

Variación estacional en la caída de hojarasca y aporte de nutrientes en bancos de forraje

Litterfall seasonal dynamics and nutrient release in fodder bank systems

Armando Escobedo-Cabrera¹ , Luis A. Lara-Pérez¹ , Rubén F. Guzmán-Olmos² , Fernando Casanova-Lugo^{1*} 

¹Tecnológico Nacional de México Campus Instituto Tecnológico de la Zona Maya. Carretera Chetumal-Escárcega Km 21.5, Ejido Juan Sarabia, CP. 77965. Othón P. Blanco, Quintana Roo, México.

²Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Agrícolas, Circuito Gonzalo Aguirre Beltrán s/n, Zona Universitaria. CP. 91090. Xalapa, Veracruz, México.

*Autor de correspondencia: fkzanov@gmail.com

Nota científica

Recibida: 21 de octubre 2024

Aceptada: 05 de septiembre 2025

RESUMEN. El objetivo del presente estudio fue comparar la variación estacional en la caída de hojarasca y liberación de nutrientes de *Tithonia diversifolia*, *Leucaena leucocephala* y *Moringa oleifera* en bancos de forraje. Se emplearon trampas de PVC y se cuantificó la caída de hojarasca y aporte de carbono (C), nitrógeno (N) y fósforo (P) de las tres especies, durante las épocas de lluvias, nortes y secas, en un diseño completamente al azar. *Tithonia diversifolia* mostró la mayor caída de hojas, ramas y total de hojarasca (0.66, 0.22 y 0.87 t MS ha⁻¹), así como los mayores aportes de C, N y P durante la época de lluvias (332.1, 14.5, 3.1 kg ha⁻¹). Las hojas representaron 65.3 a 79.2% del total de la hojarasca. Los bancos de forraje de *Tithonia diversifolia* ofrecen una alternativa viable para combinar la conservación de los suelos y la producción de sustentable.

Palabras clave: Especies forrajeras, falso girasol, podas periódicas, reciclaje de nutrimentos.

ABSTRACT. The aim of this study was to compare seasonal variation in litterfall and nutrient release from *Tithonia diversifolia*, *Leucaena leucocephala*, and *Moringa oleifera* in fodder banks systems. PVC traps were used to quantify litterfall and carbon (C), nitrogen (N), and phosphorus (P) return of the three species, during the summer-rainy, winter-rainy, and dry seasons, in a completely randomised design. *Tithonia diversifolia* showed the highest leaf, branch, and total litterfall (0.66, 0.22, and 0.87 t DM ha⁻¹), along with the highest potential C, N, and P return during the rainy season (332.1, 14.5, 3.1 kg ha⁻¹). Leaves accounted for 65.3 to 79.2% of total litterfall. *Tithonia diversifolia* fodder banks offer a viable alternative for combining soil conservation and sustainable production.

Keywords: Fodder species, Mexican Sunflower, nutrient recycling, periodic pruning.

INTRODUCCIÓN

La mayoría de los estudios sobre la caída y calidad de hojarasca en ambientes tropicales se ha realizado en bosques maduros y secundarios o plantaciones forestales, dado que juegan un papel fundamental en el ciclo de nutrientes a nivel global (Hernández-Ramos *et al.* 2017). En ecosistemas naturales, la hojarasca es la principal fuente de nutrientes del suelo y representa aproximadamente el 80% del total de nutrientes retornados al suelo por los detritos de los árboles (Santa-Regina y Tarazona 2001). A pesar de lo anterior, en condiciones tropicales, los procesos de producción de hojarasca y los flujos de nutrientes son complejos, debido a las condiciones del clima y a las características de la biota (Primo *et al.* 2021).

En los últimos años, los agroecosistemas tropicales han sido objeto de estudio, dado que algunas investigaciones recientes muestran que la integración de árboles y/o arbustos en los sistemas de producción favorece el reciclaje de nutrientes a través de la producción de hojarasca (i.e. deposición) y es una forma de promover la recuperación estratégica de los suelos degradados (Sileshi *et al.* 2020, Williams-Linera *et al.* 2021). Por lo anterior, es imperativo conocer el papel de los árboles/arbustos en los agroecosistemas del sureste de México para producir hojarasca dado que es fundamental para orientar a los agricultores en la selección de especies de árboles/arbustos más destacados para incorporarlos a sus sistemas de manejo agrícola (Hernández-Ramos *et al.* 2017, Verma *et al.* 2021). En el trópico existe una gran diversidad de agroecosistemas entre los que destacan los bancos de forraje, que son tecnologías silvopastoriles y consisten en áreas específicas donde se cultivan especies forrajeras de alto valor nutricional en altas densidades, las cuales se pueden utilizar para suplementar la dieta del ganado (Casanova-Lugo *et al.* 2014).

