

Ideales

Otro espacio para pensar



Universidad
del Tolima



ACREDITADA
DE ALTA CALIDAD

¡Construimos la universidad que soñamos!

Instituto de Educación
a Distancia

Producción de hojarasca en dos arreglos silvopastoriles con *Tithonia diversifolia* en zona de vida de bosque húmedo premontano en Colombia¹

Pablo Felipe Chará²
Mario J. Gómez Martínez³
Jairo Mora Delgado⁴

Introducción

La transformación de los ecosistemas naturales hacia monocultivos de pasto para la producción ganadera ha ocasionado pérdida de la biodiversidad (Russo et al., 2013). En estos monocultivos, la reducción de la cobertura vegetal, el sobrepastoreo y el uso indiscriminado de productos químicos han ocasionado un descenso de las poblaciones de organismos benéficos (descomponedores, depredadores, parasitoides, entre otros) que reducen los servicios ambientales para el productor ganadero (Zuluaga et al., 2011).

Los sistemas silvopastoriles (SSP) son sistemas de uso de la tierra en los que los árboles crecen en asociaciones con pasto y ganado (Sánchez et al., 2011), entre ellos los sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi) y los bancos forrajeros (BF). Los SSPi son un arreglo agroforestal pecuario conformado por arbustos forrajeros en alta densidad (7.000 o más individuos); según el arreglo, pueden ser utilizados para el ramoneo directo del ganado, asociado siempre

a pastos mejorados y leguminosas con árboles maderables (Murgueitio et al., 2015).

Los SSPi son utilizados con pastoreo rotacional intensivo delimitado con cercas eléctricas; pueden asociar o no árboles maderables, frutales y leguminosas rastreras (Murgueitio e Ibrahim, 2008). También son sistemas complejos que integran pastos, cultivos forrajeros, cultivos varios, animales y diferentes recursos, incluyendo la forestería y la agricultura (Pardini, 2007). Estos sistemas pueden mantener una capacidad de carga de 4,5 animales por hectárea sin utilizar fertilizantes, herbicidas e insecticidas. En cuanto al suelo, tiene efectos positivos sobre este, mejorando sus propiedades físicas, químicas y biológicas. (Molina et al., 2012). Los SSPi son modelos originales de la investigación científica. El Banco de Forraje (BF) es un cultivo intensivo cuya finalidad es producir hojas y tallos de gran valor nutritivo para la alimentación de los animales por medio de sistemas de corte y acarreo; son utilizados para alimentación de bovinos y otras especies de

1. Artículo derivado del trabajo de investigación de maestría Chará, P.F (2014). *Evaluación del efecto de dos arreglos silvopastoriles con botón de oro (Tithonia diversifolia) sobre la población de macroinvertebrados y producción de hojarasca en zona de vida de bosque húmedo premontano*. M.Sc Thesis, Universidad del Tolima.

2. Profesional de Reconversión Ganadera ASOPALM, Armenia, Colombia

3. Profesor Departamento de Producción y Sanidad Vegetal Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia

4. Profesor titular Universidad del Tolima, Departamento de Producción Pecuaria; Grupo de Investigación Sistemas Agroforestales Pecuarios, Ibagué, Colombia. jrmora@ut.edu.co

interés pecuario (Calle, et al., 2011; Murgueitio e Ibrahim, 2008).

De manera alternativa, los sistemas silvopastoriles constituyen una opción ambientalmente más amigable que los sistemas convencionales de producción ganadera (Sánchez et al., 2010). En paisajes ganaderos tropicales se han probado arreglos silvopastoriles que mejoran la productividad de las pasturas y del ganado (Hollman et al., 2004), aumentan los ingresos (Dagang y Nair, 2003), diversifican la producción (Current et al., 1995), proveen servicios ecosistémicos como almacenamiento de carbono (Chacón et al. 2006), incremento de la biodiversidad (Harvey et al., 2006) y control de erosión por reducción de la escorrentía superficial (Ríos, 2006).

Los SSP, además de producir forraje para los animales, generan servicios ecosistémicos. Uno de ellos es la conservación de los suelos, vía mejoramiento del aporte de materia orgánica y mejoramiento de los atributos físicos, químicos y biológicos (Ibrahim et al., 2006). El aporte del componente leñoso de los SSP se da vía descomposición de la hojarasca. Una vez que los materiales orgánicos provenientes de la hojarasca (residuos de hojas, pedazos de ramas, frutos y estiércol) ingresan a los compartimentos del suelo, estos van a enriquecer uno u otro compartimiento, dependiendo de la calidad de estos. La descomposición de la hojarasca implica la desaparición más o menos rápida de la materia prima vegetal, que en general se divide mecánicamente, siendo mezclada y enterrada con el suelo por la actividad de determinados organismos y atacada rápidamente en este medio por hongos y bacterias (Labrador, 2001).

Varios factores intervienen en el proceso de transformación de los materiales orgánicos en el suelo. Un primer factor es la naturaleza y el estado de los restos orgánicos, que pueden ejercer acciones positivas o negativas sobre

la actividad microbiana responsable de la transformación. Otro factor es la partición de la hojarasca, realizada por la mesofauna, que constituye la vía de entrada principal de los nutrientes en el suelo y es uno de los puntos clave del reciclado de la materia orgánica y nutrientes (Vitousek et al., 1994; Aerts & De Caluwe, 1997).

Varios autores han estudiado con detalle la dinámica de la descomposición de la hojarasca de plantas leñosas (Schlesinger & Hasey, 1981; Aranda et al., 1990; Gallardo & Merino, 1993; Moro et al., 1996; Berg, 2000; Moro & Domingo, 2000). Sin embargo, hay pocos estudios sobre la dinámica de la descomposición de la hojarasca en pastizales (Bardgett y Shine 1999), a pesar de su importancia en la producción primaria y secundaria, sobre todo en sistemas donde los nutrientes disponibles para la vegetación escasean (Marques, 2013).

Es importante realizar la modelización de la descomposición de los materiales orgánicos. La modelización del proceso de descomposición tiene interés para caracterizar los cambios observados a lo largo del tiempo y poder realizar predicciones acerca de las pérdidas anuales esperables. Estas investigaciones permiten conocer la tasa de descomposición de la materia vegetal, así como planificar los aportes de materia orgánica a realizar en los agroecosistemas con vistas a mantener la sostenibilidad de este (Porta et al., 2003). Se han propuesto un gran número de ecuaciones que implican diversas consideraciones. El primer enfoque, que todavía es el más extendido, es el modelo exponencial simple (Jenny et al., 1949; Olson, 1963). Este modelo asume que la tasa de descomposición es constante a lo largo del tiempo, por lo que dinámicas de descomposición con una fuerte curvatura decreciente no pueden ajustarse adecuadamente al mismo. Atendiendo a las dos fases naturales de la dinámica de la descomposición, se plantea el modelo

exponencial doble, que normalmente mejora el modelo exponencial simple y su empleo también ha sido amplio (Gillon et al., 1993; Rovira y Vallejo, 2002; 2010; Coûteaux et al., 2001).

