

PRODUCCIÓN DE HOJARASCA EN *Pinus halepensis* Mill. Y *Pinus cembroides* Zucc. Y SU RELACIÓN CON ALGUNOS FACTORES CLIMÁTICOS

LITTERFALL PRODUCTION IN *Pinus halepensis* Mill. AND *Pinus cembroides* Zucc. AND ITS RELATIONSHIP WITH SOME CLIMATIC FACTORS

J. Damián López-López¹, Jorge Méndez González^{1*}, J. Abel Nájera-Luna², Julián Cerano-Paredes³,
J. David Flores-Flores¹, J. Armando Nájera-Castro¹

¹Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro No. 1923, Buenavista Saltillo. 25315. Coahuila, México. (jorgemendezgonzalez@gmail.com). ²División de Estudios de Posgrado e Investigación. Instituto Tecnológico de El Salto, México. ³Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera. INIFAP. Gómez Palacio, Durango, México.

RESUMEN

La producción de hojarasca es una medida de la productividad primaria neta, que además se relaciona con almacenes de carbono en el suelo. El objetivo de esta investigación fue cuantificar durante un año la caída de hojarasca de una población de *Pinus cembroides* Zucc. (685 árboles ha⁻¹ de 60 años) y una de *P. halepensis* Mill. (3760 árboles ha⁻¹ de 20 años), ubicadas en un mismo sitio en la Sierra de Arteaga, Coahuila, México, y correlacionarla con los factores ambientales. Las recolecciones se realizaron mensualmente de marzo 2010 a febrero 2011. La prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (95 %) indicó que la caída de hojarasca fue estadísticamente mayor ($p \leq 0.0001$) en *P. halepensis* ($27.21 \pm 22.11 \text{ g m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$) que en *P. cembroides* ($8.19 \pm 10.75 \text{ g m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$), representó 2697.41 y 922.75 kg ha⁻¹ año⁻¹ y varió en el tiempo; la densidad de árboles fue un factor determinante de estas diferencias. Concordante con otros estudios, la caída de acículas de *P. cembroides* presentó correlación baja con factores ambientales, en contraste con *P. halepensis* que es susceptible a los cambios de la precipitación y temperatura.

Palabras clave: hojarasca, lluvia, pino halepo, pino piñonero.

INTRODUCCIÓN

La producción de hojarasca es un componente fundamental de la productividad primaria neta (Prause *et al.*, 2003), se compone de hojas, ramas, flores, inflorescencias, frutos y estructuras

ABSTRACT

Litterfall production is a measurement of net primary productivity, which is also related to carbon stores in the soil. The objective of this investigation was to quantify during one year the litterfall of a population of *Pinus cembroides* Zucc. (685 trees ha⁻¹ of 60 years) and one of *P. halepensis* Mill. (3760 trees ha⁻¹ of 20 years), located in the same site in the Sierra of Arteaga, Coahuila, México, and correlate it with the environmental factors. The collections were made monthly from March 2010 to February 2011. The Kruskal-Wallis non-parametric test (95 %) indicated that litterfall was statistically higher ($p \leq 0.0001$) in *P. halepensis* ($27.21 \pm 22.11 \text{ g m}^{-2} \text{ month}^{-1}$) than in *P. cembroides* ($8.19 \pm 10.75 \text{ g m}^{-2} \text{ month}^{-1}$), represented 2697.41 and 922.75 kg ha⁻¹ year⁻¹ and varied in time; tree density was a determining factor of these differences. In agreement with other studies, needlefall of *P. cembroides* presented low correlation with environmental factors, in contrast with *P. halepensis*, which is susceptible to changes of precipitation and temperature.

Key words: litter, rain, halepo pine, piñon pine.

INTRODUCTION

Litterfall production is a fundamental component of net primary productivity (Prause *et al.*, 2003). It is comprised of leaves, branches, flowers, inflorescences, fruits and plant structures that supply nutrients to forest soils (Arunachalam *et al.*, 1998), its accumulation is important for maintaining productivity of forest ecosystems (Pérez *et al.*, 2009) and is responsible for soil fertility and formation (Belmonte *et al.*, 1998).

* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: marzo, 2013. Aprobado: mayo, 2013.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 47: 497-510. 2013.

de la planta que aportan nutrientes a los suelos forestales (Arunachalam *et al.*, 1998), su acumulación es importante para mantener la productividad de ecosistemas forestales (Pérez *et al.*, 2009) y es responsable de la fertilidad y la formación del suelo (Belmonte *et al.*, 1998). Berg y Meentemeyer (2001) y Liu *et al.* (2004) evaluaron la relación de la producción de hojarasca con la precipitación y la temperatura, principalmente en bosques tropicales. Gutiérrez *et al.* (2012) detectaron correlación baja de la presencia de acículas de *Pinus cembroides* con la lluvia y otros autores relacionan la producción de hojarasca con densidad arbórea y tamaño del árbol (Navarro *et al.*, 2013), humedad atmosférica (Tanner, 1980), humedad del suelo (Belmonte *et al.*, 1998), especie, calidad del sitio y edad del rodal (Albrektson, 1988) y área basal (Arunachalam *et al.*, 1998); incluso, en especies ripáricas la variación hidrométrica condiciona la caída de hojarasca (Aceñolaza *et al.*, 2009).

La producción de hojarasca también depende del periodo del año. Aceñolaza *et al.* (2009) documentan que 40 % del aporte anual en bosques caducifolios y semicaducifolios ocurre durante primavera y verano. Pérez *et al.* (2009), Návar-Cháidez y Jurado (2009) y Gutiérrez *et al.* (2012) reportan producción bimodal, mayor en verano, de la caída de acículas de *P. cembroides*. Según García *et al.* (1995), Belmonte *et al.* (1998) y Navarro *et al.* (2013), en *P. halepensis* la producción mayor de hojas ocurre en verano, y la caída interanual de hojarasca en ecosistemas tropicales es similar (Tanner, 1980).

Gran parte del norte de México tiende a ser más seco que en las décadas pasadas (Méndez *et al.*, 2008) y probablemente aumenta la producción de hojarasca de algunas especies, relacionada con la disminución de la capacidad fotosintética. Por tanto, conocer cifras y tendencias de la producción de hojarasca es relevante en ecología y silvicultura, para conocer la dinámica de los ecosistemas, identificar las especies adaptables al cambio climático, incluso por su relación con los almacenes de carbono en el suelo y desarrollar nuevas prácticas de manejo sustentable.

El presente estudio tuvo como objetivos: 1) cuantificar y comparar la producción de hojarasca incorporada al suelo en un bosque natural de *P. cembroides* Zucc. y una plantación de *P. halepensis* Mill., 2) describir la producción de hojarasca y su relación con

Berg and Meentemeyer (2001) and Liu *et al.* (2004) evaluated the relationship of litterfall production with rainfall and temperature, principally in tropical forests. Gutiérrez *et al.* (2012) detected low correlation of the presence of needles of *Pinus cembroides* with rainfall, and other authors relate litterfall production with tree density and tree size (Navarro *et al.*, 2013), atmospheric humidity (Tanner, 1980), soil humidity (Belmonte *et al.* 1998), species, site quality and age of the stand (Albrektson, 1988) and basal area (Arunachalam *et al.*, 2009); even in riparian species, litterfall is determined by hydrometric variation (Aceñolaza *et al.*, 2009).

Litterfall production also depends on the period of the year. Aceñolaza *et al.* (2009) document that 40 % of the annual supply in deciduous and semi-deciduous forests occurs during spring and summer. Pérez *et al.* (2009), Návar-Cháidez and Jurado (2009) and Gutiérrez *et al.* (2012) report bimodal production, higher in summer, of needlefall of *P. cembroides*. According to García *et al.* (1995), Belmonte *et al.* (1998) and Navarro *et al.* (2013), in *P. halepensis*, the highest production of leaves occurs in summer, and the inter-annual litterfall in tropical ecosystems is similar (Tanner, 1980).

A great part of northern México tends to be drier than in past decades (Méndez *et al.*, 2008) and probably litterfall production of some species is increased, related to the decrease of photosynthetic capacity. Therefore, to know data and tendencies of litterfall production is relevant in ecology and silviculture, in order to know the dynamic of the ecosystems, identify the species that are adaptable to climatic change, even for their relationship with the carbon stores in soil and to develop new practices of sustainable management.

