

# Producción de hojarasca y depósito potencial de micronutrientes de la hojarasca en bosque de pino, encino y pino-encino, en el noreste de México

Litter production and litter nutrient deposition potential in pine, oak and pine-oak forests in northeastern Mexico

**César Gerardo Ramos Hernández**

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.

**Israel Cantú Silva**

**María Inés Yáñez Díaz**

**Wibke Himmelsbash**

**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 hojarasca es la principal vía de entrada y retorno de nutrientes al suelo en los ecosistemas forestales, suministrando un sustento a largo plazo de los nutrientes en el ecosistema. Para lograr mantener la salud de estos ecosistemas, es de vital importancia conocer la deposición y nutrientes liberados que son aportados por la hojarasca. El objetivo del presente estudio fue el determinar y comparar el retorno y liberación de micronutrientes provenientes de la producción de hojarasca en tres ecosistemas (pino, encino y pino-encino) en el Ejido Pablillo, Galeana, Nuevo León. La colecta de hojarasca se realizó en un periodo de 16 meses (septiembre 2020 – diciembre 2021). Para determinar la producción, se establecieron colectores permanentes de 1.0 m x 1.0 m. El estudio se basó en colocar 10 colectores de manera aleatoria por ecosistema, mismos que fueron considerados como repeticiones. La producción ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ) de hojarasca durante el periodo de estudio fue de 771.06, 478.05 y 706.55, para los ecosistemas de pino, encino y pino-encino, respectivamente. Se analizaron las concentraciones de cuatro micro elementos (Cu, Mn, Fe y Zn); dichas concentraciones de elementos mostraron en general un orden descendente como  $\text{Mn} > \text{Fe} > \text{Zn} > \text{Cu}$ . El depósito de Mn en los tres ecosistemas fluctuó de 1.95 a 45.10  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$ ; Fe de 1.36 a 42.63  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$ ; Zn de 0.21 a 4.27  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$  y el Cu de 0.04 a 1.39  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$ . Las diferencias en la caída de hojarasca y de depósito de micronutrientes se atribuye a la estructura y composición de cada ecosistema forestal, fenología de las especies y a las condiciones ambientales.

**Palabras clave:** Hojarasca, retorno de micronutrientes, ecosistemas forestales.

## Abstract

The litterfall is the main input and return pathway of nutrients to the soil in forest ecosystems, providing a long-term nutrient support in the ecosystem. In order to maintain the health in forest ecosystems, it is of vital importance to know the deposition and release of nutrients provided by litterfall. In this context, the objective of the present study was to determine and compare the return and potential release of micronutrients from litterfall in three forest ecosystems (pine, oak, and pine-oak) in the "ejido" Pablillo, Galeana, Nuevo León. The litterfall sampling was conducted over a period of 16 months (September 2020 - December 2021). To determine the litterfall deposition, permanent canisters of 1.0 m x 1.0 m were randomly established. The study was based on placing 10 canisters randomly per forest ecosystem, which were considered as replicates. The litter production ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$ ) during the study period was 771.06, 478.05 and 706.55, for the pine, oak and pine-oak ecosystems, respectively. The concentrations of four microelements (Cu, Mn, Fe and Zn) were analyzed; these element concentrations generally showed the following descending order as  $\text{Mn} > \text{Fe} > \text{Zn} > \text{Cu}$ . Mn deposition in the three ecosystems ranged from 1.95 to 45.10  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$ ; Fe from 1.36 to 42.63  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$ ; Zn from 0.21 to 4.27  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$  and Cu from 0.04 to 1.39  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$ . The differences in litterfall production and the deposition of micronutrients is related to structure and composition of each forest ecosystem, to the phenology of plant species and to the environmental conditions.

**Keywords:** Litterfall, Return of micronutrients, forest ecosystems.

## Introducción

Los ecosistemas forestales se encuentran sujetos a un estrés cada vez mayor debido a la sobreexplotación de sus recursos. Por ejemplo, en el periodo comprendido entre 2005 y 2010 las pérdidas de superficie forestal se estimaron en 150,000 hectáreas anuales en México (Zamora-Martínez, 2016). Este tipo de pérdidas alteran el funcionamiento y los servicios ecosistémicos, modificando el ciclo de los nutrientes, la fijación de carbono y la productividad primaria neta (Domec *et al.*, 2015; Singh *et al.*, 2021). La hojarasca es la principal fuente de suministro de nutrientes entre el sistema suelo-planta, jugando un rol determinante en los ciclos biogeoquímicos y resultando fundamental para comprender el funcionamiento a largo plazo de los ecosistemas forestales (Nickmans *et al.*, 2019; Zhu *et al.*, 2022).

