

Caída de hojarasca y depósito de nutrientes en tres ecosistemas forestales del noreste de México

Litterfall and nutrient deposition in three forest Ecosystems, Northeastern Mexico

Verónica Hernández-Merino
Nelson Manzanares-Miranda
Israel Cantú-Silva

Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales, Carretera Nacional, No. 85, km 145. CP. 67700. Linares, Nuevo León, México.

Juan Manuel López-Hernández

Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Carretera San Luis Potosí-Matehuala Km. 14.5. Ejido Palma de la Cruz. CP. 78321. Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, México.

Humberto González-Rodríguez*

Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales, Carretera Nacional, No. 85, km 145. CP. 67700. Linares, Nuevo León, México.

*Autor para correspondencia: humberto.gonzalezrd@uanl.edu.mx

Resumen

La caída de hojarasca contribuye al desarrollo del suelo de los bosques, ya que esta pasa por un proceso de descomposición que genera la liberación de los nutrientes que la componen. Por tal motivo, el objetivo de este estudio fue evaluar la producción anual de hojarasca y el retorno de nutrientes (Ca, Mg, K y P) y el uso eficiente nutrientes (UEN) en tres ecosistemas forestales del Noreste de México. La hojarasca fue cuantificada a intervalos mensuales de enero a diciembre del 2020 en tres sitios de estudio: Sitio 1 Jesús María (Matorral Espinoso Tamaulipeco), Sitio 2 Crucitas (Matorral Submontano) y El Sitio 3 Bosque Escuela (Bosque de Pino-Encino). Respecto a la producción anual de hojarasca ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$), el sitio Crucitas fue el que acumuló la mayor producción (591.88) mientras que la menor fue en el sitio Bosque Escuela (466.77). El depósito de nutrientes ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$) varió de la siguiente forma: Ca de 8.62 (Bosque Escuela) a 27.29 (Crucitas); Mg de 0.70 (Bosque Escuela) a 1.97 (Jesús María), K de 0.70 (Bosque Escuela) a 1.96 (Jesús María) y P de 0.19 (Bosque Escuela) a 0.51 (Crucitas). Respecto al UEN ($\text{g hojarasca}\cdot\text{g}^{-1}$ nutriente), el Ca fluctuó de 21.68 (Crucitas) a 54.10 (Bosque Escuela), para Mg de 253.43 (Jesús María) a 665.98 (Bosque Escuela), para el K de 64.16 (Jesús María) a 275.35 (Bosque Escuela) y para el P de 2413.3 (Bosque Escuela) a 1077.3 (Jesús María). Las diferencias entre la producción de hojarasca y depósito de nutrientes se deben en parte, a la diversidad de especies en cada ecosistema, a la fenología de las especies y a las condiciones ambientales prevalecientes en cada sitio de estudio.

Palabras clave: Bosque de pino-encino, hojarasca, matorral, uso eficiente de nutrientes.

Abstract

Litterfall contributes to the development of forest soils, since it undergoes a decomposition process that generates the release of nutrients onto the soil. Therefore, the objective of this study was to evaluate the annual litterfall production, the return of nutrients (Ca, Mg, K and P) and the nutrient use efficiency (NUE) in three forest ecosystems of northeastern Mexico. Litterfall was quantified on a monthly basis from January to December 2020 at three study sites: Site 1 Jesús María (Tamaulipan Thornscrub), Site 2 Crucitas (Submontane Scrub) and Site 3 Bosque Escuela (Pine-Oak Forest). Regarding the annual litterfall production ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$), the Crucitas site had the highest production (591.88) while the lowest one was registered at the Bosque Escuela site (466.77). Nutrient deposition ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$) varied as follows: Ca from 8.62 (Bosque Escuela) to 27.29 (Crucitas); Mg from 0.70 (Bosque Escuela) to 1.97 (Jesús María), K from 0.70 (Bosque Escuela) to 1.96 (Jesús María), and P from 0.19 (Bosque Escuela) to 0.51 (Crucitas). Regarding the NUE, Ca fluctuated from 21.68 (Crucitas) to 54.10 (Bosque Escuela), Mg from 253.43 (Jesús María) to 665.98 (Bosque Escuela), K from 64.16 (Jesús María) to 275.35 (Bosque Escuela), and P from 2413.3 (Bosque Escuela) to 1077.3 (Jesús María). The differences between litterfall production and nutrient deposition are due, in part, to the diversity of species in each forest ecosystem, the phenology of the species and the environmental conditions prevailing at each study site.

