

CAÍDA DE HOJARASCA EN PLANTACIONES DE *Pinus greggii* Engelm. Y *Pinus cembroides* Zucc., EN COAHUILA, MÉXICO

LITTERFALL IN *Pinus greggii* Engelm. AND *Pinus cembroides* Zucc. PLANTATIONS, IN COAHUILA, MÉXICO

Mario H. Gutiérrez Vázquez¹, Jorge Méndez González^{2*}, Celestino Flores López², José A. Ramírez Díaz² y Benito N. Gutiérrez Vázquez³

¹Instituto Tecnológico Superior de San Miguel El Grande. Km 1.2 a la Comunidad de Morelos, San Miguel el Grande, Tlaxiaco, Oaxaca, México.

²Departamento Forestal, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro No. 1923. 25315, Saltillo, Coahuila, México. Tel. y Fax (844) 411-0396. ³Campo Agrícola Exp. Valles Centrales, CIRPAS, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 68200 Etna, Oaxaca, México.

*Autor para correspondencia (jorgemendezgonzalez@gmail.com)

RESUMEN

Esta investigación se llevó a cabo para evaluar la caída de hojarasca en dos plantaciones forestales (*Pinus greggii* Engelm. y *P. cembroides* Zucc.) establecidas en el año de 1992 en la Sierra de Arteaga, Coahuila, México, ambas en condiciones ambientales de crecimiento similares. La hojarasca fue colectada mensualmente durante un año (febrero 2009 – febrero 2010), en 15 trampas distribuidas aleatoriamente en cada plantación. Las trampas de 1 m² fueron construidas de madera, con una malla metálica de 1 mm x 1 mm en el fondo. La prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (95 %) se usó para detectar diferencias estadísticas en la caída de componentes de hojarasca (hojas, ramas y conos masculinos), entre especies y fechas de colecta. Para evaluar la relación de la caída de hojarasca y factores climáticos se hicieron análisis de componentes principales y de regresión paso a paso (Stepwise). Los promedios de caída de hojarasca fueron estadísticamente más altos ($P < 0.05$) en *P. greggii* ($2.98 \pm 5.18 \text{ g m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$) que en *P. cembroides* ($2.71 \pm 6.01 \text{ g m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$), y equivalentes a 1072 y 976 kg ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente. Las hojas representaron $92.3 \pm 8.1 \%$ de la hojarasca en *P. greggii* y $94.3 \pm 3.8 \%$ en *P. cembroides*. Los resultados indican que la caída de hojarasca es dependiente de la especie, así como de factores climáticos, en especial de viento y temperatura.

Palabras clave: *Pinus greggii*, *Pinus cembroides*, caída de hojarasca, variables climáticas.

SUMMARY

This research was carried out to evaluate litterfall kinetics in two coniferous plantations (*Pinus greggii* Engelm. and *P. cembroides* Zucc.) planted in 1992, growing under similar environmental conditions in the Sierra de Arteaga, Coahuila, México. Litterfall was collected at both sites from 15 randomly distributed litter traps, over

monthly time intervals along one year (February 2009 – February 2010). Traps of 1 m² were made from wooden a frame and metallic mesh of 1 mm x 1 mm. Kruskal-Wallis (95 %) non-parametric test was used to detect significant differences of litterfall components (needles, branches and male cones) among species and sampling dates. Principal component analysis and Stepwise regression were employed to evaluate relationships of litterfall and climatic factors. Litterfall was higher ($P < 0.05$) in *P. greggii* ($2.98 \pm 5.18 \text{ g m}^{-2} \text{ month}^{-1}$) than in *P. cembroides* ($2.71 \pm 6.01 \text{ g m}^{-2} \text{ month}^{-1}$), equivalent to 1072 and 976 kg ha⁻¹ year⁻¹, respectively. Needle litter comprised about $92.3 \pm 8.1 \%$ of total litterfall for *Pinus greggii* and $94.3 \pm 3.8 \%$ for *P. cembroides*. The results show that litterfall inputs be affected by tree species and by environmental factors, mainly wind and temperature.

Index words: *Pinus greggii*, *Pinus cembroides*, litterfall, climatic variables.

INTRODUCCIÓN

Desde que Bray y Gorham (1964) evidenciaron la importancia de la “caída de hojarasca”, investigadores en varias partes del mundo han enfocado sus estudios en este tema. Sin embargo, este término ha tomado diferentes enfoques; por ejemplo, Proctor *et al.* (1983) en Inglaterra denominan “Litter-fall” al conjunto de material como hojas, ramas, frutos, inflorescencias y estructuras no identificadas, depositado por árboles y arbustos al piso forestal. Pérez *et al.* (2006) en Argentina utilizan el término “caída de mantillo” y se refieren a la caída de acículas, ramas < 1 cm y miscelánea. En México, Nívar y Jurado (2009) definen el término “productividad foliar” a

la materia orgánica depositada sobre el suelo (follaje, ramas, fustes, etc.). En China (Liu *et al.*, 2001; Guo *et al.*, 2004), Grecia (Kavvadias *et al.*, 2001), Japón (Xu y Hirata, 2002), Colombia (Zapata *et al.*, 2007) y México (Pavón *et al.*, 2005; González *et al.*, 2008; Nájera y Hernández, 2009) adoptaron la propuesta de los anglosajones “Litter-fall”, por lo que en este estudio se consideró el término “caída o acumulación de hojarasca” (por su traducción al español), debido a su amplio uso en México y en diferentes partes del mundo. Por lo anterior, la caída de hojarasca se consideró como el conjunto de todos los residuos orgánicos de las plantas que caen al suelo, como hojas, ramas < 2 cm, frutos e inflorescencias y misceláneas (Proctor *et al.*, 1983; González *et al.*, 2008).

