

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL



Dinámica de la caída de hojarasca y deposición de carbono en un bosque natural de *Pinus cembroides* Zucc., en Arteaga, Coahuila

Por:

SANTIAGO AVELARDO REYES CARRERA

TESIS

Presentada como requisito parcial para

obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México

Junio 2010

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

Dinámica de la caída de hojarasca y deposición de carbono en un bosque natural de *Pinus cembroides* Zucc., en Arteaga, Coahuila

Por:

SANTIAGO AVELARDO REYES CARRERA

TESIS

Presentada como requisito parcial para

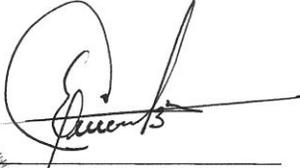
obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL


Asesor Principal
Dr. Jorge Méndez González

Aprobada


Coordinador de la División de Agronomía
Dr. Mario Ernesto Vázquez Badillo
Coordinación
División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Junio 2010

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

Dinámica de la caída de hojarasca y deposición de carbono en un bosque natural de *Pinus cembroides* Zucc., en Arteaga, Coahuila

Por:

SANTIAGO AVELARDO REYES CARRERA

TESIS PROFESIONAL

Aprobada

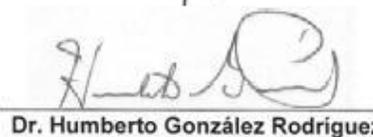
Asesor Principal


Dr. Jorge Méndez González

Asesor


Dr. Eladio H. Cornejo Oviedo

Asesor


Dr. Humberto González Rodríguez

Saltillo, Coahuila, México

Junio 2010

El presente trabajo forma parte del proyecto de investigación titulado “Retorno de carbono y dinámica de la caída de hojarasca en dos plantaciones de *Pinus greggii* englem. y *Pinus cembroides* Zucc., en Arteaga, Coahuila” de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, con clave 02-03-0207-2193, a cargo del Dr. Jorge Méndez González.

DEDICATORIA

A mis padres: **Sra. Catalina Carrera Tapia y Sr. Juvencio Reyes Reyes**, por ser mis tesoros más preciados de este mundo, por darme la vida, su cariño y amor y sobre todo su apoyo incondicional cuando yo más lo necesitaba durante mi formación profesional y por todas las cosas que me han enseñado para salir adelante ¡gracias!.

A mi abuelita: **Sra. Antonia Tapia Santiago**, que considero mi otro tesoro más valioso que dios me ha dado, por brindarme tu cariño y amor de madre en los momentos cuando más lo necesitaba y por esos buenos consejos que me has dado, por ello te doy mil gracias.

A mis abuelitos paternos: Sra. Guadalupe Reyes y Leobardo Reyes por brindarme su cariño y amor sin ninguna condición, los quiero.

A mis hermanos: **Rubén y Pedro Antonio**, por la gran amistad que nos une y porque siempre permanezcamos juntos como hasta ahora.

A mis padrinos: **Sra. María Carrera Tapia y Sr. Florentino Vázquez Silva**, por su gran cariño y amor y por darme siempre ánimos de superación en la vida.

A mi novia: **Blanca Estela Velasco Avendaño** que me ha brindado su compañía, cariño, amor y apoyo incondicional.

A mis ahijadas: **Lucero, Blanca** y mis pequeñitas **Lupita y Dulce**, por ser una de mis razones más importantes de querer superarme en la vida, las adoro.

A mis **tíos y tías** por todas las muestras de apoyo moral que me han brindado, muchas gracias.

A mis **primos** en general por la amistad incondicional que nos une.

A mis **amigos**: Marcelino, Andrés, Oscar, Benito, Vicente, Felipe, Salvador, Carlos, José Isabel, Bernardo, Alejandro, Luis Alejandro, Eddy, Edilberto, Floriberto, Juan, y a todos mis compañeros de la generación CVIII que de una u otra forma me brindaron su amistad durante mi estancia en esta Universidad.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por permitirme la existencia en este mundo, por darme fuerzas y voluntad para seguir de frente y luchar por ser cada día mejor y un hombre de bien.

Agradezco infinitamente a mi *Alma Mater* la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, quien me brindó la oportunidad día con día de superarme y alcanzar el deseo más grande de mi vida que es formarme como profesionista, y por haber obtenido las herramientas necesarias para ser un hombre de bien.

A todos los miembros del Departamento forestal, por brindarme su apoyo y conocimientos durante mi formación profesional.

De manera especial:

Al Dr. Jorge Méndez González, por preocuparse hacer de sus tesis profesionales de calidad por los comentarios y sugerencias constructivas que me ayudaron a construir nuevos conocimientos y por hacer de este trabajo una importante investigación.

Al Dr. Eladio Cornejo Oviedo por dedicarle tiempo en la revisión de este trabajo, sus consejos y su valiosas aportación al documento.

Al Dr. Humberto González Rodríguez asesor externo de esta investigación, por su buena participación en formar parte del comité de esta tesis, por la revisión final del escrito y por sus valiosas sugerencias que sirvieron para enriquecer aun mas este trabajo.

A mis compañeros de la generación CVIII: José Isabel, Bernardo, Alejandro, Luis Alejandro, Edilberto por su apoyo en la realización de los trabajos de campo.

También quiero agradecer a de manera especial a mis amigos: José Isabel, Salvador, Alejandro y a mi novia Blanca por brindarme su apoyo en la separación y pesado de las muestras en laboratorio.

Agradezco también al departamento forestal por brindarme los equipos necesarios para la realización de este trabajo.

De la misma forma, también quiero agradecer al Ing. Noé Duran de la Peña gerente general del CESAVECO por proporcionarme los datos de clima generada durante los meses que se llevo a cabo el estudio.

A todos los profesores que forman parte del departamento forestal que me brindaron su valiosa enseñanza y apoyo académico ¡gracias!.

Contenido

| | Página |
|--|--------|
| Índice de Cuadros | III |
| Índice de Figuras..... | IV |
| Índice de anexos | V |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1 OBJETIVO GENERAL | 3 |
| 1.2 HIPÓTESIS | 3 |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA | 4 |
| 2.1 La hojarasca y el cambio climático..... | 4 |
| 2.2 Ciclo del carbono | 5 |
| 2.3 Caída e importancia de la hojarasca..... | 6 |
| 2.4 Factores que influyen en la caída de hojarasca | 8 |
| 2.4.1 Factores biológicos | 8 |
| 2.4.2 Factores climáticos..... | 8 |
| 2.4.3 Factores fisiográficos..... | 9 |
| 2.4.4 Variabilidad estacional..... | 10 |
| 2.5 Descripción de la especie de estudio | 10 |
| 2.5.1 <i>Pinus cembroides</i> Zucc. (Pino piñonero) | 10 |
| 2.6 Estudios afines sobre la producción de hojarasca | 11 |
| 2.6.1 Caída de hojarasca en Bosques de coníferas | 11 |
| 2.6.2 Caída de hojarasca en bosques de <i>Pinus cembroides</i> Zucc..... | 16 |
| 2.6.3 Caída de hojarasca en bosques tropicales | 16 |
| III. MATERIALES Y MÉTODOS | 18 |

| | |
|---|----|
| 3.1. Características físicas y biológicas del área de estudio | 18 |
| 3.2. Metodología | 20 |
| 3.2.1 Selección del sitio de estudio | 20 |
| 3.2.2 Tamaño y forma de los colectores..... | 20 |
| 3.2.3 Número de colectores | 21 |
| 3.2.4 Construcción de colectores | 21 |
| 3.2.5 Distribución de los colectores | 21 |
| 3.2.6 Colecta de hojarasca..... | 22 |
| 3.2.7 Trabajos de laboratorio..... | 22 |
| 3.3 Contenido de carbono en hojarasca | 23 |
| 3.4 Análisis estadístico | 23 |
| 3.4.1 Deposición de hojarasca | 23 |
| 3.4.2 Acumulación de hojarasca | 24 |
| 3.4.3 Relación hojarasca-variables climáticas | 25 |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 26 |
| 4.1 Pruebas de normalidad de los componentes, de colecta y general..... | 26 |
| 4.2 Porcentaje de los componentes en la producción de hojarasca..... | 27 |
| 4.3 Acumulación de hojarasca total y contenido de carbono..... | 29 |
| 4.4 Deposición mensual de hojarasca | 33 |
| 4.5 Relación de la hojarasca con los factores ambientales | 38 |
| V. CONCLUSIONES | 43 |
| VI. RECOMENDACIONES | 44 |
| VII. LITERATURA CITADA..... | 45 |
| ANEXOS | 54 |

Índice de Cuadros

| | Página |
|--|--------|
| Cuadro 1. Características de la composición florística del área de estudio. | 19 |
| Cuadro 2. Pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov ($P \leq 0.05$) a nivel general por componente de hojarasca en un bosque de <i>Pinus cembroides</i> Zucc., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila..... | 27 |
| Cuadro 3. Parámetros y estadísticos de regresión para cada uno componente de la hojarasca aplicando el modelo logístico, para un bosque natural de <i>Pinus cembroides</i> Zucc., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila. | 29 |
| Cuadro 4. Valores de la R^2 ajustada para cada uno de los componentes principales de la hojarasca en un bosque natural de <i>Pinus cembroides</i> Zucc., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila..... | 41 |

Índice de Figuras

| | Página |
|---|--------|
| Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio..... | 18 |
| Figura 2. Panorámica del área de estudio..... | 20 |
| Figura 3. Forma y distribución de los colectores en un bosque de <i>Pinus cembroides</i> Zucc. ubicado en Los Lirios, Arteaga, Coahuila. | 22 |
| Figura 4. Variación porcentual de los componentes de hojarasca en un bosque de <i>Pinus cembroides</i> Zucc., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila..... | 28 |
| Figura 5. Acumulación de hojarasca y carbono (kg ha^{-1}) por componente: hojas Pino (HP), hojosa <i>Rhus virens</i> (HR) y hojas <i>Tillandsia</i> (HT), en un bosque de <i>Pinus cembroides</i> Zucc., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila..... | 30 |
| Figura 6. Acumulación de hojarasca y carbono (kg ha^{-1}) por componente: ramas (RM), corteza (CT), otros (OT), en un bosque de <i>Pinus cembroides</i> Zucc., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila..... | 31 |
| Figura 7. Acumulación de hojarasca y carbono (kg ha^{-1}) para componentes: conos (CO) y semillas (SE), en un bosque de <i>Pinus cembroides</i> Zucc., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila. | 32 |
| Figura 8. Deposición mensual de hojarasca por componente de hojas Pino (HP), hojosa <i>Rhus virens</i> (HR), hojas <i>Tillandsia</i> (HT) y hojas <i>Juniperus</i> (HJ), en un bosque de <i>Pinus cembroides</i> Zucc., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila..... | 34 |
| Figura 9. Deposición mensual de hojarasca por componente de ramas (RM), corteza (CT) y otros (OT), en un bosque de <i>Pinus cembroides</i> Zucc., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila. | 36 |
| Figura 10. Deposición mensual de hojarasca por componente de conos (CO) y semillas (SE), en un bosque de <i>Pinus cembroides</i> Zucc., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila..... | 37 |
| Figura 11. Análisis de los componentes principales de la hojarasca, factores ambientales y colectas, en un bosque de <i>Pinus cembroides</i> Zucc., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila. | 40 |
| Figura 12. Relación de la hojarasca y variables climáticas, en un bosque de <i>Pinus cembroides</i> Zucc., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila..... | 42 |

Índice de anexos

| | Página |
|--|--------|
| Anexo 1. Pruebas de normalidad por componente de hojarasca en un bosque de <i>Pinus cembroides</i> Zucc., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila..... | 54 |
| Anexo 2. Promedio de los valores porcentuales de cada uno de los componentes de diez colectas en un bosque de <i>Pinus cembroides</i> Zucc., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila..... | 57 |
| Anexo 3. Grupo 1: Pruebas de Kruskal Wallis de hojas de Pino (HP), hojosa de <i>Rhus virens</i> (HR), hojas de <i>Tillandsia recurvata</i> (HT) y hojas <i>Juníperus deppeana</i> (HJ). | 58 |
| Anexo 4. Grupo 1: Pruebas de medias de rango de Kruskal Wallis para componentes de hojas de pino (HP), hojas de <i>Rhus virens</i> (HR), hojas <i>Tillandsia</i> (HT) y hojas <i>Juníperus</i> (HJ). | 60 |
| Anexo 5. Grupo 2: Pruebas de Kruskal Wallis para componentes de Ramas (RM), Corteza (CT) y de Otros (material no identificado) (OT)..... | 61 |
| Anexo 6. Grupo 2: Pruebas de medias de rango de Kruskal Wallis para componentes de Ramas (RM, Corteza (CT) y de Otros (material no identificado) (OT)..... | 63 |
| Anexo 7. Grupo 3: Pruebas de Kruskal Wallis para componentes de Conos (CO) y semillas (SE)..... | 64 |
| Anexo 8. Grupo 3: Pruebas de medias de rangos de Kruskal Wallis para componentes de Conos (Co) y Semillas (Se). | 65 |

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo cuantificar la producción de hojarasca y deposición de carbono en un fragmento de bosque natural de *Pinus cembroides* Zucc. en Los Lirios, municipio de Arteaga, Coahuila, y medir la asociación con variables climáticas. El área se ubica en una porción de la Sierra Madre Oriental conformada de un bosque natural de *Pinus cembroides* Zucc., en donde se establecieron 40 colectores de hojarasca de 1 m² distribuidos sistemáticamente en una hectárea durante un periodo de diez meses (del 31/03/2009 al 6/02/2010). La colecta de hojarasca se realizó mensualmente y se clasificaron en hojas de pino (HP), hojosa (HR), *Tillandsia* (HT), *Juniperus* (HJ), corteza (CT), ramas (RM), conos (CO), semillas (SE) y de otros (OT). Después los datos se sometieron a un análisis no paramétrica de acuerdo a la prueba estadística de Kruskal Wallis para detectar diferencias entre colectas. La influencia de las variables climáticas con la deposición de de hojarasca se evaluó mediante análisis de componentes principales. Los resultados indican que los valores más altos están representados por HP y RM con el 62.4%, mientras que el resto de los componentes representan el 37.6%, las cuales se registran especialmente durante mayo y junio el de mayor producción y los mínimos en enero y febrero. El promedio mensual de la deposición de hojarasca fue de 85.8 g m⁻².

La acumulación total de hojarasca fue de 858.35 kg ha⁻¹ siendo 429.17 kg de carbono ha⁻¹ total (equivalente a 1030.02 kg ha⁻¹ año⁻¹ y 515.01 kg de carbono ha⁻¹ año⁻¹). La mayoría de los componentes de la hojarasca se encuentran relacionados con las variables climáticas de temperatura máxima, velocidad máxima del viento y precipitación. Análisis de regresión de la hojarasca con las variables climáticas reportan ajustes de R² desde 0.23 hasta 0.83 para CT y HT, respectivamente.

Palabras claves: Hojarasca, Deposición de carbono, Bosque natural, *Pinus cembroides*, variables climáticas, Lirios, Arteaga, Coahuila.

I. INTRODUCCIÓN

Sobre un suelo forestal se van depositando diferentes materiales provenientes de distintos estratos de vegetación, como hojas, ramas, inflorescencia, frutos, cuyo conjunto se denomina hojarasca, pero en los ecosistemas forestales, la fracción más importante corresponde a las hojas (Prause *et al.* 2003).

La caída de hojarasca es uno de los más importantes procesos ecológicos en los ecosistemas forestales, que influye en la transferencia de materia orgánica, energía, ciclo del Carbono y otros nutrimentos de la vegetación al suelo (Liu *et al.* 2004). La producción de hojarasca representa un componente fundamental de la Productividad Primaria Neta (PPN) en ecosistemas arbóreos (Prause *et al.* 2003). Por tal razón, la caída de la hojarasca ha sido utilizada como una medida de la productividad primaria neta (Hernández y Murcia 1995).

Además, la caída de hojarasca pone en relación los sistemas suelo y planta, siendo la principal ruta de entrada de nutrientes minerales y materia orgánica en los ecosistemas vegetales. Una alta producción y baja tasa de descomposición de la hojarasca pueden resultar en la acumulación de hojarasca en el horizonte superficial del suelo, aumento de la biomasa y la profundidad de la hojarasca, y con ello, la acumulación de nutrientes en el horizonte superficial del suelo y limitación de nutrientes para los productores primarios (Melillo y Aber 1982).

La hojarasca presenta un proceso relacionado con la energía y el aporte de nutrientes al suelo en todos los tipos de ecosistemas terrestres, su descomposición juega un papel importante en la conservación de su productividad. Por lo tanto, la producción de hojarasca cumple con importantes funciones ecológicas en la productividad forestal, ya que influyen en la transferencia de materia orgánica (Bray y Gorham 1964, Ballard y Will 1981, Huber y Oyarzún 1984, Pérez *et al.* 2009).

Diversos estudios (Berg *et al.* 1999, Imbert *et al.* 2004) han mostrado una relación significativa entre la producción de hojarasca y las condiciones climáticas. A escala global la producción de hojarasca disminuye al aumentar la latitud, tiene

relación con los cambios de precipitación, temperatura y evapotranspiración (Bray y Gorham 1964). Además las fluctuaciones estacionales en la producción de hojarasca están reguladas fundamentalmente por procesos biológicos, aunque también son relevantes, la topografía, condiciones edáficas, especie vegetal, edad y densidad del bosque (Huber y Oyarzún 1984).

En cualquier tipo de bosque la mayor caída de hojarasca se produce anualmente durante ciertos periodos, de esta manera, el comportamiento de una especie está evidenciado por la ocurrencia de las fases fenológicas como consecuencia de los estímulos de los elementos del clima, principalmente la temperatura y la precipitación (Santa Regina 1999, Prause *et al.* 2003).

Los ecosistemas forestales contienen grandes cantidades de Carbono (C) almacenado en biomasa viva, muerta y en el suelo (Post *et al.* 1982, Ordóñez y Maser 2001). Los principales almacenes de Carbono en los ecosistemas forestales se encuentran fraccionado en cuatro componentes: biomasa sobre el suelo (vegetación), hojarasca, sistema radicular y Carbono orgánico del suelo (Snowdon *et al.* 2001).

Como se mencionó anteriormente, las estimaciones precisas de PPN constituyen la base fundamental para el entendimiento referente a la capacidad de almacenamiento de biomasa en los ecosistemas; además, son importantes por su relación directa con el incremento de CO₂ atmosférico, debido al papel que tienen los bosques como sumideros y reservorios de carbono (Granados y Corner 2004). Una de las formas más sencillas y económicas de medir la PPN en los ecosistemas terrestres es a través de la producción de hojarasca (Vargas y Varela 2007).

En México, el *Pinus cembroides* Zucc., es la especie principal de piñoneros, por la amplitud de distribución geográfica sobre el altiplano del norte y centro del país y por su importancia económica (Luna *et al.* 2008). En la región Sureste del estado de Coahuila, los bosques de *Pinus cembroides* Zucc., se distribuyen ampliamente y su caracterización en cuanto a sus existencias volumétricas tiene relevancia ecológica y económica para la región (Navarro *et al.* 2000).

En la Sierra de Arteaga, Coahuila, el estudio sobre la caída de hojarasca y deposición de carbono en bosques de *Pinus cembroides* Zucc., es limitado y constituye un elemento esencial para la conservación de los bosques, ya que es posible estimar con ella una parte de la PPN en el almacenamiento de hojarasca; además, estos tipos de estudios son importantes debido al papel que desempeñan los bosques como sumideros y reservorios de Carbono. Por tal motivo, se estableció como objetivos para este estudio lo siguiente:

1.1 OBJETIVO GENERAL

Caracterizar y cuantificar la producción de hojarasca y su contenido de carbono mensual y total; además su relación con factores ambientales en un bosque natural de *Pinus cembroides* Zucc., en Los Lirios Arteaga Coahuila.

1.2 HIPÓTESIS

Ho: Las tasas de deposición de hojarasca y montos de Carbono al suelo, son similares a través del tiempo (mes) y son dependientes de los factores climáticos locales.