El estudio de este proceso de descomposición de la hojarasca es importante en virtud del aporte de nutrientes al suelo que de dicha degradación de los materiales orgánicos puede generarse. Cabe anotar que en este trabajo se hace una comparación de la capacidad de acumulación y velocidad de descomposición de la hojarasca en dos arreglos agroforestales; estos son un banco forrajero (BF) de *Tithonia diversifolia* en alta densidad de plantas sometidas a corte frecuente y un sistema silvopastoril intensivo (SSPi) con esta misma especie, pero con mucho menor densidad de plantas, y asociada con gramíneas sometidas a ramoneo y pastoreo; así, se parte de la existencia de una fitomasa que contribuye a la acumulación de hojarasca. Es de advertir que no se incluyó en el análisis la interacción con los pastos y el ganado y, por tanto, el manejo y uso de los dos sistemas, aunque sí se discuten sus efectos con los aportes de otros estudios.

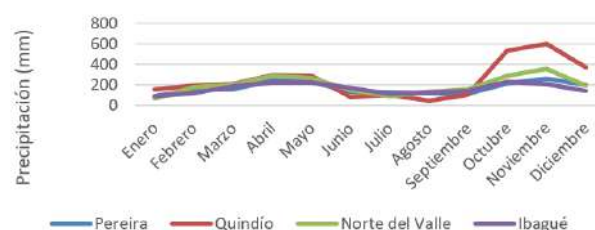
En esa línea, el alcance de esta investigación busca dar respuesta a la pregunta: ¿cuál es la capacidad de acumulación de hojarasca y su velocidad de descomposición en dos sistemas silvopastoriles? Así, se hipotetiza que los Bancos Forrajeros proveen un microambiente propicio para la acumulación de hojarasca y una menor velocidad de descomposición de esta. Para probar esta hipótesis, en este trabajo el objetivo fue determinar la capacidad de acumulación y descomposición de hojarasca en dos arreglos silvopastoriles con *Tithonia diversifolia*, en los periodos secos y de lluvias en zonas de bosque húmedo premontano.

Área de estudio

Se trabajó en cuatro predios; tres de ellos ubicados en la vertiente occidental de la cordillera central, en los municipios de Ulloa

(Valle del Cauca) a 4° 40' N 75° 46' O y 1.400 m de altitud; Filandia (Quindío) a 4° 39' N 75° 40' O y 1.600 m de altitud; Pereira (Risaralda) a 4° 43' N 75° 40' O y 1.659 m de altitud, y un predio ubicado en la vertiente oriental de la cordillera central en el municipio de Ibagué (Tolima) localizado a 4°26' N 75° 12' O y 1.400 m de altitud. Todos los predios tienen régimen de precipitación bimodal de alrededor de 1900 y 2000 mm anuales (Figura 1), la temperatura oscila entre 18 y 23 °C y la humedad relativa entre 80 y 90%, en una zona de vida de Bosque Húmedo Premontano (Holdridge, 1967). En cada uno de los predios seleccionados se encuentran establecidos dos sistemas de producción de forraje para la alimentación de bovinos: un arreglo silvopastoril intensivo (SSPi) de ramoneo, donde el botón de oro (*Tithonia diversifolia*) fue sembrado a 50 cm entre plantas y 3 m entre surcos, para una población de 6.666 plantas ha-1, en asocio con pasto estrella (*Cynodon plectostachyus*), y un banco forrajero (BF) para corte y acarreo con una densidad de siembra de 0,5 m entre plantas y un metro entre surcos, para una densidad de 20.000 arbustos ha-1; el forraje cosechado se destina para suplementar el ganado en la canoa.

Figura 1. Precipitación típica de la zona de estudio en el año 2014.



Fuente: IDEAM, 2014.

Caracterización del componente leñoso y hojarasca en los arreglos silvopastoriles

En cada sistema se monitoreó temperatura ambiente, temperatura del suelo, altura de botón de oro y caída de hojarasca; para

ello se usó en una parcela de 25 m x 25 m; el monitoreo se hizo durante seis meses, cubriendo los períodos de lluvias y verano. En cada finca se contó con 8 unidades de muestreo, para un total de 32 unidades de análisis en las cuales se hicieron las diferentes pruebas. De cada medición se hizo tres repeticiones, exceptuando los puntos de medición de hojarasca, en los cuales se hicieron 5 marcos. En las épocas seca y lluviosa se hicieron mediciones de hojarasca cada 15 días en todos los predios y los dos sistemas, usando un marco de PVC de 50 x 50 cm y tomando 5 puntos seleccionados al azar. Se determinó el espesor de la hojarasca y la distribución (cobertura) del material en el marco; se recolectaron todos los residuos orgánicos encontrados sobre la superficie del suelo (hojas, ramas, frutos y semillas). La temperatura del suelo se tomó en cada muestreo a una profundidad de 10 cm usando un termómetro de sonda; la temperatura ambiente se monitoreó mediante los registros de cuatro estaciones meteorológicas del IDEAM, tres en el Quindío y una en el Tolima. La hojarasca se pesó en fresco y, después de secarla en un horno a 70°C, se estimó el peso seco (Arias, Camargo & Dossman, 2008).

Para la medición de la hojarasca producida por el botón de oro en el SSPi de las cuatro fincas, se usaron tres marcos de 50 x 50 cm, con una base de malla plástica (ojo de malla <0,5 cm) y dispuestos a una altura de 30 cm del suelo junto al tallo de las plantas de botón de oro; esta medición se hizo durante todo el periodo vegetativo de la planta (45 días). Se midió la altura del arbusto forrajero desde los 39 días de la última cosecha o ramoneo hasta el momento de la utilización del forraje (45 días); este periodo se denomina óptimo de utilización. La altura de las plantas se registró con una cinta métrica desde la punta de la hoja bandera hasta la superficie del suelo. Para el ingreso de los animales se hizo medición de la

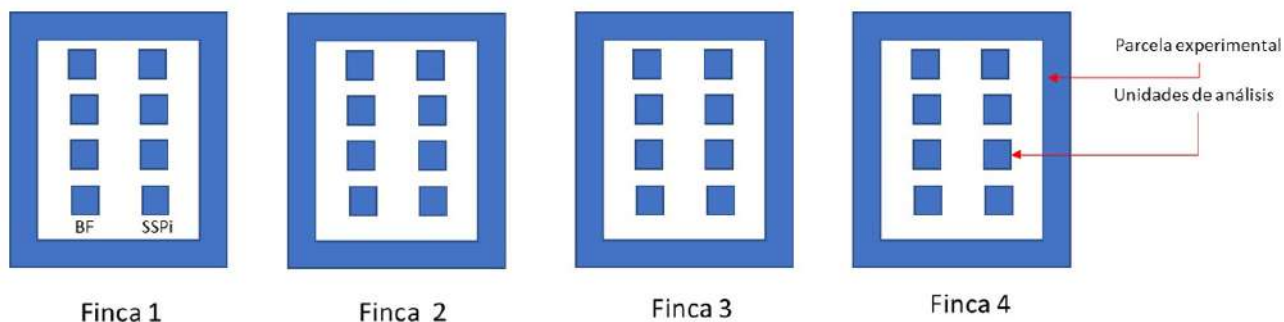
producción de forraje mediante el método del botanal en los SSPi.

