophylla*, establecidos a 16 x 16 m.

Las características dasométricas de los árboles que conforman los sistemas silvopastoriles se describen en la Tabla 1. De igual manera, en la Tabla 2 se muestran las características químicas del suelo asociado a cada especie vegetal dentro de los sistemas evaluados.

Tabla 1. Parámetros de crecimiento de las especies arbóreas dentro de los sistemas silvopastoriles. Los valores corresponden a promedios \pm desviación estándar entre valores de una misma especie en diferente tratamiento silvopastoril.

Tratamiento	Especie	Arboles/ha*	Altura (m)	DAP (cm)
SSP ₁	<i>A. saman</i>	11	19,2 \pm 1,96	68,0 \pm 2,87
	<i>C. grandis</i>	11	13,3 \pm 0,47	36,3 \pm 2,18
	<i>G. ulmifolia</i>	11	12,2 \pm 1,10	42,4 \pm 6,75
SSP ₂	<i>A. saman</i>	11	21,4 \pm 1,96	67,3 \pm 2,87
	<i>C. grandis</i>	11	14,0 \pm 0,47	38,6 \pm 2,18
	<i>G. ulmifolia</i>	11	12,8 \pm 1,10	54,7 \pm 6,75
SSP ₃	<i>A. saman</i>	11	21,2 \pm 1,96	66,9 \pm 2,87
	<i>S. macrophylla</i>	11	12,3 \pm 1,52	27,3 \pm 1,86
	<i>P. quinata</i>	11	19,2 \pm 1,09	58,6 \pm 2,12
	<i>C. grandis</i>	11	12,1 \pm 0,47	40,3 \pm 2,18
	<i>G. ulmifolia</i>	11	13,2 \pm 1,10	43,3 \pm 6,75

*SSP₂ y SSP₃ = Adicionalmente incluyen 300 arbustos de *L. leucocephala* y 300 arbustos de *C. cujete*. DAP = Diámetro a la altura de pecho.

Tabla 2. Propiedades químicas del suelo en los sistemas silvopastoriles, los valores corresponden a promedios \pm error estándar.

Tratamiento	Especie	pH	C	N	Ca	Mg	Na	P
			(%)		cmol.kg ⁻¹			
P	<i>Da</i>	5,7 \pm 0,205	4,10 \pm 0,345	0,42 \pm 0,029	11,19 \pm 0,772	11,19 \pm 0,505	0,24 \pm 0,047	0,025 \pm 0,0033
	<i>Pm</i>	5,7 \pm 0,082	3,51 \pm 0,140	0,47 \pm 0,036	11,87 \pm 0,709	10,40 \pm 0,654	0,24 \pm 0,028	0,024 \pm 0,0026
	<i>As</i>	5,9 \pm 0,443	3,64 \pm 0,353	0,38 \pm 0,071	12,90 \pm 0,673	7,92 \pm 0,881	0,17 \pm 0,035	0,051 \pm 0,0243
SSP ₁	<i>Cg</i>	6,3 \pm 0,332	4,06 \pm 0,557	0,37 \pm 0,058	14,00 \pm 0,173	8,93 \pm 1,015	0,15 \pm 0,115	0,064 \pm 0,0248
	<i>Gu</i>	6,5 \pm 0,297	3,27 \pm 0,594	0,35 \pm 0,078	13,80 \pm 0,239	9,05 \pm 1,443	0,15 \pm 0,072	0,076 \pm 0,0144
	<i>As</i>	5,9 \pm 0,057	3,61 \pm 0,140	0,38 \pm 0,018	13,32 \pm 0,140	9,72 \pm 1,077	0,15 \pm 0,006	0,043 \pm 0,0088
SSP ₂	<i>Cg</i>	6,0 \pm 0,154	4,20 \pm 0,237	0,42 \pm 0,027	13,52 \pm 0,559	9,95 \pm 0,822	0,17 \pm 0,009	0,071 \pm 0,0236
	<i>Gu</i>	6,3 \pm 0,037	3,73 \pm 0,353	0,39 \pm 0,029	14,69 \pm 0,592	9,61 \pm 0,862	0,17 \pm 0,062	0,067 \pm 0,0103
	<i>As</i>	6,0 \pm 0,218	3,65 \pm 0,100	0,33 \pm 0,009	11,39 \pm 1,514	9,16 \pm 0,456	0,23 \pm 0,060	0,057 \pm 0,0094
SSP ₃	<i>Cg</i>	6,0 \pm 0,119	4,56 \pm 0,179	0,43 \pm 0,006	11,33 \pm 0,654	9,27 \pm 0,458	0,24 \pm 0,052	0,075 \pm 0,0063
	<i>Gu</i>	6,3 \pm 0,203	3,85 \pm 0,164	0,42 \pm 0,010	11,46 \pm 1,193	9,84 \pm 0,590	0,29 \pm 0,060	0,074 \pm 0,0190
	<i>Sm</i>	5,3 \pm 0,345	3,95 \pm 0,348	0,41 \pm 0,015	9,47 \pm 1,274	8,93 \pm 2,885	0,34 \pm 0,060	0,030 \pm 0,0066
	<i>Pq</i>	5,8 \pm 0,303	4,25 \pm 0,314	0,42 \pm 0,031	11,46 \pm 1,145	10,52 \pm 0,643	0,35 \pm 0,061	0,051 \pm 0,0072

Método de análisis = pH: 1:2 (suelo:agua); Carbono (C) = Walkley and Black; Nitrógeno (N) = Kjeldahl; Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Sodio (Na) = 1 mol/L acetato de amonio; Fósforo (P) = Bray II.

