

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



**CAÍDA DE HOJARASCA Y RETORNO DE CARBONO EN DOS
PLANTACIONES FORESTALES EXPERIMENTALES EN ARTEAGA,
COAHUILA**

Por:

MARIO HUMBERTO GUTIÉRREZ VÁZQUEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para

obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre de 2010

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

CAÍDA DE HOJARASCA Y RETORNO DE CARBONO EN DOS
PLANTACIONES FORESTALES EXPERIMENTALES EN ARTEAGA,
COAHUILA

Por:

MARIO HUMBERTO GUTIÉRREZ VÁZQUEZ

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

APROBADA



Asesor principal

Coordinación
División de Agronomía

Coordinador de la División de
Agronomía

Dr. Jorge Méndez González

Dr. Mario Ernesto Vázquez Badillo

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre de 2010

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

CAÍDA DE HOJARASCA Y RETORNO DE CARBONO EN DOS
PLANTACIONES FORESTALES EXPERIMENTALES EN ARTEAGA,
COAHUILA

Por:

MARIO HUMBERTO GUTIÉRREZ VÁZQUEZ

TESIS PROFESIONAL

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

APROBADA



Dr. Jorge Méndez González

Asesor principal



M.C. Celestino Flores López
Asesor



Ing. José Antonio Ramírez Díaz
Asesor

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre de 2010

DEDICATORIA

A Dios por darme la oportunidad de existir y acompañarme en todo momento.

A mis padres por inculcarme los buenos valores, ofrecerme la maravillosa familia que tengo y darnos la oportunidad de crecer.

*A mi madre la Sra. **Matilde Vázquez López** por creer siempre en mis ideas y apoyarme incondicionalmente.*

*A mi padre el Sr. **Moisés Gutiérrez Castillo** por enseñarme que nada está perdido, que siempre hay una salida, gracias por ser tan positivo y comprensivo.*

A mis hermanos Benito y Auri por ser un ejemplo de superación personal y profesional, especialmente a mi hermano Benito por apoyar siempre a la familia sobre todas las cosas.

A mis hermanitas Yani, Paola, Anita y Nayeli por creer en mis ideas y confiar en nuestros consejos, siempre contarán conmigo.

A mis tíos el Sr. Javier y la Sra. Candelaria Vázquez López por apoyar a mi familia en los momentos difíciles y estar allí en todo momento.

A mi novia Yesenia Muñoz Marina por creer siempre en mí y comprender que mis logros también son sus logros, Te amo hermosa.

Con mucho amor Mario.

AGRADECIMIENTOS

A mi *Alma Mater* la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por crear la oportunidad para realizar mis estudios profesionales.

Al Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Coahuila por proporcionar los datos climáticos del área de estudio.

A todo el personal del Departamento Forestal, por brindarme su apoyo y servicio durante mi formación profesional.

De manera muy especial:

Al Dr. Jorge Méndez González, por ser el director de esta tesis y brindar su valioso tiempo en la colectas de campo y revisión de la misma, agradezco el hecho de ofrecer sus conocimientos y enseñanzas, despertando en mí el interés por la investigación, por darme la confianza de conocer su casa y convivir con su familia.

Al Ing. José Antonio Ramírez Díaz por el apoyo inicial en el desarrollo de este trabajo, por su amistad y conocimientos brindados durante el desarrollo de mi carrera profesional.

Al M.C. Celestino Flores López por sus aportaciones en la revisión de esta tesis y su disponibilidad para llevar a cabo este proyecto.

Al M.C. Jorge David Flores Flores por sus consejos aportados a esta tesis durante las clases de seminario.

Al Ing. Gil, por el apoyo durante los trabajos de campo.

A mis compañeros Bernardo, Santiago, Isabel, Dany, Edilberto, Ochoa, Alejandro y Luckie por el apoyo en la realización de este proyecto.

A mis amigos Martin, Jaime, Víctor, Borjas, Rigoberto, Roberto, Chori, Badillo, Antonio, Elin, Víctor Valerio, Maricela y Carmen (rara) por su amistad brindada durante mi estancia en la Universidad.

Y a todas aquellas personas con las que conviví en la Licenciatura, que involuntariamente omito.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	i
ÍNDICE DE FIGURAS	ii
RESUMEN	iii
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo general	3
1.1.1 Objetivos específicos	3
1.2 Hipótesis	4
2 REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1 Importancia de la hojarasca	5
2.2 Factores que influyen en la caída de hojarasca.....	6
2.3 Efecto de las altas concentraciones de CO ₂ atmosférico sobre la caída de hojarasca.	7
2.4 Caída de hojarasca en plantaciones forestales	8
2.4.1 Caída de hojarasca en plantaciones de <i>Pinus Sp.</i>	9
2.4.2 Caída de hojarasca en plantaciones de otros géneros.....	14
2.5 Caída de hojarasca en otros ecosistemas forestales.....	15
2.6 Retorno de carbono a través de la caída de hojarasca.....	18
3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
3.1 Localización y descripción del sitio de estudio.....	19
3.2 Descripción de las plantaciones.....	21
3.3 Procedimiento del estudio.....	22
3.3.1 Muestreo de la caída de hojarasca y frecuencia de recolección ..	22
3.3.2 Procedimiento de laboratorio	23
3.3.3 Estimación de carbono en la hojarasca	23
3.4 Variables ambientales y caída de hojarasca.....	24
3.5 Análisis estadístico	24
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
4.1 Porcentajes aportados por componente de la hojarasca	26
4.2 Caída de hojarasca total	29

4.3 Caída de los diferentes componentes de la hojarasca por fecha de colecta para cada plantación.....	32
4.3.1 <i>Pinus greggii</i>	32
4.3.2 <i>Pinus cembroides</i>	36
4.4 Comparación de la caída mensual de los componentes hojas, ramas y conos entre plantaciones de <i>P. greggii</i> y <i>P. cembroides</i>	40
4.5 Retorno de carbono vía hojarasca.....	43
4.6 Relación de la caída de hojarasca con las variables ambientales	44
4.8 Modelos para estimar los componentes de la caída de hojarasca.....	48
5 CONCLUSIONES	51
6 RECOMENDACIONES	53
7 LITERATURA CITADA.....	54
8 APÉNDICE.....	65

ÍNDICE DE CUADROS

	Páginas
Cuadro 1. Características dasométricas generales de las plantaciones en el CAESA, Los Lirios, Arteaga, Coahuila (2009).....	22
Cuadro 2. Resultados de las pruebas de normalidad por plantaciones y componentes para todas las observaciones realizadas en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.	26
Cuadro 3. Resultados de las pruebas de Kruskal-Wallis, entre fechas de colecta para cada uno de los componente de la hojarasca por plantación en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.	33
Cuadro 4. Medias ($\text{kg ha}^{-1} \text{mes}^{-1}$) y rangos de KW de caída del componente hojas en la plantación de <i>P. greggii</i> Engelm. en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.	34
Cuadro 5. Medias ($\text{kg ha}^{-1} \text{mes}^{-1}$) y rangos de KW de caída del componente ramas en la plantación de <i>P. greggii</i> Engelm. en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.....	35
Cuadro 6. Medias ($\text{kg ha}^{-1} \text{mes}^{-1}$) y rangos de KW de caída del componente conos en la plantación de <i>P. greggii</i> Engelm. en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.	36
Cuadro 7. Medias ($\text{kg ha}^{-1} \text{mes}^{-1}$) y rangos de KW de caída del componente hojas en la plantación de <i>P. cembroides</i> Zucc. en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.....	37
Cuadro 8. Medias ($\text{kg ha}^{-1} \text{mes}^{-1}$) y rangos de KW de caída del componente ramas en la plantación de <i>P. cembroides</i> Zucc. en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.....	38
Cuadro 9. Medias ($\text{kg ha}^{-1} \text{mes}^{-1}$) y rangos de KW de caída del componente conos en la plantación de <i>P. cembroides</i> Zucc. en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.....	39
Cuadro 10. Modelos generados para estimar la caída de los componentes de la hojarasca en <i>Pinus greggii</i> Engelm. y <i>Pinus cembroides</i> Zucc. en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.	49

ÍNDICE DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1. Localización del Campo Agrícola Experimental Sierra de Arteaga (CAESA) Los Lirios, Arteaga, Coahuila.....	20
Figura 2. Acomodo de trampas de colecta y recolección de hojaraca en las plantaciones de Los Lirios, Arteaga, Coahuila.	23
Figura 3. Porcentajes de aportación por cada componente de la hojarasca total de <i>Pinus greggii</i> Engelm. en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.	27
Figura 4. Porcentajes de aportación de cada componente de la hojarasca total de <i>Pinus cembroides</i> Zucc. en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.....	28
Figura 5. Caída de hojarasca total mensual en <i>P. greggii</i> Engelm. y <i>P. cembroides</i> Zucc. en Los Lirios, Arteaga, Coahuila. Cada valor graficado representa la media (n=180) ± error estándar. Letras distintas significan diferencias significativas entre fechas de colecta (Kruskal-Wallis, P<0.05).....	30
Figura 6. Caída mensual del componente hojas en las dos plantaciones de Los Lirios, Arteaga, Coahuila. Cada valor graficado representa la media (n=180) ± Error estándar. Letras distintas significan diferencias significativas entre fechas de colecta (Kruskal-Wallis, P<0.05).....	40
Figura 7. Caída mensual del componente ramas en las dos plantaciones de Los Lirios, Arteaga, Coahuila. Cada valor graficado representa la media (n=180) ± Error estándar..	42
Figura 8. Caída mensual del componente conos en las dos plantaciones de Los Lirios, Arteaga, Coahuila. Cada valor graficado representa la media (n=180) ± Error estándar. Letras distintas significan diferencias significativas entre fechas de colecta (Kruskal-Wallis, P<0.05).....	43
Figura 9. Relación de variables climáticas y caída de hojarasca en la plantación de <i>Pinus greggii</i> Engelm. en Los Lirios Arteaga Coahuila, obtenida mediante análisis de componentes principales. ...	46
Figura 10. Relación de variables climáticas y caída de hojarasca en la plantación de <i>P. cembroides</i> Zucc. en Los Lirios Arteaga Coahuila, obtenida mediante análisis de componentes principales.	47

RESUMEN

La caída de hojarasca representa la principal entrada de carbono (C) y nutrientes hacia el suelo de los ecosistemas y plantaciones forestales. En dos plantaciones (*Pinus greggii* Engelm. ex Parl. y *Pinus cembroides* Zucc.) de 17 años de edad del noreste de México, se midió la caída de hojarasca y retorno de C, del 05 de febrero del 2009 al 06 de febrero del 2010 y su relación a las variables climáticas. Se colocaron aleatoriamente 15 colectores de 1 m² por plantación, a 50 cm sobre la superficie del suelo, la colecta se realizó aproximadamente cada 30 días. La hojarasca fue secada a temperaturas de 65 a 80°C por 72 horas, hasta obtener el peso seco constante, misma que fue convertida a g m⁻² mes⁻¹ y kg ha⁻¹ año⁻¹. Para estimar el contenido de C se consideró el factor de conversión de 0.50. Se generaron modelos de regresión para estimar la hojarasca a partir de variables climáticas. La caída de hojarasca anual fue mayor en la plantación de *P. greggii* (1,072 kg ha⁻¹ año⁻¹) que en *P. cembroides* (976 kg ha⁻¹ año⁻¹). La caída de los componentes de la hojarasca mostraron diferencias significativas (P<0.05) entre fechas de colecta en ambas plantaciones. El componente hojas aportó más a la caída de hojarasca total promediando 92% en *P. greggii* y 94% en *P. cembroides*. Velocidad máxima del viento y la temperatura máxima, resultaron ser las variables climáticas más relacionada con la caída de hojarasca. Los valores de caída de hojarasca total obtenidos aquí son bajos comparados con otras plantaciones, esto debido a las condiciones ambientales poco favorables del área.

Palabras clave: *Pinus cembroides*, *Pinus greggii*, carbono, hojarasca, plantación.

1 INTRODUCCIÓN¹

Desde que Bray y Gorham (1964) realizaron una primera revisión sobre la producción de hojarasca en 1964, muchos autores en todas partes del mundo han realizado estudios de caída de hojarasca; sin embargo, este término a tomado diferentes enfoques, por ejemplo Proctor *et al.* (1983) en Inglaterra designan bajo el término “Litter-fall” al conjunto de material depositado por árboles y arbustos al suelo forestal como hojas, ramas <2 cm, frutos, inflorescencias y misceláneas con excepción de la descomposición de las raíces, por su parte Pérez *et al.* (2006) en Argentina utilizan el término “caída de mantillo” refiriéndose a la caída de acículas, ramas <1 cm y miscelánea. En México Návar y Jurado (2009) asignan el término “productividad foliar” a la materia orgánica seca sobre el suelo (follaje, ramas, fustes, etc.). En China (Liu *et al.*, 2001; Guo *et al.*, 2004), Japón (Xu y Hirata, 2002), Grecia (Kavvadias *et al.*, 2001), 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 tomará el termino caída de hojarasca debido a su amplio uso en México y diferentes partes del mundo.

Por lo anterior podemos definir a la caída de hojarasca como todos los residuos orgánicos (órganos y tejidos) 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). Esta caída de hojarasca es de suma importancia en bosques y plantaciones de suelos pobres, donde la vegetación depende en gran medida del reciclado de nutrientes provenientes de la deposición de

¹ Esta tesis fue elaborada siguiendo la guía de autores de la Revista Fitotecnia Mexicana.

hojarasca, que a pesar de su poca relevancia cuantitativa, su importancia cualitativa es indudable, ya que la mayor concentración de nutrientes se encuentra en las hojas (Salazar, 2008), y representa una importante entrada de nutrientes al suelo para la nutrición de las plantas (Bernhard *et al.*, 2001). Por lo anterior la concentración de nutrientes en la hojarasca determina la cantidad de nutrientes que retornaran al suelo mineral, se ha encontrado (Finér, 1996; Kavvadias *et al.*, 2001; González *et al.*, 2008) que los nutrientes más comunes en la hojarasca son el N, P, K y Ca, el primero en la mayoría de los caso el más abundante. Por otro lado Bertasso *et al.* (2003) mencionan que la hojarasca proporciona energía y bioelementos para la microflora y la fauna edáfica.

También la caída de hojarasca representa una importante reserva intermedia de C que en última instancia se almacena en el suelo mineral (Guo *et al.*, 2004), por lo que representa la mayor entrada de C hacia la superficie del suelo de los bosques y las plantaciones forestales (Deng y Janssens, 2006). El carbono es un componente esencial de todos los seres vivos, se concentra en la atmósfera, océanos y combustibles fósiles en su mayoría como el dióxido de carbono (CO₂) (Lapeyre *et al.*, 2004), gas considerado por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático como de larga duración entre los gases de efecto invernadero (GEI) (PICC, 2001), y de mayor importancia por su alta contribución (representando el 77% de las emisiones totales antropogénicas) al cambio climático global (PICC, 2007).

En siglos recientes, uno de los ciclo biogeoquímicos más alterados por las actividades humanas ha sido el ciclo global del C (Guo *et al.*, 2004), provocando el aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera de 280 ppm en 1750 a 379 ppm en el 2005 (PICC, 2007). El CO₂ concentrado en la

atmósfera es absorbido por las plantas a través de la fotosíntesis y convertido a tejidos vegetales (Lapeyre *et al.*, 2004; Pacheco *et al.*, 2007), que finalmente una parte es depositada al suelo a través de la caída de hojarasca (Guo *et al.*, 2004). Recientes estudios mostraron que la caída de hojarasca aumenta en respuesta a las elevadas concentraciones de CO₂ en la atmósfera (DeLucia *et al.*, 1999), siendo afectada también por las variables climáticas, condiciones edáficas e intervenciones antropogénicas (Prause *et al.*, 2003; Zaldívar *et al.*, 2004; Pavón *et al.*, 2005; Roig *et al.*, 2005).

Por todo lo anterior es de suma importancia realizar estudios de caída de hojarasca y retorno de carbono en ecosistemas y plantaciones forestales de la región, así como determinar su relación con las variables climáticas.

1.1 Objetivo general

Cuantificar la caída de hojarasca y retorno de carbono en plantaciones de *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. var. *greggii* y *Pinus cembroides* Zucc. en el Campo Agrícola Experimental Sierra de Arteaga, Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

1.1.1 Objetivos específicos

- a) Cuantificar la caída de hojas, ramas y conos en dos plantaciones de *P. greggii* y *P. cembroides* en Los Lirios, Arteaga Coahuila.
- b) Determinar el retorno de carbono hacia el suelo a través de la caída de hojarasca en dos plantaciones de *P. greggii* y *P. cembroides* en Los Lirios, Arteaga Coahuila.

c) Asociar las variables climáticas del área de estudio con la dinámica de caída de hojarasca en dos plantaciones de *P. greggii* y *P. cembroides* en Los Lirios, Arteaga Coahuila.