Keywords: Pine-oak forest, litterfall, shrubland, nutrient use efficiency.

Introducción

Los bosques aportan múltiples servicios ecosistémicos como es la fertilidad del suelo (Lara *et al.*, 2009). Este proceso está estrechamente ligado con el desarrollo de la cubierta orgánica que resulta de la caída de hojas, ramas, corteza, frutos entre otros componentes (Prause, 1997), los cuales pasarán a formar parte del suelo una vez que la hojarasca se descomponga, de tal manera que los nutrientes se encontrarán disponibles para las plantas y estas los absorberán por medio de la raíz. Este proceso se le conoce como ciclo de nutrientes, el cual está constituido por la descomposición y mineralización de la materia orgánica (Arce-Urrea, 2007). El aporte de hojarasca al suelo, por la actividad de procesos primarios, es una fase muy importante en la dinámica de nutrientes a través de la caída de hojarasca y la eficiencia de los nutrientes. Estos dos factores permiten valorar la capacidad que tiene la especie o ecosistema para aportar materia orgánica y nutrientes al suelo, y observar su desempeño desde la perspectiva de un uso eficiente de nutrientes limitantes para el crecimiento y desarrollo de la vegetación (Castellano-Barliza, 2018). Con base a lo anterior, la finalidad del presente estudio fue evaluar la caída de hojarasca y depósito de nutrientes en tres ecosistemas forestales del Noreste de México. Por lo anterior, este trabajo de investigación podrá contribuir y servir como base para futuras investigaciones, aplicada en la producción forestal, restauración y conservación de bosques.

Materiales y Métodos

Localización del área de estudio

La investigación se llevó a cabo en tres sitios del estado de Nuevo León, México (Figura 1). Sitio 1 Ejido Jesús María, representado por el Matorral Espinoso Tamaulipeco, Sitio 2 Ejido Crucitas, representado por Matorral Submontano. Estos dos sitios se localizan en el municipio de Linares y el Sitio 3, Bosque Escuela-UANL, representado por un Bosque de Pino Encino, el cual se ubica en el Campus Ecológico “Bosque Escuela” de la Universidad Autónoma de Nuevo León, en el municipio de Iturbide. La ubicación geográfica del sitio Jesús María es 24°43'37.2" N; 99°35'11.6" O;

con una altitud de 380 msnm y la precipitación pluvial varía entre los 400 y 750 mm anuales, con un valor de precipitación promedio de 705 mm. En tanto, el sitio Crucitas se ubica geográficamente a 24°45'03.7" N; 99°44'25.6" O; con una altitud de 560 msnm y cuenta con precipitación anual de 755 mm (Bravo, 1999), mientras que el sitio Bosque Escuela, se ubica en las coordenadas 24°42'30.6" N; 99°51'45.8" O; con una altitud de 1600 msnm y la precipitación anual es de 620 mm. Los suelos en los sitios de estudio son variados, pero los más comunes que se localizan en el área de la Sierra Madre Oriental en el municipio de Iturbide son del tipo Castañozem y Chernozem, los primeros se caracterizan por ser de textura limosa en suelos superficiales y arcilloso limosa en el subsuelo, con altos contenidos de nutrientes minerales tales como K, Fe, Mn, Cu, así como bajos contenidos de Zn y P. El pH es moderadamente alcalino (7.5 – 8.5), con bajos contenidos de materia orgánica y nitrógeno (Cantú y González, 2002). Mientras que, los Chernozem se caracterizan por presentar una porosidad alta del 55 al 60 % y una densidad aparente baja. En la parte química, destacan por los altos porcentajes de materia orgánica (10 a 16 %), el pH varía de 6.6 a 8.5, tiene una relación C/N de