The present study was made with the following objectives: 1) to quantify and compare litterfall production that is incorporated to the soil in a natural forest of *P. cembroides* Zucc. and a plantation of *P. halepensis* Mill., 2) to describe litterfall production and its relationship with some local climatic factors during an annual cycle, and 3) to document evidence to support other ecological investigations with similar topics. The hypothesis was that the production of litter components is similar among species and is a response to some local environmental factors.

algunos factores climáticos locales durante un ciclo anual, y 3) documentar evidencia para apoyar otras investigaciones ecológicas y con temas afines. La hipótesis fue que la producción de componentes de la hojarasca es similar entre especies, y responde a algunos factores climáticos locales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en 0.75 ha de un bosque natural de *P. cembroides* y en 0.35 ha de una plantación de *P. halepensis*, con dasometría significativamente diferente entre especies (Cuadro 1), exposición oeste, cercanía entre ellas, a no más de 150 m y localizadas en la Sierra de Arteaga, Coahuila, México (25° 24' 27.50" N y 100° 36' 24.54" O; altitud de 2280 m, clima templado (Cb(X)(Wo)(e)g), temperatura media de 13.3 °C y precipitación anual de 521 mm; García, 1998).

Generalidades de las especies

Pinus cembroides Zucc. se distribuye desde el oeste de EE.UU. hasta México (Farjon *et al.*, 1997), entre 18° y 32 °N, se asocia con matorral arbustivo, encinares y pinares de climas semidesérticos y alcanza 400 años de edad. *Pinus halepensis* Mill. fue introducida al noreste de México en 1950, es la especie con distribución mayor en la región mediterránea, crece entre nivel del mar hasta 2600 m, resistente sequías, pues sobrevive con 150 mm de lluvia al año aunque su óptimo es 300 a 700 mm, se desarrolla bien en suelos con materia orgánica escasa, es sensible a temperaturas extremas (Fady *et al.*, 2003) y es una especie poco longeva (~250 años).

Cuadro 1. Características dasométricas promedio de las áreas de estudio: bosque natural de *Pinus cembroides* y plantación de *P. halepensis*.

Table 1. Average dasometric characteristics of the study areas: natural forest of *Pinus cembroides* and plantation of *P. halepensis*.

Especie	D (árboles ha ⁻¹)	H (m)	DN (cm)	DC (m)	CC (%)	P (%)	E (años)
<i>P. cembroides</i>	685	5.7	25.2	4.2	55	25	60
<i>P. halepensis</i>	3760	7.5	10.1	4.5	95	5	20

D = densidad de árboles; H = altura total; DN = diámetro normal; DC = diámetro de copa; CC = cobertura de copa; P = pendiente; E = edad ♦ D=trees density; H=total height; DN=normal diameter; DC=crown diameter; CC=crown cover; P=slope; E=age.

MATERIALS AND METHODS

Study area

The study was carried out in 0.75 ha of a natural forest of *P. cembroides* and in 0.35 ha of a plantation of *P. halepensis*, with dasometry that was significantly different between species (Table 1), western exposure, close to one another, not more than 150 m and located in the Sierra de Arteaga, Coahuila, México (25° 24' 27.50" N and 100° 36' 24.54" W; altitude of 2280 m, temperate climate (Cb (X) (Wo) (e)g), mean temperature of 13.3 °C and annual rainfall of 521 mm; García, 1998).

Generalities of the species

Pinus cembroides Zucc. is distributed from the western part of the U.S. to México (Farjon *et al.*, 1997), between 18° and 32 °N, is associated with scrubland, oak and pine forests of semi-desert climates and reaches 400 years of age. *Pinus halepensis* Mill. was introduced to northwestern México in 1950, and is the species with highest distribution in the Mediterranean region. It grows between sea level and 2600 m, and is resistant to drought, as it survives with 150 mm of rainfall a year, although its optimum level is from 300 to 700 mm. It develops well in soils with scant organic matter, is sensitive to extreme temperatures (Fady *et al.*, 2003) and is a species of short longevity (~250 years).

Quantification of litterfall

The litterfall was collected in traps of 1 m² constructed of wood and metal mesh of 1 mm × 1 mm at the bottom. In the area of *P. cembroides* and of *P. halepensis*; 30 and 10 traps were randomly distributed (Pérez *et al.*, 2009), they were located 50 cm above the ground and in the same place during the study, from March 6, 2010 to February 6, 2011. The collections were made approximately every 30 d (Belmonte *et al.*, 1998).

The litter was dried in a drying oven (Mapsa, model HDP 334) at 70 °C, during 72 h (Aceñolaza *et al.*, 2009; Gutiérrez *et al.*, 2012), was separated into leaves, branches (< 1 cm diameter), bark, cones (male) and miscellaneous (non-identified elements) and each component was weighed in a semi-analytic scale (Pioneer, model PA214 with precision of 0.0001 g).

Climatic data

From daily data of climate in the climatic station Rancho Roncesvalles (25° 23' 44.1" N and 100° 36' 21.3" W, located 500 m from the study area, the network of meteorological stations of INIFAP, México (INIFAP, 2011) provided the data of

Cuantificación de hojarasca

La hojarasca se recolectó en trampas de 1 m² construidas con madera y malla metálica de 1 mm × 1 mm en el fondo. En el área de *P. cembroides* y de *P. halepensis*; se distribuyeron 30 y 10 trampas aleatoriamente (Pérez *et al.*, 2009), a 50 cm sobre el suelo y en el mismo lugar durante el estudio, del 6 de marzo del 2010 al 6 de febrero del 2011. Las recolecciones se realizaron aproximadamente cada 30 d (Belmonte *et al.*, 1998).

La hojarasca se secó en un horno de secado (Mapsa, modelo HDP 334) a 70 °C durante 72 h (Aceñolaza *et al.*, 2009; Gutiérrez *et al.*, 2012), se separó en hojas, ramas (< 1cm en diámetro), corteza, conos (masculinos) y misceláneos (elementos no identificados) y cada componente se pesó en una balanza semianalítica (Pioneer, modelo PA214 con precisión de 0.0001 g).

Datos climáticos

De datos diarios del clima de la estación climática Rancho Roncesvalles (25° 23' 44.1" N y 100° 36' 21.3" O), ubicada a 500 m del área de estudio, de la red de estaciones meteorológicas de INIFAP, México (INIFAP, 2011) se obtuvo precipitación acumulada del mes (*Pp*) en mm, promedio mensual de temperatura máxima (*Tmax*) y mínima (*Tmin*) en °C, humedad relativa (*Hr*) en porcentaje, días entre lluvias (*Dell*) y días con lluvia (*Dcll*) a partir de *Pp*.

Análisis estadístico

Para diferenciar la producción de hojarasca entre las especies y fechas de recolecta/especie, se usó la prueba de Kruskal-Wallis (KW; $p \leq 0.05$) para comparar poblaciones con distribución no normal (Kruskal y Wallis, 1952; Gutiérrez *et al.*, 2012; Navarro *et al.*, 2013). Para evaluar la relación clima/hojarasca, los datos climáticos se correlacionaron ($p \leq 0.05$) con los componentes de hojarasca ($\text{g m}^{-2} \text{mes}^{-1}$). La comparación de tasas de caída de hojarasca entre este y otros estudios se realizó con la prueba de *t* de Student de muestras apareadas e independientes ($p \leq 0.05$) usando el programa SAS v8.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las hojas fueron el componente con representación mayor en la hojarasca, con 59.26 ± 18.2 de la producción total en *P. cembroides* y 79.13 ± 29.4 % en *P. halepensis*. Ramas, conos, corteza y misceláneos aportaron 15.78, 0.74, 5.40 y 18.80 % en *P. cembroides* y 1.45, 1.12, 1.30 y 17.0 % en *P. halepensis* (Figura 1A y 1B). Los conos no se incluyeron en el análisis

accumulated rainfall of the month (*Pp*) in mm, monthly average of maximum temperature (*Tmax*) and minimum temperature (*Tmin*) in °C, relative humidity (*Rb*) in percentage, days between rains (*Dbr*) and days with rain (*Dwr*) from *Pp*.