La producción de forraje por arbusto de *T. diversifolia* se estimó calculando el volumen y la producción de forraje con las ecuaciones (1 y 2) propuestas por Mora-Delgado & Holguín (2018): $Vol = DD (2/3 \pi HD (D1/2 * D2/2))$ (Ecuación 1). Donde DD es la densidad del dosel; esta estimación se hace con base en una adaptación del método de USDA Forest Service (2010). Dicha densidad del dosel se estima cualitativamente, mediante la clasificación visual de la copa de los arbustos y mediante una calificación del grado de oclusión. HD es la altura del dosel y D1 y D2 son diámetros de la copa. $\bar{Y} = -0,4 + 1,56X - 0,05X^2$ (Ecuación 2). Donde X es el volumen estimado con la ecuación 1. El sistema SSPi fue ramoneado por bovinos adultos, con una carga promedio de 2,5 UGG ha-1 (UGG = 450 kg). En los predios El Edén (Tolima), San José (Valle) y La Esperanza (Risaralda), los animales eran cruces de razas cebuinas y de *Boss Taurus*, mientras que en la finca Agua Bonita (Quindío) eran Aberdeen Angus negro puros.

Análisis estadístico

Para las variables de acumulación de hojarasca y medidas de las plantas, el diseño experimental utilizado fue un análisis bifactorial en bloques generalizados, donde el primer factor es el arreglo (Sistema Silvopastoril Intensivo y Banco Forrajero) y el segundo factor es la época (sequía y de lluvias); los bloques fueron las cuatro fincas.

Figura 2. Modelo analógico del diseño de campo del estudio



Fuente: Los autores

La notación del modelo estadístico utilizado es como sigue:

$$y_{klj} = \mu + \alpha_k + \gamma_i + \zeta_{ki} + \beta_j + \varepsilon_{kij}$$

Donde, y_{klj} es la variable de respuesta; μ la media general; α_k es el efecto del factor arreglo silvopastoril; γ_i es el efecto del factor época; ζ_{ki} es el efecto de la interacción; β_j es el efecto de bloque, y ε_{kij} es el error de ensayo. La distribución de los datos fue verificada con la prueba de Shapiro-Wills, por lo cual se utilizó el Modelo Lineal General Mixto del paquete estadístico INFOSTAT (Di Rienzo et al., 2008).

Modelación de la descomposición de hojarasca

La velocidad de degradación de la hojarasca del botón de oro se midió en cada parcela experimental; para ello se utilizaron bolsas de descomposición en cada arreglo silvopastoril; cada bolsa de 10 x 10 cm se llenó con 10 gramos de forraje de *T. diversifolia* y fue dispuesta sobre la superficie del suelo y cubierta por hojarasca, a razón de 3 réplicas para cada momento de lectura. El procedimiento se llevó a cabo durante 9 meses, cubriendo condiciones de época seca y época lluviosa. El pesaje de las bolsas se hizo cada 15 días, cuyo material se deshidrató en un horno y se registró el peso seco de la hojarasca remanente; dicho valor se expresó en base porcentual (Marques, 2013) como variable dependiente del tiempo.

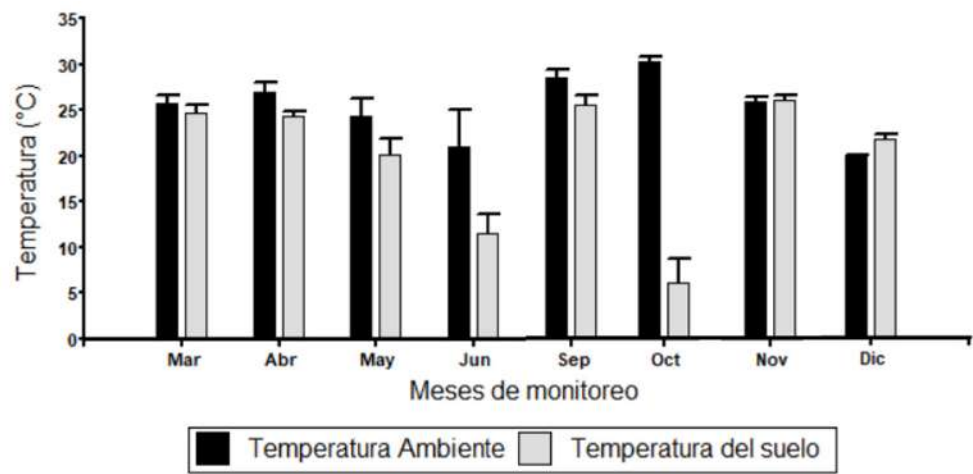
El proceso de descomposición se ajustó mediante tres modelos matemáticos, con diversas características, que describen la pérdida de masa a lo largo del tiempo; estos fueron: modelo exponencial (); modelo lineal ($y =$) y modelo potencial (). Mediante el coeficiente de determinación (R^2) se seleccionó la ecuación que mejor predice la descomposición.

Variación térmica

Los datos sugieren diferencias significativas entre los valores más bajos de la temperatura del suelo respecto a los valores de la temperatura ambiente (Figura 3). También es significativa ($p < 0,0001$) la variación térmica en los diferentes meses del año, tanto en la temperatura ambiente como en la temperatura del suelo, denotando una tendencia de las temperaturas más bajas en los meses de mayor precipitación y las más elevadas en los meses de época seca; no obstante, hay que notar que la mayor variabilidad térmica se da en la temperatura del suelo, sugiriendo una capacidad de mantener la temperatura baja por mayores periodos de tiempo aun cuando las temperaturas del ambiente se mantienen altas. En la Tabla 1 se observan diferencias significativas en la temperatura media del suelo entre la época seca y la época húmeda. Igualmente, hubo diferencia de medias significativas entre los arreglos, sugiriendo una menor temperatura ambiente en el Banco Forrajero con *T. diversifolia*; la temperatura ambiente dentro del SSPi fue mayor en contraste

con la temperatura del suelo, que fue menor. En la temperatura del suelo, es notoria la diferencia de medias significativa entre épocas; sin embargo, no se presentó influencia por efecto del arreglo sobre esta variable.