La caída de hojarasca es de suma importancia, especialmente donde la vegetación depende del reciclado de nutrientes provenientes de la deposición de ésta (Bernhard *et al.*, 2001). Los nutrientes más comunes en la hojarasca son N, P, K y Ca, y en la mayoría de los casos N es el más abundante (Finér, 1996; Kavvadias *et al.*, 2001; González *et al.*, 2008). Este proceso ecológico representa también una importante reserva intermedia de carbono, que en última instancia se almacena en el suelo mineral. Estudios recientes demuestran que la caída de hojarasca aumenta en respuesta a elevadas concentraciones de CO₂ atmosférico (DeLucia *et al.*, 1999). Según estudios de entre 1 y 5 años, la caída de hojarasca está influida por variables climáticas (temperatura y precipitación), condiciones edáficas e intervenciones antropogénicas (Prause *et al.*, 2003; Zaldívar *et al.*, 2004; Pavón *et al.*, 2005; Roig *et al.*, 2005).

En los bosques de Arteaga, Coahuila, México no existe información sobre procesos de caída de hojarasca, a pesar de la importancia que revisten tales especies forestales por su utilidad en la rehabilitación de sitios degradados, por ser recomendadas para reforestaciones y por ser utilizadas para producción maderable y como árboles de navidad. El presente estudio tuvo como objetivos cuantificar la acumulación de hojarasca en plantaciones de *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. var. *greggii* y *Pinus cembroides* Zucc., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila, y evaluar la influencia de variables climáticas sobre la acumulación de la misma.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización del área de estudio

Las plantaciones de *Pinus greggii* (Pg) y *Pinus cembroides* (Pc) se localizan 25° 23' LN, 100° 36' LO, en Coahuila, México, a 2270 msnm, en la Sierra Madre Oriental. Ambas plantaciones se establecieron en 1992. El suelo es feozem calcárico (INIFAP-CONABIO, 1995), el cual se caracteriza por presentar material cálcico entre los 20 y 50 cm de profundidad; el clima es templado Cb(X)(Wo)(e)g, con temperatura media anual de 13.3° C y precipitación promedio anual de 521 mm (García, 1998).

Producción de hojarasca

La metodología usada fue la propuesta por Nívar y Jurado (2009). La caída de hojarasca se colectó en 15 trampas de madera de 1 m² distribuidas al azar en cada plantación. En la base de la trampa se colocó una malla metálica con orificios de 1 mm². Las trampas se ubicaron a 50 cm sobre la superficie del suelo y permanecieron en el mismo lugar (Zapata *et al.*, 2007; Nájera y Hernández, 2009) durante todo el periodo de estudio (05 de febrero de 2009 al 06 de febrero del 2010); las colectas se hicieron cada 30 d (González *et al.*, 2008). La hojarasca colectada se almacenó en bolsas de papel que se identificaron y transportaron al laboratorio; enseguida se secaron en una estufa a 80 °C por 72 h hasta peso constante (Guo *et al.*, 2004; González *et al.*, 2008); luego se clasificaron en: hojas, ramas y conos (masculinos), y posteriormente se pesaron en una balanza digital Ohaus® (0.001 g de precisión); con los datos se calculó la tasa de caída de cada componente, en g m⁻² mes⁻¹.

Análisis estadístico

Para denotar diferencias estadísticas en la acumulación de hojarasca entre especies y entre fechas de colecta, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (KW) a 95 % de confiabilidad (Kruskal y Wallis, 1952). Ésta es una prueba útil para comparar poblaciones cuya distribución no es normal, como indicaron May y Killingbeck (1992), Pavón *et al.* (2005), Quinto *et al.* (2007), Vargas y Varela

(2007) y González *et al.* (2008). Para determinar la relación entre producción de hojarasca y variables climáticas, se hizo un análisis de componentes principales (ACP) en el que las variables dependientes fueron los componentes de hojarasca ($\text{g m}^{-2} \text{mes}^{-1}$), y las independientes fueron las variables climáticas [temperatura mínima (Tmin), sumatorias de la temperaturas mínima (STmin) y máxima (STmax), velocidad máxima del viento (Vmax) y precipitación total (PP)]. Los datos diarios de clima se obtuvieron de una estación meteorológica automática situada a poco más de 500 m de las plantaciones. Para estimar la acumulación de hojarasca se generaron modelos de regresión con el procedimiento Stepwise de SAS (SAS Institute, 1989), versión 9.1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caída total de hojarasca

La caída de hojarasca total durante el periodo de estudio presentó diferencias entre especies ($P = 0.0006$), pues fue mayor en *P. greggii* con $2.98 \pm 5.18 \text{ g m}^{-2} \text{mes}^{-1}$ que en *P. cembroides* con $2.71 \pm 6.01 \text{ g m}^{-2} \text{mes}^{-1}$ (Cuadro 1, Figura 1); tales valores equivalen a 1072 y 976 $\text{kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ respectivamente. Tal diferencia podría indicar, además de mayor tasa de crecimiento, mayor productividad en *P. greggii* que *P. cembroides*, ya que a los 17 años *P. greggii* muestra mayores dimensiones en altura, diámetro normal y diámetro de copa, y con ello más volumen y área de copa (Cuadro 2). Según Farjon *et al.* (1997), la productividad de una especie se debe parcialmente a la exposición de hojas a la radiación solar para lograr una mayor eficiencia fotosintética.

Cuadro 1. Resultados de la prueba de Kruskal Wallis (95 %) para denotar diferencias estadísticas en la caída de hojarasca entre especies, en plantaciones de *Pinus greggii* Engelm. y *Pinus cembroides* Zucc., en Arteaga, Coahuila, México.

Plantación	Componente	N	Media \pm D.E.	Total	gl	C	H'	Valor P
<i>Pg</i>	Total	540	2.98 ± 5.18 a	1072.88	1	0.95	11.15	0.0006
<i>Pc</i>		540	2.71 ± 6.01 b	976.29				
<i>Pg</i>	Hojas	180	8.47 ± 5.90 a	1016.57	1	1.00	10.71	0.0011
<i>Pc</i>		180	7.77 ± 8.35 b	934.05				
<i>Pg</i>	Ramas	180	0.16 ± 0.36 a	19.65	1	0.83	0.84	0.3138
<i>Pc</i>		180	0.22 ± 0.47 a	26.39				
<i>Pg</i>	Conos	180	0.31 ± 0.60 a	36.65	1	0.95	54.94	<0.0001
<i>Pc</i>		180	0.13 ± 0.54 b	15.85				

Pg = *Pinus greggii*; *Pc* = *Pinus cembroides*; N = número de observaciones; Media \pm desviación estándar ($\text{g m}^{-2} \text{mes}^{-1}$); Total = acumulación total ($\text{kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$); gl = grados de libertad; C = factor de corrección del estadístico de KW por observaciones empatadas; H' = estadístico de KW no corregido por empates; P = probabilidad de error en la prueba de dos colas. Medias con letras iguales (componente/especie) no son estadísticamente diferentes (Kruskal Wallis, 0.05).