1.2 Hipótesis

Ho: La caída de los componentes de la hojarasca y el retorno de carbono es diferente en *Pinus greggii* y *Pinus cembroides*, en las diferentes fechas de colecta y es dependiente de los factores climáticos del área.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Importancia de la hojarasca

Sobre el suelo forestal se depositan diferentes materiales provenientes de diferentes estratos de vegetación, a este conjunto se le denomina hojarasca, que incluye todos los residuos orgánicos de las plantas como las hojas, ramas, frutos e inflorescencias (Arreaga, 2003; Prause *et al.*, 2003). Según Bernhard *et al.* (2001) la caída de hojarasca desempeña tres funciones muy importantes en los ecosistemas; la primera es que representa la principal entrada de energía para la microflora y fauna del suelo, seguida por la entrada de materia orgánica para el desarrollo del suelo y en la tercera sobre el flujo de nutrientes, concuerda con Galicia *et al.* (2002) ya que mencionan que cumple la función de nutrir las plantas. Además representa un importante flujo de carbono en ecosistemas forestales (Zhou *et al.*, 2007); por lo anterior la transformación de materia orgánica en la hojarasca puede interpretarse también como formación de carbono orgánico en el suelo (Arreaga, 2003).

González *et al.* (2008) mencionan que la hojarasca además de la importancia que tiene en el ciclo de nutrientes, mantiene procesos ecológicos fundamentales como formación de suelo, previene la erosión, soporta y sostiene la vida de fauna invertebrada, incrementa la mineralización de la materia orgánica, mejora las propiedades físicas y químicas del suelo, tal como disponibilidad e infiltración de agua en el suelo para mejorar la absorción de nutrientes, regeneración y establecimiento de plantas. Todo lo anterior, está relacionado e integrado para mantener y sostener la productividad y biodiversidad de los ecosistemas.

2.2 Factores que influyen en la caída de hojarasca.

Autores de diferentes partes del mundo han encontrado que la caída de hojarasca está influenciada por diversos factores entre las que destacan las variables climáticas, tal como encontraron Prause *et al.* (2003) al estudiar una selva de ribera, encontraron que los factores climáticos extremos como la temperatura mínima y velocidad del viento afectaron la caída de hojas; de igual forma Roig *et al.* (2005), encontraron en una reforestación de *Pinus pinaster* que la caída de hojarasca se correlacionó con la temperatura y déficit de humedad. Por su parte Vargas y Varela (2007) reportan para un bosque de niebla que a mayor humedad relativa ambiental y temperatura se obtuvo menor producción en los niveles de hojarasca, contrario a lo observado cuando se presentó mayor precipitación ya que se registró mayor caída de hojarasca.

Otros autores (Huber y Oyarzún, 1983) han encontrado que la velocidad del viento; humedad relativa (Monedero y González, 1995; Vargas y Varela, 2007); precipitación (Monedero y González, 1995; Zaldívar *et al.*, 2004; Pavón *et al.*, 2005; Zhou *et al.*, 2007); fotoperiodo (Monedero y González, 1995); sequías (Yang *et al.*, 2004; Di Stefano y Fournier, 2005); condiciones edáficas (Zaldívar *et al.*, 2004); tifones (Xu y Hirata, 2002); latitud (Deng y Janssens, 2006); plagas (Zhi-an *et al.*, 2005); y estación del año (Bertasso *et al.*, 2003; Guo *et al.*, 2004), influyen directamente sobre la deposición de hojarasca.

En lo que respecta a factores biológicos, González *et al.* (2008) encontraron que la caída de hojarasca está relacionada con la fenología y la estructura de la comunidad de las plantas. Por su parte Jeong *et al.* (2009) encontraron que la caída de hojarasca es dependiente de la especie; así como también de la edad

(Kumar y Ramakrishnan, 1985; Dames *et al.*, 1998; Njoukam *et al.*, 1999) y la densidad del arbolado (Bruijnzeel, 1985; Roig *et al.*, 2005).

Otros factores importantes que influyen sobre la caída de hojarasca son las actividades de manejo en los diferentes ecosistemas forestales, como reportan Roig *et al.* (2005) en una reforestación de *Pinus pinaster* aplicando diferentes regímenes de raleo, observando que la caída de hojarasca para el rodal donde se aplicó raleo con mayor intensidad fue de 1,520 kg ha⁻¹ año⁻¹, menor que la observada para el rodal moderadamente raleado (5,700 kg ha⁻¹ año⁻¹). Por su parte Cromer *et al.* (1984) cuantificó la caída de hojarasca en una plantación de *Pinus radiata* D. con y sin riego, encontrando mayor caída de hojarasca (80 kg ha⁻¹ año⁻¹ mas) en la plantación con riego; además Theodorou y Bowen (1990) estudiaron los cambios de la caída de hojarasca en respuesta a la aplicación de N, P, K en una plantación de *P. radiata* D. registrando que la caída de hojarasca aumentó después de tres años de la aplicación, lo que indica que la caída de hojarasca aumenta en respuesta a la aplicación de fertilizantes.

2.3 Efecto de las altas concentraciones de CO₂ atmosférico sobre la caída de hojarasca.

Cada vez mas son más evidentes las consecuencias del aumento en la concentración de los gases de efecto invernadero, ya que recientes experimentos de FACE (The Free-Air CO₂ Enrichment) mostraron que la caída de hojarasca aumenta con las elevadas concentraciones de CO₂ atmosférico, como reportan DeLucia *et al.* (1999), en estudios realizados en una plantación (13 años de edad) de *Pinus taeda* L. del Norte de Carolina E.U., el estudio consistió en aumentar la concentración de CO₂ en 200 ml litro⁻¹, con la ayuda

de un sistema circular (30 m de diámetro) de liberación de gas, obteniendo un aumento de caída de hojarasca de 21%, al tercer año de aplicación.

De igual forma Liu *et al.* (2005), realizaron un experimento de FACE en *Populus tremuloides* Michx. y *Betula papyrifera* Marsh. en Wisconsin, E.U., el cual consistió en aumentar la concentración del CO₂ en 200 μmol mol⁻¹, observando un aumento en la caída de hojarasca de 31.3 y 37.6% para *P. tremuloides* Michx. y *B. papyrifera* Marsh respectivamente. Por otra parte, Schlesinger *et al.* (2006) reportaron un incremento de caída de hojarasca en una plantación de 16 años de edad de *Pinus taeda* como resultado de aumento de CO₂. Sin embargo Sayer *et al.* (2007) encontraron que el aumento de la caída de hojarasca hacia el suelo de un bosque tropical causó el aumento de la liberación del carbono del suelo hacia la atmósfera.

2.4 Caída de hojarasca en plantaciones forestales

El PICC (2001) menciona que una cuarta parte del CO₂ liberado hacia la atmósfera se debe principalmente a cambios en el uso de suelo, especialmente la deforestación; hipotéticamente si todo el carbono emitido por los cambios de uso de suelo que se han producido a lo largo de la historia pudiera devolverse a la biósfera terrestre durante el siglo (por ejemplo, mediante la reforestación), la concentración de CO₂ disminuiría entre 40 y 70 ppm. Además Jandl (2001) concuerda con el PICC (2001) y menciona que una medida efectiva para amortiguar estos efectos sería el establecimiento de plantaciones forestales o reforestaciones. Por otra parte, Wright *et al.* (2002) destacan la importancia de las plantaciones forestales porque además de secuestrar GEI proveen productos forestales y estos se obtienen más rápido que en los bosques

nativos y representan costos más bajos. Por lo anterior se han realizado numerosos estudios de caída de hojarasca en plantaciones forestales en diferentes partes del mundo.

2.4.1 Caída de hojarasca en plantaciones de *Pinus Sp.*

En México *Pinus cembroides* Zucc. es la especie más ampliamente distribuida, se extiende por casi todo el norte y centro del país, casi siempre ocupando zonas de transición entre la vegetación xerófila de climas áridos y la boscosa de las montañas más húmedas, sobre laderas calizas. Sus límites altitudinales conocidos son 1,500 y 3,000 msnm y prospera en sitios en que llueve solamente 350 mm en promedio anual. Su semilla es la más consumida entre los piñoneros, e incluso es objeto de comercio (Rzedowski, 1978).

Por su parte *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. es una especie endémica del este de México (Ramírez *et al.*, 2005) y comúnmente usada en programas de reforestación (Dvorak *et al.*, 2000), ya que presenta buena adaptación a sitios secos (García *et al.*, 2004).

Es por esto que muchos autores han realizado estudios de caída de hojarasca en plantaciones del género *Pinus* debido a la importancia que representan en diversos países.

Al cuantificar la caída de hojarasca en *Pinus luchuensis* Mayr con y sin especies tropicales localizadas en Okinawa, Japón, Xu y Hirata (2002), encontraron que el rodal mixto presentó 11,000 kg ha⁻¹ año⁻¹ de caída de hojarasca, con una densidad de 2,700 a 3,900 árboles por ha y diámetro a la altura del pecho (DAP) de 15.10 a 16.10 cm y altura 10.20 a 10.90 m, sin embargo, en la plantación pura, la caída de hojarasca anual promedio fue de

8,000 kg ha⁻¹ año⁻¹ con densidad menor (1 175 arb/ha) DAP y altura media de 19.10 cm y 12.60 m, respectivamente; asimismo, observaron que la caída de hojarasca fue influenciada por la presencia y severidad de tifones, provocando la caída prematura del 17% de la hojarasca total para la plantación mixta y 19% para la plantación pura.

Dames *et al.* (1998), midieron la producción de hojarasca en una plantación de *Pinus patula* Schlechd. et Cham. de diferentes años de edad (5, 10, 15, 20, 25 y 30 años) ubicadas en Mpumalanga, África, durante dos años, encontrando valores promedio de caída de hojarasca con rangos de 3,640 a 5,890 kg ha⁻¹ año⁻¹, observando que la mayor caída de hojarasca se presentó en las plantaciones de mayor edad (25 y 30 años), respectivamente y mencionan que no existe relación significativa entre producción de hojarasca y altitud.

Gunadi (1992) al evaluar la caída de hojarasca en dos plantaciones de *Pinus merkusii* Junghuhn & Vriese, en Java, Indonesia, durante un año: La primera de 31 años ubicada en la ladera del monte Merapi con 230 árboles por ha, 39.10 cm y 30.60 m de diámetro y altura respectivamente, observó caída de hojarasca de 9,000 kg ha⁻¹ año⁻¹ y la segunda plantación de 26 años de edad, ubicada en la ladera del monte Merbabu con 310 árboles por ha, con diámetro y altura de 29.30 cm y 20.20 m, con 4,000 kg ha⁻¹ año⁻¹ de caída de hojarasca.

Jeong *et al.* (2009) compararon la dinámica de caída de hojarasca de tres plantaciones, *Larix leptolepis* Bark (350 árboles por ha, DAP de 31.11 cm), *Pinus densiflora* Siebold & Zucc. (216 árboles por ha, DAP de 34.80 cm) y *Pinus rigitaeda* Ined. (550 árboles por ha, DAP de 29.40 cm), de 43 años de edad y condiciones de sitios similares, durante dos años, localizadas en bosques de exposición de Korea; obtuvieron menor caída de hojarasca en *L.*

leptolepis (3,953 kg ha⁻¹año⁻¹), comparado con 5,475 kg ha⁻¹ año⁻¹ para *P. densiflora* y 5,290 kg ha⁻¹ año⁻¹ para *P. rigitaeda*.

Roig *et al.* (2005) midieron la caída de hojarasca en una reforestación de *Pinus pinaster* Ait. en Fuencaliente, España, durante 10 años, comparando dos regímenes de raleo (de baja intensidad y alta intensidad), con un raleo controlado, y con un rodal que nunca ha sido raleado, registrando caída de hojarasca media para todos los tratamientos de 3,284 kg ha⁻¹ año⁻¹. La caída de hojarasca para el rodal raleado con mayor intensidad fue menor (1,520 kg ha⁻¹ año⁻¹) que la observada para el rodal moderadamente raleado (5,700 kg ha⁻¹ año⁻¹), además notaron que la caída de hojarasca mensual se correlacionó con la temperatura y déficit de humedad.

Dos plantaciones de 14 y 36 años de *Pinus kesiya* Royle ex-Gordon evaluada durante un año en Camerún, Francia, presentaron caídas de hojarasca de 8,293 y 9,867 kg ha⁻¹ año⁻¹, mostrando mayor caída del componente hojas, contribuyendo con el 86 y 74%, respectivamente (Njoukam *et al.*, 1999).

La caída de hojarasca en cuatro plantaciones forestales fue evaluada durante un año, obteniendo para *Agathis dammara* (Lambert) Poir (con rangos de edad de 7 a 35 años) 2,600 a 6,200 kg ha⁻¹ año⁻¹ (57 a 88% aportados por hojas); el rodal de *Pinus merkusii* Junghuhn & Vriese registró 10,000 kg ha⁻¹ año⁻¹ (55% aportado por acículas), y para la comunidad de arbustos dominada por *Eupatorium species* de 6,800 kg ha⁻¹ año⁻¹ (79% aportado por hojas) (Bruijnzeel, 1985).

Cromer *et al.* (1984) cuantificó la caída de hojarasca en una plantación de *Pinus radiata* D. Don. (15 años de edad) con y sin riego de aguas residuales,

durante tres años, en Victoria, Australia. La caída de hojarasca para la plantación con riego fue de 4,000 kg ha⁻¹ año⁻¹ comparado con 3,200 kg ha⁻¹ año⁻¹ en la plantación sin riego, observando que el incremento de la caída de hojarasca resultó del incremento de la producción de nuevas acículas y del aumento en la muda de las acículas viejas.

Theodorou y Bowen (1990) en Australia estudiaron los cambios de la caída de hojarasca en respuesta a la aplicación de N P K (806:178:366 kg ha⁻¹) durante tres años, en una plantación de *Pinus radiata* D. Don. de 12 años de edad, registrando que la caída de hojarasca aumentó de 2,346 a 3,770 kg ha⁻¹ después de tres años, lo que indica que la caída de hojarasca aumenta en respuesta a la aplicación de fertilizantes.

La dinámica de la caída de hojarasca en tres plantaciones de *Pinus kesiya* Royle ex-Gordon de 7, 15 y 22 años de edad en Meghalaya, India, presentó producción de hojarasca total de 6,663, 8,090 y 8,984 kg ha⁻¹ año⁻¹ respectivamente. La caída hojarasca ocurrió todo el año, con picos en los meses secos, marzo y abril, reportando que el aporte de acículas varió entre 78 y 98% del total, presentando caídas máximas en la plantación de 7 años (Kumar y Ramakrishnan, 1985).

Wang *et al.* (2004), determinaron el efecto de las condiciones del sitio sobre la caída de hojarasca durante tres años en una plantación de *Pinus luchuensis* Mayr. al Norte de la isla de Okinawa, Japón, reportando caídas de hojarasca con rangos de 6,540 a 8,050 kg ha⁻¹ año⁻¹, con picos en junio y julio, observando que los tifones tienen gran influencia sobre la cantidad de hojarasca depositada, lo cual indica, que las condiciones del sitio, influyen en la

caída de hojarasca, ya que la deposición fue significativamente diferente entre los dos rodales muestreados.

Plantaciones localizadas en Beijing, al norte de China, fueron evaluadas durante dos años, *Pinus tabulaeformis* Carr., (2,367 árboles por ha, altura y DAP de 5.20 m y 8.10 cm); *Quercus variabilis* Bl. con 1,880 árboles por ha, altura y DAP de 7.60 m y 8 cm; y una plantación mixta de *P. tabulaeformis* Carr. con 1,735 árboles por ha, altura y DAP de 5.50 m y 7.40 cm, asociada con *Q. variabilis* Bl. con 759 árboles por ha, altura y DAP de 6.90 m y 8.20 cm, presentaron deposición de hojarasca de 3,470 kg ha⁻¹ año⁻¹ en *Q. variabilis*, en segundo lugar la plantación mixta (2,360 kg ha⁻¹ año⁻¹) y la que menor aporte tuvo fue la plantación pura de *P. tabulaeformis* con 2,170 kg ha⁻¹ año⁻¹ (Liu *et al.*, 2001).

Pérez *et al.* (2006), determinaron la caída de mantillo en tres plantaciones experimentales de *Pinus taeda* L. en Argentina, constituidas por 1,600 árboles por ha, 10 a 35 cm de diámetro de 20 años de edad, reportando caída de 15,930 kg ha⁻¹ año⁻¹; observaron que las hojas fueron el componente que más aportó a la caída de mantillo (59.76%) seguido de ramas (22.22%), frutos (14.06%) y corteza con (3.95%).

Návar y Jurado (2009) midieron la caída de hojas y ramas en 16 comunidades del noreste de México, en dos de la áreas estudiadas existían reforestaciones con Pino piñonero; para el área de las Adjuntas, los valores más altos de caída de hojarasca se registraron en las reforestaciones de *Pinus pinceana* Gordon, seguido de *P. cembroides* Zucc. y *P. nelsonii* Shaw., registrando una caída promedio de 2,850 kg ha⁻¹ año⁻¹, en el sitio La Loma, la caída de hojarasca se comportó de manera descendente con valores más altos

en *P. pseudostrobus* Lindl., seguido de *P. pinceana*, *P. cembroides* y *P. nelsonii* con valor promedio de 4,120 kg ha⁻¹ año⁻¹.