Statistical analysis

To differentiate litterfall production between species and collection dates/species, the Kruskal-Wallis test was used (KW; $p \leq 0.05$) in order to compare populations with non normal distribution (Kruskal and Wallis, 1952; Gutiérrez *et al.*, 2012; Navarro *et al.*, 2013). To evaluate the ratio of climate/litterfall, the climatic data were correlated ($p \leq 0.05$) with the litterfall components ($\text{g m}^{-2} \text{month}^{-1}$). The comparison of litterfall rates between this study and others was made with the *t* Student test of paired and independent samples ($p \leq 0.05$) using SAS v8 program.

RESULTS AND DISCUSSION

The leaves were the component with highest representation in litterfall, with 59.26 ± 18.2 of total production in *P. cembroides* and 79.13 ± 29.4 % in *P. halepensis*. Branches, cones, bark and miscellaneous provided 15.78, 0.74, 5.40 and 18.80 % in *P. cembroides* and 1.45, 1.12, 1.30 and 17.0 % in *P. halepensis* (Figure 1A and 1B). The cones were not included in the statistical analysis because they were absent on various dates and their accumulation was < 1% in both species. Gutiérrez *et al.* (2012) pointed out that in the total litterfall of a plantation of *P. cembroides* the leaves represented 94.3 ± 3.8 %, the cones 2.3 and the branches 3.3 %. In a forest of the same species, Pérez *et al.* (2009) observe that the needles represented the highest fraction of the litterfall (60 %). Navarro *et al.* (2013) indicate that the leaves of *P. halepensis* (with 48, 60 and 75 % of thinning) represented 30 ± 4.3 % of the total litterfall and the non-identified elements 65 ± 3.7 %. In mixed forests of *P. cooperi* and *P. leiophylla*, the leaves contributed 70.8 and 74.0 % of the total litterfall (Nájera and Hernández, 2009). The percent differences among the components of the studies are mainly due to the number of elements considered in the grouping.

Average production of total litterfall

Total litterfall production in the period evaluated was different between the species ($p \leq 0.001$; Table

estadístico porque estuvieron ausentes en varias fechas y su acumulación fue < 1 % en ambas especies. Gutiérrez *et al.* (2012) señalan que en la hojarasca total de una plantación de *P. cembroides* las hojas representaron 94.3 ± 3.8 %, los conos 2.3 y las ramas 3.3 %. En un bosque de la misma especie, Pérez *et al.* (2009) observan que las acículas fueron la fracción mayor de la hojarasca (60 %). Navarro *et al.* (2013) indican que las hojas de *P. halepensis* (con 48, 60 y 75 % de aclareo) representaron 30 ± 4.3 % de la hojarasca total y los elementos no identificados 65 ± 3.7 %. En bosques mixtos de *P. cooperi* y *P. leiophylla*, las hojas contribuyeron 70.8 y 74.0 % de la hojarasca total (Nájera y Hernández, 2009). Las diferencias porcentuales entre los componentes de los estudios se deben principalmente al número de elementos considerados en la agrupación.

Producción promedio de hojarasca total

La producción total de hojarasca en el periodo evaluado fue diferente entre las especies ($p \leq 0.001$; Cuadro 2). La diferencia puede deberse parcialmente

2). The difference may be partially due to tree density. However, Gutiérrez *et al.* (2012) point out that the tree density of trees of *P. cembroides* Zucc. (2382 trees ha^{-1}) and *P. greggii* Engelm. (679 2382 trees ha^{-1}) was not determinant in litterfall production (976 and 1072 $kg ha^{-1} year^{-1}$, respectively). In both studies *P. halepensis* and *P. greggii* presented high productivity, which may depend on the reaction of the species to the climate.

In *P. cembroides* (81 and 18 years; 950 and 2382 trees ha^{-1}) litterfall production varied from 976 to 3023 $kg ha^{-1} year^{-1}$ (25.19 and 2.71 $g m^{-2} month^{-1}$ (Pérez *et al.*, 2009; Gutiérrez *et al.*, 2012), values significantly different from those of the present study ($t=2.904$ and $p=0.014$; $t=9.342$ and $p=0.001$). Furthermore, Nívar-Cháidez and Jurado (2009) report 18.3 $g m^{-2} month^{-1}$ (2200 $kg ha^{-1} year^{-1}$) in the same species, which represents higher litterfall production than in the present study ($t=4.03$; $p=0.002$), in which the maximum values were obtained in May and June.

The mean litterfall production of *P. halepensis* ($27.21 \pm 22.11 g m^{-2} month^{-1}$) (Figure 1 B) in this

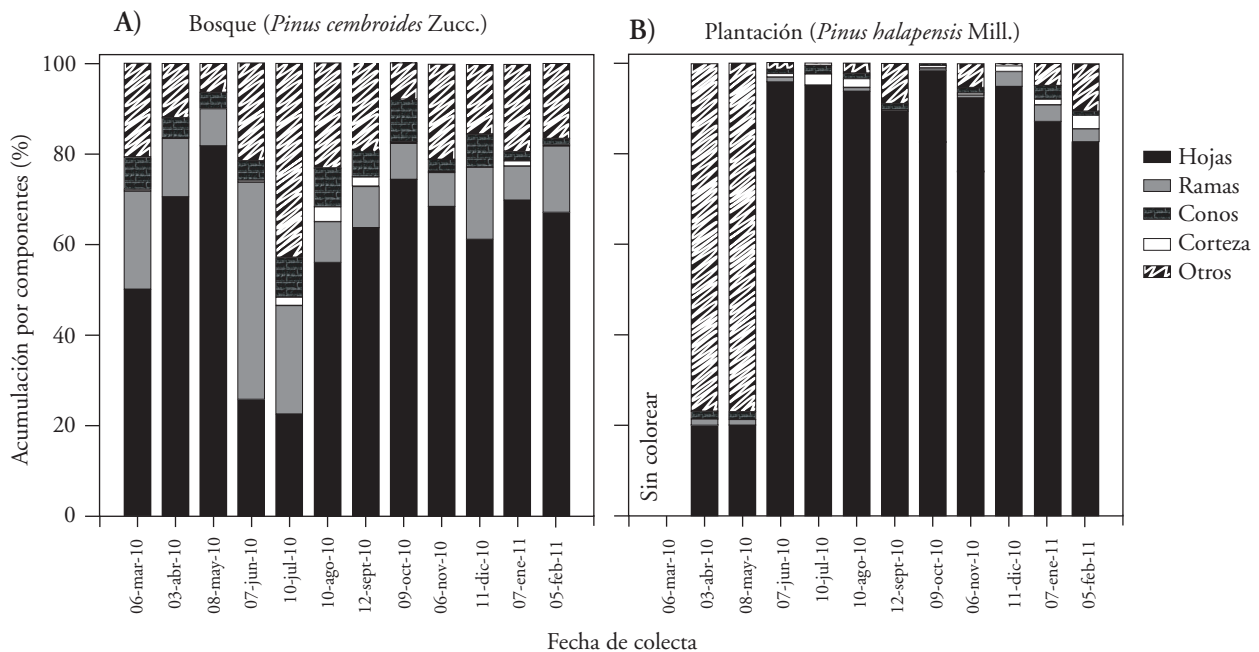


Figura 1. Aportación porcentual de componentes de hojarasca en un bosque de *Pinus cembroides* (A) y plantación de *P. halepensis* (B), en Arteaga, Coahuila, México.

Figure 1. Percent contribution of litterfall components in a forest of *Pinus cembroides* (A) and plantation of *P. halepensis* (B), in Arteaga, Coahuila, México.

Cuadro 2. Estadísticos de la prueba de Kruskal Wallis (95 %) de la caída de hojarasca de *Pinus cembroides* (N=330) y *P. halepensis* (N=110) en Arteaga, Coahuila, México.
Table 2. Statistics of the Kruskal Wallis test (95 %) of litterfall of *Pinus cembroides* (N=330) and *P. halepensis* (N=110) in Arteaga, Coahuila, México.