Cuadro 2. Características dasométricas promedio de plantaciones de *Pinus greggii* Engelm. y *Pinus cembroides* Zucc., en Arteaga, Coahuila, México.

Variable	Plantación	
	<i>Pinus greggii</i> Engelm.	<i>Pinus cembroides</i> Zucc.
Densidad (árboles ha^{-1})	679.00	2382.00
Altura (m)	7.73	2.50
Diámetro a 1.3 m (cm)	13.17	7.36
Diámetro de copa (m)	2.79	1.55
Altura del fuste limpio (m)	1.61	0.26

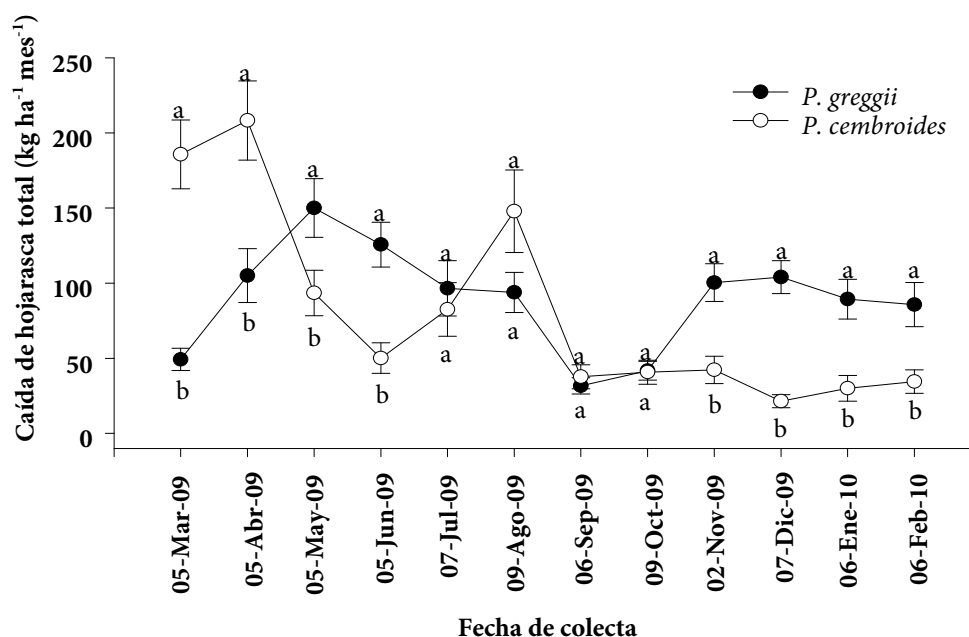


Figura 1. Acumulación de hojarasca en plantaciones de *Pinus greggii* Engelm. y *Pinus cembroides* Zucc., en Arteaga, Coahuila, México. Cada valor representa media ($n = 15$) \pm error estándar. Medias con letras iguales (en cada fecha) no son estadísticamente diferentes (Kruskal Wallis, 0.05).

La caída de hojarasca registrada en estas especies es inferior a la reportada en otras investigaciones; por ejemplo, en plantaciones de *P. taeda* L. se han reportado hasta 15930 kg ha⁻¹ año⁻¹ (Pérez *et al.*, 2006). En reforestaciones de *P. pinceana* y *P. pseudostrobus*, Nívar y Jurado (2009) encontraron 2850 y 4120 kg ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente para estas especies. Roig *et al.* (2005) encontraron que *P. pinaster* produce de 1520 a 5700 kg ha⁻¹ año⁻¹. En regiones subtropicales, González *et al.* (2008) documentaron desde 8945 hasta más de 13000 kg ha⁻¹ año⁻¹. Por el contrario, en ecosistemas semidesérticos Pavón *et al.* (2005) reportaron 253 kg ha⁻¹ año⁻¹, cifras que dependen de factores como lluvia, viento y temperatura. La baja producción de hojarasca en *P. greggii* y *P. cembroides* registrada este estudio (1072 y 976 kg ha⁻¹ año⁻¹), comparada con los estudios mencionados, podría ser indicio de la limitada capacidad productiva del sitio y de las especies, como lo han sugerido Domínguez *et al.* (2001) y Nívar y Jurado (2009).

En algunos estudios, la densidad del arbolado no se ha considerado factor determinante sobre la caída de hojarasca; *e.g.*, Gunadi (1992), en plantaciones de *P.*

merkusii con densidades de 230 y 310 árboles por ha⁻¹, reportó 9000 y 4000 kg ha⁻¹ año⁻¹ respectivamente. En este estudio la plantación de *Pinus greggii*, aún con menor densidad arbórea (1703 árboles ha⁻¹ menos que en *P. cembroides*) presentó mayor caída de hojarasca que *P. cembroides*.

El componente más representativo de la hojarasca fue la hoja, con 92.3 \pm 8.1 % de la caída total en *P. greggii* y 94.3 \pm 3.8 % en *P. cembroides*. Los conos y ramas sólo aportaron 5.9 y 1.8 % y 2.3 y 3.3 % en *P. greggii* y *P. cembroides* respectivamente (Figura 2a y 2b). Estos porcentajes superan lo reportado por Jeong *et al.* (2009) en plantaciones de *P. rigitaeda* y *P. densiflora*, quienes registraron 73.1 y 70.8 % en el componente hojas. En plantaciones de *Pinus taeda* las hojas representaron 59.8 % del total de la hojarasca producida (Pérez *et al.*, 2006). En un bosque maduro de *Pinus cooperi* y *P. leiophylla* (239 árboles ha⁻¹), Nájera y Hernández (2009) registraron 74 % en hojas, 17 % en ramas y 9 % en conos. Las diferencias porcentuales en este tipo de estudios también dependen del número de componentes considerados en la hojarasca.