Producción de hojarasca y retorno potencial de nutrientes. La hojarasca fina producida por las especies vegetales en los tratamientos se colectó mediante el uso de trampas circulares con un área individual de 0,45 m². Se seleccionaron 5 árboles de cada especie por tratamiento y se dispusieron 2 trampas de hojarasca en la mitad de la sombra proyectada por cada árbol seleccionado. En la pastura la hojarasca se tomó manualmente del área delimitada por círculos de 0,45 m² sobre la superficie del suelo. El número total de trampas en todo el experimento fue de 390. Quincenalmente se colectó el material caído en cada trampa, se clasificó por especies y fracciones que contemplaron hojas, raquis, pedúnculos, frutos, flores y otros restos; posteriormente, el material limpio, clasificado y separado por fracciones se secó en estufa a 60°C hasta alcanzar masa constante (~72 horas), para determinar su masa seca por unidad de área. El contenido de nutrientes (kg.ha⁻¹.año⁻¹) en la hojarasca foliar, de cada especie vegetal dentro de los tratamientos, se determinó a partir de la masa seca de hojarasca foliar y la concentración de cada nutriente contenido en ella. Para cuantificar la concentración de nutrientes en la hojarasca foliar se obtuvo una muestra compuesta, cada 2 meses durante un año, del material colectado en cada unidad experimental, para un total de 39 muestras bimestrales. En el laboratorio se determinaron los contenidos de carbono con el método Walkley-Black; nitrógeno con el método Kjeldahl, norma AOAC 988,05, calcio, magnesio, potasio y fósforo (Digestión ácida (HNO₃:HClO₄, 5:2) y cuantificación por Absorción atómica (calcio, magnesio y potasio) y Espectrofotometría visible (fósforo).

Se realizó un análisis de varianza para comparar las medias de las variables respuesta. Cuando se detectaron efectos de los tratamientos, se procedió a separar las medias a través de la prueba de Tukey. En ambos casos se utilizó un nivel de significancia (α) ≤ 0,05.

RESULTADOS

Producción de hojarasca foliar. Los sistemas silvopastoriles exhibieron anualmente, valores de producción de hojarasca foliar entre 2877,3 y 3148,2 kg.ha⁻¹ ($p < 0,0001$), superiores a los observados en la pastura control. No se registró diferencia significativa en la producción de hojarasca foliar anual entre los SSP. La cantidad de hojarasca foliar dependió de la complejidad o número de especies vegetales presentes en cada tratamiento (Tabla 3). Asimismo, se observó el aporte por especie dentro de los tratamientos, que destacó a *P. control* la producción anual de hojarasca foliar para *P. maximum* fue de 551,3 kg.ha⁻¹, mientras que la de *D. aristatum* fue 218,4 kg.ha⁻¹. La especie *A. saman* aportó el mayor volumen de hojarasca foliar dentro de los tratamientos de SSP, Seguida de *C. grandis*, con contribuciones alrededor del 24% de la producción total de hojarasca foliar en los sistemas que la contienen (Tabla 3). De igual forma, la cantidad de hojarasca foliar de *G. ulmifolia* fue independiente de la complejidad del sistema silvopastoril. Las especies maderables *S. macrophylla* y *P. quinata* aportaron 8,6% y 12,8%, respectivamente de la hojarasca foliar anual dentro de SSP₃ (Tabla 3).

Tabla 3. Producción anual de hojarasca foliar ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) por especie en sistemas silvopastoriles (SSP₁, SSP₂ y SSP₃) y en una pastura control. Los valores corresponden a promedios \pm error estándar.

Tratamiento	Especie							Total
	<i>D. aristatum</i>	<i>P. maximum</i>	<i>A. saman</i>	<i>C. grandis</i>	<i>G. ulmifolia</i>	<i>S. macrophylla</i>	<i>P. quinata</i>	
P. control	218,4 \pm 6,59	551,3 \pm 23,03	-	-	-	-	-	769,7 a
SSP ₁	-	-	1607,7 \pm 77,11	761,9 \pm 55,67	507,8 \pm 36,88	-	-	2877,3 b
SSP ₂	-	-	1594,6 \pm 92,42	706,6 \pm 48,07	771,4 \pm 48,34	-	-	3072,6 b
SSP ₃	-	-	1246,0 \pm 69,34	740,3 \pm 9,53	487,8 \pm 43,66	272,4 \pm 53,63	401,7 \pm 26,63	3148,2 b

Letras minúsculas diferentes en la columna del Total indican diferencias significativas en la masa seca de hojarasca foliar entre tratamientos. Prueba de Tukey ($p\leq 0,05$).

El comportamiento de la producción de hojarasca foliar dentro de los tratamientos a lo largo del periodo de evaluación, presentó diferencias altamente significativas ($p<0,0001$). Alrededor del 39% de la producción anual de hojarasca foliar se concentró durante el periodo

seco, entre diciembre y febrero. Asimismo, se presentó otro momento de acumulación de hojarasca foliar comprendido entre agosto y septiembre en el periodo de lluvias, correspondiente al 24% de la producción anual (Figura 3).

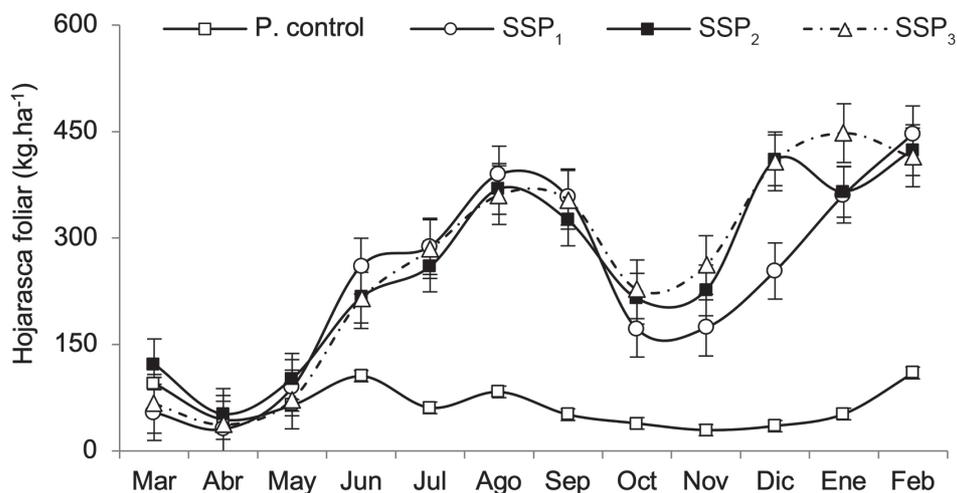


Figura 3. Distribución mensual de la caída de hojarasca foliar en sistemas silvopastoriles (SSP₁, SSP₂ y SSP₃) y en una pastura control.

