



**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS
Y ARTES DE CHIAPAS**

CAMPUS DEL MAR

MONOGRAFÍA

**IMPORTANCIA DE LA PRODUCCIÓN
Y DESCOMPOSICIÓN DE
HOJARASCA EN ECOSISTEMAS DE
MÉXICO**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**LICENCIADO EN BIOLOGÍA MARINA
Y MANEJO INTEGRAL DE CUENCAS**

PRESENTA

ROSA ISELA MOLINA LÓPEZ



Tonalá, Chiapas

Agosto del 2014



**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS
Y ARTES DE CHIAPAS**

CAMPUS DEL MAR

MONOGRAFÍA

**IMPORTANCIA DE LA PRODUCCIÓN Y
DESCOMPOSICIÓN DE HOJARASCA
EN ECOSISTEMAS DE MÉXICO**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**LICENCIADO EN BIOLOGÍA MARINA
Y MANEJO INTEGRAL DE CUENCAS**

PRESENTA

ROSA ISELA MOLINA LÓPEZ

Director

M. en C. MIGUEL ÁNGEL HERNÁNDEZ ESPINOSA

Asesor

M. en C. SELENE LUCERO AGUILAR GORDILLO



AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo de tesis de monografía primeramente me gustaría agradecerle a ti Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad este sueño anhelado.

A mi director de tesis de monografía, **M. en C. MIGUEL ANGEL HERNANDEZ ESPINOSA** por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación ha logrado en mí que pueda terminar mis estudios con éxito.

A mi asesora **M. en C. SELENE LUCERO AGUILAR GORDILLO** por su orientación, disciplina, apoyo y colaboración durante mi proceso de formación personal, profesional y académica, por enseñarme y demostrarme la investigación como un estilo de vida.

DEDICATORIA

A mi madre: aquí tienes mi esfuerzo...tarde pero seguro...este triunfo es de las dos. Gracias por apoyarme.

A mi Padre: con mucho respeto, gracias por quererme tal y como soy...espero ser tu orgullo.

Con todo mi cariño y mi amor para las personas que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento.

Papá y mamá

A ti amor por siempre estar a mi lado en las buenas y en las malas; por tu comprensión, paciencia y amor, dándome ánimos de fuerza y valor para seguir adelante gracias

Amor.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	I
ÍNDICE CUADROS	II
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	III
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1. OBJETIVO GENERAL	3
2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	3
III. PRESENTACIÓN SISTEMATIZADA DE LA INFORMACIÓN	4
3.1. Producción de hojarasca.....	4
3.1.1. Factores que influyen en la acumulación de hojarasca.....	6
3.1.2. Importancia de la producción de hojarasca.....	15
3.1.3. Nutrientes acumulados en la hojarasca.....	16
3.2. Descomposición de hojarasca.....	17
3.2.1. Factores que influyen en la descomposición de hojarasca.....	19
3.3. Reciclaje de nutrientes.....	20
3.4. Influencia de la materia orgánica sobre propiedades del suelo.....	22
3.4.1. Influencia de los organismos sobre el suelo.....	23
3.5. Producción y descomposición de hojarasca en diferentes ecosistemas en México.....	24
3.6. Importancia ecológica de la producción de hojarasca.....	29
IV. CONCLUSIONES	31
V. RECOMENDACIONES Y PROPUESTAS	33
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Acumulación mensual de hojarasca (promedio \pm e.e., $\text{mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mes}^{-1}$) durante marzo de 2005 a febrero de 2006 en cinco comunidades forestales en Chiapas: BE = bosque de encino, BP = bosque de pino, BPE = bosque de pino encino, BPEL= bosque de pino-encinoliquidámbar y PR = parcelas bajo restauración forestal. La unidad Mg, es un megagramo equivalente a 1000 kilogramos. Tomado de Rocha-Loredo, 2009.....	10
Figura 2. Acumulación de hojarasca en plantaciones de <i>P. greggii</i> Engelm y <i>P. cembroides</i> Zucc, en Arteaga, Coahuila, México. Cada valor representa media ($n = 15$) \pm error estándar. Medias con letras iguales (en cada fecha) no son estadísticamente diferentes (Kruskal Wallis, 0.05). Tomado de Gutiérrez-Vázquez <i>et al.</i> , 2012.....	11
Figura 3. Porcentajes de aportación de componentes en la hojarasca (hojas, ramas y conos) en plantaciones de <i>P. greggii</i> Engelm (a) y <i>P. cembroides</i> Zucc (b), en Arteaga, Coahuila, México (Tomado de Gutiérrez-Vázquez <i>et al.</i> , 2012).....	13
Figura 4. Acumulación mensual de ramas (a) y conos (b) en plantaciones de <i>P. greggii</i> Engelm y <i>P. cembroides</i> Zucc, en Arteaga, Coahuila, México. Cada valor representa la media ($n=15$) \pm error estándar. Medias con letras iguales (en cada fecha) no son estadísticamente diferentes (Kruskal Wallis, 0.05). Tomado de Gutiérrez-Vázquez <i>et al.</i> , 2012.....	14
Figura 5. Reciclaje de nutrientes en el suelo.....	22

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Características dasométricas promedio de plantaciones de <i>P. greggii</i> Engelm y <i>P. cembroides</i> Zucc, en Arteaga, Coahuila, México. Tomado de Gutiérrez-Vázquez <i>et al.</i> , 2012.....	11
Cuadro 2. Localidades donde se han realizado estudios de productividad primaria de ecosistemas terrestres en México en el periodo 1990-2006. Tomado de Escobar y Maass, 2008.....	26
Cuadro 3. Producción de Hojarasca en distintos ecosistemas de México. Tomado de Escobar y Maass, 2008.....	28

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

Abreviatura	Significado
C:	Carbono
CO ₂ :	Dióxido de carbono
Ha:	Hectárea
K:	Potasio
N:	Nitrógeno
NH ₃ :	Amoníaco
P:	Fósforo
pH:	Potencial de hidrogeno
PPN:	Productividad primaria neta

I. INTRODUCCIÓN

La producción de hojarasca y su descomposición son procesos fundamentales en el ciclo de generación de nutrientes, ya que representa la principal vía de transferencia de materia orgánica, lo que genera además una fuente de fertilización natural. En los bosques más de la mitad de la absorción anual de nutrientes ocurre por la reincorporación de hojarasca al suelo, así como, el subsecuente reciclaje de estos nutrientes que representan la principal fuente de minerales disponibles (Del Valle-Arango, 2003).

La hojarasca produce una capa orgánica sobre la superficie de los suelos, generando un microclima edáfico que favorece el crecimiento de un gran número de organismos. Por otra parte, la descomposición de hojarasca es esencial para el buen funcionamiento de los bosques, ya que los nutrientes pueden eliminarse por lixiviación edáfica, por volatilización o ser un factor limitante en el crecimiento y desarrollo de los organismos (Montagnini y Jordan, 2002), todo esto dependiendo de la lentitud o rapidez respectivamente para descomponer a la hojarasca.

Con el fin de entender y conocer a detalle como ocurre la liberación de nutrientes durante la descomposición, este se puede analizar bajo tres mecanismos: liberación de componentes solubles, fase de inmovilización y fase de liberación neta (Weerakkody y Parkinson, 2006). Esta liberación se ve influenciada por la temperatura, humedad, disponibilidad de nutrientes en el suelo, la especie, la edad y composición química de la hojarasca (Cornelissen *et al.*, 1996).

Por otra parte, las condiciones ambientales modifican la rapidez de la caída y descomposición de los restos vegetales en la superficie del suelo, lo que a su vez influye en el tipo y la abundancia de la materia orgánica que se origina. La temperatura y la humedad parecen ser las variables más determinantes (Del Valle-Arango, 2003), ya que favorecen o limitan el desarrollo de la vegetación y las

actividades de los microorganismos, que son elementos esenciales para la formación de suelo fértil.

En México existen diversos estudios relacionados con la producción y descomposición de hojarasca, donde se han estudiado a diversas especies vegetales, crecimiento de organismos que participan en la descomposición, condiciones ambientales que favorecen o retrasan la liberación de nutrientes, así como la composición química de la hojarasca, puesto que cada especie vegetal presenta sus propias concentraciones de nutrientes que determinan la velocidad de descomposición y calidad de suelo.

Por lo que con este trabajo monográfico, se pretende describir la importancia que la producción y descomposición de hojarasca brinda a los ecosistemas, especialmente en los casos descritos para México. Esto nos permitirá describir los factores que influyen en la producción y descomposición de hojarasca, reconocer los atributos químicos de la hojarasca, describir la influencia de materia orgánica sobre las propiedades del suelo y establecer la importancia ecológica de la producción y descomposición de la hojarasca.

II. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Describir la importancia de la producción y descomposición de hojarasca en ecosistemas de México.

2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 1.- Explicar el proceso de producción y descomposición de la hojarasca.
- 2.- Describir los factores que influyen en la producción y descomposición de la hojarasca.
- 3.- Describir la importancia ecológica de los estudios realizados sobre la producción y descomposición de la hojarasca en México.

III. PRESENTACIÓN SISTEMATIZADA DE LA INFORMACIÓN

3.1 Producción de hojarasca

La producción y descomposición de hojarasca son procesos en los que la materia orgánica se deposita y reduce en sus elementos constituyentes. Ambos procesos regulan la cantidad y calidad (propiedades bioquímicas) de la materia orgánica producida en un ecosistema, por lo que son responsables de la formación de sustancias húmicas que contribuyen en la fertilidad del suelo (Berg y McLaugherty, 2008).

