

## Descomposición y liberación de nutrientes de la hojarasca de árboles en pastizales

### Decomposition and nutrient release from leaf litter of trees in pastures

Delia Ivette Bruno-Eutimio<sup>1</sup> ,  
María de la Luz Avendaño-Yáñez<sup>1</sup> ,  
Yareni Perroni<sup>2</sup> ,  
Josafhat Salinas-Ruiz<sup>3</sup> ,  
Mónica de la Cruz Vargas-Mendoza<sup>1</sup> ,  
Silvia López-Ortiz<sup>1\*</sup> 

<sup>1</sup> Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. km 88.5 Carretera Federal Xalapa-Veracruz, Predio Tepetates, CP. 91690. Municipio Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México.

<sup>2</sup> Universidad Veracruzana, Instituto de Biotecnología y Ecología Aplicada. Av. de las Culturas Veracruzanas No. 101, Col. Emiliano Zapata, CP. 91090, Xalapa, Veracruz, México.

<sup>3</sup> Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba. km 348 Carretera Federal Córdoba-Veracruz. Localidad Manuel León, CP. 94946. Amatlán de los Reyes, Veracruz, México.

\*Autor de correspondencia: [silvialopez@colpos.mx](mailto:silvialopez@colpos.mx)

#### Artículo científico

Recibido: 22 de noviembre 2021

Aceptado: 6 de diciembre 2022

**Como citar:** Bruno-Eutimio DI, Avendaño-Yáñez ML, Perroni Y, Salinas-Ruiz J, Vargas-Mendoza MC, López-Ortiz S (2022) Descomposición y liberación de nutrientes de la hojarasca de árboles en pastizales. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 9(3): e3205. DOI: 10.19136/era.a9n3.3205

**RESUMEN.** Los árboles dispersos en pastizales son una fuente importante de nutrientes, reciclados a través de la hojarasca que los árboles liberan anualmente. El objetivo de este trabajo fue evaluar la descomposición y liberación de nutrientes de la hojarasca de *Vachellia pennatula* y *Lysiloma acapulcense*, en un clima cálido subhúmedo. Se colocaron bolsas de descomposición y se monitoreó la humedad del suelo y temperatura ambiental bajo el dosel de los árboles y en áreas abiertas durante 32 semanas. Se utilizó un diseño de bloques al azar y se modeló la descomposición de hojarasca en cuatro tratamientos: sombra de *L. acapulcense* con hojarasca de *L. acapulcense* (1) o de *V. pennatula* (2); sombra de *V. Pennatula* con hojarasca de *L. acapulcense* (3) o de *V. pennatula* (4). Se determinó la composición química de la hojarasca. Los parámetros de calidad evaluados (relación C/N, lignina, celulosa y hemicelulosa) fueron buenos predictores del proceso de descomposición. La hojarasca remanente a las 32 semanas fue similar en todos los tratamientos ( $P = 0.999$ ). En el proceso de descomposición, la constante (k) osciló entre -0.00090 y -0.00096, que denota lenta descomposición ( $t_{50} = 1.98$ -2.11 años,  $t_{99} = 13.2$ -14.0 años). El nitrógeno y el fósforo aumentaron al final del experimento debido a la probable inmovilización de estos nutrimentos por microorganismos asociados (hongos y bacterias). La descomposición y liberación de nutrientes de la hojarasca de *V. pennatula* y *L. acapulcense* en este ambiente cálido subhúmedo es relativamente lenta, independientemente del microclima generado por la sombra.

**Palabras clave:** Suelos tropicales, flujo de nutrientes, tiempo de residencia, relación C/N, árboles leguminosos.

**ABSTRACT.** Scattered trees in pastures are an important source of nutrients recycled through leaf litter released annually. The objective was to assess the decomposition and nutrient release by leaf litter from *Vachellia pennatula* and *Lysiloma acapulcense* in a sub-humid warm climate. Decomposition litterbags were set under the canopies and then collected, and soil humidity and temperature were measured over a 32-week period. A randomized block design was used, and litter decomposition was modeled in four treatments: litter from *L. acapulcense* under shade from *L. acapulcense* (1), litter from *V. pennatula* under shade from *L. acapulcense* (2), litter from *L. acapulcense* under shade from *V. pennatula* (3), and litter from *V. pennatula* under shade from *V. pennatula* (4). Chemical composition of leaf litter was assessed. Chemical composition of leaf litter was assessed. Chemical composition variables evaluated (C/N ratio, lignin, cellulose, and hemicellulose) were good predictors of decomposition. Remnant leaf litter at 32 weeks was similar in all treatments ( $P = 0.999$ ). The decomposition rate (k) ranged from -0.00090 to -0.00096 across treatments, showing a low decomposition rate ( $t_{50} = 1.98$ -2.11 yr,  $t_{99} = 13.2$ -14.0 yr), where only litter fragmentation took place during the 32-week period, across decomposition conditions. Nitrogen and P increased at the end of the study suggesting nutrient sequestration by microorganisms (e.g. fungi and bacteria) associated with the litter during the study period. Litter decomposition and nutrient release from these tree species which have a high C/N ratio are relatively slow under sub-humid warm climate conditions.

**Key words:** Tropical soils, nutrients flow, residence time, C/N ratio, legume trees.

## INTRODUCCIÓN

Los árboles asociados a los pastizales brindan múltiples servicios ecosistémicos, esenciales para el desarrollo sostenible de los sistemas de producción; en conjunto estos servicios mejoran, protegen y recuperan la fertilidad de los suelos (Serna 2009). Un beneficio de los árboles es el aporte de hojarasca que al depositarse sobre el suelo contribuye a la formación del mantillo, que previene cambios bruscos de temperatura y humedad (Schalatter *et al.* 2006, Wang *et al.* 2008). La hojarasca es una de las principales vías de transferencia de materia orgánica al suelo ya que al descomponerse libera nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas (Vitousek y Sanford 1986, Sayer y Tanner 2010, Chakravarty *et al.* 2020), los cuales constituyen entre el 70-90% del total de nutrientes requeridos por estas (Sayer *et al.* 2020).