CAÍDA DE HOJARASCA Y DEPÓSITO DE NUTRIENTES EN TRES ECOSISTEMAS FORESTALES DEL NORESTE DE MÉXICO

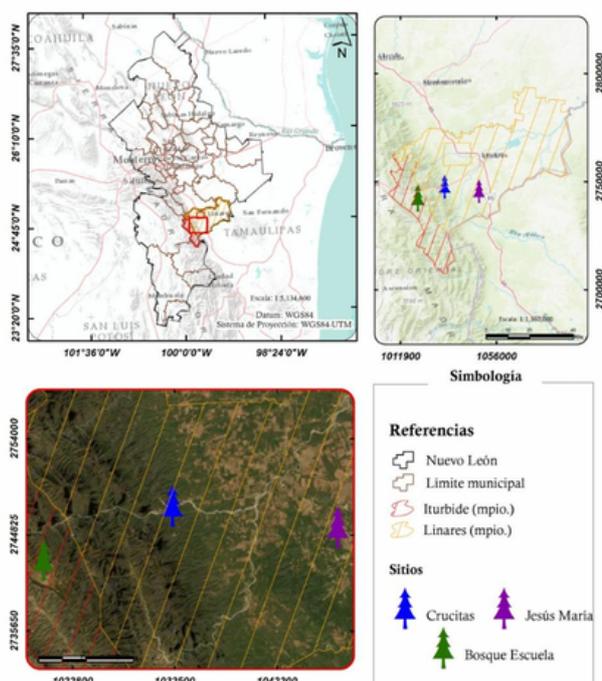


Figura 1. Localización de área de estudio.

10 y el nitrógeno total fluctúa de 0.2 a 0.5 %. En el municipio de Linares en las zonas de planicies y lomeríos los suelos más comunes son de tipo Vertisol. Estos se caracterizan por presentar un alto contenido de arcillas expansivas, los cuales presentan un horizonte A profundo y sin horizonte B. En cuanto a su uso se realizan actividades como: agricultura, ganadería, y desarrollo de asentamientos humanos (Cantú y González, 2002).

Colecta de hojarasca

Para la recolección de la hojarasca en cada sitio de estudio, se colocaron 10 canastas o colectores de 1.0 m², consistentes en un marco de madera cuyo fondo se cubrió con malla plástica fina de 1.0 mm de apertura, los cuales fueron ubicados al azar en un área de aproximadamente 2,500 m². Todas las canastas se colocaron a 50 cm sobre el nivel del suelo. Para evitar subestimar el peso de la hojarasca y minimizar su pérdida durante el experimento, la colecta de hojarasca en cada sitio de estudio se realizó cada 15 días de enero a diciembre del 2020. No obstante, las dos recolectas quincenales de cada mes se mezclaron (López-Hernández *et al.*, 2022).

Análisis de laboratorio

La hojarasca fue colectada en bolsas de papel previamente etiquetadas con el número de colector y sitio de estudio. Posteriormente, se secaron en una estufa de aire forzado (Felisa, modelo FE-292AD) a 70°C durante 72 h, para cuantificar posteriormente el peso seco (g·m⁻²) mediante una balanza digital (Sartorius, modelo Laboratory LC 620 S). Sumando todos los muestreos realizados, por repetición, mes y sitio de estudio, se determinó el depósito anual (g·m⁻²·año⁻¹). Posteriormente, las muestras de hojarasca se molieron mediante un molino Thomas Willey (Thomas Scientific Apparatus, Modelo 3383) usando una malla del número 60 (1 mm x 1 mm). El material molido se recolectó en bolsas tipo ziploc previamente etiquetadas para su análisis químico (López-Hernández *et al.*, 2022).

Determinación de minerales

La preparación de extractos para determinar macronutrientes (Ca, Mg, K y P) en la hojarasca se realizó

de acuerdo a las técnicas analíticas de digestión descritas en AOAC (2012). De cada canasta (repetición) proveniente de cada sitio y mes de colecta, se usó 1.0 g para determinar la concentración de minerales. Primero, se incineraron en una mufla (Felisa, modelo FE-340) a 550°C durante 3.5 h. Las cenizas obtenidas fueron digeridas en una solución de HCl (10%, v/v) y HNO₃ (0.1%, v/v) utilizando la técnica de digestión húmeda (Cherney, 2000). Las concentraciones de Ca, K y Mg se determinaron por espectrofotometría de absorción atómica (marca Perkin Elmer, modelo PINAACLE 900F), mientras que el P se cuantificó por el método de colorimetría utilizando un espectrofotómetro UV-Visible (Perkin-Elmer, modelo Lambda 1A) a 880 nm (AOAC 2012). El depósito de minerales se cuantificó multiplicando la producción de la hojarasca (g·m⁻²) por la concentración de cada mineral (mg·g⁻¹ peso seco), expresando los valores en mg del elemento·m⁻². Los valores mensuales acumulados en cada sitio se utilizan como una estimación del depósito anual (mg·m⁻²·año⁻¹) de minerales. El depósito anual de hojarasca dividido entre el depósito anual de Ca, Mg, K y P se utilizó para determinar, en cada sitio, el uso eficiente de nutrientes (UEN), (Vitousek, 1982).