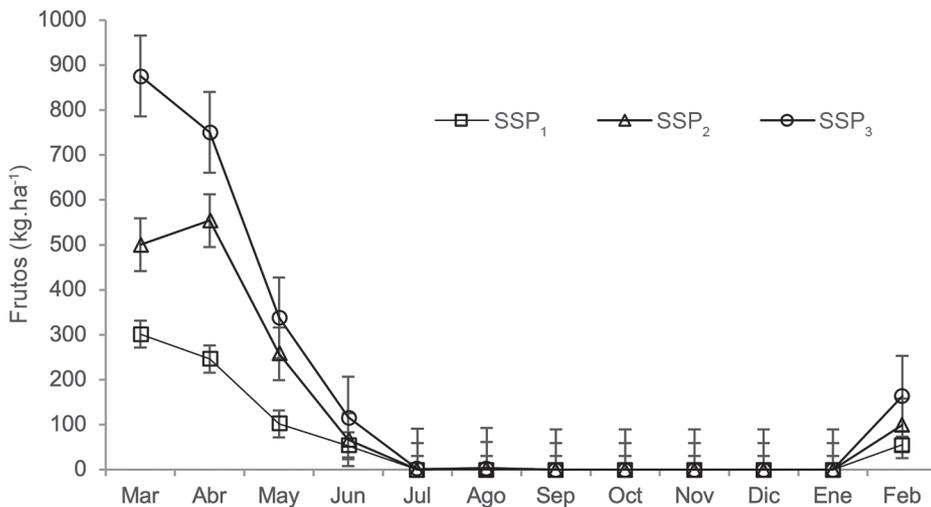
Adicionalmente a la caída de hojarasca foliar, la producción de fruto dentro de los tratamientos fue significativa ($p < 0,0001$). Las especies forestales dentro de sistemas silvopastoriles produjeron frutos, con valores entre 723 y 767 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$. Para el caso de los aportes de frutos de las especies dentro de los SSP, se resaltan a las especies *A. saman* y *C. grandis* fueron las de mayor producción de frutos (Tabla 4). Los valores para *G. ulmifolia* fluctuaron entre 28,1 y 71,2 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$, donde el tratamiento SSP₂ reportó la mayor producción de fruto de esta especie

(Tabla 4). Con la finalidad de observar el comportamiento de la caída de los frutos dentro de los SSP, se observó comportamiento diferencial ($p < 0,0001$) en la interacción tratamiento periodos de evaluación. Se obtuvo que el total de estos frutos cayeron entre febrero y agosto, con énfasis en los meses más secos del año (febrero a abril), donde empieza a disminuir con la entrada de los meses con lluvia y la caída de frutos se hace nula, con registros mínimos en aportes de frutos, solo por las especies *C. grandis* y *G. ulmifolia* en junio y *S. macrophylla* en julio (Figura 4).

Tabla 4. Producción anual de frutos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) por especie en sistemas silvopastoriles (SSP₁, SSP₂ y SSP₃) y en una pastura control. Los valores corresponden a promedios \pm error estándar.

Tratamiento	Especie							Total
	<i>D. aristatum</i>	<i>P. maximum</i>	<i>A. saman</i>	<i>C. grandis</i>	<i>G. ulmifolia</i>	<i>S. macrophylla</i>	<i>P. quinata</i>	
P.control	0,00	0,00	-	-	-	-	-	0,00 a
SSP ₁	-	-	372,4 \pm 67,73	356,9 \pm 56,89	28,1 \pm 4,54	-	-	757,4 b
SSP ₂	-	-	248,2 \pm 40,55	403,8 \pm 67,03	71,2 \pm 11,40	-	-	723,2 b
SSP ₃	-	-	416,0 \pm 72,80	280,5 \pm 36,34	60,2 \pm 11,38	3,0 \pm 0,58	8,5 \pm 1,33	756,7 b

Letras minúsculas diferentes en la columna del Total indican diferencias significativas en la masa seca de frutos entre tratamientos. Prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).



Las barras verticales en cada observación representan el error estándar.

Figura 4. Distribución mensual de la producción de frutos de base seca en sistemas silvopastoriles (SSP₁, SSP₂ y SSP₃).

Retorno de nutrientes vía hojarasca foliar. Se destacaron los retornos de nitrógeno total por la hojarasca foliar de esta especie en los sistemas silvopastoriles SSP₁ y SSP₂ (~44,4 kg.ha⁻¹.año⁻¹), significativamente mayores ($p=0,02$) a los encontrados en SSP₃, con un retorno anual de 34,8 kg de nitrógeno por hectárea (Tabla 5). El retorno de nitrógeno por la

hojarasca foliar de las especies *G. ulmifolia* y *C. grandis* (11,6-17,7 kg.ha⁻¹.año⁻¹) fue significativamente menor a los registrados en la hojarasca foliar de *A. saman* y significativamente mayor a lo aportado por el material senescente de las gramíneas (*D. aristatum* y *P. maximum*) en el tratamiento P. control (Figura 5a).

Tabla 5. Retorno potencial de nutrientes (kg.ha⁻¹.año⁻¹) en sistemas silvopastoriles (SSP₁, SSP₂ y SSP₃) y en una pastura control.

Tratamientos	Retorno potencial nutrientes (kg.ha ⁻¹ .año ⁻¹)					
	N	P	K	Ca	Mg	C
P. Control	6,8 b	1,1 b	3,0 b	5,1 c	2,5 b	390 b
SSP ₁	71,9 a	3,1 a	13,9 a	57,9 a	7,5 a	1751 a
SSP ₂	76,2 a	2,9 a	13,3 a	52,2 ab	6,8 a	1699 a
SSP ₃	73,6 a	2,7 a	10,6 a	40,7 b	6,3 a	1573 a
C.V. (%)	10,5	8,6	16,9	13,1	12,3	9,3

Letras minúsculas diferentes en la columna indican diferencias significativas en la cantidad del nutriente entre tratamientos. Prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). C.V. = coeficiente de variación.