El término producción de hojarasca se ha abordado desde diferentes enfoques, sobre todo por el tipo de vegetal que se estudia y los ciclos vegetativos que presenta. Por ejemplo, en Inglaterra denominan “Litter-fall” al conjunto de material como hojas, ramas, frutos, inflorescencias y estructuras no identificadas, depositado por árboles y arbustos al piso forestal. Pérez *et al.* (2006), en Argentina utilizan el término “caída de mantillo” y se refieren a la caída de acículas, ramas < 1 cm y miscelánea. En México, Návar y Jurado (2009a), definen el término “productividad foliar” a la materia orgánica depositada sobre el suelo (follaje, ramas, fustes, etc.). En México González *et al.* (2008), adoptaron la propuesta de los anglosajones “Litter-fall”, “caída o acumulación de hojarasca” (por su traducción al español), debido a su amplio uso en México y en diferentes partes del mundo. Por lo que, en este trabajo documental se empleará el término hojarasca (Litter-fall) como el conjunto de órganos vegetales (excepción de las raíces), que retornan al suelo, sufren un proceso de desintegración hasta formar parte del suelo en forma de nutrientes (González *et al.*, 2008).

Por lo anterior la producción de hojarasca se compone de hojas, ramas, flores, inflorescencias, frutos y estructuras de la planta que aportan nutrientes a los suelos forestales (Arunachalam *et al.*, 1999), su acumulación es importante para mantener la productividad primaria neta de ecosistemas forestales (Pérez *et al.*, 2006) y es responsable de la fertilidad y la formación del suelo (Belmonte *et al.*, 1998).

La hojarasca provee de recursos y hábitat para diversas especies de fauna edáfica y propicia sitios seguros para la germinación y establecimiento de las semillas (Belmonte *et al.*, 1998). También en terrenos con pendientes pronunciadas, cuando se encuentra una densa cobertura forestal, la hojarasca puede disminuir el impacto de la lluvia y reducir la erosión hídrica del suelo al favorecer el escurrimiento laminar y así, disminuir el escurrimiento turbulento (Gayoso y Alarcón, 1999).

La producción de hojarasca depende de diversos factores como la temperatura, humedad, calidad vegetal así como del periodo del año. Aceñolaza *et al.* (2009), documentaron que 40% del aporte anual en bosques caducifolios y semicaducifolios ocurre durante primavera y verano. Según Belmonte *et al.* (1998), en *Pinus halepensis* la mayor producción de hojas ocurre en verano y la caída interanual de hojarasca en ecosistemas tropicales es similar. Por lo que es evidente que las condiciones ambientales y la especie vegetal que se presentan durante el año influyen en la caída de hojarasca

Por medio de la hojarasca se regenera el suelo, se evita la erosión, se mejoran las propiedades físicas y químicas del suelo, y se mantiene la fertilidad del mismo, además que ayuda a sostener la vida de la fauna heterótrofa (Pérez *et al.*, 2006). Por lo que conocer datos y tendencias de la producción de hojarasca se vuelve relevante en ecología y silvicultura, ya que nos permite establecer la dinámica de los ecosistemas, identificar las especies adaptables al cambio climático y desarrollar nuevas prácticas de manejo sostenible (López-López *et al.*, 2013).

3.1.1. Factores que influyen en la acumulación de hojarasca

La hojarasca acumulada sobre el piso forestal es un importante almacén de nutrimentos para el bosque; no obstante, cuando la acumulación es alta y la descomposición es lenta se pueden retardar los procesos de generación y captación de nutrimentos del bosque (Cornelissen *et al.*, 1996).

La variación espacial en la acumulación de la hojarasca puede verse afectada por las condiciones biofísicas del sitio, así como por las condiciones de la estructura y composición de la vegetación (Hobbie, 2005), la capacidad de descomposición que se mantenga en el sitio, el clima (Aerts, 1997) y el efecto que ejerza la altitud (Martínez-Yrizar *et al.*, 1999). Por otra parte, las condiciones de fertilidad y humedad en el suelo también son relevantes para la producción de hojarasca (Xuluc-Tolosa *et al.*, 2003).

La caída de hojarasca se ve influenciada por diversos factores edáficos y climáticos (Roig *et al.*, 2005; Caritat *et al.*, 2006). Donde la influencia en la producción de estos factores es esencial, ya que las características de las poblaciones vegetales, no explican por sí solas las diferencias que puedan existir en el desfronde (Trofymow *et al.*, 1991). Así, varios autores han encontrado que la caída de hojarasca aumenta mediante el abonado con N y la irrigación (Sheriff, 1996; Jacobson *et al.*, 2000).

Dentro de las variables climáticas, la temperatura y la precipitación, son buenos predictores de la producción de hojarasca (Berg y Meentemeyer, 2001). Sin embargo, debido a diferencias en la fisiología y ecología entre especies, la producción en algunos tipos de bosques está más relacionada con la temperatura y en otros con la precipitación (Liu *et al.*, 2004). A escala global, la variación en la producción se analiza y entiende por las variables climáticas (temperatura y precipitación), en tanto que a escala local la variación es atribuida a factores como el tipo de formación vegetal, la densidad del arbolado, el área basal y la edad. Las

especies que viven en lugares con alta humedad edáfica presentan mayores tasas de producción que aquellas especies de sitios con sequías estacionales y baja humedad (Pérez *et al.*, 2006). En las zonas geográficas y ecológicas donde predominan condiciones de sequedad extrema y cobertura vegetal reducidas, muchas especies reducen la superficie de transpiración a través de la pérdida de hojas en respuesta al estrés hídrico (Heal *et al.*, 1997).

La altitud y la latitud también influyen en las tasas de desfronde. Diversos estudios han demostrado que a mayor altitud menor producción ya que al existir una época corta de crecimiento se inhibe el desarrollo vegetal, sin embargo presenta una longevidad de más tiempo favoreciendo que la biomasa foliar se renueve en menor medida en el transcurso del año (De neve *et al.*, 1996). Según Lonsdale (1988), la latitud, es un buen predictor de la producción de hojarasca, esto principalmente porque se mantiene una temperatura media anual y precipitaciones en la zona del trópico. Sin embargo esta relación positiva entre la temperatura y precipitación ocurre dentro de un limitado rango de latitud. Bray y Gorham (1964), plantearon en cuanto a la altitud que la tasa de desfronde máxima oscila entre 600-800m en zonas templadas y que en altitudes menores las precipitaciones descienden, contrario a altitudes mayores donde las temperaturas disminuyen, con lo que se obtienen valores inferiores de producción como se mencionó anteriormete.

Heal *et al.* (1997), determinaron que el porcentaje de hojarasca que cae a suelo anualmente decrece con la edad, lo que se fundamenta con los estudios previos de Thiebaud y Vernet (1981), quienes atribuyeron que el cambio en el estado fisiológico de los árboles depende de la edad, ya que los mayores están más orientados hacia la reproducción y los jóvenes hacia el crecimiento vegetativo. Sin embargo las perturbaciones como fuegos o huracanes o la presencia de contaminantes en el aire, actividades antropogénicas también influyen cambios en la producción de hojarasca (Pedersen y Billi-Hansen, 1999).

Liu *et al.* (2004), determinaron que en los bosques caducifolios existe mayor desfronde que en los bosques de coníferas, incluso en una misma región forestal. Además las especies caducifolias tienden a desprenderse de sus hojas en otoño o a comienzos del invierno, caso contrario a las perennifolias donde sus hojas se producen de manera constante a lo largo de todo el año y la mayor proporción se desprende en la época estival (Hobbie, 2000).

Xuluc-Tolosa *et al.* (2003), describen que las especies del interior en los bosques de encino y de pino-encino han sido las más severamente afectadas con la extinción local. En este sentido Rocha-Loredo y Ramirez (2009), cuantificaron la producción de hojarasca en comunidades sucesionales del bosque de pino-encino en dos localidades de Chiapas (Merced Bazom, municipio de Huistan y el parque Nacional Lagunas de Montebello, municipio de la Trinidad en Chiapas) y evaluaron simultáneamente la descomposición de hojarasca de siete especies. Las localidades difieren en características físicas y estructurales, pero ambas comparten una larga historia del uso del suelo que ha dado como resultado un gradiente sucesional del bosque de pino-encino, que incluye desde etapas maduras, representadas por el bosque de encino y pino-encino, los bosques secundarios de pino-encino-Liquidambar (BPEL) y los bosques más perturbados como el bosque de pino y áreas de vegetación secundaria arbustiva, resultado del patrón continuo de perturbación antropogénica (Escobar y Maass, 2008).

En la localidad de Merced Bazom se delimitaron seis parcelas de 0.25 ha (50 x 50 m), considerando dos parcelas para cada una de las siguientes comunidades forestal: (1) Bosque de encino (BE), (2) Bosque de pino-encino (BPE) y (3) Bosque de pino (BP). En la localidad de Montebello, se seleccionaron otras dos comunidades forestales: (4) Bosque de pino-encino-Liquidambar (BPEL) y (5) Parcelas de restauración (PR) que corresponden a un ensayo de enriquecimiento de bosque secundarios con 16 especies arbóreas nativas, establecido durante el verano del 2003 (Rocha-Loredo y Ramírez-Marcial, 2009).