Figura 3. Variación térmica en el ambiente y en el suelo durante los meses de muestreo.



Fuente: Los autores

Tabla 1. Variación térmica media por época y arreglo en sistemas silvopastoriles

	SSP	BF	Media
Temperatura ambiente			
Seca	27,80±0,95 ^a	26,40±0,95 ^a	27,10±0,67 ^a
Húmeda	26,61±0,87 ^a	23,78±0,87 ^b	25,19±0,61 ^b
Media	27,21±0,64 ^a	25,09±0,64 ^b	
Temperatura del suelo			
Seca	23,42±1,19 ^a	23,07±1,19 ^a	22,28 ± 1,72 ^a
Húmeda	23,11±1,09 ^a	20,83±1,09 ^a	19,61 ± 1,97 ^b
Media	23,27 ± 0,81 ^a	21,95 ± 0,81 ^a	

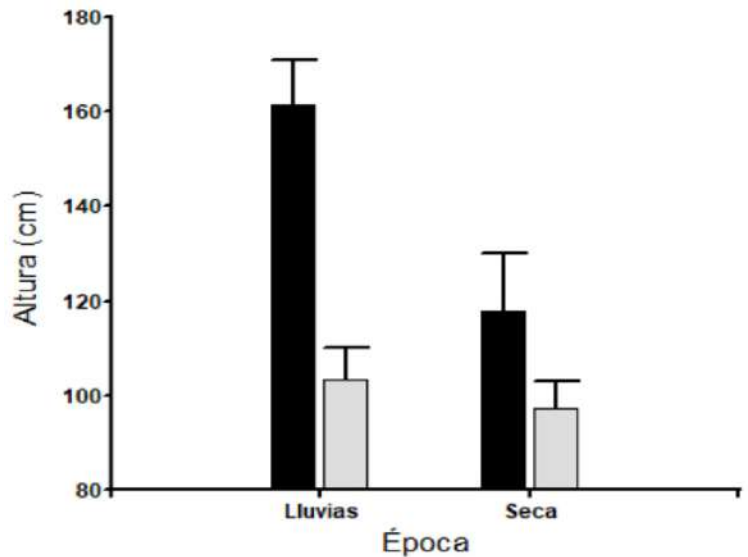
Fuente: Los autores

Parámetros con letras diferentes significan diferencia significativa, ($p < 0,05$), letras iguales significan que no hay diferencia significativa. ($p > 0,05$).

Altura de las plantas

Los datos confirman un mayor desarrollo de dosel en los bancos forrajeros (BF), especialmente en las épocas húmedas (Figura 4). La altura media en edad de aprovechamiento de las diferentes evaluaciones de las plantas de *T. diversifolia* fue significativamente más alta en los bancos forrajeros en la época lluviosa y seca respecto al arreglo SSPi también en época lluviosa y seca; esto sugiere que la mayor tasa de crecimiento en los bancos forrajeros se deba probablemente a la ausencia de afectación del ramoneo causado por los animales en los SSPi. Las diferencias son significativas entre arreglos ($p < 0,0001$) y entre épocas ($p = 0,0061$), pero no en la interacción ($p = 0,0366$).

Figura 4. Altura de las plantas de *T. diversifolia* en los dos sistemas evaluados en periodo de lluvia o época seca.



Fuente: Los autores

Producción de forraje y de hojarasca

La mayor producción de forraje fue notoria en el BF versus el SSPi durante la época de lluvias, lo cual se refleja también en la hojarasca (Tabla 2), pues los valores obtenidos en los diferentes muestreos indican una producción de hojarasca mayor en los bancos forrajeros respecto a los SSPi, tanto en los meses secos como en los lluviosos, lo cual es de esperarse dada la mayor densidad de *T. diversifolia* en este arreglo, ya que produce una alta masa de follaje. No obstante, es evidente una menor dispersión de los valores en los SSPi. Las diferencias son estadísticamente significativas entre sistemas ($p < 0,0001$), pero no entre épocas ($P = 0,7989$).

En cuanto a la cobertura, no hubo diferencias entre épocas ($p = 0,1241$), pero si entre arreglos ($p < 0,0001$). La interacción entre los dos factores fue significativa ($p = 0,0308$) como se puede ver en la Tabla 2, donde se denota una mayor cobertura del suelo con la hojarasca producida en el banco forrajero respecto al SSPi, tanto en la época seca como en la época húmeda, esto debido a la mayor producción de forraje del arreglo silvopastoril. Si bien, el espesor del mantillo en el BF es mayor con una diferencia de medias significativa entre sistemas ($p = 0,0159$), con una media de $1,26 \pm 0,08$ cm y $1 \pm 0,08$ cm para BF y SSPi, respectivamente; no se presentaron diferencias entre épocas ($p = 0,7161$) ni tampoco en la interacción ($p = 0,9968$)

Tabla 2. Parámetros productivos (Forraje, hojarasca, cobertura, espesor) del mantillo en dos arreglos silvopastoriles.

Factor	Fuente de variación	Banco Forrajero	SSPi
Forraje verde (kg/m ²)	Seca	3,39 ± 0,64 A	1,22 ± 0,64 A
	Húmeda	6,87 ± 0,68 B	2,95 ± 0,58 A
Hojarasca seca (g/m ²)	Seca	108,48 ± 9,09 A	30,01 ± 9,09 B
	Húmeda	102,69 ± 8,30 A	31,48 ± 8,30 B
Cobertura (%)	Seca	38,15 ± 2,89 B	16,81 ± 2,89 C
	Húmeda	48,42 ± 2,64 A	15,08 ± 2,64 C
Espesor (cm)	Seca	1,24 ± 0,11 AB	0,98 ± 0,11 B
	Húmeda	1,28 ± 0,10 A	1,02 ± 0,10 AB

Fuente: Los autores

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0,05$)

Degradación de la materia orgánica

En las parcelas de monitoreo se observa que, transcurrido el tiempo de estudio, quedan residuos vegetales en los dos sistemas, que oscilan entre 5 y 7 g de materia seca en las bolsas de descomposición. Se descartaron tres datos por considerarlos atípicos (166,70; 252,10 y 151,16 g). La degradación de la hojarasca fue modelada mediante diferentes ecuaciones (Tabla 3), siendo el modelo potencial el que mejor se ajusta a la cinética de degradación de la materia orgánica, tanto para la hojarasca degradada en un SSPi como en el BF. Este modelo indica un comportamiento no lineal de la descomposición de la hojarasca, correspondiendo a una forma de curva decreciente, dado un valor del coeficiente β negativo. En la Figura 5, se observa que en el arreglo SSPi el coeficiente

es superior al de BF, lo cual sugiere una mayor tasa de descomposición de los materiales orgánicos en este sistema. El R^2 indica una mayor determinación del tiempo sobre la descomposición de la hojarasca en el sistema SSPi respecto a BF.