El retorno potencial de fósforo (P) a través de la hojarasca foliar mostró un comportamiento similar al de nitrógeno. El menor retorno de fósforo se presentó en *D. aristatum* (0,25 kg.ha⁻¹.año⁻¹), significativamente menor ($p=0,02$) al de *P. maximum* (0,84 kg.ha⁻¹.año⁻¹) (Figura 5b). En general, los aportes de fósforo fueron mayores en los sistemas silvopastoriles, particularmente por los aportes de *A. saman* (sistemas silvopastoriles, SSP₂ y SSP₃ $\geq 0,98$ kg.ha⁻¹.año⁻¹) y *G. ulmifolia* (sistemas silvopastoriles y SSP₂ $\geq 0,67$ kg.ha⁻¹.año⁻¹). Adicionalmente, los retornos de fósforo en la hojarasca foliar de *S. macrophylla* (0,22 kg.ha⁻¹.año⁻¹), *P. quinata* (0,53 kg.ha⁻¹.año⁻¹) y *C. grandis* (0,63-0,69 kg.ha⁻¹.año⁻¹) no presentaron diferencias significativas con los valores hallados para *D. aristatum* (Figura 5b).

El comportamiento de los nutrientes potasio, calcio y magnesio en la hojarasca de las

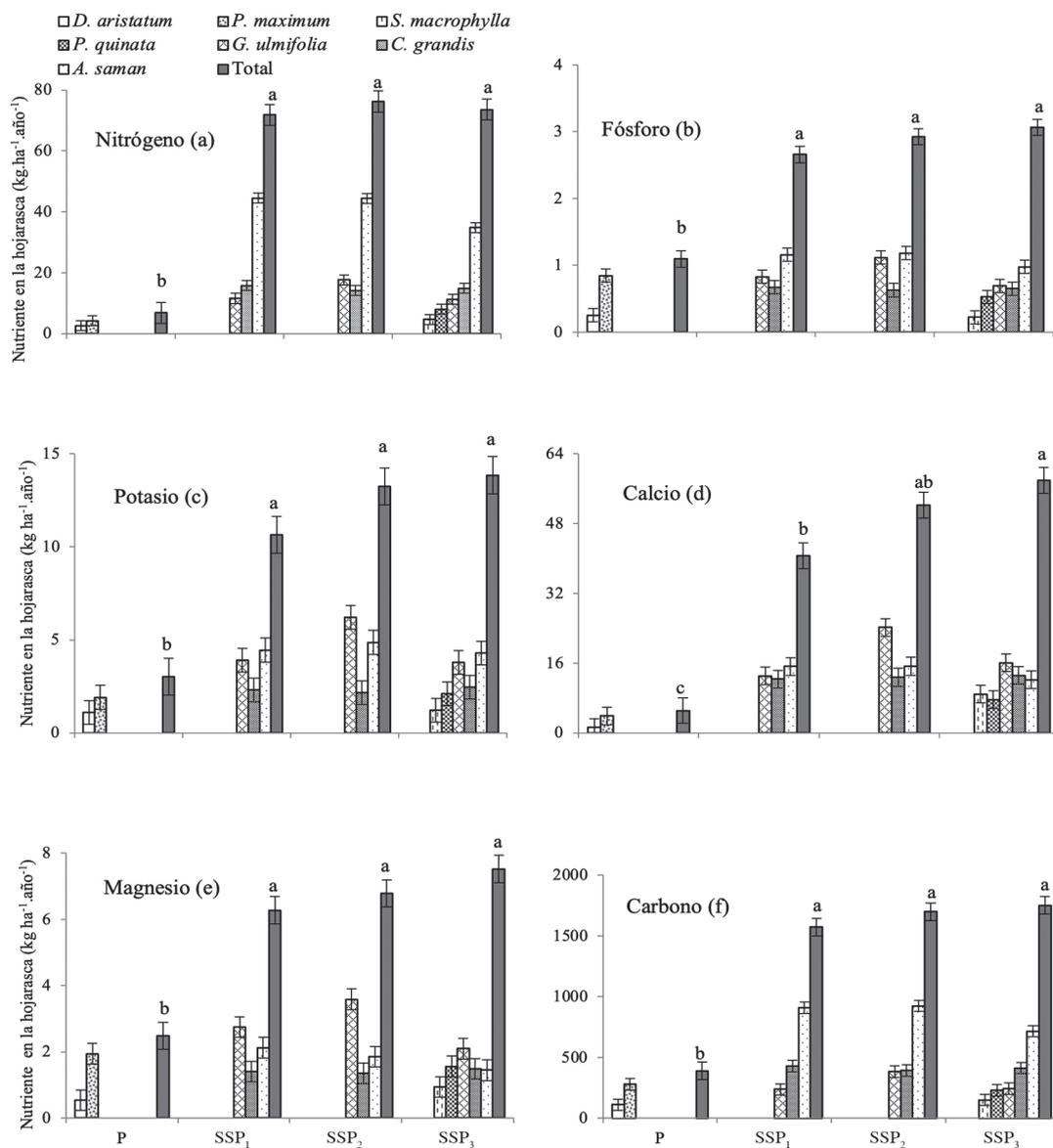
especies arbóreas en los sistemas silvopastoriles fue diferente a lo hallado para nitrógeno. Los aportes de estos nutrientes por la especie *G. ulmifolia* fueron significativamente mayores que los de las otras especies en el SSP₂, pero no en los otros sistemas silvopastoriles (Figura 5c, d, e). Las diferencias detectadas para los 3 nutrientes (potasio, calcio y magnesio) fueron más evidentes entre las especies arbóreas y *D. aristatum*, que con *P. maximum* ($p < 0,0001$). Los retornos potenciales de potasio, calcio y magnesio por la hojarasca foliar de las especies arbóreas en los sistemas silvopastoriles también fueron significativamente mayores a los determinados para las gramíneas (Figura 5c, d, e).