2.4.2 Caída de hojarasca en plantaciones de otros géneros

Bubb *et al.* (1998) determinaron la caída de hojarasca durante un año, en plantaciones de *Araucaria cunninghamii* Aiton ex D. Don de 10, 14 y 62 años de edad, en el sudeste de Queensland, Australia, registrando rangos de caída de hojarasca de 6,000 kg ha⁻¹ año⁻¹ para las plantaciones jóvenes (10 y 14 años) y 1,090 kg ha⁻¹ año⁻¹ para la plantación madura (62 años).

Yang *et al.* (2004) cuantificaron la caída de hojarasca durante tres años consecutivos en cuatro plantaciones forestales de 33 años de edad, dos de coníferas, abeto chino (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook., CF) y *Fokienia hodginsii* (Dunn) A.Henry & H.H.Thomas (FH) y dos de hojas anchas *Ormosia xylocarpa* Merr. & H.Y.Chen (OX) y *Castanopsis kawakamii* Hayata (CK) en Fujian, China, reportando una caída media anual de hojarasca de 5,470 kg ha⁻¹ año⁻¹ en CF, 7,290 kg ha⁻¹ año⁻¹ en FH, 5,690 kg ha⁻¹ año⁻¹ en OX, y 9,540 kg ha⁻¹ año⁻¹ en CK.

Di Stefano y Fournier (2005) determinaron la caída de hojarasca en una plantación de *Vochysia guatemalensis* Donn. Sm. (10 años de edad) durante 15.5 meses en Tabarcia de Mora, Costa Rica, obteniendo un total de 7,500 kg ha⁻¹ año⁻¹: 4,860 kg ha⁻¹ año⁻¹ de hojas, 2,320 kg ha⁻¹ año⁻¹ de ramas, 320 kg ha⁻¹ año⁻¹ de partes reproductivas y 195 kg ha⁻¹ año⁻¹ de otros materiales, observando que la mayor cantidad de caída de hojas ocurrió en la época más seca y ventosa (febrero) representando el 51% de la hojarasca total, seguido de ramas contribuyendo con el 25%.

2.5 Caída de hojarasca en otros ecosistemas forestales

A nivel mundial, la vegetación de los bosques y los suelos contienen cerca de 1,146 petagramos de C, con aproximadamente el 37% de éste en los bosques de latitudes bajas, el 14% en las latitudes medias y 49% en las latitudes altas (Dixon *et al.*, 1994); desde esta perspectiva, la hojarasca es una importante reserva intermedia que actúa como un recurso de carbono que en última instancia se deposita en el suelo mineral (Guo *et al.*, 2004). Debido a lo anterior, muchos autores han cuantificado la caída de hojarasca en diferentes ecosistemas: bosques (Finér, 1996; Guo *et al.*, 2004; Yang *et al.*, 2004), matorrales (Pavón *et al.*, 2005; González *et al.*, 2008), bosques secundarios (Ostertag *et al.*, 2008), selvas (Prause *et al.*, 2003) y comunidades de álamo temblón y abedul (Liu *et al.*, 2005).

Nájera y Hernández (2009) estudiaron la acumulación de biomasa aérea en un bosque de Durango México conformados por *Pinus spp* (*Pinus cooperi* y *P. leiophylla*) encontrando caída de hojarasca total de 3,999 kg ha⁻¹ año⁻¹.

Prause *et al.* (2003) midieron la variación mensual de aporte de hojas de cuatro especies forestales nativas (Espina Corona (*Gleditsia amorphoides* (Griseb.)Taub.; Guayaibí (*Patagonula americana* L.; Mora (*Maclura tinctoria* (L.) Gaud. Wild., y Urunday (*Astronium balansae* Engl.) en una selva de ribera en Argentina, encontrando valores que van desde los 249 hasta los 1,095 kg ha⁻¹ año⁻¹, observando diferencias en la caída de hojas entre las cuatro especies, tres de ellas influidas por las precipitaciones pluviales mensuales, temperatura mínima mensual, velocidad del viento y heliofanía relativa.

González *et al.* (2008) determinaron los patrones de deposición espacial y estacional de la hojarasca en un matorral Tamaulipeco, durante dos años consecutivos en el norte de México, encontrando valores de caída de hojarasca de 4,472, 6,473 y 4,788 kg ha⁻¹ año⁻¹ para los sitios Ramones, China y Linares respectivamente; del total de la producción anual de hojarasca, las hojas representaron aproximadamente 67%, además observaron que las diferencias espaciales y estacionales en la caída de hojarasca pueden estar relacionadas con la fenología y estructura de la comunidad de plantas, variables ecológicas como temperaturas extremas y lluvias fuertes eventuales.

Similarmente Pavón *et al.* (2005) estudiaron la caída de hojarasca en un matorral intertropical semiárido mexicano, encontrando valores de caída de hojarasca de 350, 150 y 260 kg ha⁻¹ año⁻¹ para el primero, segundo y tercer año respectivamente. Del total de hojarasca colectada las hojas representaron el 81.2%, observando que la tendencia de caída de hojarasca durante el periodo de desarrollo de la plantas fue influida por la cantidad de lluvia.

Yang *et al.* (2004) cuantificaron la caída de hojarasca en un bosque natural maduro de *Castanopsis kawakamii* Hayata en Fujian, China, de aproximadamente 150 años de edad, durante tres años, encontrando un valor promedio de caída de hojarasca de 11,010 kg ha⁻¹ año⁻¹ que comparado con otros ecosistemas son valores muy altos.

Por otro lado Finér (1996) midió la variación en cantidad y calidad de la caída de hojarasca en *Pinus sylvestris* L., al oriente de Finlandia, reportando caída media anual de hojarasca de 1,995 kg ha⁻¹ año⁻¹ durante el periodo de 1985 a 1993.

Mientras que Kavvadias *et al.* (2001) cuantificaron la caída de hojarasca en cuatro ecosistemas forestales (*Pinus pinaster* Ainton, *Pinus nigra* Arn., *Abies borisii regis* Matf. y *Fagus silvatica* L.) en el norte de Grecia, encontrando una media anual de caída de hojarasca con rangos de 4,000 kg ha⁻¹ año⁻¹ del sitio de *F. silvatica* a 1,420 kg ha⁻¹ año⁻¹ en el sitio del pino marítimo (*P. pinaster*).

Bertasso *et al.* (2003) determinaron la producción de hojarasca durante un año en un bosque semidecuido de São Paulo, Brasil, reportando producción total de hojarasca de 8,719 kg ha⁻¹ año⁻¹, representada en su mayoría por las hojas (64%) y ramas (23%); al mismo tiempo observaron dos picos de caída de hojarasca, el primero ocurrió en la estación seca, debido al stress hídrico, el segundo se registró durante la estación lluviosa, y lo atribuyen al efecto mecánico de las lluvias y a la acción de los vientos intensos registrados en este período.

Zapata *et al.* (2007) estudiaron la producción de hojarasca durante un periodo de dos años en bosques montanos naturales (*Quercus humboldtii* Bonpl.) y reforestados (*Pinus patula* Schlechd. et Cham. y *Cupressus lusitanica* Mill.) de Antioquia, Colombia. El promedio de caída de hojarasca anual para *Q. humboldtii*, *P. patula* y *C. lusitanica* fue de 7,877, 8,362 y 3,725 kg ha⁻¹año⁻¹ respectivamente, encontrando que las hojas fueron las que más contribuyeron a la producción de hojarasca total.

También se han realizado estudios de caída de hojarasca en los manglares de México (Orihuela *et al.*, 2004). En manglares de Yucatán, México, Zaldívar *et al.* (2004) encontraron valores que van desde 9,453 a 14,928 kg ha⁻¹ año⁻¹, observando que la producción de hojarasca fue determinada por la salinidad del suelo y las variables climáticas.

2.6 Retorno de carbono a través de la caída de hojarasca

La dinámica de la caída de hojarasca y retorno de carbono en plantaciones de *Castanopsis kawakamii* Hayata y abeto chino (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.) fue estudiada durante tres años, la media anual de retorno de carbono a través de la caída de hojarasca total fue de 4,337 kg ha⁻¹año⁻¹ en la plantación de *C. kawakamii* y 2,502 kg ha⁻¹año⁻¹ en la plantación de abeto chino, del total del carbono retornado la contribución de las hojas fue de 68.53% y 56.12% y las ramas con 22.34% y 26.18%, respectivamente (Guo *et al.*, 2004).

Orihuela *et al.* (2004) cuantificaron la producción de hojarasca de cuatro especies de mangle (*Rhizophora mangle* L., *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. f., *Avicennia germinans* L. y *Conocarpus erectus* L.) del estado de Chiapas, México, encontrando valores promedios de 13,700 kg ha⁻¹año⁻¹, equivalente a 7,590 kg de C ha⁻¹ año⁻¹, observando que la producción de hojarasca fue influida por el ciclo de vida de las hojas, la cantidad de agua dulce, nutrientes y la incidencia de tormentas tropicales.

De igual forma Liu *et al.* (2002) estudiaron el retorno de carbono a través de la caída de hojarasca en un bosque siempre verde de hojas anchas (*Lithocarpus xylocarpus* (Kurz) Markgraf) del sudoeste China, encontrando en la zona de mayor densidad un retorno de C de 2,967 kg ha⁻¹año⁻¹ y 3,501 kg ha⁻¹ año⁻¹ en la zona con menor densidad.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización y descripción del sitio de estudio

Las dos plantaciones, *Pinus greggii* Engelm. y *Pinus cembroides* Zucc. se encuentran dentro del Campo Agrícola Experimental Sierra de Arteaga (CAESA) (25°23' N, 100° 36' O) de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), localizado en Los Lirios, municipio de Arteaga, Coahuila, aproximadamente a 45 km de la Ciudad de Saltillo, Coahuila (Figura 1).

El área está situada a 2,270 msnm, dentro de la formación orográfica conocida como Sierra de Arteaga, que pertenece a la parte Norte de la Sierra Madre Oriental, dentro de la subprovincia Gran Sierra Plegada (Cervantes *et al.*, 1990). Ambas plantaciones presentan la misma edad (17 años), sin embargo, la plantación de *P. greggii* presenta mayores alturas, mayores diámetros, pero menor densidad que la de *P. cembroides* (Cuadro 1).

El CAESA se encuentra dentro de la Región Hidrológica El Salado (RH-37), formando parte de la cuenca San Pablo y otras, y de la subcuenca Puerto Flores (CONAGUA, 1998).

La geología del área está constituida por rocas de origen sedimentario de tipo caliza del mesozoico, con depósitos de aluvión (CETENAL, 1976). El tipo de suelo presente en área de estudio es feozem calcáricos (INIFAP-CONABIO, 1995) que se caracterizan por presentar material cálcico entre 20 y 50 cm de la superficie del suelo o presencia de roca continua o una capa cementada o endurecida (FAO, 2007).

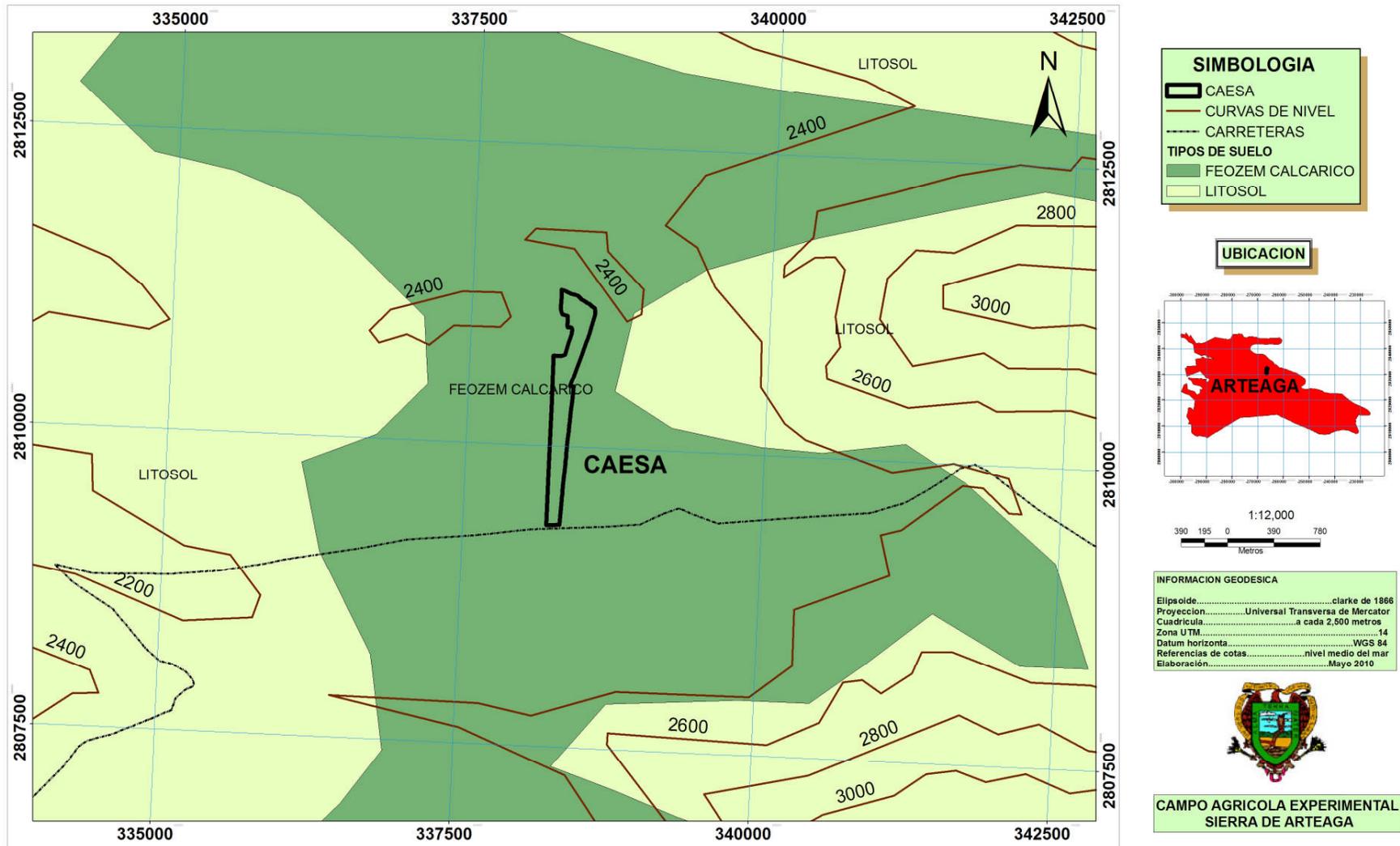


Figura 1. Localización del Campo Agrícola Experimental Sierra de Arteaga (CAESA) Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

De acuerdo con los datos de la estación climatológica No. 05-033 de San Antonio de las Alazanas, próxima al área experimental, se presenta un clima templado con la fórmula climática Cb(X)(Wo)(e)g, con temperatura media anual de 13.3°C y precipitación promedio anual de 521.20 mm.

Los meses en que presenta la mayor precipitación son de junio a septiembre y los meses con menor precipitación son de febrero a marzo. Las temperaturas más altas se presentan en los meses de mayo a julio y las temperaturas más bajas ocurren en los meses de diciembre a febrero (García, 1987).

3.2 Descripción de las plantaciones

En junio de 1992 en el CAESA se establecieron dos ensayos de progenies de *Pinus greggii* Engelm. y *Pinus cembroides* Zucc., cuyo propósito fue determinar la adaptación de las plantas y la producción de semilla mejorada.

La primera plantación es una prueba de progenie que se estableció los días 8 y 9 de julio de 1992, con distribución tresbolillo y distancia de 2.50 m entre planta, consta de 22 familias de árboles selectos de *Pinus greggii* procedentes del Ejido Los Lirios, Arteaga, Coah., más el testigo cuyo origen geográfico es La Colorada, Arteaga, Coah. (Gutiérrez, 2008).

La segunda plantación es un ensayo de tres procedencias de *Pinus cembroides* de la Sierra Guadalupe Garzarón Concepción del Oro, Zacatecas; Cañón de la Laja Santa Olaya Mazapil, Zac. y Santa Victoria Saltillo, Coah. (Morales, 2002). establecida el 17 y 18 de junio de 1992 con distribución tresbolillo con distancia de 1.8 m entre plantas.

Cuadro 1. Características dasométricas generales de las plantaciones en el CAESA, Los Lirios, Arteaga, Coahuila (2009).

Variables	Plantación	
	<i>Pinus greggii</i>	<i>Pinus cembroides</i>
Densidad (arb/ha)	679	2,382
Altura promedio (m)	7.73	2.50
DAP promedio (cm)	13.17	7.36
Diámetro promedio de copa (m)	2.79	1.55
Altura promedio del fuste limpio (m)	1.61	0.26

Donde: DAP= Diámetro a 1.30 m.