Así mismo, la hojarasca proyecta la dinámica del reciclaje de nutrientes en los ecosistemas y es indicativa del rendimiento ecológico, siendo de vital importancia en la formación del suelo y el mantenimiento de la fertilidad del mismo (Nunes y García, 2015). La degradación de la materia orgánica aportada por la hojarasca es la precursora y reguladora de los patrones de nutrientes, siendo la encargada del abastecimiento de energía en los ecosistemas forestales (Weltzin *et al.*, 2005).

Además, la hojarasca es la principal vía y enlace para el retorno al suelo de los minerales absorbidos por las raíces de las plantas, especialmente de los macronutrientes (Ca, Mg, K, N y P) y micronutrientes (Cu, Fe, Mn y Zn) (González-Rodríguez *et al.*, 2013).

Binkley y Valentine (1991) señalan que existe una fuerte relación entre el ciclaje de nutrientes en los ecosistemas forestales y la manera en que son usados por las plantas. Sin embargo, el efecto que tiene cada especie sobre la dinámica de nutrientes está más ligado a las características del suelo y del nutriente que se trata (Binkley *et al.*, 1992; Dockersmith *et al.*, 1999).

La hojarasca no solo desempeña un rol esencial dentro del ciclo de los nutrientes, sino que a su vez proporciona al suelo una capa orgánica que lo protege de los cambios extremos de temperatura y humedad, es fuente de alimento y soporte de múltiples comunidades microbianas, mejora las propiedades

físicas y químicas, y ayuda en la infiltración del agua evitando la erosión (Wang *et al.*, 2008). Conjuntamente, diversos estudios han evidenciado que la actividad microbiana del suelo juega un papel fundamental en la tasa de reciclaje de nutrientes minerales entre las plantas y el suelo (Celaya-Michel y Castellanos-Villegas, 2011). Adicionalmente, la producción y velocidad en que los residuos orgánicos se descomponen determinan la cantidad de hojarasca depositada sobre el suelo, siendo las hojas la fracción mayoritaria de este material. Por tanto, los estudios para lograr entender el depósito, liberación y el ciclo de nutrientes que acompañan a la hojarasca son de gran importancia (Zhu *et al.*, 2022). Una mayor comprensión de este tema conducirá al reconocimiento de la importancia del suelo como recurso vital para los ecosistemas forestales, promoviendo así una buena gestión forestal, protegiendo y mejorando los servicios ambientales, permitiendo obtener beneficios económicos a través de aprovechamiento directo o mediante el pago de servicios ambientales. Por lo anterior, el objetivo del presente estudio pretende contribuir al conocimiento sobre la producción de hojarasca y retorno de micronutrientes en tres ecosistemas forestales: pino, encino y pino-encino

## Materiales y Métodos

### El área de estudio

Se estudiaron tres ecosistemas forestales: Bosques de Pino, Encino y Pino-Encino, los cuales se localizan en el ejido Pablillo, municipio de Galeana, en el estado de Nuevo León, dentro de la provincia fisiográfica "Sierra Madre Oriental", subprovincia fisiográfica clave 100-0/04 "Sierras Plegada" (Figuras 1 y 2 a, b, y c). La ubicación geográfica del ecosistema de Pino es 24° 34' 44.34" N; 99° 58' 30.12" W; a una altura de 2267 msnm. En tanto, la ubicación del ecosistema de Encino es 24° 34' 28.32" N; 99° 58' 33.180" W; a una altura de 2313 msnm. Mientras que, el ecosistema de Pino-Encino, se ubica en las coordenadas geográficas 24° 35' 27.66" N; 99° 58' 34.50" W; a una altura de 2160 msnm. Predomina el clima Templado, subhúmedo (García, 1988; INEGI, 2001).