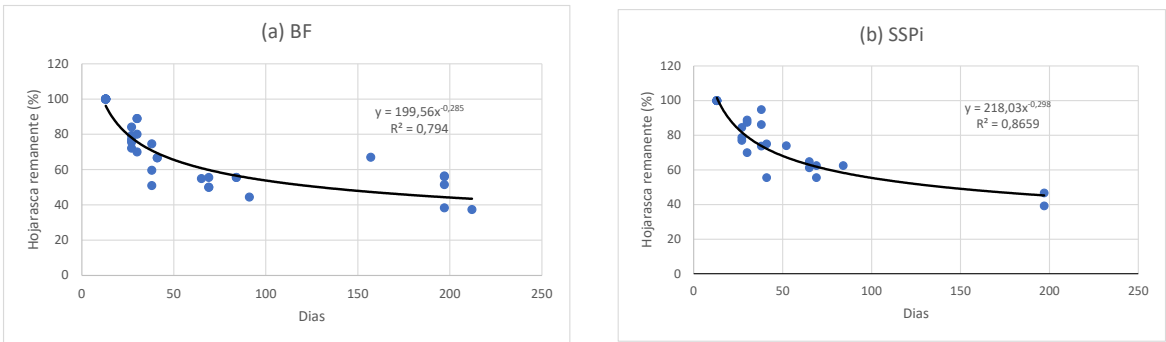
Los modelos permiten predecir que el tiempo de descomposición puede explicar alrededor de un 79% y 87% (para BF y SSPi, respectivamente) de la degradación, lo cual implica la existencia de otros factores que la determinan. Esto se verifica por los valores de descomposición de la hojarasca, según los cuales en el SSPi se tuvo remanentes alrededor del 40% a los 187 días, mientras en el arreglo BF quedaba un 37% de material orgánico remanente en un periodo de 199 días; lo cual significa que en el sistema SSPi se presentó una mayor tasa de degradación dado que diariamente se descompuso a razón de 0,33%, en comparación a 0,31% de degradación diaria bajo el BF.

Tabla 3. Modelos matemáticos usados para la modelación de la descomposición de la hojarasca.

Modelo	Arreglo	Ecuación	R ²
Exponencial	SSPi	$96,976 \cdot \exp(0,005x)$	0,76
	BF	$90,05 \cdot \exp(0,005x)$	0,64
Potencial	SSPi	$218,03X \cdot \exp(-0,298)$	0,87
	BF	$199,56 \cdot \exp(-0,285)$	0,79
Lineal	SSPi	$-0,3262X + 95,206$	0,67
	BF	$-0,3187X + 89,639$	0,59

Fuente: Los autores

Figura 5. Representación gráfica de los modelos no lineales de la degradación de la hojarasca en los arreglos (a) bancos forrajeros y (b) Sistema silvopastoril intensivo.



BF: Bancos forrajeros; SSPi: Sistemas silvopastoriles intensivos

Fuente: Los autores

Discusión

Cuando hay una radiación solar bimodal durante el año influye sobre las medias $[(\text{max}+\text{min})/2-1]$ de las temperaturas ambientales y del suelo; un estudio de la temperatura mensual ambiental en Turrialba (Costa Rica), muestra que también se presentan picos de la temperatura mensual del suelo de 2 a 50 cm de profundidad (Forsythe, 2002). Por consiguiente, esto afecta e influye en las temperaturas del suelo y la producción de biomasa.

Mayor precipitación incide directamente en el aumento de la productividad de las plantas, lo cual se confirma en este estudio en los dos arreglos analizados en este trabajo. Al respecto, se reporta que la productividad de las plantas depende de la cantidad disponible de agua y de la eficiencia de la planta en el uso de ella; el agua puede limitar el crecimiento y la productividad de plantas mesófitas, debido a periodos secos inesperados o a una situación de lluvia baja (Yepez y Silveira, 2011). Eso se expresa en una mayor caída de hojas en la época seca, puesto que el aparato fotosintético en su conjunto probablemente es afectado negativamente por la onda de calor, así, en ausencia de mecanismos de adaptación o aclimatación a eventos fuera de temporada, como pérdida de hojas (Rennenberg et al., 2006).

El proceso de mayor acumulación de hojarasca se evidenció en la época seca, especialmente en los bancos forrajeros, donde la densidad de siembra fue significativamente más alta que en el SSPi y donde no había consumo directo por parte de los animales. La cantidad de biomasa producida en los sistemas estudiados permite inferir la importancia de los sistemas agroforestales, para restaurar la fertilidad del suelo. Según Kugedera (2019), esto se logra a través de la descomposición de la hojarasca por la acción de la fauna del suelo, que es esencial para la descomposición de los residuos vegetales.

Además, sobre esto, varios autores han reportado que la cantidad de hojarasca producida constituye una fuente de abastecimiento de materiales orgánicos al suelo, la cual será degradada e incorporada como materia orgánica y minerales, tras la acción de macroinvertebrados en la hojarasca y microbiota edáfica (Mora-Delgado et al., 2019; Kaschuk, et al., 2011). La acumulación de hojarasca tuvo especial notoriedad en los bancos forrajeros estudiados, lo cual es relevante en el proceso de reciclaje de nutrientes entre las plantas y el suelo, proceso ya estudiado con *T. diversifolia* y otras leguminosas forrajeras por Parthey et al. (2010). De esta manera, el análisis de la evolución de la hojarasca y la materia orgánica en el perfil edáfico puede contribuir a entender las consecuencias de los cambios producidos en los usos del suelo por acción antrópica (Marqués, 2013).

En la evaluación de la descomposición de la hojarasca realizada en este estudio aún quedaba material entre el 37% en BF y 47% en el SSPi, a los 200 días de descomposición de la misma. Es probable que la diferencia en los resultados de la tasa de descomposición entre diferentes materiales orgánicos esté relacionada con la diversidad de la meso y macrofauna presente, pues esta es la responsable de la acción de fragmentar físicamente los residuos vegetales que mejora las condiciones del material para que la microfauna continúe con el proceso de descomposición (Gómez, 2015). Además, estudios demuestran que el efecto del ramoneo mejora la estructura del material vegetal, produciendo un forraje con mayor contenido celular soluble y con menor relación lignina/nitrógeno (Semmartin et al., 2007); hay que tener en cuenta la presencia de residuos de gramínea en la hojarasca del sistema SSPi, que influye posiblemente en la menor relación lignina/N.