3.3 Procedimiento del estudio

3.3.1 Muestreo de la caída de hojarasca y frecuencia de recolección

Siguiendo la metodología propuesta por Zhi-an *et al.* (2005), Zhou *et al.* (2007) y Návar y Jurado (2009) la caída de hojarasca se colectó usando trampas construidas de madera de 1 m², distribuidas al azar sumando un total de 15 por plantación. En la parte de abajo del marco se colocó una malla metálica con orificios de 1 mm², con el fin de propiciar el escurrimiento del agua. Las trampas se colocaron a 50 cm sobre la superficie del suelo, para evitar la vegetación herbácea y no obstruir el paso de la fauna silvestre, mismas que permanecieron en el mismo lugar durante todo el periodo de estudio (Figura 2) (Zapata *et al.*, 2007).

Las colectas se realizaron cada 30 días aproximadamente (González *et al.*, 2008) iniciando 05 de Febrero del 2009 y finalizando el 06 de Febrero del 2010, dando un total de doce meses. El material acumulado en cada colector se almacenó en bolsas de papel, se identificaron correctamente y se transportaron

al laboratorio de Tecnología de la madera de la UAAAN para su procesamiento y análisis.

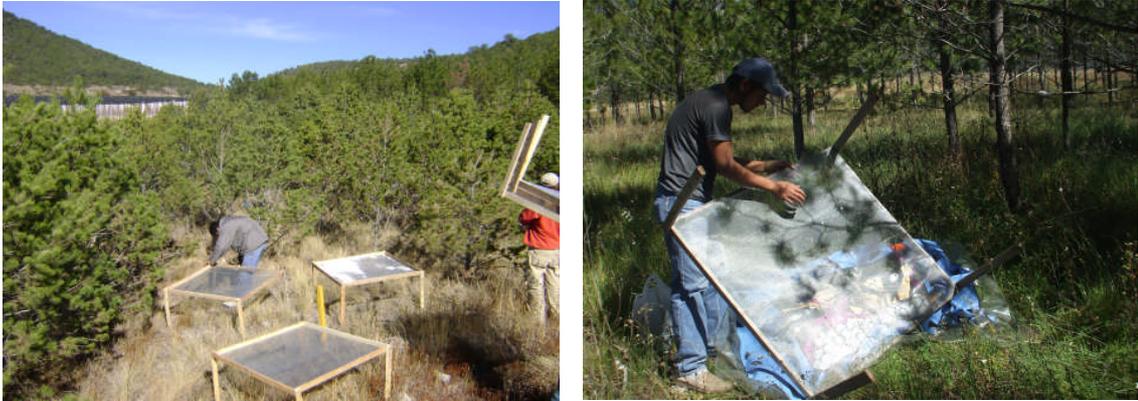


Figura 2. Acomodo de trampas de colecta y recolección de hojarasca en las plantaciones de Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

3.3.2 Procedimiento de laboratorio

Una vez concentradas las muestras en el laboratorio, se separaron por especie, después fueron secadas de 65 a 80°C (Guo *et al.*, 2004; Zhou *et al.*, 2007; González *et al.*, 2008) en una estufa de secado (Elissa) por un periodo de 72 horas hasta obtener peso constante, posteriormente las muestras de cada colector se agruparon por componente en: hojas, ramas (<2 cm de diámetro) y conos (Proctor *et al.*, 1983), mismos que posteriormente se pesaron con ayuda de una balanza analítica digital de centésimas de gramo para obtener el peso seco ($\text{gr m}^{-2} \text{mes}^{-1}$) de cada componente y total ($\text{kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$).

3.3.3 Estimación de carbono en la hojarasca

El retorno de carbono en los componentes de hojarasca fue determinado multiplicando la caída de hojarasca en $\text{kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ por el factor de conversión a carbono el cual es de 0.5 (Brown y Lugo, 1984; Arreaga, 2003).

3.4 Variables ambientales y caída de hojarasca

Con la intención de evaluar la relación de las variables climáticas que se presentaron en el área durante el periodo de estudio e identificar su influencia a la caída de hojarasca se obtuvieron los datos de temperatura media (TMED), máxima (TMAX) y mínima (TMIN), precipitación (PP), velocidad media del viento (VMED) y máxima (VMAX), estos datos fueron proporcionados por la estación adjunta al CAESA a cargo del Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Coahuila (CESAVECO).

3.5 Análisis estadístico

Para denotar diferencias estadísticas en la caída de hojarasca entre especies y entre fechas de colecta, de cada componente se aplicó la prueba no paramétrica de rangos Kruskal-Wallis al 95% de confiabilidad (Kruskal y Wallis, 1952), sugerido por May y Killingbeck, (1992); Pavón *et al.* (2005); Quinto *et al.* (2007); Vargas y Varela (2007) y González *et al.* (2008) ya que los datos de hojarasca sometidos a pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov (González *et al.*, 2008) y Shapiro-Wilk (Salazar, 2008; González *et al.*, 2008), no presentan normalidad, debido a que generalmente estos tipos de datos no son normales. Posteriormente cuando se identificó significancia estadística se aplicó la prueba de media de rangos de Kruskal-Wallis al 95% de confiabilidad.

Para determinar la relación entre la producción de hojarasca y las variables climáticas se utilizó un Análisis de Componentes Principales (ACP), usando como variable dependiente los componentes de la hojarasca ($\text{gr.m}^{-2} \text{mes}^{-1}$) y como variables independientes las variables climáticas (temperatura mínima, sumatoria de la temperatura mínima y máxima, velocidad máxima del viento y

precipitación total). Se generaron modelos de regresión usando stepwise para estimar la deposición de hojarasca de los componentes hojas, ramas y conos, por especie. La generación de los modelos predictivos sobre la caída de los diferentes componentes de la hojarasca por plantación se realizó utilizando el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS[®]) versión 9.1 (SAS[®], 1989).

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las pruebas de normalidad arrojaron datos similares a los reportados por González *et al.* (2008) y Salazar (2008), la prueba de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk muestran que el 100% de los datos de cada uno de los componentes de la hojarasca (hojas, ramas, conos) en ambas especies no se distribuyeron normalmente (Cuadro 2).

Cuadro 2. Resultados de las pruebas de normalidad por plantaciones y componentes para todas las observaciones realizadas en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

		Prueba estadística					
		Shapiro-Wilk			Kolmogorov-Smirnov		
Especie	Componente	†Est 1	gl ^{††}	Valor P	†Est 2	gl ^{††}	Valor P
<i>P. greggii</i>	Hojas	0.9241	179	<0.0001	0.1036	179	<0.0100
	Ramas	0.5110	179	<0.0001	0.3265	179	<0.0100
	Conos	0.5388	179	<0.0001	0.3048	179	<0.0100
<i>P. cembroides</i>	Hojas	0.7954	179	<0.0001	0.1797	179	<0.0100
	Ramas	0.5159	179	<0.0001	0.3198	179	<0.0100
	Conos	0.2461	179	<0.0001	0.4042	179	<0.0100

†Estadístico ††grados de libertad

Valores P en negritas (P<.05) indican que no hay normalidad en los datos.

4.1 Porcentajes aportados por componente de la hojarasca

La caída de hojarasca se presentó durante todo el año en ambas especies; el componente que más aportó durante los doce meses de colecta fue hojas con aportes promedios de 92% en *P. greggii* y 94% en *P. cembroides*, del total de la hojarasca. A diferencia de lo observado en hojas, los conos y ramas presentaron valores muy bajos ya que en *P. greggii* los conos aportaron 6%

seguido por las ramas con un 2% y en *P. cembroides* las ramas y conos aportaron 4 y 2%, respectivamente (Figuras 3 y 4).

Se ha encontrado que el componente hojas es el que más aporta en la caída de hojarasca como reportan Jeong *et al.* (2009) en un estudio realizado en tres plantaciones registrando el 73.10%, 70.80% y 62.90% para *P. rigitaeda*, *P. densiflora* y *L. leptolepis*; similarmente Njoukam *et al.* (1999) encontraron en plantaciones de *Pinus kesiya* Royle ex-Gordon de 14 y 36 años que las hojas aportaron el 86 y 74%, respectivamente; en plantaciones de la misma especie Kumar y Ramakrishnan (1985) observaron que el aporte de acículas varió entre 78 y 98% de la caída de hojarasca total. Por su parte Pérez *et al.* (2006), obtuvieron que las hojas representaron el 59.76% del total de la hojarasca colectada en tres plantaciones experimentales de *Pinus taeda*.

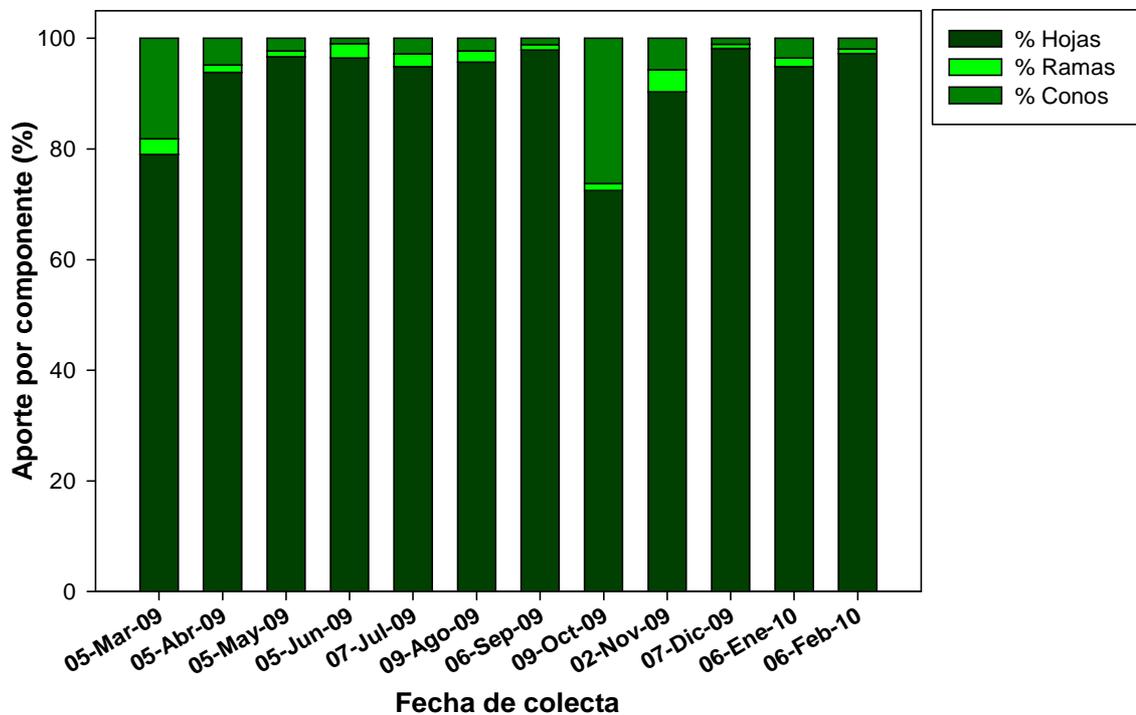


Figura 3. Porcentajes de aportación por cada componente de la hojarasca total de *Pinus greggii* Engelm. en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

En lo que respecta a otros ecosistemas, Pavón *et al.* (2005), reportaron que en un matorral semidesértico las hojas aportaron 81.20% de la caída de hojarasca total; de igual forma Zhou *et al.* (2007), mencionan que el componente más importante de la hojarasca es el componente hojas ya que reportaron caídas con rangos de 56.80% a 76.40% en cuatro diferentes ecosistemas, por su parte Nájera y Hernández (2009) en un bosque de *Pinus spp.*, encontraron que la caída de hojarasca fue aportada en un 74% por hojas, 17% ramas y 9% por conos Sin embargo Gunadi (1992) en plantaciones de *Pinus merkusii* encontró que los conos femeninos aportaron el 60% de la hojarasca total.

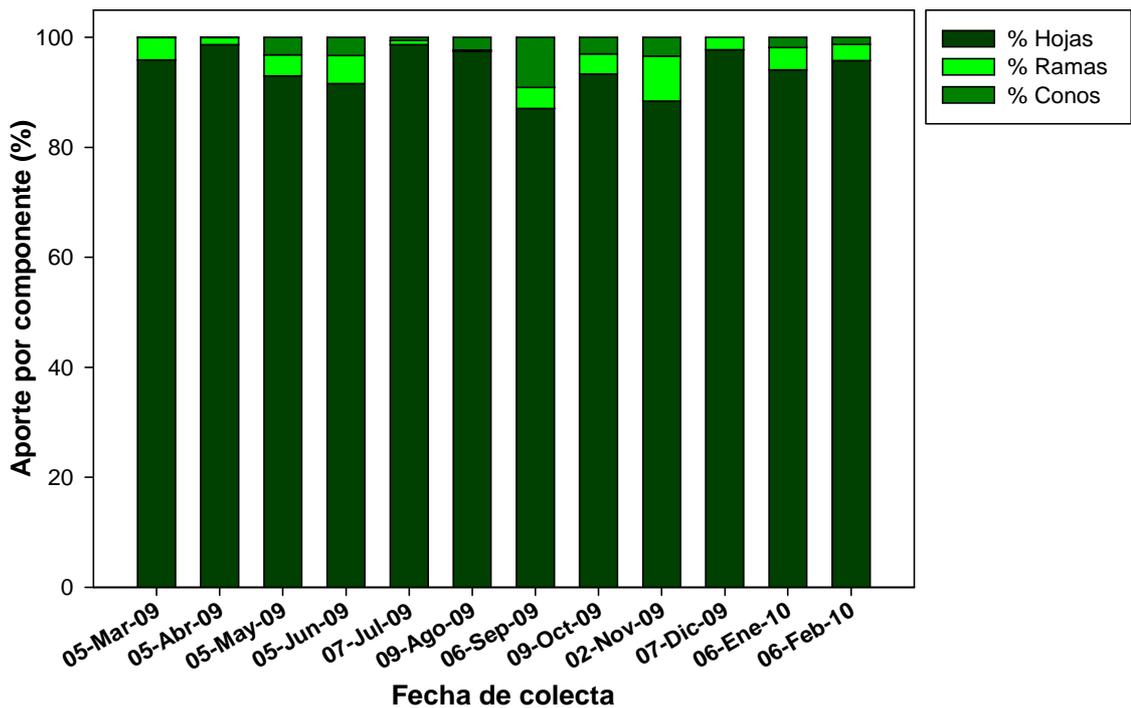


Figura 4. Porcentajes de aportación de cada componente de la hojarasca total de *Pinus cembroides* Zucc. en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

4.2 Caída de hojarasca total

La caída de hojarasca total presentó diferencias altamente significativas de acuerdo a la prueba de KW ($P < 0.0009$), la caída de hojarasca total fue mayor en la plantación de *P. greggii* con $1,072 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ que la encontrada para la plantación de *P. cembroides* con $976 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Figura 5). Esta discrepancia puede deberse a la diferente tasa de productividad, ya que a 17 años de haberse plantado, *P. greggii* ha mostrado mayor crecimiento en altura, diámetro de fuste y copa, que *P. cembroides* (Cuadro 1), tomando en cuenta que ambas especies se establecieron en condiciones de sitios similares, además Farjon *et al.* (1997) mencionan que *P. greggii* produce copas amplias; asimismo la mayor altura de *P. greggii* provoca que las copas se encuentren más expuestas a los factores climáticos especialmente a la exposición del viento, ya que *P. greggii* posee menor densidad de árboles que *P. cembroides*. Estos resultados también los obtuvieron Dames *et al.* (1998) al encontrar diferencias entre plantaciones de *P. patula* de diferentes años de edad (5, 10, 15, 20, 25 y 30 años), atribuyendo la variación a las diferentes edades de las plantaciones y las condiciones climáticas. De igual forma Xu y Hirata (2002) encontraron diferencias significativas entre una plantación de *Pinus luchuensis* ($8,000 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) comparada con una plantación mixta de *P. luchuensis* y *Schima wallichii* ($11,000 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$). También Kavvadias *et al.* (2001) reportan diferencias significativas en la deposición total de hojarasca en tres bosques de coníferas en Grecia. Por su parte Jeong *et al.* (2009) difieren con los resultados obtenidos en este estudio, ya que no encontraron diferencias significativas en la deposición total de hojarasca entre plantaciones de *P. densiflora* (216 arb/ha) y *P. rigitaeda* (550 arb/ha) registrando deposiciones de $5,475 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y

5,290 kg ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente. De igual forma en una selva ombrófila no se reportan diferencias significativas (95%) en la producción de hojarasca entre dos tipos de vegetación (Tipo I: *Araucaria angustifolia* y Tipo II: diversas especies de latifoliadas) (Caldato *et al.*, 2010).