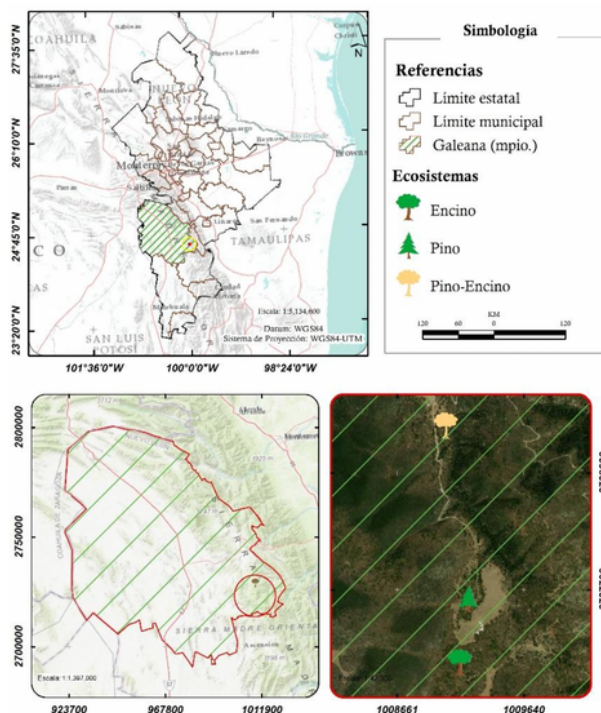


Figura 1. Localización de los ecosistemas de Pino, Encino y Pino-Encino en el área de estudio.



Figura 2. Ecosistemas forestales bajo estudio. a) bosque de Pino; b) bosque de Encino y c) bosque de Pino-Encino.

### Producción de hojarasca

Con el objetivo de conocer la producción de hojarasca, se colocaron 10 colectores de hojarasca de 1 m<sup>2</sup> que fueron considerados como repeticiones, dentro de una parcela experimental de 2,500 m<sup>2</sup> por ecosistema forestal. A dichos colectores se les colocó una malla de plástico de 1.0 mm de abertura para evitar la acumulación de agua de lluvia. Estos colectores fueron colocados a 50 cm sobre el suelo. El estudio se basó en la colocación de 10 repeticiones (colectores) de manera aleatoria por parcela. La colecta del material depositado se realizó en intervalos de 15 días entre septiembre de 2020 a diciembre de 2021 (16 meses). La clasificación para cada colecta consistió en el número de colector, sitio y fecha en que se realizó la colecta de la hojarasca.

### Preparación de las muestras

El material depositado fue colocado en bolsas de papel y se transportó al Laboratorio de Química de la Facultad de Ciencias Forestales de la U.A.N.L. Con la finalidad de conocer la producción total de hojarasca, las muestras fueron secadas a 70°C por un periodo de 72 h, hasta obtener un peso constante. Transcurrido el periodo de las 72 h, se realizó el pesaje para obtener el peso seco (g). Una vez conseguido el peso seco, se obtuvo la producción total de hojarasca durante el tiempo considerado (g·m<sup>-2</sup>), mediante la sumatoria de los pesos obtenidos en los distintos muestreos, empleando una balanza digital marca Sartorius, modelo Laboratory LC 620 S) con resolución de 0.001 g.

## Análisis químico de las muestras

El análisis químico de las diversas muestras obtenidas durante el periodo experimental se realizó mediante las técnicas analíticas descritas en la AOAC (1997). Realizándose diez repeticiones correspondientes al periodo experimental. Para ello, las muestras fueron procesadas en un molino Thomas Willey (Thomas Scientific Apparatus) Modelo 3383, con una malla del número 60 (1 mm x 1 mm). Las muestras resultantes se depositaron en frascos etiquetados. Mediante las técnicas analíticas descritas en la AOAC (1997), se realizó el análisis de la materia orgánica (MO), materia seca (MS) y cenizas. Para la determinación de los micronutrientes se emplearán las técnicas analíticas de digestión descritas en la AOAC (1997). La concentración de Cu, Fe, Mn y Zn se realizó a través de espectrofotometría de absorción atómica usando un espectrofotómetro marca Perkin Elmer, modelo PINAACLE 900F (AOAC, 1997). Todos los procesos para la determinación de los nutrientes se llevarán a cabo en el Laboratorio de Química de la Facultad de Ciencias Forestales de la U.A.N.L.

## Análisis estadístico

Los datos de producción de hojarasca y nutrientes se sometieron a un análisis de varianza basado en un diseño completamente al azar (Steel y Torrie 1980). Los supuestos de homogeneidad de varianza y normalidad de los datos se probaron mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov, Shapiro-Wilk y Levene (Brown y Forsythe, 1974; Steel y Torrie, 1980) demostrando que los datos de hojarasca y los de micronutrientes no presentaron una distribución normal no homogeneidad de varianzas; por tanto, se empleó la prueba de Kruskal-Wallis (Ott, 1993) para detectar diferencias significativas entre los ecosistemas durante los diversos meses de muestreo. Todos los análisis correspondientes se realizaron mediante el paquete estadístico SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) (versión estándar 13.0 para Windows, SPSS Inc., Chicago, Illinois, EE.UU.).