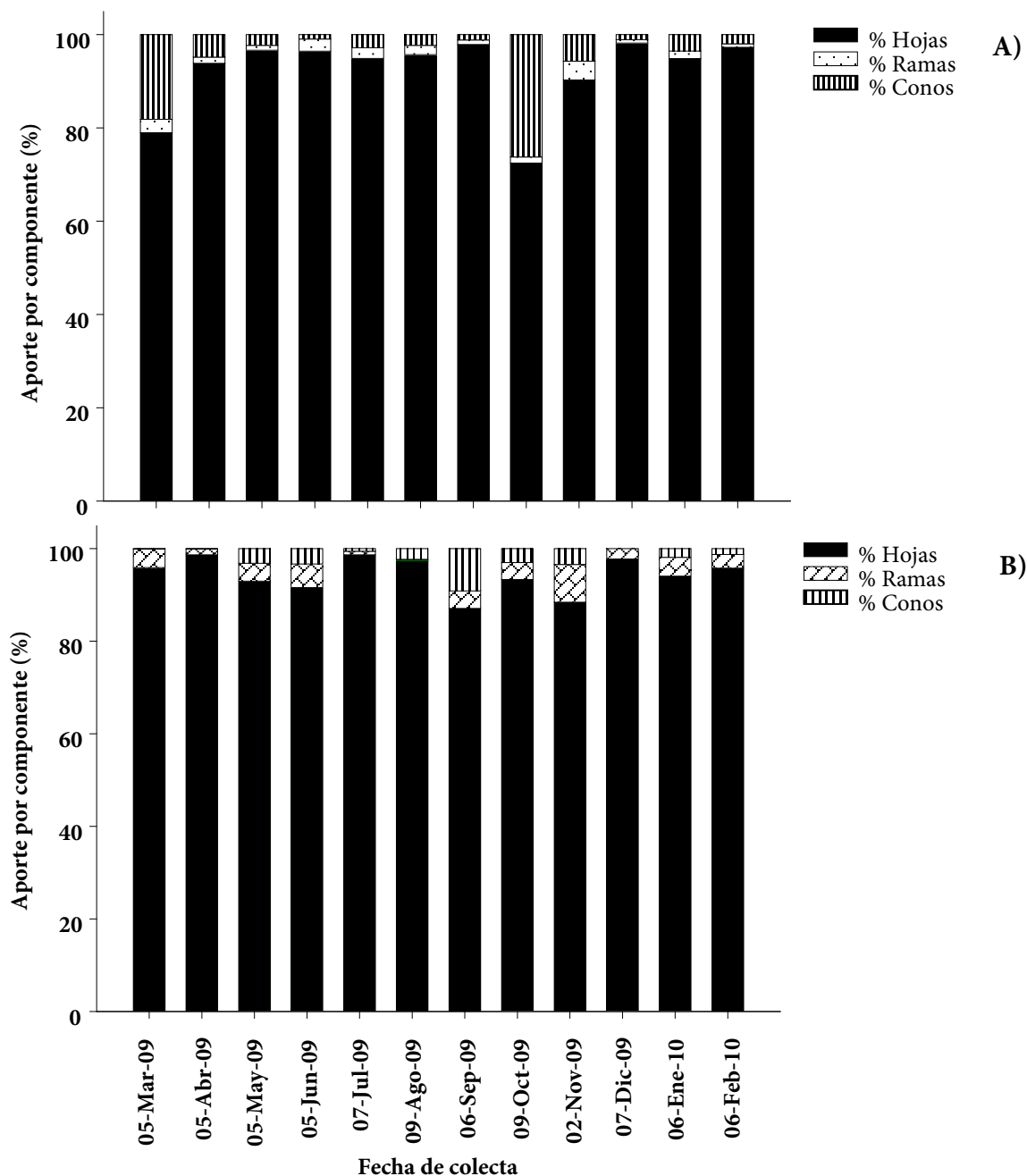


Figura 2. Porcentajes de aportación de componentes en la hojarasca (hojas, ramas y conos) en plantaciones de *Pinus greggii* Engelm. (A) y *Pinus cembroides* Zucc. (B), en Arteaga, Coahuila, México.

Caída de hojas

El mayor aporte de hojas lo hizo *P. greggii* con un promedio de $8.47 \pm 5.90 \text{ g m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$ ($1016 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) en contraste con *P. cembroides* que registró $7.77 \pm 8.35 \text{ g m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$ ($934 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) ($P = 0.0011$; Cuadro 1). A nivel mes, la prueba de KW detectó diferencias en la caída de

hojarasca ($P < 0.0001$; Cuadro 3); los aportes más importantes ocurrieron durante mayo y junio en *P. greggii*, y de marzo a mayo en *P. cembroides* (Figura 3a), con promedios de 84.71 y $77.83 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$ respectivamente. Similarmente, en un matorral espinoso Tamaulipeco, González *et al.* (2008) encontraron que la mayor acumulación de hojas ocurre de marzo a mayo; en

cambio, Jeong *et al.* (2009) demostraron que la caída de hojas en *P. densiflora* y *P. rigitaeda* es similar ($P > 0.05$) en todas las épocas del año. En un bosque templado de *Pinus cooperi* y *P. leiophylla*, Nájera y Hernández (2009) observaron la mayor acumulación de hojas en invierno (diciembre a marzo).

Caída de ramas

De acuerdo con la prueba de KW, la acumulación de ramas no mostró diferencias entre especies ($P = 0.3138$), cuyos promedios fueron 0.16 ± 0.36 ($19.65 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) y $0.22 \pm 0.47 \text{ g m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$ ($26.39 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) en *P. greggii* y *P. cembroides*, respectivamente (Cuadro 1), a pesar de la mayor densidad de árboles en *P. cembroides*, lo que indica que las características dimensionales de las especies (diámetro y altura del árbol, área, volumen y longitud de copa) no influyen en la caída de ramas. Entre fechas de colecta, sólo en *P. cembroides* hubo diferencias importantes ($P < 0.0001$; Cuadro 3) en la caída de ramas, donde los meses de marzo y noviembre fueron los que mostraron las acumulaciones más altas (Figura 3b); la deposición más baja de ramas ocurrió en junio y agosto. En *P. greggii* la caída de ramas resultó similar en todos los meses ($P = 0.1040$; Cuadro 3). En *P. densiflora* y *P. rigitaeda* Jeong *et al.* (2009) reportaron diferencias ($P < 0.05$) en el desprendimiento mensual de ramas, con la más

alta en primavera. Por el contrario, Nájera y Hernández (2009) observaron que las mayores y menores caídas de ramas de *P. cooperi* y *P. leiophylla* fueron durante otoño y verano.