Ha: Las tasas de deposición de hojarasca y montos de Carbono al suelo, no son similares a través del tiempo (mes) y no son dependientes de los factores climáticos locales.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 La hojarasca y el cambio climático

El cambio climático global, es uno de los problemas ecológicos más severos, que se propician por el incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero (Ordóñez y Masera 2001). Los bosques tienen la posibilidad de mitigar los Gases de Efecto Invernadero (GEI) por medio de la captura de carbono que se realiza en diferentes ecosistemas vegetales conocidos como sumideros, a pesar de ser, actualmente, fuentes netas de emisión de GEI (Ordóñez 1999). Los ecosistemas forestales contienen más carbono por unidad de superficie que cualquier otro tipo de uso de la tierra y sus suelos contienen cerca del 40% del total del carbono, por lo que son de importancia primaria cuando se considera el manejo de los bosques. Por lo general, en los bosques naturales el Carbono del suelo está en equilibrio, pero tan pronto como ocurre la deforestación o la reforestación, ese equilibrio es afectado (Vela *et al.* 2009).

Gueye (2008) menciona que en una escala mundial los patrones de caída de hojarasca están determinados por factores climáticos, pero en una misma condición, la caída de hojarasca depende del tipo de bosque. La producción anual de hojarasca y la concentración de minerales en ésta, establecen la cantidad de nutrimentos regresados al suelo aprovechable para las plantas, la producción y acumulación de la hojarasca determina el ciclo de nutrimentos en los bosques y refleja la productividad de los ecosistemas.

Schlesinger et al. (2006) en un experimento realizado durante 8 años sobre los niveles de CO₂ atmosférico en bosques de *Pinus taeda* concluyen que: las tasas fotosintéticas cubierta por el follaje aumentó hasta un 50%; se presenta un incremento en el área basal de 13-27%, con una variación interanual debido a las variaciones en la temperatura y la humedad durante el período vegetativo; incrementó la biomasa en 108 g carbono m⁻² año⁻¹ (27%), por último, los valores más altos sobre la caída de hojarasca se presenta en parcelas con manejo y la incorporación de CO₂ al suelo es mayor en los bosques.

2.2 Ciclo del carbono

En la naturaleza el Carbono se encuentra en diferentes formas: en el agua bajo la forma de compuestos carbónicos disueltos (los carbonatos) y en el aire como dióxido de carbono o anhídrido carbónico. Todos los organismos vivos están constituidos por compuestos de carbono, que obtienen como resultado de sus procesos metabólicos realizados durante su crecimiento y desarrollo, y que son liberados cuando éstos mueren. Aproximadamente, el 50% del peso seco de cualquier organismo lo constituye este elemento, por lo que es uno de los más importantes de la vida (Smith *et al.* 1993).

El ciclo del carbono es considerado como un conjunto de cuatro depósitos o pozos interconectados: la atmósfera, la biósfera terrestre (incluyendo los sistemas de agua fresca), los océanos y los sedimentos (incluso los combustibles fósiles). Estos depósitos son fuentes que pueden liberar el Carbono, o sumideros que son los que absorben Carbono de otra parte del ciclo. Los mecanismos principales del intercambio del Carbono son la fotosíntesis, la respiración y la oxidación (Ciesla 1996).

Los ecosistemas forestales son de gran importancia, ya que contienen grandes cantidades de Carbono almacenado en biomasa en el suelo, sistema radicular, Carbono orgánico del suelo y hojarasca (Ordóñez y Maserá 2001, Snowdon *et al.* 2001). En este último, el Carbono es liberado al suelo a través de la hojarasca y otros residuos vegetales que, a su vez, son parcialmente oxidados por acción microbiana, revertiendo parte del Carbono a la atmósfera y acumulándose el resto en la materia orgánica del suelo. Por lo tanto los bosques compuestos por pinos y encinos constituyen un elemento fundamental donde el suelo manifiesta características peculiares que son poco comunes en otros suelos, cuya existencia depende de la presencia de vegetación forestal (Corona 2007).

Ordoñez (1999) menciona que en forma general, las plantas absorben el CO₂ de la atmósfera a través de la fotosíntesis y éste, compone las materias primas como la glucosa, que participa en procesos fenológicos para la formación de componentes (flores, frutos, follaje, ramas y fuste) del árbol. Estos a su vez

proporcionan elementos necesarios para su desarrollo y el crecimiento en altura, diámetro, área basal y diámetro de copa principalmente. En el follaje, tallos, sistemas radiculares y, principalmente en el tejido leñoso de los troncos y ramas de los árboles es donde existe mayor depósito de Carbono. Estos componentes aportan materia orgánica al suelo y al degradarse dan origen paulatinamente al humus, que a su vez contiene CO₂. Por esta razón, los bosques son de gran importancia, ya que son considerados los mejores reguladores en el nivel de carbono atmosférico.

En este sentido, Quinto *et al.* (2007) en una investigación sobre hojarasca-carbono, en un bosque tropical en Salero, Chocó, Colombia, mencionan que la producción de hojarasca total fue de 3600 kg ha⁻¹ semestre⁻¹ y que en un año, la cantidad fue de 7200 kg ha⁻¹ año⁻¹ equivalente a 3600 kg Carbono ha⁻¹ año⁻¹ asumiendo que el 50% de la hojarasca corresponde a carbono. La producción de cada uno de los componentes y su respectivo porcentaje fue de 2180 kg ha⁻¹ semestre⁻¹ (60.7%) en hojas, 1070 kg ha⁻¹ semestre⁻¹ (29.8%) en tallos, 121 kg ha⁻¹ semestre⁻¹ (3.37%) en frutos, 30 kg ha⁻¹ semestre⁻¹ (0.84%) en flores, 20 kg ha⁻¹ semestre⁻¹ (0.56%) en semillas, 20 kg ha⁻¹ semestre⁻¹ (0.56%) en vegetación asociada y 150 kg ha⁻¹ semestre⁻¹ (4.18%) en material indeterminado. Las hojas fueron el componente de mayor aporte con 2170 kg ha⁻¹ año⁻¹ con el 60%, seguido por los tallos con 1060 kg ha⁻¹ año⁻¹ con 30%.

Por otro lado, Gutiérrez y Lopera (2001) mencionan que en plantaciones forestales de *Pinus patula* la hojarasca fina acumula en promedio 51.22% de Carbono total que se depositan al suelo.

2.3 Caída e importancia de la hojarasca

La caída de hojarasca es un proceso que se encuentra relacionado con las variaciones estacionales y su conocimiento es importante para interpretar los fenómenos de reciclaje de nutrientes, debido a los flujos asociados a la caída, y a la descomposición ya que representa el mayor proceso de transferencia de nutrientes de las partes aéreas hacia el suelo (Vitousek *et al.* 1994, Fernández *et al.* 2000).

Santa Regina (1989) menciona que dentro de la interrelación suelo-planta, es importante la secuencia de la caída de hojarasca, denominándose así al conjunto de órganos vegetales (hojas, ramas, frutos, inflorescencias, cortezas, etc.) y de restos animales que caen al suelo del bosque procedente de los distintos estratos de la vegetación, con exclusión de raíces, todo este conjunto de órganos sumados a la cantidad de raíces muertas constituye la principal vía de entrada de materia orgánica al suelo en los ecosistemas forestales.

Gran parte de esta materia orgánica del suelo (MOS) se deriva de la humificación de los residuos orgánicos que llegan al suelo tras su abscisión: hojas, ramas, flores, frutos y demás estructuras vegetales (incluso árboles enteros) que conforman la hojarasca (Carnevale y Lewis 2001). Esta MOS, tras su mineralización, libera bioelementos que pueden ser reabsorbidos por las plantas, contribuyendo así al ciclo biogeoquímico (Fósforo, Manganeseo, Calcio, Hierro, Potasio, Nitrógeno, Magnesio). Esta liberación de nutrientes, por tanto, está determinada, por las características genéticas de las especies, la variación anual de la composición de la hojarasca, sus propiedades físico-químicas y por las condiciones ambientales, determinando el ritmo de cesión de nutrientes para la productividad de un ecosistema forestal (Carnevale y Lewis 2001, Zamboni y Aceñolaza 2004). Por tanto, la presencia de especies con altas tasas de deposición de hojarasca, mejoran las propiedades físicoquímicas de los suelos, se favorece la infiltración, se disminuye la escorrentía superficial y en consecuencia los procesos de erosión asociados (Belmonte *et al.* 1998).

González et al. (2008) mencionan que la importancia de la producción de hojarasca, no sólo se refiere en términos de ciclo de los nutrientes para el suelo del bosque en las comunidades de posición diferente, sino también para mantener los procesos ecológicos fundamentales y de los ecosistemas tales como formación del suelo, prevenir la erosión, mantener la fertilidad y sustratos de especies vegetales y microbianas, apoyar y sostener la vida de la fauna de invertebrados, aumentar la mineralización de materia orgánica, mejorar las propiedades físicas y químicas tales como la disponibilidad de agua del suelo y la infiltración para aumentar la absorción de nutrientes, la regeneración de plantas, el

establecimiento y crecimiento de las raíces, todos ellos están relacionados entre sí e integrado para sostener y mantener la productividad de los ecosistemas y la biodiversidad.

2.4 Factores que influyen en la caída de hojarasca

2.4.1 Factores biológicos

La producción de hojarasca (*Fagus sylvatica L.*) se incrementa con la edad del árbol, área basal y la madurez de los árboles (Lebret *et al.* 2001). Sin embargo, Ranger *et al.* (1995) consideran que los aumentos de producción de hojarasca en las primeras etapas de la secuencia son temporales y luego se estabilizan con este tipo de factores. Adicionalmente, Quinto *et al.* (2007) mencionan que la producción total de hojarasca se encuentra relacionada solamente con el factor de área basal de los árboles, esto se debe básicamente, a que el área basal muestra el desarrollo del bosque, por tanto, a mayor desarrollo mayor producción de hojarasca.

2.4.2 Factores climáticos

A escala regional, las variables climáticas que mejor controlan los procesos ecológicos son la evapotranspiración, temperatura y la precipitación (Berg y Meentemeyer 2001) y por ende en la dinámica de la hojarasca.

Dependiendo de la fisiología y ecología entre las especies de árboles, la producción de hojarasca en algunos bosques está más relacionada con la temperatura, mientras que en otros con la precipitación. En bosques de latifoliadas, la producción de hojarasca es más rápida en relación con la temperatura media anual y precipitación, que en bosques de coníferas. En ambos bosques, un cambio en la unidad relativa de temperatura presenta un efecto mayor en la producción de hojarasca en comparación con el mismo cambio en la precipitación. Los diferentes factores climáticos sobre la producción de hojarasca entre bosques de coníferas y latifoliadas a escala continental, indican que las

diferentes respuestas originadas se puede esperar en relación al cambio climático futuro (Liu *et al.* 2004).

De la misma forma, Huber y Oyarzún (1984) señalan que la caída de acículas y partes vegetales mayores en bosques de *Pinus radiata*, aparentemente no son reguladas por un ciclo biológico, sino que están directamente determinadas por la velocidad del viento. La mayor producción de hojarasca se presenta en los meses de fuertes vientos, debido a que las altas precipitaciones se relacionan con mayores velocidades del viento; por tanto, vientos fuertes, producen un aumento en la producción de hojarasca, Además, en otro contexto mencionan que a altas temperaturas se genera la mayor producción de semillas debido a que favorecen la apertura de los conos para la producción de este componente reproductivo.

Santa Regina y Gallardo (1985) en la sierra de Béjar (Salamanca) España aluden que el mayor aporte de hojarasca total en un bosque de *Pinus sylvestris* se deriva de sucesos puntuales como las características climáticas de la temporada, principalmente por la precipitación y el viento.

Sánchez *et al.* (2003) mencionan que el registro de un aumento en la producción de hojarasca está relacionado con la pluviosidad; los valores máximos se registran de diciembre a abril, y pueden explicarse por el efecto mecánico de las lluvias, acompañadas de fuertes vientos, que son características de varias regiones.

2.4.3 Factores fisiográficos

Cuando se considera grandes escalas espaciales la producción de hojarasca disminuye al aumentar la latitud, la cual tienen relación con cambios en la temperatura y la evapotranspiración (Bray y Gorham 1964). La variabilidad a escala regional resulta de la modificación del clima por la fisiografía (p. ej. pendiente y aspecto), diferencias en la humedad del suelo y la disponibilidad de nutrientes, o perturbaciones (Barnes *et al.* 1998). La caída de hojarasca es generalmente mayor en sitios húmedos, cálidos, fértiles y con alta productividad, y menores en sitios secos, fríos, infértiles y de baja productividad (Kimmins 1997). También hay que considerar la variabilidad estacional, propia de cada especie, y

las variaciones anuales, que suelen estar relacionadas con la meteorología. Generalmente, en los años secos las plantas no puede mantener toda su biomasa foliar y se incrementa el desfronde (Bosco *et al.* 2004).

Albrektson (1988) menciona que en bosques de coníferas de *Pinus sylvestris L.* de diferentes edades, calidad de sitio y latitud, indican que la producción de hojarasca para el componente de hojas va a registrar un aumento en relación a la calidad del sitio en que se encuentre, sin embargo, disminuirá al aumentar la edad del rodal y la latitud.

2.4.4 Variabilidad estacional

La caída de hojarasca depende de la variabilidad estacional propia de cada especie y las variaciones interanuales relacionadas con la meteorología. Generalmente, en los años secos las plantas no puede mantener toda su biomasa foliar y se incrementa la caída (Landsberg y Gower 1997, Bosco *et al.* 2004).

La caída y descomposición de la hojarasca muestran patrones temporales que reflejan variaciones ambientales en los vientos, temperatura, y principalmente en la distribución de la precipitación. En los ecosistemas con una estación seca, bien o poca definida (como en las selvas tropicales húmedas), la caída de hojarasca es máxima durante ese período (Álvarez y Guevara 1993, Álvarez 2001).

2.5 Descripción de la especie de estudio

2.5.1 *Pinus cembroides* Zucc. (Pino piñonero)

Árbol de 5 a 15 m de altura, fuste menor de 30 hasta 60 cm de diámetro; corteza ligeramente engrosada de color gris; copa generalmente redondeada, de amplia cobertura. Ramas de crecimiento cercano a la base, ascendentes. Hojas de vaina decidua, erguidas y curvadas, de color verde oscuro en la cara externa y glaucas en las internas, en grupos de 2 y 3, ocasionalmente 4 por fascículo, rígidas punzantes, de 2 a 5 cm de longitud y de 1 a más de 1 mm de ancho; estomas en hileras de 1 a 4 en la cara dorsal y de 2 a 3, ocasionalmente 4 en cada cara ventral de hojas y en hileras de 2 a 4 en la cara dorsal y de 2 a 6 en las caras

ventrales en hojas de forma semilunar; canales resiníferos externos, en número de 2. Conos subglobulosos, con frecuencia anchos de la base, de 2.9 a 4.5 cm de longitud, caedizos; escamas angostas de la base, ensanchándose gradualmente hacia el ápice, frágiles de 5 a 9 mm de longitud; pedúnculo pequeño de 2 a 5 mm de longitud. Semilla desprovista de ala de forma suboblarga a ovoide con cubierta grisácea y tintes amarillentos de 11 a 21 mm de largo (Rentería y García 1997).

Perry (1991), Rzedowski (2006) y Luna *et al.* (2008) mencionan que en México el *Pinus cembroides* Zucc., es la especie más ampliamente distribuida pues su área de distribución geográfica se extiende por casi todo el norte y centro del país, desde el suroeste de EU, sur de Baja California, en Sonora, Chihuahua, Durango, Aguascalientes, Zacatecas, Coahuila, Nuevo León, Guanajuato y Veracruz.

Estas regiones ocupan casi siempre zonas de transición entre la vegetación xerófila de climas áridos y la boscosa de las montañas más húmedas, sus límites altitudinales son 1500 y 3000 msnm, con una precipitación media anual entre 350 y 700 mm. En general, es un bosque asociado de *Juniperus deppeana* y de *Quercus sp*, así como de otros arbustos, *Agave*, *Yucca* y *Dasyllirion* (Rzedowski 2006).

2.6 Estudios afines sobre la producción de hojarasca

2.6.1 Caída de hojarasca en Bosques de coníferas

En un bosque de *Pinus radiata* de 26 años de edad, la producción máxima de hojarasca (de 1981 y abril de 1983) se registró en el componente hojas, siendo de 3206 y 3285 kg ha⁻¹ año⁻¹, (86.7 y 79.5 %); flores 245 y 293 kg ha⁻¹ año⁻¹ (6.6 y 7.1 %); de otros 238 y 536 kg ha⁻¹ año⁻¹, (6,4 y 1 3%); semillas, con sólo 11 y 16 kg ha⁻¹ año⁻¹, (0.3 y 0.4%). La producción semanal de materia seca fue desde 0.32 g m⁻² (agosto, 1982) hasta 84.4 g m⁻² (mayo, 1981). Esta mayor producción se observa especialmente durante los meses de mayo de 1981 y 1982: junio, julio y septiembre de 1982, periodos que fueron afectados por fuertes vientos (Huber y Oyarzún (1984).

Por otra parte, en un bosque de *Pinus sylvestris* L. de la sierra de Béjar (Salamanca), Santa Regina (1985) realizó una investigación sobre la producción de hojarasca y encontró que a lo largo del año se acumularon 8900 kg ha⁻¹. El mayor aporte de hojarasca al suelo se estima en el mes de Diciembre (3600 kg ha⁻¹); posteriormente en Noviembre 1983 (2200 kg ha⁻¹) y Octubre 1984 (1400 kg ha⁻¹). Estiman que el mes de Febrero es el mes de menor productividad de hojarasca.

Los aportes de hojarasca en un bosque adulto de *Pinus radiata* realizada por Huber *et al.* (1986) durante 4 años (1980-1984) fueron similares durante el período de estudio, alcanzando un valor cercano a los 3900 kg ha⁻¹ año⁻¹; sin embargo, a nivel estacional, la producción de hojarasca en los cuatro años varió considerablemente.

Albrektson (1988) menciona que en 16 bosques de *Pinus sylvestris* L. con diferentes edades, calidad del sitio y latitudes, la producción de hojarasca total encontrada fue de 1605 kg ha⁻¹ que corresponde a un aumento de volumen anual actual de 7.9 m³. Además, indica que en estos bosques la caída de hojarasca aumenta con la calidad del sitio y disminuye al aumentar la latitud.

Pausas (1997) menciona que en un bosque de *Pinus sylvestris* en los Pirineos orientales durante 2 años de estudio las hojas representan 1764.6 kg ha⁻¹, ramas 402.8 kg ha⁻¹, corteza 467.5 kg ha⁻¹, flores 273.6 kg ha⁻¹, conos 388.3 kg ha⁻¹ y para el componente otros 195 kg ha⁻¹. La fracción de las hojas aporta entre 40 y 60% de la hojarasca total, con un coeficiente de variación entre 5 y 20%.

Belmonte et al. (1998) demostraron que los valores medios anuales en la producción de hojarasca en especies de matorral mediterráneo, para *Pinus* fueron de 2379 kg ha⁻¹; Enebro 1120 kg ha⁻¹; Romero 775 kg ha⁻¹ y Tomillo 1120 kg ha⁻¹. De las especies estudiadas, las de mayor masa foliar, *Pinus halepensis* y *Juniperus oxicedrus*, parecen ser las más resistentes y las que en periodo seco conservan más biomasa. Por el contrario *Thymus vulgaris*, pierde casi toda su biomasa foliar en los periodos secos. Las curvas de producción mensual de hojarasca para *Thymus* en los años secos (1994 y 1995) son mucho más elevadas que en los años un poco más húmedos (1992 y 1993).

Por otra parte, Guerrero *et al.* (1998) en otro estudio realizado en el Pirineo Central Español durante 1993, sobre la caída de acículas, encontraron que durante el otoño la caída de acículas se acentúa, *Pinus sylvestris* registró 6330 kg ha⁻¹ y *Pinus uncinata* 1250 kg ha⁻¹; en este último la máxima caída de hojas se presentó del 16 de septiembre al 12 de octubre. En población de *P. sylvestris*, la tasa máxima de caída de hojas se produjo entre el 20 de agosto y el 16 de septiembre y en menor proporción desde mediados de julio a mediados de agosto. La cantidad de acículas caídas en este tipo de bosque fue cinco veces mayor que la caída en el bosque de *P. uncinata*.