## Resultados y Discusión

### Producción de hojarasca

La deposición de hojarasca es una parte importante en

la determinación de la cantidad de nutrientes aportados al suelo. La hojarasca se ha convertido en un parámetro determinante para el seguimiento del cambio climático global (Hansen *et al.*, 2009). Casi un 80% de la producción primaria neta es devuelta al ecosistema en forma de hojarasca (Kassnacht y Gower, 1997). Por tanto, la cantidad de hojarasca es importante para mantener los ciclos biogeoquímicos activos y mantener la salud de los ecosistemas (Hansen *et al.*, 2009). Sin embargo, cuantificar la hojarasca es un reto debido a que cada ecosistema varía significativamente en su producción. Estudios anteriores en ecosistemas forestales han mostrado que la hojarasca puede llegar a representar entre el 65 y 80% de la producción primaria neta en los ecosistemas forestales de todo el mundo (Zhang *et al.*, 2014; Zhu *et al.*, 2022).

En el presente estudio, la caída de la hojarasca fue significativamente diferente entre sitios en la mayoría de los meses salvo marzo, junio y diciembre ( $p > .05$ ) (Figura 3). La cantidad de caída de hojarasca para el ecosistema de pino fluctuó de 18.43 (Jun-21) a 134.29 (May-21)  $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ . En el ecosistema de encino fluctuó de 5.08 (Oct-20) a 80.64 (Mar-21)  $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$  y en el ecosistema de pino-encino, fue de 11.16 (Ago-21) a 198.77 (May-21)  $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ . Estas variaciones en el aporte de hojarasca son esperables, ya que hay variaciones en las condiciones ambientales de cada sitio (Pezzato *et al.*, 2006; Pimenta *et al.*, 2011). En general, el ecosistema de encino presentó una menor ganancia en el aporte de hojarasca total respecto a los ecosistemas de pino y pino-encino.

González *et al.* (2018) al estudiar la dinámica en la caída de hojarasca en tres ecosistemas, incluido bosque de pino-encino, observaron que en esta comunidad la mayor deposición se presentó entre los meses de febrero y abril, fluctuando entre 28.1 y 71.3  $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ , respectivamente. En otro estudio realizado en un fragmento de bosque Atlántico, en Brasil, en un periodo de dos años, Gomes *et al.* (2022), reportaron fluctuaciones entre 8.80 y 44.0  $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ , estimaciones que se encuentran por debajo de las reportadas en el presente estudio. Estas diferencias pueden ser atribuidas a las diversas especies que predominan en los sitios como lo asegura Prause *et al.* (2003), quienes mencionan que las fluctuaciones en la producción de hojarasca

son reguladas por el tipo de especies presentes en el sitio, así como por factores biológicos y climáticos. También se han observado diferencias similares en estudios realizados sobre la caída de hojarasca en ecosistemas forestales donde predomina *Pinus sylvestris*, donde el depósito de hojarasca fluctúa entre 3.22 a 34.02 g·m<sup>-2</sup> (Starr *et al.*, 2005; Ukanmaanaho *et al.*, 2008). Starr *et al.* (2005), ratifica que las diferencias en la cantidad de hojarasca depositada son atribuidas a la estructura del rodal y diversidad de especies, así como las condiciones ambientales.

En otros estudios realizados también en el noreste de México, en ecosistemas pertenecientes al Matorral Espinoso Tamaulipeco y bosque de pino-encino, Cantú-Silva *et al.* (2013) reportan cantidades de hojarasca diferentes para cuatro sitios: Bosque Escuela con 362.9 g·m<sup>-2</sup>; Crucitas con 58.8 g·m<sup>-2</sup>; Campus con 23.49 g·m<sup>-2</sup>; y Cascajoso con 21.83 g·m<sup>-2</sup>. Mientras que López-Hernández *et al.* (2013), al analizar la caída de hojarasca en tres sitios bajo el mismo ecosistema reportan que la deposición de hojarasca fluctuó de 321.5 a 462.9 g·m<sup>-2</sup>·año<sup>-1</sup>.

siguen una tendencia fuertemente relacionada con el depósito de hojarasca para el mes de mayo (Figura 3), donde es apreciable que en dicho mes se presentó la mayor deposición de hojarasca en todos los ecosistemas. El mayor depósito de microminerales se presentó en el ecosistema de encino (34.7%). El orden de deposición de micronutrientes en los tres ecosistemas en un orden descendente fue Mn>Fe>Zn>Cu. En algunos estudios, como el realizado por Çakır y Akburak (2017), en rodales puros y mixtos de encino (*Quercus petraea*) y haya (*Fagus orientalis* Lipsky) se reporta un depósito de microminerales similar. González-Rodríguez *et al.* (2013), Domínguez-Gómez *et al.* (2014) y López-Hernández *et al.* (2015), al estudiar el depósito de hojarasca y liberación de nutrientes en el Noreste de México reportan valores de deposición similares de micronutrientes.