Los aportes o retornos potenciales de carbono vía hojarasca foliar dentro de los tratamientos evidenció diferencias significativas ($p < 0,0001$). Los mayores aportes se obtuvieron

dentro de los sistemas silvopastoril, los cuales no presentaron diferencias significativas entre sí (Figura 5f). Para el caso de la pastura control, la especie *P. maximum* aportó 2,5 veces más de carbono vía hojarasca foliar que *D. aristatum* (Figura 5f). Los aportes de carbono vía hojarasca foliar de *A. saman* fueron significativamente mayores a los de las otras especies arbóreas en los 3 sistemas silvopastoriles (SSP₁, SSP₂ y SSP₃). Asimismo, los aportes de carbono en la hojarasca de *C. grandis* y *G. ulmifolia* dentro de los SSP mostró comportamiento similar, excepto dentro del sistema SSP₁ donde *G. ulmifolia* mostró comportamiento diferencial respecto a *C. grandis* (Figura 5f). Los aportes de carbono en la hojarasca foliar de *S. macrophylla* y *P. quinata*

fueron de 150 y 230 kg.ha⁻¹.año⁻¹, respectivamente (Figura 5f).

En general, el retorno potencial de nutrientes (kg.ha⁻¹.año⁻¹) por la hojarasca foliar en los sistemas silvopastoriles fue significativamente mayor que las halladas en la pradera control, con registros de carbono (1674 kg.ha⁻¹.año⁻¹), nitrógeno (73,9 kg.ha⁻¹.año⁻¹), fósforo (2,9 kg.ha⁻¹.año⁻¹), potasio (12,6 kg.ha⁻¹.año⁻¹), magnesio (6,9 kg.ha⁻¹.año⁻¹) y calcio (50,3 kg.ha⁻¹.año⁻¹) (Tabla 5). Por otra parte, en el tratamiento pradera control el retorno potencial de nutrientes (kg.ha⁻¹.año⁻¹) fue en promedio de 390 (carbono) > 6,8 nitrógeno > 5,5 calcio > 3,0 potasio > 2,5 magnesio > 1,1 fósforo (Tabla 5).



Las barras verticales en cada columna representan el error estándar. Letras diferentes encima de las columnas de total denotan diferencias significativas ($p < 0,05$), y letras iguales diferencias no significativas entre tratamientos.

Figura 5. Retorno potencial anual de nutrientes vía hojarasca foliar en sistemas silvopastoriles (SSP₁, SSP₂ y SSP₃) y en una pastura control (P).

DISCUSIÓN

En general, los sistemas silvopastoriles permiten un mayor retorno de nutrientes (Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio y Carbono) y producción de hojarasca que los aportes observados en la pastura control. En los sistemas silvopastoriles se destaca la especie *A. Saman*, con un aporte de hojarasca foliar de alrededor del 49% del total de la hojarasca cuantificada, en los sistemas que incluyen esta especie. A esta especie le siguen en orden descendente, en la producción de hojarasca foliar *C. grandis*, con un aporte equivalente al 24% del total, *G. ulmifolia*, *P. quinata* y *S. macrophylla*. La producción de hojarasca de cada especie arbórea fue independiente del sistema silvopastoril que la incluía, es decir no hubo diferencia entre los registros de hojarasca foliar observados en cada sistema silvopastoril, para una misma especie.

La producción de hojarasca foliar observada en estos sistemas silvopastoriles fue menor a la reportada por Báez (2018) en arreglos agroforestales con cacao (*Theobroma cacao* L.), abarco (*Cariniana piryformis* M) y teca (*Tectona grandis* L.f.), con valores entre 2484–3279 y 1730–4248 kg.ha⁻¹.año⁻¹ en las especies abarco y cacao, respectivamente y mayores registros que los exhibidos por *T. grandis* (~1300 kg.ha⁻¹.año⁻¹). Como referencia, la producción de hojarasca foliar de *G. ulmifolia* en este estudio (489-797 kg.ha⁻¹.año⁻¹) fue menor a la reportada por Bonilla *et al.* (2008), en estudio realizado en un relicto de bosque seco tropical en el municipio de Codazzi (Cesar, Colombia) donde se encontró que los valores máximos de producción de hojarasca en las especies *Anacardium excelsum* y *G. ulmifolia*, fueron de 1350 y 1180 kg.ha⁻¹.año⁻¹, respectivamente; esto podría atribuirse a la baja densidad de árboles (11 árboles de cada especie por ha) dentro de los sistemas silvopastoriles evaluados. Asimismo, en estudios realizados por Xavier *et al.* (2014) en Minas Gerais (Brasil), bajo un sistema silvopastoril con pasto *Brachiaria decumbens* y especies arbóreas *Acacia mangium*, *Mimosa artemisiana* y *Eucalyptus grandis*, se reportó valores de producción de hojarasca foliar

de 5038 kg.ha⁻¹.año⁻¹ en el sistema silvopastoril con densidad arbórea de 198 individuos.ha⁻¹, de 5 años y 3944 kg.ha⁻¹.año⁻¹ en una pradera de *B. decumbens* sin árboles. Otro estudio realizado por Castellanos-Barliza *et al.* (2022) registraron los aportes de hojarasca durante un año en varios remanentes de bosque seco tropical, ubicados en unidades de paisaje contrastantes (Montaña y Lomerío) en el Caribe Colombiano; registraron tasas de caída de hojarasca de 4500 kg.ha⁻¹ y 4900 kg.ha⁻¹ en los paisajes de Montaña y Lomerío, respectivamente; lo cual dependió de las especies vegetales y de la dinámica de la precipitación en estos ambientes. Cabe destacar, que estos registros de hojarasca incluyeron el material leñoso de hasta 2 cm de diámetro, mientras que el presente estudio se cuantificó la hojarasca fina foliar, en los sistemas silvopastoriles (Tabla 3). Asimismo, en condiciones de bosque seco tropical, en Colombia, la producción de hojarasca foliar de *Albizia nipoides*, *Cordia alba* y *Machetium milleflorum*, en un fragmento de bosque urbano, correspondieron al 55% (4700 kg.ha⁻¹.año⁻¹) del total de la hojarasca observada en este sistema (Castellanos *et al.* 2018).