En las regiones tropicales, uno de los principales sistemas de producción es la ganadería de bovinos que se manejan bajo pastoreo extensivo. Esta forma de manejo ha propiciado la deforestación de grandes extensiones de selvas tropicales, reduciéndolas a parches en paisajes antrópicos (Guevara y Lira-Noriega 2004, Rzedowski 2006), donde el ciclaje de nutrientes ha sido modificado y los suelos se han empobrecido gradualmente. Los árboles pueden integrarse en los sistemas de producción animal para formar sistemas silvopastoriles, los cuales tienen la función de capturar carbono y liberar nutrientes para el sistema (Rossetti *et al.* 2015). *Lysiloma acapulcense* (Kunth) Benth y *Vachellia pennatula* (Schltdl. y Cham.) Seigler y Ebinger, antes *Acacia pennatula* (Schltdl. y Cham.) Benth, son especies de selva baja con algunos árboles dispersos remanentes en pastizales inducidos (Bautista-Tolentino *et al.* 2011, Camacho-Moreno *et al.* 2017). La primera es una especie de estados sucesionales avanzados de selva baja (Suárez *et al.* 2012) y la segunda es una especie de sucesión temprana (Salas-Estrada 1993). Ambas especies aportan cantidades similares de hojarasca a los pastizales (Avendaño-Yáñez *et al.* 2020) y generan islas de fertilidad (Avendaño-Yáñez *et al.* 2018). Además,

estas especies tienen un alto valor cultural para las familias por los usos y la intensidad de uso que les dan (Bautista-Tolentino *et al.* 2011, Suárez *et al.* 2012, Camacho *et al.* 2021). Los árboles de estas especies pierden la mayor parte de sus hojas durante la estación seca, sin embargo, se desconoce la dinámica de descomposición y liberación de nutrientes de la hojarasca. Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue estimar la tasa de descomposición y la liberación de nutrientes de la hojarasca producida por *L. acapulcense* y *V. pennatula* como componentes de un sistema de pastizal, en un ambiente de clima cálido subhúmedo. Conocer aspectos funcionales asociados al rol ecológico que tienen estas dos especies permitirá generar información ecológica básica para el diseño y rediseño de sistemas silvopastoriles.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación geográfica y descripción del sitio experimental

El estudio se realizó en el municipio de Paso de Ovejas, Veracruz, en un sitio ubicado en las coordenadas 19° 22' LN, 96° 35' LO, a 174 msnm. El clima es cálido subhúmedo Aw0'(w)(i)' g que se considera el más seco de los cálidos subhúmedos, la precipitación media anual es de 909 mm distribuidos entre junio y octubre, la temperatura media anual es de 25.2 °C (García 2004). El sitio es un potrero de 18 has dedicado al pastoreo extensivo de ganado bovino, clasificado como un sistema silvopastoril con árboles dispersos. El estrato herbáceo del sitio está dominado por las gramíneas introducidas *Hyparrhenia rufa* (Nees) Stapf. y *Megathyrsus maximus* (Jacq.) B.K. Simon & S.W.L. Jacobs (anteriormente *Panicum maximum*). La especie arbórea más abundante asociada al pastizal en el periodo de evaluación fue *V. pennatula*. Los árboles de *L. acapulcense* tuvieron un diámetro a la altura del pecho promedio de 52.4 cm ( $\pm 13.6$ ), mientras que los árboles de *V. pennatula* tuvieron 26.0 cm ( $\pm 2.7$ ). El tipo de suelo que predomina en el sitio es Vertisol (WRB 2007).

### Recolección de la hojarasca

Se recolectó la hojarasca de *L. acapulcense* y *V. pennatula* de febrero a abril de 2018 bajo el dosel de tres árboles de cada especie. Se utilizaron piezas de nylon de 2 X 2 m como trampas de hojarasca y se colocaron sobre el suelo bajo el dosel de los árboles. La hojarasca acumulada se recolectó cada siete días durante los meses en que ocurrió la senescencia (febrero a abril) y después se separó en sus componentes: folíolos, raquis primarios y secundarios de cada especie. La hojarasca recolectada se secó en una estufa de aire forzado a 65 °C durante 72 h; posteriormente se colocó en bolsas de papel y se resguardó en bolsas plásticas hasta el inicio del experimento en campo, en junio de 2018.

### Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques al azar en el que cada bloque estaba constituido de dos condiciones: sombra de *L. acapulcense* y de *V. pennatula*. Cada bloque (n = 3 bloques) se designó en puntos dentro del sitio donde hubiera un árbol de cada especie a una distancia en que sus sombras no se interceptaran, pero si compartieran condiciones similares. En cada condición se probó la descomposición de la hojarasca de ambas especies. Este diseño incluyó cuatro tratamientos: sombra de *L. acapulcense* / hojarasca de *L. acapulcense*, sombra de *L. acapulcense* / hojarasca de *V. pennatula*, sombra de *V. pennatula* / hojarasca de *L. acapulcense*, sombra de *V. pennatula* / hojarasca de *V. pennatula*.

En cada árbol seleccionado se colocaron 10 bolsas con hojarasca de *L. acapulcense* y 10 bolsas con hojarasca de *V. pennatula* (20 bolsas de descomposición por árbol), distribuidas aleatoriamente en un espacio de 2 x 2 m, aproximadamente. Para conocer y explicar lo que sucede con cada fracción de la hojarasca, en el mismo espacio se colocaron bolsas de descomposición adicionales, tres con folíolos, tres con raquis primarios y tres con raquis secundarios, cuyos resultados no se compararon con ningún otro material en descomposición. También, se colocaron seis bolsas de descomposición en un área abierta a pleno sol cercana a cada bloque; tres bolsas con hojarasca de *V. pennatula* y tres con hojarasca de *L.*

*acapulcense*, con el fin de observar que sucedería con la hojarasca a pleno sol.

### Descomposición

La descomposición se evaluó por el método de litterbags, para esto se elaboraron bolsas (10 x 10 cm) con una malla de tela tipo tul, con luz de 0.05 mm para evitar pérdida de folíolos antes de que suceda la fragmentación natural de la hojarasca. En cada bolsa se colocaron 10 g de hojarasca (en base seca) que incluyeron: folíolos, raquis primarios y secundarios; la proporción de folíolos, raquis primarios y secundarios de *L. acapulcense* fue 0.44, 0.35 y 0.21 y de *V. pennatula* fue 0.38, 0.39 y 0.23, respectivamente. Las bolsas se colocaron de manera que tuvieran contacto con el horizonte orgánico y se fijaron al suelo con un hilo atado a clavos metálicos.

Las bolsas se recolectaron aleatoriamente a los 7, 28, 56, 84, 112, 140, 168, 196, 224 días después de iniciado el estudio (entre junio de 2018 y enero de 2019). En cada fecha se recolectaban dos bolsas con la hojarasca de *L. acapulcense* y dos bolsas con la hojarasca de *V. pennatula* por cada bloque. Las bolsas en el área abierta y las bolsas que contenían las diferentes fracciones de la hojarasca se recogieron únicamente al final del estudio (224 días después).

Después de cada recolección, las bolsas se limpiaron cuidadosamente para remover cualquier residuo de suelo adherido, posteriormente se extrajo la hojarasca remanente y se secó en una estufa con circulación de aire forzado a 65 °C, hasta alcanzar peso constante.