El depósito de Cu (mg·m<sup>-2</sup>; Figura 4a) en el ecosistema de pino fluctuó entre 0.4 (noviembre-20) y 0.38 (mayo-21); en el ecosistema de encino, entre 0.4 (octubre-20) y 0.37 (mayo-21); en el ecosistema de pino-encino, entre 0.05 (septiembre-21) y 1.39 (mayo-21). El depósito de Fe vía hojarasca (mg·m<sup>-2</sup>; Figura 4b) en el

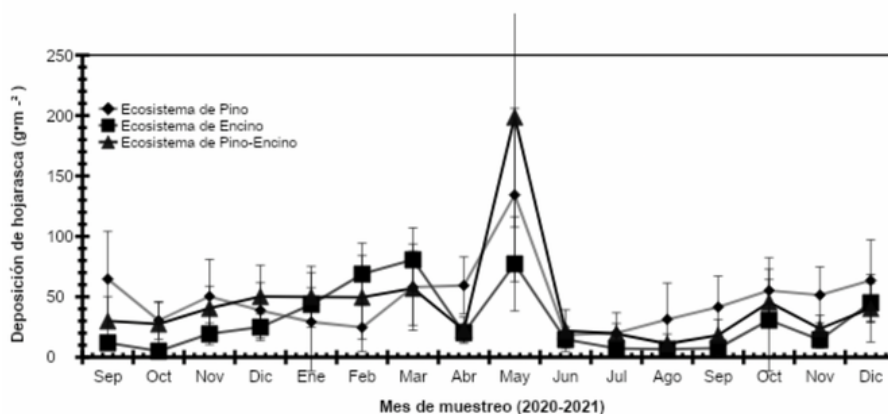


Figura 3. Producción mensual (media ± error estándar, n=10) de hojarasca para los ecosistemas de estudio. El valor de significancia de la prueba de Kruskal-Wallis para detectar diferencias significativas entre ecosistemas se muestra en cada mes de muestreo dentro de la gráfica (P<.05). Pino (●), Encino (■), Pino-Encino (▲).

### Depósito de micronutrientes

En la Figura 4a, b, c, d se observa el comportamiento del depósito mensual de microminerales. Durante el mes de mayo todos los minerales mostraron un aumento considerable con respecto a los demás meses, siendo estadísticamente diferentes entre los ecosistemas estudiados. En general, todos los microminerales

ecosistema de pino varió de 2.78 (junio-21) a 27.99 (mayo-21); en el ecosistema de encino, de 1.36 (octubre-20) a 14.09 (mayo-21); en el ecosistema de pino-encino, entre 1.70 (agosto-21) y 42.62 (mayo-21). El depósito de Zn (mg·m<sup>-2</sup>; Figura 4c) en el ecosistema de pino varió de 0.68 (junio-21) a 4.27 (mayo-21); en el ecosistema de encino de 0.21 (agosto-21) a 2.39 (mayo-21); en el ecosistema de pino-encino de 0.25 (agosto-21) a 3.94 (mayo-21).

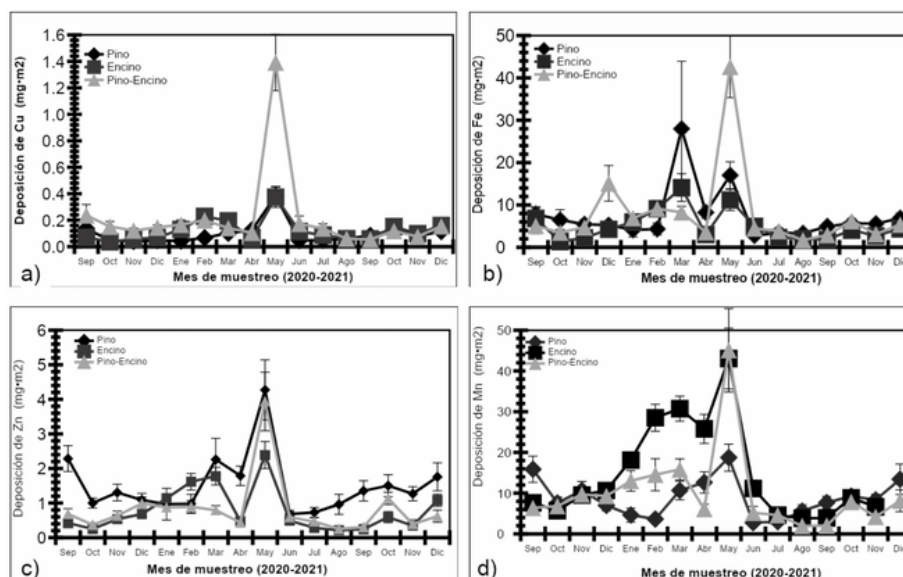


Figura 4. Deposición mensual de microminerales (Cu, Fe, Zn y Mg). Cada valor gráfico representa el valor medio (n=10) ± error estándar.