Santa Regina (2001) en bosques semi-áridos de la cuenca del Duero, España, reporta que la caída de hojarasca durante 2 años es mayor en sitios de *Pinus pinea* con 2400 kg ha⁻¹, mientras que en bosques de *Pinus pinaster* la producción es de 1728 kg ha⁻¹. En cada bosque el mayor componente de la hojarasca fueron las hojas (88% y 94%), seguido de flores, frutos y fragmentos de corteza en los pinos.

Por su parte, Palacios (2002) evaluó la producción y descomposición de hojarasca en un bosque Maulino fragmentado de *Pinus radiata* durante un año y encontró una deposición de 8130 kg ha⁻¹ año⁻¹ registrándose en junio mayor producción de hojarasca y la mínima en julio. La producción de hojarasca mensual en promedio fue de 17.10 ± 5.3 g 0.25 m². De esta forma, el componente más importante de la hojarasca lo conforman las hojas (75%) de la hojarasca anual, seguida de ramas (15%), flores y frutos (7.5%), corteza y líquenes (1%) cada uno y las semillas (0.5%) del peso total de la hojarasca anual.

Sanches et al. (2003) estimaron la producción de hojarasca en un bosque semidecídico estacional en São Pedro, Estado de São Paulo, Brasil, durante un año, reportando que la producción anual fue de 8719.5 kg ha⁻¹. El valor máximo de producción de hojarasca se obtuvo a principios de septiembre (1213.9 kg ha⁻¹) y el menor en noviembre (232.4 kg ha⁻¹). A partir de ese mes se observó un aumento hasta alcanzar en marzo un valor de 1153.6 kg ha⁻¹. En la distribución porcentual de los componentes las hojas tuvieron la mayor contribución (64%); las ramas

representan el segundo componente de valor cuantitativo (23%) y el resto de los componentes son de poca importancia en la producción total (elementos reproductivos, 6%; corteza, 1% y miscelánea, 6%).

Ramírez et al. (2007) estudiaron la caída de hojarasca y retorno de nutrientes en bosques de *Pinus patula* en Antioquía Colombia, durante 2 años encontrando una producción de $8362.5 \pm 206.2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. En donde la mayor producción de hojarasca le corresponde al componente de hojas con 58.3%, seguido de ramas con 27.4% y finalmente para el componente de otros con el 12.9% del total de la producción total.

Sin embargo, Zapata *et al.* (2007) en un estudio sobre la producción de hojarasca en los bosques altoandinos de Antioquia, Colombia por un periodo de 2 años, reportan que en promedio la caída de hojarasca anual para bosques de *Pinus patula* es de $8362.47 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ siendo las hojas el componente de mayor producción durante el periodo de estudio.

En otro estudio realizado por Belmonte *et al.* (2008) sobre la reducción de la biomasa del Pino carrasco (*Pinus halepensis*), encontraron que durante 1992 y 1993 la máxima producción de hojarasca se centró en julio, agosto y septiembre. La suma de producción media en estos años normales para los meses anteriores fue de 1160 kg ha^{-1} , que equivale al 59% de la producción anual, que ascendió en ese bienio a poco más de 1970 kg ha^{-1} . En el periodo de 1994 y 1995 la máxima producción de hojarasca del Pino carrasco comienza en los meses de mayo, agosto, junio y julio. En conjunto, en este periodo de cuatro meses, la suma de la producción media ascendió a 2120 kg ha^{-1} , equivalente al 83% de la producción anual media de ese bienio

Se comprueba, por tanto, que en condiciones de sequía, desplazada fuera de su periodo habitual de verano, algunas especies mediterráneas, y en este caso el Pino carrasco, poseen mecanismos de respuesta inmediata en la caída de hojarasca para trasladar las medidas habituales de ahorro hídrico ante la sequía de verano, a otros meses del año cuando la situación lo requiere (Belmonte *et al.* 2008).

González *et al.* (2008) estudiaron por un año la producción de hojarasca en bosques de *Pinus pseudostrobus* Lindl. a lo largo del gradiente altitudinal en el noroeste de México y estimaron que la producción total anual de hojarasca fue de 4407 kg ha⁻¹ año⁻¹. En dicho estudio, las hojas representan el 74% y estructuras reproductivas del 6.3% y 12% del componente de otros. Entre fechas, la producción de hojarasca total fue de 3.6 g m⁻² (febrero) a 42.4 g m⁻² (diciembre), en hoja varió de 2.9 g m⁻² (febrero) a 34.2 g m⁻² (diciembre), de estructuras reproductivas, la mínima fue de 0.1 g m⁻² (noviembre) y la máxima de 5.4 g m⁻² (febrero) y en ramas el valor mínimo osciló entre 0.06 g m⁻² (diciembre).

Nájera y Hernández (2009) reportaron que para un bosque coetáneo de *Pinus spp.* de la región del Salto, Durango, la acumulación total de biomasa aérea fue de 3999.4 kg ha⁻¹ año⁻¹. El 74% (2940.4 kg ha⁻¹ año⁻¹) correspondió a la biomasa de hojas; el 17% (700.5 kg ha⁻¹ año⁻¹) a la biomasa de ramas y el 9% (358.5 kg ha⁻¹ año⁻¹) a la biomasa de conos. El promedio mensual de aporte de biomasa total fue de 333.28 kg ha⁻¹ año⁻¹ con una desviación estándar de 247.4 kg ha⁻¹. Se estimó un aporte anual promedio por árbol de 16.7 kg ha⁻¹ año⁻¹, de los cuales 12.2 kg ha⁻¹ año⁻¹ correspondieron a la biomasa de hojas, el resto lo aportan las ramas y los conos. En el mes de diciembre se observó la mayor acumulación de biomasa en hojas, mientras que para las ramas y conos, la mayor acumulación fue observada en el mes de octubre, la menor acumulación de biomasa fue observada durante los meses de mayo y junio.

Ukonmaanaho *et al.* (2008) mencionan que en un estudio realizado sobre la producción de hojarasca en bosques de *Pinus sylvestris* y *Picea abies* durante siete años, encontraron que la caída de hojarasca varió considerablemente entre años y parcelas, siendo para *Picea abies* desde 651 kg ha⁻¹ hasta 4912 kg ha⁻¹, mientras que para el *Pinus sylvestris* se halló desde 1325 kg ha⁻¹ hasta 3402 kg ha⁻¹.

2.6.2 Caída de hojarasca en bosques de *Pinus cembroides* Zucc.

Pérez et al. (2009) realizaron un estudio sobre la producción de hojarasca en bosques de Pino-Roble en el centro-noroeste de México, principalmente de *Pinus cembroides* que van desde 950 ± 185 árboles.ha⁻¹, con una altura promedio de 4.2 ± 0.2 m, diámetro promedio de 17.2 ± 0.56 cm y un dosel del 30% y 60% de cobertura. En el sitio se establecieron cuatro parcelas (10 m x 10 m) para ello se establecieron 3 trampas (40 cm x 40 cm) por parcela (total 12) en donde encontraron una producción total de hojarasca fue de 3023 ± 337 kg ha⁻¹ año⁻¹, siendo el mes de abril donde se registró la mayor producción. De esta forma, las hojas constituyen la mayor producción de hojarasca total que acumula casi el 60%, mientras que las ramas contribuyen en un 20 a 30%.

2.6.3 Caída de hojarasca en bosques tropicales

Monedero y González (1995) mencionan que los valores anuales de la producción de hojarasca en la selva nublada del Ramal interior de la cordillera de la costa, Venezuela, fueron los siguientes: para hojas 7700 ± 3200 kg ha⁻¹ equivalente al 72% del total, ramas finas 1900 ± 900 kg ha⁻¹ con el 18% y residuos vegetales como flores, frutos, líquenes, musgos, etc. fue de 1100 ± 2400 kg ha⁻¹ equivalente a 10% de la producción total anual.

Soler et al. (2008) en un estudio realizado sobre la producción de hojarasca en tres parcelas: bosque, arbustal y sabana arbolada de la vegetación nativa en los llanos altos centrales de Venezuela en parcelas de 100 m², encuentran que la producción de hojarasca total para cada uno de las parcelas estudiadas fue de 6101 kg ha⁻¹ año⁻¹ para bosques, 3829 kg ha⁻¹ año⁻¹ para arbustal y finalmente para la sabana arbolada con 3606 kg ha⁻¹ año⁻¹. La hojarasca se produjo durante todo el año, con valores máximos en los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre, y mínimos en enero, febrero, marzo y abril.

Quinto et al. (2007) reportan que en un bosque tropical en Salero, Chocó, Colombia, la producción de hojarasca total obtenida durante seis meses (agosto 2005-enero 2006) de estudio fue de 5377.4 g m⁻² semestre⁻¹, que equivale a 3600

kg ha⁻¹ semestre⁻¹ y que en un año, la cantidad fue de 7200 kg ha⁻¹ año⁻¹ equivalente a 3600 kg carbono ha⁻¹ año⁻¹ asumiendo que el 50% de la hojarasca corresponde a carbono. En este sentido, la mayor producción se obtuvo en octubre con 728 g m⁻², y la menor producción se presentó en diciembre con 334.8 g m⁻². La producción por componente y su respectivo porcentaje fue de 2180 kg ha⁻¹ semestre (60.7%) para hojas, 1070 kg ha⁻¹ semestre (29.8%) en tallos, 121 kg ha⁻¹ semestre (3.37%) en frutos, 30 kg ha⁻¹ semestre (0.84%) en flores, 0.02 kg ha⁻¹ semestre (0.56%) en semillas, 0.02 kg ha⁻¹ semestre (0.56%) en vegetación asociada y 0.15 kg ha⁻¹ semestre (4.18%) en material indeterminado.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Características físicas y biológicas del área de estudio

Ubicación. El área de estudio (Figura 1) se localiza en el Campo Agrícola Experimental en la Sierra de Arteaga (CAESA), propiedad de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada aproximadamente a 45 Km de la ciudad de Saltillo, Coahuila; dentro de la Sierra de Arteaga, en las coordenadas 25°24'35" de latitud Norte; 100°36'23" de longitud Oeste, a una altitud de 2332 msnm, perteneciente a la parte Norte de la Sierra Madre Oriental (INEGI 2001).

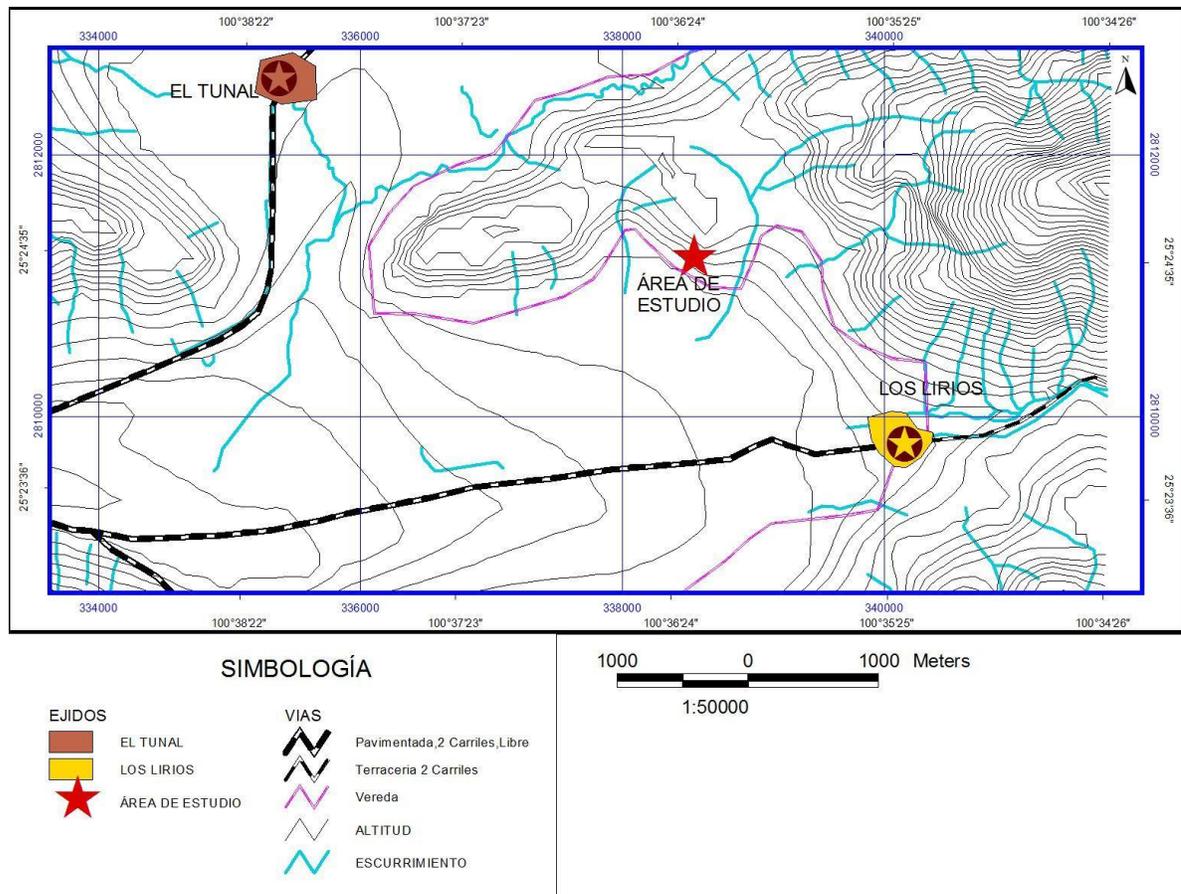


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio.

Clima. El clima es templado, con una temperatura media anual de 13.6 °C y con una precipitación promedio anual de 521.2 mm. 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. La mayor precipitación ocurre de junio a septiembre y la menor se presenta en los meses de febrero a marzo (CONAGUA 2001).

Suelo. El suelo predominante es de tipo Litosol (1+e/2) que constituye la etapa primaria de formación del suelo, la capa del mismo es menor a 10 cm de espesor, predominando en ella la materia orgánica, con una fertilidad de media a alta. Se presentan en pendientes altas, lo cual impide su explotación económica. Por otra parte también podemos encontrar Rendzina (I+E/2) con textura fina que son suelos poco profundos de 10 a 15 cm de profundidad que sobreyacean directamente a material carbonatado (CETENAL 1977).

Vegetación. La vegetación presente en el área de estudio, está compuesta principalmente por especies de *Pinus cembroides* seguida de *Yucca carnerosana*, *Rhus virens*, *Juniperus deppeana*, así como *Tillandsia recurvata*, *Agave sp*, *Rhus microphyla* y malezas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características de la composición florística del área de estudio.

| Variable | <i>Pinus cembroides</i> | <i>Rhus virens</i> | <i>Yucca carnerosana</i> | <i>Juniperus deppeana</i> |
|---|-------------------------|--------------------|--------------------------|---------------------------|
| Altura promedio (m) | 5.78 | 2.39 | 1.15 | 4.55 |
| Diámetro de copa promedio (m) | 3.22 | 2.95 | 0.94 | 3.12 |
| Edad (años) | 59.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Altura Fuste Limpio (m) | 2.10 | 0.50 | 0.55 | 1.50 |
| Longitud de la Copa (m) | 3.68 | 1.89 | 0.60 | 3.05 |
| Densidad (individuos ha ⁻¹) | 685.00 | 140.00 | 285 | 20.00 |
| Cobertura copa (%) | 32.00 | 29.00 | 9.00 | 30.00 |
| Diámetro a la altura del pecho (cm) | 12.23 | 0.00 | 0.00 | 18.50 |
| Diámetro de base (cm) | 0.00 | 5.46 | 0.00 | 0.00 |

Los valores cero (**0**) indican que no se obtuvieron los datos correspondientes.

3.2. Metodología

3.2.1 Selección del sitio de estudio

En una primera fase se realizó un recorrido en el área de estudio para determinar el área a muestrear, considerando entre otras cosas que el área reuniera las características o condiciones promedio de los bosques típicos de *Pinus cembroides*. El área de estudio presenta pendientes cercanas al 25%, con exposición oeste, y dominada principalmente por *Pinus cembroides*, seguida de *Rhus virens* y *Yucca carnerosana*, *Tillandsia recurvata* (Figura 2).



Figura 2. Panorámica del área de estudio.

3.2.2 Tamaño y forma de los colectores

La forma y tamaño de los colectores construidos fueron de forma cuadrada, y han sido sugeridos por Prause *et al.* (2003) y Nájera (2009). Así mismo, varios investigadores, mencionan que el tamaño de los colectores para cuantificar la caída de hojarasca en los diferentes ecosistemas puede ser desde 0.25 m² (Huber y Oyarzún 1984, Sanches *et al.* 2003, Soler *et al.* 2008) hasta 1.0 m² (González *et*

al. 2008, Domínguez 2009), coincidiendo la mayoría de ellos en que la forma es convenientemente mejor de la forma cuadrada.

3.2.3 Número de colectores

Estudios indican que alrededor de 40 colectores pueden ser utilizados en una superficie de 1 hectárea, ejemplo: González *et al.* (2008) y Domínguez (2009) utilizaron 10 colectores de 1 m² en una superficie de 0.25 hectárea. De manera tal que se hectárea recomendado utilizar desde 25 hasta 40 colectores de 1 m² por hectárea. En este estudio, se utilizaron 40 colectores de 1 m² en una superficie de 1 hectárea, superando por mucho el número de colectores recomendados a la superficie a muestrear.

3.2.4 Construcción de colectores

Los colectores fueron construidos de madera, la cual fue previamente tratada con aceite quemado para darle protección contra hongos y lograr con ello mayor durabilidad. Un total de 40 colectores de 1 m² fueron construidos para coleccionar la hojarasca en este bosque. Debido a la existencia de pendiente de 25%, la altura de los colectores fue compensada, dándole diferentes dimensiones por arriba (25 cm) y por debajo de la pendiente (50 cm), lo anterior para mantener los colectores en forma horizontal y evitar que las hojas, ramas o ramillas fueran llevadas por el viento fuera del colector.

3.2.5 Distribución de los colectores

Una vez construidos los colectores, se llevaron al área seleccionada y se distribuyeron siguiendo el procedimiento del muestreo sistemático, según se ha sugerido por algunos autores (Huber y Oyarzún 1984, Nájera 2009). La distribución consistió en lo siguiente: En el terreno se trazaron 4 hileras a una distancia de 16 metros entre ellas, siguiendo aproximadamente un sentido transversal a la pendiente. Cada hilera constó de 80 m de largo; en cada hilera se ubicaron 10 colectores, con una distancia de 8 m entre colector. El experimento fue establecido finalmente el 31 de Marzo del 2009 (Figura 3).

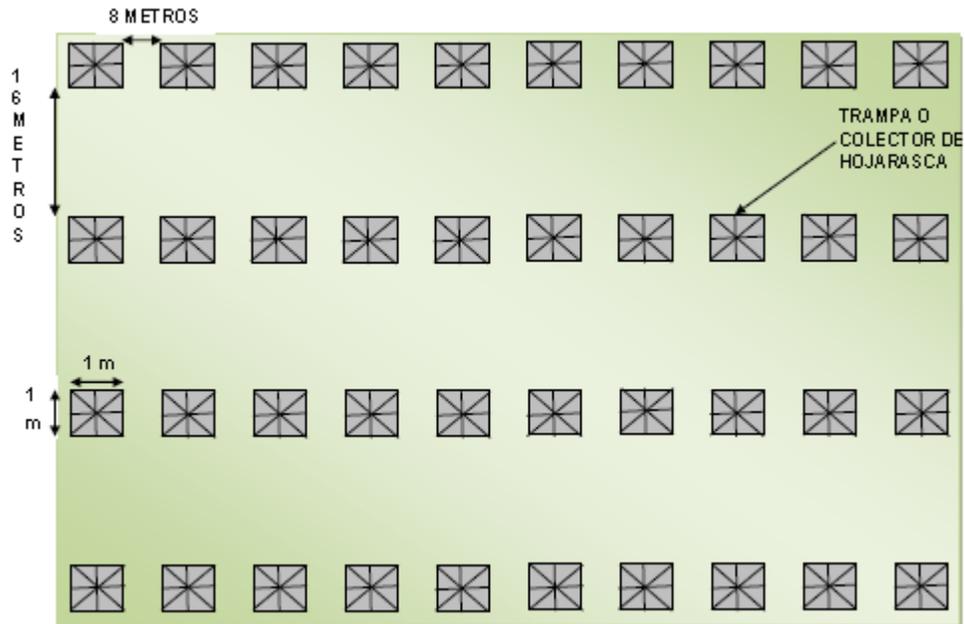


Figura 3. Forma y distribución de los colectores en un bosque de *Pinus cembroides* Zucc. ubicado en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

3.2.6 Colecta de hojarasca

La colecta de la hojarasca se realizó mensualmente; igualmente esta periodicidad de colecta ha sido sugerida por Gunadi (1992), Pavón (2005), Aceñolaza (2009) y Pérez *et al.* (2009). La duración del estudio fue durante 10 meses del 5 de Mayo del 2009 al 6 de Febrero del 2010. Finalmente para la colecta de hojarasca fue necesario utilizar hule de 2 m x 1.50 m para recoger los componentes de cada colector, los cuales fueron almacenados en bolsas de papel estraza etiquetadas con la fecha y número de colector.