En los bancos de forraje del sur-sureste de México se han empleado diversas especies vegetales entre las que destacan *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae), *Moringa oleifera* Lam. (Moringaceae) y *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray (Asteraceae), debido a su excelente producción de forraje y alto valor nutricional (Casanova-Lugo *et al.* 2014, Uu-Espens *et al.* 2022). De manera tradicional estos sistemas están sujetos a diversas prácticas culturales, principalmente a las podas manuales o pastoreo, lo que puede influir en las características cuantitativas y cualitativas de la hojarasca (Hartemink 2005) pues estas prácticas podrían reducir hasta en 50% la producción de hojarasca al eliminar biomasa foliar, especialmente si se realiza durante la época seca, lo que limita el retorno de nutrientes al suelo. Al respecto, un estudio realizado por Petit-Aldana *et al.* (2011) mostró que, bajo condiciones de trópico subhúmedo, los bancos forraje mixtos de *Leucaena leucocephala* y *Guazuma ulmifolia* mostraron fluctuaciones significativas en la caída de hojarasca entre épocas, dado que la producción fue 1.5 veces mayor en lluvias (1,542 kg MS ha⁻¹ año⁻¹) que en sequía. Además, la calidad nutricional varió debido a que el nitrógeno (N) y fósforo (P) en hojarasca alcanzaron los mayores valores en lluvias, con aportes de hasta 23.2 kg N ha⁻¹·año⁻¹ en bancos de forraje mixtos de *L. leucocephala* y *Moringa oleifera*. Estas diferencias podrían influir directamente en la fertilidad del suelo y el crecimiento vegetal en el mediano plazo, por lo es necesario realizar ajustes estacionales en el manejo agronómico de estos sistemas. Por lo anteriormente planteado, el objetivo del presente estudio fue analizar y comparar la variación estacional en la caída de hojarasca y liberación de nutrientes (N, P y C) de *T. diversifolia*, *L. leucocephala* y *M. oleifera*, en bancos de forraje del sur de Quintana Roo, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

El presente estudio se realizó de enero a diciembre de 2019 en la posta ganadera del Instituto Tecnológico de la Zona Maya (ITZM), ubicado en la carretera Chetumal–Escárcega km. 21.5, en el Ejido Juan Sarabia, Othón P. Blanco, Quintana Roo, México (21° 51' N y 89° 41' O). Los suelos predominantes son del tipo gleysol de acuerdo con la clasificación de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (IUSS Working Group WRB, 2022). El clima es cálido subhúmedo (Aw1) de acuerdo con la clasificación de García (2004). Durante el periodo experimental, la temperatura máxima osciló de 32.1 a 37.2 °C, mientras que la temperatura mínima varió de 11.1 a 25.6 °C. La precipitación anual fue de 998 mm, sin embargo; las mayores precipitaciones (aproximadamente el 80%), se presentaron durante el periodo de agosto a diciembre.

Parcelas experimentales y manejo

El sitio tiene una historia de uso agropecuario, y a mediados de 2016 se establecieron tres bancos de forraje de *L. leucocephala*, *M. oleifera* y *T. diversifolia*, en una superficie de 0.6 ha, con un arreglo de siembra de 0.5 m entre plantas y de 2.0 m entre hileras, correspondiente a una densidad de plantación de 10 000 plantas ha⁻¹, y con una disposición de oriente a poniente. Los bancos de forraje tuvieron un manejo de corte y acarreo, es decir; las plantas fueron cosechadas de forma manual cada tres meses a 60 cm de la superficie del suelo y bajo condiciones de temporal; el control de malezas se realizó de forma manual y sin la aplicación de herbicidas ni fertilizantes químicos.

A finales del mes de diciembre de 2018 se realizó un corte de uniformización en los tres bancos de forraje. Posteriormente, cada tres meses los arbustos fueron podados de manera tradicional; de forma manual y a una altura de 0.6 m sobre el nivel suelo, durante los meses de marzo, junio, septiembre y diciembre.