### Monitoreo de las condiciones bajo el dosel de los árboles

Se monitoreó la temperatura y la humedad del suelo bajo el dosel de los árboles en las mismas fechas en que se realizaron las recolecciones de las bolsas con hojarasca. La temperatura ambiente se registró a 50 cm del suelo dentro de un radio de 1 m alrededor del tallo de dos árboles (un árbol de cada especie) con Data Loggers portátiles (marca Elitech, modelo RC-5). La humedad del suelo se determinó bajo el dosel de todos los árboles y en

el área abierta, con el fin de comparar la condición fuera y bajo el dosel de los árboles. Se recolectaron muestras compuestas de suelo, cada muestra se formó de submuestras ( $n = 3$  submuestras/árbol) tomadas de forma aleatoria bajo la copa evitando la línea de goteo y la base del tallo, a una profundidad de 10 cm, para obtener el porcentaje de humedad con el método gravimétrico (SEMARNAT 2000). Las muestras se secaron en una estufa (Marca Riossa, modelo H33) a 105 °C, hasta obtener peso constante. El porcentaje de humedad se obtuvo con la fórmula siguiente:

$$\% \text{ de humedad} = \frac{\text{peso del bote con suelo fresco} - \text{peso del bote con suelo seco}}{\text{peso del bote con suelo secado a } 105^{\circ}\text{C} - \text{peso del bote}} * 100$$

### Liberación de nutrientes

Se estimó la liberación de nutrientes de la hojarasca de ambas especies mediante la diferencia entre el contenido inicial de nutrientes de la hojarasca y el contenido final, la diferencia se tomó como la cantidad de nutrientes liberados. También se calculó el porcentaje en que los nutrientes y las fracciones disminuyeron y aumentaron en la hojarasca a los 224 días.

### Análisis químico de la hojarasca

Las muestras de hojarasca iniciales y las recolectadas en campo en la última fecha de recolección se trituraron por separado en un molino Willey (Marca Thomas Scientific, modelo 3383-L10) para realizar los análisis químicos. Se determinó el contenido de cenizas de acuerdo a la AOAC (1990), para lo cual se pesó 1 g de cada muestra y se colocó en una mufla (marca Felisa, modelo FE-350) a 550 °C por 6 horas. El contenido de cenizas se determinó con la fórmula siguiente:

$$\% \text{ de cenizas} = \frac{(\text{peso del crisol} + \text{cenizas}) - (\text{peso del crisol vacío})}{\text{peso de la muestra (en gramos)}} * 100$$

Los contenidos de C y N se obtuvieron con el método Dumas, en un analizador de CHN (Marca PERKIN ELMER, modelo 2400). El contenido de P se determinó con el método reactivo fosfovanadato-molibdato (Bremmer 1965). Mientras que los contenidos de celulosa, hemicelulosa y lignina se obtu-

vieron con el método de Van Soest y Wine (1968).

### Análisis estadístico

La temperatura bajo el dosel de *V. pennatula* y *L. acapulcense* solo se utilizó con fines descriptivos. Los datos de humedad del suelo, incluyendo los datos de áreas abiertas, se analizaron con un modelo lineal generalizado con medidas repetidas, con respuesta normal. El modelo incluyó el efecto de la condición (mencionada como tratamiento en el modelo), la semana de evaluación y la interacción entre condición y semana. La variable masa remanente de hojarasca se analizó con un modelo lineal generalizado con medidas repetidas, con respuesta exponencial. Se utilizó el procedimiento GLIMMIX y la matriz de covarianza simetría compuesta (CS) y la prueba LSmeans, a un nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ .

El modelo estadístico para ambas variables fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + \text{rep}(\text{bloque})_{kl} + \text{Trat}_i + \text{tiempo}_j + (\text{Trat} * \text{tiempo})_{ij} + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde:  $Y_{ijkl}$  es la variable respuesta,  $\mu$  es la media general,  $\text{rep}(\text{bloque})_{kl}$  es el efecto aleatorio de repetición dentro del bloque asumiendo  $\text{rep}(\text{bloque})_{kl} \sim N(0, \sigma_{\text{rep}(\text{bloque})_{kl}}^2)$ ,  $\text{Trat}_i$  es el efecto fijo debido a la condición de sombra  $i$ ,  $\text{tiempo}_j$  es el efecto fijo debido al tiempo de medición,  $(\text{Trat} * \text{tiempo})_{ij}$  es el efecto de la interacción de la condición de sombra con el tiempo de medición  $j$  y  $\varepsilon_{ijkl}$  es el error aleatorio. Todos los análisis se realizaron con el paquete Statistical Analysis System 9.4 (SAS 2013).

Los resultados de liberación de nutrientes (carbono, nitrógeno, fósforo, hemicelulosa, celulosa y lignina), incluyendo lo que sucede en áreas abiertas y las fracciones de la hojarasca, se presentan de manera descriptiva mostrando los valores promedio iniciales y finales. Complementariamente, la biomasa de hojarasca remanente se utilizó para realizar un ajuste de regresión y predecir la descomposición en el tiempo utilizando el modelo de regresión simple (Olson 1963):

$$y_{ij} = \alpha_i * \exp^{-k_i * t}$$

Donde:  $y_{ij}$  es la fracción de biomasa remanente,  $\alpha_i$

intercepción,  $k_i$  es la constante de descomposición y  $t$  es el tiempo expresado en días.

Los parámetros de las ecuaciones resultantes no se compararon, pero con las constantes de descomposición obtenidas por medio de los modelos, se calculó el tiempo necesario para una desaparición de la hojarasca del 50% ( $t_{0.5} = -0.69/k$ ) y el tiempo necesario para alcanzar 99% de descomposición ( $t_{0.99} = -4.60/k$ ) (Olson 1963, Arunachalam y Singh 2002), en cada uno de los tratamientos.

## RESULTADOS

### Condiciones bajo el dosel de los árboles

Las temperaturas máximas bajo los árboles ocurrieron durante los primeros días de junio (28.7 °C bajo *V. pennatula* y 27.8 °C bajo *L. acapulcense*) y septiembre de 2018 (27.7 °C bajo *V. pennatula* y 27 °C bajo *L. acapulcense*), las más bajas se observaron en diciembre 2018 y enero del 2019, en ambas condiciones; en diciembre se registró 22.8 °C bajo *L. acapulcense* y 22.9 °C bajo *V. pennatula*, en enero se mantuvo en 22.6 °C bajo *L. acapulcense* y 23.5 °C bajo *V. pennatula* (Figura 1).