Componente	Especie	Producción de hojarasca		C	H	Valor p
		g m ⁻² mes ⁻¹	kg ha ⁻¹ año ⁻¹			
Total	<i>Pc</i>	8.19 ± 10.75 b	922.75	1.00	90.43	≤0.001
	<i>Ph</i>	27.21 ± 22.11 a	2697.41			
Hojas	<i>Pc</i>	3.97 ± 4.53 b	445.38	1.00	111.20	≤0.001
	<i>Ph</i>	24.18 ± 20.91 a	2398.53			
Ramas	<i>Pc</i>	2.15 ± 6.04 a	254.40	0.95	32.54	≤0.001
	<i>Ph</i>	0.26 ± 0.61 b	28.85			
Corteza	<i>Pc</i>	0.43 ± 1.09 a	48.12	0.88	0.75	0.358
	<i>Ph</i>	0.43 ± 1.01 a	47.06			
Misceláneos	<i>Pc</i>	1.58 ± 3.04 a	174.84	1.00	1.72	0.189
	<i>Ph</i>	2.02 ± 6.03 a	222.97			

Pc = *P. cembroides*; *Ph* = *P. halepensis*; 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 diferentes (componente/especie) son estadísticamente diferentes (Kruskal Wallis, p≤0.05) ♦ *Pc* = *P. cembroides*; *Ph* = *P. halepensis*; C = correction factor of the KW statistic by matched observations; H = KW statistic not corrected by matches; p = probability of error in the test of two tails. Means with different letters (component/species) are statistically different (Kruskal Wallis, p≤0.05).

a la densidad de árboles; sin embargo, Gutiérrez *et al.* (2012) señalan que la densidad de árboles de *P. cembroides* Zucc. (2382 árboles ha⁻¹) y *P. greggii* Engelm. (679 2382 árboles ha⁻¹) no fue determinante en la producción de hojarasca (976 y 1072 kg ha⁻¹ año⁻¹ respectivamente). En ambos estudios *P. halepensis* y *P. greggii* tuvieron productividad alta, que puede depender de la reacción de las especies al clima.

En *P. cembroides* (81 y 18 años; 950 y 2382 árboles ha⁻¹) la producción de hojarasca varía de 976 hasta 3023 kg ha⁻¹ año⁻¹ (25.19 y 2.71 g m⁻² mes⁻¹) (Pérez *et al.*, 2009; Gutiérrez *et al.*, 2012), valores significativamente diferentes a los del presente estudio (t=2.904 y p=0.014; t=9.342 y p=0.001). Además, Nívar-Cháidez y Jurado (2009) reportan 18.3 g m⁻² mes⁻¹ (2200 kg ha⁻¹ año⁻¹) en la misma especie, que es una producción mayor de hojarasca a la del presente estudio (t=4.03; p=0.002), con valores máximos en mayo y junio.

La producción media de hojarasca de *P. halepensis* (27.21±22.11 g m⁻² mes⁻¹) (Figura 1 B) en este estudio no fue estadísticamente diferente a la cuantificada por Belmonte *et al.* (1998) (22.91±18.26 g m⁻² mes⁻¹) (t=0.425; p=0.681). En España y Francia, *P. halepensis* produce hojarasca desde 20.8 hasta 34.2 g m⁻² mes⁻¹ (Rapp, 1967; García-Plé *et al.*, 1995) y ninguna es estadísticamente diferente a la

study was not statistically different from the amount quantified by Belmonte *et al.* (1998) (22.91±18.26 g m⁻² month⁻¹) (t=0.425; p=0.681). In Spain and France, *P. halepensis* produces litterfall from 20.8 to 34.2 g m⁻² month⁻¹ (Rapp, 1967; García-Plé *et al.*, 1995) and neither is statistically different from that of the present study (t=0.827 and p=0.430; t=1.273 and p=0.235). Furthermore, Navarro *et al.* (2013) document that *P. halepensis* produces 1579±550.10 kg ha⁻¹ year⁻¹ (13.15 g m⁻² month⁻¹, a value similar to that of the present study (t=2.025 and p=0.073).

Needlefall

Needlefall was different between the species (p≤0.0001); the greatest amount corresponded to *P. halepensis*, and contrasted with *P. cembroides* (Table 2; Figure 2A and 2E). In the period from May to November, with lower wind velocity, *P. halepensis* produced more leaves than *P. cembroides* (p≤0.05, denoted by * in Figure 2A), equivalent to 92.01 % of total litterfall production by *P. halepensis* (Figure 3A); however, in the other collections, leaf production was similar between the species (p>0.05). The decrease in the physiological activity of the species during winter could have led to equaling needlefall, which in *P. halepensis* correlated positively with

del presente estudio ($t=0.827$ y $p=0.430$; $t=1.273$ y $p=0.235$). Además, Navarro *et al.* (2013) documentan que *P. halepensis* produce $1579 \pm 550.10 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ($13.15 \text{ g m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$), valor similar al de este estudio ($t=2.025$ y $p=0.073$).

Caída de hojas

La caída de hojas fue diferente entre las especies ($p \leq 0.0001$); la mayor correspondió a *P. halepensis*, y contrastó con *P. cembroides* (Cuadro 2; Figura 2A y 2E). En el periodo de mayo a noviembre, con velocidad menor del viento, *P. halepensis* produjo más hojas que *P. cembroides* ($p \leq 0.05$, denotado por * en la Figura 2A), equivalente a 92.01 % de la producción total de hojarasca por *P. halepensis* (Figura 3A); sin embargo, en las demás recolectas la producción de hojas fue similar entre especies ($p > 0.05$). La disminución de la actividad fisiológica de las especies durante invierno pudo haber conducido a igualar la caída de las hojas, que en *P. halepensis* se correlacionó positivamente con la lluvia ($r=0.560$; $p=0.07$), la humedad relativa ($r=0.550$; $p=0.07$) basada en la relación directa $Hr=45.408 + 1.708 * T_{min}$, con $r=0.404$ y $p \leq 0.001$, y la temperatura mínima ($r=0.540$; $p=0.09$) (Cuadro 3) (Figura 3B). En contraste, en *P. cembroides* la correlación de la caída de hojas con las variables climáticas no fue significativa. Gutiérrez *et al.* (2012) documentan la respuesta mínima de *P. cembroides* a los factores ambientales y la acumulación mayor de hojarasca entre marzo y mayo.

Similarmente, Belmonte *et al.* (1998) reportan producción mayor de hojas y una relación significativa ($r=0.7874$; $p \leq 0.05$) entre humedad relativa y producción de hojarasca de *P. halepensis*; pero sus resultados difieren de la acumulación máxima en septiembre observada por Navarro *et al.* (2013). En bosques europeos, la cantidad de acículas de *Pinus* spp. se relacionó lineal y positivamente con la evapotranspiración ($r=0.796$; $p \leq 0.001$) e incluso, al incorporar la edad al modelo el valor de r fue 0.826 y $p \leq 0.001$ (Berg y Meentemeyer, 2001).

Caída de ramas

La caída de ramas de *P. cembroides* fue menor ($p \leq 0.001$) que *P. halepensis* (Cuadro 2; Figura 2B), debido a la cantidad y volumen mayor de las ramas y edad mayor de los árboles de *P. cembroides*. La

rain ($r=0.560$; $p=0.07$), relative humidity ($r=0.550$; $p=0.07$) based on the direct relationship $Rh=45.408 + 1.708 * T_{min}$, with $r=0.4043$ and $p \leq 0.001$, and the minimum temperature ($r=0.540$; $p=0.09$) (Table 3) (Figure 3B); in contrast, in *P. cembroides* the correlation of needlefall with the climatic variables was not significant. Gutiérrez *et al.* (2012) document the minimum response of *P. cembroides* to the environmental factors and the higher accumulation of litterfall between March and May.

Similarly, Belmonte *et al.* (1998) report higher production of leaves and a significant relationship ($r=0.7874$; $p \leq 0.05$) between relative humidity and litterfall production of *P. halepensis*; but its results differ from the maximum accumulation in September observed by Navarro *et al.* (2013). In European forests, the amount of needles of *Pinus* spp. showed a linear and positive relationship with evapotranspiration ($r=0.796$; $p \leq 0.001$) and furthermore, when the age was incorporated to the model the value of r was 0.82 and $p \leq 0.001$ (Berg and Meentemeyer, 2001).