El depósito de Mn ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$ ; Figura 4d) en el ecosistema de pino, fluctuó entre 2.75 (junio-21) y 18.73 (mayo-21); en el ecosistema de encino, entre 3.80 (agosto-21) y 43.05 (mayo-21); en el ecosistema de pino-encino, entre 1.95 (agosto-21) y 45.10 (mayo-21).

hojarasca, los depósitos de nutrientes aumentan. En general, las diferencias estadísticas encontradas por ecosistema de estudio están asociadas a la composición de la estructura vegetal y a las condiciones ambientales.

Cuadro 1. Producción total de hojarasca y depósito de microminerales durante el periodo de estudio.

Variable	Ecosistema		
	Pino	Encino	Pino-Encino
Hojarasca ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ )	771.06	478.05	706.55
Microminerales ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$ )			
Cu	1.55	1.95	3.43
Fe	119.26	80.34	126.57
Zn	24.19	12.52	13.35
Mn	141.39	218.61	160.79
Total ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$ )	286.40	313.42	304.14

La deposición potencial de micronutrientes en la hojarasca fue significativamente diferente entre los ecosistemas a lo largo del periodo experimental (Cuadro 1 y Cuadro 2). En general, durante la primavera, se presentó el mayor depósito de micronutrientes, siendo el ecosistema de encino el que mostró el mayor depósito de nutrientes y la menor cantidad de hojarasca producida. López-Hernández *et al.* (2013, 2015) y González-Rodríguez *et al.* (2013) al analizar el depósito de hojarasca y liberación de nutriente en ecosistema de Matorral Espinoso Tamaulipeco observaron que, a mayor caída de

Cuadro 2. Resumen de las pruebas de Kruskal-Wallis para detectar diferencias entre los ecosistemas para los micronutrientes. Los valores de P en negrita ( $P < .05$ ) indican diferencias significativas entre ecosistemas para la deposición de micronutrientes en los tres ecosistemas de estudio.

Mes	Estadístico	Micronutrientes			
		Mn	Cu	Fe	Zn
Septiembre-2020	$\chi^2$	8.689	5.035	4.932	18.583
	Valor p	<b>0.013</b>	0.081	0.085	<b>0.000</b>
Octubre	$\chi^2$	0.497	14.039	12.422	14.356
	Valor p	0.780	<b>0.001</b>	<b>0.002</b>	<b>0.001</b>
Noviembre	$\chi^2$	0.124	13.272	7.992	7.566
	Valor p	0.940	<b>0.001</b>	<b>0.018</b>	<b>0.023</b>
Diciembre	$\chi^2$	3.724	13.133	9.610	2.516
	Valor p	0.155	<b>0.001</b>	<b>0.008</b>	0.284
Enero-2021	$\chi^2$	14.152	14.062	9.262	9.463
	Valor p	<b>0.001</b>	<b>0.001</b>	<b>0.010</b>	<b>0.009</b>
Febrero	$\chi^2$	20.828	11.585	7.992	5.855
	Valor p	<b>0.000</b>	<b>0.003</b>	<b>0.018</b>	0.054
Marzo	$\chi^2$	14.945	6.015	3.920	13.025
	Valor p	<b>0.001</b>	<b>0.049</b>	0.141	<b>0.001</b>
Abril	$\chi^2$	16.818	8.240	14.170	17.861
	Valor p	<b>0.000</b>	<b>0.016</b>	<b>0.001</b>	<b>0.000</b>
Mayo	$\chi^2$	7.138	9.947	9.049	4.151
	Valor p	<b>0.028</b>	<b>0.007</b>	<b>0.011</b>	0.126
Junio	$\chi^2$	11.760	9.742	2.859	1.517
	Valor p	<b>0.003</b>	<b>0.008</b>	0.239	0.468
Julio	$\chi^2$	3.254	6.418	4.328	8.926
	Valor p	0.196	<b>0.040</b>	0.115	<b>0.012</b>
Agosto	$\chi^2$	6.328	0.049	4.648	16.080
	Valor p	<b>0.042</b>	0.976	0.098	<b>0.000</b>
Septiembre	$\chi^2$	10.501	1.752	10.175	15.012
	Valor p	<b>0.005</b>	0.416	<b>0.006</b>	<b>0.001</b>
Octubre	$\chi^2$	0.333	0.343	4.121	7.226
	Valor p	0.847	0.842	0.127	<b>0.027</b>
Noviembre	$\chi^2$	6.225	0.472	6.784	13.721
	Valor p	<b>0.045</b>	0.790	<b>0.034</b>	<b>0.001</b>
Diciembre	$\chi^2$	8.805	5.468	2.728	10.911
	Valor p	<b>0.012</b>	0.065	0.256	<b>0.004</b>