Análisis Estadísticos

Para determinar si existen diferencias significativas en la producción anual de la hojarasca y de nutrientes entre los sitios de estudio, los datos fueron sometidos a pruebas estadísticas de distribución normal y homogeneidad de varianzas (Steel y Torrie, 1980). Los datos de la deposición de hojarasca demostraron que se cumplieron ambos supuestos (Normalidad; pruebas de Kolmogorov-Smirnov y de Shapiro-Wilk con la corrección de Lilliefors) y de homogeneidad de varianzas (prueba de Levene), por lo que se evaluaron mediante un diseño completamente aleatorio y se utilizó la prueba de Tukey para comparar las medias entre los sitios a un nivel de significancia de $p \leq 0.05$. En cambio, dado que no se cumplieron ambos supuestos para el depósito de nutrientes, se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (Ott, 1993) para detectar diferencias significativas entre los sitios. Las diferencias entre las medias de la

deposición de nutrientes fueron validadas mediante la prueba de Mann-Whitney U con la corrección de Bonferroni a un nivel de $p \leq 0.05$ (Ott, 1993). Todos los análisis estadísticos se realizaron con el programa estadístico SPSS, versión 17.0 para Windows.

Resultados

Producción de hojarasca

La caída anual de la hojarasca varió de 591.9 a 466.7 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$ para los sitios de Crucitas y Bosque Escuela, respectivamente (Cuadro 1). El sitio de Crucitas promedió 21% más que el sitio de Bosque Escuela (Cuadro 1). No se encontró diferencias significativas entre los tres sitios de estudio para la caída anual de la hojarasca ($p > 0.05$). La deposición anual de macro-nutrientes ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$) de Ca varió de 8.63 (Bosque Escuela) a 20.12 (Jesús María), Mg de 0.7 (Bosque Escuela) a 1.97 (Jesús María), K de 1.7 (Bosque Escuela) a 7.77 (Jesús María) y P de 0.19 (Bosque Escuela) a 0.51 (Crucitas) (Cuadro 1). Dichas deposiciones fueron estadísticamente diferentes entre los sitios.

Cuadro 1. Producción anual de hojarasca, depósito de nutrientes y uso eficiente de los nutrientes (EUN) en cada sitio de estudio. Los valores de producción de hojarasca y de nutrientes representan la media \pm error estándar de la media ($n=10$). El valor p de la prueba de Kruskal-Wallis para detectar diferencias significativas entre los sitios de muestra en la columna derecha.

Depósito Anual	Sitios de Estudio			Estadístico	
	Jesús María	Crucitas	Bosque Escuela	χ^2	P
Hojarasca ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$)	498.4324 \pm 182.66	591.8878 \pm 222.42	466.7718 \pm 165.79	6.225	0.045
Nutrientes ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$)					
Ca	20.12 \pm 11.20	27.29 \pm 11.51	8.63 \pm 4.51	20.457	<0.001
Mg	1.97 \pm 1.11	1.71 \pm 0.75	0.7 \pm 0.28	20.015	<0.001
K	7.77 \pm 4.11	5.99 \pm 3.03	1.7 \pm 0.80	19.564	<0.001
P	0.46 \pm 0.16	0.51 \pm 0.21	0.19 \pm 0.06	19.791	<0.001
EUN					
Ca	24.8	21.7	54.1	18.870	<0.001
Mg	253.4	345.5	666.0	23.693	<0.001
K	64.2	98.8	275.4	20.841	<0.001
P	1077.3	1161.2	2413.3	20.015	<0.001

La eficiencia de uso de nutrientes de la hojarasca (EUN) se calculó como $(\text{g}\cdot\text{hojarasca}\cdot\text{año}^{-1}) / (\text{g}\cdot\text{nutriente de la hojarasca}\cdot\text{año}^{-1})$.

En los tres sitios de estudio se detectaron incrementos en la producción de hojarasca en distintos meses del año (Figura 2). Para el sitio Jesús María, las mayores producciones se presentaron en los meses de enero, agosto y diciembre. Para el sitio Crucitas, las mayores producciones se presentaron en los meses de febrero, noviembre y diciembre, y para el sitio

Bosque Escuela, la mayor producción se presentó en el mes de abril, los cuales representan un 39, 25 y 19% de la producción total de la hojarasca para cada sitio, respectivamente.