La humedad del suelo no difirió por la condición de sombra ( $P = 0.098$ ), pero sí difirió por efecto del momento de medición (semana) ( $P < 0.0001$ , Figura 2). Bajo el dosel de *L. acapulcense* se conservó mayor humedad en el suelo (30.9%) que en el área abierta (27.1%,  $P < 0.05$ ) y bajo *V. pennatula* (26.2%,  $P < 0.05$ ). Hubo dos puntos máximos de humedad, uno a finales de junio durante la época de lluvias (43.5% en *L. acapulcense*, 38.7% en *V. pennatula* y 41.7% en el área abierta) y otro en el periodo de transición a época seca a finales de octubre (47.23% en *L. acapulcense*, 36.3% en *V. pennatula* y 40.4% en el área abierta) que coincidieron con los periodos de mayor precipitación en la región. Las tres condiciones tuvieron los niveles más bajos de humedad a principios de junio que es la última parte del estiaje (17.9, 14.9 y 13.7%).

### Pérdida de biomasa

La masa remanente de hojarasca a los 224 días de evaluación fue similar en todos tratamientos

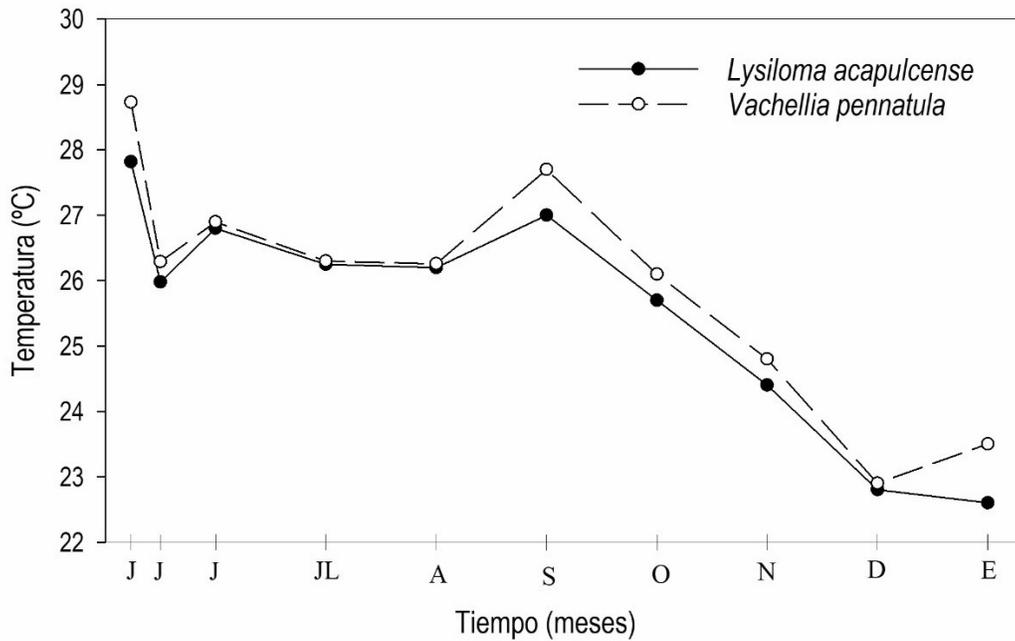
( $P = 0.999$ , Figura 3). En este tiempo, la hojarasca remanente de *L. acapulcense* fue 75% en ambas condiciones de sombra (*L. acapulcense* y *V. pennatula*) y la hojarasca de *V. pennatula* fue 73% en ambas condiciones de sombra (sombra de *L. acapulcense* y *V. pennatula*). Como referencia, la masa remanente de la hojarasca que permaneció en el área abierta (sin sombra) fue 77% de *L. acapulcense* y 76% de *V. pennatula*, aunque estos datos no se incluyeron en el modelo estadístico.

Los datos del peso perdido de las distintas fracciones de la hojarasca (Figura 4), sugieren que la mayor descomposición de biomasa corresponde a los folíolos que probablemente se perdieron por fragmentación, y en menor medida a la pérdida de biomasa de los raquis, que son más fibrosos y de lenta descomposición. Esto también explica que las fracciones de hemicelulosa y lignina aumentaron en la biomasa remanente final (Tabla 1).

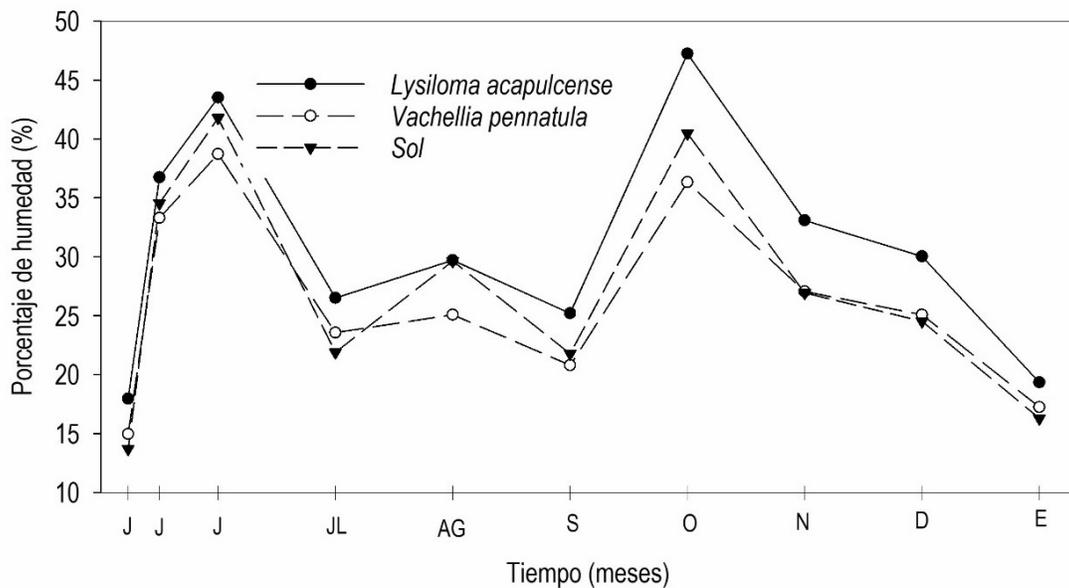
### Descomposición y liberación de nutrientes

Al inicio del estudio, la hojarasca de *L. acapulcense* contenía 3.83% más C que la hojarasca de *V. pennatula*; sin embargo, esta última contenía ligeramente más N. Con esas concentraciones de C y N iniciales, *L. acapulcense* tuvo una relación C/N numéricamente mayor que *V. Pennatula*. Al final, la relación disminuyó en todas las condiciones; sin embargo, bajo el dosel de *L. acapulcense* fue similar a diferencia de la condición bajo *V. pennatula*, donde su propia hojarasca resultó tener menor relación C/N (Tabla 1). A nivel descriptivo, la hojarasca de *V. pennatula* parece tener mayor cantidad de fósforo. De igual forma, la hojarasca remanente contenía menos celulosa y más hemicelulosa y lignina (Tabla 1).