### Conclusiones

Este estudio tuvo como objetivo colaborar con el entendimiento sobre el papel que juega la hojarasca y el retorno de nutrientes al suelo, bajo tres diferentes ecosistemas forestales: bosque de pino, encino y pino-encino. La caída y deposición de la hojarasca, presentó variaciones entre ecosistemas en los diferentes meses de estudio, asociado principalmente a la composición de especies y su distribución. El ecosistema de pino presentó la mayor caída de hojarasca, seguido del ecosistema de pino-encino y encino. Mientras que los resultados del contenido de micronutrientes mostraron una variación espacial y temporal entre ecosistemas. Además, los resultados obtenidos en esta investigación ratifican la importancia de la deposición de microelementos a través del depósito de hojarasca, como un medio para mantener la productividad primaria de los ecosistemas foresta-

les. Sin embargo, es necesario la realización de futuros estudios relacionados con la disposición de nutrientes para conocer la contribución de la hojarasca y todos sus componentes en la dinámica de los ciclos biogeoquímicos en los bosques forestales.

### 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. (1997). *Official Methods of Analysis* (16 ed.). Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
- Binkley, D., y D. Valentine. (1991). Fifty-year biogeochemical effects of green ash, white pine, and Norway spruce in a replicated experiment. *Forest Ecology and Management*, 40: 13-25.
- Binkley, D., Sollins, P., Bell, R. Sachs, D. y Marold, D. (1992). Biogeochemistry of adjacent conifer and alder-conifer stands. *Ecology*, 73: 2022-2033.
- Brown, M.B. y Forsythe, A.B. (1974). Robust tests for the equality of variances. *Journal of the American Statistical Association*, 69(346): 364-367.
- Cantú-Silva, I., Sánchez, L., González, H., Kubota, T., Gómez, M. y Domínguez, T. (2013). Retorno potencial de nutrimentos por componentes secundarios de la hojarasca en comunidades vegetales de Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 4(17): 138-155.
- Celaya-Michel, H. y Castellano-Villegas, A. E. 2011. Mineralización de nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas. *Terra Latinoamericana*, 29(3): 343-356.
- Çakır, M. y Akburak, S. (2017). Litterfall and nutrients return to soil in pure and mixed stands of oak and beech. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 67(2): 185-200.
- Domec, J.C., King, J.S.E., Ward, A.C., Oishi, S., Palmroth, A., Radecki, D.M., Bell, G., Maio, M. Gavazzi, D.M., Johnson, S.G., McNulty, G., Sun., y A. Noormets. (2015). Conversion of natural forests to managed forest plantations decreases tree resistance to prolonged droughts. *Forest Ecology and Management*, 355: 58-71.
- Døckersmith, I.C., Giardina, C.P. y Sanford, R.L. (1999). Persistence of tree related patterns in soil nutrients following slash-and-burn disturbance in the tropics. *Plant and Soil*, 209: 137-156.
- Domínguez-Gómez, T.G., Ramírez-Lozano, R.G., González-Rodríguez, H., Cantú-Silva, I. Gómez-Meza, M.V. y Alvarado M.S. (2014). Mineral content in four browse species from northeastern Mexico. *Pakistan Journal of Botany*, 46(4): 1421-1429.
- García, M.E. (1988). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. UNAM., México, D.F. Instituto de Geografía.
- Gomes, J.D., Caldeira, V.W.M., Momolli, D.R.W., Delarmelin, M.H., Dias, M.R., Paula, R. y Bighi, K.N. (2022). Accumulated litter, nutrient stock and decomposition in an Atlantic Forest fragment. *Ambiente y Água*, 17(2): 1-16.
- González-Rodríguez, H., Ramírez L.R.G., Cantú, S.I., Gómez, M.M.V. Cotera-Correa, M.Carrillo-Parra, A. y Marroquín-Castillo, J.J. (2013). Litterfall production and nutrient returns through leaves in a microphyllous desert scrubland, northeastern Mexico. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales*, 19: 249-262.
- González-Rodríguez, H., Ramírez-Lozano, R.G., Cantú-Silva, I., Gómez-Meza, M.V., Estrada-Castillón, E. y Arévalo, R.J. (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.
- Hansen, K., Vesterdal, L. Schmidt, I.K., Gundersen, P. Sevel, L. Bastrup-Birk, A. Pedersen, L. B. y Bille H. J. (2009). Litterfall and nutrient return in five tree species in a common garden experiment. *Forest Ecology and Management*, 257(10): 2133-2144.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2001). Diccionario de datos edafológicos (Alfanumérico). México. 33 p.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2001). Diccionario de datos geológicos escalas 1: 250,000 (Alfanumérico). México. 48 p.
- Kassnacht, K. y Gower, S.T. (1997). Interrelationships among the edaphic and stand characteristics, leaf area index, and aboveground net primary production of upland forest ecosystems in north central Wisconsin. *Canadian Journal of Forest Research*, 27(7): 1058-1067.
- López-Hernández, J.M., González, R.H., Ramírez, L.R.G., Cantú, S.I., Gómez, M. M.V., Pando M.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.