La dinámica mensual de la caída de hojarasca durante el período de estudio mostró diferencias estadísticas entre los sitios en algunos meses como lo demuestran los análisis estadísticos en el Cuadro 2. Para el sitio Jesús María el depósito fluctuó de 17.32 (julio) a 69.71 (enero) $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$, en Crucitas varió de 21.08 (junio) a 80.07 (noviembre) $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ y en Bosque Escuela, fue de 11.51 (octubre) a 92.55 (abril) $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$. De los doce meses de muestreo, solo cuatro (febrero, marzo, junio y septiembre) no mostraron diferencias significativas ($p > 0.05$).

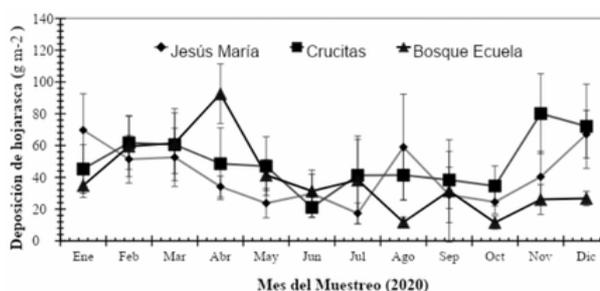


Figura 2. Producción de hojarasca mensual ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$) en los tres sitios de estudio. Cada valor graficado representa la media \pm error estándar ($n = 10$).

Cuadro 2. Resumen de los análisis de la prueba de Kruskal-Wallis para detectar diferencias significativas entre los sitios para nutrientes y la deposición total del mes. Los valores de P en negritas representan diferencias entre ecosistemas para la deposición de hojarasca y nutrientes.

Mes	Macro-Nutrientes				
	Estadístico	Ca	K	Mg	P
Enero	χ^2	17.538	23.081	14.712	19.272
	p	<0.001	<0.001	0.001	<0.001
Febrero	χ^2	10.415	20.101	13.659	13.783
	p	0.005	<0.001	0.001	0.001
Marzo	χ^2	5.048	13.822	4.199	12.356
	p	0.080	0.001	0.123	0.002
Abril	χ^2	6.093	0.932	1.443	4.292
	p	0.048	0.628	0.486	0.117
Mayo	χ^2	13.079	12.356	8.124	16.114
	p	0.001	0.002	0.017	<0.001
Junio	χ^2	6.328	10.114	7.017	15.533
	p	0.042	0.006	0.030	<0.001
Julio	χ^2	19.564	15.533	13.822	19.466
	p	<0.001	<0.001	0.001	<0.001
Agosto	χ^2	19.791	22.338	21.677	22.888
	p	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Septiembre	χ^2	17.221	19.192	9.159	14.152
	p	<0.001	<0.001	0.010	0.001
Octubre	χ^2	17.868	18.769	19.311	21.066
	p	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Noviembre	χ^2	23.783	18.986	19.099	21.912
	p	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Diciembre	χ^2	21.525	21.835	20.191	19.481
	p	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

Dinámica de la deposición mensual de Macro-nutrientes

La deposición de Ca para el sitio Jesús María fluctuó de 3.13 (Enero) a 0.88 g·m⁻² (Mayo, Junio y Julio); en el sitio Crucitas de 3.80 (Noviembre) a 0.78 g·m⁻² (Junio) y en el sitio Bosque Escuela de 2.05 (Abril) a 0.13 g·m⁻² (Agosto). El sitio Bosque Escuela presentó una deposición de Ca menor en todos los meses de muestreo respecto a los otros dos sitios (Figura 3a).

La deposición de Mg para el sitio Jesús María fluctuó de 0.34 (Diciembre) a 0.06 g·m⁻² (Junio); en el sitio Crucitas de 0.3 (Noviembre) a 0.06 g·m⁻² (Enero y Junio) y en el sitio Bosque Escuela de 0.13 (Mayo y Abril) a 0.02 g·m⁻² (Agosto y Octubre). El sitio Bosque Escuela presentó una deposición de K menor en todos los meses de muestreo respecto a los otros dos sitios (Figura 3b). La deposición de K para el sitio Jesús María fluctuó de 1.18 (Marzo) a 1.21 g·m⁻² (Junio y Septiembre); en el sitio Crucitas de 0.90 (Noviembre) a 0.12 g·m⁻² (Junio) y en el sitio Bosque Escuela de 0.47 (Abril) a 0.04 g·m⁻² (Agosto y Septiembre). El sitio Bosque Escuela presentó una deposición de K menor en todos los meses de muestreo respecto a los otros dos sitios (Figura 3c).