3.2.7 Trabajos de laboratorio

En laboratorio, la hojarasca colectada se secó en una estufa (marca: Felisa) a una temperatura de 70°C por 72 horas, según metodologías aplicadas por Keenan *et al.* (1995), Pavón (2005), Soler *et al.* (2008) y Aceñolaza (2009), con la finalidad de alcanzar peso constante; en segunda fase, una vez secas las muestras, se

procedió a la separación de los componentes de la hojarasca en: hojas (HP), hojosa (HR), *Tillandsia recurvata* (HT), ramas (RM), corteza (CT), otros (OT), conos (CO) y semillas (SE), como lo han realizado Gunadi (1992), Santa Regina (1999) y Jianfen *et al.* (2004). Posterior a la separación, los componentes de cada fecha fueron pesadas con una balanza semianalítica de precisión y los resultados se expresaron en gramos de peso seco $\text{m}^{-2} \text{mes}^{-1}$ ($\text{gr m}^{-2} \text{mes}^{-1}$).

3.3 Contenido de carbono en hojarasca

Estudios realizados por el IPCC (1996), Clark (2001) y Del Álamo (2007) han indicado que aproximadamente el 50% del peso seco de la hojarasca está constituido por carbono. En este estudio, con la finalidad de estimar los montos de carbono que son depositados a través de la caída de hojarasca, el peso seco de cada componente fue multiplicado por este factor de conversión para obtener el carbono en cada componente y por ende su deposición mensual y total.

3.4 Análisis estadístico

3.4.1 Deposición de hojarasca

Los datos de la deposición de la hojarasca (g m^{-2}), por componente, por fecha de muestreo y general, fueron sometidos a pruebas de normalidad (95%) utilizando las pruebas de Shapiro-Wilk y Kolmogorov-Smirnov. Pruebas de normalidad en estudios de este tipo han sido sugeridas por Brown y Forsythe (1974), González *et al.* (2008), García (2009), Pérez *et al.* (2009).

Posteriormente, la deposición mensual de hojarasca (g m^{-2}) fue sometida a un análisis de varianza (ANDEVA) mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (González *et al.* 2008, Aceñolaza 2009) a un nivel de significancia del 95%, de acuerdo al diseño experimental con un criterio de clasificación. Adicionalmente, para detectar diferencias estadísticas entre fechas de muestreo y para cada uno de los componentes de la hojarasca, se realizaron pruebas de medias (95%) a los rangos de Kruskal-Wallis. Para una mejor expresión de los resultados, la hojarasca fue agrupada acorde al grado de deposición, pero también acorde a su

origen en el árbol, quedando de la siguiente manera: Grupo 1: HP, HR, HT y HJ; Grupo 2: RM, CT y OT; finalmente para el Grupo 3: CO y SE.

3.4.2 Acumulación de hojarasca

Para conocer la acumulación total de la hojarasca durante el tiempo de estudio fue necesario ajustar varios modelos de crecimiento (Ecuación Schumacher, Función generalizada logística, Función Logística, Función Gompertz y Función Power) con la ayuda del programa SPSS versión 8.0, para ver cuál de ellos se ajustaba mejor a los patrones acumulativos de la hojarasca, dando mejores resultados el modelo de crecimiento logístico el cual viene dado por la fórmula siguiente (Guerrero *et al.* 1998).

Función Logística:
$$Y = \frac{a}{1 + e^{b-cX}}$$

Donde:

Y= Componente de hojarasca acumulativo (kg ha⁻¹)

a, b y c = Parámetros del modelo

e= Exponencial de base diez

1 = Número constante

X = Días transcurridos

Para ello, los resultados mensuales de la caída de hojarasca por componente fueron transformados a kg ha⁻¹, mismos que fueron acumulados en cada fecha de colecta. La hojarasca observada y estimada fue graficada en el programa de SigmaPlot Versión 10, en donde se utilizaron los días acumulativos de cada fecha como variable independiente y la acumulación de hojarasca (kg ha⁻¹) como variable dependiente fue utilizado para modelar la caída acumulada de hojarasca de cada componente; se agrego un eje adicional “Y” que se refiere a la acumulación de carbono en kg ha⁻¹ considerando como factor de conversión al carbono al 50% de la hojarasca.

3.4.3 Relación hojarasca-variables climáticas

En este estudio, se realizaron análisis de componentes principales (ACP) para denotar la asociación entre componentes de la hojarasca, fechas de muestreo y variables climáticas. Para ello, se usaron los componentes de la hojarasca (hojas, hojosa, corteza, ramas, conos, semillas, Tillandsia y de otros) y los factores ambientales (Precipitación Total (PPT), Sumatoria de Temperaturas Máximas (STMAX), Sumatoria de Temperaturas Mínimas (STMIN), Temperatura Máxima promedio (TMAX) y Velocidad Máxima (VMAX) como variables dependientes; mientras que las colectas (1 hasta 10) se utilizaron como criterios de clasificación (Liu 2004, Ramírez *et al.* 2007).

Adicionalmente, los datos anteriores se sometieron a un análisis de regresión paso a paso (Stepwise) utilizando como variable dependiente la hojarasca y como independientes las variables climáticas. Todos los procedimientos estadísticos se desarrollaron utilizando el paquete InfoSta y SigmaPlot 10.0.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Pruebas de normalidad de los componentes, de colecta y general

De acuerdo al análisis de normalidad de las pruebas de Kolmogorov-Smirnov (KS) realizadas al 95% de confiabilidad, los resultados indican que los datos no se distribuyen normalmente para los componentes de conos, corteza, hojosa, semillas y *Tillandsia*, en el 100% de las fechas de colecta. Sin embargo, para los componentes otros (material no identificado), ramas y hojas sólo reportan una distribución normal 10, 20 y 50% de las fechas de colecta, respectivamente (Anexo 1).

A nivel general ($n= 400$), y acorde a las pruebas de normalidad de KS, la deposición de cada uno de los componentes indican no distribuirse normalmente ($p<0.0001$) (Cuadro 2), lo anterior justifica la realización de la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis, similar a lo que ha sugerido Lebret *et al.* (2001), Quinto *et al.* (2007).

Domínguez (2009) en un estudio realizado en diferentes comunidades vegetales del Noreste de México, encontró que en la deposición anual por componente y total de hojarasca no presentan una distribución normal, similar a lo encontrado en este estudio. Además, encontró que en el 100 % de las colectas de ramas no se distribuyeron normalmente, seguido de hojas y otros con 83%, asimismo, las estructuras reproductivas con 74% no presentaron una distribución normal.

De la misma forma, en bosques montanos de Colombia, Ramírez *et al.* (2007) encontraron que en un bosque de *Pinus patula* la caída de hojarasca de cada componente (hojas, ramas, estructuras reproductiva) como a nivel general en el 100% tampoco muestran una distribución normal.

Cuadro 2. Pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov ($P \leq 0.05$) a nivel general por componente de hojarasca en un bosque de *Pinus cembroides* Zucc., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

| Prueba de Kolmogorov- Smirnov | | | | | | |
|--------------------------------------|--------------|-----------------|----------|--------------------|-------------------|--|
| Componentes | media | Varianza | n | Estadístico | p-valor | |
| Hojas (HP) | 2.91 | 6.45 | 400 | 0.1261 | <0.0001 | |
| Ramas (RM) | 1.92 | 12.69 | 400 | 0.2947 | <0.0001 | |
| Conos (CO) | 0.14 | 0.40 | 400 | 0.4892 | <0.0001 | |
| Hojosa (HR) | 0.80 | 4.33 | 400 | 0.3494 | <0.0001 | |
| Corteza (CT) | 0.66 | 2.93 | 400 | 0.3500 | <0.0001 | |
| Otros (OT) | 1.13 | 4.45 | 400 | 0.2961 | <0.0001 | |
| <i>Tillandsia</i> (HT) | 0.90 | 8.29 | 400 | 0.3895 | <0.0001 | |
| Semillas (SE) | 0.05 | 0.17 | 400 | 0.4528 | <0.0001 | |
| <i>Juniperus</i> (HJ) | 0.08 | 1.21 | 400 | 0.5106 | <0.0001 | |

Valores de P en negritas ($P < 0.05$) indican que no existe una distribución normal.

4.2 Porcentaje de los componentes en la producción de hojarasca.

Los componentes evaluados en las 10 fechas de colecta muestran que las hojas de pino aportan el 48.3% de la producción anual de hojarasca. Le siguen en importancia, pero ya con valores bastante inferiores los aportes por ramas con 14.1%, del componente de otros (material no identificado) con 13.9% y para el componente de hojosa con el 10.7%. De la misma forma pero con menor importancia de la producción de hojarasca total se tiene que la corteza representa el 5.6%, de manera similar que *Tillandsia* con 5.4%, conos con 0.9%, *Juniperus* 0.8%, finalmente, las semillas con 0.4% de las producciones anuales (Figura 4, Anexo 2).

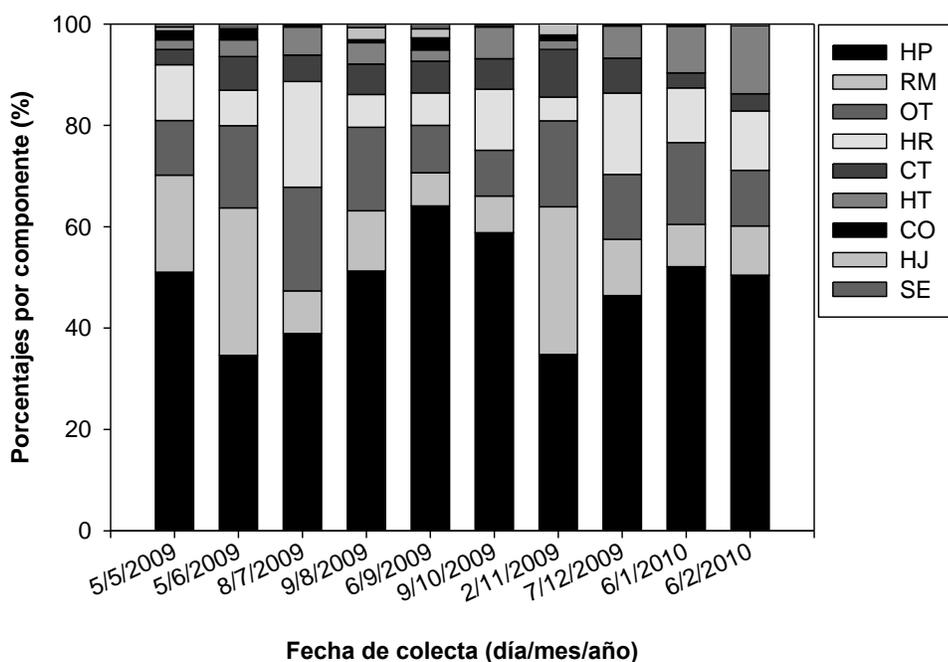


Figura 4. Variación porcentual de los componentes de hojarasca en un bosque de *Pinus cembroides* Zucc., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

Estos resultados son similares a los encontrados por Santa Regina y Gallardo (1985) en bosques de *Pinus halepensis* en la Sierra del Bajar también reportan que los valores máximos se registran en las acículas con el 46% del total de hojarasca caída al suelo, ramas 12%, los estróbilos 33%, corteza 8% y otros 1% de la producción total anual.

No obstante, Palacios (2002) en un bosque Maulino fragmentado de *Pinus radiata* reporta también que el componente más importante de la hojarasca le corresponde a las hojas con el 75% de la hojarasca anual, continuando con los componentes de ramas 15%, flores y frutos al 7.5%, corteza y líquenes corresponden al 1% individualmente y por último las semillas corresponden el 0.5% del peso total de la hojarasca anual.

De la misma forma, Sánchez *et al.* (2003) en un bosque semideciduo, encontraron que la mayor contribución de la hojarasca en términos porcentuales de los componentes fueron para las hojas 64%. De la misma forma le siguen con gran importancia las ramas 23% y el resto de los componentes son de poca importancia

en la producción total como los elementos reproductivos, 6%; corteza, 1% y miscelánea, 6%.

Sin embargo, en un bosque similar a este estudio de *Pinus cembroides*, Pérez *et al.* (2009) mencionan que la mayor producción de la hojarasca total están constituidas por las hojas que representan el 60%, seguida del componente de ramas con valores del 20 al 30% de la producción total.

De esta manera resulta que cuando a bosque de *Pinus spp.*, se refiere las cantidades caídas de hojas se encuentran entre el 40 y 60% del total, lo cual estos resultados son similares a los encontrados en este estudio.

4.3 Acumulación de hojarasca total y contenido de carbono

Cuadro 3. Parámetros y estadísticos de regresión para cada uno componente de la hojarasca aplicando el modelo logístico, para un bosque natural de *Pinus cembroides* Zucc., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

| Componente | Parámetros de regresión | | | Estadísticos de regresión | | |
|------------------------|-------------------------|----------------|----------------|---------------------------|----------------|---------------|
| | B ₀ | B ₁ | B ₂ | CME | R ² | Valor p |
| Hojas (HP) | 295.168 | 2.039 | 0.016 | 2471.830 | 0.972 | 0.0001 |
| Hojosa (HR) | 76.180 | 2.266 | 0.021 | 266.607 | 0.964 | 0.0001 |
| <i>Tillandsia</i> (HT) | 171.690 | 3.169 | 0.010 | 224.840 | 0.972 | 0.0001 |
| Ramas (RM) | 207.589 | 1.975 | 0.014 | 2347.201 | 0.940 | 0.0001 |
| Corteza (CT) | 72.663 | 2.837 | 0.017 | 189.203 | 0.968 | 0.0001 |
| Otros (OT) | 111.917 | 2.407 | 0.019 | 360.272 | 0.977 | 0.0001 |
| Conos (CO) | 13.537 | 1.906 | 0.026 | 10.392 | 0.952 | 0.0001 |
| Semillas (SE) | 4.495 | 3.833 | 0.070 | 1.247 | 0.956 | 0.0001 |

Valores de P en negritas (P<0.05) indican que no existe una distribución normal.

Aplicando el modelo de crecimiento logístico se encontró que para los componentes de HP, HT y OT, presentan valores excelentes de hasta el 97% del ajuste de la hojarasca, seguidos de CT y HR con 96%, CO y SE con el 95%, mientras que el componente RM fue de menor ajuste con solo 94%. Es claro entonces, que por las cantidades acumuladas de cada componente se observe una gran variación el cuanto a B_0 , no obstante para B_1 y B_2 se observan valores similares (Cuadro 3).

GRUPO 1: De acuerdo al modelo logístico para HP, se observa que durante 10 meses (312 días) de colecta, la acumulación de hojarasca fue de 290 kg ha^{-1} , en donde aproximadamente $145.35 \text{ kg ha}^{-1}$ corresponden a carbono. Con respecto a HR a 10 meses de estudio representan 80.44 kg ha^{-1} , en donde 40.22 kg ha^{-1} corresponden a carbono y para HT muestra una acumulación de sólo 89.77 kg ha^{-1} , que en carbono se estima en 44.89 kg ha^{-1} .

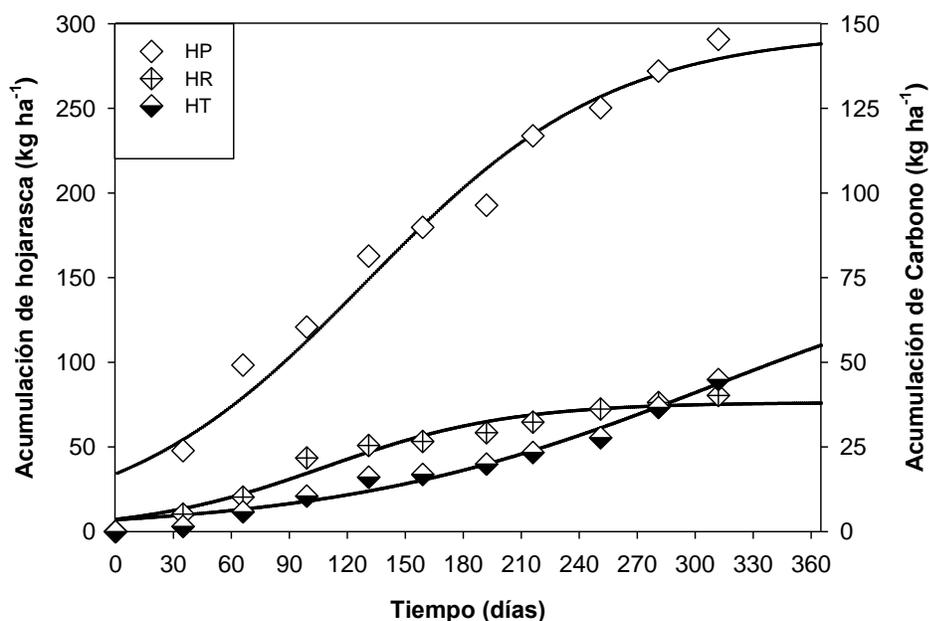


Figura 5. Acumulación de hojarasca y carbono (kg ha^{-1}) por componente: hojas Pino (HP), hojosa *Rhus virens* (HR) y hojas *Tillandsia* (HT), en un bosque de *Pinus cembroides* Zucc., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

Para el componente de HJ, no se realizaron análisis de este tipo debido que en la mayoría de las colectas no se registró deposición. El comportamiento ascendente de la curva acumulativa en cada uno de los componentes representa la alta variabilidad de la deposición entre colectas, debido en parte a la influencia de los factores climatológicos y de la misma especie (Figura 8).

GRUPO 2: Durante 10 meses de colecta, el componente RM, aplicando el modelo logístico, muestra una acumulación total de 96.11 kg ha^{-1} de Carbono y $192.23 \text{ kg ha}^{-1}$ en hojarasca. Para CT tuvo una acumulación de 32.93 kg ha^{-1} en Carbono correspondiendo para hojarasca 65.86 kg ha^{-1} del total. Posteriormente, el componente de OT (Material no identificado), representa 56.47 kg ha^{-1} de Carbono de la acumulación de la hojarasca de este componente que fue de $112.95 \text{ kg ha}^{-1}$.