Colecta de hojarasca

En cada banco de forraje se colocaron 10 trampas de hojarasca (réplicas) en un diseño completamente aleatorio, 30 trampas en total (unidades experimentales). Las trampas consistieron en cuadros de PVC de 1.0 m² (1.0 × 1.0 m), cubiertos con malla de fibra de carbono de 2.0 mm de separación y en todos los casos se colocaron al margen de las hileras de las leñosas a una altura de 0.25-0.30 m de la superficie del suelo, para permitir la filtración del agua y la aireación del material (Petit-Aldana *et al.* 2011). La hojarasca se recolectó quincenalmente, durante un año (enero a diciembre 2019), dando un total de 24 recolecciones por tratamiento. Para el presente estudio se consideraron tres épocas del año: lluvias (junio a septiembre), nortes (octubre a enero) y secas (febrero a mayo).

Las muestras de hojarasca fueron transportadas al laboratorio de Estudios Avanzados en Agroecosistemas del IT de Zona Maya, donde fueron separadas en hojas y ramas; agrupadas por cada mes de colecta. Las muestras fueron secadas en estufa de circulación de aire forzado a 60 °C hasta peso constante. La deposición de hojarasca fue extrapolada a unidades por hectárea (t MS ha⁻¹) en cada época del año.

Composición química de la hojarasca

Para conocer la composición química de la hojarasca, las muestras fueron molidas a un tamaño de partícula de 1.0 mm, después se tomó una muestra compuesta para cada especie y se les determinó por duplicado el contenido de nitrógeno (N) y carbono (C) por el método de combustión seca con un analizador elemental PerkinElmer 2400 Series II (PerkinElmer Inc., Massachusetts, USA). El contenido de fósforo (P) se determinó utilizando un espectrofotómetro PerkinElmer Lambda 1A a 880 nm (AOAC 2016). Además, se estimó la relación C:N y la relación N:P de la hojarasca producida para cada una de las especies estudiadas, los valores promedio se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición química promedio (%) de la hojarasca de *Leucaena leucocephala*, *Moringa oleifera* y *Tithonia diversifolia* en bancos de forraje del sur de Quintana Roo, México.

Parámetros	<i>L. leucocephala</i>	<i>M. oleifera</i>	<i>T. diversifolia</i>
C (%)	40.32	37.05	38.05
N (%)	1.84	1.46	1.64
P (%)	0.08	0.43	0.35
Relación C:N	22.07	25.46	23.28
Relación N:P	23.00	3.40	4.69

C, carbono; N, nitrógeno; P, fósforo.

Retorno potencial de nutrientes

El retorno potencial o deposición de nutrientes al suelo se cuantificó multiplicando la producción mensual de hojarasca y la fracción promedio de cada nutriente de cada especie (% N, P y C). Además, se determinó la deposición acumulada de cada nutriente en cada época del año (kg ha⁻¹) para todas las especies.

Análisis estadísticos

Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza de dos vías de acuerdo a un diseño completamente al azar (Steel *et al.* 1997), donde se consideró el efecto de la época del año, las especies y la interacción de ambos factores. Para probar los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas de cada componente de la hojarasca y la composición química, los datos se sometieron a las pruebas estadísticas de Kolmogorov-Smirnov, Shapiro Wilk y Levene (Steel *et al.* 1997). Para declarar diferencias estadísticas entre medias de los diferentes tratamientos se empleó la prueba de Tukey con un nivel de significancia de 5%. Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando programación R (Versión 4.4.2).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los análisis estadísticos mostraron que la interacción entre la época del año y las especies tuvo efectos significativos sobre la caída de los diferentes componentes de la hojarasca ($p < 0.05$). Al respecto se observó que *T. diversifolia* mostró la mayor deposición de hojas, ramas y total de hojarasca en la época de lluvias (0.66, 0.22 y 0.87 t MS ha⁻¹), comparado con los demás tratamientos (Tabla 2). En contraste, la interacción entre la época del año y las especies no tuvo efectos significativos sobre la contribución de las hojas en la caída total de hojarasca de *L. leucocephala*, *M. oleifera* y *T. diversifolia*, con valores que oscilan de 65.3 a 79.2% (Tabla 2).