La deposición de P para el sitio Jesús María fluctuó de 0.064 (Diciembre) a 0.019 g·m⁻² (Julio); en el sitio Crucitas de 0.075 (Noviembre) a 0.019 g·m⁻² (Junio) y en el sitio Bosque Escuela de 0.045 (Abril) a 0.006 g·m⁻² (Agosto). El sitio Bosque

Escuela presentó una deposición de P menor en todos los meses de muestreo respecto a los otros dos sitios (Figura 3d).

Uso Eficiente de nutrientes (UEN)

Las respuestas en el UEN en cada sitio de estudio mostraron el siguiente orden descendente: P > Mg > K > Ca (Cuadro 1). La mayor eficiencia de UEN se observó en el sitio Bosque Escuela, mientras que los valores más bajos corresponden al sitio Jesús María.

Discusión

Producción de hojarasca

El orden del depósito anual total de hojarasca para los tres sitios de estudio fue el siguiente: Crucitas > Jesús María > Bosque Escuela. La producción de hojarasca encontrado en el sitio Crucitas (591.89 g·m⁻²·año⁻¹) es menor a los reportados por González-Rodríguez *et al.* (2018) en una zona de transición (ecotono) entre un bosque de pino-encino y un matorral de pie de monte el cual fue de 466.8 g·m⁻²·año⁻¹. La cantidad de hojarasca producida anualmente en el sitio Bosque Escuela del presente estudio es similar a la cantidad (440.7 g·m⁻²·año⁻¹) observada por Domínguez-Gómez (2009) en el mismo sitio de estudio. En el sitio Jesús María (Matorral Espinoso Tamaulipeco) se presentó una producción anual de hojarasca de 498.43 g·m⁻²·año⁻¹, cantidad cercana a lo documentado

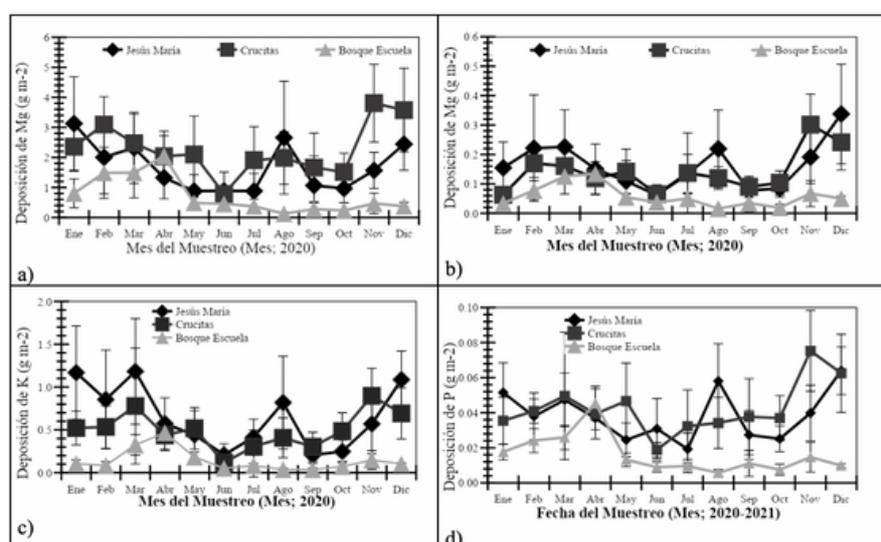


Figura 3. Depósito mensual (media ± error estándar, n = 10) de Ca (a), Mg (b), K (c) y P (d) vía hojarasca para los sitios de estudio.

(495.6 g·m⁻²·año⁻¹) por González-Rodríguez *et al.* (2019) en el Matorral Espinoso Tamaulipeco. No obstante, la cantidad depositada en este mismo ecosistema (Matorral Espinoso) del presente estudio, es menor a lo encontrado por López Hernández *et al.* (2015) (613.7 y 703.3 g·m⁻²·año⁻¹) en el mismo tipo de vegetación, pero en diferentes sitios de estudio. Las diferencias en la caída anual de hojarasca entre sitios, se debe principalmente a la composición de las especies presentes en cada ecosistema, a la cobertura de cada una de las especies, localización y condiciones ambientales prevalecientes entre ellos (Ramírez-Lozano *et al.*, 2013).