Branch fall

The branch fall of *P. cembroides* was lower ($p \leq 0.001$) than *P. halepensis* (Table 2; Figure 2B), due to the amount and higher volume of the branches and higher age of the trees of *P. cembroides*. The higher accumulation of branches of the latter occurred in June and July ($166.69 \text{ kg ha}^{-1}$); Thus, apparently the movement and rubbing of the branches (mature) in the rainy season increased branch fall only in *P. cembroides*, but the young branches of *P. halepensis* were less affected. Similar patterns in *P. cembroides* were reported by Pérez *et al.* (2009). Branch production in this period represented 18.06 % of total litterfall production (Figure 2B and 2F) and was different between dates and species ($p \leq 0.05$); in the rest of the collections branch production was not different ($p > 0.05$) between the species. Gutiérrez *et al.* (2012) point out that branch accumulation in *P. cembroides* reaches $0.22 \pm 0.47 \text{ g m}^{-2} \text{ m}^{-1}$ ($26.39 \text{ kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$), a value lower than that of the present study ($t=2.04$; $p=0.066$). Only branch production in *P. cembroides* showed a close relationship ($r=0.700$; $p=0.010$) with the rain (Table 3). In addition, in the area of *P. cembroides* abundant individuals of *Tillandsia recurvata* L. were observed; thus it is

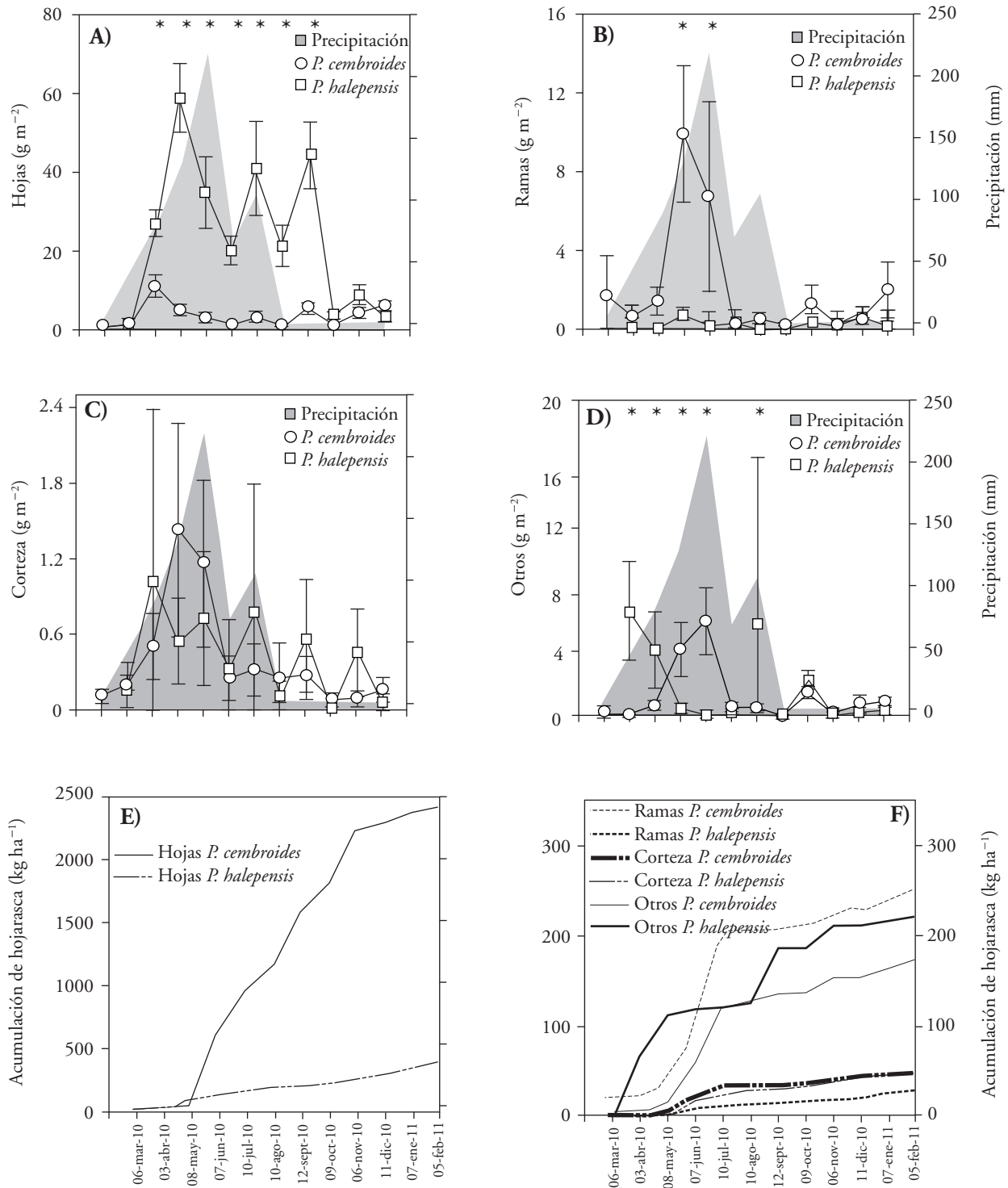


Figura 2. Variación mensual de caída de hojarasca (A-D) y curvas de acumulación (E y F) en *Pinus cembroides* y *P. halepensis*, en Arteaga, Coahuila, México. Desde A a D, cada valor representa la media \pm intervalo de confianza (95 %). * indica diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) entre recolectas y especies, según la prueba de Kruskal Wallis.

Figure 2. Monthly variation of litterfall (A-D) and accumulation curves (E and F) in *Pinus cembroides* and *P. halepensis*, in Arteaga, Coahuila, México. From A to D, each value represents the mean \pm confidence interval (95 %). * indicates statistical differences ($p \leq 0.05$) among collections, according to the Kruskal Wallis test.

Cuadro 3. Análisis de correlación entre variables climáticas y componentes de hojarasca de *Pinus cembroides* y *P. halepensis* en Arteaga, Coahuila, México.
Table 3. Analysis of correlation among climatic variables and litterfall components of *Pinus cembroides* and *P. halepensis* in Arteaga, Coahuila, México.

Componente	Especie	Pp	Tmax	Tmin	Hr	Dell	Dcll
Hojas	<i>Pc</i>	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-
	<i>Ph</i>	0.560	-	0.540	0.550	-	-
Ramas	<i>Pc</i>	0.071	-	0.090	0.070	-	-
		0.700	-	-	-	-	-
	<i>Ph</i>	0.010	-	-	-	-	-
Corteza	<i>Pc</i>	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-
	<i>Ph</i>	0.830	0.570	0.670	0.590	-0.520	0.500
Misceláneos	<i>Pc</i>	0.001	0.050	0.020	0.040	0.080	0.090
		0.610	-	0.590	-	-	0.600
	<i>Ph</i>	0.001	-	0.060	-	-	0.050
Misceláneos	<i>Pc</i>	0.820	-	-	-	-	-
		0.001	-	-	-	-	-
	<i>Ph</i>	-	-	-	-	-	-

Coefficiente de correlación de Pearson (arriba); Probabilidad > |r| bajo hipótesis nula (abajo); *Pc* = *P. cembroides*; *Pc* = *P. halepensis*; Pp = precipitación mensual (mm); Tmax = temperatura máxima (°C); Tmin = temperatura mínima media mensual (°C); Hr = humedad relativa (%); Dell = días entre lluvias (n); Dcll = días con lluvias (n) ♦ Pearson correlation efficient (above); Probability > |r| under null hypothesis (below); *Pc* = *P. cembroides*; *Ph* = *P. halepensis*; Pp = monthly precipitation (mm); Tmax = maximum temperature (°C); Tmin = mean monthly minimum temperature (°C); Rh = relative humidity (%); Dbr = days between rains (n); Dwr = days with rains (n).