Tabla 2. Caída estacional de los diferentes componentes de la hojarasca (t MS ha⁻¹) y contribución de las hojas en la caída total de hojarasca de *Leucaena leucocephala*, *Moringa oleifera* y *Tithonia diversifolia* en bancos de forraje del sur de Quintana Roo, México.

Época del año	Especie	Hojas	Ramas	Total	Contribución de las hojas (%)
Lluvias	<i>L. leucocephala</i>	0.40 c	0.15 b	0.55 b	72.3
	<i>M. oleifera</i>	0.39 c	0.13 c	0.52 b	74.7
	<i>T. diversifolia</i>	0.66 a	0.22 a	0.87 a	74.9
Nortes	<i>L. leucocephala</i>	0.33 d	0.11 d	0.44 c	74.0
	<i>M. oleifera</i>	0.31 d	0.10 d	0.41 c	75.7
	<i>T. diversifolia</i>	0.45 b	0.12 d	0.57 b	79.8
Seca	<i>L. leucocephala</i>	0.18 f	0.09 d	0.27 d	65.3
	<i>M. oleifera</i>	0.17 f	0.08 e	0.25 d	68.6
	<i>T. diversifolia</i>	0.25 e	0.11 d	0.36 c	70.7
E.E.M.		0.03	12.2	34.5	4.8
Valor-p		0.004	0.028	0.002	0.826

Literales distintas en cada columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a Tukey ($p < 0.05$). E.E.M., error estándar de la media.

Los resultados del presente trabajo evidenciaron que la caída de hojarasca sigue un patrón de distribución unimodal tanto en la época seca como en la lluviosa. Esta sincronía sugiere que la disponibilidad hídrica es un factor clave en la dinámica foliar, favoreciendo el crecimiento y posterior desprendimiento de hojas. Sin embargo, esta relación no depende únicamente de la estacionalidad, sino que el manejo del sistema también ejerce una influencia significativa, tal como mencionan Petit-Aldana *et al.* (2011). En particular, se ha documentado que la poda en especies como *Eucalyptus camaldulensis*, puede reducir la producción de hojarasca hasta un 40%, en comparación con árboles no podados (Harmand *et al.* 2004). Esto ocurre porque, después de la poda, la planta prioriza la formación de nuevos tallos y hojas, lo que implica una reasignación de

las reservas de carbohidratos y modificaciones sustanciales en sus patrones de crecimiento (Harmand *et al.* 2004; Casanova-Lugo *et al.* 2010).

Esta influencia del manejo también se refleja en la comparación con otros trabajos. Mientras que Petit-Aldana *et al.* (2011), reportaron que la producción anual de hojarasca en bancos de forraje de *L. leucocephala* y *M. oleifera*, en el rango de 0.03 a 1.0 t MS ha⁻¹, en el presente estudio, al considerar las tres épocas del año evaluadas, los bancos de forraje de *L. leucocephala*, *M. oleifera* y *T. diversifolia* mostraron valores que oscilan de 1.18-1.81 t MS ha⁻¹. Estas diferencias podrían deberse no solo a las condiciones edafoclimáticas y edad de los bancos de forraje, sino también a las prácticas de manejo implementadas, que pueden favorecer o limitar la acumulación de biomasa foliar disponible para la caída (Petit-Aldana *et al.* 2011).

En cuanto a la composición de la hojarasca, las hojas representaron la fracción predominante (65.3-79.2%), lo que se explica por su tasa de renovación y su ciclo biológico natural, en concordancia con lo observado por Miranda-Pérez *et al.* (2021). En contraste, las estructuras reproductivas fueron escasas y su aparición fue irregular a lo largo del periodo experimental, probablemente como consecuencia del régimen de aprovechamiento de los bancos de forraje, que limita la formación de flores y frutos (Petit-Aldana *et al.* 2011). A pesar de ello, nuestros valores coinciden con diversos estudios que mencionan que la hojarasca está conformada principalmente por hojas, dado que representa entre el 50 y 80% del total de los componentes de la hojarasca en diversos agroecosistemas (Caritat *et al.* 2006, Santa-Regina y Tarazona 2001, López *et al.* 2013).