Por otra parte, en el proceso de acumulación y descomposición de la hojarasca, es fundamental tener en cuenta que las gramíneas del SSPi

poseen un alto potencial de hacer cobertura del suelo y generar hojarasca en arreglos agroforestales (Ordúz-Rodríguez et al., 2011); a su vez, el ganado puede pisotear, fraccionar y enriquecer con nutrientes y microorganismos la hojarasca del arbusto. El pisoteo afecta directamente a las plantas por el corte, rotura o aplastamiento del material fotosintético (Borelli & Oliva, 2001); eso puede afectar las cantidades y el tiempo de degradación. La sumatoria de estos factores posiblemente explica la mayor tasa de degradación en los SSPi.

No obstante, la tasa de descomposición en este estudio fue lenta respecto a otras especies forrajeras leñosas. Por ejemplo, la dinámica de descomposición de la hojarasca en un sistema silvopastoril donde el componente leñoso estuvo representado en *Leucaena leucocephala* sugiere que el material descompuesto fue muy rápido, quedando sin descomponer a los 210 días solo el 3,12% de la hojarasca (Sánchez, et al. 2009). Esto, podría estar asociado a un alto grado de lignificación de la hojarasca de *T. diversifolia*, lo cual podría haber generado un material orgánico con alta relación C/N, lo que determina una lenta descomposición (Gómez, 2015; Martín y Rivera, 2004). De hecho, hay un estudio que sugiere un alto contenido de Lignina Detergente Ácida (LDA) en hojas de *T. diversifolia*, respecto a una leguminosa como *L. leucocephala*, con valores de 26,5% y 15,6%, respectivamente, pero valores bajos de materia orgánica para la primera y porcentajes de proteína similares del 10% para ambas especies (Verdecía et al., 2014), lo cual implicaría una relación Lignina/N alta para *T. diversifolia*. Esto podría sugerir que *T. diversifolia* es un material lignocelulítico de mayor resistencia a la descomposición, si se la compara con leguminosas como *L. leucocephala*. Sin embargo, la degradabilidad, puede depender del estado de desarrollo de la planta, lo que implica el nivel de lignificación de los residuos vegetales; así el estudio de Partey et al. (2011), reporta que después de 8 semanas, la cantidad

de material de hoja de *T. diversifolia* restante era insignificante en comparación con otras especies forrajeras, especialmente con *A. auriculiformis* registrando aproximadamente el 31% del material de hoja en descomposición restante en la semana 12 del experimento y con *L. leucocephala* que presentó un remanente de aproximadamente un 35% a la octava semana.

En cuanto a la modelización del proceso de descomposición, en este estudio fue el modelo potencial el que tuvo el mejor estadístico de bondad de ajuste. Muchos investigadores (Gómez, 2015; Partey et al., 2011; Márquez, 2013) han buscado el empleo de modelos matemáticos que de una forma simple y directa expliquen el fenómeno de la descomposición y ajusten la biomasa remanente mediante funciones decrecientes. Estas ecuaciones permiten comparar las tasas obtenidas con las publicadas por otros autores, así, mientras en este estudio el modelo de mejor ajuste correspondió a una ecuación potencial, los estudios de Gómez (2015) y Partey et al. (2011) reportaron mejores estadísticos de bondad de ajuste con un modelo exponencial simple. De todas maneras, en todos los casos la modelación correspondió al uso de ecuaciones de regresión no lineales entre porcentaje de descomposición, tasa y tiempo.

De esta manera, la modelización del proceso de descomposición a través de ajustes a ecuaciones puede proporcionar buenos resultados si el modelo ha sido diseñado para reflejar los mecanismos biológicos que resultan a lo largo de todo el proceso. En este estudio, la modelización de la tasa de descomposición nos permitió predecir que bajo estas condiciones meteorológicas y con la estructura química de la hojarasca analizada, el remanente de *T. diversifolia* podría llegar a los niveles menores del 30% de los materiales orgánicos remanentes después de los 450 días dada la forma de la curva con tendencia asintótica después de

los 300 días, desde los cuales la pendiente disminuye significativamente.

Conclusiones

La producción de hojarasca está relacionada con el tipo de arreglo agroforestal, siendo más abundante en el sistema BF, con mayor densidad de plantas ha⁻¹ y, por tanto, mayor forraje proveniente del componente leñoso del sistema. En el hábitat de mayor perturbación (SSPi) y menor densidad de arbustos, la relación fue inversa con variables microclimáticas como el espesor de la hojarasca, cobertura y temperatura del suelo. Si bien no hubo diferencias estadísticas en las interacciones, es notoria la tendencia a un mejor desempeño productivo de los BF que en los SSPi en los meses lluviosos. La biomasa remanente media es significativamente diferente para la hojarasca proveniente de los dos arreglos, en las cuatro parcelas analizadas. Los arreglos de BF mantienen valores más elevados que los SSPi, siendo mayor la tasa de descomposición en estos últimos, posiblemente relacionada con el efecto de ramoneo que incide en la degradabilidad de los materiales vegetales, vía reducción de la relación lignina/N.

Los modelos matemáticos propuestos para ajustar la evolución de la cantidad de biomasa a lo largo del tiempo presentan estadísticos de bondad de ajuste aceptables, pero el modelo que mejor se ajusta es el que, a criterio del investigador, representa mejor la lógica biológica. Así, la descomposición de la hojarasca de *T. diversifolia* se ajusta adecuadamente al modelo potencial.

Se recomienda estudiar la influencia de la calidad del material vegetal en la dinámica de la descomposición de la materia orgánica para conocer los componentes orgánicos e inorgánicos que constituyen la hojarasca, pudiendo establecerse comparaciones entre los niveles de lignina, nitrógeno y otros compuestos determinantes en el proceso.

Es de advertir que, de acuerdo con las evidencias recabadas en este estudio y las limitaciones explicitadas en el documento, se considera que los resultados son más confiables en un modelo de predicción de hojarasca para el banco forrajero monoespecífico de *Tithonia diversifolia*, dadas las múltiples interacciones adicionales que deben estudiarse con más profundidad en el SSPi.

Agradecimientos.

Al proyecto Ganadería Colombiana Sostenible, liderado por Fedegan, por permitir el uso de información de campo; agradecimientos póstumos a la Dra. Vilma Amparo Holguín Castaño (q.e.p.d.), integrante del Grupo de Investigación Sistemas Agroforestales Pecuarios de la Universidad del Tolima, por su acertada codirección.