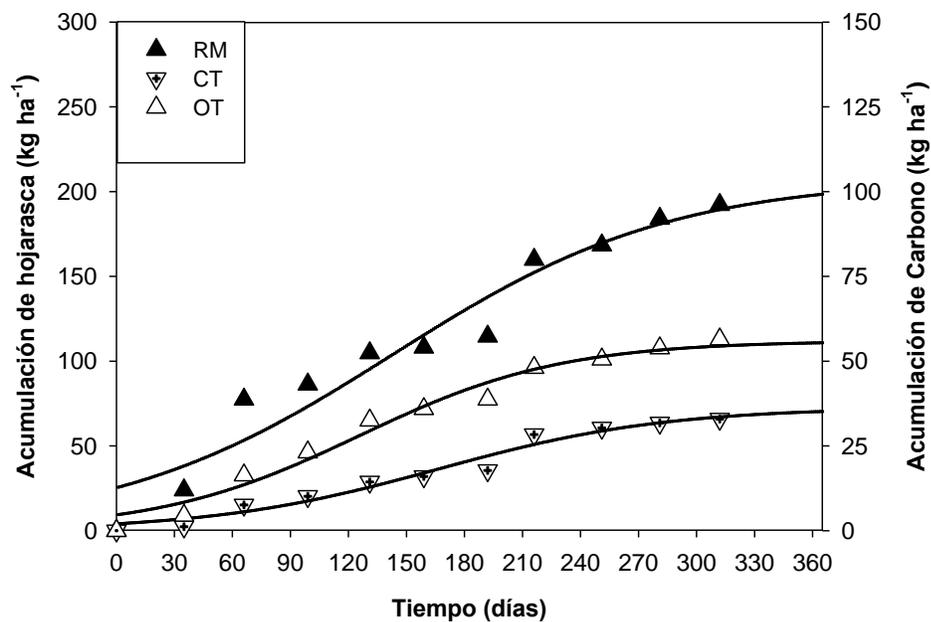


Figura 6. Acumulación de hojarasca y carbono (kg ha^{-1}) por componente: ramas (RM), corteza (CT), otros (OT), en un bosque de *Pinus cembroides* Zucc., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

En este grupo, la acumulación en la producción de hojarasca entre fechas se registró muy variable, ya que en algunos meses (mayo y junio) los factores climáticos (temperatura y viento) se presentaron más intensos lo cual provocó que

en este periodo de estudio las curvas aumentarán drásticamente y en otras fechas tendieron a estabilizarse (Figura 9).

GRUPO 3: El modelo logístico ajustado a este grupo (CO y SE) indicó que la acumulación de hojarasca durante 312 días (10 meses) fue mínima, ya que no en todas las fechas fue posible la deposición, los valores que se obtuvieron fueron inferiores a cualquier otro componente. La producción total de CO que se encontró fue de 13.80 kg ha^{-1} , en donde suponiendo el mismo factor de conversión a carbono (0.5), 6.90 kg ha^{-1} pertenecen a carbono. Finalmente, el componente SE registró solamente 4.84 kg ha^{-1} durante los meses de colecta, (Figura 10), similarmente la deposición de este componente ocurrió especialmente durante los meses de mayor actividad de la temperatura (mayo y junio).

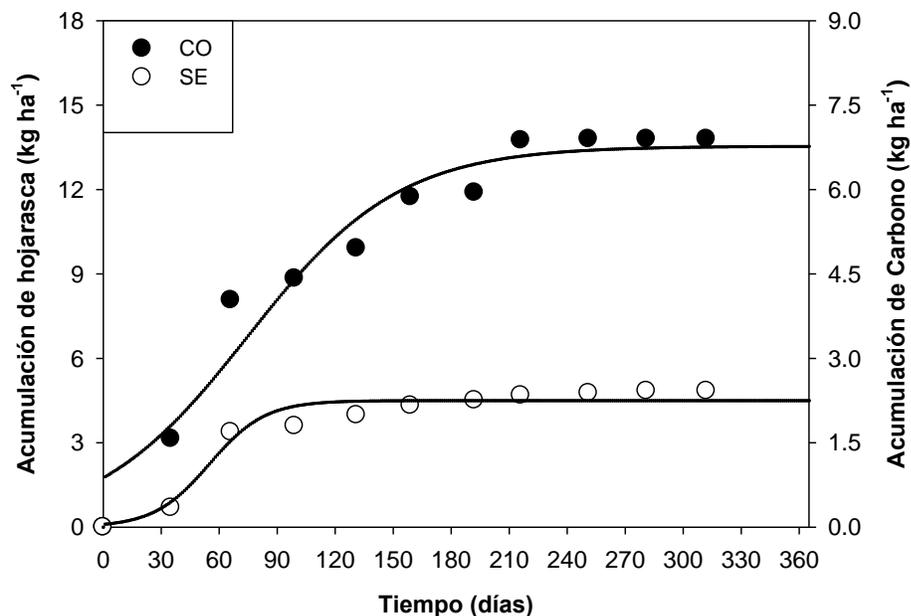


Figura 7. Acumulación de hojarasca y carbono (kg ha^{-1}) para componentes: conos (CO) y semillas (SE), en un bosque de *Pinus cembroides* Zucc., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

En otros estudios realizados por Huber *et al.* (1986) para un bosque de *Pinus radiata* entre 25 y 28 años de edad reportan que el contenido de carbono en la hojarasca durante 4 años de investigación fue de $2060 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, en donde la

concentración promedio de carbono en la hojarasca fue de 52.7%, manteniéndose este porcentaje en forma constante a través del año.

De la misma forma, Pérez *et al.* (2009) encontraron que para un bosque de *Pinus cembroides* con una densidad de 950 ± 185 árboles ha^{-1} , con altura promedio de 4.2 ± 0.2 m, diámetro promedio de 17.2 ± 0.56 cm, dosel del 30% al 60% de cobertura, la acumulación total de carbono durante un año de estudio fue de 1511.5 ± 168.5 $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

Por lo tanto, los resultados de estos bosques indican que son mayores a los obtenidos en este estudio (515.02 $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) de un bosque de *Pinus cembroides* con una edad promedio de 59 años, densidad de 685 árboles ha^{-1} , altura promedio de 5.78 m, cobertura de 31% y un diámetro de 12.23 cm, esto se debe a la cobertura del bosque y los factores climáticos (temperatura, viento y precipitación) presentes durante el estudio que de una u otra forma son influyentes en la caída de la hojarasca.

Sin embargo, en otros estudios sobre ecosistemas de bosques tropicales realizadas por Quinto *et al.* (2007) mencionan que la producción de carbono que se generó durante un año de estudio fue de 3600 kg ha^{-1} , sin embargo sigue resultando una acumulación de carbono mucho mayor a los encontrados en este estudio.

4.4 Deposición mensual de hojarasca

En este estudio, para efectos prácticos y comparación visual se utilizan los promedios de la deposición mensual (g m^{-2}), sin embargo, debe considerarse que las pruebas de medias se realizaron sobre los rangos de Kruskal Wallis.

GRUPO 1: (HP). Las pruebas de rango de Kruskal Wallis realizadas sobre la deposición de hojas, indican que existen diferencias significativas ($P < 0.0001$) entre fechas de colecta, (Anexo 3 y 4.) donde la colecta 1 (mayo) es diferente a todas las demás, en la cual deposita aproximadamente 4.78 g m^{-2} , mientras que las colectas 2, 4 y 7 (junio, agosto y noviembre) reportan un promedio de 4.45 g m^{-2} , seguido de las colectas 3, 9, 10, 5 y 8 (julio, septiembre, diciembre, enero y

febrero) depositando en promedio 1.93 g m^{-2} , el periodo de menor deposición se presentó en la colecta 6 (octubre) con un valor de 1.30 g m^{-2} (Figura 5).

(HR). Las pruebas de KW al 95% indican diferencias significativas en hojosa (hojas de *Rhus virens*) con valor de $p < 0.0001$ (Anexo 3 y 4), siendo la colecta 3 (julio) con valores más altos de 2.31 g m^{-2} , posteriormente la colecta 1 y 2 (mayo y junio) con 1.03 g m^{-2} y 1.01 g m^{-2} seguida de las colectas 4, 5, 6, 7 y 9 (agosto, septiembre, octubre, noviembre y enero) arrojando valores inferiores a las demás colectas con un promedio de 0.50 g m^{-2} respectivamente (Figura 5).

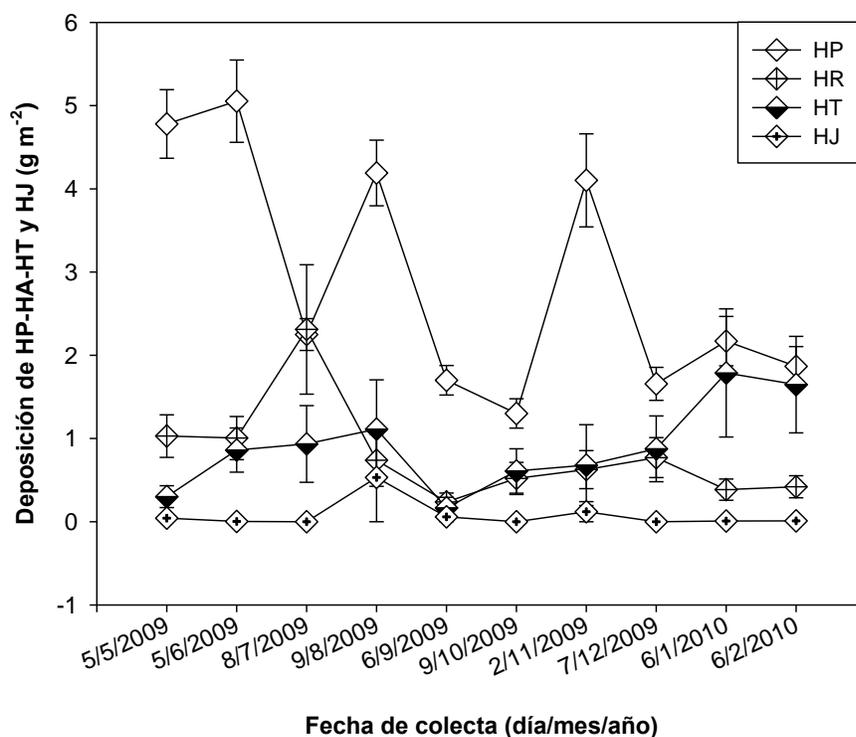


Figura 8. Deposición mensual de hojarasca por componente de hojas Pino (HP), hojosa *Rhus virens* (HR), hojas *Tillandsia* (HT) y hojas *Juniperus* (HJ), en un bosque de *Pinus cembroides* Zucc., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

(HT). Con respecto a las hojas de *Tillandsia*, aplicando la prueba no paramétrica de KW, los resultados indican que existen diferencias significativas al 95% con valor de $p < 0.0001$ (Anexo 3 y 4), indicando que la colecta 2 (junio) es diferente a las demás con un valor de 0.86 g m^{-2} , seguido de las colectas 1 y 3 (mayo y julio) con

promedio de 0.62 g m^{-2} ; de esta forma, los valores máximos se registraron en la colecta 9 y 10 (enero y febrero) con 1.79 g m^{-2} y 1.65 g m^{-2} respectivamente y los valores inferiores se obtuvieron en la colecta 5 de 0.17 g m^{-2} (Figura 5).

Por último utilizando la misma prueba, para el componente de HJ (hojas de *Juniperus*) y trabajando al igual con 95% de confianza (Anexo 3 y 4), los resultados indican que, no se presentan diferencias significativas entre colectas (Figura 5).

GRUPO 2: (RM). Con respecto a la deposición del componente ramas, la prueba de KW denotó diferencias significativas ($P < 0.0001$) entre fechas de colecta (Anexo 5 y 6), encontrándose que la mayor producción se encontró en la colecta 2 (junio) con 5.35 g m^{-2} , consecutivamente de las colectas 7 (noviembre) con 4.53 g m^{-2} , 1 (mayo) 2.39 g m^{-2} y 4 (agosto) 1.85 g m^{-2} . Sin embargo, en las colectas 3, 8 y 10 la deposición de hojarasca representa en promedio 0.85 g m^{-2} , presentándose una diferencia en la colecta 6 (octubre) con valores de 0.65 g m^{-2} a las demás fechas de colecta. Por último, en la colecta 5 (septiembre) representa el de menor valor con 0.33 g m^{-2} del total de hojarasca para este grupo (Figura 6).

(CT). Sin embargo, para el componente de corteza, la prueba de KW (95%), registró valores de $p < 0.0001$ (Anexo 5 y 6), las fechas que presentaron mayor producción fueron la 2 y 7 (junio y noviembre) con valores promedios de 1.70 g m^{-2} , continuando con la 4 (agosto) de 0.85 g m^{-2} , 3 (julio) 0.51 g m^{-2} en donde las fechas 1, 5, 6, 8 y 9 (mayo, septiembre, octubre, diciembre y enero) con promedio de 0.32 g m^{-2} y los valores mínimos de producción de todas las fechas se registraron en la 10 (febrero) con valores de 0.23 g m^{-2} (Figura 6).

(OT). Con respecto al componente otros (material no identificado), KW muestra que al trabajar con un nivel de significancia del 95% se obtienen diferencias significativas ($p < 0.0001$) (Anexo 5 y 6), los máximos valores de deposición de otros se presentaron en la colecta 2 (Junio) 2.38 g m^{-2} seguida de la 4 (agosto) 1.88 g m^{-2} y posteriormente las fechas 1, 3, 7, 9 y 10 (1.06 g m^{-2}), en donde los valores de la 5 y 6 (0.62 g m^{-2}) registraron diferencias con las demás colectas y

finalmente para este grupo la fecha en que se registró menor producción fue en la 8 (diciembre) con valores de 0.48 g m^{-2} (Figura 6).

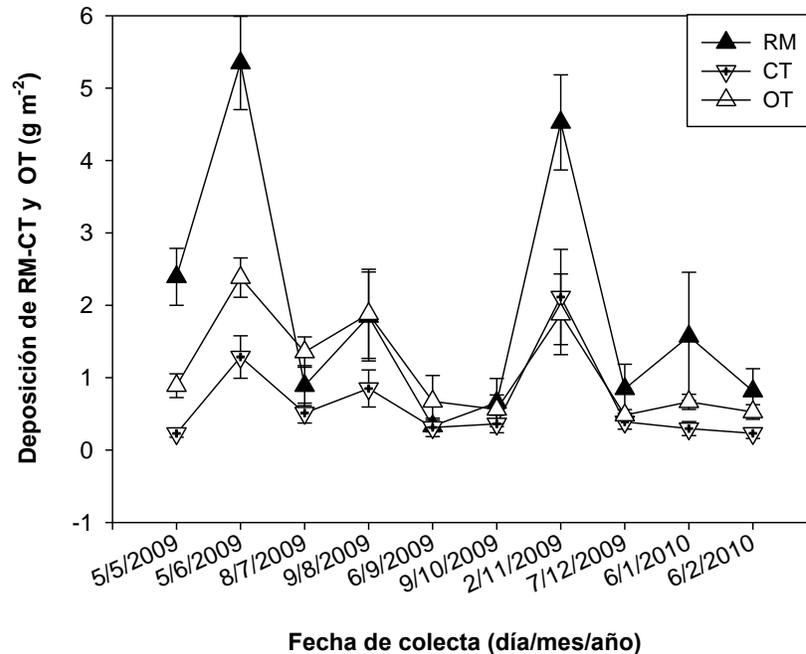


Figura 9. Deposición mensual de hojarasca por componente de ramas (RM), corteza (CT) y otros (OT), en un bosque de *Pinus cembroides* Zucc., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

GRUPO 3: (CO). Los resultados indican que utilizando las pruebas de KW y pruebas de medias de rangos de KW existen diferencias estadísticas significativas ($p < 0.0001$) en la deposición de conos indicando que en la colecta 1 (mayo) deposita 0.31 g m^{-2} y es diferente a las demás (Anexo 7 y 8), por lo tanto, los valores máximos se presentaron en la colecta 2 (junio) con una producción de 0.49 g m^{-2} . Posteriormente, en el resto de las colectas se depositaron en promedio de 0.10 g m^{-2} , cabe mencionar que en las colectas 9 y 10 (enero y febrero) no se registró una producción para este componente arrojando (Figura 7).

(Se). De acuerdo a las pruebas de KW (95%) y de medias de rangos, en lo que se refiere al componente de semillas, los resultados indican que no existen diferencias significativas ($p < 0.005$) en la deposición de semillas entre colectas, sin

embargo, se observa que en la colecta 2 se presentaron los valores más altos de 0.27 g m^{-2} (Anexo 7 y 8), (Figura 7).

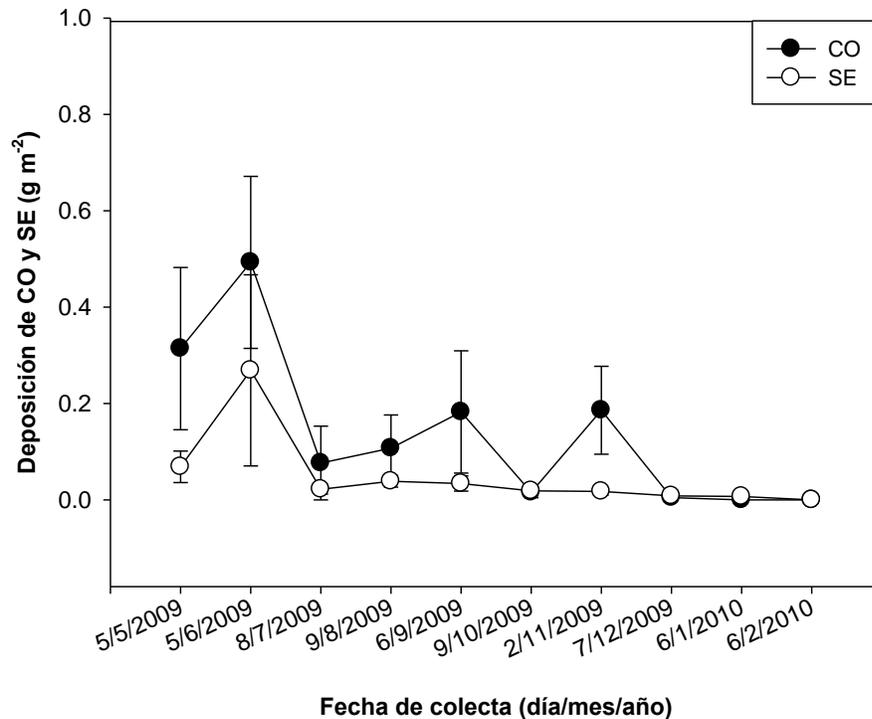


Figura 10. Deposición mensual de hojarasca por componente de conos (CO) y semillas (SE), en un bosque de *Pinus cembroides* Zucc., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

Estudios similares a este trabajo Pérez *et al.* (2009) reportan que en bosques de *Pinus cembroides* con una densidad de $950 \text{ árboles ha}^{-1}$, con una altura promedio de 4.2 m, diámetro promedio de 17.2 cm y un dosel del 30% y 60% de cobertura muestran que los valores acumulados se encuentran cercanos a los 300 g m^{-2} , en donde los valores máximos en producción de hojarasca se presentan en los meses de marzo, abril y junio, mientras que los valores mínimos fueron encontrados en los meses de noviembre y diciembre. Sin embargo, en otros bosques de coníferas, Huber y Oyarzún (1984) mencionan que en bosques de *Pinus radiata* con $733 \text{ árboles ha}^{-1}$ y una altura media de 32 m a los 26 años de edad, registran 84.47 g m^{-2} siendo más alta en el mes de mayo de 1981 y los valores mínimos se presentaron en el mes de agosto de 1982 con 0.32 g m^{-2} .

Además, Belmonte *et al.* (1998) señalan que en especies mediterráneas (*Pinus halepensis*) los meses de mayor producción de hojarasca entre 1992-1995 se centran en las fechas de julio y agosto que van desde 51.7 y 50.4 g m⁻², y la mínima en febrero y diciembre con 2.9 y 3.7 g m⁻². De la misma forma, Belmonte *et al.* (2008) en otro bosque de Pino carrasco (*Pinus halepensis*), encontraron 197.4 g m⁻² de producción mensual total en donde los valores máximos de la producción de hojarasca se concentraron en los meses de julio, agosto y septiembre (116 g m⁻²), mientras que la menor producción se registró en los meses de diciembre (4.1 g m⁻²) y enero (2.1 g m⁻²). Además, Soler *et al.* (2008) en estudio sobre otros ecosistemas en bosque seco tropical (Bosque, Arbustal y Sabana arbolada), encontraron 610.1 g m⁻² en donde la producción máxima de hojarasca se presenta en los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre y los mínimos en enero, febrero, marzo y abril.

En este estudio se encontró una deposición de hojarasca total de 85.8 g m⁻², en donde la producción máxima de hojarasca se registró en los meses de junio (16.7 g m⁻²) y noviembre (14.2 g m⁻²) mientras que los valores mínimos de producción se registraron durante los meses de septiembre (3.7 g m⁻²), octubre (4.0 g m⁻²) y diciembre (5.0 g m⁻²) siendo en hojas el de mayor deposición al suelo, similares a los encontrados por Belmonte *et al.* (2008) en bosques de *Pinus halepensis* (197.4 g m⁻²) y Pérez *et al.* (2009) en bosques de *Pinus cembroides* (300 g m⁻²) en donde los valores más altos de producción se presentaron en el mes de agosto y junio y los mínimos en el mes de diciembre.