Uso Eficiente de nutrientes (UEN)

El UEN para el Ca en el presente estudio fue inferior a lo documentado por López-Hernández *et al.* (2013) para el Matorral Espinoso Tamaulipeco pero similar a la cantidad observada por González-Rodríguez *et al.* (2011). Las cantidades en el UEN de Ca observadas en el presente trabajo (21.68 – 54.10) para los tres sitios de estudio, está dentro del rango reportado por González-Rodríguez *et al.* (2019). Sin embargo, está por debajo de lo obtenido para bosques de pino-encino por López-Hernández *et al.* (2022). Respecto al UEN de K y Mg, las cantidades encontradas en el presente estudio están dentro de los rangos observados por López-Hernández *et al.* (2022) para el Matorral Espinoso Tamaulipeco. Los altos valores en el UEN observados en el Bosque Escuela para Ca, K, y Mg respecto a los sitios Jesús María y Crucitas, pueden estar asociados a una baja disponibilidad de dichos nutrientes dentro de la solución del suelo o, más bien, que es fácilmente translocado a otras estructuras de las plantas antes de la senescencia de las hojas para contribuir a la generación de nuevas estructuras o procesos fisiológicos (Palma *et al.*, 2000). Quizá, estas diferencias en el retorno de nutrientes y la eficiencia en su uso se deban al efecto de otros factores, como la precipitación, la fertilidad del suelo, la composición botánica, la calidad de la hojarasca y el estrés hídrico, que podrían influir con la eficiencia en el uso de nutriente (Zhu *et al.*, 2019).

Conclusiones

Los resultados muestran variación espacial y temporal en la producción de la hojarasca entre los sitios de estudios. Se detectaron diferencias significativas en la producción total entre los sitios de estudio. La mayor producción de hojarasca (591 g·m⁻²·año⁻¹) y depósito de Ca (27 g·m⁻²·año⁻¹) resultó en el ecosistema submontano (Crucitas). La mayor deposición de Mg (1.96), K (7.77) y P (0.46) se observó en el Matorral Espinoso Tamaulipeco (Jesús María). El mayor uso eficiente de Ca (54), K (666), Mg (275) y P (2413) se observó en el ecosistema Bosque de Pino-Encino. Los resultados encontrados se asocian a la biodiversidad vegetal de cada ecosistema evaluado.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el financiamiento otorgado a través del Fondo Sectorial de Investigación para la Educación, de los proyectos con clave A1-S-44878 y 250732.