acumulación más alta de ramas de esta última ocurrió en junio y julio (166.69 kg ha⁻¹). Así, al parecer el movimiento y roce de las ramas (maduras) en la época de lluvia aumentó la caída sólo en *P. cembroides*, pero las ramas jóvenes de *P. halepensis* se afectaron menos. Pérez *et al.* (2009) reportaron patrones similares en *P. cembroides*. La producción de ramas en este periodo representó 18.06 % de la producción total de hojarasca (Figura 2B y 2F) y fue diferente entre fechas y especies (p≤0.05); en las demás recolecciones la producción de ramas no fue diferente (p>0.05) entre las especies. Gutiérrez *et al.* (2012) señalan que la acumulación de ramas en *P. cembroides* es 0.22±0.47 g m⁻² mes⁻¹ (26.39 kg ha⁻¹ año⁻¹), valor menor al del presente estudio (t=2.04; p=0.066). Sólo la producción de ramas en *P. cembroides* mostró relación estrecha (r=0.700; p=0.010) con la lluvia (Cuadro 3). Además, en el área de *P. cembroides* se observaron abundantes individuos de *Tillandsia recurvada* L.; así, es probable que la producción alta de ramas y corteza sea causada por esta epífita. Según

probable that the high production of branches and bark has been caused by this epiphyte. According to García-Plé *et al.* (1995), by the form of the crown of *P. halepensis*, production of branches and bark is affected by the friction from the wind.

Bark fall

In addition to the cones, the bark fall of *P. cembroides* and *P. halepensis* represented the lowest fraction of total litterfall production (1.30 to 5.4 %) and the highest annual variation, perhaps due to the activity of epiphytic plants, as in other species (Tanner, 1980). Bark production did not differ between species (p=0.358) (Table 2) nor among collection dates per species (p>0.05) throughout the study (Figure 2C); however, bark fall of *P. cembroides* was significantly correlated with all of the climatic variables, especially rain (r=0.830; p=0.001) except for the wind. Bark production in *P. halepensis* was correlated with rain (r=0.610; p=0.001). Of the

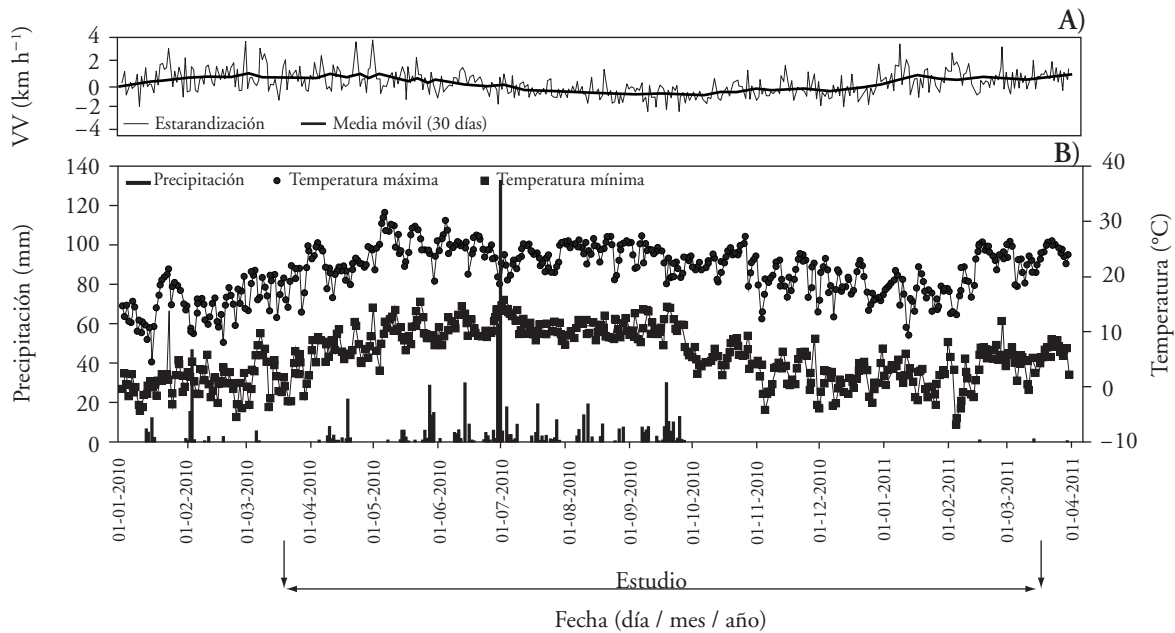


Figura 3. Estandarización y media móvil de velocidad máxima del viento (A), precipitación, temperatura máxima y mínima (B) diarias registradas en la estación climatológica Rancho Roncesvalles en Arteaga, México. VV=velocidad máxima del viento (km h^{-1}).

Figure 3. Standardization and mobile mean of maximum wind velocity (A), precipitation, daily maximum and minimum temperature (B) registered in Rancho Roncesvalles climatological station in Arteaga, México. WV=maximum wind velocity (km h^{-1}).

García-Plé *et al.* (1995), por la forma de la copa de *P. halepensis* la producción de ramas y corteza es afectada por la fricción de el viento.

Caída de corteza

Además de los conos, la caída de corteza de *P. cembroides* y *P. halepensis* representó la fracción menor de la producción total de hojarasca (1.30 a 5.4 %) y la variación anual mayor, debida quizá a la actividad de plantas epífitas como en otras especies (Tanner, 1980). La producción de corteza no difirió entre especies ($p=0.358$) (Cuadro 2) ni entre fechas de recolecta por especie ($p > 0.05$) durante todo el estudio (Figura 2C); sin embargo, la caída de corteza de *P. cembroides* se correlacionó significativamente con todas las variables climáticas, especialmente con la lluvia ($r=0.830$; $p=0.001$) y excepto al viento. La producción de corteza en *P. halepensis* se correlacionó con la lluvia ($r=0.610$; $p=0.001$). De la precipitación registrada durante el periodo de estudio (793 mm), 60 % ocurrió de mayo a julio, y de octubre del 2010 a febrero del 2011 no llovió. La lluvia mayor

rainfall registered during the period of study (793 mm), 60 % occurred from May to July, and from October of 2010 to February of 2011 it did not rain. The highest rainfall (132.4 mm) occurred on 01/07/2010) (Figure 3B) and significantly influenced bark production of *P. halepensis* (because the bark is progressively striated and becomes detached in plates with the contact of the rain). The maximum temperature ($31.3\text{ }^{\circ}\text{C}$) and minimum temperature ($-6.7\text{ }^{\circ}\text{C}$), registered on 7/05/2010 and 5/02/2011 (Figure 3B) did not influence the litterfall components. The mean monthly wind velocity ($3.76 \pm 1.39\text{ km h}^{-1}$), which was not intense, also did not influence litterfall production. During March and April it represented + 1.5 standard deviation (S.D.) and from June to December -1.5 S.D. of the average of the daily maximum wind velocity and only 6 d (in all the study) surpassed 30 km h^{-1} .

Fall of miscellaneous components

The production of miscellaneous components was similar between the species ($p=0.189$) (Table

(132.4 mm) ocurrió el 01/07/2010 (Figura 3B) e influyó significativamente en la producción de corteza de *P. halepensis* (porque la corteza es progresivamente estriada y se desprende en placas al contacto con la lluvia). La temperatura máxima (31.3 °C) y mínima (-6.7 °C), registradas el 7/05/2010 y 5/02/2011 (Figura 3B) no influyó en los componentes de la hojarasca. La velocidad media mensual del viento ($3.76 \pm 1.39 \text{ km h}^{-1}$), que no fue intensa, tampoco influyó en la producción de la hojarasca. Durante marzo y abril el viento representó + 1.5 desviación estándar (D.E) y de junio a diciembre -1.5 D.E del promedio de la velocidad máxima diaria y sólo 6 d (en todo el estudio) rebasó 30 km h^{-1} .

Caída de componentes misceláneos

La producción de componentes misceláneos fue similar entre las especies ($p=0.189$) (Cuadro 2). Las diferencias ($p \leq 0.05$) con patrones opuestos entre las recolectas de cada especie se observaron de abril a julio, y en septiembre. La acumulación mayor de los componentes misceláneos de *P. cembroides* ocurrió en junio y julio y representó 11.46 % de la producción total de la hojarasca (Figura 2D); 67 % de la producción total de este componente fue explicado por la lluvia ($r=0.820$; $p=0.001$). En contraste, en *P. halepensis* se observó en abril, mayo y septiembre, y no se relacionó significativamente con las variables climáticas (Cuadro 3). Para esta última especie, Navarro *et al.* (2013) señalan que los componentes misceláneos representaron hasta 70 % de la producción total de la hojarasca.