Varios estudios indican que las características foliares, la humedad en las hojas, así como la fenología de las especies pueden explicar las variaciones mensuales en la caída de hojarasca (Sánchez-Silva *et al.* 2018; Moreno-Valdez *et al.* 2018). Sin embargo, en el presente estudio estas características fenológicas y estructurales de las especies no fueron evaluadas, dado que los bancos de forraje fueron sujetos a podas frecuentes (i.e. cada tres meses) para su aprovechamiento, donde se removió del 70 al 80% del follaje de las especies. Este manejo intensivo probablemente modificó dichos atributos y, en consecuencia, pudo influir en los patrones de producción y composición de hojarasca observados.

Aporte potencial de nutrientes

La interacción entre la época del año y las especies tuvo efectos significativos sobre la liberación de nutrientes a través de la hojarasca ($p < 0.05$). Durante la época de lluvias *T. diversifolia* mostró los mayores aportes potenciales de C, N y P (332.1, 14.5, 3.1 kg ha⁻¹), comparado con los demás tratamientos (Tabla 3).

Los macronutrientes como el N y P, así como el C son esenciales para la productividad en los ecosistemas naturales, no obstante, su disponibilidad y dinámica en agroecosistemas tropicales, como los bancos de forraje, representan desafíos críticos para su resiliencia (Escobedo-Cabrera *et al.* 2025). Estudios previos han documentado variaciones en la composición química estacionales. Por ejemplo, Sánchez *et al.* (2008) señalan que la hojarasca de *L. leucocephala* mostró un contenido inferior de N y P (2.70 y 0.10%) en la época seca, comparados con la época lluviosa (4.40 y 0.15%). De manera similar, Salako y Tian (2001) reportaron que el contenido de N y P en la hojarasca varió

de 0.43 a 2.43% y de 0.02 a 0.07%, lo que refleja la capacidad de adaptación de las plantas a la estacionalidad y a las perturbaciones derivadas del manejo (Moreno-Valdez *et al.* 2018).

En el presente estudio se observaron aportes moderados de nutrientes, aunque fueron superiores para el banco de forraje de *T. diversifolia* comparado con *L. leucocephala* y *M. oleifera*, debido a su alta capacidad de adaptación a diversas condiciones edáficas (Escobedo-Cabrera *et al.* 2025). Por ejemplo, Sánchez *et al.* (2008) encontraron que el aporte anual de N y P de *L. leucocephala* de 10 años de edad fue de 118.1 y 4.2 kg ha⁻¹, respectivamente. Del mismo modo, Jha y Prasad Mohapatra (2010), indican valores anuales de N y P que van de 76.2-2.3 kg ha⁻¹ y de 51.4-1.8 kg ha⁻¹, valores similares a lo reportado en el presente estudio. No obstante, la información sobre el aporte de C, N y P de *T. diversifolia* aún es limitada. A pesar de lo anterior, la integración de *L. leucocephala*, *T. diversifolia* y *M. oleifera*, en bancos de forraje podría favorecer un reciclaje de nutrientes más eficiente debido a la alta calidad de la hojarasca, contribuyendo a la recuperación estratégica de áreas degradadas, tal como mencionan Sheppard *et al.* (2020) y Williams-Linera *et al.* (2021). En este sentido, será necesario conocer los patrones de descomposición de la hojarasca y liberación de nutrientes al suelo de las especies estudiadas.

Tabla 3. Aporte estacional (kg ha⁻¹) de nitrógeno, fósforo y carbono de la hojarasca de *Leucaena leucocephala*, *Moringa oleifera* y *Tithonia diversifolia* en bancos de forraje del sur de Quintana Roo, México.

Época del año	Especie	Nitrógeno	Fósforo	Carbono
Lluvias	<i>L. leucocephala</i>	10.2 b	0.5 d	220.3 b
	<i>M. oleifera</i>	7.6 d	2.2 b	189.5 b
	<i>T. diversifolia</i>	14.5 a	3.1 a	332.1 a
Nortes	<i>L. leucocephala</i>	8.3 c	0.4 d	175.9 bc
	<i>M. oleifera</i>	6.2 e	1.8 b	150.4 c
	<i>T. diversifolia</i>	9.7 b	2.0 b	218.1 b
Seca	<i>L. leucocephala</i>	4.7 f	0.2 d	110.0 e
	<i>M. oleifera</i>	3.5 g	1.0 c	94.1 e
	<i>T. diversifolia</i>	5.7 e	1.2 c	137.5 c
E.E.M.		0.6	0.2	12.9
Valor-p		<0.001	<0.001	0.002

Literales distintas en cada columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a Tukey (p < 0.05). E.E.M., error estándar de la media.