En estudios similares Pimenta *et al.* (2011) registraron aportes anuales de hojarasca fina de 5341 y 8212 kg.ha⁻¹ en una reforestación y en un bosque caducifolio, respectivamente, en el estado de Paraná en el sur de Brasil. Asimismo, en la zona cafetera de Colombia, en plantaciones de coníferas y en bosque secundario se registraron producciones de hojarasca de 5190 y 6150 kg.ha⁻¹.año⁻¹, respectivamente (Gómez 2011).

La producción de hojarasca varía según las especies vegetales que conforman los sistemas, así como también las condiciones ambientales donde se desarrollan. Florez *et al.* (2013), reportaron que la producción de hojarasca fina en plantaciones de *Azadiractha indica*, en suelos altamente erosionados en zonas secas de Antioquia - Colombia, fue de 557,5 kg.ha⁻¹. En contraste, Celentano *et al.* (2011) bajo condiciones de bosque húmedo tropical premontano, en el sur de Costa Rica, reportaron producciones anuales de hojarasca foliar de 5400 kg.ha⁻¹ en plantaciones

mixtas con las especies *Inga eudiles*, *Erythrina poeppigiana*, *Vochysia guatemalensis* y *Terminalia amazonia*, con aportes correspondientes al 70%, 15%, 5% y 3%, respectivamente; asimismo, la gramínea con un aporte del 2% del total, y el resto a otros materiales no identificados. En el mismo estudio, determinaron que la producción de hojarasca foliar, de las mismas especies en bosquetes o islas fue de 3060 kg.ha⁻¹.año⁻¹, cuya variación está en función de la densidad de los árboles y el tipo de estructura de cada sistema. Adicionalmente, registraron aportes anuales de hojarasca de 5430 kg.ha⁻¹ y de 1230 kg.ha⁻¹, en un bosque secundario (7-9 años) de regeneración natural y un bosque de regeneración natural (3-5 años), respectivamente.

La producción de hojarasca foliar o material senescente de las pasturas (*D. aristatum* y *P. maximum*), en la pradera control de este estudio, exhibió un patrón de caída constante e independiente de la época del año, con registros mensuales medios de 53 kg.ha⁻¹. En contraste, las especies arbóreas mostraron un patrón estacional de aporte de hojarasca foliar, con el mayor pico de producción en la época más seca del año (diciembre a febrero). Este comportamiento, también ha sido observado para otras especies en diferentes ambientes, tal como lo evidenciaron Paudel *et al.* (2015) en monitoreos realizados en bosques maduros, bosques de regeneración y un monocultivo de Té en Yunnan (China), bajo condiciones de bosque húmedo tropical montano. Ahí reportaron que el mayor pico de producción de hojarasca para los hábitats de bosque ocurre durante la estación seca (marzo a mayo), con registros anuales de hojarasca foliar alrededor de 7100 kg.ha⁻¹, mientras que en el monocultivo de Té el aporte fue de 2400 kg.ha⁻¹.año⁻¹ y no mostró un patrón específico de caída de hojarasca a lo largo del año.

La producción anual de frutos (750 kg.ha⁻¹), registrada por las especies arbóreas dentro de los sistemas silvopastoriles de este estudio, se considera de mucha importancia para la nutrición de los bovinos, debido a que estos aportes de frutos se presentan entre febrero y agosto,

lo que coincide con parte de la época seca del año. En este sentido, estos sistemas contribuyen favorablemente a la disponibilidad de alimento en la época de menor precipitación y disponibilidad de forraje en las praderas que se presenta en esas condiciones, tal como lo reporta Mejía *et al.* (2019) en el área de estudio.

La dinámica de producción y descomposición de hojarasca foliar y el consecuente retorno potencial de nutrientes dependen de factores ambientales como temperatura, precipitación, humedad relativa, velocidad del viento, entre otros; así como también del tipo de especie vegetal, de la densidad de siembra y edad del sistema donde estas se encuentren (Martínez-Atencia *et al.* 2020, Birhane *et al.* 2019). En este sentido, la producción de hojarasca foliar de *A. saman* en esta investigación, exhibió correlación negativa con la temperatura y la velocidad del viento. Asimismo, Murovhi *et al.* (2012) se evidenció correlación positiva entre las variables ambientales humedad atmosférica y temperatura, con la producción de hojarasca de *Persea americana*, mientras que se observó correlación entre la producción de hojarasca con variables de crecimiento (diámetro a la altura de pecho, diámetro de copa y altura total) de las especies *Mangifera indica* y *Litchi chinensis*.

En este estudio la especie *A. saman* presentó los mayores retornos potenciales de carbono, nitrógeno y fósforo, en tanto que los mayores retornos de calcio, magnesio y potasio fueron aportados por la hojarasca foliar de *G. ulmifolia*. Seguidamente, se destacan las especies *S. macrophylla* y *P. quinata* con retornos intermedios de nutrientes y los menores registros en estos sistemas fueron exhibidos por las pasturas (*P. maximum* y *D. aristatum*). Estos resultados demuestran que los sistemas silvopastoriles evaluados, retornan potencialmente mayor cantidad de nutrientes (carbono, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio) al suelo, a través de la hojarasca foliar, que lo retornado por la pastura control. Estos mayores aportes resultan en conjunto de la mayor producción de hojarasca foliar en los sistemas silvopastoriles, y de la mayor

concentración de nutrientes de esta fracción (Martínez-Atencia *et al.* 2020).