Caída de conos

Este componente representó la menor fracción de la hojarasca caída con diferencias ($P < 0.0001$; Cuadro 1) entre especies. *P. greggii* contribuyó con los valores más altos, $0.31 \pm 0.60 \text{ g m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$ ($36.65 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), atribuible a la cantidad y mayor tamaño de sus conos, ya que en *P. cembroides* los conos representaron una acumulación de sólo $0.13 \pm 0.54 \text{ g m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$ ($15.85 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$). Curiosamente, en ninguna especie o colecta se registraron conos femeninos. La caída de conos de *P. greggii* varió entre fechas de colecta ($P = 0.0160$; Cuadro 3), y los aportes más importantes fueron durante marzo y abril, y el menor en diciembre (Figura 3c). En *P. cembroides* la caída de conos fue similar entre fechas ($P = 0.1009$) con un promedio de $1.32 \pm 5.44 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$. En contraste, Jeong *et al.* (2009) no registraron diferencias en la acumulación de conos entre *P. densiflora* y *P. rigitaeda* ($P > 0.05$). Las diferencias entre especies en la producción mensual de conos se atribuyen fundamentalmente a las características genéticas y fenológicas de la especie.

Cuadro 3. Resultados de las pruebas de Kruskal-Wallis (95 %) para denotar diferencias estadísticas en la acumulación de hojarasca entre componentes de cada especie, en plantaciones de *Pinus greggii* Engelm. y *Pinus cembroides* Zucc., en Arteaga, Coahuila, México.

Plantación	Componente	N	Media \pm D.E	gl	C	H'	Valor P
Pg	Hojas	180	84.71 \pm 58.96	11	1.00	62.68	<0.0001
	Ramas	180	1.64 \pm 3.64	11	0.82	14.01	0.1040
	Conos	180	3.05 \pm 5.98	11	0.97	22.64	0.0160
Pc	Hojas	180	77.83 \pm 83.47	11	1.00	86.29	<0.0001
	Ramas	180	2.20 \pm 4.70	11	0.84	27.16	<0.0001
	Conos	180	1.32 \pm 5.44	11	0.52	8.95	0.1009

Pg = *Pinus greggii*; Pc = *Pinus cembroides*; N = número de observaciones (15 c/colecta); Media \pm desviación estándar ($\text{kg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$); gl = grados de Libertad; C = factor de corrección del estadístico de KW por observaciones empatadas; H' = estadístico de KW no corregido por empates; P = probabilidad de error en la prueba de dos colas.