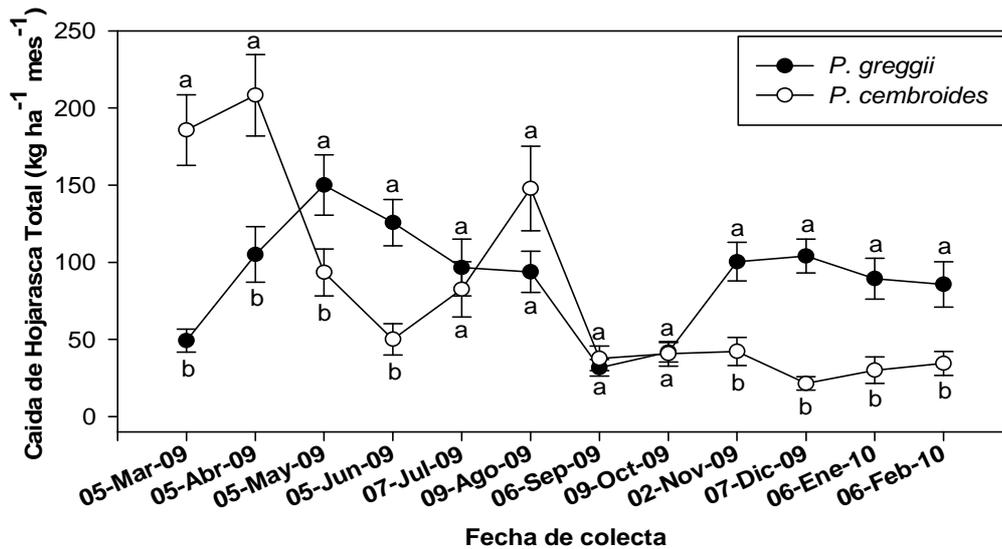


Figura 5. Caída de hojarasca total mensual en *P. greggii* Engelm. y *P. cembroides* Zucc. en Los Lirios, Arteaga, Coahuila. Cada valor graficado representa la media (n=180) ± error estándar. Letras distintas significan diferencias significativas entre fechas de colecta (Kruskal-Wallis, P<0.05).

La hojarasca varió durante todo el periodo de estudio, en la plantación de *P. greggii* se presentó un pico de caída en la colecta 3 (05-may-09) con 150 kg ha⁻¹ mes⁻¹, representando el 13.81% de la caída total de hojarasca anual de esta plantación, fecha en la que se presentaron los vientos más fuertes del periodo de estudio. Para la plantación de *P. cembroides* se observaron dos picos de caída: el primero corresponde a la colecta 2 (05-abr-09) y el segundo en la colecta 6 (09-ago-09) con 208.2 y 147.80 kg ha⁻¹ mes⁻¹ respectivamente (Figura 5), el primero en respuesta al los fuertes vientos registrados en esta colecta (2) y el segundo debido a las altas temperaturas presentes en la colecta 6

(Apéndice 3 y 5), ambas caídas representan el 36.47% de la caída de hojarasca total anual en *P. cembroides*.

La caída de hojarasca total obtenida en *P. greggii* y *P. cembroides* está por debajo de los valores reportados por otros autores, Návar y Jurado (2009) en reforestaciones de varias especies de *Pinus* (*P. pinceana*, *P. cembroides*, *P. nelsonii* y *P. pseudostrobus*), dichos autores encontraron deposición total de 2,850 kg ha⁻¹ año⁻¹ y 4,120 kg ha⁻¹ año⁻¹ registrados en *P. pinceana* y *P. pseudostrobus*. Xu y Hirata (2002) en dos plantaciones y Wang *et al.* (2004) en una plantación de *Pinus luchuensis* Mayr, reportan haber encontrado 6,540, 8,050 y 8,000 kg ha⁻¹ año⁻¹ respectivamente. Por su parte Njoukam *et al.* (1999) y Kumar y Ramakrishnan (1985) reportan valores altos de caída de hojarasca (8,293 y 9,867 kg ha⁻¹ año⁻¹ y 6,663, 8,090 y 8,984 kg ha⁻¹ año⁻¹ respectivamente) en plantaciones de *Pinus kesiya* Royle ex-Gordon. Otros autores han reportado caída de hojarasca total de hasta 15,930 kg ha⁻¹ año⁻¹ en *P. taeda* L. (Pérez *et al.*, 2006) 2,170 kg ha⁻¹ año⁻¹ en *P. tabulaeformis* (Liu *et al.*, 2001) y 3,640 a 5,890 kg ha⁻¹ año⁻¹ en *Pinus patula* Schlechd. et Cham. (Dames *et al.*, 1998).

En plantaciones de pino, aplicando diferentes regímenes de raleo, Roig *et al.* (2005), encontraron que *P. pinaster* produce de 1,520 a 5,700 kg ha⁻¹ año⁻¹, estos valores son más altos que los reportados en este estudio. Sin embargo, comparando la caída de hojarasca obtenida en ambas especies de este estudio con otros ecosistemas con similar ambiente como un matorral semidesértico (253 kg ha⁻¹ año⁻¹) (Pavón *et al.*, 2005) se puede encontrar mayor caída de hojarasca en *P. greggii* y *P. cembroides* con 1,072 y 976 kg ha⁻¹ año⁻¹ respectivamente.

Es importante mencionar que la mayoría de las plantaciones citadas anteriormente con mayor caída de hojarasca se desarrollaron en condiciones ambientales más favorables (mayor precipitación, suelos más profundos), por lo que la baja producción de hojarasca en *P. greggii* y *P. cembroides* podría deberse a las condiciones poco favorables (precipitación promedio de 521.20 mm, suelos someros) que se encuentran en un ecosistema semidesértico, además de la diferencia de crecimiento de las especies.

Lo que respecta a la condición de densidad del arbolado, no es un factor tan determinante sobre la caída de hojarasca, ya que la plantación de *Pinus greggii* aún presentando mucho menor densidad (679 arb/ha) que la plantación de *P. cembroides* (2,382 arb/ha) presentó mayor caída de hojarasca que *Pinus cembroides*, incluso Gunadi (1992) encontró en plantaciones de *Pinus merkusii* con menor densidad (230 a 310 arb/ha) caída total de hojarasca de 9,000 y 4,000 kg ha⁻¹ año⁻¹ respectivamente.

4.3 Caída de los diferentes componentes de la hojarasca por fecha de colecta para cada plantación.

4.3.1 *Pinus greggii*

La prueba de rangos de KW para denotar diferencias estadísticamente significativas (95%) entre fechas de colectas para cada uno de los componentes de la hojarasca en la plantación de *P. greggii* se muestran en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Resultados de las pruebas de Kruskal-Wallis, entre fechas de colecta para cada uno de los componente de la hojarasca por plantación en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

Plantación	Componente	χ^2	gl††	Valor P
<i>P. greggii</i>	Hojas	62.6928	11	<.0001
	Ramas	17.1333	11	0.1040
	Conos	23.3086	11	0.0160
<i>P. cembroides</i>	Hojas	85.7842	11	<.0001
	Ramas	32.1994	11	<.0001
	Conos	17.2417	11	0.1009

†† Grados de libertad

Letras distintas significan diferencias significativas entre fechas de colecta (Kruskal-Wallis, $P < 0.05$).

Como se puede observar se encontraron diferencias significativas en los componentes hojas ($P < 0.0001$) y conos ($P = 0.0160$), contrario a lo observado en el componente ramas donde no exhibió diferencias significativas ($P = 0.1040$).

Hojas

La caída del componente hojas se agrupó en cuatro secciones, la fecha que exhibió el valor más alto de caída del componente hojas ($145 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$) se presentó en periodo más ventoso del año (entre abril y mayo), mostrando diferencias significativas ($P < 0.0001$) con las fechas 2, 4, 6, 9 y 10 con valor promedio de $100.43 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$, seguido por las fechas 5, 11 y 12 promediando $86.57 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$, y por ultimo con valores más bajos en las fechas 1, 7 y 8 presentaron un promedio de $36.54 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$ (Cuadro 4, Figura 6).

Cuadro 4. Medias ($\text{kg ha}^{-1} \text{mes}^{-1}$) y rangos de KW de caída del componente hojas en la plantación de *P. greggii* Engelm. en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

No. de colecta	Fechas de colectas	Media ($\text{kg ha}^{-1} \text{mes}^{-1}$)	Rangos de KW
7	06-Sep-09	30.92	35.07a
8	09-Oct-09	39.80	45.50 a
1	05-Mar-09	38.90	46.40 a
12	06-Feb-10	83.35	90.40 b
5	07-Jul-09	91.61	93.93 b
11	06-Ene-10	84.77	94.63 b
6	09-Ago-09	89.72	99.33 bc
2	05-Abr-09	98.54	101.27 bc
9	02-Nov-09	90.62	102.73 bc
10	07-Dic-09	102.10	114.23 bc
4	05-Jun-09	121.17	126.47 bc
3	05-May-09	145.04	136.03 c

Letras distintas significan diferencias significativas entre fechas de colecta (Kruskal-Wallis, $P < 0.05$).

Ramas

De acuerdo a la prueba de rangos de KW, el componente ramas no presentó diferencias significativas ($P=0.1040$) (Cuadro 5, Figura 7), promediando en las 12 fechas de colecta $1.63 \text{ kg ha}^{-1} \text{mes}^{-1}$, esto podría ser porque *P. greggii* presenta poca densidad y de esta forma evita la poda natural.

Conos

El componente conos mostró diferencias significativas ($P=0.0160$) entre fechas de colecta, agrupándose en seis diferentes secciones (Cuadro 6, Figura 8), según la prueba de KW el mejor valor ($5.10 \text{ kg ha}^{-1} \text{mes}^{-1}$) se presentó en abril (2), seguido por $8.90 \text{ kg ha}^{-1} \text{mes}^{-1}$ depositado en marzo (colecta 1), las

colectas 3, 5, 6, 9 y 11 promediaron $3.44 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$, valores bajos se presentaron en las colectas 12 ($1.70 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$), 4 y 8 (con promedios de $1.19 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$), y por último las menores deposiciones del componente conos en *P. greggii* se dieron en los meses de diciembre y septiembre con 1.13 y $0.36 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$ respectivamente.

Cuadro 5. Medias ($\text{kg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$) y rangos de KW de caída del componente ramas en la plantación de *P. greggii* Engelm. en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

No. de colecta	Fechas de colectas	Media ($\text{kg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$)	Rangos de KW
1	05-Mar-09	1.40	106.07 a
2	05-Abr-09	1.41	88.47 a
3	09-May-09	1.58	89.97a
4	05-Jun-09	3.29	87.10 a
5	07-Jul-09	2.20	97.63 a
6	09-Ago-09	1.91	84.60 a
7	06-Sep-09	0.30	67.97 a
8	09-Oct-09	0.71	74.53 a
9	02-Nov-09	4.01	125.93 a
10	07-Dic-09	0.74	91.97 a
11	06-Ene-10	1.43	93.93 a
12	06-Feb-10	0.68	77.83 a

Letras distintas significan diferencias significativas entre fechas de colecta (Kruskal-Wallis, $P < 0.05$).

Estas diferencias se deben a que en el componente conos se incluyeron conos masculinos y femeninos, y aunque *P. greggii* presenta conos seróticos y no tiene un temporada específica de desprendimiento, la caída de conos femeninos en los meses de abril y marzo por su mayor tamaño y peso que los conos masculinos, aumentaron la caída del componente conos principalmente es estas colectas (1 y 2).

Cuadro 6. Medias ($\text{kg ha}^{-1} \text{mes}^{-1}$) y rangos de KW de caída del componente conos en la plantación de *P. greggii* Engelm. en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

No. de colecta	Fechas de colectas	Media ($\text{kg ha}^{-1} \text{mes}^{-1}$)	Rangos de KW
7	06-Sep-09	0.36	50.87 a
10	07-Dic-09	1.13	70.77 ab
4	05-Jun-09	1.18	81.53 abc
8	09-Oct-09	1.20	81.97 abc
12	06-Feb-10	1.70	86.97 abcd
11	06-Ene-10	3.10	89.37 bcd
5	07-Jul-09	2.70	91.77 bcd
3	05-May-09	3.40	92.73 bcd
9	02-Nov-09	5.70	97.43 bcd
6	09-Ago-09	2.10	102.23 bcd
1	05-Mar-09	8.90	117.40 cd
2	05-Abr-09	5.10	122.97 d

Letras distintas significan diferencias significativas entre fechas de colecta (Kruskal-Wallis, $P < 0.05$).

4.3.2 *Pinus cembroides*

Como se observa en el Cuadro 3, en la plantación de *P. cembroides* los resultados del análisis de varianza (Kruskal Wallis) mostraron diferencias significativas (95%) entre las doce fechas de colecta para los componentes hojas ($P < 0.0001$) y ramas ($P < 0.0001$), no así para el componente conos, ya que presentó un valor de $P = 0.1009$.

Hojas

La caída del componente hojas en *P. cembroides* durante los doce meses de colecta se presentó en varios grupos, destacando por presentar valores más

altos las colectas 1 y 2 (178.14 y 205.54 kg ha⁻¹ mes⁻¹ respectivamente) en los meses de marzo y abril, esto podría deberse a la presencia de vientos fuertes en estos meses (Apéndice 5), mostrando diferencias significativas más notorias con las colectas 7, 8 y 9 con promedio de 36,04 kg ha⁻¹ mes⁻¹ y las fechas 10, 11 y 12 promediando 27,99 kg ha⁻¹ mes⁻¹, por presentar los valores más bajos de caída del componente hojas (Cuadro 7). Es de notarse que al igual que en *P. greggii* en *P. cembroides* la deposición del componente hojas se da en su mayoría durante el primer semestre del año (Figura 6).

Cuadro 7. Medias (kg ha⁻¹ mes⁻¹) y rangos de KW de caída del componente hojas en la plantación de *P. cembroides* Zucc. en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

No. de colecta	Fechas de colectas	Media (kg ha ⁻¹ mes ⁻¹)	Rangos de KW
10	07-Dic-09	20.90	44.4 a
11	06-Ene-10	30.08	57.43 a
12	06-Feb-10	33.01	61.23 a
7	06-Sep-09	32.80	64.4 ab
9	02-Nov-09	37.32	66.17 ab
8	09-Oct-09	38.00	69.97 ab
4	05-Jun-09	45.89	77.83 abc
5	07-Jul-09	81.37	100.13 bcd
3	05-May-09	86.89	114.63 cde
6	09-Ago-09	144.06	124.13 def
1	05-Mar-09	178.14	150.13 ef
2	05-Abr-09	205.54	155.53 f

Letras distintas significan diferencias significativas entre fechas de colecta (Kruskal-Wallis, P<0.05).

Ramas

Lo que respecta al componente ramas, la mayor cantidad depositada se dio en los meses de marzo y noviembre (1 y 9) con caída promedio de 5.45 kg ha⁻¹

mes⁻¹, las diferencias más marcadas (P=0.0007) se dio con las fechas 10 (0.47 kg ha⁻¹ mes⁻¹), 5 y 6 promediando 0.48 kg ha⁻¹ mes⁻¹, esta diferencia tan marcada se da por que estas últimas colectas (10, 5 y 6) presentaron las deposiciones de ramas más bajas de los 12 meses estudiados (Cuadro 8 y Figura 7).

Como se observa en el Cuadro 8 la caída de ramas se distribuyó en ocho diferentes grupos, esta diferencia es debido a la alta densidad que presenta esta especie, provocando las competencia de los árboles y de esta forma la presencia de poda natural, que es la muerte de las ramas de la parte inferior de la copa, al recibir menos radiación solar.

Cuadro 8. Medias (kg ha⁻¹ mes⁻¹) y rangos de KW de caída del componente ramas en la plantación de *P. cembroides* Zucc. en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

No. de colecta	Fechas de colectas	Media (kg ha⁻¹ mes⁻¹)	Rangos de KW
6	09-Ago-09	0.32	63.83 a
5	07-Jul-09	0.64	66.27 a
10	07-Dic-09	0.47	71.87 ab
7	06-Sep-09	1.42	77.30 abc
8	09-Oct-09	1.49	77.83 abc
12	06-Feb-10	1.02	80.90 abc
11	06-Ene-10	1.30	89.40 abcd
4	05-Jun-09	2.56	93.67 abcd
3	05-May-09	3.62	106.23 bcd
2	05-Abr-09	2.62	114.00 cd
9	02-Nov-09	3.45	121.03 d
1	05-Mar-09	7.46	123.67 d

Letras distintas significan diferencias significativas entre fechas de colecta (Kruskal-Wallis, P<0.05).

Conos

De acuerdo a las pruebas de KW el componente conos no mostro diferencias significativas ($P=0.1009$) entre fechas de colecta, la caída promedio del componente fue de $1.32 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$ (Cuadro 9 y Figura 8). Al igual que *P. greggii*, en *P. cembroides* la agrupación del componente conos incluyó conos femeninos y conos masculinos, como se observa (Cuadro 9) los valores más altos de caída de conos se presentaron en las colectas 3, 6 y 7 debido a que en esas colectas se presentaron deposiciones de conos femeninos, sin embargo el menor tamaño de los conos y menor peso por la ausencia de semillas (tiradas anteriormente) que los conos de *P. greggii* no fueron suficiente para causar variación entre fechas de colecta en *P. cembroides*.