Fady *et al.* (2003) señalan que por la adaptabilidad a la sequía y sensibilidad al clima, como se muestra en este y otros estudios, el intervalo de distribución de *P. halepensis* podría modificarse. La producción de hojarasca en especies (Mimosaceae) de regiones semiáridas se relaciona estrechamente con la lluvia (Pavón *et al.*, 2005); pero, como se mostró en *P. cembroides*, la correlación entre la producción de hojas y el ciclo anual del clima es baja (Pérez *et al.*, 2009; Gutiérrez *et al.*, 2012). Esto la distingue de otras especies para uso extensivo en el norte de México, pues parece adaptarse a eventos climáticos extremos cada vez más frecuentes. Según Liu *et al.* (2004), en regiones tropicales y subtropicales se produce más hojarasca ($1500 \text{ g m}^{-2} \text{ año}^{-1}$) que en bosques boreales de coníferas ($30 \text{ a } 500 \text{ g m}^{-2} \text{ año}^{-1}$), debido a la

2). The differences ($p \leq 0.05$) with opposite patterns between the collections of each species were observed from April to July, and in September. The highest accumulation of the miscellaneous components of *P. cembroides* occurred in June and July and represented 11.46 % of the total litterfall production (Figure 2D); 67 % of the total production of this component was explained by the rain ($r=0.820$; $p=0.001$). In contrast, in *P. halepensis* it was observed in April, May and September, and was not significantly related with the climatic variables (Table 3). For this latter species, Navarro *et al.* (2013) point out that the miscellaneous components represented as much as 70 % of total litterfall production.

Fady *et al.* (2003) pointed out that because of the adaptability to drought and sensitivity to climate, as was shown in this and other studies, the distribution interval of *P. halepensis* could be modified. Litterfall production in species (Mimosaceae) of semiarid regions is closely related to rain (Pavón *et al.*, 2005); but, as was shown in *P. cembroides*, the correlation between leaf production and the annual cycle of the climate is low (Pérez *et al.*, 2009; Gutiérrez *et al.*, 2012). This distinguishes it from other species for extensive use in the north of México, as it seems to adapt itself to the ever more frequent extreme climatic events. According to Liu *et al.* (2004), in tropical and subtropical regions more litterfall is produced ($1500 \text{ g m}^{-2} \text{ year}^{-1}$) than in boreal coniferous forests ($30 \text{ to } 500 \text{ g m}^{-2} \text{ year}^{-1}$), due to precipitation and temperature ($r=0.521$; $p \leq 0.05$), and in forests of Jamaica litterfall production in the driest period of the year is as much as double that of the wet period (Tanner, 1980).

Complementary analysis of litterfall production between species

In a random sampling (one trap per collection), the average number of needles of *P. halepensis* was higher ($n=12$, $t=2.10$ and $p=0.062$) than in *P. cembroides* (Figure 4A) and the same was detected in the average dry weight of the needles ($n=120$; $t < 0.1643$ and $p=0.001$) (Figure 4B) and in their length (10.18 cm, Fady *et al.*, 2003; 2.5-10cm, Farjon *et al.*, 1997). These factors, along with the differences in dasometry (Table 1), conditioned the higher accumulation of litterfall of *P. halepensis*.

Tree density (Table 1) indicates that *P. cembroides* produces almost twice as much litterfall (1.35 kg tree

precipitación y temperatura ($r=0.521$; $p\leq 0.05$), y en bosques de Jamaica la producción de hojarasca en el periodo más seco de año es hasta dos veces más que en el periodo húmedo (Tanner, 1980).

Análisis complementario de producción de hojarasca entre especies

En un muestreo aleatorio (una trampa por recolecta), el número promedio de acículas de *P. halepensis* fue mayor ($n=12$, $t=2.10$ y $p=0.062$) que en *P. cembroides* (Figura 4A) y lo mismo se detectó en el peso seco promedio de la acícula ($n=120$; $t=16.43$ y $p=0.001$) (Figura 4B) y en longitud (10-18 cm, Fady *et al.*, 2003; 2.5-10 cm, Farjon *et al.*, 1997). Estos factores, además de las diferencias en dasometría (Cuadro 1), condicionaron la acumulación mayor de hojarasca de *P. halepensis*.

La densidad arbórea (Cuadro 1) indica que *P. cembroides* produce casi el doble de hojarasca (1.35 kg árbol año⁻¹) que *P. halepensis* (0.72 kg árbol año⁻¹), y en términos de almacenes de C representa 675 y 360 g C árbol año⁻¹, respectivamente. Sin embargo, al considerar únicamente las acículas (fracción más importante de hojarasca), la producción y almacenes de C es prácticamente igual en las dos especies

year⁻¹) as *P. halepensis* (0.72 kg tree year⁻¹), and in terms of stores of C it represents 675 and 360 g C tree year⁻¹, respectively. However, considering only the needles (most important fraction of litterfall), the production and stores of C is practically equal in the two species (0.650 and 0.641 kg tree year⁻¹; 325.09 and 319.95 g C tree year⁻¹). Navarro *et al.* (2013) report total litterfall production from 0.718 to 1.025 kg tree year⁻¹ in *P. halepensis*, which is minimal compared with that of mature forests (> 100 years) of *P. cooperi* and *P. leiophylla* with as much as 12.21 kg tree year⁻¹ (Nájera and Hernández, 2009).

The depth of organic matter at the end of the study showed differences ($n=30$, $t=5.49$ and $p=0.0001$) between *P. halepensis* and *P. cembroides* (Figure 4C). To this respect, García *et al.* (1990) point out that the decomposition of 99 % of the organic matter of *P. halepensis* requires 31 years, and it seems that there is no information with respect to *P. cembroides*.

CONCLUSIONS

Under the same physical conditions of the study area, *P. halepensis* produced more litterfall than *P. cembroides*, due to tree density and competition, morphometry of needles, physiology and productivity

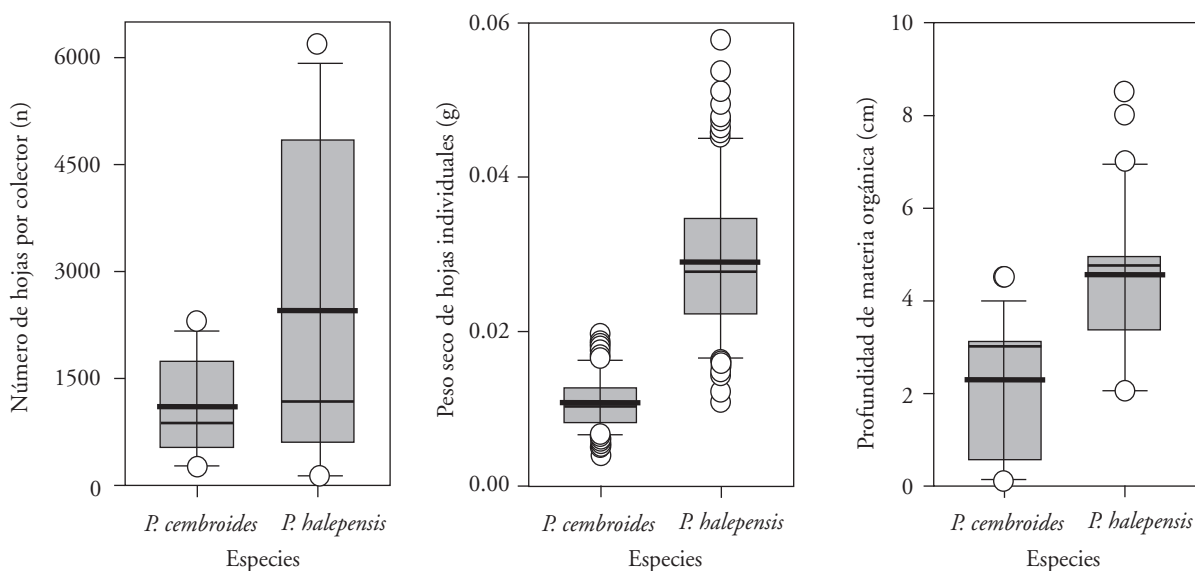


Figura 4. Número de hojas (A), peso (B) y profundidad de materia orgánica (C) en un bosque de *Pinus cembroides* y plantación de *P. halepensis* en Arteaga, Coahuila, México.