4.5 Relación de la hojarasca con los factores ambientales

Los resultados del ACP indican que el componente uno explica poco más del 50% de la variación total, mientras que el segundo componente explica sólo el 14%. El componente uno tiene correlación positiva con casi todas las variables y factores climáticos analizados; es decir, existe una correlación positiva de los componentes de la hojarasca con los factores climáticos.

En este sentido, la deposición de algunos componentes de la hojarasca (corteza, otros y ramas), parece estar gobernada por la pluviosidad, subrayando que

especialmente la acumulación mensual de las temperaturas máximas (STMAX) influye en la deposición de estos componentes, mismos que fueron observados en las colectas 7 y 4; esto podría confirmar que las altas temperaturas registradas en los últimos años a nivel mundial, influyen en la deposición de hojarasca y por ende en la fotosíntesis y PPN, similar a lo reportado por Schlesinger *et al.* (2006) en un experimento realizado sobre los incrementos de CO₂ atmosférico en bosques de *Pinus taeda* mencionan que: las tasas fotosintéticas cubierta por el follaje aumentan hasta un 50%; se presenta un incremento en el área basal de 13-27%; incrementan la biomasa en 108 g de Carbono m⁻² año⁻¹ (27%) y por último, los valores más altos sobre la incorporación de CO₂ al suelo es mayor en dichos bosques.

La deposición de hojarasca más abundante (hojas de Pino y hojosa de *Rhus virens*) está gobernado también por las temperaturas máximas, las cuales se acumulan en las primeras colectas (1, 2 y 3). Estudios a este respecto indican que el clima de la Tierra ha estado sometido a una gran variedad de fenómenos naturales que han conducido a importantes cambios de temperatura (IPCC 1996, Pardos 1999), así mismo Palacios (2002) y Zhou *et al.* (2006) mencionan que en presencia de temperaturas extremadamente altas los cambios microclimáticos en los fragmentos de los bosques contribuyen a la producción de la hojarasca. Generalmente, esto se presenta porque en los años secos las plantas no puede mantener toda su biomasa foliar y se incrementa la deposición de hojarasca al suelo (Bosco *et al.* 2004) siendo esta como una respuesta de las especies al estrés hídrico.

La deposición de conos y semillas fue también registrada como función de las temperaturas máximas, la cual ocurrió, principalmente, en las colectas 1 y 2. En este sentido Huber y Oyarzún (1984) mencionan que la producción de semillas se origina por las temperaturas máximas, ya que esto favorece la apertura de los conos para liberar las semillas (Figura 11).

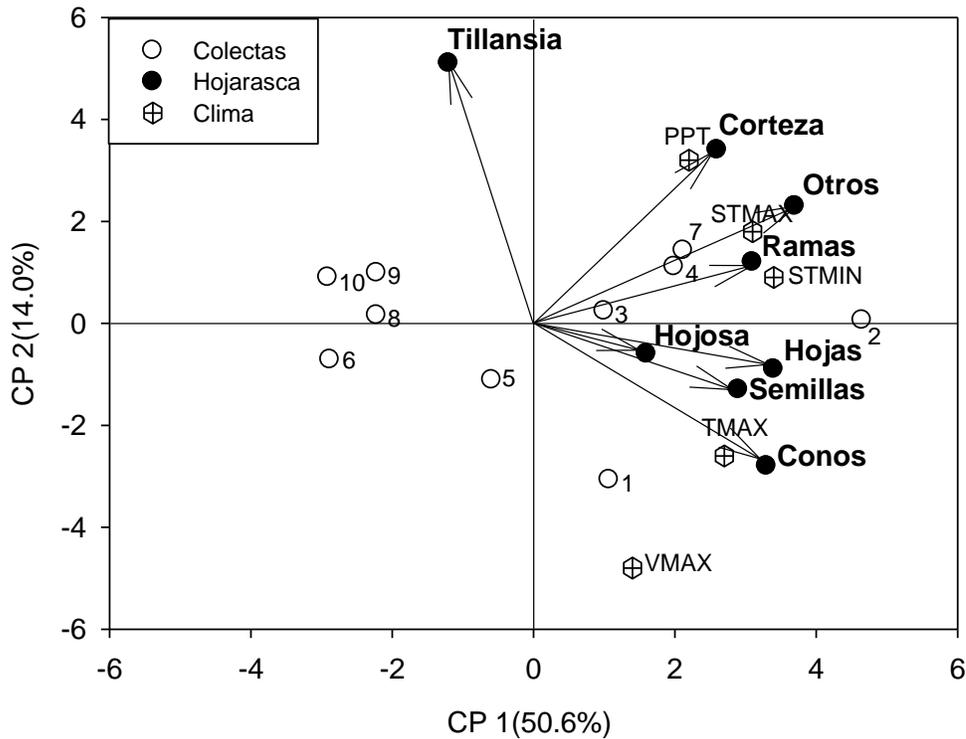


Figura 11. Análisis de los componentes principales de la hojarasca, factores ambientales y colectas, en un bosque de *Pinus cembroides* Zucc., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

De acuerdo a los modelos de regresión, los ajustes de la hojarasca presentan valores que van desde 0.23 (corteza) hasta 0.83 (Tillansia) (Cuadro 4). Sin embargo, de acuerdo a la estación climatológica automatizada los factores más influyentes sobre la producción de la hojarasca son: STMAX (Suma de Temperaturas máximas), VMAX (Velocidad máxima del viento), TMAX (Temperatura máxima), VMED (Velocidad media del viento), STMIN (Suma de temperaturas mínimas) y por último PPT (Precipitación total) (Figura 12).

Cuadro 4. Valores de la R^2 ajustada para cada uno de los componentes principales de la hojarasca en un bosque natural de *Pinus cembroides* Zucc., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

| Componente | Modelo | B ₀ | B ₁ | B ₂ | R ² | Error | Valor p | CV(%) | n |
|------------------------|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------|---------|--------|----|
| | | | | | ajustada | Estándar | | | |
| Hojas (HP) | $b_0 + b_1 \cdot \text{STMAX} \cdot \text{VMAX}$ | 0.41857 | 0.00012 | | 0.589 | 0.927 | 0.00578 | 31.892 | 10 |
| Conos (CO) | $b_0 + b_1 \cdot \text{TMAX} \cdot \text{VMED} \cdot \text{LNTMAX}$ | -0.17358 | 0.00059 | | 0.463 | 0.119 | 0.01815 | 86.150 | 10 |
| Hojosa (HR) | $b_0 + b_1 \cdot \text{STMIN} \cdot \text{VMED}$ | 0.28214 | 0.00038 | | 0.331 | 0.482 | 0.04784 | 59.908 | 10 |
| Corteza (CT) | $b_0 + b_1 \cdot \text{STMIN}$ | 0.15771 | 0.00325 | | 0.237 | 0.533 | 0.08730 | 80.900 | 10 |
| Otros (OT) | $b_0 + b_1 \cdot \text{STMAX} \cdot \text{STMIN}$ | 0.43392 | 0.00001 | | 0.727 | 0.362 | 0.00106 | 32.086 | 10 |
| <i>Tillandsia</i> (HT) | $b_0 + b_1 \cdot \text{LNTMAX} + b_2 \cdot \text{STMIN} \cdot \text{PPT}$ | 9.22373 | -2.90792 | 4.4E-05 | 0.839 | 0.208 | 0.00070 | 23.208 | 10 |
| Ramas (RM) | $b_0 + b_1 \cdot \text{HOJAS}$ | -0.95194 | 0.98873 | | 0.659 | 1.001 | 0.00266 | 52.066 | 10 |

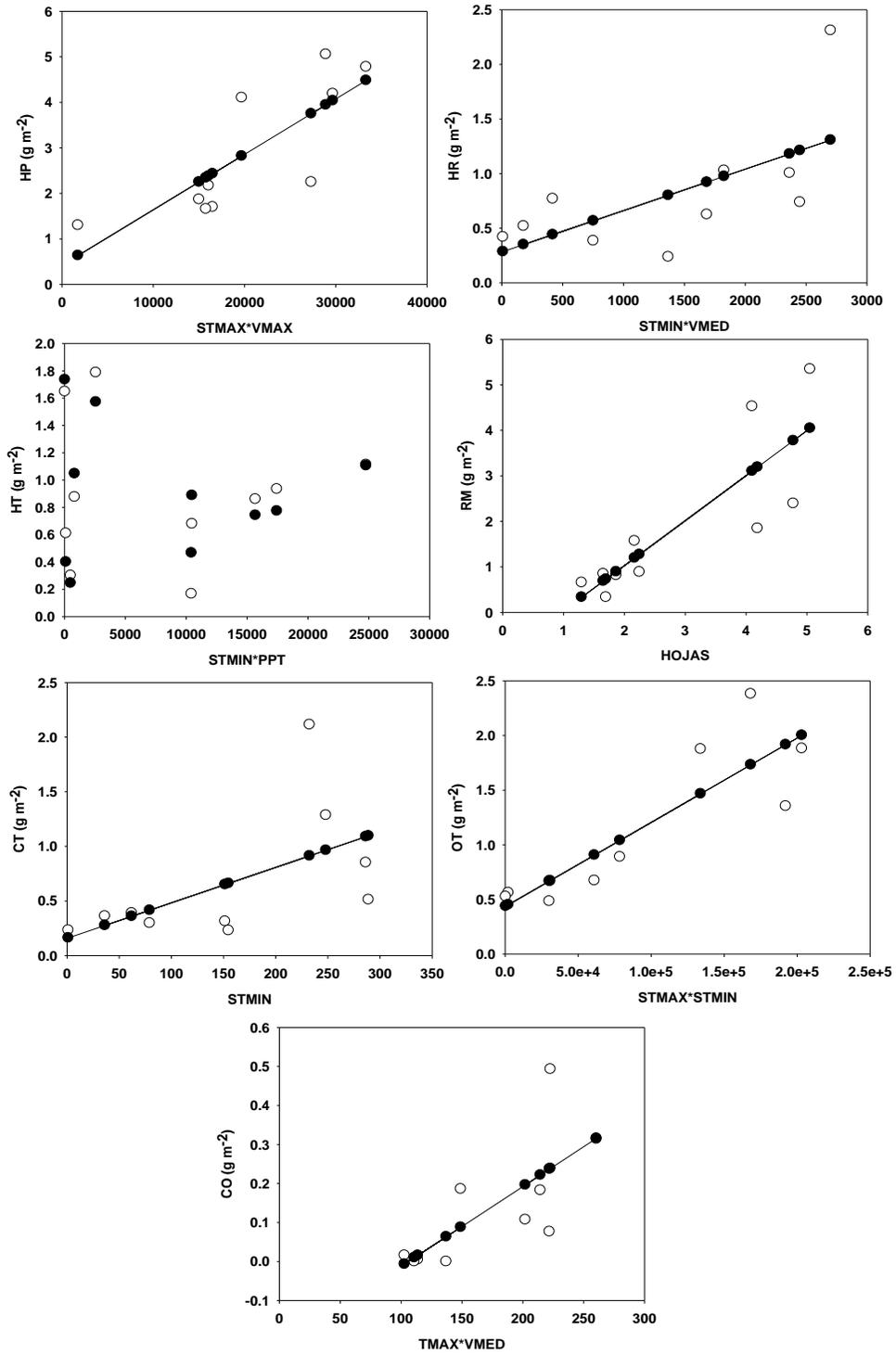


Figura 12. Relación de la hojarasca y variables climáticas, en un bosque de *Pinus cembroides* Zucc., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio la acumulación de hojarasca total obtenida durante diez meses de colecta fue de 858.35 kg ha⁻¹, lo cual la mitad de esta producción corresponde a carbono que es de 429.18 kg de carbono ha⁻¹. Los resultados indican que los valores más altos están representadas por las hojas de pino (HP) y ramas (RM) con el 62.4% de la acumulación total y que estos se registraron en los meses de mayo, junio y julio del 2009, mientras que los valores más bajos se encuentran en los meses de diciembre de 2009, enero y febrero de 2010 y están representadas por los componentes de conos (CO), *Juniperus* (HJ) y semillas (SE) con un valor promedio del 2.1%.

La producción de la hojarasca registrada está en función con los factores climáticos, ya que en los meses de mayor producción (mayo y junio) se registraron las altas temperaturas que favorecieron la caída de los componentes de la hojarasca (hojas, ramas) al suelo.

La deposición mensual de la hojarasca (kg ha⁻¹) fue de 85.84 kg ha⁻¹ mes⁻¹, lo cual extrapola a un año es de 1030.02 kg ha⁻¹ año⁻¹ y 515.01 kg ha⁻¹ año⁻¹. Estos resultados son inferiores en relación a los obtenidos en otros estudios sobre bosques de coníferas, esto se debe por los factores biológico como: densidad de los arboles, área basal y cobertura de copa que favorecen una mayor caída de hojarasca al suelo.

Con estos resultados confirman la importancia ecológica que representa este tipo de bosque en cuando a la caída de hojarasca y deposición de carbono en cada uno de sus componentes con relación a la productividad primaria neta, así como también para la fertilidad del suelo y la sustentabilidad de esta comunidad vegetal estudiada en este sitio.

VI. RECOMENDACIONES

Realizar estudios sobre la deposición de nutrientes en la hojarasca para evaluar su aporte nutritivo y sus efectos sobre la fertilidad del suelo.

Realizar estudios sobre la dinámica de hojarasca y deposición de carbono en sitios cercanos al área estudiada para saber si presentan la misma producción de hojarasca por año.

También es muy importante valorar económicamente estos bosques en pie, y que permitan visualizar los costos de oportunidad de tener estos predios en conservación brindando una cantidad de beneficios ecosistémicos y servicios ambientales, a tenerlos en la producción ganadera u otros usos, esto permitirá generar mayor interés a los tomadores de decisiones respecto a la conservación.

Continuar estudios que contemple las mediciones de hojarasca, en bosques de *Pinus cembroides*, dado que la determinación precisa de ésta asegura una estimación real de la cantidad de carbono almacenado en estos tipos de bosques.

VII. LITERATURA CITADA

- Aceñolaza PG, LP Zamboni, JF Gallardo. 2009. Aporte de hojarasca en bosques del predelta del río Paraná (Argentina). *Bosque* 30(3): 135-145.
- Albrektson A. 1988. Needle litterfall in stands of *Pinus sylvestris* L. in relation to site quality, stand age and latitude. *Scand. J. For. Res.* 3: 333-342.
- Alvarez-Sanchez, J. y S Guevara. 1993. Litterfall dynamics in a Mexican lowland tropical rain forest. *Trop. Ecol.* 34: 127-142.
- Álvarez-Sánchez J. 2001. Descomposición y ciclo de nutrientes en ecosistemas terrestres de México. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*. Número especial 1: 11-19.
- Ballard R, GM Will. 1981. Accumulation of organic matter and mineral nutrients under a *Pinus radiata* stand. *New Zealand Journal of Forestry Science* 11 (2):145-151.
- Barnes BV, DR Zak, SR Denton y SH Spurr. 1998. *Forest ecology*. 4th ed. Wiley. Nueva York, USA. 774 p.
- Belmonte FB, A Romero y E López. 1998. Producción de hojarasca en especies de matorral mediterráneo y su relación con algunos factores ambientales. *NIMBUS*, 1-2. 5-16.
- Belmonte F, F López y A Romero. 2008. Reducción de la biomasa del Pino carrasco (*Pinus halepensis*) en un área del sureste semiárido peninsular como estrategia para evitar el estrés hídrico. *Papeles de Geografía*, 47-48; 25-34.
- Berg B, A Albrektson, P Berg, J Cortina, J Maj-Britt, A Gallardo, M Madeira, J Pausas, W Kiratz, R Vallejo, C McClaugherty. 1999. Amounts of litter fall in some pine forests in a European transect, in particular Scots pine. *Ann. For. Sci.* 56: 625-639.

- Berg B and V Meentemeyer. 2001. Litter fall in some European coniferous forests as dependent on climate: a synthesis. *Can. J. For. Res.* 31(2): 292-301.
- Bosco JI, J Blanco, JF Castillo. 2004. Gestión forestal y ciclos de nutrientes en el marco del cambio global.in Valladares, F. (Eds). *Ecología de bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Ministerio del medio ambiente, EGRAF, S.A. Madrid, España. 479-506 p.
- Bray J, E Gorham. 1964. Litter production in forests of the world. *Adv. Ecol. Res.* 2: 101-157.
- Brown MB, AB Forsythe. 1974. Robust tests for the equality of variances. *Journal of the American Statistical Association.* 69:364-367.
- Carnevale N, JP Lewis. 2001. Litterfall and organic matter decomposition in a seasonal forest of the eastern Chaco (Argentina). *Rev Biol. Trop.* 49 (1): 203-212.
- CETENAL 1977. Carta edafológica. San Antonio de las Alazanas G14 C35. Escala. 1: 50,000. México.
- Ciesla WM. 1996. Cambio climático, bosques y ordenación forestal: una visión de conjunto. Roma, Italia, FAO. 146 p. (Estudio FAO Montes 126).
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) 2000. Departamento de hidrología operativa, Precipitación y Temperatura de la Estación Meteorológica de San Antonio de las Alazanas Arteaga Coahuila.
- Clark DA, S Brown, DW Kicklighter, JD Chambers, JR Thomlinson, J NI, E Holland. 2001. Net primary production in tropical forest: An evaluation and synthesis of existing field data. *Ecological Applications* 11 (2): 371- 384.
- Del Álamo JC. 2007. Ponencia: "Bosques y cambio climático: la función de los bosques como sumideros de carbono y su contribución al cumplimiento del protocolo de Kioto por parte de España". *Foro de Bosques y Cambio Climático*.

- Domínguez TG. 2009. Deposición de hojarasca y retorno potencial de nutrimentos en diferentes comunidades de vegetación. Tesis de Maestría en Ciencias Forestales. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, Nuevo León, México. 132 p.
- Fernández R, M Martiarena, A Lupi, J Goya, J Frangi, J Bernio y H Kuzdra. 2000. Biomasa aérea y caída de hojarasca en plantaciones diferentes edades de *Araucaria angustifolia*. Resultados iniciales. Decimas Jornadas Forestales y Ambientales - Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales - UnaM- EEA- Montecarlo –INTA- El Dorado, Misiones, Argentina. 9 p.
- García Vargas AN 2009. Determinación y comparación de la descomposición de hojarasca en bosques con diferentes grados de intervención en el noreste de Costa Rica Turrialba, Costa Rica, CATIE. 79 p.
- González HR, I Cantú, RG Ramírez, MV Gómez, TG Domínguez, J Bravo, RK Maiti. 2008. Spatial and seasonal litterfall deposition pattern in the Tamaulipan thorscrub, Northeastern México. *International Journal of Agriculture Environment and Biotechnology*. 1:177-181.
- González H, TG Domínguez, I Cantú, MV Gómez, M Pando, RG Ramírez. 2008. Litterfall Deposition Along an Altitudinal and Vegetation Gradient, Northeastern México. Conference on International Research on Food Security, Natural Resource Management and Rural Development. University of Hohenheim, October 7-9 p.
- Gueye SK. 2008. Almacén y dinámica del carbono en suelos de ladera en un gradiente micro climático en Tuxpan, Michoacán. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias. UNAM. México. 11-22 p.
- Guerrero J, JJ Camarero y E Gutierrez. 1998. Crecimiento estacional y caída de acículas en *Pinus sylvestris* y *P. uncinata*. *Invest. Agr.: Sist. Recur. For.* 7 (1 y 2): 155-172.