Referencias bibliográficas

- Borrelli P. y Oliva G. (2001). Efectos de los animales sobre los pastizales: Borrelli, P. y Oliva, G. (Eds.). Ganadería ovina sustentable en la Patagonia austral. *Tecnología de manejo extensivo*, Ediciones Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Buenos Aires. pp. 101-130.
- Calle Z, Murgueitio E, Botero LM. (2011). El totumo, árbol de las Américas para la ganadería moderna. Federación Colombiana de Ganaderos. *Revista Carta FEDEGAN*. No. 122, enero a febrero de 2011. Bogotá, Colombia. Pp. 64-73.
- Couteaux, MM, Bottner, P, Andersen, JM, Berg, B, Bolger, T, Casals, P, Romanya, J, Thiery, JM, Vallejo, VR. (2001). Decomposition of ¹³C-labelled standard plant material in a latitudinal transect of European coniferous forests: Differential impact of climate on the decomposition of soil organic matter. *Biogeochemistry* 54, 147-170.
- Cruz J. & Niuewenhuysen A. (2008). *El establecimiento y manejo de leguminosas arbustivas en bancos de proteína y sistemas en callejones*. Turrialba. CATIE. 152.
- Current D. (1997). ¿Los sistemas agroforestales generan beneficios para las comunidades rurales? Resultados de una investigación en América Central y el Caribe. *Agroforestería de las Américas* 4(16):8-14.
- Forsythe, W. (2002). Parámetros ambientales que afectan la temperatura del suelo en Turrialba, Costa Rica, y sus consecuencias para la producción de cultivos. *Agronomía Costarricense* 26(1): 43-62
- Gillon, D., Joffre, R., Ibrahima, A. (1993). Initial litter properties and decay rate: a microcosm experiment on Mediterranean species. *Canadian Journal of Botany* 72, 946-954.
- Grigal, DF, Mccoll, JG. (1977). Litter decomposition following forest fire in northeastern Minnesota. *Journal of Applied Ecology* 14:531-538.
- Harvey C.; Medina A.; Merlo D; Vilchez S.; Hernández B.; Sáenz J.; Maes J.; Casanoves F.; Sinclair F. (2006). Patterns of animal diversity in different forms of tree cover in agricultural landscapes. *Ecological Applications* 16(5):1986-1999. 14 p.
- Holmann F; Rivas L; Argel P; Pérez E. (2004). *Impacto de la adopción de pastos Brachiaria: Centroamérica y México*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Documento de trabajo No. 197. Cali, Colombia. 32 p.
- Howard, PJ; Howard, DM. (1974). *Microbial decomposition of tree and shrub leaf litter. I. Weight loss and chemical composition of decomposing litter*. Oikos 25.
- Jenny, H., Gessel, SP, Bingham, FT. (1949). Comparative study of decomposition of organic matter in temperate and tropical regions. *Soil Science* 68:419-432.
- Kaschuk, G., Alberton, O. & Hungria, M. (2011). Quantifying effects of different agricultural land uses on soil microbial biomass and activity in Brazilian biomes: inferences to improve soil quality. *Plant and soil*. 338:467-481.
- Kugedera, A. T. (2019). The Use of Agroforestry Practices in Soil Conservation. *International Journal of Agriculture & Agribusiness ZAMBRUT*. Volume 3, Issue 1: 115-121.

- Márquez, L. (2013). *Modelización de la descomposición de la materia orgánica en suelos del Pirineo Central*. Tesina de maestría. Universidad de Zaragoza. 122 p.
- Molina CH, Molina C, Molina E, Molina JJ. (2012). Manejo agroecológico de la caña de azúcar y sistemas silvopastoriles intensivos. *Revista Tecnicaña*, 29, 28-36.
- Mora Delgado, J., Silva-Parra, A. & Escobar, N. (2019). Bioindicadores en suelos y abonos orgánicos. Universidad del Tolima, Ibagué. 120 p.
- Mora-Delgado, J., Holguín, VA (2018). *Aplicación de modelos matemáticos no lineales para la estimación de biomasa forrajera de Tithonia diversifolia (Hemsl.) A. Gray*. Rev. U.D.C.A. Act. & Div. Cient. 21(1): 43-50.
- Murgueitio E. & Ibrahim M. (2008). *Ganadería del futuro: investigación para el desarrollo. Ganadería y medio ambiente en América Latina*. Cali, Colombia: Fundación CIPAV.
- Murgueitio, E., Xóchitl-Flores, M., Calle, Z., Chará, J., Barahona, R., Molina, CH, et al. (2015). Productividad en sistemas silvopastoriles intensivos en América Latina. En sistemas agroforestales. Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales. CATIE, Turrialba, Costa Rica. Editorial CIPAV, Cali, Colombia, pp. 59-101.
- Olson, JS. (1963). Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology* 44: 322-331.
- Ordúz-Rodríguez, Javier Orlando; Calderón M., Claudia Liliana; Bueno, Guillermo; Baquero P. (2011). José Eurípides. Evaluación de gramíneas y leguminosas forrajeras como coberturas y su influencia en el control de malezas en el establecimiento de cítricos en el piedemonte del Meta. Corpoica. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, vol. 12 (2), 121-128.
- Pal, D., Broadbent, FE. (1974). Kinetics of rice straw decomposition in soils. *Journal of Environmental Quality* 4:256-260.
- Partey, ST, Quashie-Sam, SJ, Thevathasan, NV et al. (2011). Decomposition and nutrient release patterns of the leaf biomass of the wild sunflower (*Tithonia diversifolia*): a comparative study with four leguminous agroforestry species. *Agroforest Syst* 81, 123–134. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10457-010-9360-5>
- Pardini, A. (2007). Perspectiva sobre la valorización de los sistemas agrosilvopastoriles en la cuenca del Mediterráneo. *Pastos y forrajes*. 30(1):77.
- Rennenberg, F., Loreto, A., Polle, F., Brilli, S., Fares, Beniwal, R.S. & Gessler, A. (2006). Physiological responses of forest trees to heat and drought. *Plant Biology* 8: 556-571.
- Ríos-Ramírez, JN. (2006). *Comportamiento hidrológico de sistemas de producción ganadera convencional y silvopastoril en la zona de recarga hídrica de la subcuenca del río Jabonal, cuenca del río Barranca, Costa Rica*. CATIE. Turrialba. Disponible en: <http://www.sidalc.net/repdoc/A0742e/A0742e.pdf>.
- Rovira, P., Rovira, R. (2010). Fitting litter decomposition datasets to mathematical curves: Towards a generalised exponential approach. *Geoderma* 155: 329-343.
- Rovira, P., Vallejo, VR. (2002). Labile and recalcitrant pools of carbon and nitrogen in organic matter decomposing at different depths in soil: an acid hydrolysis approach. *Geoderma* 107, 109–141.