La relación entre la hojarasca y el tiempo ( $t$ ) produjo las expresiones matemáticas expuestas en la Tabla 2, que describen la pérdida de peso en el tiempo. La tasa de descomposición osciló entre -0.00090 y -0.00096. La más alta fue de la hojarasca de *V. pennatula* bajo la sombra de *L. acapulcense* y la tasa de descomposición más baja fue en hojarasca de *L. acapulcense* bajo su misma sombra. Analizando el tiempo de residencia de la hojarasca en el suelo, la hojarasca de *V. pennatula* bajo la som-



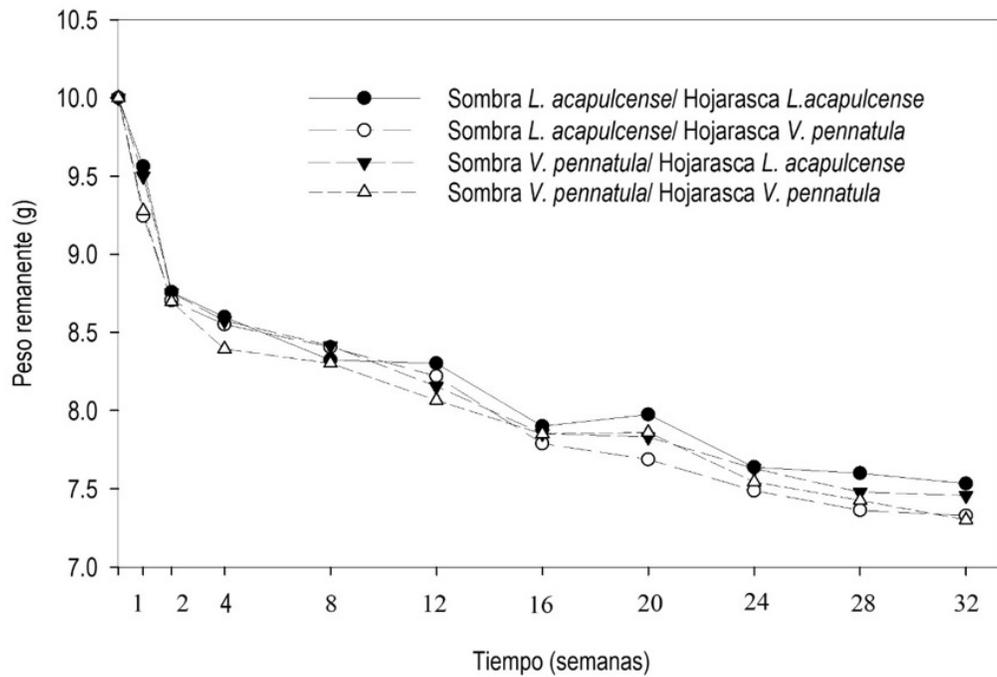
**Figura 1.** Temperatura bajo el dosel de *Lysiloma acapulcense* y *Vachellia pennatula* de junio de 2018 a enero de 2019, en condiciones de clima cálido subhúmedo.



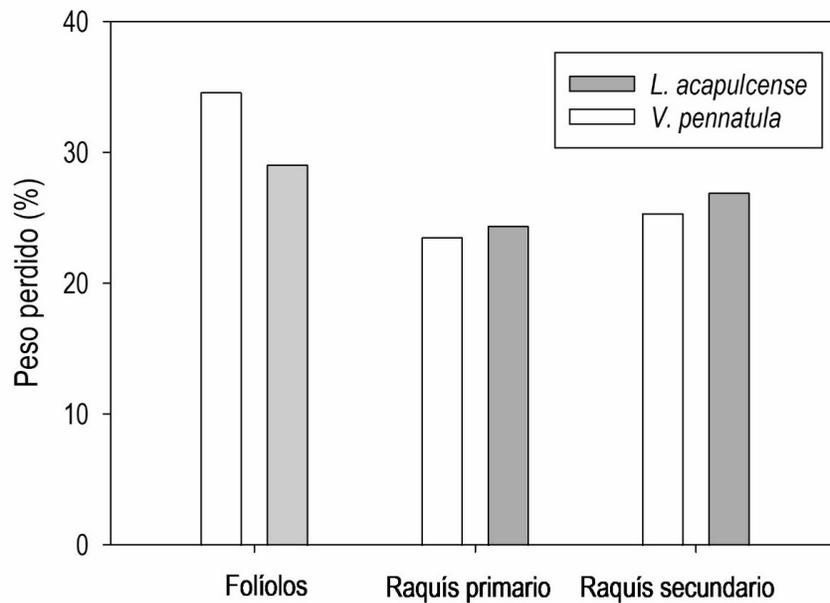
**Figura 2.** Humedad del suelo bajo el dosel de *Lysiloma acapulcense*, *Vachellia pennatula* y en áreas abiertas (sol) de junio de 2018 a enero de 2019, en condiciones de clima cálido subhúmedo.

bra de *L. acapulcense* tendría el menor tiempo (1.97 años) para alcanzar una descomposición del 50% y 13.2 años para una descomposición del 99%, bajo las condiciones imperantes.

La descomposición de los diferentes componentes de la hojarasca (folíolos y raquis primarios y secundarios) de *L. acapulcense* y *V. pennatula* fue mayor en la biomasa de folíolos (entre 34.6 y 29.0%



**Figura 3.** Curvas del peso remanente libre de cenizas de *Lysiloma acapulcense* y *Vachellia pennatula*, en un periodo de 32 semanas, en condiciones de clima cálido subhúmedo.



**Figura 4.** Peso perdido (%) libre de cenizas de las fracciones de la hojarasca de *Lysiloma acapulcense* y *Vachellia pennatula* colocadas bajo sombra, en condiciones de clima cálido subhúmedo. Valores promedio de n = 3 bolsas de cada fracción de la hojarasca.

de pérdida, respectivamente) (Figura 4). Los folíolos tuvieron una mayor descomposición debido a que son el material más fragmentable y lábil, con mayor po-

tencial para una rápida degradación en comparación a los raquis que son componentes más lignificados.

**Tabla 1.** Valores promedio ( $\pm$ DE) de la composición química y fracciones de la pared celular inicial y final (%) de la hojarasca de *Vachellia pennatula* y *Lysiloma acapulcense* en un periodo de 32 semanas, en un clima cálido subhúmedo.