Finalmente, la caída de hojarasca y el aporte de nutrientes a través de la hojarasca mostraron una marcada estacionalidad, con un pico de deposición coincidente con la estación lluviosa. Tanto la caída de hojarasca como el aporte potencial de nutrientes fueron diferentes entre los bancos de forraje evaluados, destacando *T. diversifolia* por su mayor deposición de hojarasca, así como de los mayores aportes de N, P y C.

En las zonas tropicales, donde los agroecosistemas constituyen una matriz dominante del paisaje, la integración de especies arbóreas y arbustivas de alto rendimiento como *T. diversifolia*, en bancos de forraje, representa una estrategia eficaz para maximizar la producción primaria, y simultáneamente potenciar servicios ecosistémicos clave como el reciclaje de nutrientes, la mejora de fertilidad del suelo y conservación de carbono. Este enfoque no solo contribuye a la sostenibilidad productiva, sino que también ofrece una vía viable para armonizar la conservación de recursos naturales con las necesidades de producción de alimentos en zonas tropicales degradados o en riesgo de degradación.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresamos nuestra gratitud al Tecnológico Nacional de México por las facilidades brindadas para desarrollar el presente estudio. Asimismo, agradecemos a los revisores anónimos que contribuyeron a mejorar este manuscrito.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

No aplica

LITERATURA CITADA

- AOAC (2016) Official methods of analysis of AOAC international. AOAC International, Rockville. 700p.
- Caritat A, García-Berthou E, Lapeña R, Vilar L (2006) Litter production in a *Quercus suber* forest of Montseny (NE Spain) and its relationship to meteorological conditions. *Annals of Forest Science* 63: 791-800. <http://dx.doi.org/10.1051/forest:2006061>
- Casanova-Lugo F, Caamal MJ, Petit, AJ, Solorio SF, Castillo CJ (2010) Acumulación de carbono en la biomasa de *Leucaena leucocephala* y *Guazuma ulmifolia* asociadas y en monocultivo. *Revista Forestal Venezolana* 54(1): 45-50.
- Casanova-Lugo F, Petit-Aldana J, Solorio-Sánchez FJ, Parsons D, Ramírez-Avilés L (2014) Forage yield and quality of *Leucaena leucocephala* and *Guazuma ulmifolia* in mixed and pure fodder banks systems in Yucatán, México. *Agroforestry Systems* 8: 29-39. <https://doi.org/10.1007/s10457-013-9652-7>