Cuadro 9. Medias ($\text{kg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$) y rangos de KW de caída del componente conos en la plantación de *P. cembroides* Zucc. en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

No. de colecta	Fechas de colectas	Media ($\text{kg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$)	Rangos de KW
1	05-Mar-09	0.11	76.33 a
2	05-Abr-09	0.13	76.50 a
3	09-May-09	2.95	90.00 a
4	05-Jun-09	1.66	106.57 a
5	07-Jul-09	0.47	88.50 a
6	09-Ago-09	3.43	102.33 a
7	06-Sep-09	3.44	91.10 a
8	09-Oct-09	1.22	90.50 a
9	02-Nov-09	1.43	111.07 a
10	07-Dic-09	0.00	71.00 a
11	06-Ene-10	0.59	94.00 a
12	06-Feb-10	0.43	88.10 a

Letras distintas significan diferencias significativas entre fechas de colecta (Kruskal-Wallis, $P<0.05$).

4.4 Comparación de la caída mensual de los componentes hojas, ramas y conos entre plantaciones de *P. greggii* y *P. cembroides*.

Hojas

La caída del componente hojas se muestra en la Figura 6. Como se puede observar para el componente hojas sólo en cuatro de doce fechas de colecta (07-Jul-09, 09-Ago-09, 06-Sep-09 y 09-Oct-09) no se detectaron diferencias significativas (95%), González *et al.* (2008) en un matorral Tamaulipeco encontraron diferencias significativas en la deposición de hojas en ocho de veinticuatro fechas de colecta entre tres sitios de estudio, contrario a lo reportado por Jeong *et al.* (2009) al comparar la caída total del componente hojas entre *P. densiflora* y *P. rigitaeda* no encontrando diferencias significativas (95%).

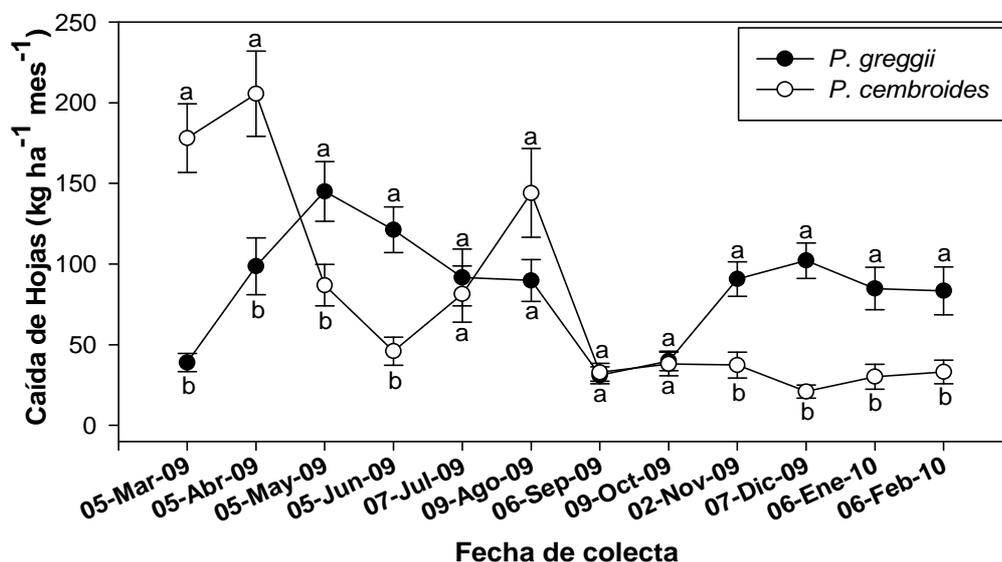


Figura 6. Caída mensual del componente hojas en las dos plantaciones de Los Lirios, Arteaga, Coahuila. Cada valor graficado representa la media (n=180) ± Error estándar. Letras distintas significan diferencias significativas entre fechas de colecta (Kruskal-Wallis, P<0.05).

En *P. greggii* se presentó un pico de caída en la colecta 3 (05-May-09) representando el 14.26% de la deposición total de hojas en *P. greggii* (Cuadro 4), en *P. cembroides* la colecta 2 (05-Abr-09) representó el pico de caída aportando el 22% de la caída total de hojas en *P. cembroides* (Cuadro 7), ambos picos de caída se presentaron en los meses de mayor ocurrencia de vientos máximos (Apéndice 5) en el área de estudio, dejando ver la fuerte correlación que existe entre la velocidad máxima del viento y deposición del componente hojas en ambas especies.

Ramas

De acuerdo a los resultados de la prueba de rangos de KW no existen diferencias significativas ($P=0.3138$) en la caída de ramas en las doce fechas de colecta entre especies, reportando caídas promedios de $1.63 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$ (Cuadro 5) y $2.19 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$ (Cuadro 8) para *P. greggii* y *P. cembroides* respectivamente. Estos resultados son equiparables a los encontrados por Jeong *et al.* (2009) al comparar plantaciones de *Pinus* no encontró diferencias significativas (95%) en la deposición total del componente ramas. Aunque difieren a los encontrados por González *et al.* (2008) en un matorral Tamaulipeco, ya que reporta diferencias significativas (95%) en tres de 24 fechas de colecta para el componente ramas.

Qué *P. greggii* haya depositado similar cantidad de ramas que *P. cembroides* aún cuando ésta última presenta mayor densidad (que a su vez provoca la presencia de poda natural), puede atribuirse a las características dasométricas superiores (diámetro de copa y altura) que presenta *P. greggii* comparadas con *P. cembroides* (Cuadro 1).

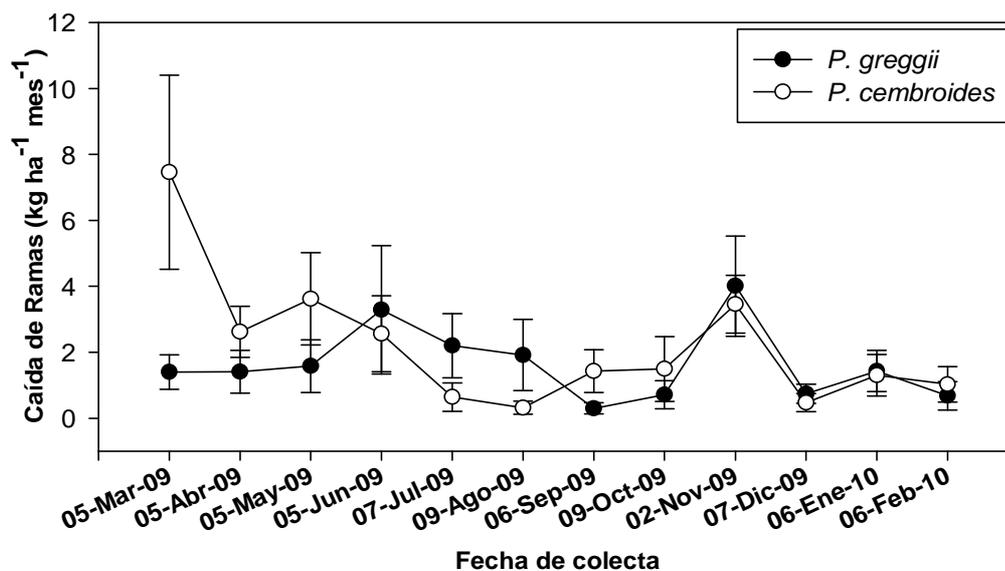


Figura 7. Caída mensual del componente ramas en las dos plantaciones de Los Lirios, Arteaga, Coahuila. Cada valor graficado representa la media (n=180) ± Error estándar.

Conos

Lo que respecta al componente conos, en cuatro de doce fechas de colecta (05-Jun-09, 09-Ago-09, 06-Sep-09, 02-nov-09) no se detectaron diferencias significativas (90%) de acuerdo a la prueba de rangos de KW, en *P. greggii* se observa un pico de caída de 8.90 kg ha⁻¹ mes⁻¹ (05-Mar-09) aportando el 24.57% de la deposición total de conos en *P. greggii*. Contrario a lo observado en *P. greggii*, en *P. cembroides* no se observaron picos de caída de conos, ya que la caída se mantiene a lo largo del periodo de estudio (Figura 8). Los resultados obtenidos para el componente conos contrasta a lo reportado por Jeong *et al.* (2009) ya que al comparar la caída total del componente conos entre dos plantaciones de *Pinus* no encontró diferencias significativas (95%). Las diferencias encontradas se deben a la caída de conos femeninos de *P. greggii* en los primeros meses de estudio (marzo y abril) ya que el componente

como incluyó conos femeninos y masculinos, lo que incrementos en la caídas de conos en *P. greggii*, aunque también se presentaron caída de conos femeninos en *P. cembroides* por su menor tamaño y peso (que los de *P. greggii*) estos no causaron aumentos significativos.

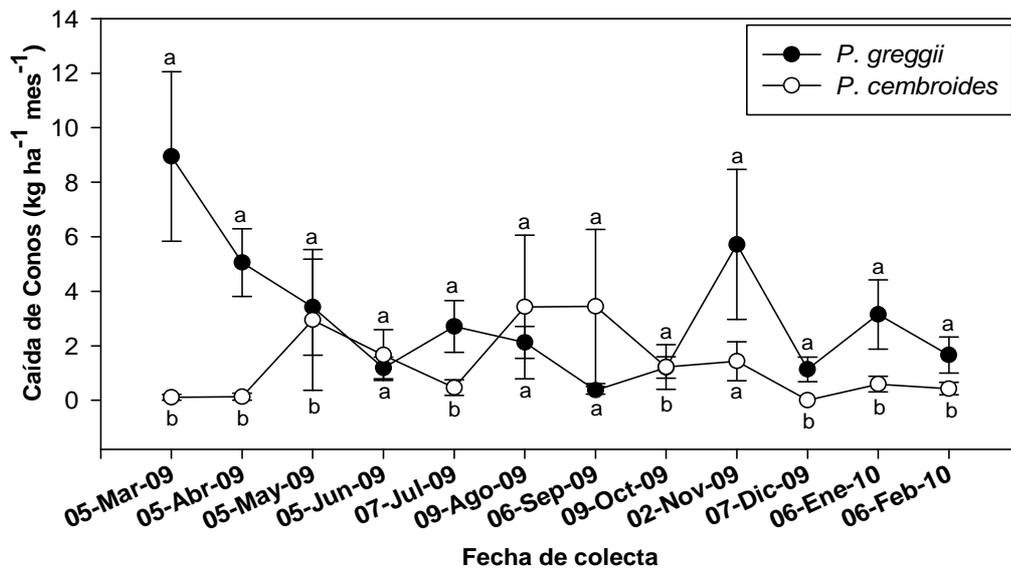


Figura 8. Caída mensual del componente conos en las dos plantaciones de Los Lirios, Arteaga, Coahuila. Cada valor graficado representa la media (n=180) ± Error estándar. Letras distintas significan diferencias significativas entre fechas de colecta (Kruskal-Wallis, P<0.05).

4.5 Retorno de carbono vía hojarasca

Arreaga (2003) realizando análisis en laboratorio con dos métodos (Nelson y Sommer y Calorimetría) encontró que el promedio de la fracción de carbono en las hojas, ramas y tocón es de 0.50. Similarmente Brown y Lugo (1984), han determinado este valor (0.50) en los componentes de la biomasa (hojas, ramas y fuste). A través de análisis químico por titulación utilizando una pequeña muestra de hojarasca y usando la solución $K_2Cr_2O_7-H_2SO_4$ y un baño de aceite

caliente, Guo *et al.* (2004) encontraron que la hojarasca está constituida por carbono aproximadamente en un 50%.

En este estudio, el retorno de carbono total a través de la hojarasca fue 536 kg ha⁻¹ año⁻¹ para *P. greggii* y 488 kg ha⁻¹ año⁻¹ en *P. cembroides*, en ambas plantaciones la mayor aportación se dio a través del componente hojas, coincidiendo con lo reportado por Liu *et al.* (2002). Los valores de retorno de C obtenidos en *P. greggii* y *P. cembroides* están por debajo de los reportados en un bosque natural de *Castanopsis kawakamii* (5,097 kg ha⁻¹ año⁻¹) y dos plantaciones de *C. kawakamii* (4,337 kg ha⁻¹ año⁻¹) y *Cunninghamia lanceolata* (2,502 kg ha⁻¹ año⁻¹) (Guo *et al.*, 2004). En bosques siempre verdes de hojas anchas (*Lithocarpus xylocarpus*) Liu *et al.* (2002) reportan para la parte con mayor densidad un retorno de C de 2,967 kg ha⁻¹año⁻¹ y 3,501 kg ha⁻¹año⁻¹ en la zona con menor densidad, ambos valores están por arriba de los reportados en las plantaciones de *P. greggii* y *P. cembroides*, estas diferencias son debido a que en los bosques se pueden encontrar diferentes especies con dimensiones mayores, con precipitaciones promedio arriba de los 1900 mm (Liu *et al.*, 2002).

4.6 Relación de la caída de hojarasca con las variables ambientales

De acuerdo a los resultados del Análisis de Componentes Principales (ACP), se encontró que la caída de hojarasca en ambas especies (*P. greggii* y *P. cembroides*) está relacionada con factores climáticos, destacando principalmente la relación de la hojarasca con la precipitación (PP), velocidad del viento máxima (VMAX), sumatoria de la temperatura mínima (STMIN) y máxima (STMAX).

El ACP muestra que en *P. greggii* existe una correlación positiva entre los componentes conos y hojas con la velocidad máxima del viento (VMAX) (Figura 9) ya que en los meses de abril y mayo (colectas 2 y 3), principalmente en este último mes se presentaron las deposiciones más altas de hojas y de conos, coincidiendo con la presencia de los vientos más fuertes del año (Apéndice, 5). Esta relación también ha sido reportada por Huber y Oyarzún (1983) en una plantación de *Pinus radiata* en donde la acción físico-mecánica especialmente de los vientos fuertes provocó mayor caída de acículas, similarmente Prause *et al.* (2003) reportan correlación positiva ($r= 0.6607$) entre la velocidad del viento y la abscisión de hojas en una selva de ribera. Con respecto al componente ramas, este presentó correlación positiva con la sumatoria de la temperatura máxima (STMAX) (Figura 9) concentrándose la mayor deposición en el mes de noviembre (colecta 9) (Cuadro 5), mes en el cual se presentaron temperaturas altas durante el periodo de estudio (Apéndice 3 y 4), deduciendo que a mayor acumulación de temperaturas máximas mayor caída del componente ramas, Sin embargo, Monedero y González (1995) encontraron que la deposición de las ramas en una selva nublada fue controlada por la precipitación; por su parte Roig *et al.* (2005) encontraron una correlación de $r= 0.6799$ (coeficiente de correlación de Pearson) de la temperatura de media con la caída de hojarasca en reforestaciones de *P. Pinaster*. La relación de la caída de hojarasca con la precipitación observada en este estudio (Figura 9 y 10) ha sido documentada en recientes estudios (Caldato *et al.*, 2010).

En *P. cembroides* los ACP (Figura 10) indican que la deposición del componente hojas muestra correlación positiva con VMAX y en menor medida con la STMAX en los meses de abril y mayo (colectas 2 y 3), ya que en estos

meses se presentaron vientos máximos (Apéndice 5) provocando la mayor caída del componente hojas ($205.54 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$) indicando que al igual que el componente hojas en *P. greggii*, en *P. cembroides* a mayor VMAX mayor caída de hojas.

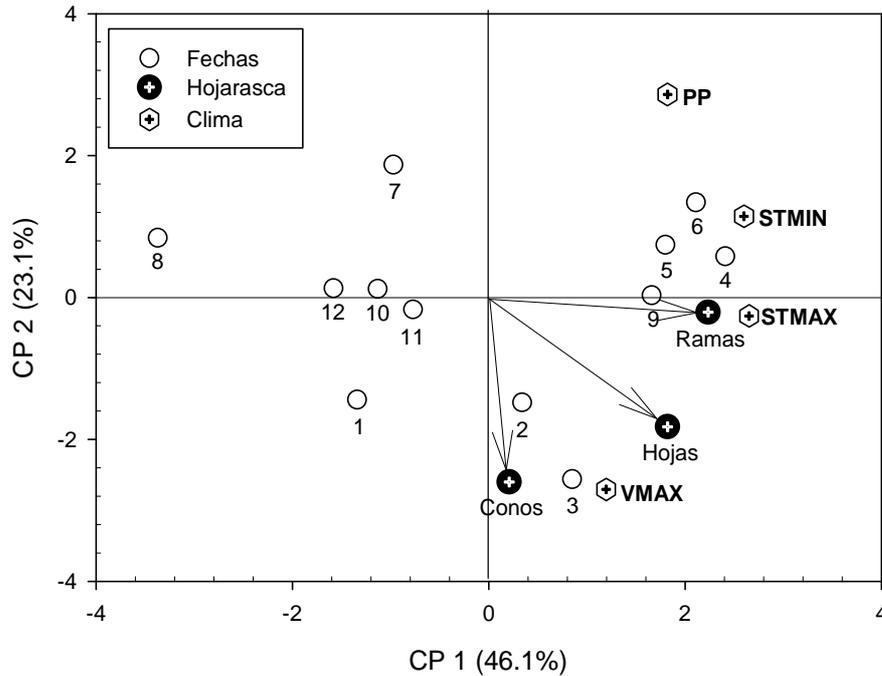


Figura 9. Relación de variables climáticas y caída de hojarasca en la plantación de *Pinus greggii* Engelm. en Los Lirios Arteaga Coahuila, obtenida mediante análisis de componentes principales.