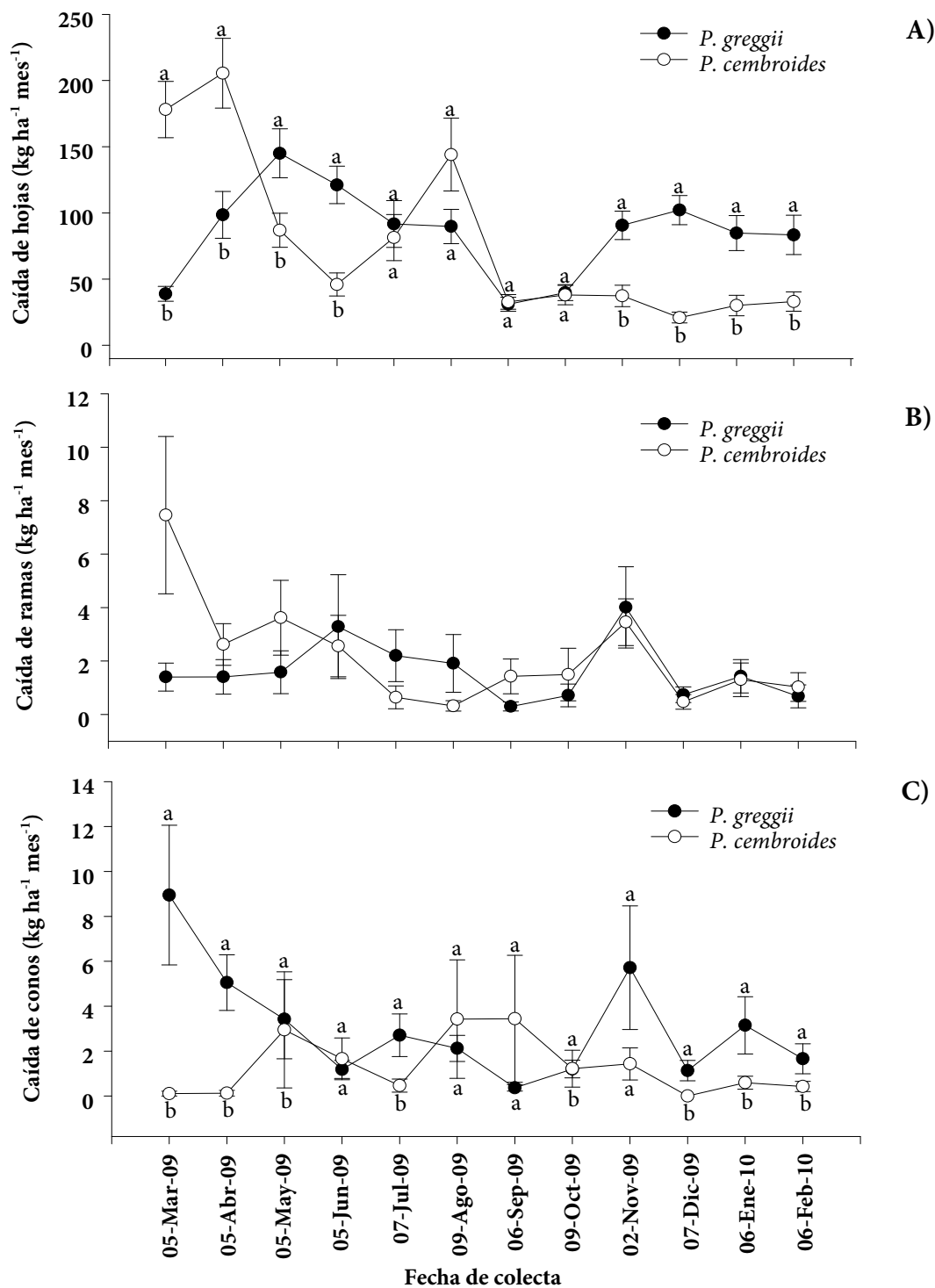


Figura 3. Acumulación mensual de hojas (A), ramas (B) y conos (C) en plantaciones de *Pinus greggii* Engelm. y *Pinus cembroides* Zucc., en Arteaga, Coahuila, México. Cada valor representa la media ($n=15$) \pm error estándar. Medias con letras iguales (en cada fecha) no son estadísticamente diferentes (Kruskal Wallis, 0.05).

Relación entre clima y la caída de hojarasca

Los análisis de componentes principales explicaron, en ambas especies, casi 70 % de la variación total. En *P. greggii* se evidenció una correlación positiva entre los componentes de hojarasca (Figura 4a). La mayor caída de hojas ocurrió en las colectas 2, 3 y 4 (364.7 kg ha⁻¹ mes⁻¹), que representaron más de 35 % del total, en coincidencia con vientos moderados. La caída de ramas en *P. greggii* parece estar asociada con la temperatura máxima. En *P. cembroides* la caída de hojas se explicó principalmente por fuertes rachas de viento en abril y mayo cuando también se registraron las mayores caídas (292.4 kg ha⁻¹, 31 % del total). La caída de conos presentó correlación positiva con la lluvia, misma que fue asociada con las colectas 6, 7 y 9 (Figura 4b). La caída de ramas de *P. cembroides* durante el periodo de estudio no se relacionó con factores climáticos.

Otros investigadores han asociado la caída de hojarasca con el viento (Huber y Oyarzún, 1983; Prause *et al.*, 2003), con la temperatura en *P. pinaster* (Roig *et al.*, 2005), y con el estrés hídrico (Pavón *et al.*, 2005). La influencia que ejerce la precipitación en la deposición de hojarasca se ha evidenciado en estudios recientes (Deng y Janssens, 2006; Jeong *et al.*, 2009; Caldato *et al.*, 2010), debido al efecto físico-mecánico de las gotas de lluvia sobre los árboles (Huber y Oyarzún, 1983). Xu e Hirata (2002) reportaron que las diferencias en la caída de hojarasca en plantaciones de *P. luchuensis* Mayr. (8000 kg ha⁻¹ año⁻¹) y *P. luchuensis* Schima Wallichii (11000 kg ha⁻¹ año⁻¹) se debieron a la presencia y severidad de tifones. Por su parte, Dames *et al.* (1998) consideraron que la edad

de los árboles y altitud del sitio tienen influencia en la deposición de hojarasca en *P. patula*.

Modelos para estimar caída de hojarasca

Los resultados del proceso iterativo Stepwise de SAS mostraron que los modelos generados (con 95 % de confiabilidad) son de tipo lineal (Cuadro 4), que explican desde 37 % en conos y hasta 66 % de ramas de *P. greggii*, y de 32 a 64 % en hojas y ramas de *P. cembroides*. La deposición de hojarasca (hojas, ramas y conos) en plantaciones de *P. greggii* y *P. cembroides* es regulada especialmente por temperatura máxima acumulada. Finér (1996) generó un modelo para predecir la caída de acículas en *P. sylvestris*, mediante la sumatoria de la temperatura efectiva como variable de regresión, modelo que explicó 99 % de la variación total.

En este estudio el viento fue el factor fundamental en la caída de hojas, el componente más importante de la hojarasca, tanto en *P. greggii* como en *P. cembroides*, mientras que la lluvia reguló la caída de ramas en ambas especies. No obstante, en bosques y plantaciones en la región de Nigeria (no se indica especie), Deng y Janssens (2006) demostraron que la altura de los árboles y precipitación, altitud y densidad arbórea, diámetro de árboles y precipitación, explicaron 91, 96 y 97 % de la variación total de la caída de hojarasca. Con base en la edad de los árboles, Dames *et al.* (1998) generaron un modelo matemático ($P \leq 0.01$) para estimar caída de hojarasca, y encontraron que la edad explica hasta 25 % de la variación total.

Cuadro 4. Modelos de regresión para estimar acumulación de componentes de hojarasca (g m⁻² mes⁻¹) en plantaciones de *Pinus greggii* Engelm. y *Pinus cembroides* Zucc., en Arteaga, Coahuila, México.

Modelo	β_0	β_1	β_2	R ²	Valor P
HPg = $\beta_0 + \beta_1 \times V_{\max} \times ST_{\max}$	3.0137	0.000257		0.4256	0.0128
RPg = $\beta_0 + \beta_1 \times ST_{\max} \times ST_{\min} + \beta_2 \times PP^2$	0.0742	0.000002	-0.000030	0.6606	0.0077
CPg = $\beta_0 + \beta_1 \times ST_{\max}$	1.1118	-0.001407		0.3756	0.0341
1/HPc = $\beta_0 + \beta_1 \times V_{\max} \times ST_{\max}$	0.4099	-0.000009		0.3293	0.0299
RPc = $\beta_0 + \beta_1 \times \text{LogPP} + \beta_2 \times \text{LogST}_{\max}$	-0.3101	-0.281546	0.339552	0.6413	0.0099
CPc = $\beta_0 + \beta_1 \times T_{\min} \times V_{\max}$	-0.0324	0.000641		0.5358	0.0068

HPg = hojas *P. greggii*; RPg = ramas *P. greggii*; CPg = conos *P. greggii*; 1/HPc = hojas *P. cembroides*; RPc = ramas *P. cembroides*; CPc = conos *P. cembroides*; V_{max} = velocidad máxima del viento (km h⁻¹); ST_{max} = sumatoria de la temperatura máxima (°C); ST_{min} = sumatoria de la temperatura mínima (°C); PP = precipitación total (mm); Log = logaritmo decimal; β_0 , β_1 y β_2 = parámetros de la regresión; R² = coeficiente de determinación, P = probabilidad de error en la prueba de t.