Figure 4. Number of leaves (A), weight (B) and depth of organic matter (C) in a forest of *Pinus cembroides* and plantation of *P. halepensis* in Arteaga, Coahuila, México.

(0.650 y 0.641 kg árbol año⁻¹; 325.09 y 319.95 g C árbol año⁻¹). Navarro *et al.* (2013) reportan una producción total de hojarasca de 0.718 hasta 1.025 kg árbol año⁻¹ en *P. halepensis*, que es mínima comparada con la de bosques maduros (> 100 años) de *P. cooperi* y *P. leiophylla* de hasta 12.21 kg árbol año⁻¹ (Nájera y Hernández, 2009).

La profundidad de materia orgánica al final del estudio mostró diferencias (n=30, t=5.49 y p=0.0001) entre *P. halepensis* y *P. cembroides* (Figura 4C). Al respecto, García *et al.* (1990) señalan que la descomposición de 99 % de la materia orgánica de *P. halepensis* requiere 31 años, y parece que no existe información respecto a *P. cembroides*.

CONCLUSIONES

En las mismas condiciones físicas del área de estudio, *P. halepensis* produjo más hojarasca que *P. cembroides*, debido a la densidad y competencia arbórea, morfometría de acículas, fisiología y productividad de la especie; sin embargo, *P. cembroides* produjo más ramas, porque la madurez de las ramas fue el factor determinante. Ponderando por número de árboles, la producción de acículas es similar en ambas especies, a pesar de que *P. cembroides* tiene 40 años más que *P. halepensis*. Hubo diferencias temporales de la producción de acículas entre las especies y la acumulación mayor ocurrió durante el verano boreal. La caída de acículas de *P. cembroides* no respondió a variables climáticas, por lo que podría distinguirse como especie adaptable a cambios climáticos globales, en contraste con *P. halepensis* que es altamente susceptible a la lluvia y la temperatura y puede ser una especie indicadora de eventos climáticos extremos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por la UAAAN mediante el proyecto No. 02-03-0207-2136. Agradecimientos especiales a investigadores anónimos que revisaron el presente manuscrito.

LITERATURA CITADA

Aceñolaza, P. G., L. P. Zamoni P., y J. F. Gallardo L. 2009. Aporte de hojarasca en bosques del predelta del río Paraná (Argentina). *Bosque* 30(3): 135-145.
 Albrekton, A. 1988. Needle litterfall in stands of *Pinus sylvestris* L. in Sweden in relation to site quality, stand age and latitude. *Scand. J. For. Res.* 3(1-4): 333-342.

of the species; however, *P. cembroides* produced more branches, because the maturity of the branches was the determining factor. Weighting by number of trees, needle production is similar in the two species, even though *P. cembroides* is 40 years older than *P. halepensis*. There were temporal differences of needle production between the species and the highest accumulation occurred during the boreal summer. Needlefall of *P. cembroides* did not respond to climatic variables, thus it could be distinguished as a species adaptable to global climatic change, in contrast with *P. halepensis*, which is highly susceptible to rain and temperature and can be an indicator species of extreme climatic events.

—End of the English version—



Arunachalam, A., K. M. Arunachalam, H. Pandey N., and R. Tripathi S. 1998. Fine litterfall and nutrient dynamics during forest regrowth in the humid subtropics of north-eastern India. *For. Ecol. Man.* 110(1-3): 209-219.
 Belmonte S., F., A. Romero D., y F. López B. 1998. Producción de hojarasca en especies de matorral mediterráneo y su relación con algunos factores ambientales. *Nimbus* 1-2: 5-16.
 Berg, B., and V. Meentemeyer. 2001. Litter fall in some European coniferous forests as dependent on climate: a synthesis. *Can. J. For. Res.* 31(2): 292-301.
 Fady, B., H. Semerci, and G. Vendramin G. 2003. Technical guidelines for genetic conservation and use for Aleppo pine (*Pinus halepensis*) and Brutia pine (*Pinus brutia*). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy. 6 p.
 Farjon, A., J. A. Pérez de la R., and B. Styles T. 1997. A Field guide to the Pines of Mexico and Central America. Royal Botanic Gardens Kew Publishing House. London, UK. 147 p.
 García P., C., E. Prats, P. Vanrell, L.L. Sabater, y M. Morey. 1990. Dinámica de la descomposición de las hojas de *Pinus halepensis* Mill. en Cap Des Pinar (Alcudia, Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears* 33: 175-187.
 García-Plé, C., P. Vanrell, and M. Morey. 1995. Litter fall and decomposition in a *Pinus halepensis* forest on Mallorca. *J. Veg. Sci.* 6(1): 17-22.
 García, E. 1998. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Climas, Clasificación de Köppen, modificado por García. Carta de Climas, escala 1:1 000 000. México.
 Gutiérrez V. M. H., J. Méndez G., C. Flores L., J. A. Ramírez D., y B. N. Gutiérrez V. 2012. Caída de hojarasca en plantaciones de *Pinus greggii* Engelm. y *Pinus cembroides* Zucc., en Coahuila, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 35(2): 123-133.
 Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 2011. Red de estaciones del Inifap. <http://clima.inifap.gob.mx/redinifap/>

- Kruskal, W. H., and A. Wallis W. 1952. Use of ranks in one-criterion variance analysis. *J. Amer. Stat. Assoc.* 47(260): 583-621.
- Liu, C., C. Westman J., B. Berg, W. Kutsch, G. Wang Z., R. Man, and H. Ilvesniemi. 2004. Variation in litterfall-climate relationships between coniferous and broadleaf forests in Eurasia. *Glob. Ecol. Biogeog.* 13(2): 105-114.
- Méndez G. J., J. J. Nívar CH., y V. González O. 2008. Análisis de tendencias de precipitación (1920–2004) en México. *Invest. Geogr. Bol. Inst. Geogr. UNAM.* 65: 38-55.
- Nájera L. J. A., y E. Hernández H. 2009. Acumulación de biomasa aérea en un bosque coetáneo de la región de El Salto, Durango. *Ra Ximhai* 5(2): 225-230.
- Nívar-Cháidez, J. J., y E. Jurado Y.. 2009. Productividad foliar y radicular en ecosistemas forestales del Noreste de México. *Rev. Ciencia For. Méx.* 34 (106): 89-106.
- Navarro F. B., A. Romero F., T. Del Castillo, A. Foronda, M. Jiménez, N., M. Ripoll A., A. Sánchez M. L. Huntsingerd, and E. Fernández O. 2013. Effects of thinning on litterfall were found after years in a *Pinus halepensis* afforestation area at tree and stand levels. *For. Ecol. Man.* 289: 354-362.
- Pavón, N. P., O. Briones, and J. Flores Rivas. 2005. Litterfall production and nitrogen content in an intertropical semi-arid Mexican scrub. *J. Arid Environ.* 60: 1-13.
- Pérez-Suárez, M., J. T. Arredondo-Moreno, E. Huber-Sannwald, and J. J. Vargas-Hernández. 2009. Production and quality of senesced and green litterfall in a pine-oak forest in central-northwest Mexico. *For. Ecol. Man.* 258(7): 1307-1315.
- Prause J., G. Arce De Caram, y P. Angeloni N. 2003. Variación mensual en el aporte de hojas de cuatro especies forestales nativas del Parque Chaqueño Húmedo (Argentina). *Quebracho* 10: 39-45.
- Rapp, M. 1967. Production de litiere et apport au sol d'éléments minéraux et d'azote dans un bois de pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.). *Acta Oecologica/Oecologia Plantarum* 2: 325-338.
- Tanner, E. V. J. 1980. Litterfall in montane rain forest of Jamaica and its relation to climate. *J. Ecol.* 68: 833-848.