- Russo, R., Aráuz, K., Barboza, N., Camacho, M., Martínez, H., Mora, V. (2013). *Los servicios ambientales o ecosistémicos de los sistemas agroforestales y silvopastoriles*. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/317008148_Los_Servicios_Ambientales_o_Ecosistemicos_de_los_Sistemas_Agroforestales_y_Silvopastoriles/link/5c5248bc299bf12be3efdd92/download
- Sánchez, LY, Andrade, HJ & Rojas J. (2010). *Demanda de mano de obra y rentabilidad de bancos forrajeros en Esparza, Costa Rica*. Acta Agron., Volumen 59, Número 3, p. 363-371.
- Sánchez, S., Crespo, G. & Hernández, M. (2009). Descomposición de la hojarasca en un sistema silvopastoril de *Panicum maximum* y *Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit cv. Cunningham. I. Influencia de su composición química. *Pastos y Forrajes*, 32(3), 1.
- Sánchez, T., Lamela, L., Miranda, T., López, O. & Bover, K. (2011). *Tecnologías alternativas: silvopastoreo*. En: H. Ríos, Dania Vargas y F. R. Funes-Monzote, compiladores. Innovación agroecológica, adaptación y mitigación del cambio climático. Mayabeque, Cuba: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. p. 157-164, 2011b.
- Semmartin, M., Garibaldi, LA, Chaneton, EJ. (2007). Grazing history effects on above- and below-ground litter decomposition and nutrient cycling in two co-occurring grasses. *Plant Soil*. 303:177–189. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9497-9>
- USDA Forest Service. (2010). Phase 3 Field Guide - Crowns: Measurements and Sampling, Version 5.0, octubre de 2010. Disponible en: http://www.fia.fs.fed.us/library/field-guides-methods-proc/docs/2011/field_guide_p3_5-0_sec23_10_2010.pdf.
- Van Cleve, K. (1971). Energy and weight-loss functions for decomposing foliage in birch and aspen forests in interior Alaska. *Ecology* 52:720-723.
- Yepes, A. y Silveira, M. (2011). Respuestas de las plantas ante los factores ambientales del cambio climático global (revisión). *Colombia Forestal*, vol. 14 (2), 213-232
- Zuluaga AF, Giraldo C, Chará J. (2011). *Servicios ambientales que proveen los sistemas silvopastoriles y los beneficios para la biodiversidad*. Manual 4, Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible. GEF, BANCO MUNDIAL, FEDEGAN, CIPAV, FONDO ACCIÓN, TNC. Bogotá, Colombia. 36 p.

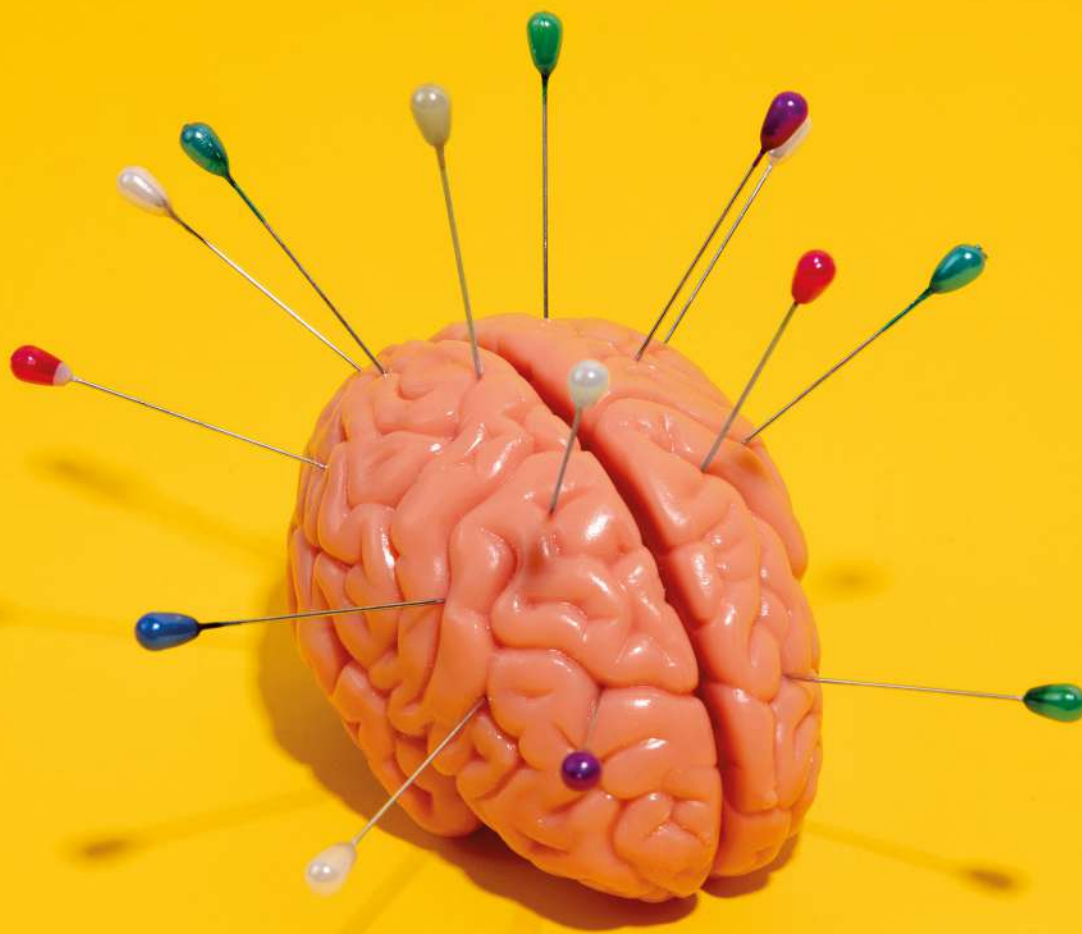
Referencia

Pablo Felipe Chará; Mario J. Gómez Martínez & Jairo Mora Delgado. ***Producción de hojarasca en dos arreglos silvopastoriles con *Tithonia diversifolia* en zona de vida de bosque húmedo premontano en Colombia.***

Revista Ideales, otro espacio para pensar. (2025). Vol. 20, 2025, pp. 9-22

Fecha de recepción: abril 2025

Fecha de aprobación: julio 2025



Universidad
del Tolima



ACREDITADA
DE ALTA CALIDAD

¡Construimos la universidad que soñamos!

**Instituto de Educación
a Distancia**