Especie	Valor inicial	Sombra		Área abierta
		<i>L. acapulcense</i>	<i>V. pennatula</i>	
			Carbono % (final)	
<i>L. acapulcense</i>	49.6	47.70( $\pm$ 0.64)	46.76( $\pm$ 0.85)	48.13( $\pm$ 0.33)
<i>V. pennatula</i>	47.7	45.80( $\pm$ 0.71)	47.36( $\pm$ 0.61)	47.93( $\pm$ 0.67)
			Nitrógeno % (final)	
<i>L. acapulcense</i>	1.2	1.58( $\pm$ 0.13)	1.43( $\pm$ 0.03)	1.67( $\pm$ 0.34)
<i>V. pennatula</i>	1.3	1.55( $\pm$ 0.31)	1.64( $\pm$ 0.16)	1.62( $\pm$ 0.02)
			Fósforo % (final)	
<i>L. acapulcense</i>	0.02	0.03( $\pm$ 0.00)	0.09( $\pm$ 0.07)	0.03( $\pm$ 0.00)
<i>V. pennatula</i>	0.02	0.04( $\pm$ 0.31)	0.06( $\pm$ 0.16)	0.03( $\pm$ 0.00)
			C/N (final)	
<i>L. acapulcense</i>	41	30( $\pm$ 2.49)	32( $\pm$ 0.47)	30( $\pm$ 4.96)
<i>V. pennatula</i>	36	30( $\pm$ 5.43)	29( $\pm$ 3.29)	30( $\pm$ 0.47)
			Celulosa % (final)	
<i>L. acapulcense</i>	18.2	13.97( $\pm$ 1.26)	15.44( $\pm$ 1.68)	17.16( $\pm$ 0.35)
<i>V. pennatula</i>	15.3	13.35( $\pm$ 1.28)	14.12( $\pm$ 1.08)	16.98( $\pm$ 1.23)
			Hemicelulosa % (final)	
<i>L. acapulcense</i>	2.0	6.98( $\pm$ 2.43)	4.93( $\pm$ 2.80)	2.79( $\pm$ 0.28)
<i>V. pennatula</i>	1.4	5.52( $\pm$ 1.77)	4.04( $\pm$ 2.32)	2.77( $\pm$ 0.18)
			Lignina % (final)	
<i>L. acapulcense</i>	21.4	36.80( $\pm$ 1.29)	38.10( $\pm$ 1.95)	36.60( $\pm$ 0.95)
<i>V. pennatula</i>	22.2	39.69( $\pm$ 2.52)	37.61( $\pm$ 3.56)	41.28( $\pm$ 1.85)

**Tabla 2.** Ecuaciones de regresión exponencial ajustadas al peso seco libre de cenizas remanente en función del tiempo de la hojarasca de *Lysiloma acapulcense* y *Vachellia pennatula*.

Hojarasca	Ecuación de regresión	K	t 50 % (días)	t 99 % (días)
			Sombra de <i>L. acapulcense</i>	
<i>L. acapulcense</i>	$\gamma = 2.1967 e^{k*st}$	-0.00090	770	5117
<i>V. pennatula</i>	$\gamma = 2.1840 e^{k*st}$	0.00096	722	4797
			Sombra de <i>V. pennatula</i>	
<i>L. acapulcense</i>	$\gamma = 2.1923 e^{k*st}$	0.00093	745	4952
<i>V. pennatula</i>	$\gamma = 2.1785 e^{k*st}$	0.00091	762	5060

K: constante de descomposición de la hojarasca; t 50%: Tiempo necesario para una descomposición del 50%; t 99%: Tiempo necesario para una descomposición del 99 %.

## DISCUSIÓN

### Condiciones bajo el dosel de los árboles

*Lysiloma acapulcense* tuvo temperaturas menores y más humedad en el suelo bajo su dosel que *V. pennatula*; esto podría estar relacionado con la densidad foliar, ya que *L. acapulcense* mantiene más follaje por mayor tiempo que *V. pennatula* (Camacho-Moreno et al. 2017). Esta diferencia entre especies influye en la cantidad de radiación incidente bajo el dosel, ya que la cobertura arbórea regula la distribución de la luz, la humedad, la temperatura y el viento, lo cual genera un microclima, haciendo que el micrositio generado por el dosel sea más favorable para la

descomposición (Gómez 2004). *Vachellia pennatula* tiene mayor incidencia de radiación solar por tener menor índice de área foliar, incluso menor que en el área abierta (De Gante Ramírez, datos no publicados), porque en esta última, se conservó una cobertura vegetal de gramíneas que también genera un micrositio que mantiene cierta humedad.

### Pérdida de biomasa

La mayor relación C/N inicial de la hojarasca de *L. acapulcense* sugiere que podría ser más recalcitrante que la hojarasca de *V. pennatula* como lo sugiere también la relación L/N de ambas (Avendaño-Yáñez et al. 2020). Al término del estudio, la relación

C/N de la hojarasca remanente seguía siendo alta en todos los tratamientos. La relación C/N puede ser un buen indicador de la descomposición de la hojarasca, valores menores a 25 indicarían una mineralización más rápida (Ahirwal *et al.* 2021, Lalremsang *et al.* 2022). *Lysiloma acapulcense* y *V. pennatula* tuvieron una relación C/N similar y mayor a 25 lo que sugeriría un proceso de descomposición relativamente lento de la hojarasca de ambas especies. Aunque, es importante señalar que la relación C/N solo es un buen predictor para las estructuras que no llegan a descomponerse relativamente rápido (Bonanomi *et al.* 2013). Este resultado probablemente se explique porque la hojarasca incluyó no solo los folíolos, sino también los raquis primarios y secundarios de las hojas y a diferencia de los folíolos, los raquis de las hojas compuestas son estructuras más lignificadas y con menor tasa de descomposición (Boniche *et al.* 2008). Estos resultados difieren a lo encontrado por Castellanos-Barliza y León (2011) quienes reportan relaciones de C/N más bajas en las hojas de *Leucaena leucocephala*, pero no incluyeron los componentes más recalcitrantes de las hojas. Aunque, se observó un ligero incremento de C en la hojarasca remanente de *V. pennatula* en el área abierta posiblemente debido a la adhesión y acumulación de microorganismos que la colonizaron (Santonja *et al.* 2017).

### Descomposición y liberación de nutrientes

Al final del estudio, la concentración de P y N aumentaron visiblemente en todos los tratamientos, al igual que en las muestras de áreas abiertas. Esto puede suceder cuando la descomposición es lenta y los microorganismos (bacterias, hongos) se adhieren a la hojarasca (inmovilización temporal) y su biomasa residual contribuye a la cantidad de nutrientes que se contabiliza (Castellanos-Barliza y León 2011). La aparición de algunas especies de hongos puede ayudar a la liberación de N de la materia orgánica recalcitrante durante el proceso de descomposición (Lindahl y Tunlid 2015). La masa remanente de hojarasca en el área abierta fue más alta solo entre 2 y 3 puntos porcentuales que la remanente bajo el dosel de los árboles. Este resultado sugiere que la cobertura

arbórea podría modular cambios ambientales bajo su dosel, creando microambientes que favorecen la descomposición (Von-Arx *et al.* 2012), aunque en este estudio la descomposición fue mínima, y las condiciones generadas por el dosel de ambas especies no fue determinante para propiciar distintas tasas de desaparición de la biomasa.