Rocha-Loredo y Ramírez-Marcial (2009), evaluarón la producción de hojarasca a lo largo de un año, la cual varió significativamente entre los tipos de bosques analizados (Figura 1). La mayor acumulación anual de hojarasca se registró en el BPE ($7.59 \pm 0.29 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$), seguida del BE ($6.58 \pm 0.27 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$), el BPEL ($5.33 \pm 0.18 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$) y el BP ($5.18 \pm 0.19 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$). La cantidad de hojarasca registrada en las parcelas bajo restauración forestal (PR) fue significativamente inferior ($2.43 \pm 0.13 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$) al resto de las otras condiciones forestales. Sobre la base temporal, se observó un pico de máxima caída de hojarasca durante el inicio del periodo de muestreo (marzo-abril de 2005) en la mayoría de los bosques analizados; sin embargo, hubo otro pulso de alta acumulación de hojarasca entre octubre noviembre del mismo año atribuible al paso del huracán Stan. La menor cantidad y variación en la acumulación mensual de hojarasca se registró en las parcelas bajo restauración $0.12\text{-}0.34 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mes}^{-1}$.

En otro estudio, Gutiérrez-Vázquez *et al.* (2012), evaluaron la caída de hojarasca en dos plantaciones forestales (*P. greggii* Engelm y *P. cembroides* Zucc) en el transcurso 1992 en la Sierra de Arteaga, Coahuila, México, donde las condiciones ambientales de crecimiento fueron similares. La hojarasca fue colectada mensualmente durante un año (Febrero del 2009 a febrero del 2010).

La caída de hojarasca total durante el periodo de estudio presentó diferencias entre especies, fue mayor en *P. greggii* con $2.98 \pm 5.18 \text{ g m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$ que en *P. cembroides* con $2.71 \pm 6.01 \text{ g m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$ (Figura 2), tales valores equivalen a 1072 y 976 $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ respectivamente. Los aportes más importantes ocurrieron durante mayo y junio en *P. greggii*, y de marzo a mayo en *P. cembroides* con promedios de 84.71 y 77.83 $\text{kg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$ respectivamente.

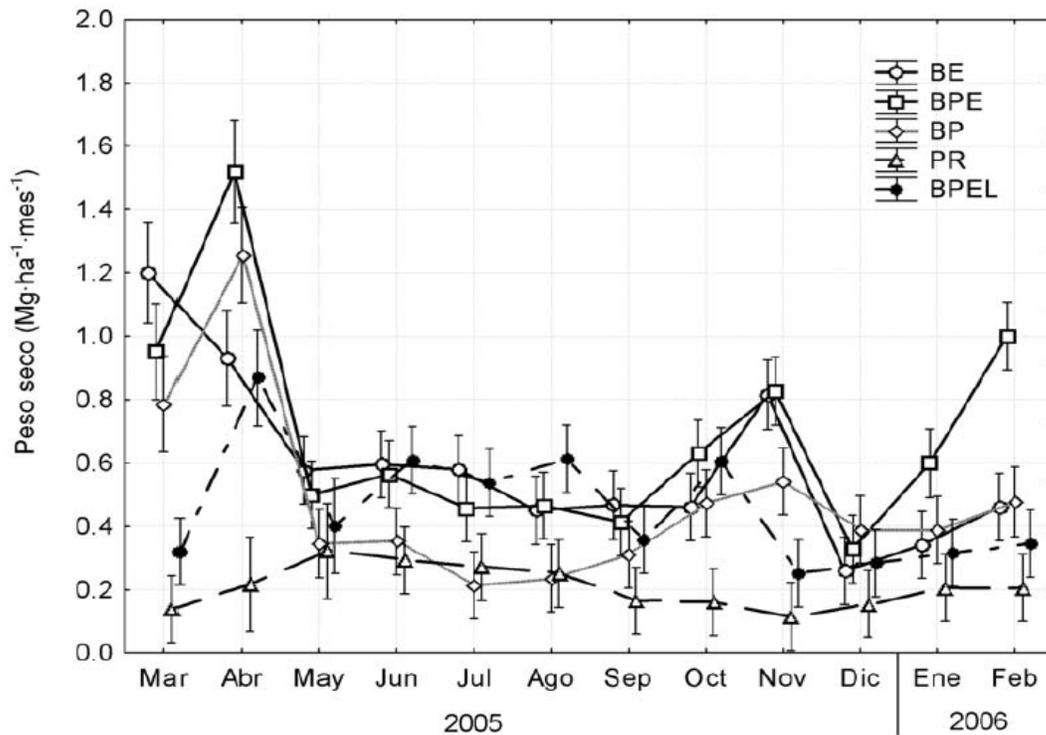


Figura 1. Acumulación mensual de hojarasca (promedio \pm error estándar, $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mes}^{-1}$) durante marzo de 2005 a febrero de 2006 en cinco comunidades forestales en Chiapas: BE = bosque de encino, BP = bosque de pino, BPE = bosque de pino encino, BPEL= bosque de pino-encinoliquidámbar y PR = parcelas bajo restauración forestal. La unidad Mg, es un megagramo equivalente a 1000 kilogramos. Tomado de Rocha-Loredo, 2009.

De acuerdo a Gutiérrez-Vázquez *et al.* (2012), esta diferencia entre especies, podría sugerir, además de mayor tasa de crecimiento, mayor productividad en *P. greggii* que *P. cembroides*, ya que a los 17 años *P. greggii* muestra mayores dimensiones en altura, diámetro normal y diámetro de copa, y con ello más volumen y área de copa (Cuadro 1).

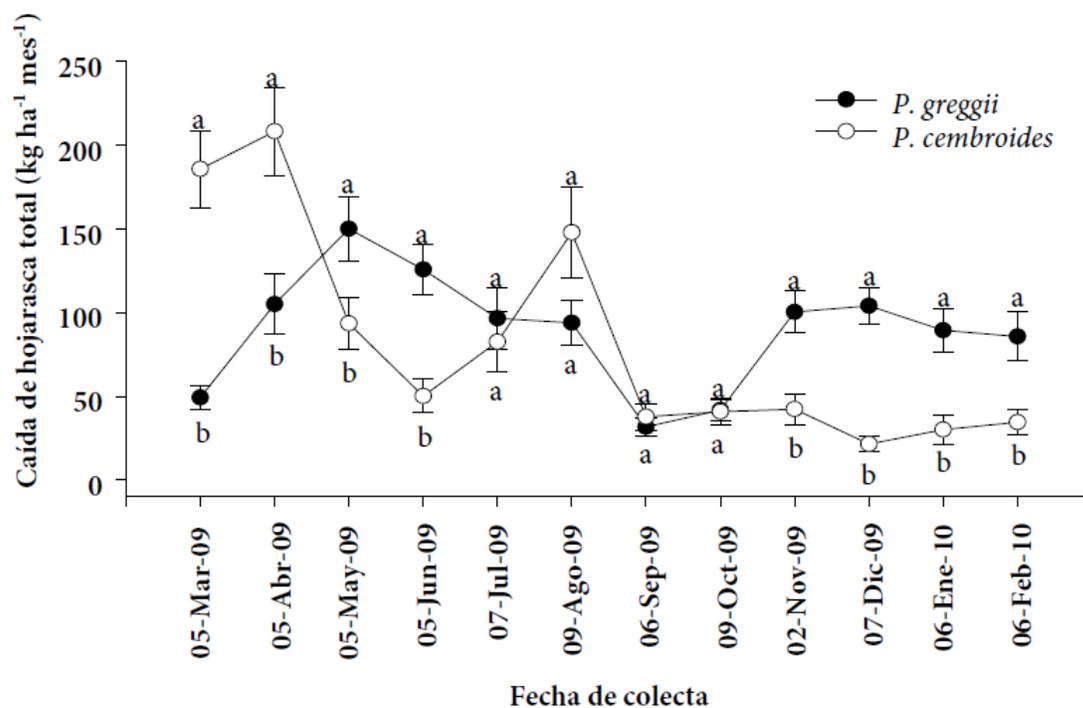


Figura 2. Acumulación de hojarasca en plantaciones de *P. greggii* Engelm y *P. cembroides* Zucc, en Arteaga, Coahuila, México. Cada valor representa media (n = 15) ± error estándar. Medias con letras iguales (en cada fecha) no son estadísticamente diferentes (Kruskal Wallis, 0.05). Tomado de Gutiérrez-Vázquez *et al.*, 2012.

Cuadro 1. Características dasométricas promedio de plantaciones de *P. greggii* Engelm y *P. cembroides* Zucc, en Arteaga, Coahuila, México. Tomado de Gutiérrez-Vázquez *et al.*, 2012.

Variable	Plantación	
	<i>P. greggii</i> Engelm	<i>P. cembroides</i> Zucc
Densidad (árboles ha ⁻¹)	679.0	2382.0
Altura (m)	7.73	2.50
Diámetro a 1.3m (cm)	13.17	7.36
Diámetro de copa (m)	2.79	1.55
Altura del fuste limpio (m)	1.61	0.2

El componente más representativo de la hojarasca fue la hoja, con 92.3 ± 8.1 % de la caída total en *P. greggii* y 94.3 ± 3.8 % en *P. cembroides*. Los conos y ramas sólo aportaron 5.9 y 1.8 % y 2.3 y 3.3 % en *P. greggii* y *P. cembroides* respectivamente (Figura 3 a y b).

La acumulación de ramas no mostró diferencias entre especies, cuyos promedios fueron 0.16 ± 0.36 ($19.65 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) y 0.22 ± 0.47 $\text{g m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$ ($26.39 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) en *P. greggii* y *P. cembroides*, respectivamente, a pesar de la mayor densidad de árboles en *P. cembroides*, lo que indica que las características dimensionales de las especies (diámetro y altura del árbol, área, volumen y longitud de copa) no influyen en la caída de ramas.