- Escobedo-Cabrera A, Casanova-Lugo F, Aryal DR, Cetzal-Ix WR, Villanueva-López G, Oros-Ortega I, Ramírez-Barajas PJ, Lara-Pérez LA, González-Valdivia NA (2025) Litter production and nutrient return in fodder bank systems in the sub-humid tropics of Mexico. *Experimental Agriculture* 61: 1–15. <https://doi.org/10.1017/S0014479725100057>
- García E (2004) Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía-UNAM, 5ta edición. México. 90p.
- Harmand JM, Forkong NC, Bernhard-Reversat F, Puig H (2004) Aboveground and belowground biomass, productivity and nutrient accumulation in tree improved fallows in the dry tropics of Cameroon. *Forest Ecology and Management* 188: 249-265. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2003.07.026>
- Hartemink AE (2005) Nutrient stocks, nutrient cycling and soil changes in cocoa ecosystems - a review. *Advances in Agronomy* 86: 227-253. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(05\)86005-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(05)86005-5)
- Hernández-Ramos A, Valdez-Lazalde JR, Ángeles-Pérez G, de los Santos-Posadas HM, Hernández-Ramos J, Peduzzi A, Carrero O (2017) Productividad primaria neta aérea en plantaciones comerciales de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake en Huimanguillo, Tabasco, México. *Agrociencia* 51: 343-358.
- IUSS Working Group WRB (2022) World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria. 236p.
- Jha P, Prasad-Mohapatra K (2010) Leaf litterfall, fine root production and turnover in four major tree species of the semi-arid region of India. *Plant and Soil* 326: 481-491. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0027-9>
- López HJM, González RH, Ramírez LRG, Cantó SI, Gómez MMV, Pando MM, Estrada CAE (2013) Producción de hojarasca y retorno potencial de nutrientes en tres sitios del estado de Nuevo León, México. *Polibotánica* 35: 41-64.
- Miranda-Pérez D, Ravelo-Pimentel K, Vigil García PA, Díaz-López MS (2021) Acumulación de hojarasca y liberación de nutrientes al suelo en rodales de *Pinus tropicalis* Morelet. *Revista Cubana de Ciencias Forestales* 9(3): 454-469.
- Moreno-Valdez ME, Domínguez-Gómez TG, Alvarado M del S, Colín JG, Corral-Rivas S, González-Rodríguez H (2018) Aporte y descomposición de hojarasca en bosques templados de la región de El Salto, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9(47): 70-93. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i47.180>
- Petit-Aldana J, Casanova-Lugo F, Solorio-Sánchez J, Ramírez-Avilés L (2011) Producción y calidad de hojarasca en bancos de forraje puros y mixtos en Yucatán, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17: 165-178.
- Primo AA, Araújo MDM, Silva KF, Silva LA, Pereira GAC, Fernandes FEP, Pompeu RCFF, Natale W, de Souza HÁ (2021) Litter production and nutrient deposition from native woody species in the Brazilian semi-arid region. *Agroforestry Systems* 95: 1459-1464. <https://doi.org/10.1007/s10457-021-00652-4>
- Salako FK, Tian G (2001) Litter and biomass production from planted and natural fallows on a degraded soil in southwestern Nigeria. *Agroforestry Systems* 51: 239–251. <https://doi.org/10.1023/A:1010768419173>
- Sánchez C, Lama D, Suantunce P (2008) Hojas caídas y aporte de nutrientes de diez especies forestales tropicales. *Ciencia y Tecnología* 1(2): 73-78. <http://dx.doi.org/10.18779/cyt.v1i2.72>
- Sánchez-Silva S, De Jong BH, Aryal DR, Huerta-Lwanga E, Mendoza-Vega J. (2018) Trends in leaf traits, litter dynamics and associated nutrient cycling along a secondary successional chronosequence of semi-evergreen tropical forest in South-Eastern Mexico. *Journal of Tropical Ecology* 34(6): 364-377. <https://doi.org/10.1017/S0266467418000366>
- Santa-Regina I, Tarazona T (2001) Organic matter and nitrogen dynamics in a mature forest of common beech in the Sierra de la Demanda, Spain. *Annals of Forest Science* 58: 301-314.

- Sheppard JP, Reckziegel RB, Borrass L, Chirwa PW, Cuaranhua CJ, Hassler SK, Hoffmeister S, Kestel F, Maier R, Mälicke M, Morhart C, Ndlovu NP, Veste M, Funk R, Lang F, Seifert T, du Toit B, Kahle H-P (2020) Agroforestry: An appropriate and sustainable response to a changing climate in Southern Africa? *Sustainability* 12: 1-31. <https://doi.org/10.3390/su12176796>
- Sileshi GW, Mafongoya PL, Nath AJ (2020) Agroforestry Systems for improving nutrient recycling and soil fertility on degraded lands. In: Dagar JCh, Gupta SR, Teketay D (eds) *Agroforestry for degraded landscapes*. Springer, Singapore. pp. 225-253. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4136-0_8
- Steel RGD, Torrie JH, Dickey DA (1997) *Principles and procedures of statistics, A biometrical approach*. 3rd Edition. McGraw Hill, Inc. Book Co., New York. 666p.
- Uu-Espens C, Canul-Solís JR, Chay-Canul AJ, Piñeiro-Vázquez AT, Villanueva-López G, Aryal DR, Pozo-Leyva D, Casanova-Lugo F (2022) Seasonal variation in biomass yield and quality of *Tithonia diversifolia* at different cutting heights. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 9(3): e3252. <https://doi.org/10.19136/era.a9n3.3252>
- Verma A, Kumar P, Soni ML, Pawar N, Pradhan U, Tanwar SPS, Kumar S (2021) Litter production and litter dynamics in different agroforestry systems in the arid western region of India. *Biological Agriculture & Horticulture* 38: 40-60. <https://doi.org/10.1080/01448765.2021.1971110>
- Williams-Linera G, Bonilla-Moheno M, López-Barrera F, Tolome J (2021) Litterfall, vegetation structure and tree composition as indicators of functional recovery in passive and active tropical cloud forest restoration. *Forest Ecology and Management* 493: 119260. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119260>