El mayor retorno potencial de nutrientes se registró en la época seca del año, lo cual es consecuente con las mayores producciones de hojarasca foliar en esta época. Asimismo, en los sistemas silvopastoriles se observó el mayor retorno anual de carbono vía hojarasca foliar (1674 kg.ha⁻¹), en comparación con lo registrado en la pastura control (390 kg.ha⁻¹). Las especies arbóreas en los sistemas silvopastoriles retornaron anualmente alrededor de 147 kg.ha⁻¹ de nutrientes (carbono, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio), en contraste la pastura control retornó 19 kg.ha⁻¹. Los retornos de N en los sistemas silvopastoriles corresponden al 50% del total de los retornos de nutrientes en estos sistemas, donde juega un papel importante la especie *A. saman*, por su capacidad de retornar N en su hojarasca foliar. Esta especie presentó el mayor retorno de N en los sistemas silvopastoriles SSP₁ y SSP₂. Se infiere que el mayor número de especies en el sistema silvopastoril SSP₃ pudo generar competencia por recursos bióticos, lo que incidió en menor producción de hojarasca foliar y consecuentemente menor retorno potencial de nutrientes. Asimismo, se registraron retornos anuales potenciales de otros nutrientes, vía hojarasca foliar de las especies arbóreas en los sistemas silvopastoriles, como calcio (50 kg.ha⁻¹), potasio (13 kg.ha⁻¹), magnesio (7 kg.ha⁻¹) y fósforo (3 kg.ha⁻¹). La baja cantidad de fósforo que retorna puede estar asociada a la baja disponibilidad de este elemento en el suelo (Tabla 2), lo que podría conducir a una inmovilización biológica del elemento, y de hecho las plantas pueden acudir a la estrategia de reabsorberlo previo desprendimiento foliar, como mecanismo de conservación del nutriente por parte de la planta (Machado *et al.* 2016, Gallardo *et al.* 2009). Los sistemas silvopastoriles retornan potencialmente mayor cantidad de nutrientes por año (nitrógeno: 73,9; fósforo: 2,9; potasio: 12,6; calcio: 40,7-57,9; magnesio: 6,9 kg.ha⁻¹) que la pastura control (nitrógeno: 6,8; fósforo: 1,1; potasio: 3; calcio: 5,5; magnesio: 2,5 kg.ha⁻¹).

En un fragmento de bosque urbano, en bosque seco tropical, Castellanos *et al.* (2018) determinaron retornos potenciales de nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio y potasio en la hojarasca fina de las especies *A. niopoides*, *M. milleflorum* y *C. alba*, con registros medios anuales (kg.ha⁻¹) de nitrógeno: 9,4, fósforo: 0,6, calcio: 20, magnesio: 6,4 y potasio: 6,6. En estudios realizados por Paudel *et al.* (2015), en sistemas de bosque tropical lluvioso, el retorno de nutrientes (kg.ha⁻¹.año⁻¹) fue mayor en hábitats forestales (carbono: 3.200, nitrógeno: 98, calcio: 63, potasio: 36, magnesio: 16, fósforo: 8,1), que en una plantación monocultivo de Té (carbono: 1.048, nitrógeno: 31, calcio: 22, potasio: 11, magnesio: 5,6, fósforo: 3,1). Los resultados anteriormente expuestos, se ajustan en magnitud y en orden a los retornos de nutrientes encontrados en el presente estudio, donde se destaca el P como el elemento con los menores retornos potenciales.

Las especies vegetales y el clima determinan en gran medida la producción de hojarasca y el consecuente retorno de nutrientes en los sistemas donde estas se encuentran establecidas. En este sentido, en el presente estudio se destacó la especie *A. saman*, con los mayores aportes de carbono (~ 800 kg.ha⁻¹.año⁻¹) y nitrógeno (~ 40 kg.ha⁻¹.año⁻¹), con respecto a las otras especies. Lo anterior se reviste de mayor importancia al considerar el almacenamiento de carbono, el mejoramiento de las condiciones del suelo y el desarrollo de las especies vegetales al disponer potencialmente de nitrógeno en estos ambientes (Espinosa *et al.* 2020, Contreras *et al.* 2019, Gallardo *et al.* 2009).

El entender la funcionalidad de los sistemas silvopastoriles, y cada uno de los elementos presentes, ayuda a valorar las dinámicas biológicas internas, como es el caso de las especies leñosas perennes (árboles o arbustos), capaces de producir altos volúmenes de biomasa foliar (hojarasca) y su posterior descomposición, incrementa la fertilidad del suelo (ciclaje de nutrientes), (Martínez-Atencia *et al.* 2020, Contreras *et al.* 2019, Upson *et al.* 2016, Casals *et al.* 2014, Martínez *et al.* 2014), control de malezas, almacenamiento de carbono,

conservación de los hábitats de muchas especies de fauna (Shibu 2012). De esta manera, los resultados de este trabajo permitieron comprender el funcionamiento de los sistemas silvopastoriles evaluados e identificar los de mayor potencial para retornar nutrientes bajo condiciones del bosque seco tropical y orientar su implementación en sistemas de producción ganadera en la Región Caribe Colombiana.

CONCLUSIÓN

El conjunto de especies vegetales dentro de los sistemas silvopastoriles genera mayor cantidad de hojarasca foliar y nutrientes que las gramíneas en la pastura control. Asimismo, la producción de hojarasca foliar fue especie-dependiente e independiente de la combinación con otras especies dentro de cada sistema silvopastoril.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado con el apoyo financiero del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, dentro del proyecto 200705209-866/1466, liderado por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA.