Entre fechas de colecta, sólo en *P. cembroides* hubo diferencias importantes en la caída de ramas, donde los meses de marzo y noviembre mostraron las acumulaciones más altas (Figura 4a) y la deposición más baja de ramas ocurrió en junio y agosto. En *P. greggii* la caída de ramas resultó similar en todos los meses.

En cuanto a la acumulación de conos *P. greggii* contribuyó con los valores más altos, 0.31 ± 0.60 $\text{g m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$ ($36.65 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), atribuible a la cantidad y mayor tamaño de sus conos, ya que en *P. cembroides* los conos representaron una acumulación de sólo 0.13 ± 0.54 $\text{g m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$ ($15.85 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$).

La caída de conos de *P. greggii* varió entre fechas de colecta y los aportes más importantes fueron durante marzo y abril, y el menor en diciembre (Figura 4b). En *P. cembroides* la caída de conos fue similar entre fechas con un promedio de 1.32 ± 5.44 $\text{kg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$.

Las diferencias en la producción mensual de conos entre especies, podría deberse a las características ambientales y genéticas de cada una de las especies.

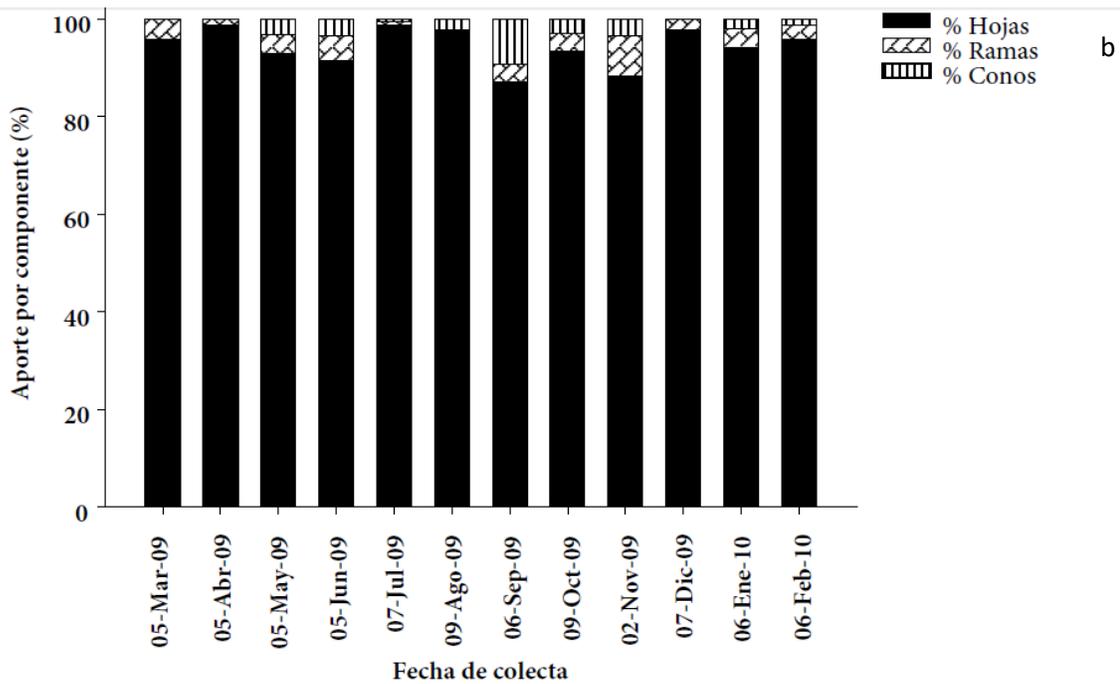
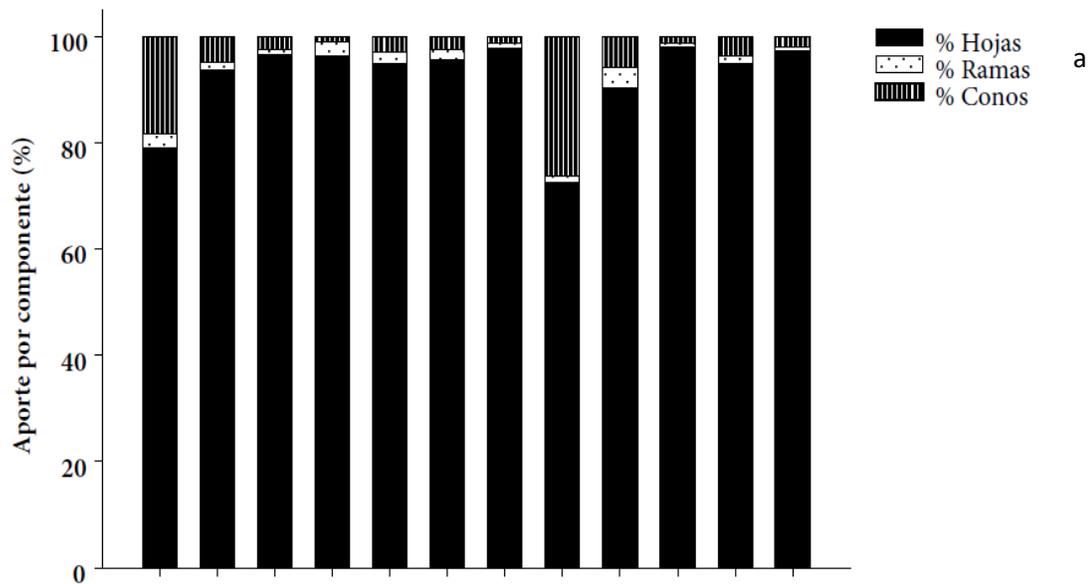


Figura 3. Porcentajes de aportación de componentes en la hojarasca (hojas, ramas y conos) en plantaciones de (a) *P. greggii* Engelm y (b) *P. cembroides* Zucc, en Arteaga, Coahuila, México (Tomado de Gutiérrez-Vázquez *et al.*, 2012).

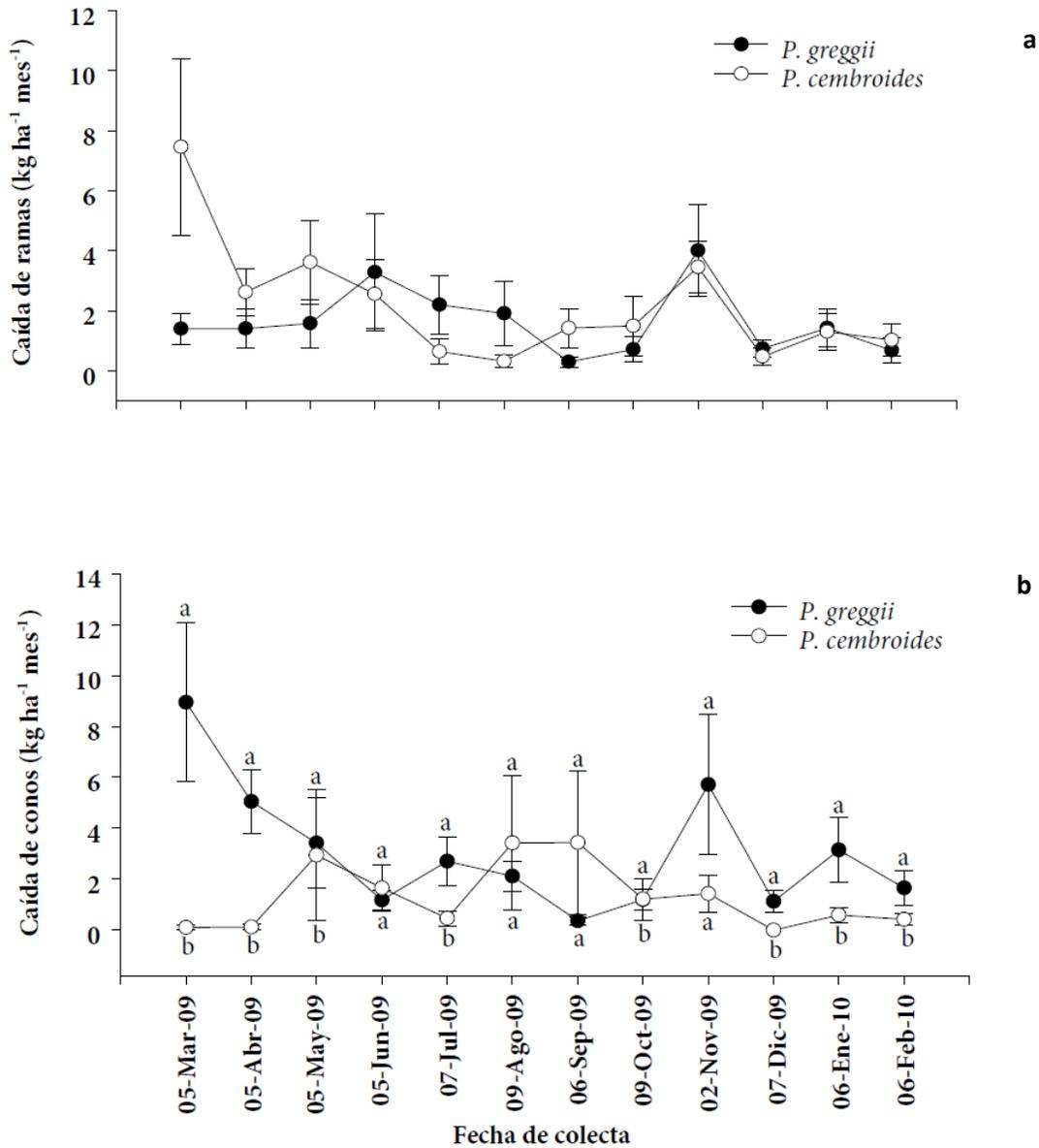


Figura 4. Acumulación mensual de ramas (a) y conos (b) en plantaciones de *P. greggii* Engelm y *P. cembroides* Zucc, en Arteaga, Coahuila, México. Cada valor representa la media ($n=15$) \pm error estándar. Medias con letras iguales (en cada fecha) no son estadísticamente diferentes (Kruskal Wallis, 0.05). Tomado de Gutiérrez-Vázquez *et al.*, 2012.