Literatura citada

- AOAC. (2012). *Official methods of analysis*. (19^o ed). Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg, Maryland, USA. 2200p.
- Arce-Urrea, C. (2007). Dinámica de descomposición y mineralización de macronutrientes en hojarasca de plantaciones de *Ormosia coccinea* (Aubl.) Jackson, “Huayruro” y *Vochysia lomatophylla* Standl. “Quillosa”, Iquitos, Loreto, Perú. *Folia Amazonica*, 16(1-2): 101-106.
- Bravo-Garza, M. R. (1999). *Distribución de la materia orgánica del suelo en ecosistemas naturales e inducidos en el Estado de Nuevo León*. (Tesis de Licenciatura). Facultad de Ciencias Forestales, UANL. Linares, Nuevo León. 84 pp.
- Cantú-Silva, I. y González-Rodríguez, H. (2002). Propiedades hidrológicas del dosel de los bosques de Pino-encino en el Noreste de México. *Ciencia UANL*, 5(1): 72-77.
- Castellano-Barliza, J., León Peláez, J.D., y Campo, J. (2018). Recovery of biogeochemical processes in restored tropical dry forest on a coal mine spoil in La Guajira, Colombia. *Land Degradation Development*, 29(9): 3174-3183.
- Cherney D. J. R. (2000). Characterization of forages by chemical analysis. In: Givens DI, Owen E, Axford RFE, Omed HM (ed). *Forage evaluation in ruminant nutrition*. CAB International. Wallingford, UK. pp: 281-300.
- Domínguez-Gómez, T.G. 2009. *Deposición de hojarasca y retorno potencial de nutrientes en diferentes comunidades de vegetación*. (Tesis de Maestría). Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares, Nuevo León, México. 132 pp.
- González-Rodríguez, H., Domínguez-Gómez T. G., Cantú-Silva I., Gómez-Meza M. V., Ramírez-Lozano R. G., Pando-Moreno M. y Fernández C. J. (2011). Litterfall deposition and leaf litter nutrient return in different locations at Northeastern Mexico. *Plant Ecology*, 212: 1747-1757.
- González-Rodríguez, H., López-Hernández, J.M., Ramírez-Lozano, R.G., Gómez-Meza, M.V., Cantú-Silva, I., Sarquís-Ramírez, J.I. y Mora-Oliva, A. (2019). Depósito de hojarasca y retorno de nutrientes en bosques de pino-encino y matorrales en el noreste de México. *Madera y Bosques*, 25(3): e2531514.
- González-Rodríguez, H., Ramírez-Lozano, R.G., Cantú Silva, H., Gómez-Meza, M.V., Estrada-Castillón, E. y Arévalo, J.R. 2018. Deposition of litter and nutrients in leaves and twigs in different plant communities of northeastern Mexico. *Journal of Forestry Research*, 29(5): 1307-1314.
- Isaac, S.R. y Nair, M.A. (2006). Litter dynamics of six multipurpose trees in a homegarden in Southern Kerala, India. *Agroforestry Systems*. 67: 203-213.
- Lara, A., Little, C., Urrutia, R., et al. (2009). Assessment of ecosystem services as an opportunity for the conservation and management of native forests in Chile. *Forest Ecology and Management*, 258(4): 415-424.
- León, J.D., Díez, M.C., Castellanos, J., et al. (2008). Grupos funcionales de microorganismos en suelos degradados por minería de aluvión plantados con *Acacia mangium*. *Suelos Ecuatoriales*, 38(1): 75-80.
- López Hernández, J.M., González Rodríguez, H., Ramírez Lozano, R.G., del Valle Arango, J.I., Cantú Silva, I., Pando Moreno, M., Estrada Castellón, A.E. y Gómez Meza, M.V. (2015). Producción de hojarasca y depósito potencial de nutrientes de las hojas en el Matorral Espinoso Tamaulipeco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(30): 74-89.
- López-Hernández, J. M., González-Rodríguez, H., Israel Cantú-Silva, I., Gómez-Meza, M. V., Estrada-Castillón, A. E., Contreras-Guajardo, N. L. y Del Valle-Arango, J. I. (2022). Caída de hojarasca y retorno de nutrientes en diferentes comunidades vegetales del Noreste de México. *Ecosist. Recur. Agropec*, 9(1): e2891.
- López-Hernández, J.M., González-Rodríguez, H., Cantú-Silva, I., Gómez-Meza, M.V., Estrada-Castillón, A.E., Contreras-Guajardo, N.L. y Del Valle-Arango, J. I. (2022). Caída de hojarasca y retorno de nutrientes en diferentes comunidades vegetales del Noreste de México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 9(1): e2891.
- López-Hernández, J.M., González-Rodríguez, H., Ramírez-Lozano, R.G., Cantú-Silva, I., Gómez-Meza, M.V., Pando-Moreno, M. y Estrada-Castillón, A.E. (2013). Producción de hojarasca y retorno potencial de nutrientes en tres sitios del estado de Nuevo León, México. *Polibotánica*, 35: 41-64.

- Ott, L. (1993). *An introduction to statistical methods and data analysis* (2° ed). Duxbury Press, Boston, p 775.
- Palma, R.M., Defrieri, R.L., Tortarolo, M.F., Prause, J, y Gallardo, J.F. (2000). Seasonal changes of bioelements in the litter and their potential return to green leaves in four species of the Argentine subtropical forest. *Annals of Botany*, 85: 181-186.
- Prause, J. (1997). *Aporte de las principales especies forestales a la dinámica de la materia orgánica y de los nutrientes en un monte nativo del parque chaqueño húmedo*. (Tesis de posgrado). Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. Escuela para Graduados, Magister Scientiae. Área Ciencias del Suelo, Buenos Aires Argentina. 205 pp.
- Ramírez-Lozano, R., Domínguez-Gómez, T.G., González-Rodríguez, H., Cantú-Silva, I., Gómez Meza, M.V., Sarquís-Ramírez, J.I. y Jurado, E. (2013). Composición y diversidad de la vegetación en cuatro sitios del noreste de México. *Madera y Bosques*, 19(2): 59-72.
- Steel, R.G.D. y Torrie, J.H. (1980). *Principles and procedures of statistics. A biometrical approach*. (2°ed). McGraw-Hill Book Company, New York.
- Vitousek, P. (1982). Nutrient cycling and nutrient use efficiency. *The American Naturalist*, 119: 553-572. Zhu, X., Liu, W., Chen, H., Deng, Y., Chen, C., y Zeng, H. 2019. Effects of forest transition on litterfall, standing litter and related nutrient returns: Implications for forest management in tropical China. *Geoderma*, 333: 123-134.