El componente conos presenta correlación positiva con las variables STMIN y PP, y es más notoria en las colectas 4 y 5, ya que en el mes de julio se presentó la mayor deposición de conos ($3.44 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$) y en el mismo mes también se presentó la mayor STMIN y uno de los valores más altos de PP. Se observa que el componente ramas no se correlacionó con ninguna variable climática, lo único que nos indica es que en la fecha 1 se presentó la mayor caída del componente ramas ($7.46 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$) (Cuadro 8).

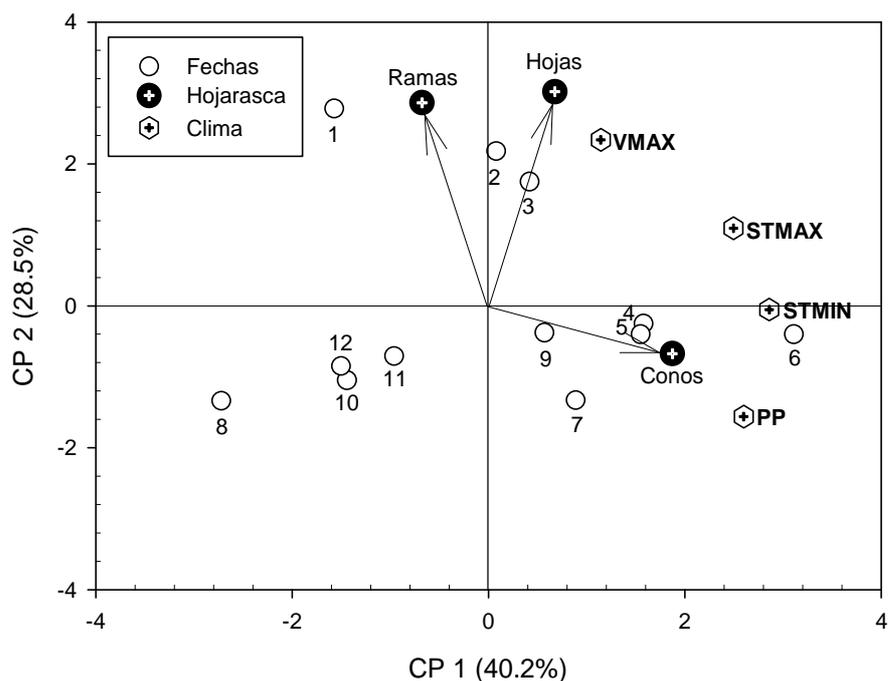


Figura 10. Relación de variables climáticas y caída de hojarasca en la plantación de *P. cembroides* Zucc. en Los Lirios Arteaga Coahuila, obtenida mediante análisis de componentes principales.

Como se puede observar (Figura 9 y 10) la PP no fue muy determinante sobre la caída de hojarasca en ambas especies, esto podría deberse a la poca presencia de lluvias en el área de estudio, ya que según Huber y Oyarzún (1983) el efecto de la lluvia sobre la caída de hojarasca es provocado principalmente por el efecto físico-mecánico de las gotas de lluvia; en el área de estudio se tiene una la precipitación media anual de 521.20 mm (estación No. 05-033, CESAVERCO).

Por todo lo anterior se podría asegurar que la velocidad máxima del viento es una de las variables climáticas que más influye en la caída de hojarasca, sin descuidar la precipitación total, sumatoria de la temperatura máxima y mínima que también son importantes, por lo que se concluye que la caída de hojarasca

es influenciada en su gran mayoría por factores climáticos extremos, y podría desempeñar el papel de indicador del cambio climático global.

4.8 Modelos para estimar los componentes de la caída de hojarasca

Usando la caída de hojarasca de los diferentes componentes ($\text{g m}^{-2} \text{mes}^{-1}$) (hojas, ramas y conos) y las variables climáticas registradas (velocidad máxima del viento (km/h), sumatoria de la temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$), sumatoria de la temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$) y la precipitación total (mm); se realizaron regresiones paso a paso para estimar la caída de hojarasca en *P. greggii* y *P. cembroides*.

En *P. greggii* los modelos generados fueron de tipo lineal (Cuadro 10) explicando en promedio el 48% de la variación total. La variable climática que explica mejor la hojarasca en hojas, ramas y conos fue STMAX; es decir, la temperatura máxima mensual acumulada; en *P. cembroides* para generar el modelo de predicción para el componente ramas fue necesario transformar los datos de PP y STMAX obteniendo logaritmos. Para los componentes hojas y conos se generaron modelos lineales, utilizando las variables VMAX y STMAX en hojas y VMIN y STMIN para conos, los tres modelos explicaron arriba del 50%; resaltando los modelos de predicción de caída del componente ramas en ambas especies ya que explicaron arriba del 64% de la variación total, todos los modelos generados son significativos a un nivel de 95% ($P < 0.0500$).

Deng y Janssens (2006) generaron modelos para predecir la caída de hojarasca LF (t/ha) a un nivel de significancia de 99% utilizando como variables regresoras la altura de los arboles H (cm) y precipitación PP (mm) generando el siguiente modelo $LF = 0.00117854 * PP + 0.00484474 * H$, explicando el 91.1% de la variación total; con densidad del arbolado PD (arb/ha) y latitud L (grados

decimales) $LF=6.42646*PD+462.14*L$, explicando el 96.1% de la variación en LF; y con diámetro a la altura del pecho DBH (cm) y precipitación PP (mm) ($LF=163.629*DBH+3.8467*PP$) con coeficiente de determinación que explica el 97.2% de la variación total.

Cuadro 10. Modelos generados para estimar la caída de los componentes de la hojarasca en *Pinus greggii* Engelm. y *Pinus cembroides* Zucc. en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

Modelo	β_0	β_1	β_2	R	R ²	Valor p
$HPg=\beta_0+\beta_1*VMAX*STMAX$	3.0137	0.000257		0.6912	0.4256	0.0128
$RPg=\beta_0+\beta_1*STMAX*STMIN+\beta_2*PP^2$	0.0742	0.000002	-0.000030	0.8127	0.6606	0.0077
$CPg=\beta_0+\beta_1*STMAX$	1.1118	-0.001407		0.6128	0.3756	0.0341
$1/HPc=\beta_0+\beta_1*VMAX*STMAX$	0.4099	-0.000009		0.6247	0.3293	0.0299
$RPc=\beta_0+\beta_1*LOGPP+\beta_2*LOGSTMAX$	-0.3101	-0.281546	0.339552	0.8008	0.6413	0.0099
$CPc=\beta_0+\beta_1*TMIN*VMAX$	-0.0324	0.000641		0.7320	0.5358	0.0068

Donde: HPg = Hojas *P. greggii* ($g\ m^{-2}\ mes^{-1}$); RPg = Ramas *P. greggii* ($g\ m^{-2}\ mes^{-1}$); CPg =Conos *P. greggii* ($g\ m^{-2}\ mes^{-1}$); $1/HPc$ = Hojas de *P. cembroides* ($g\ m^{-2}\ mes^{-1}$); RPc = Ramas *P. cembroides* ($g\ m^{-2}\ mes^{-1}$); CPc =Conos *P. cembroides* ($g\ m^{-2}\ mes^{-1}$); $VMAX$ = Velocidad máxima del viento (km/h); $STMAX$ = Sumatoria de la temperatura máxima (°C); $STMIN$ = Sumatoria de la temperatura mínima (°C); PP = Precipitación total (mm); LOG = Logaritmo; β_0, β_1 y β_2 = Parámetros de la regresión: $|R|$ = Coeficiente de correlación múltiple y R^2 = Coeficiente de determinación.

Estos modelos explican más variación que los obtenidos en el presente estudio, esto podría deberse a que Deng y Janssens (2006) utilizaron variables dasométricas (altura, diámetro a la altura del pecho, y densidad del arbolado) y latitud y quizá expliquen más que las variables climáticas, además de utilizar

datos climáticos como precipitación promedio mensual y anual y el número de días de precipitación recopilados en 20 años (1985-2004). Por su parte Dames *et al.* (1998) realizaron regresión lineal para obtener un modelo ($LF = 3.62 + 0.07 * \text{Edad en años}$) para predecir la caída de hojarasca ($t \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) utilizando como variable regresora la edad de las plantaciones, explicando el 25% ($R^2=0.25$) de la variación total a un nivel de significancia de $P \leq 0.0100$, este modelo explica mucho menor variación que los obtenidos para los componentes en *P. greggii* y *P. cembroides*. De igual forma Finér (1996) utilizando regresión lineal generó un modelo para predecir la caída de acículas ($LF \text{ Acículas} = 1.251 * \text{d.d } ^\circ\text{C}$) que explica el 99% de la variación total, utilizando como variable regresora la sumatoria de la temperatura efectiva (d.d $^\circ\text{C}$).

5 CONCLUSIONES

En conclusión, la caída de hojarasca total en las plantaciones de *P. greggii* (1,072 kg ha⁻¹ año⁻¹) con 679 árboles por ha y *P. cembroides* (976 kg ha⁻¹ año⁻¹) con 2,382 árboles por ha, estuvo por debajo del rango reportado para otros trabajos de caída de hojarasca en plantaciones del genero *Pinus*, esto podría deberse principalmente al ambiente poco favorable para el crecimiento y desarrollo de las plantaciones (precipitación promedio de 521.20 mm, suelos someros con capa de roca endurecida) que se presenta en el área donde se encuentran ubicadas.

La mayor caída (hojas y conos) de hojarasca total en *P. greggii* (96 kg ha⁻¹ año⁻¹ más que *P. cembroides*) se podría atribuir a la diferencia en crecimiento que presentan estas especies (mayor crecimiento en *P. greggii*), esto de acuerdo a lo observado en estas plantaciones, ya que *P. greggii* presenta alturas (7.73 m) y diámetros de copa (2.79 m) mayores y menor densidad que *P. cembroides* (Altura de 2.50 m, Diámetro de copa de 1.55 m) coincidiendo con lo encontrado por Domínguez *et al.* (2001) en reforestaciones con estas especies en Nuevo León, México y lo descrito por Farjon *et al.* (1997) donde *P. greggii* presenta mayores crecimientos en altura, diámetro a la altura del pecho y presenta conos más grandes que *P. cembroides*, por lo tanto está más expuesta a corrientes de aire máximas que se presentan en la zona.

Con respecto a la densidad de las especies, se podría decir que no es un factor tan determinante cuando se habla de especies diferentes, ya que *P. cembroides* aún presentando mucho mayor densidad que *P. greggii*, presentó menor caída de hojarasca total.

La producción al nivel componente confirma lo reportado por otros autores, ya que el componente que mas aportó a la caída de hojarasca fue hojas con 92% en *P. greggii* y 94% en *P. cembroides*. Al nivel temporal la mayor producción de hojarasca se presentó en primavera, sugiriendo patrones diferenciales de producción de las distintas fracciones.

En este tipo de ambiente la velocidad máxima del viento registrada en primavera fue la que determinó en mayor medida la producción de hojarasca, además de la precipitación total, sumatoria de la temperatura mínima y máxima, factores extremos del clima, por lo que se concluye que la caída de hojarasca podría desempeñar la función de indicador del cambio climático global.

6 RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar estudios en estas y otras plantaciones de la región a largo plazo para corroborar las estimaciones de producción de hojarasca realizadas en doce meses y las relaciones encontradas con la velocidad máxima del viento.

Comparar la caída de hojarasca en plantaciones de la misma especie y con diferentes edades, además de relacionar la caída de hojarasca con la humedad relativa.

7 LITERATURA CITADA

- Arreaga G W E (2003)** Almacenamiento de carbono en bosques con manejo forestal sostenible de la Reserva de la Biosfera Maya Péten, Guatemala. Tesis de maestría. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Programa de Enseñanza para el Desarrollo y Conservación, Escuela de Posgrado, CATIE, Turrialba Costa Rica. 73 p.
- 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 (Eds) Center for International Forestry Research, Bogor, Indonesia. pp 23-29.
- Bertasso B M S, D Prieto T, F C Peral, C A R Tamburi, R Caseri, R Berazaín I (2003)** Producción de hojarasca en un bosque semideciduo estacional en São Pedro, Potirendaba, estado de São Paulo, Brasil. *Revista del Jardín Botánico Nacional* 24: 173-176.
- Bray J R, E Gorham (1964)** Litter production in forest of the world. *Advances in Ecological Research* 2:101-157.
- Brown S, A E Lugo (1984)** Biomass of tropical forests: A new estimate based on forest volumes. *Science* 223: 1290-1293.
- Bruijnzeel L A (1985)** Nutrient content of litterfall in coniferous forest plantations in Central Java, Indonesia. *Journal of Tropical Ecology* 1: 353-372.

- Bubb K A, Z H Xu, J A Simpson, P G Saffigna (1998)** Some nutrient dynamics associated with litterfall and litter decomposition in hoop pine plantations of southeast Queensland, Australia. *Forest Ecology and Management* 110: 343-352.
- 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.
- Cervantes Z Y, S L Cornejo O, R Lucero M, J M Espinoza R, E Miranda V, A Pineda V (1990)** "Clasificación de Regiones Naturales de México II", IV.10.2. Atlas Nacional de México. Vol. II. Instituto de Geografía, UNAM. Escala 1:4 000 000. México.
- CETENAL (1976)** Carta Geológica. San Antonio de las Alazanas. G14 C35. Escala 1:50,000. México.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (1998).** Cuencas Hidrológicas. Escala 1:250 000. México.
- Cromer R N, D Tompkins, N J Barr, E R Williams, H T L Stewart (1984)** Litter-Fall In a *Pinus radiata* forest: The effect of irrigation and fertilizer treatments. *Journal of Applied Ecology* 21: 313-326.
- Dames J, M C Scholes, C J Straker (1998)** Litter production and accumulation in *Pinus patula* plantations of the Mpumalanga Province, South Africa. *Plant and 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.*
- Di Stefano J F, Fournier L A (2005)** Caída de hojarasca y tasas de descomposición de las hojas de *Vochysia guatemalensis* en una plantación de 10 años, Tabarcia de Mora, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 29: 9-16.
- Dixon R K, S Brown, R A Houghton, A M Solomon, M C Trexler, J Wisniewski J (1994)** Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science* 263: 185 190.
- Domínguez C P A, J J Návar C, 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.
- Dvorak W S, J E Kietzka, J K Donahue, G R Hodge, T K Stanger (2000)** *Pinus greggii*: *In: Conservation & Testing of Tropical & Subtropical Forest Tree Species by the CAMCORE Cooperative. Central America & México Coniferous Resources Cooperative, North Carolina State University, Raleigh, NC. pp. 52-73.*
- 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. *Forest Ecology and Management* 80: 1-11.

- Galicia L, F García O, R Murillo, M Oliva (2002)** Flujos de C, N y P al suelo de dos especies de árboles remanentes en una pradera tropical estacional. *Acta Botánica Mexicana* 61: 41-57.
- García E (1987)** Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen, para adaptarla a las condiciones de la República Mexicana. UNAM. México. 113 p.
- García G R, A Gómez, J López U, J Vargas H, W R Horwath (2004)** Tree growth and $\delta^{13}\text{C}$ among populations of *Pinus greggii* Engelm. at two contrasting sites in central Mexico. *Forest Ecology and Management* 198: 237-247.
- 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 thorscrub, Northeastern Mexico. *International Journal of Agriculture Environment and Biotechnology* 1: 177-181.
- Gunadi B (1992)** Litterfall, liter turnover and soil respiration and respiration in two pine forest plantation in Central Java Indonesia. *Journal of Tropical Forest Science* 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. *Forestry Studies in China* 6: 33-36.
- Gutiérrez V B N (2008)** Diseño de dos huertos semilleros de *Pinus greggii* Engelm. y su vulnerabilidad a la cavitación en Arteaga, Coahuila.

Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
Buenavista, Saltillo. Coahuila. 44 p.

Huber J A, C Oyarzún C (1983) Producción de hojarasca y sus relaciones con factores meteorológico en un bosque de *Pinus radiata* (D.DON.). Bosque 1: 1-11.

Instituto Nacional de investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP)-Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (1995) Mapa edafológico. Escalas 1:250, 000 y 1:1, 000,000. México.

Jandl R (2001) Medición de tendencias en el tiempo del almacenamiento de carbono del suelo *In*: Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales del 18 al 20 de Octubre del 2001. Valdivia, Chile. 12 pp.

Jeong J, C Kim, Hyun-Chul A, Hyun-Seo C, Gap-Chul C (2009) A comparison of litterfall dynamics in three coniferous plantations of identical age under similar site conditions. *Journal of Ecology and Field Biology* 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. *Forest Ecology and Management* 144:113-127.

Kruskal W H, W A Wallis (1952) Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association.* 47: 583-621.