De acuerdo al trabajo realizado por Gutiérrez-Vázquez *et al.* (2012), la caída de hojarasca en plantaciones de *P. greggii* y *P. cembroides* es en promedio cuatro veces menor que en ecosistemas templados y subtropicales, pero cuatro veces más que en ecosistemas semidesérticos y es dependiente de la especie. *P. greggii* presenta las tasas más altas de deposición de hojarasca, y en esta especie la densidad de árboles no es factor determinante.

3.1.2. Importancia de la producción de hojarasca

Bray y Gorham, realizaron una síntesis en 1964 sobre la producción de hojarasca en ecosistemas forestales, con lo que a partir de este, diversos investigadores incursionaron en la búsqueda y generación de conocimientos que les permitieran contribuir sobre la importancia y los mecanismos de producción y descomposición de hojarasca.

Hasta ahora sabemos que una de las principales vías de entrada de nutrientes y materia orgánica que llega al suelo proviene del desprendimiento de los restos vegetales del arbolado y a la senescencia de las raíces (Pérez *et al.*, 2006). Esta caída de hojarasca es imprescindible sobre todo en bosques con suelos pobres de nutrientes, ya que la vegetación necesita principalmente del reciclado de nutrientes que se originan por los restos desprendidos del arbolado (Martínez-Yrizar, 2007). En este sentido, el desfronde se considera un proceso dinámico, ya que permite un recambio de nutrientes marcadas por la estacionalidad, donde las fluctuaciones ambientales y composición química vegetal, afectan a la descomposición y mineralización de la hojarasca e inmovilización de nutrientes (Cornelissen *et al.*, 1996).

La hojarasca acumulada en el suelo es una fuente de nutrientes para las plantas, modifica el ambiente físico al proporcionar una cobertura, genera un microclima en la superficie del suelo, favorece la disponibilidad de otros recursos y facilita la

infiltración del agua; Con lo que favorece a la distribución y abundancia de los organismos en el suelo como insectos, plantas y microorganismos, además de proteger al suelo frente a cambios bruscos de temperatura, humedad y erosión (Weltzin *et al.*, 2005; Martínez-Yrizar, 2007). Sin embargo, cuando existe un exceso de mantillo en el suelo, se genera un efecto negativo para la productividad del ecosistema a largo plazo, ya que los nutrientes quedan inmovilizados en la hojarasca y el crecimiento de nuevas plantas puede verse dificultado y el peligro de incendios aumenta (Barbhuiya *et al.*, 2008).

3.1.3. Nutrientes acumulados en la hojarasca

Los nutrientes de la hojarasca están en función de los componentes químicos de la hoja, que a su vez determinarán la cantidad de cada uno de los minerales que retornarán al suelo. Sin embargo Dilly (2005), determinó que es también a través de la madera que se retorna gran cantidad de nutrientes al suelo, con el inconveniente de que los troncos y ramas caídos se descomponen lentamente en los bosques templados y para que se incorporen con el suelo del bosque se necesitan varios años.

Con respecto a la composición química y a la calidad de la materia orgánica generada por la hojarasca, se distinguen tres fracciones: 1) Fácil descomposición, integrada por una variedad de elementos solubles que se pierden rápidamente; 2) Fácil descomposición e insoluble, compuesto principalmente de hemicelulosa y celulosa; 3) Persistente, compuesta principalmente por lignina, ceras, lípidos y carbohidratos lignificados, por lo que tarda más que las fases anteriores en degradarse (Heal *et al.*, 1997). Por lo que cada una de las fracciones presenta una cinética exponencial de degradación diferencial, donde como pérdida total de masa, entendemos a la suma del número de funciones exponenciales (Montagnini y Jordan, 2002).

La fracción soluble representa a los componentes más lábiles de la hojarasca y son compuestos que son rápidamente degradados durante las primeras etapas de la descomposición por el rápido crecimiento de los microorganismos que se ven favorecidos por una alta concentración de nitrógeno (Montagnini y Jordan, 2002). Entre la gran variedad de compuestos hidrosolubles presentes en la hojarasca destacan: monosacáridos (fructosa y galactosa), disacáridos (sacarosa), aminoácidos (alalina, arginina, glicina, histidina, fenilalanina, serina y triptófano entre otros), ácidos orgánicos (cítrico, fumárico, láctico, málico, malónico, oxálico, succínico), ácidos fenólicos y sus derivados (gálico, vanílico, gentísico) (Garrido, 2001).

Debido a lo anterior, la hojarasca es una medida de la producción primaria neta del ecosistema y está fuertemente correlacionada con el incremento de la biomasa, la densidad de árboles y la apertura del dosel (Pérez *et al.*, 2006). (De Neve *et al.*, 1996).

3.2. Descomposición de hojarasca

La descomposición de la hojarasca es un proceso continuo que implica una serie de procesos fisicoquímicos y biológicos que participan en la degradación de la materia orgánica, la cual es transformada hasta sus componentes químicos elementales que contribuyen a la estructura y fertilidad del suelo, así como a la atmósfera (Garrido, 2001; Aké-Castillo *et al.*, 2006; Martínez-Yrizar, 2007). Según Wolf y Wagner (2005), la descomposición de la hojarasca es realizada a través del metabolismo microbiano. Es por esto que la descomposición se concibe también como respiración microbiana o mineralización, lo que forma parte del ciclo del Carbono, ya que el CO₂ formado por la actividad microbiana sobre la hojarasca es liberado a la atmósfera y nuevamente fijado por las plantas y otros organismos fotoautótrofos (bacterias fotosintéticas y quimioautótrofas) para la formación de una gran variedad de compuestos orgánicos. Esta fijación anual está equilibrada

en los ecosistemas por la descomposición heterotrófica, realizada principalmente por los microorganismos (Cornelissen *et al.*, 1996).

En este sentido los restos vegetales pueden sufrir: 1) Mineralización, donde ocurre la conversión de una forma orgánica de un elemento a una forma inorgánica como resultado de la descomposición microbiana (fosfatos, sulfatos, nitratos, dióxido de carbono (CO₂), amoníaco (NH₃), etc) (Huang *et al.*, 2007); 2) Humificación, donde una serie de transformaciones de productos orgánicos originada por microorganismos como hongos y bacterias genera productos orgánicos de forma coloidal (humus). El humus estará condicionado por la tasa de descomposición de la hojarasca (Preston *et al.*, 2000).

La mineralización y humificación están controlados a su vez por las interacciones del clima con los factores abióticos y factores bióticos, donde el clima es un regulador esencial que influye en las reacciones metabólicas de los microorganismos (bacterias y hongos principalmente) (O'Connell, 1997; Pérez *et al.*, 2006).

Otros estudios como el de Kara *et al.* (2008), evaluarón el efecto de la estructura del dosel y de la composición de la hojarasca sobre la acumulación de la misma y la biomasa microbiana del suelo en dos bosques templados (Robles y bosque mezclado de abeto-haya), encontrando que el carbono orgánico del suelo y la humedad fueron mayores en el bosque mezclado con una alta relación Carbono org/Nitrogeno total (22/73) comparado con el robledal (16/39), lo que indica una baja tasa de mineralización del carbono.

3.2.1. Factores que influyen en la descomposición de hojarasca

Se han realizado diversos estudios con el fin de determinar cuál o cuáles son los factores que inducen o inhiben la descomposición de hojarasca y se han podido agrupar como 3 factores principales: La fauna edáfica, el microclima y los atributos químicos de la hojarasca. Sin embargo la fertilidad del suelo y la pendiente de la ladera pueden influenciar dicho proceso (Sariyildiz y Kucuk, 2008).

Muchos autores proponen que es la temperatura y la precipitación las que tiene un efecto directo sobre la descomposición de la hojarasca, ya que estas condiciones generan humedad, favoreciendo la actividad microbianas y el crecimiento de la fauna edáfica (Berg y McClaugherty, 2008; Sariyildiz y Kucuk, 2009). Aerts (1997), ha propuesto que a mayor evapotranspiración se favorecerá la descomposición de la hojarasca, lo que fue apoyado por Escobar y Mass (2008), los cuales determinaron que cuando existe una disminución en la descomposición de la hojarasca en sitios con períodos prolongados a altas temperaturas y baja humedad, ocasionan que el crecimiento y la actividad microbiana se inhiban.

Sin embargo otros autores sostiene que es la calidad de la hojarasca y sus propiedades fisicoquímicas (relación carbono/nitrógeno, relación lignina/nitrógeno, contenido de polifenoles, contenido de taninos y la estructura de la hoja) son las que determinan la descomposición de la hojarasca, ya que en se ha determinado que las hojas con una baja relación carbono/nitrógeno se descomponen más y con las hojas que presentan relación lignina/nitrógeno se descomponen en menor grado (Xuluc-Tolosa *et al.*, 2003).