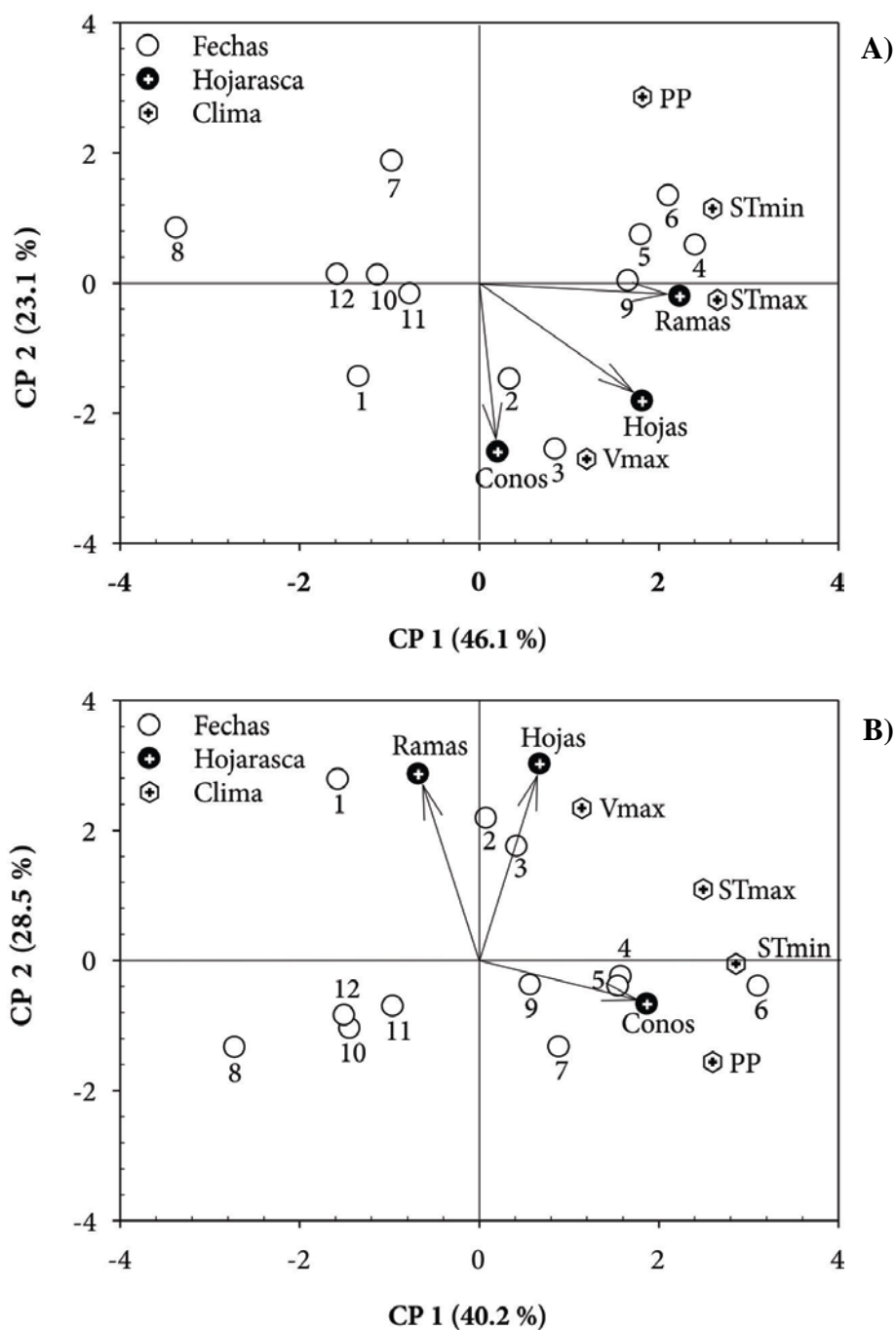


Figura 4. Análisis de componentes principales para mostrar la relación entre la caída de hojarasca y las variables climáticas, en *Pinus greggii* Engelm. (A) y *Pinus cembroides* Zucc. (B), en Arteaga, Coahuila, México. Círculos blancos indican número de colecta. STmin = sumatoria de temperatura mínima; STmax = sumatoria de temperatura máxima; Vmax = velocidad máxima del viento; PP = precipitación total.

CONCLUSIONES

La caída de hojarasca en plantaciones de *P. greggii* y *P. cembroides* de este estudio, es en promedio cuatro veces menor que en ecosistemas templados y subtropicales, pero cuatro veces más que en ecosistemas semidesérticos y es dependiente de la especie. *P. greggii* presenta las tasas más altas de deposición de hojarasca, y en esta especie la densidad de árboles no es factor determinante. La producción de hojarasca en *P. greggii* y *P. cembroides* es dependiente (parcialmente) de la temperatura máxima y viento. Eventos extremos de temperatura mínima (de hasta -14° C) no influyen en la caída de hojarasca en estas especies. Este estudio abre la posibilidad de generar y aplicar modelos para predicción de la acumulación de hojarasca en plantaciones forestales.