- Gunadi B. 1992. Litterfall, litter turnover and soil respiration in two pine forest plantations in central Java, Indonesia. *Journal of Tropical Forest Science* 6(3): 310- 322.
- Gutiérrez VH y AJ Lopera. 2001. Metodología para la cuantificación de existencias y flujo de carbono en plantaciones forestales, Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales 18 al 20 de Octubre. Valdivia-Chile. Universidad Nacional de Colombia.
- Granados J y C Córner. 2004. Respuesta de las selvas tropicales al incremento de CO₂ en la atmósfera. *Revista Forestal Iberoamericana* Vol. 1(1).
- Hernández M y M Murcia. 1995. Estimación de la productividad primaria de *Espeletia grandiflora* H y B y *Pinus patula* Schul y Cham en el páramo «El Granizo,» Cundinamarca, Colombia. En: Mora-O, L. y STURN, H (eds.). Estudios Ecológicos del Páramo y del Bosque Altoandino Cordillera Oriental de Colombia. Tomo II. Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. Colección Jorge Álvarez Lleras N° 6 Santa Fe de Bogotá. Colombia.
- Huber J A y C Oyarzún. 1984. Producción de hojarasca y sus relaciones con factores meteorológico en un bosque de *Pinus radiata* (d.don.). Proyecto RS-80-18. Dirección de Investigación y Desarrollo, Universidad Austral de Chile. *Bosque* (5) 1: 1-11.
- Huber A, E Schlatter y C Oyarzun. 1986. Aporte en elementos nutritivos por la hojarasca de un bosque adulto de *Pinus radiata*. Proyectos RS-83-28 y RS-84-14 de la Dirección de Investigación y Desarrollo. Universidad Austral de Chile. *Bosque* 7(2): 59-64.
- Imbert JB, JA Blanco, FJ Castillo. 2004. Gestión forestal y ciclos de nutrientes en el marco del cambio global. En: F. Valladares (ed.). *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid. España. 479-506 p.

- INEGI 2001. Carta topográfica. San Antonio de las Alazanas G14 C35. Escala. 1: 50,000. México.
- IPCC 1996. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Workbook and Reference Manual Revised Version 1996. UNEP, WMO. Module 1, 4, 5.
- Jianfen G, X Jinsheng, L Haoliang, L Dongxia, Y Yusheng y C Guangshui. 2004. Carbon return and dynamics of litterfall in natural forest and monoculture plantation of *Castanopsis kawakamii* in Subtropical China. *Forestry Studies in China* 6(1): 33-36.
- J. Keenan R, CE Prescott, y JP kimmins. 1995. Litter production and nutrient resorption in western red cedar and western hemlock forests on northern Vancouver Island, British Columbia. *Can. J. For. Res.* 25: 1850-1857.
- Kimmins JP. 1997. *Forest ecology. A foundation for sustainable management.* Second edition. Prentice-Hall, Nueva Jersey. 589 p.
- Landsberg JJ, ST Gower. 1997. Applications of physiological ecology to forest management. Academic Press, San Diego. 354 p.
- Lebret M, C Nys and F Forgeard. 2001. Litter production in an Atlantic beech (*Fagus sylvatica* L.) time sequence. *Ann. For. Sci.* 58: 755-768.
- Liu C, CJ Westman, B Berg, W Kutsch, GZ Wang, R Man and H Ilvesniemi. 2004. Variation in litterfall-climate relationships between coniferous and broadleaf forests in Eurasia. *Global Ecology and Biogeography, (Global Ecol. Biogeogr.)* 13: 105-114.
- Luna-Cavazos M, A Romero-Manzanares y E García-Moya. 2008. Afinidades en la flora genérica de piñonares del norte y centro de México: un análisis fenético. *Revista Mexicana de Biodiversidad:* 79 (2). 449-458 p.
- Melillo J y J Aber. 1982. Nitrogen and ligning control of hardwood leaf litter decomposition dynamics. *Ecology* 63: 621-626.

- Monedero C y V Gonzales. 1995. Producción de hojarasca y descomposición en una selva nublada del ramal interior de la cordillera de la costa, Venezuela. Sociedad Venezolana de Ecología, *Ecotropicos* 8(1-2): 1-14.
- Nájera JA y E Hernández H. 2009. Acumulación de biomasa aérea en un bosque coetáneo de la región de El Salto, Durango. *Ra Ximhai* 5 (2).225 -230 p.
- Navarro SA, LM Torres, A Cano, S Valencia y EH Cornejo. 2000. Predicción de volúmenes de fuste para *Pinus cembroides* Zucc., en el Sureste de Coahuila. Foresta-AN. Nota Técnica No. 3 UAAAN. Saltillo, Coahuila. 16 p.
- Odiwe AI y JI Muoghalu. 2003. Litterfall dynamics and forest floor litter as influenced by fire in a secondary lowland rain forest in Nigeria. *Tropical Ecology* 44(2): 243-251.
- Ordóñez A. 1999. Estimación de la captura de carbono en un estudio de caso. Instituto Nacional de Ecología. SEMARNAP. México D.F. 2-73 p.
- Ordóñez JAB y O Maser. 2001. Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques* 7 (1): 3-12.
- Palacios PA. 2002, Producción y descomposición de hojarasca en un bosque Maulino fragmentado. Seminario de Título, Biología Ambiental. 1-19 p.
- Pardos JA. 1999. Ante un cambio climático: papel de los montes arbolados y los productos forestales en la retención del carbono. *Invest. Agr.: Sist. Recur. For.:* Fuera de Serie n° 1. 93-99 p.
- Pausas, J.G. 1997. Litter fall and litter decomposition in *Pinus sylvestris* forests of the eastern Pyrenees. *Journal of Vegetation Science* 8: 643-650.
- Pavón NP, O Briones, J Flores-Rivas. 2005. Litterfall production and nitrogen content in an intertropical semi-arid Mexican scrub. *Journal of Arid Environments* 60:1-13.
- Pérez Suarez M, JT Arredondo-Moreno, E Huber, JJ Vargas. 2009. Production and quality of senesced and green litterfall in a pine–oak forest in central-northwest Mexico. *Forest Ecology and Management* 258: 1307-1315.

- Perry JP. 1991. The pines of Mexico and Central America. Timber Press, Inc. 231 p.
- Post WM, WR Emmanuel, PS Zinke y AG Stangenberger. 1982. Soil carbon pools and world life zones. *Nature* 298: 156-159.
- Prause J, G Arce de Caram, y PN Angeloni. 2003. Variación mensual en el aporte de cuatro especies forestales nativas del Parque Chaqueño Humado (Argentina). *Revista de Ciencias Forestales - Quebracho* N° 10. 39-45 p.
- Quinto MH, Y Ramos y BD Abadía. 2007. Cuantificación de la caída de 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. N° 26, chocó, Colombia.* 28-41p.
- Ramírez JA, MC Zapata, JD León, y MI González. 2007. Caída de hojarasca y retorno de nutrientes en bosques montanos andinos de Piedras Blancas, Antioquia, Colombia, *Interciencia* 32 (5): 303-311.
- Rentería LI y AA García.1997. Las coníferas de la Reserva de la Biosfera "La Michilía", Durango, México. *Madera y Bosques* 3(1):53-70.
- Rojas-Mendoza P. 1965. Generalidades sobre la vegetación del estado de Nuevo León y datos acerca de su flora. Tesis. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 75-124 p.
- Rzedowski J. 2006. Vegetación de México. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 504 p.
- Sanches BM, TD Prieto, C Peral, AR. Tamburi, R Caseri y IR Berazaín. 2003. Producción de hojarasca en un bosque semidecíduo estacional en São Pedro, Potirendaba, estado de São Paulo, Brasil. *Revista del Jardín Botánico Nacional* 24(1-2): 173-176.
- Santa Regina R, JF Gallardo. 1985. Producción de hojarasca en tres bosques de la sierra de Béjar. (Salamanca). *Mediterránea Ser. Biol.*, n.º 8. 89-101 p.

- Santa Regina I y JF Gallardo. 1989. Ciclos biogeoquímicos en bosques de la Sierra de Béjar (provincia de Salamanca). *Options Méditerranéennes - Série Séminaires* 3: 147-149.
- Santa Regina I, T Tarazona. 1999. Organic matter dynamics in beech and pine stands of mountainous Mediterranean climate area. *Ann. For. Vol. Sci.* 56: 667-677.
- Santa Regina I. 2001. Litter fall, decomposition and nutrient release in three semi-arid forests of the Duero basin, Spain. *Forestry* 74(4): 347-358.
- Schlesinger WH, ES Bernhardt, EH DeLucia, DS Ellsworth, AC Finzi, GR Hendrey, KS Hofmockel, J Lichter, R Matamala, D Moore, R Oren, JS Phippen and RB Thomas. 2006. The Duke Forest FACE Experiment: CO₂ Enrichment of a Loblolly Pine Forest. *Ecological Studies* 187: 197-212.
- Smith TM, WP Cramer, RK Dixon, R Leemans, RP Neilson and AM Solomon. 1993. The Global Terrestrial Carbon Cycle. *Water, Air and Soil Pollution*, 70: 19-37 p.
- Snowdon P, J Raison, H Keith, K Montagu, K Bi, P Ritson, P Grierson, M Adams, W Burrows and D Eamus. 2001. Protocol for sampling tree and stand biomass. National carbon accounting system technical report No. 31 Draft-March 2001. *Australian Greenhouse Office*. 114 p.
- Soler P, L Berroterán, L Gil y R Acosta. 2008. Producción de hojarasca de la vegetación nativa en los llanos altos centrales de Venezuela. *Zootecnia Trop.*, 26(3): 265-268.
- Ukonmaanaho L, M Nieminen, P Nöjd y P Merilä. 2008. Litterfall production and nutrient return to the forest floor in Scots pine and Norway spruce stands in Finland. *Boreal Environment Research* 13 (suppl. B): 67-91.
- UNESCO, PNUMA, FAO. 1980. Producción primaria bruta y neta, parámetros de crecimiento. En: *Ecosistemas de los bosques tropicales*. UNESCO-CIFCA. Madrid, España, 265-282 p.

- Vargas-Parra L, A Varela. 2007. Producción de hojarasca de un bosque de niebla en la reserva natural la planada (Nariño, Colombia). *Universitas Scientiarum* - Edición especial, 12: 35-49.
- Vela G. 2009. Vulnerabilidad del suelo de conservación del distrito federal ante el cambio climático y posibles medidas de adaptación: *Estimación de carbono orgánico total en los edafosistemas del Suelo de Conservación del Distrito Federal*. Informe del proyecto. 1-63 p.
- Vitousek PM, DR Turner, WJ Parton, RL Sanford. 1994. Litter decomposition on the Mauna Loa environmental matrix, Hawaii: patterns, mechanisms, and models. *Ecology* 72:418-429.
- Zamboni P, P Aceñoloza. 2004. Aporte al conocimiento de ciclos de materia orgánica en formaciones boscosas de la llanura de inundación del río Paraná. *Serie Misc. INSUGEO* 12: 5-12.
- Zhou G, L Guan, X Wei, D Zhang, Q Zhang, J Yan, D Wen, J Liu, S Liu, Z Huang, G Kong, J Mo, Q Yu. 2006. Litterfall production along successional and altitudinal gradients of subtropical monsoon evergreen broadleaved forests in Guangdong, China. *Plant Ecol* . 1-13.

ANEXOS

Anexo 1. Pruebas de normalidad por componente de hojarasca en un bosque de *Pinus cembroides* Zucc., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

| Colecta | Componente | g. l. | Shapiro-Wilk | | Kolmogorov-Smirnov | |
|------------|------------------------|-------|--------------|----------|--------------------|-------------------|
| | | | Estadístico | <valor p | Estadístico | <valor p |
| 05/05/2009 | Hojas (HP) | 40 | 0.9293 | 0.0153 | 0.1631 | <0.0100 |
| 05/05/2009 | Ramas (RM) | 40 | 0.8447 | <0.0001 | 0.2229 | <0.0100 |
| 05/05/2009 | Conos (CO) | 40 | 0.3356 | <0.0001 | 0.4620 | <0.0100 |
| 05/05/2009 | Hojosa (HR) | 40 | 0.6566 | <0.0001 | 0.2624 | <0.0100 |
| 05/05/2009 | Corteza (CT) | 40 | 0.7303 | <0.0001 | 0.2426 | <0.0100 |
| 05/05/2009 | Otros (OT) | 40 | 0.6343 | <0.0001 | 0.2611 | <0.0100 |
| 05/05/2009 | <i>Tillandsia</i> (HT) | 40 | 0.4058 | <0.0001 | 0.3581 | <0.0100 |
| 05/05/2009 | Semillas (SE) | 40 | 0.3808 | <0.0001 | 0.4552 | <0.0100 |
| 05/06/2009 | Hojas (HP) | 40 | 0.9555 | 0.1177 | 0.0888 | >0.1500 |
| 05/06/2009 | Ramas (RM) | 40 | 0.9457 | 0.0540 | 0.0958 | >0.1500 |
| 05/06/2009 | Conos (CO) | 40 | 0.4932 | <0.0001 | 0.4689 | <0.0100 |
| 05/06/2009 | Hojosa (HR) | 40 | 0.6376 | <0.0001 | 0.2698 | <0.0100 |
| 05/06/2009 | Corteza (CT) | 40 | 0.7137 | <0.0001 | 0.2442 | <0.0100 |
| 05/06/2009 | Otros (OT) | 40 | 0.9356 | 0.0246 | 0.1064 | >0.1500 |
| 05/06/2009 | <i>Tillandsia</i> (HT) | 40 | 0.5511 | <0.0001 | 0.3172 | <0.0100 |
| 05/06/2009 | Semillas (SE) | 40 | 0.2238 | <0.0001 | 0.4567 | <0.0100 |
| 08/07/2009 | Hojas (HP) | 40 | 0.9610 | 0.1819 | 0.1015 | >0.1500 |
| 08/07/2009 | Ramas (RM) | 40 | 0.5431 | <0.0001 | 0.3057 | <0.0100 |
| 08/07/2009 | Conos (CO) | 40 | 0.1470 | <0.0001 | 0.5378 | <0.0100 |

| | | | | | | |
|------------|------------------------|----|--------|---------|--------|-------------------|
| 08/07/2009 | Hojosa (HR) | 40 | 0.4898 | <0.0001 | 0.3195 | <0.0100 |
| 08/07/2009 | Corteza (CT) | 40 | 0.6382 | <0.0001 | 0.2784 | <0.0100 |
| 08/07/2009 | Otros (OT) | 40 | 0.7941 | <0.0001 | 0.2102 | <0.0100 |
| 08/07/2009 | <i>Tillandsia</i> (HT) | 40 | 0.3596 | <0.0001 | 0.4968 | <0.0100 |
| 08/07/2009 | Semillas (SE) | 40 | 0.4045 | <0.0001 | 0.5132 | <0.0100 |
| 09/08/2009 | Hojas (HP) | 40 | 0.9654 | 0.2546 | 0.0680 | >0.1500 |
| 09/08/2009 | Ramas (RM) | 40 | 0.4814 | <0.0001 | 0.3193 | <0.0100 |
| 09/08/2009 | Conos (CO) | 40 | 0.2703 | <0.0001 | 0.5221 | <0.0100 |
| 09/08/2009 | Hojosa (HR) | 40 | 0.4249 | <0.0001 | 0.3547 | <0.0100 |
| 09/08/2009 | Corteza (CT) | 40 | 0.5693 | <0.0001 | 0.3000 | <0.0100 |
| 09/08/2009 | Otros (OT) | 40 | 0.3559 | <0.0001 | 0.3343 | <0.0100 |
| 09/08/2009 | <i>Tillandsia</i> (HT) | 40 | 0.3327 | <0.0001 | 0.4516 | <0.0100 |
| 09/08/2009 | Semillas (SE) | 40 | 0.5771 | <0.0001 | 0.4437 | <0.0100 |
| 06/09/2009 | Hojas (HP) | 40 | 0.9597 | 0.1638 | 0.0859 | >0.1500 |
| 06/09/2009 | Ramas (RM) | 40 | 0.6948 | <0.0001 | 0.2681 | <0.0100 |
| 06/09/2009 | Conos (CO) | 40 | 0.2386 | <0.0001 | 0.5149 | <0.0100 |
| 06/09/2009 | Hojosa (HR) | 40 | 0.3626 | <0.0001 | 0.3629 | <0.0100 |
| 06/09/2009 | Corteza (CT) | 40 | 0.4267 | <0.0001 | 0.3489 | <0.0100 |
| 06/09/2009 | Otros (OT) | 40 | 0.2969 | <0.0001 | 0.3824 | <0.0100 |
| 06/09/2009 | <i>Tillandsia</i> (HT) | 40 | 0.2071 | <0.0001 | 0.4173 | <0.0100 |
| 06/09/2009 | Semillas (SE) | 40 | 0.3945 | <0.0001 | 0.4821 | <0.0100 |
| 09/10/2009 | Hojas (HP) | 40 | 0.9093 | 0.0036 | 0.1224 | 0.1334 |
| 09/10/2009 | Ramas (RM) | 40 | 0.3504 | <0.0001 | 0.3898 | <0.0100 |
| 09/10/2009 | Conos (CO) | 40 | 0.2303 | <0.0001 | 0.5364 | <0.0100 |
| 09/10/2009 | Hojosa (HR) | 40 | 0.4984 | <0.0001 | 0.3629 | <0.0100 |
| 09/10/2009 | Corteza (CT) | 40 | 0.5460 | <0.0001 | 0.3587 | <0.0100 |
| 09/10/2009 | Otros (OT) | 40 | 0.4941 | <0.0001 | 0.3320 | <0.0100 |
| 09/10/2009 | <i>Tillandsia</i> (HT) | 40 | 0.4049 | <0.0001 | 0.4321 | <0.0100 |

| | | | | | | |
|------------|------------------------|----|--------|---------|--------|---------------|
| 09/10/2009 | Semillas (SE) | 40 | 0.3459 | <0.0001 | 0.4937 | <0.0100 |
| 02/11/2009 | Hojas (HP) | 40 | 0.8678 | 0.0003 | 0.1624 | <0.0100 |
| 02/11/2009 | Ramas (RM) | 40 | 0.8939 | 0.0013 | 0.1379 | 0.0537 |
| 02/11/2009 | Conos (CO) | 40 | 0.3608 | <0.0001 | 0.3765 | <0.0100 |
| 02/11/2009 | Hojosa (HR) | 40 | 0.5010 | <0.0001 | 0.3488 | <0.0100 |
| 02/11/2009 | Corteza (CT) | 40 | 0.5645 | <0.0001 | 0.3148 | <0.0100 |
| 02/11/2009 | Otros (OT) | 40 | 0.5548 | <0.0001 | 0.2971 | <0.0100 |
| 02/11/2009 | <i>Tillandsia</i> (HT) | 40 | 0.2224 | <0.0001 | 0.4181 | <0.0100 |
| 02/11/2009 | Semillas (SE) | 40 | 0.4065 | <0.0001 | 0.5139 | <0.0100 |
| 07/12/2009 | Hojas (HP) | 40 | 0.8992 | 0.0018 | 0.1623 | <0.0100 |
| 07/12/2009 | Ramas (RM) | 40 | 0.3619 | <0.0001 | 0.3463 | <0.0100 |
| 07/12/2009 | Conos (CO) | 40 | 0.1470 | <0.0001 | 0.5378 | <0.0100 |
| 07/12/2009 | Hojosa (HR) | 40 | 0.5652 | <0.0001 | 0.3343 | <0.0100 |
| 07/12/2009 | Corteza (CT) | 40 | 0.6814 | <0.0001 | 0.2983 | <0.0100 |
| 07/12/2009 | Otros (OT) | 40 | 0.8328 | <0.0001 | 0.1949 | <0.0100 |
| 07/12/2009 | <i>Tillandsia</i> (HT) | 40 | 0.4063 | <0.0001 | 0.4147 | <0.0100 |
| 07/12/2009 | Semillas (SE) | 40 | 0.3550 | <0.0001 | 0.5259 | <0.0100 |
| 06/01/2010 | Hojas (HP) | 40 | 0.8613 | 0.0002 | 0.1694 | <0.0100 |
| 06/01/2010 | Ramas (RM) | 40 | 0.2933 | <0.0001 | 0.4018 | <0.0100 |
| 06/01/2010 | Conos (CO) | 40 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 06/01/2010 | Hojosa (HR) | 40 | 0.5472 | <0.0001 | 0.3159 | <0.0100 |
| 06/01/2010 | Corteza (CT) | 40 | 0.5375 | <0.0001 | 0.3124 | <0.0100 |
| 06/01/2010 | Otros (OT) | 40 | 0.8698 | 0.0003 | 0.1682 | <0.0100 |
| 06/01/2010 | <i>Tillandsia</i> (HT) | 40 | 0.4257 | <0.0001 | 0.3817 | <0.0100 |
| 06/01/2010 | Semillas (SE) | 40 | 0.2794 | <0.0001 | 0.5243 | <0.0100 |
| 06/02/2010 | Hojas (HP) | 40 | 0.8707 | 0.0003 | 0.1813 | <0.0100 |
| 06/02/2010 | Ramas (RM) | 40 | 0.4012 | <0.0001 | 0.3389 | <0.0100 |
| 06/02/2010 | Conos (CO) | 40 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |

| | | | | | | |
|------------|------------------------|----|--------|---------|--------|---------|
| 06/02/2010 | Hojosa (HR) | 40 | 0.5587 | <0.0001 | 0.3081 | <0.0100 |
| 06/02/2010 | Corteza (CT) | 40 | 0.5907 | <0.0001 | 0.3831 | <0.0100 |
| 06/02/2010 | Otros (OT) | 40 | 0.7867 | <0.0001 | 0.2052 | <0.0100 |
| 06/02/2010 | <i>Tillandsia</i> (HT) | 40 | 0.5251 | <0.0001 | 0.3604 | <0.0100 |
| 06/02/2010 | Semillas (SE) | 40 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |

Valores de P en negritas (P>0.05) indican que presentan una distribución normal.