La precipitación ha sido estudiada en el proceso de descomposición de hojarasca, ha permitido establecer que existe una relación entre los primeros estadios de descomposición que incluye el escurrimiento de sustancias lábiles de la hojarasca y las precipitaciones (Gunadi *et al.*, 1998; Austin y Ballaré, 2010; Barbhuiya *et al.*, 2008). Por lo que a mayor precipitaciones, se incrementa la intensidad del lavado

de sustancias (fósforo y nitrógeno) y fragmentación de la hoja, pero cuando existe un exceso en las precipitaciones se disminuirá la descomposición ya que se favorecen las condiciones de anaerobiosis (Weltzin *et al.*, 2005; Austin y Ballaré, 2010).

Otros autores como Negrete-Yankelevich (2004), atribuye la descomposición de la hojarasca a los organismos descomponedores, ya que aunque son más susceptibles a cambios ambientales, son a su vez heterogéneos al alimentarse de las hojarascas sin importar la especie vegetal de la que se trate. Datos que se corroboran cuando se estudian los valores de pH del suelo, ya que en suelos ácidos se retarda o se bloquea la descomposición de la hojarasca, que a su vez disminuye la actividad metabólica microbiana (Davidsson *et al.*, 1997).

3.3. Reciclaje de nutrientes

El reciclaje de nutrientes es un proceso que incluye la degradación de los componentes de la hojarasca hasta sus elementos esenciales realizado principalmente por organismo heterótrofos y posteriormente la asimilación de los mismos a través de organismos autótrofos (Garrido, 2001; Montagnini y Jordan, 2002).

La materia orgánica es la principal fuente de nutrientes del suelo y la cantidad de nutrientes que puede liberarse de la hojarasca está determinada por: 1) las características de la especie que está en el sistema y aporta la hojarasca, (2) composición química, 3) parte de la planta de donde proviene, 4) posición en la que se encuentra, 5) edad del material, 6) condiciones edafoclimáticas, 7) manejo del cultivo y 8) actividad de los microorganismos. La productividad primaria neta resulta de la diferencia entre la biomasa fijada vía fotosíntesis y las pérdidas del material por respiración, la cual puede determinarse calculando la cantidad de biomasa aérea y de raíces que se acumula en un lapso de tiempo determinado (Montagnini y Jordan, 2002).

Por lo que este proceso de reciclaje inicia desde que la hojarasca cae al suelo constituyendo un aporte continuo de materia orgánica y nutrientes al suelo. Una vez depositados en el suelo en base a las condiciones edafológicas y ambientales da inicio al crecimiento de organismos descomponedores (Figura 5). Sin embargo se ha establecido que aun existiendo las condiciones óptimas para el reciclaje de nutrientes esta presentará una tasa de lenta descomposición cuando la hojarasca incluyen una alta relación C: N, una alta concentración de lignina y una abundancia de fenoles u otros compuestos secundarios (Lambers *et al.*, 1998; Lusk *et al.*, 2001).

Por lo tanto, una descomposición lenta disminuye la disponibilidad de nutrientes para las plantas, en tanto que, una descomposición rápida de la hojarasca, producto de una menor relación C:N, un bajo contenido de lignina o escasez de compuestos secundarios, potencia un reciclaje más rápido de los nutrientes en algunos ecosistemas terrestres, como ocurre en los silvopastoriles (Lambers *et al.*, 1998).

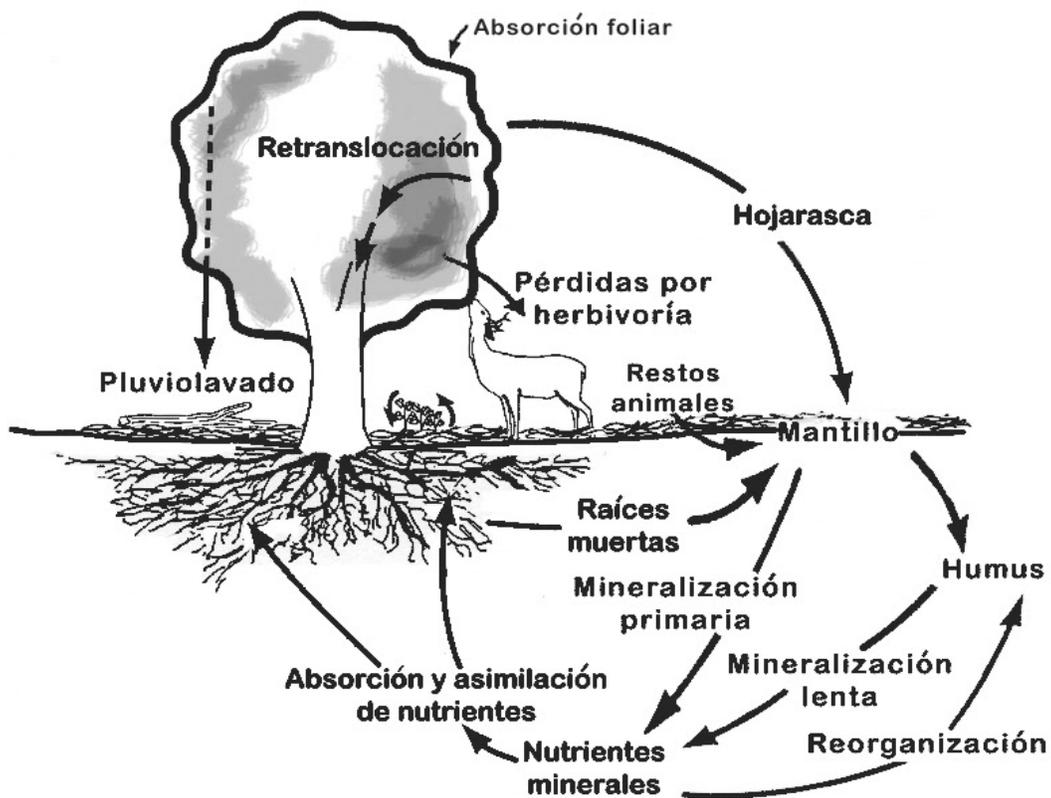


Figura 5. Reciclaje de nutrientes en el suelo.

3.4. Influencia de la materia orgánica sobre propiedades del suelo

La estructura del suelo depende de la composición y las características del espacio poroso, en el que se desarrollan procesos de intercambio de iones, transferencia de agua y calor. En sentido es la materia orgánica la que influye en la densidad del suelo contribuyendo a la formación y estabilidad de agregados, así como la infiltración y retención del agua (Hobbie, 2005; Escobar y Maass, 2008).

A su vez, la textura del suelo controla la mineralización, ya que ejerce influencia sobre la disponibilidad de oxígeno y la distribución física de los materiales orgánicos. Por lo que, la descomposición en suelos arenosos es más rápida que en suelos arcillosos y en los turbosos es dos veces más alta que en los arenosos (Scheu, 2002; Dilly, 2005). Por lo que el control que ejercen los distintos nutrientes va a depender de las características del suelo, así, por ejemplo, la disponibilidad de los mismos que tenga ese suelo hará que unos nutrientes ejerzan mayor control que otros sobre las tasas de descomposición (Garrido, 2001).

3.4.1. Influencia de los organismos sobre el suelo

Los microorganismos del suelo juegan un papel primordial en la descomposición de los restos vegetales que caen al suelo y la mayoría de los procesos de mineralización de los nutrientes contenidos en la hojarasca es controlada directamente a través de los microorganismos descomponedores, sin embargo su capacidad para llevar a cabo este proceso está fuertemente influenciada por animales de niveles tróficos superiores. Así, primero la macrofauna (organismos de 6 a 200 mm) como ratones y topos y la mesofauna (de 200 a 6000 μm) como artrópodos, anélidos, nematodos y moluscos, rompen la hojarasca en pequeños trozos aumentando así la superficie disponible para los microorganismos. Además, esta macro y mesofauna estimulan a las poblaciones de los microorganismos descomponedores, participan en la estructuración del suelo, movilizan nutrientes del material orgánico y redistribuyen, con sus movimientos verticales y horizontales, las sustancias minerales y orgánicas dentro del perfil del suelo afectando al crecimiento y desarrollo de las plantas (Zimmer y Topp, 2000; Dilly, 2005).

La importancia relativa de los invertebrados difiere no sólo entre diferentes zonas sino también entre los distintos tipos de hojarasca, como ya se ha mencionado antes la calidad de las hojas influye en la elección de estos invertebrados aunque

se consideran heterogéneos presentan un rango de predilección de comida (Scheu, 2002).

Hunter *et al.* (2003), mostraron que la actividad de los macroinvertebrados principalmente predadores, contribuye a producir cambios en la composición química de la hojarasca durante el proceso de descomposición, presumiblemente a través de su efecto sobre los microinvertebrados y sobre la microflora. La abundancia y actividad de invertebrados está frecuentemente influenciada por la composición química inicial de los restos vegetales.

3.5. Producción y descomposición de hojarasca en diferentes ecosistemas en México

La gran diversidad de ecosistemas terrestres en México desafortunadamente han dificultado el estudio de cada uno de ellos y con los diversos enfoques que se podrían abordar, y aunque existen estudios sobre productividad primaria, estos son escasos y la mayor parte aborda procesos relacionados con la Productividad primaria neta (PPN), crecimiento diametral de troncos, tasas de almacenamiento de carbono en la vegetación, producción de hojarasca y de raíces, etc., los cuáles a su vez están enfocados en objetivos distintos que no incluyen a todos los ecosistemas de México (Cuadro 2).