LITERATURA CITADA

- Báez, EY. 2018. Producción y aporte de nutrientes en la hojarasca de las especies abarco (*Cariniana piryformis* M), teca (*Tectona grandis* L.f.) y cacao (*Theobroma cacao* L.) en un sistema agroforestal en los municipios de Rionegro, Santander y Muzo, Boyacá. Tesis M.Sc. Agroforestería Tropical. Bogotá, Colombia, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. 80 p.
- Birhane, E; Desalegn, T; Kebede, F; Giday, K; Hishe, H; Hadgu, KM. 2019. In situ leaf litter production, decomposition and nutrient release of dry Afromontane trees. *East African Agricultural and Forestry Journal* 83(3):176-190.
- Bonilla, R; Roncallo, B; Jimeno, J; García, T. 2008. Producción y descomposición de la hojarasca en bosques nativos y de *Leucaena* sp. en Codazzi, Cesar. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 9(2):5-11.
- Cajas, YS; Sinclair, FL. 2001. Characterization of multistrata silvopastoral systems on seasonally dry pasture in the Caribbean region of Colombia. *Agroforestry Systems* 53:215-225.
- Casals, P; Romero, J; Rusch, GM; Muhammad, I. 2014. Soil organic C and nutrient contents under trees with different functional characteristics in seasonally dry tropical silvopastures. *Plant Soil* 374:643-659.
- Castellanos-Barliza, J; Carmona-Escobar, V; Linero-Cueto, J; Ropain-Hernández, E; León-Peláez, JD. 2022. Fine litter dynamics in tropical dry forests located in two contrasting landscapes of the Colombian Caribbean. *Forests* 13:660. DOI: <https://doi.org/10.3390/f13050660>
- Castellanos, J; León, JD; Armenta, R; Barranco, W; Caicedo, W. 2018. Contributions of organic matter and nutrients via leaf litter in an urban tropical dry forest fragment. *Revista Biología Tropical* 66(2):571-585.
- Celentano, D; Zahawi, RA; Finegan, B; Ostertag, R; Cole, RJ; Holl, KD. 2011. Litterfall dynamics under different tropical forest restoration strategies. *Biotropica* 43:279-287.
- Contreras, JL; Martínez, J; Cadena, J; Falla, CK. 2019. Evaluación del carbono acumulado en suelo en sistemas silvopastoriles del Caribe Colombiano. *Agronomía Costarricense* 44(1):29-41.
- Del Valle-Arango, JI. 2003. Cantidad, calidad y nutrientes reciclados por la hojarasca fina de bosques pantanosos del pacífico sur Colombiano. *Interciencia* 28:443-449.
- Espinosa, MR; Contreras, JL; Cadena, J; Martínez, J; Jaramillo, CI; Hurtado, MP. 2020. Methane fluxes in soils with pasture covers in the North of Colombia. *Agronomía Mesoamericana* 31(2):291-309.
- Florez, CP; León, JD; Osorio, NW; Restrepo, MF. 2013. Dinámica de nutrientes en plantaciones forestales de *Azadirachta indica* (Meliaceae) establecidas para restauración de tierras degradadas en Colombia. *Biología Tropical* 61(2):515-529.
- Gallardo, A; Covelo, F; Morillas, L; Delgado, M. 2009. Ciclos de nutrientes y procesos edáficos en los ecosistemas terrestres: especificidades del caso mediterráneo y sus implicaciones para las relaciones suelo-planta. *Ecosistemas* 18(2):4-19.
- Gómez, M. 2011. Comparación de propiedades edáficas y procesos ecosistémicos entre plantaciones forestales y bosques secundarios subandinos. Tesis M.Sc. Medellín, Colombia, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. 72 p.
- Holdridge, L. 2000. Ecología basada en zonas de vida. San José, Costa Rica, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, IICA. 225 p.
- IDEAM-UDCA (Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales). 2015. Síntesis del estudio nacional de la degradación de suelos por erosión en

- Colombia - 2015. Bogotá D.C., Colombia, IDEAM – MADS. 62 p.
- Machado, MR; Sampaio, P. de TB; Ferraz, J; Camara, R; Pereira, MG. 2016. Nutrient retranslocation in forest species in the Brazilian Amazon. *Acta Scientiarum. Agronomy* 38(1):93-101. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v38i1.26805>
- Martínez-Atencia, J; Loaiza, JC; Osorio, NW; Correa, G; Casamitjana, M. 2020. Leaf litter decomposition in diverse silvopastoral systems in a neotropical environment. *Journal of Sustainable Forestry* 39:710-729.
- Martínez, J; Cajas, YS; León, JD; Osorio, NW. 2014. Silvopastoral systems enhance soil quality in grasslands of Colombia. *Applied and Environmental Soil Science Article ID 359736*. 1-8 p. DOI: [10.1155/2014/359736](https://doi.org/10.1155/2014/359736)
- Mejía, S; Suárez, E; Martínez, J; Atencio, L; Sánchez, D; Pérez, JE; Aguayo, L; Mestra, LI; Cuadrado, H; Martínez, AM; Sánchez, L; Rodríguez, JL; Mayorga, O; Doria, M; Pérez, JV; Paternina, Y; Garrido, JF; Fernández, JC; Mejía, J; Medina, D; Ariza, C; Sierra, AM; Mancipe, E; Parra, D. 2019. Modelo productivo de carne bovina en la región Caribe colombiana. Mosquera, Colombia, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). 171 p. DOI: <https://doi.org/10.21930/agrosavia.model.740-272-8>
- Mora, MA; Ríos-Pescador, L; Ríos-Ramos, L; Almario, JL. 2017. Impacto de la actividad ganadera sobre el suelo en Colombia. *Ingeniería Y Región* 17:1-12.
- Murovhi, NR; Materechera, S; Mulugeta, S. 2012. Seasonal changes in litter fall and its quality from three subtropical fruit tree species at Nelspruit, South Africa. *Agroforestry Systems* 86:61-71.
- Paudel, E; Dossa, GGO; Xu, J; Harrison, RD. 2015. Litterfall and nutrient return along a disturbance gradient in a tropical montane forest. *For. Ecol. Manage* 353:97-106.
- Pimenta, JA; Rossi, LB; Torezan, JMD; Cavalheiro, AL; Bianchin, E. 2011. Producao de serapilheira e ciclagem de nutrientes de um reflorestamento e de uma floresta estacional semidecidual no sul do Brasil. *Acta Botanica Brasílica* 25:53-57.
- Shibu, J. 2012. Agroforestry for conserving and enhancing biodiversity. *Agroforestry Systems* 85:1-8.
- Upton, MA; Burgess, PJ; Morison, JIL. 2016. Soil carbon changes after establishing woodland and agroforestry trees in a grazed pasture. *Geoderma* 283:10-20. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.07.002>
- Xavier, DF; Da Silva Le'do, FJ; Paciullo, DSC; Urquiaga, S; Alves, BJ; Boddey, RM. 2014. Nitrogen cycling in a Brachiaria-based silvopastoral system in the Atlantic forest region of Minas Gerais, Brazil. *Nutr Cycl Agroecosyst* 99:45-62.



Agronomía Costarricense. Universidad de Costa Rica. Se encuentra licenciada con Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Costa Rica. Para mayor información escribir a rac.cia@ucr.ac.cr