- Kumar D A, P S Ramakrishnan (1985)** Litter dynamics in khasi pine (*Pinus kesiya* Royle ex Gordon) of North-Eastern India. *Forest Ecology and Management* 10: 135-153.
- Lapeyre T, J Alegre, L Arévalo (2004)** Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú. *Ecología Aplicada* 3: 35-44.
- 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.
- Liu L, King J S, Giardina C P (2005)** Effects of elevated concentrations of atmospheric CO₂ and tropospheric O₃ on leaf litter production and chemistry in trembling aspen and paper birch communities. *Tree Physiology* 25: 1511-1522.
- Liu W, J E D Fox, Z Xu (2002)** Litterfall and nutrient dynamics in montane evergreen broad-leaved forest (*Lithocarpus xylocarpus* type) in Ailao Mountains, SW China. *Forest Ecology and Management* 158: 223-235.
- May D J, K T Killingbeck (1992)** Effects of preventing nutrient resorption on plant fitness and foliar nutrient dynamics. *Ecology* 73: 1868-1878.
- Monedero C, V González (1995)** Producción de hojarasca y descomposición en una selva nublada del ramal interior de la cordillera de la costa, Venezuela. *Ecotropicos* 8: 1-14.
- Morales L P (2002)** Supervivencia, crecimiento, arquitectura de copa y características estomáticas en tres procedencias de *Pinus cembroides* Zucc. en el CAESA, Arteaga, Coah. Tesis de

Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo. Coahuila. 79 p.

Nájera L J A, Hernández H E (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 Forestal en México* 34: 89-106.

Njoukam R, R Oliver, R Peltier (1999) Restitution minérale au sol par la litière dans les plantations de *Pinus kesiya* Royle ex-Gordon dans l'ouest du Cameroun. *Annals Forest Science* 56: 431-439.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) (2007) IUSS Grupo de Trabajo WRB. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO, Roma. 117 p.

Orihuela B D E, C Tovilla H, H F M Vester, T Álvarez L (2004) Flujo de materia en un manglar de la costa de Chiapas, México. *Madera y Bosques* 2: 45-61.

Ostertag R, E Marín S, W L Silver, J Schulten (2008) Litterfall and decomposition in relation to soil carbon pools along a secondary forest chronosequence in Puerto Rico. *Ecosystems* 11: 701-714.

Pacheco E F C, A Aldrete, A Gómez G, A M Fierros G, V M Cetina A, H Vaquera H (2007) Almacenamiento de carbono en la biomasa aérea de una plantación joven de *Pinus greggii* Engelm. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30: 251-254.

Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (PICC) (2001) Cambio climático 2001, Grupo de trabajo I: Bases científicas. PICC. Ginebra, Suiza. 184 p.

Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (PICC) (2007) Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)], Ginebra, Suiza, 104 p.

Pavón N P, O Briones, J Flores R (2005) Litterfall production and nitrogen content in an intertropical semi-arid Mexican scrub. *Journal of Arid Environments* 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 cuatro especies forestales nativas del parque Chaqueño húmedo (Argentina). *Revista de Ciencias Forestales Quebracho* 10: 39-45.

Proctor J, J M Anderson, S C L Fogden, H W Vallack (1983) Litter standing crop and preliminary observations on herbivory: *In: Ecological Studies in Four Contrasting Lowland Rain Forests in Gunung Mulu National Park.* *Journal of Ecology* 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. *Revista Institucional Universidad Tecnológica del Chocó D.L.C 26*: 28-41.
- Ramírez H C, J J Vargas H, J López U (2005)** Distribución y conservación de las poblaciones de *Pinus greggii*. *Acta Botánica Mexicana 72*:1-16.
- Roig S, M del Río, I Cañellas, G Montero (2005)** Litter fall in Mediterranean *Pinus pinaster* Ait. stands under different thinning regimes. *Forest Ecology and Management 206*: 179-190.
- Rzedowski J (1978)** Bosque de coníferas: *In*: Vegetación de México. Rzedowski J (Eds). Limusa, México. pp: 295-327.
- Salazar I S (2008)** Estudio de procesos ecológicos para el desarrollo sostenible del castaño (*Castanea sativa* Mill.) de la sierra de Francia. Tesis doctoral. Universidad de Salamanca. 340 p.
- SAS® Software Inc (1989) Statistical Analysis System SAS/STAT User's Guide.** Version 9.1, Cary, N.C.
- Sayer E J, Powers J S, Tanner E V J (2007)** Increased litterfall in tropical forests boosts the transfer of soil CO₂ to the atmosphere. *PLoS ONE 12*: 1-6.
- Schlesinger W H, E S Bernhardt, E H DeLucia, D S Ellsworth, A C Finzi, G R Hendrey, K S Hofmockel, J Lichter, R Matamala, D Moore, R Oren, J S Pippenan, R B Thomas (2006)** The duke forest FACE experiment: CO₂ enrichment of a loblolly pine forest: *In*: Managed Ecosystems and CO₂. J Nösberger, Stephen P L, R J Norby, M Stitt,

G R Hendrey, H Blum (Eds). Academic Press, San Diego, CA. USA.
Ecological Studies 187: 107-212.

Theodorou C, G D Bowen (1990) Effects of fertilizer on litterfall and N and P release from decomposing litter in a *Pinus radiata* plantation. Forest Ecology and Management 32: 87-102.

Vargas P L, A Varela (2007) Producción de hojarasca de un bosque de niebla en la reserva natural la planada (Nariño, Colombia).Revista de la Facultad de Ciencias 12:35-49.

Wang Q, Xu X, Eiji H (2004) Effects of site condition on litterfall and related nutrient return in *Pinus luchuensis* plantations. The Journal Applied Ecology. 15: 1121-5.

Wright J A, A DiNicola, E Gaitan (2000) Latin American forest plantations: opportunities for carbon sequestration, economics development, and financial returns. Journal of Forestry 98: 20-23.

Xu X N, E Hirata (2002) Forest floor mass and litterfall in *Pinus luchuensis* plantations with and without broad-leaved trees. Forest Ecology and Management 157:165-173.

Yang Y S, J F Guo, G S Chen, J S Xie, L P Cai, P Lin (2004) Litterfall, nutrient return, and leaf-litter decomposition in four plantations compared with a natural forest in subtropical China. Annals Forest Science 61: 465-476.

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. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín 60: 3371-3784.
- Zhi-an L, Zou bi, X Han-ping, R Hai, J Mo, W Hong, T Meng-zhao (2005)** Litterfall dynamics of evergreen broadleaf forest and pine forest in the subtropical region of China. Forest Science 51: 608-615.
- Zhou G, L Guam, X Wei, D Zhang, Q Zhang, J Yan, D Wen, J Liu, S Liu, Z Huang, G Kong, J Mo, A Yu (2007)** Litterfall production along successional and altitudinal gradients of subtropical monsoon evergreen broadleaved forest in Guangdong, China. Plant Ecology 188: 77-89.

8 APÉNDICE

Apéndice 1. Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis (95%) para detectar diferencias significativas en la caída de hojas, ramas y conos entre fechas de colecta en *P. greggii* y *P. cembroides* en Los Lirios, Arteaga Coahuila

Fecha de colecta	Componentes de la Hojarasca	Kruskal-Wallis				
		χ^2	gl	Valor P	Rangos de KW	
					<i>P. greggii</i>	<i>P. cembroides</i>
05-Mar-09	Hojas	18.787	1	<.0001	8.53	22.47
	Ramas	2.761	1	0.0966	12.67	18.13
	Conos	15.009	1	0.0001	21.13	9.87
05-Abr-09	Hojas	9.043	1	0.0026	10.67	20.33
	Ramas	2.920	1	0.0874	12.87	18.13
	Conos	17.925	1	<.0001	21.77	9.23
05-May-09	Hojas	5.205	1	0.0225	19.17	11.83
	Ramas	1.278	1	0.2582	13.80	17.20
	Conos	5.049	1	0.0246	18.77	12.23
05-Jun-09	Hojas	13.781	1	0.0002	21.47	9.53
	Ramas	0.315	1	0.5741	14.70	16.30
	Conos	1.315	1	0.2513	17.27	13.73
07-Jul-09	Hojas	0.247	1	0.6186	16.30	14.70
	Ramas	2.580	1	0.1082	17.67	13.33
	Conos	6.246	1	0.0124	19.13	11.87
09-Ago-09	Hojas	2.237	1	0.1347	13.10	17.90
	Ramas	0.8698	1	0.3510	16.67	14.33
	Conos	3.0736	1	0.0796	18.20	12.80
06-Sep-09	Hojas	0.0759	1	0.7829	15.07	15.93
	Ramas	0.570	1	0.4500	14.60	16.40
	Conos	0.159	1	0.6894	16.00	15.00
09-Oct-09	Hojas	0.346	1	0.5559	16.43	14.57
	Ramas	0.147	1	0.7012	15.00	16.00
	Conos	4.388	1	0.0362	18.60	12.40
02-Nov-09	Hojas	11.427	1	0.0007	20.93	10.07
	Ramas	0.174	1	0.6764	14.83	16.17
	Conos	2.251	1	0.1335	17.83	13.17
07-Dic-09	Hojas	19.881	1	<.0001	22.67	8.33
	Ramas	1.263	1	0.2609	17.13	13.87
	Conos	10.224	1	0.0014	19.50	11.50
	Hojas	10.336	1	0.0013	20.67	10.33

Kruskal-Wallis						
Fecha de colecta	Componentes de la Hojarasca	χ^2	gl	Valor P	Rangos de KW	
					<i>P. greggii</i>	<i>P. cembroides</i>
06-Ene-10	Ramas	0.000	1	1.0000	15.50	15.50
	Conos	3.924	1	0.0476	18.43	12.57
06-Feb-10	Hojas	10.068	1	0.0015	20.60	10.40
	Ramas	0.254	1	0.6142	14.80	16.20
	Conos	7.810	1	0.0052	19.70	11.30

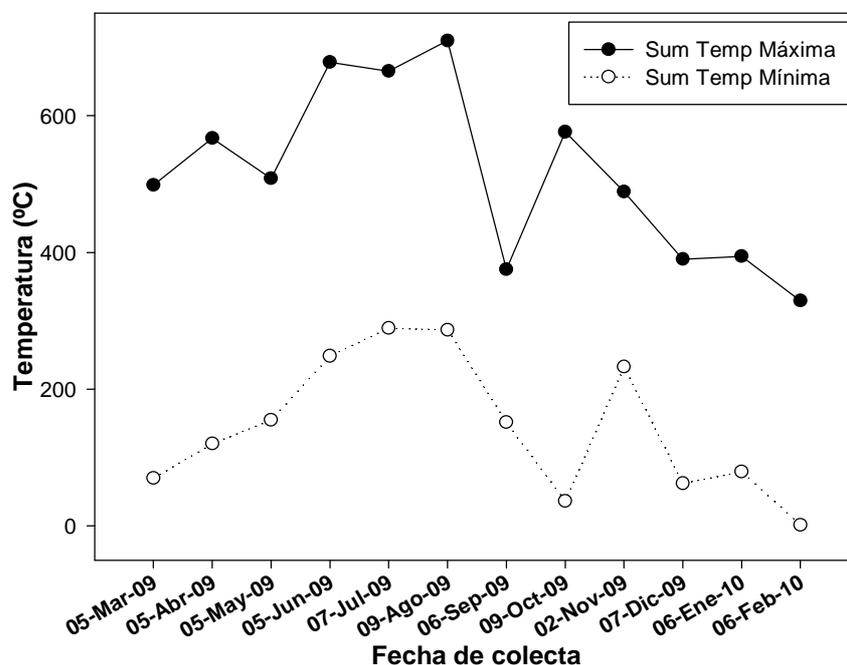
Valores P en negritas ($P < .05$) indican que hay diferencia significativa

Apéndice 2. Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis (95%) para detectar diferencias significativas en la caída de hojarasca total mensual entre plantaciones de Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

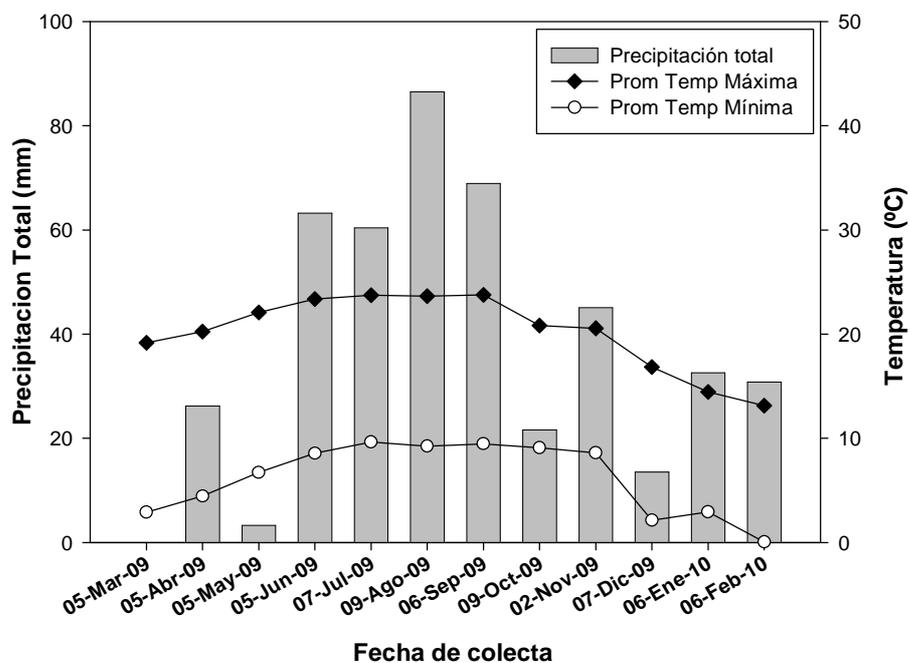
Fecha de colecta	Kruskal-Wallis			Rangos de KW	
	χ^2	gl	Valor P	<i>P. greggii</i>	<i>P. cembroides</i>
05-Mar-09	17,3768	1	<.0001	8,80	22,20
05-Abr-09	7,8387	1	0,0051	11,00	20,00
09-May-09	4,5630	1	0,0327	18,93	12,07
05-Jun-09	11,9953	1	0,0005	21,07	9,93
07-Jul-09	0,4405	1	0,5069	16,57	14,43
09-Ago-09	2,1085	1	0,1465	13,17	17,83
06-Sep-09	0,1401	1	0,7081	14,90	16,10
09-Oct-09	0,2087	1	0,6478	16,23	14,77
02-Nov-09	10,8735	1	0,0010	20,80	10,20
07-Dic-09	19,8861	1	<.0001	22,67	8,33
06-Ene-10	11,1488	1	0,0008	20,87	10,13
06-Feb-10	10,0684	1	0,0015	20,60	10,40

Valores P en negritas ($P < .05$) indican que hay diferencia significativa

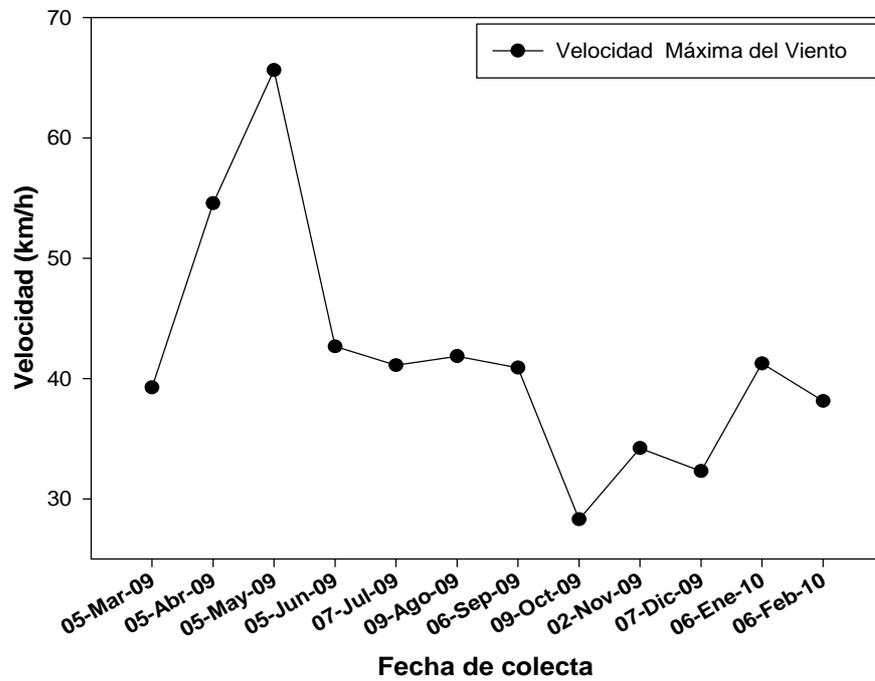
Apéndice 3. Sumatoria de la temperatura máxima y mínima reportada durante el periodo de estudio en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.



Apéndice 4. Temperatura mínima, máxima y precipitación total reportada durante el periodo de estudio en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.



Apéndice 5. Velocidad máxima del viento reportada durante el periodo de estudio en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.



Apéndice 6. Construcción de las trampas colectoras.