La mayoría de los estudios realizados presentan un enfoque agronómico, así como un análisis de los bosques secundarios y el efecto del cambio de uso de suelo, o bien, que son de carácter paleoecológico (Sluyter, 1997; Xuluc-Tolosa *et al.*, 2003). Entre los estudios en ecosistemas de México, Therrell *et al.* (2002), relacionan la cronología del crecimiento de árboles con la precipitación; Franklin *et al.* (2006), usando sensores remotos, estimó que la PPN de la vegetación nativa es mayor con respecto al pasto africano (*Cenchrus cilliris*) en las planicies de Sonora; Lawrence (2005), analizó que factor tiene mayor impacto sobre la

producción de hojarasca en bosques tropicales del sur de Yucatán: la edad del bosque o un gradiente ambiental regional relacionado con la precipitación, encontrando que el único predictor de la masa anual de hojarasca es la edad de la parcela. Otro estudio en Baja California estima el intercambio neto de CO₂ del ecosistema de los arbustos en el desierto y su variación con factores ambientales (Hastings *et al.* 2005).

Cuadro 2. Localidades donde se han realizado estudios de productividad primaria de ecosistemas terrestres en México en el periodo 1990-2006. Tomado de (Escobar y Maass, 2008).

Estados (s)	Localidad	Estudio
Sonora	Desierto Sonorence, Hermosillo	Produccion de hojarasca
		Descomposicion
	Manglar en las Cuasimas	Potencial microbiano
Baja California Sur	Desierto Sonorence, La Paz	Produccion de hojarasca
		Flujo neto de carbono
		Descomposicion
	Manglar en El Conchalito	Produccion de hojarasca
lipas, Nuevo Leon y Coahuila	Desierto Tamaulipeco	Biomasa aerea y subterranea
Puebla	Zapotitlan de las Salinas	Produccion de hojarasca
Nayarit	Manglar en Teacapan-Agua brava	Produccion de hojarasca
Jalisco	Bosque tropical seco, Chamela	Prudictividad primaria neta
		Produccion de hojarasca
		Crecimiento diametral de troncos
		Descomposicion
		Potencial microbiano
		Almacenes de carbono en suelo y vegetacion
Guerrero	Manglar en barra de Tecoaapa	Biomasa aerea y subterranea
Oaxaca	Region de los Chimalapas	Produccion de hojarasca
Chiapas	Altos de Chiapas	Biomasa aerea y raices finas
	Selva lacandona	Almacenes de carbono en suelo y vegetacion
Veracruz	Bosque tropical perennifolio, Los tuxtlas	Almacen de Carbono
		Prudictividad primaria neta
		Produccion de hojarasca
		Descomposicion
		Crecimiento diametral
	Volcan de Acatlan	Biomasa aerea y subterranea
	Manglar en Sontecomapan y La Mancha	Produccion de hojarasca
Yucatan	Parque Nacional Dabichaltun	Descomposicion
Campeche	El Refugio (ca. NE limite Reserva de la Biosfera Calakmul)	Produccion de hojarasca
		Descomposicion
		Produccion de hojarasca
	Manglar en Laguna de Terminos	Crecimiento diametral de troncos
Quintana Roo	Bosque tropical subperennifolio Nicolas Bravo (60 km al SE de Calakmul)	Produccion de hojarasca
	Arroyo Negro (120 km al sur de Calakmul)	Produccion de hojarasca
	Region noroeste	Descomposicion y produccion de leño muerto
	La pantera	Biomasa aerea

En los manglares de lagunas costeras de México, varios estudios se han enfocado en la productividad primaria, se han centrado en la cuantificación de la producción de hojarasca de cuatro especies: *Avicenia germinans* L., *Conocarpus erectus* L., *Laguncularia racemosa* L. y *Rhizophora mangle* L. (Aké-Castillo et al. 2006). Estos estudios muestran que la productividad varía significativamente entre las especies de mangle con el gradiente de salinidad en la laguna, y que la producción anual de hojarasca muestra un amplio rango de valores a nivel nacional (Cuadro 3).

La producción de hojarasca de un bosque mixto con elementos tropicales y templados en Veracruz fue analizada por Williams-Linera y Tolome (1996) donde colectaron la hojarasca durante tres años, para determinar la proporción de hojarasca por las especies arbóreas dominantes de acuerdo a su afinidad fitogeográfica y en relación a la temperatura y precipitación.

Otros analizaron la producción de hojarasca, en distintos sitios del Desierto Sonorense Martínez-Yrizar *et al.* (1999), analizó el patrón estacional de la producción de hojarasca en tres comunidades contiguas del desierto cerca de las fronteras del sur del desierto de Sonora. Había una gran variación espacial en la producción anual de hojarasca causado principalmente por las diferencias en la composición y estructura de la vegetación.

En el Cuadro 3 se muestran algunos estudios realizados de la producción de hojarasca en México por los siguientes autores : 1) (Maya y Arriaga, 1996); 2) (Martínez-Yrizar *et al.*, 1999); 3), (Pavón *et al.*, 2005); 4) (Martínez-Yrizar, 1999); 5) Martínez-Yrizar *et al.*, 2007); 6) y 7) (Martínez-Sánchez, 2001); 8) (Lawrence y Foster, 2002); 9) (Williams-Linera *et al.*, 1996); 10) (Williams-Linera *et al.*, 2000); 11) (Aké-Castillo *et al.*, 2006); 12) (Arreola-Lizárraga *et al.*, 2004); 13) (Barreiro-Güemes, 1999); 14) (Day *et al.*, 1996); 15) (Félix-Pico *et al.*, 2006); 16) y 17) Flores-Verdugo *et al.*, 1990).

Cuadro 3. Producción de Hojarasca en distintos ecosistemas de México. Tomado de Escobar y Maass (2008).

Ecosistemas	Estado (s)	Producción de hojarasca (g m ⁻² año ⁻¹)	Referencia
Desierto Sonorense	Baja California Sur y Sonora	60 a 357	1,2
Desierto de Tehuacán	Puebla	25	3
Bosque tropical seco	Sitios de ladera	Jalisco	319 a 434
	sitios de arroyo	Jalisco	613 a 700
	>60 años de regeneración	Yucatán	850
Bosque tropical perennifolio	Veracruz	1006	7
Bosque tropical subperennifolio	Yucatán	630 a 780	8
Bosque mixto	Veracruz	845	9
Bosque templado de niebla	Veracruz	584 a 612	10
Manglar	Baja California Sur, Sonora, Nayarit, Guerrero, Veracruz y Campeche	307 a 1750	11 a 17

3.6. Importancia ecológica de la producción de hojarasca

Desde que Bray y Gorham, (1964) evidenciaron la importancia de la “caída de hojarasca”, investigadores en varias partes del mundo han enfocado sus estudios en este tema.

Entre estos estudios realizados se ha reportado que la caída de hojarasca es de suma importancia, especialmente donde la vegetación depende del reciclado de nutrientes provenientes de la deposición de ésta (Bernhard *et al.*, 2001). Los nutrientes más comunes en la hojarasca son N, P, K y Ca, y en la mayoría de los casos N es el más abundante (González *et al.*, 2008).

Estudios recientes demuestran que la caída de hojarasca aumenta en respuesta a elevadas concentraciones de CO₂ atmosférico. Según estudios de entre 1 y 5 años, la caída de hojarasca está influenciada por variables climáticas (temperatura y precipitación), condiciones edáficas e intervenciones antropogénicas (Prause *et al.*, 2003; Pavón *et al.*, 2005; Roig *et al.*, 2005).

Otros estudios de producción y descomposición de hojarasca en los bosques de Arteaga, Coahuila, México ha permitido emplear plantaciones de *P. greggii* y *P. cembroides* para la reforestación ya que no solo generan más hojarasca y son menos susceptibles a condiciones ambientales (40°C a -14°C), si no también ser utilizadas para producción maderable y como árboles de navidad (Gutiérrez-Vázquez *et al.*, 2012).

Otros estudios revelan que *Acacia acuminata* subsp. *Arguta* y *Liquidambar styraciflua* pudiesen utilizarse en prácticas de enriquecimiento de bosques degradados de acuerdo con sus más altos niveles de incorporación de biomasa foliar (Escobar y Maass 2008). Rocha-Loredo (2009), sugiere que el uso de especies con hojas más lignificadas como *Chiranthodendron pentadactylon* o *Quercus crassifolia* y *Q. sapotifolia* son recomendables para reducir la pérdida de

nutrientes en el ecosistema terrestre al proteger el suelo del impacto directo de la lluvia y aumentar las posibilidades de almacenar los nutrientes. Los resultados de este estudio tienen importantes implicaciones para el manejo y restauración de bosques, ya que se pueden emplear especies más lignificadas y menos lábiles para disminuir la velocidad de liberación de nutrientes al suelo, con lo que se reduciría el riesgo de pérdida por lixiviación.