- López-Hernández, J.M., González R. H., Ramírez, L.R.G., Del Valle A.J.I., Cantú, S.I., Pando, M.M., Estrada, C.A.E. y Gómez, M.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.
- Nickmans, H., M. Jonard., K. Verheyen. y Q. Ponette. (2019). Modelling leaf dispersal and nutrient return in tree species mixtures. *Forest Ecology and Management*, 436: 68–78.
- Nunes, F. P. y Garcia, Q. S. (2015). Adequacy assessment of mathematical models in the dynamics of litter decomposition in a tropical forest Mosaic Atlantic, in southeastern Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 75(2): 268-272.
- Ott, L. (1993). *An introduction to statistical methods and data analysis*. Duxbury Press. Boston, MA USA. 775 p.
- Pezzatto, A. y Wisniewski, C. (2006). Produção de serapilheira em diferentes seres sucessionais da floresta estacional semidecidual no oeste do Parana. *Floresta*, 36: 111–120.
- Pimenta, J., Rossi, L., Torezan J.A., Cavalheiro, J. y Bianchini, E. (2011). Producao de serapilheira e ciclagem de nutrientes de um reflorestamento e de uma floresta estacional semidecidual no sul do Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, 25: 53–57.
- Prause, J., De Caram, G.A. y Angeloni, P.N. (2003). Variación mensual en el aporte de hojas de cuatro especies forestales nativas del Parque Chaqueño Húmedo (Argentina). *Quebracho-Revista de Ciencias Forestales*, 10: 39-45.
- Singh, A.K., Liu, W., Zkari, S., Wu., J., Yang, B., Jiang, X., Zhu, X., Zhu, X. Zhang, W., Chen, C., Singh, R. y Nath, J. (2021). A global review of rubber plantations: impacts on ecosystem functions, mitigations, future directions, and policies for sustainable cultivation. *Science of the Total Environment*, 796: 148948. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.148948.
- Starr, M., Saarsalmi, A., Hokkanen, T., Merilä, P.H. y Helmisaari, S. (2005). Models of litterfall production for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Finland using stand, site and climate factors. *Forest Ecology and Management*, 205: 215–225.
- Statistical Package for the Social Sciences (SPSS). (2016). SPSS Statistics. Standard released (Version 13). For Windows. SPSS Inc. Chicago, IL, USA. n/p.
- Steel, R.G.D. y Torrie, J.H. (1980). *Principles and procedures of statistics: A biometrical approach*. (2 ed). New York, USA: McGraw-Hill Book Company.
- Wang, Q., Wang, S. y 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.
- Ukonmaanaho, L., Merilä, P., Nöjd, P.T., y Nieminen, M. 2008. Litterfall production and nutrient return to the forest floor in Scots pine and Norway spruce stands in Finland. *Boreal Environment Research*, 13(Suppl. B): 67-91.
- Weltzin, J.F., J.K. Keller., S.D. Bridgham., J. Pastor P., B. Allen. y J. Chen. (2005). Litter controls plant community composition in a northern fen. *Oikos*, 110: 537-546.
- Zamora-Martínez, M.C. (2016). Superficie Forestal actual. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(35): 4-5.
- Zhang, H., Yuan, W., Dong, W. y Liu, S. (2014). Seasonal patterns of litterfall in forest ecosystem worldwide. *Ecological Complexity*, 20: 240–247.
- Zhu, X., Jiang, Z., Kumar, S.A., Zeng, H., Chen, C. Lu, E. y Liu, W. 2022. Reduced litterfall and decomposition alters nutrient cycling following conversion of tropical natural forests to rubber plantations. *Ecological Indicators*, 138: 108819. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108819>