Anexo 2. Promedio de los valores porcentuales de cada uno de los componentes de diez colectas en un bosque de *Pinus cembroides* Zucc., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

| COMPONENTES (%) | | | | | | | | | |
|------------------|-------|-------|-------|--------|---------|-------|-------------------|----------|------------------|
| Fecha de colecta | Hojas | Ramas | Conos | Hojosa | Corteza | Otros | <i>Tillandsia</i> | Semillas | <i>Juniperus</i> |
| 05-may-09 | 51.04 | 19.15 | 1.77 | 11.02 | 3.00 | 10.77 | 1.91 | 0.57 | 0.77 |
| 05-jun-09 | 34.62 | 29.09 | 2.16 | 7.01 | 6.61 | 16.23 | 3.32 | 0.95 | 0.01 |
| 08-jul-09 | 38.93 | 8.42 | 0.37 | 20.84 | 5.22 | 20.47 | 5.54 | 0.21 | 0.00 |
| 09-ago-09 | 51.26 | 11.89 | 0.58 | 6.45 | 6.02 | 16.50 | 4.21 | 0.71 | 2.39 |
| 06-sep-09 | 64.10 | 6.55 | 2.41 | 6.43 | 6.26 | 9.34 | 2.19 | 0.94 | 1.78 |
| 09-oct-09 | 58.84 | 7.21 | 0.27 | 12.06 | 6.02 | 9.03 | 6.25 | 0.32 | 0.00 |
| 02-nov-09 | 34.79 | 29.15 | 1.07 | 4.68 | 9.38 | 16.97 | 1.77 | 0.12 | 2.05 |
| 07-dic-09 | 46.43 | 11.11 | 0.14 | 16.04 | 6.90 | 12.78 | 6.35 | 0.24 | 0.00 |
| 06-ene-10 | 52.13 | 8.35 | 0.00 | 10.79 | 2.96 | 16.14 | 9.20 | 0.17 | 0.26 |
| 06-feb-10 | 50.46 | 9.72 | 0.00 | 11.71 | 3.40 | 10.96 | 13.42 | 0.00 | 0.34 |
| Promedio Fechas | 48.3 | 14.1 | 0.9 | 10.7 | 5.6 | 13.9 | 5.4 | 0.4 | 0.8 |

Anexo 3. Grupo 1: Pruebas de Kruskal Wallis de hojas de Pino (HP), hojosa de *Rhus virens* (HR), hojas de *Tillandsia recurvata* (HT) y hojas *Juniperus deppeana* (HJ).

| Variable | Colecta | N | Medias | D.E. | Medianas | Promedio rangos | G.L. | H | P |
|----------|---------|----|--------|--------|----------|-----------------|------|----------|---------|
| HP | 1 | 40 | 4.7790 | 2.6033 | 4.12 | 293.125 | 9 | 112.2021 | <0.0001 |
| HP | 2 | 40 | 5.0535 | 3.1314 | 4.99 | 281.788 | | | |
| HP | 3 | 40 | 2.2488 | 1.2102 | 2.24 | 188.713 | | | |
| HP | 4 | 40 | 4.1905 | 2.4982 | 4.09 | 267.525 | | | |
| HP | 5 | 40 | 1.7003 | 1.1235 | 1.60 | 149.013 | | | |
| HP | 6 | 40 | 1.3008 | 1.1186 | 1.09 | 117.513 | | | |
| HP | 7 | 40 | 4.1020 | 3.5377 | 3.32 | 241.488 | | | |
| HP | 8 | 40 | 1.6573 | 1.2514 | 1.37 | 142.838 | | | |
| HP | 9 | 40 | 2.1703 | 1.8761 | 1.50 | 168.225 | | | |
| HP | 10 | 40 | 1.8675 | 1.4992 | 1.34 | 154.775 | | | |

| Variable | Colecta | N | Medias | D.E. | Medianas | Promedio rangos | G.L. | H | P |
|----------|---------|----|--------|--------|----------|-----------------|------|---------|---------|
| HR | 1 | 40 | 1.0293 | 1.6184 | 0.41 | 250.038 | 9 | 36.5070 | <0.0001 |
| HR | 2 | 40 | 1.0055 | 1.6391 | 0.45 | 229.938 | | | |
| HR | 3 | 40 | 2.3108 | 4.9147 | 0.51 | 267.475 | | | |
| HR | 4 | 40 | 0.7388 | 1.9831 | 0.03 | 175.263 | | | |
| HR | 5 | 40 | 0.2373 | 0.6743 | 0.06 | 173.050 | | | |
| HR | 6 | 40 | 0.5200 | 1.2204 | 0.02 | 173.300 | | | |
| HR | 7 | 40 | 0.6260 | 1.4432 | 0.03 | 177.125 | | | |
| HR | 8 | 40 | 0.7705 | 1.5155 | 0.15 | 205.163 | | | |
| HR | 9 | 40 | 0.3853 | 0.8041 | 0.04 | 174.050 | | | |
| HR | 10 | 40 | 0.4205 | 0.8390 | 0.02 | 179.600 | | | |

| Variable | Colecta | N | Medias | D.E. | Medianas | Promedio rangos | G.L. | H | P |
|----------|---------|----|--------|--------|----------|-----------------|------|---------|--------|
| HT | 1 | 40 | 0.3010 | 0.8280 | 0.02 | 218.550 | 9 | 28.5251 | 0.0008 |
| HT | 2 | 40 | 0.8605 | 1.6790 | 0.15 | 256.675 | | | |
| HT | 3 | 40 | 0.9345 | 2.9149 | 0.02 | 225.463 | | | |
| HT | 4 | 40 | 1.1133 | 3.7427 | 0.03 | 215.138 | | | |
| HT | 5 | 40 | 0.1668 | 0.7984 | 0.00 | 151.450 | | | |
| HT | 6 | 40 | 0.6100 | 1.6893 | 0.00 | 165.513 | | | |
| HT | 7 | 40 | 0.6798 | 3.0716 | 0.01 | 195.563 | | | |
| HT | 8 | 40 | 0.8758 | 2.4956 | 0.00 | 182.000 | | | |
| HT | 9 | 40 | 1.7875 | 4.8701 | 0.00 | 188.963 | | | |
| HT | 10 | 40 | 1.6480 | 3.6666 | 0.00 | 205.688 | | | |

| Variable | Colecta | N | Medias | D.E. | Medianas | Promedio rangos | G.L. | H | P |
|----------|---------|----|--------|--------|----------|-----------------|------|--------|--------|
| HJ | 1 | 40 | 0.0438 | 0.2767 | 0.00 | 202.000 | 9 | 3.0465 | 0.9624 |
| HJ | 2 | 40 | 0.0033 | 0.0206 | 0.00 | 201.925 | | | |
| HJ | 3 | 40 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 | 197.000 | | | |
| HJ | 4 | 40 | 0.5315 | 3.3615 | 0.00 | 202.075 | | | |
| HJ | 5 | 40 | 0.0588 | 0.3716 | 0.00 | 202.025 | | | |
| HJ | 6 | 40 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 | 197.000 | | | |
| HJ | 7 | 40 | 0.1203 | 0.7605 | 0.00 | 202.050 | | | |
| HJ | 8 | 40 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 | 197.000 | | | |
| HJ | 9 | 40 | 0.0085 | 0.0538 | 0.00 | 201.950 | | | |
| HJ | 10 | 40 | 0.0110 | 0.0696 | 0.00 | 201.975 | | | |

Donde N= numero de observaciones, D.E. es la desviación estándar, G.L.= Grados de libertad, H=Prueba de rangos de KW y P= valor de p.

Anexo 4. Grupo 1: Pruebas de medias de rango de Kruskal Wallis para componentes de hojas de pino (HP), hojas de *Rhus virens* (HR), hojas *Tillandsia* (HT) y hojas *Juníperus* (HJ).

| Colecta. | Rangos HP | Grupos | Colecta | Rangos HR | Grupos | Colecta | Rangos HT | Grupos | Colecta | Rangos HJ | Grupos |
|----------|-----------|--------|---------|-----------|--------|---------|-----------|--------|---------|-----------|--------|
| 6 | 117.51 | A | 5 | 173.05 | A | 5 | 151.45 | A | 1 | 202.00 | A |
| 8 | 142.84 | A B | 6 | 173.30 | A | 6 | 165.51 | A B | 2 | 201.93 | A |
| 5 | 149.01 | A B | 9 | 174.05 | A | 8 | 182.00 | A B C | 3 | 197.00 | A |
| 10 | 154.78 | A B | 4 | 175.26 | A | 9 | 188.96 | A B C | 4 | 202.08 | A |
| 9 | 168.23 | B | 7 | 177.13 | A | 7 | 195.56 | A B C | 5 | 202.03 | A |
| 3 | 188.71 | B | 10 | 179.60 | A B | 10 | 205.69 | B C | 6 | 197.00 | A |
| 7 | 241.49 | C | 8 | 205.16 | A B C | 4 | 215.14 | B C D | 7 | 202.05 | A |
| 4 | 267.53 | C D | 2 | 229.94 | B C D | 1 | 218.55 | C D | 8 | 197.00 | A |
| 2 | 281.79 | C D | 1 | 250.04 | C D | 3 | 225.46 | C D | 9 | 201.95 | A |
| 1 | 293.13 | D | 3 | 267.48 | D | 2 | 256.68 | D | 10 | 201.98 | A |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

Colectas: (1) 05/5/2009, (2) 05/6/2009, (3) 08/7/2009, (4) 09/8/2009, (5) 06/9/2009, (6) 09/10/2009, (7) 02/11/2009, (8) 07/12/2009, (9) 06/1/2010 y (10) 06/2/2010.

Anexo 5. Grupo 2: Pruebas de Kruskal Wallis para componentes de Ramas (RM), Corteza (CT) y de Otros (material no identificado) (OT).

| Variable | Colecta | N | Medias | D.E. | Medianas | Promedio rangos | G.L. | H | P |
|----------|---------|----|--------|--------|----------|-----------------|------|----------|---------|
| RM | 1 | 40 | 2.3930 | 2.4840 | 1.19 | 260.725 | 9 | 122.5047 | <0.0001 |
| RM | 2 | 40 | 5.3468 | 4.0758 | 4.60 | 311.600 | | | |
| RM | 3 | 40 | 0.8893 | 1.7504 | 0.23 | 174.038 | | | |
| RM | 4 | 40 | 1.8458 | 3.8874 | 0.49 | 210.975 | | | |
| RM | 5 | 40 | 0.3335 | 0.5177 | 0.08 | 142.000 | | | |
| RM | 6 | 40 | 0.6563 | 2.0965 | 0.00 | 117.000 | | | |
| RM | 7 | 40 | 4.5258 | 4.1529 | 3.85 | 294.888 | | | |
| RM | 8 | 40 | 0.8470 | 2.1420 | 0.29 | 173.013 | | | |
| RM | 9 | 40 | 1.5710 | 5.6008 | 0.13 | 150.413 | | | |
| RM | 10 | 40 | 0.8145 | 1.9610 | 0.31 | 170.350 | | | |

| Variable | Colecta | N | Medias | D.E. | Medianas | Promedio rangos | G.L. | H | P |
|----------|---------|----|--------|--------|----------|-----------------|------|---------|---------|
| CT | 1 | 40 | 0.2298 | 0.3292 | 0.09 | 188.713 | 9 | 36.2383 | <0.0001 |
| CT | 2 | 40 | 1.2860 | 1.8560 | 0.34 | 260.325 | | | |
| CT | 3 | 40 | 0.5118 | 0.8685 | 0.11 | 215.213 | | | |
| CT | 4 | 40 | 0.8513 | 1.6237 | 0.18 | 229.163 | | | |
| CT | 5 | 40 | 0.3135 | 0.8074 | 0.00 | 168.400 | | | |
| CT | 6 | 40 | 0.3615 | 0.7665 | 0.00 | 172.175 | | | |
| CT | 7 | 40 | 2.1145 | 4.1652 | 0.41 | 246.475 | | | |
| CT | 8 | 40 | 0.3893 | 0.6283 | 0.06 | 190.800 | | | |
| CT | 9 | 40 | 0.2970 | 0.6073 | 0.00 | 175.625 | | | |
| CT | 10 | 40 | 0.2320 | 0.4468 | 0.00 | 158.113 | | | |

| Variable | Colecta | N | Medias | D.E. | Medianas | Promedio rangos | G.L. | H | P |
|----------|---------|----|--------|--------|----------|-----------------|------|----------|---------|
| OT | 1 | 40 | 0.8893 | 1.0387 | 0.70 | 217.888 | 9 | 102.9321 | <0.0001 |
| OT | 2 | 40 | 2.3818 | 1.7194 | 2.18 | 310.750 | | | |
| OT | 3 | 40 | 1.3543 | 1.3229 | 0.85 | 252.600 | | | |
| OT | 4 | 40 | 1.8820 | 3.8929 | 1.00 | 261.188 | | | |
| OT | 5 | 40 | 0.6733 | 2.2511 | 0.09 | 122.613 | | | |
| OT | 6 | 40 | 0.5618 | 1.2666 | 0.04 | 122.488 | | | |
| OT | 7 | 40 | 1.8763 | 3.5219 | 0.53 | 207.663 | | | |
| OT | 8 | 40 | 0.4838 | 0.4757 | 0.36 | 164.113 | | | |
| OT | 9 | 40 | 0.6665 | 0.6666 | 0.46 | 186.063 | | | |
| OT | 10 | 40 | 0.5260 | 0.6391 | 0.27 | 159.638 | | | |

Donde N= numero de observaciones, D.E. es la desviación estándar, G.L.= Grados de libertad, H=Prueba de rangos de KW y P= valor de p.

Anexo 6. Grupo 2: Pruebas de medias de rango de Kruskal Wallis para componentes de Ramas (RM, Corteza (CT) y de Otros (material no identificado) (OT).

| Colecta | Rangos RM | Grupos | Colecta | Rangos CT | Grupos | Colecta | Rangos OT | Grupos |
|---------|-----------|--------|---------|-----------|--------|---------|-----------|--------|
| 6 | 117.00 | A | 10 | 158.11 | A | 6 | 122.49 | A |
| 5 | 142.00 | A B | 5 | 168.40 | A B | 5 | 122.61 | A |
| 9 | 150.41 | A B | 6 | 172.18 | A B | 10 | 159.64 | A B |
| 10 | 170.35 | B C | 9 | 175.63 | A B | 8 | 164.11 | A B |
| 8 | 173.01 | B C | 1 | 188.71 | A B C | 9 | 186.06 | B C |
| 3 | 174.04 | B C | 8 | 190.80 | A B C | 7 | 207.66 | B C D |
| 4 | 210.98 | C D | 3 | 215.21 | B C D | 1 | 217.89 | C D E |
| 1 | 260.73 | D E | 4 | 229.16 | C D | 3 | 252.60 | D E |
| 7 | 294.89 | E F | 7 | 246.48 | D | 4 | 261.19 | E F |
| 2 | 311.60 | F | 2 | 260.33 | D | 2 | 310.75 | F |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

Colectas: (1) 05/5/2009, (2) 05/6/2009, (3) 08/7/2009, (4) 09/8/2009, (5) 06/9/2009, (6) 09/10/2009, (7) 02/11/2009, (8) 07/12/2009, (9) 06/1/2010 y (10) 06/2/2010.

Anexo 7. Grupo 3: Pruebas de Kruskal Wallis para componentes de Conos (CO) y semillas (SE).

| Variable | Colecta | N | Medias | D.E. | Medianas | Promedio rangos | G.L. | H | P |
|----------|---------|----|--------|--------|----------|-----------------|------|---------|---------|
| CO | 1 | 40 | 0.3140 | 1.0645 | 0.00 | 234.375 | 9 | 43.2328 | <0.0001 |
| CO | 2 | 40 | 0.4930 | 1.1286 | 0.00 | 222.763 | | | |
| CO | 3 | 40 | 0.0765 | 0.4838 | 0.00 | 186.300 | | | |
| CO | 4 | 40 | 0.1073 | 0.4364 | 0.00 | 196.338 | | | |
| CO | 5 | 40 | 0.1825 | 0.8032 | 0.00 | 196.475 | | | |
| CO | 6 | 40 | 0.0158 | 0.0721 | 0.00 | 190.813 | | | |
| CO | 7 | 40 | 0.1860 | 0.5767 | 0.00 | 230.138 | | | |
| CO | 8 | 40 | 0.0048 | 0.0300 | 0.00 | 185.800 | | | |
| CO | 9 | 40 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 | 181.000 | | | |
| CO | 10 | 40 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 | 181.000 | | | |

| Variable | Colecta | N | Medias | D.E. | Medianas | Promedio rangos | G.L. | H | P |
|----------|---------|----|--------|--------|----------|-----------------|------|---------|--------|
| SE | 1 | 40 | 0.0688 | 0.2068 | 0.00 | 211.650 | 9 | 14.3093 | 0.1117 |
| SE | 2 | 40 | 0.2688 | 1.2545 | 0.00 | 206.013 | | | |
| SE | 3 | 40 | 0.0220 | 0.0622 | 0.00 | 200.463 | | | |
| SE | 4 | 40 | 0.0385 | 0.0760 | 0.00 | 224.838 | | | |
| SE | 5 | 40 | 0.0340 | 0.1008 | 0.00 | 205.538 | | | |
| SE | 6 | 40 | 0.0188 | 0.0621 | 0.00 | 199.300 | | | |
| SE | 7 | 40 | 0.0175 | 0.0492 | 0.00 | 199.713 | | | |
| SE | 8 | 40 | 0.0083 | 0.0257 | 0.00 | 193.438 | | | |
| SE | 9 | 40 | 0.0073 | 0.0288 | 0.00 | 189.050 | | | |
| SE | 10 | 40 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 | 175.000 | | | |

Donde N= numero de observaciones, D.E. es la desviación estándar, G.L.= Grados de libertad, H=Prueba de rangos de KW y P= valor de p.

Anexo 8. Grupo 3: Pruebas de medias de rangos de Kruskal Wallis para componentes de Conos (Co) y Semillas (Se).

| Colecta | Rangos CO | Grupos | Colecta | Rangos SE | Grupos |
|---------|--------------|--------|---------|--------------|--------|
| 9 | 181.00 | A | 1 | 211.65 | A |
| 10 | 181.00 | A | 2 | 206.01 | A |
| 8 | 185.80 | A B | 3 | 200.46 | A |
| 3 | 186.30 | A B | 4 | 224.84 | A |
| 6 | 190.81 | A B | 5 | 205.54 | A |
| 4 | 196.34 | A B | 6 | 199.30 | A |
| 5 | 196.48 | A B | 7 | 199.71 | A |
| 2 | 222.76 | A B | 8 | 193.44 | A |
| 7 | 230.14 | A B | 9 | 189.05 | A |
| 1 | 234.38 | B | 10 | 175.00 | A |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

Colectas: (1) 05/5/2009, (2) 05/6/2009, (3) 08/7/2009, (4) 09/8/2009, (5) 06/9/2009, (6) 09/10/2009, (7) 02/11/2009, (8) 07/12/2009, (9) 06/1/2010 y (10) 06/2/2010.