Ambas especies evaluadas tienen tasas de descomposición relativamente lentas. Las tasas estimadas a través de los modelos de regresión exponencial (Tabla 2) son similares a las reportadas para ambientes áridos (Montaña *et al.* 1988), y de lenta degradación, comparadas con estudios realizados en la hojarasca de otras leguminosas (Pandey *et al.* 2006, Castellanos-Barliza y León 2011, Ruz *et al.* 2015, Akinyele y Donald-Amaeshi 2021) en climas tropicales subhúmedos. Cabe resaltar que factores como la composición química de la hojarasca, la comunidad de microorganismos, las condiciones ambientales (humedad y temperatura) y su interacción, pueden pausar o impulsar el proceso de degradación de la hojarasca en diferentes hábitats (Berg y Mc-Claugherty 2020).

Las tasas de descomposición que se observaron durante el periodo del estudio sugieren una lenta degradación, lo cual podría obedecer a que el ambiente donde se realizó esta investigación tiene un clima cálido, considerado el más seco de los subhúmedos (García 2004). Aquí el régimen de precipitación es estacional concentrado en cuatro meses, y con cambios recientes en el patrón de precipitación que han originado eventos de precipitación cada vez más irregulares, todo esto en su conjunto no favorece las condiciones para un proceso continuo de descomposición.

El tiempo de residencia estimado para la hojarasca de ambas especies implica hasta 13.2 años aproximadamente para integrarse al suelo completamente, lo cual es relativamente largo para ambientes con temperaturas altas. Sin embargo, son razonables cuando se considera que el periodo de descomposición activa se restringe al periodo de mayor humedad, que en la región se extiende a cuatro o cinco meses. Estos valores encontrados son mayores a los reportados por Ceccon *et al.* (2015) para otras

leguminosas como *Eysenhardtia polystachya* ( $t = 0.99 = 6.51$  años) y *Pithecellobium dulce* ( $t = 0.99 = 4.51$  años) en un bosque tropical seco, aunque el período evaluado en este estudio de referencia fue de 420 días. Es importante mencionar que la composición y concentración de algunos compuestos químicos en la hojarasca (celulosa, taninos, polifenoles, ceras) varía entre especies y puede retardar su descomposición, por ejemplo la hojarasca de *Quercus robur* puede tomar hasta 12 años para una degradación total (Horodecki y Jagodziński 2019).

### CONCLUSIONES

Los resultados en esta investigación sugieren que la descomposición de la hojarasca de *V. pennatula* y *L. acapulcense* es similar en los diferentes microclimas generados por el dosel a través del tiempo de evaluación. Las tendencias del nitrógeno y el fósforo en la etapa final del periodo evaluado sugieren inmovilización porque al no haber liberación de nutrientes se deduce que la pérdida de peso se debió principalmente a la fragmentación de la fracción más lábil. La tasa de degradación encontrada mediante los modelos de descomposición se considera relativamente lenta para ambas especies, en consecuencia, el tiempo de residencia de la hojarasca podría ser mayor a 10 años

para una desaparición del 99%. Los resultados son congruentes con la composición química de la hojarasca y con el ambiente donde se realizó la investigación, ambos aspectos podrían limitar significativamente la descomposición y liberación de nutrientes. No obstante, la hojarasca de ambas especies representa un reservorio de carbono, nitrógeno y materia orgánica para los pastizales, ya que al degradarse lentamente favorece una liberación de nutrientes gradual a través del tiempo. Estos hallazgos permiten ampliar la comprensión de la dinámica de nutrientes y carbono edáfico en sistemas silvopastoriles, donde coexisten estos árboles. Un primer paso para rediseñarlos sería estimar la densidad de árboles adecuada que compense la extracción de nutrientes a través de la cosecha de forraje.

### AGRADECIMIENTOS

A Jorge Melchor Rivera por todas las facilidades para realizar el estudio en su potrero. A Norma Reyes Banda y José Luis Saldaña Leal, personal del Colegio de Postgraduados, quienes apoyaron en el trabajo de campo. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada para realizar la Maestría en Ciencias.

### LITERATURA CITADA

- Ahirwal J, Saha P, Nath A, Nath A J, Deb S, Sahoo UK (2021) Forest litter dynamics and environmental patterns in the Indian Himalayan region. *Forest Ecology and Management* 499: 1. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119612>
- Akinyele AO, Donald-Amaeshi U (2021). Leaf litter decomposition and nutrient release of three selected agroforestry tree species. *Agroforestry Systems* 95: 559-570.
- AOAC (1990) Official Method of Analysis of the Chemistry Association. Washington D. C. USA. 1298p.
- Arunachalam A, Singh ND (2002) Leaf litter decomposition of evergreen and deciduous Dillenia species in humid tropics of north-east India. *Journal of Tropical Forest Science* 14: 105-115.
- Avendaño-Yáñez ML, López-Ortiz S, Perroni Y, Pérez-Elizalde S (2018) Leguminous fertility islands in pastures. *Arid Land Research and Management* 32: 57-70.
- Avendaño-Yáñez ML, Quiroz-Martínez S, Pérez-Elizalde S, López-Ortiz S (2020) Litterfall from tropical dry forest trees scattered in pastures. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 26: 409-418.