AGRADECIMIENTOS

Proyecto financiado por la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, clave 02-03-0207-2193. Agradecimientos a la CESAVECO, por brindar datos climáticos para apoyar resultados de este estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- Bernhard R F, J J Loumeto, J P Laclau (2001)** Litterfall, litter quality and decomposition changes with *Eucalypt* hybrids and plantation age: *In: Effect of Exotic Tree Plantations on Plant Diversity and Biological Soil Fertility in the Congo Savanna: With Special Reference to Eucalypts*. Bernhard-Reversat F (ed) Center for International Forestry Research. Bogor, Indonesia. pp:23-29.
- Bray J R, E Gorham (1964)** Litter production in forest of the world. *Adv. Ecol. Res.* 2:101-157.
- Caldato S L, P A Floss, E C Serafini F (2010)** Producción y descomposición de hojarasca en la selva ombrófila mixta en el sur de Brasil. *Bosques* 31:3-8.
- Dames J, M C Scholes, C J Straker (1998)** Litter production and accumulation in *Pinus patula* plantations of the Mpumalanga Province, South Africa. *Plant Soil* 203:183-190.
- DeLucia E H, J G Hamilton, S L Naidu, R B Thomas, J A Andrews, A Finzi, M Lavine, R Matamala, J E Mohan, G R Hendrey, W H Schlesinger (1999)** Net primary production of a forest ecosystem with experimental CO₂ enrichment. *Science* 284:1177-1179.
- Deng Z, M J J Janssens (2006)** Litter fall production in West-African Forests and Plantations: *In: Conference on International Agricultural Research for Development*. University of Bonn, October 11-13, 2006. Zurich, Switzerland. pp:1-5.
- Domínguez C P A, J J Návar Ch, J A Loera O (2001)** Comparación del rendimiento de pinos en la reforestación de sitios marginales en Nuevo León. *Madera y Bosques* 7:27-35.
- Farjon A, Perez D R J A, B T Styles (1997)** A Field Guide to the Pines of México and Central America (Spanish Ed.). Royal Botanic Gardens, Kew-University of Oxford. 151 p.
- Finér L (1996)** Variation in the amount and quality of litterfall in a *Pinus sylvestris* L. stands growing on a bog. *For. Ecol. Manage.* 80:1-11.
- García E (1998)** Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Climas (Clasificación de Koppen, modificado por García). Cartografía: escala 1:1 000 000. México.
- González R H, I Cantú S, R G Ramírez L, M V Gómez M, T G Domínguez G, J Bravo G, R K Maiti (2008)** Spatial and seasonal litterfall deposition pattern in the Tamaulipan thornscrub, Northeastern Mexico. *Intern. J. Agric. Environ. Biotechnol.* 1:177-181.
- Gunadi B (1992)** Litterfall, litter turnover and soil respiration and respiration in two pine forest plantation in Central Java Indonesia. *J. Trop. For. Sci.* 6:310-322.
- Guo J F, J S Xie, H L Lu, D X Liu, Y S Yang, G S Chen (2004)** Carbon return and dynamics of litterfall in natural forest and monoculture plantation of *Castanopsis kawakamii* in subtropical China. *For. Studies China* 6:33-36.
- Huber J A, C Oyarzún C (1983)** Producción de hojarasca y sus relaciones con factores meteorológico en un bosque de *Pinus radiata*. *Bosque* 1:1-11.
- INIFAP, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias - CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (1995)** Mapa Edafológico. Escalas 1:250,000 y 1:1,000,000. México.
- Jeong J, C Kim, A Hyun-Chul, C Hyun-Seo, C Gap-Chul (2009)** A comparison of litterfall dynamics in three coniferous plantations of identical age under similar site conditions. *J. Ecol. Field Biol.* 32:97-102.
- Kavvadias V A, D Alifragis, A Tsiontsis, G Brofas, G Stamatelos (2001)** Litterfall, litter accumulation and litter decomposition rates in four forest ecosystems in northern Greece. *For. Ecol. Manage.* 144:113-127.
- Kruskal W H, W A Wallis (1952)** Use of ranks in one-criterion variance analysis. *J. Amer. Stat. Assoc.* 47:583-621.
- Liu C J, C J Westman, H Ilvesniemi (2001)** Matter and nutrient dynamics of pine (*Pinus tabulaeformis*) and oak (*Quercus variabilis*) litter in North China. *Silva Fennica* 5:3-13.
- May D J, K T Killingbeck (1992)** Effects of preventing nutrient resorption on plant fitness and foliar nutrient dynamics. *Ecology* 73:1868-1878.
- Nájera L J A, H E Hernández (2009)** Acumulación de biomasa aérea en un bosque coetáneo de la región de El Salto, Durango. *Ra Ximhai* 5:225-230.
- Návar C J J, E Jurado Y (2009)** Productividad foliar y radicular en ecosistemas forestales del noreste de México. *Ciencia For. Méx.* 34:89-106.
- Pavón N P, O Briones, J Flores R (2005)** Litterfall production and nitrogen content in an intertropical semi-arid Mexican scrub. *J. Arid Environ.* 60:1-13.
- Pérez C A, J F Goya, F Bianchini, J L Frangi, R Fernández (2006)** Productividad aérea y ciclo de nutrientes en plantaciones de *Pinus taeda* L. en el norte de la provincia de misiones, Argentina. *Interciencia* 31:794-801.
- Prause J, G A De Caram, P N Angeloni (2003)** Variación mensual en el aporte de hojas de cuatro especies forestales nativas del parque

- Chaqueño húmedo (Argentina). Quebracho, Rev. Ciencias For. 10:39-45.
- Proctor J, J M Anderson, S C L Fogden, H W Vallack (1983)** Ecological studies in four contrasting lowland rainforests in Gunung Mulu National Park, Sarawak. 11. Litter fall, litter standing crop and preliminary observation on herbivory. J. Ecol. 71:261-283.
- Quinto M H, Y A Ramos P, D Abadía B (2007)** Cuantificación de la caída de la hojarasca como medida de la productividad primaria neta en un bosque pluvial tropical en Salero, Chocó, Colombia. Rev. Instit. Univ. Tecnol. Chocó 26:28-41.
- Roig S, M del Río, I Cañellas, G Montero (2005)** Litterfall in Mediterranean *Pinus pinaster* Ait. stands under different thinning regimes. For. Ecol. Manage. 206:179-190.
- SAS Institute (1989)** Statistical Analysis System SAS/STAT User's Guide. Version 9.1, Cary, N.C.
- Vargas P L, A Varela (2007)** Producción de hojarasca de un bosque de niebla en la reserva natural la planada (Nariño, Colombia). Univ. Scient. ed. esp. 12:35-49.
- Xu X N, E Hirata (2002)** Forest floor mass and litterfall in *Pinus luchuensis* plantations with and without broad-leaved trees. For. Ecol. Manage. 157:165-173.
- Zaldívar J A, J Herrera S, C Coronado M, D Alonzo P (2004)** Estructura y productividad de los manglares en la reserva de la biosfera Ría Celestún, Yucatán, México. Madera y Bosques 2:25-35.
- Zapata D C M, J A Ramírez, J D León P, M I González H (2007)** Producción de hojarasca fina en bosques altoandinos de Antioquia, Colombia. Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín 60:3771-3784.