- Bautista-Tolentino M, López-Ortiz S, Pérez-Hernández P, Vargas-Mendoza M, Gallardo López F, Gómez-Merino FC (2011) Sistemas agro y silvopastoriles en la Comunidad El Limón, Municipio de Paso de Ovejas, Veracruz, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 14: 63-76.
- Berg B, McClaugherty C (2020) *Plant Litter: Decomposition, Humus Formation, Carbon Sequestration*. 4th Edition. Springer Nature. Switzerland. 331p.
- Bonanomi G, Incerti G, Giannino F, Mingo A, Lanzotti V, Mazzoleni S (2013) Litter quality assessed by solid state <sup>13</sup>C NMR spectroscopy predicts decay rate better than C/N and Lignin/N ratios. *Soil Biology and Biochemistry* 56: 40-48.
- Boniche J, Alvarado A, Molina E, Smyth TJ (2008) Descomposición y liberación de carbono y nutrimentos de los residuos de cosecha en plantaciones de pejobaye para palmito en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 32: 73-86.
- Bremner JM (1965) Inorganic forms of nitrogen. *Agronomy* 9: 1179-1237.
- Camacho ME, López OS, Suárez IA, Valdez HJI (2021) Conocimiento local, importancia cultural y adoptabilidad de tres especies arbóreas multipropósito en sistemas agroforestales. *Revista Etnobiología* 19: 30-45.
- Camacho-Moreno E, López-Ortiz S, Olgún-Palacios C, Suárez-Islas A, Valdez-Hernández JI, Pineda-Herrera E (2017) Fenología y arquitectura arbórea de *Calyptanthes schiedeana* O. Berg, *Lysiloma acapulcense* (Kunth) Beth y *Tabebuia chrysantha* (Jacq.) G. Nicholson en agroecosistemas de Veracruz. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 8: 19-35.
- Castellanos-Barliza J, León JD (2011) Descomposición de hojarasca y liberación de nutrientes en plantaciones de *Acacia mangium* (Mimosaceae) establecidas en suelos degradados de Colombia. *Revista de Biología Tropical* 59: 113-128.
- Ceccon E, Sánchez I, Powers JS (2015) Biological potential of four indigenous tree species from seasonally dry tropical forest for soil restoration. *Agroforestry Systems* 89: 455-467. doi: 10.1007/s10457-014-9782-6
- Chakravarty S, Rai P, Pala NA, Shukla G (2020) Litter Production and Decomposition in Tropical Forest. In: Gupta NC, Kuma A, Soares de Araújo F, Chandra KK, Singh AK, Srivastava N (eds) *Handbook of Research on the Conservation and Restoration of Tropical Dry Forests*. IGI Global, Hershey, PA, USA. pp: 193-212.
- García E (2004) Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México. 704p.
- Gómez SV (2004) Cubiertas forestales y respuesta microclimática. *Investigación agraria. Sistemas y Recursos Forestales* 13: 84-100.
- Guevara S, Lira-Noriega A (2004) De los pastos de la selva a la selva de los pastos: la introducción de la ganadería en México. *Pastos* 34: 109-150.
- Horodecki P, Jagodziński AM (2019) Site Type Effect on Litter Decomposition Rates: A Three-Year Comparison of Decomposition Process between Spoil Heap and Forest Sites. *Forests* 10: 353. <https://doi.org/10.3390/f10040353>
- Lalremsang P, Gopichand B, Upadhaya K, Singson L, Sahoo UK (2022) Leaf Litter Decomposition and Nutrient Release Dynamics of *Flemingia semialata* Roxb.-A Potential Woody Perennial Species for Mountain Agroforestry. *Journal of Sustainable Forestry* 1-15. <https://doi.org/10.1080/10549811.2022.2045504>
- Lindahl BD, Tunlid A (2015) Ectomycorrhizal fungi-potential organic matter decomposers, yet not saprotrophs. *New Phytologist* 205: 1443-1447.

- Montaña C, Ezcurra E, Carrillo A, Delhoume JP (1988) The decomposition of litter in grasslands of northern Mexico: a comparison between arid and non-arid environments. *Journal of Arid Environments* 14: 55-60.
- Olson JS (1963) Energy storage and balance of producers and decomposer in ecological systems. *Ecology* 44: 322-331.
- Pandey CB, Sharmal DK, Bargali SS (2006) Decomposition and nitrogen release from *Leucaena leucocephala* in central India. *Tropical Ecology* 47: 149-151.
- Rossetti I, Bagella S, Cappai C, Caria MC, Lai R, Roggero PP, Martins da Silva P, Sousa JP, Querner P, Seddaiu G (2015) Isolated cork oak trees affect soil properties and biodiversity in a Mediterranean wooded grassland. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 202: 203-216.
- Ruz SF, Sánchez CS, Hernández CMB (2015) Descomposición del follaje de *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham asociada con *Morus alba* var. tigríada. *Pastos y Forrajes* 38: 410-417.
- Rzedowski J (2006) Vegetación de México. 1ra. edición. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 504p.
- Salas-Estrada JB (1993) Árboles de Nicaragua. Instituto Nicaraguense de Recursos Naturales y del Ambiente. Managua, Nicaragua. 390p.
- Santonja M, Rancon A, Fromin N, Baldy V, Hättenschwiler S, Fernandez C, Montès N, Mirleau P (2017) Plant litter diversity increases microbial abundance, fungal diversity, and carbon and nitrogen cycling in a Mediterranean shrubland. *Soil Biology and Biochemistry* 111: 124-134.
- SAS (2013) Base SAS<sup>®</sup> 9.4 Procedures Guide: Statistical Procedures. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.
- Sayer EJ, Tanner EVJ (2010) Experimental investigation of the importance of litterfall in lowland semi-evergreen tropical forest nutrient cycling. *Journal of Ecology* 98: 1052-1062.
- Sayer EJ, Rodtassana C, Sheldrake M, Bréchet LM, Ashford OS, Lopez-Sangil L, Kerdraon-Byrne D, Castro B, Turner BL, Wright SJ, Tanner EVJ (2020) Revisiting nutrient cycling by litterfall-Insights from 15 years of litter manipulation in oldgrowth lowland tropical forest. *Advances in Ecological Research* 62: 173-223.
- Schalatter J, Gerding V, Calderón S (2006) Aporte de la hojarasca al ciclo biogeoquímico en plantaciones de *Eucaliptus nitens*. *Bosque* 27: 115-125.
- SEMARNAT (2000) Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 31 de diciembre de 2002.
- Serna A (2009) Impacto del manejo del ecosistema del pastizal en la fertilidad natural y sostenibilidad del suelo. *Avances en Investigación Agropecuaria* 13: 13-16.
- Suárez A, Williams-Linera G, Trejo C, Valdez-Hernández JI, Cetina-Alcalá VM, Vibrans H (2012) Local knowledge helps select species for forest restoration in a tropical dry forest of central Veracruz, Mexico. *Agroforestry Systems* 85: 35-55.
- Van Soest PJ, Wine RH (1968) Determination of Lignin and Cellulose in Acid Detergent Fiber with Permanganate. *Association of Official Analytical Chemists* 51: 780-785.
- Vitousek P, Sanford S (1986) Nutrient cycling in moist tropical forest. *Annual Review of Ecology and Systematics* 17: 137-167.
- Von-Arx G, Dobbertin M, Rebetez M (2012) Efectos espacio-temporales del dosel del bosque en el microclima del sotobosque en un experimento a largo plazo en Suiza. *Meteorología Agrícola y Forestal* 166: 144-155.

Wang Q, Wang S, Huang Y (2008) Comparisons of litterfall, litter decomposition and nutrient return in a monoculture *Cunninghamia lanceolata* and a mixed stand in southern China. *Forest Ecology and Management* 255: 1210-1218.

WRB (2007) Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. FAO. <http://www.fao.org/3/a0510s/a0510s00.pdf>.  
Fecha de consulta 27 de mayo de 2019.