La hojarasca constituye la vía de entrada principal de los nutrientes en el suelo y es uno de los puntos claves del reciclado de la materia orgánica y los nutrientes. La producción y descomposición de hojarasca favorece a la dinámica de los ecosistemas manteniendo el equilibrio de los mismos. También es una medida de productividad de bosques templados, selvas tropicales y llanuras. Varios autores han estudiado la dinámica de la descomposición de la hojarasca de plantas leñosas, tanto en climas templados, como en el mediterráneo. La hojarasca tiene una gran importancia en la producción primaria y secundaria, sobre todo en sistemas donde los nutrientes disponibles para la vegetación escasean, como ocurre en los ecosistemas de pastizales. (Sanchez *et al.*, 2008)

IV. CONCLUSIONES

- La producción y descomposición de hojarasca forman parte esencial en la síntesis de nutrientes que enriquecen los suelos, crea microclimas y propicia la existencia de diversos organismos.
- La caída de hojarasca puede verse afectada por las condiciones biofísicas del sitio, así como por las condiciones de la estructura y composición de la vegetación, la capacidad de descomposición que se mantenga en el sitio, el clima y el efecto que ejerza la altitud, fertilidad, humedad y organismos presentes.
- La descomposición de la materia orgánica en el suelo es un proceso integrador que está influenciado por diferentes aspectos del ecosistema. De hecho en la descomposición de la materia orgánica existe un conjunto complejo de factores que regulan la pérdida de masa, la formación de humus, la dinámica de nutrientes y los cambios en la composición química de la hojarasca. La disponibilidad de nitrógeno, humedad en el suelo, temperatura, precipitación, composición fisicoquímica y tamaño de la hojarasca y microorganismos, determinan la velocidad de descomposición
- La descomposición de los residuos vegetales sobre la superficie del suelo es de particular importancia para los procesos de transformación de la materia orgánica y las relaciones tróficas del suelo, lo cual es uno de los puntos clave del reciclado de la materia orgánica y los nutrientes en sistemas donde los elementos disponibles para la vegetación escasean y depende en gran medida de las interacciones entre el clima y la calidad de la hojarasca. La relación C/N es un buen indicador de la susceptibilidad de la hojarasca para ser degradada y el pH del suelo también va a tener un papel importante en la descomposición, de modo que en suelos ácidos se retarda.

- La producción y descomposición de la hojarasca tiene una gran importancia ecológica, porque influye mucho en la fertilidad del suelo y la disponibilidad de nutrientes, que es un determinante fundamental del crecimiento de los árboles y de la producción de madera. Además los estudios de producción y descomposición permitiría establecer especies de árboles adecuadas en sitios de restauración ecológica en diferentes ecosistemas de México.

V. PROPUESTAS Y RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar más estudios de caída de hojarasca en sistemas fragmentados con el fin de identificar especies que producen elevada biomasa foliar y resisten drásticas condiciones climática, con el fin de encontrar especies claves para la reforestación de diversos sistemas que se requieren restaurar.
- Debido a la importancia que representa la caída de hojarasca y descomposición de nutrientes, se propone realizar estudios con especies endémicas, que puedan ser reforestadas y empleadas en programas de restauración ecológica.
- Se sugiere realizar estudios a largo plazo para corroborar las estimaciones de producción de hojarasca realizadas en periodos cortos de tiempo y las relaciones encontradas con temperatura y precipitación.
- Se necesitan más estudios en sitios específicos que incorporen la variabilidad espacial y temporal a mayor escala, y que representen una gama más completa de ecosistemas del país. Las estimaciones específicas para cada tipo de ecosistema y sitio son de gran valor para obtener datos más confiables de productividad que hoy se usan para estimar la contribución de los ecosistemas al flujo de gases de invernadero por cambio de uso de suelo y para validar modelos predictivos.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aceñolaza, P. G., Zamboni, L. P., y Gallardo, J. F. 2009. Aporte de hojarasca en bosques del Predelta del río Paraná Argentina. *Bosque*, 303, 135–145.
- Aerts R. y de Caluwe H. 1997. Initial litter respiration rates as indicator for long-term leaf litter decomposability of *Carex* species. *Oikos* 80:353-361.
- Aké-Castillo, J.A., G. Vázquez, J. López-Portillo. 2006. Litterfall and decomposition of *Rhizophora mangle* L. in a coastal lagoon in the southern Gulf of Mexico. *Hidrobiología*. 559: 101-111.
- Arreola-Lizárraga J.A., F.J. Flores-Verdugo, A. Ortega-Rubio. 2004. Structure and litterfall of an arid mangrove stand on the Gulf of California, Mexico. *Aquatic Botany*. 79: 137-143
- Austin A. T. y Ballaré C. L. 2010. Dual role of lignin in litter decomposition in terrestrial ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*. 107: 4618-4612.
- Arunachalam K., Arunachalam A y Melkania N.P. 1999. Influence of soil properties on microbial populations, activity and biomass in humid subtropical mountains ecosystems of India. *Biology and Fertility of Soils*. 30: 217-223.
- Barreiro-Güemes, M.T. 1999. Mangrove leaf litter input and foliage renovation of an estuarine system in southeast Mexico. *Revista de Biología Tropical*. 47: 729-737.
- Barbhuiya A.R., Arunachalam A., Nath P.C., Khan L. y Arunachalam, K. 2008. Leaf litter decomposition of dominant tree species of Namdapha National Park, Arunachal Pradesh, northeast India. *Journal of Forest Research*. 13: 25-34.
- Berg B. y C. McClaugherty. 2008. Plant Litter: Decomposition, Humus Formation, Carbon Sequestration. Berlin: Springer-Verlag.
- Berg, B., Meentemeyer, V. 2001. Litter fall in some European coniferous forest as dependent on climate: a synthesis. *Canadian Journal of Forest Research*. 31: 292-301.

- Bernhard R F, J. J. Loumeto, J P Laclau. 2001. Litterfall, litter quality and decomposition changes with Eucalypt hybrids and plantation age: In: Effect of Exotic Tree Plantations on Plant Diversity and Biological Soil Fertility in the Congo Savanna: With Special Reference to Eucalypts. Bernhard-Reversat F (ed) Center for International Forestry Research. Bogor, Indonesia. pp: 23-29.
- Belmonte S., F., A. Romero D., y F. López B. 1998. Producción de hojarasca en especies de matorral mediterráneo y su relación con algunos factores ambientales. *Nimbus*. 1-2: 5-16.
- Bray, J.R.; Gorham, E. 1964. Litter production in forest of the world. *Advances in Ecological Research*. 2: 101-157.
- Caritat, A., García-Berthou, E., Lapeña, R., Vilar, L. 2006. Litter production in a Quercus forest of Montseny (NE Spain) and its relationship to meteorological conditions. *Annals of Forest Science*. 63: 791-800.
- Cornelissen J.H.C. 1996. An experimental comparison of leaf decomposition rates in a wide range of temperate plant species and types. *Journal of Ecology*. 84: 573-582.
- Day, J.W., C. Coronado-Molina, F.R. Vera-Herrera, R. Twilley, V.H. Rivera-Monroy. 1996. A 7-year record of aboveground net primary production in a southeastern Mexican mangrove forest. *Aquatic Botany*. 55: 39-60.
- Davidsson, T.E., Stepanauskas, R., Leonardson, L. 1997. Vertical patterns of nitrogen transformations during infiltration in two wetland soils. *Applied and Environmental Microbiology*. 63 (9): 3648-3656.
- De neve, S., Pannier, J., Hofman, G. 1996. Temperature effects on C and N mineralization from vegetable crop residues. *Plant and Soil*. 181: 25-30.
- Del Valle-Arango, J. I. 2003. Descomposición de la hojarasca fina en bosques pantanosos del Pacífico Colombiano. *Interciencia*. 28: 148-153.
- Dilly, O. 2005. Regulation of the respiratory quotient of soil microbiota by availability of nutrients. *Fems Microbiology Ecology*. 43: 375-381
- Escobar, E. y M. Maass. 2008. Diversidad de procesos funcionales en los ecosistemas, In: Capital natural de México, Vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad, CONABIO, México, D.F., pp. 161-189.

- Facelli, J. M. y Pickett, S. T. 1991. Indirect effects of litter on woody seedlings subject to herb competition. *Oikos*, 62: 126–138.
- Félix-Pico, E.F., O.E. Holguín-Quiñones, A. Hernández-Herrera, F. Flores-Verdugo. 2006. Mangrove primary production at El Conchalito Estuary in La Paz Bay (Baja California Sur, Mexico). *Ciencias Marinas*. 32: 53-63.
- Flores-Verdugo, F.J., F. González-Farías, O. Ramírez-Flores, F. Amezcua-Linares, A. Yáñez-Arancibia *et al.* 1990. Mangrove ecology, aquatic primary productivity, and fish community dynamics in the Teacapán-Agua Brava lagoon-estuarine system (Mexican Pacific). *Estuaries*. 13: 219-230.
- Franklin, K.A., K. Lyons, P.L. Nagler, D. Lampkin, E.P. Glenn. 2006. Buffelgrass (*Pennisetum ciliare*) land conversion and productivity in the plains of Sonora, Mexico. *Biological Conservation*. 127 : 62-71.
- Gayoso J y D. Alarcón. 1999. Guía de conservación de suelos forestales. Chile, UACH, INFOR. 96 p.
- Garrido, M.V. 2001. Ciclos de nutrientes: producción, descomposición y dinámica de los elementos minerales de los detritos arbóreos. Tesis Doctoral. Universidad de Salamanca, 251 pp.
- González R H, I Cantú S, R G Ramírez L, M V Gómez M, T G. Domínguez G, J Bravo G, R K Maiti. 2008. Spatial and seasonal litterfall deposition pattern in the Tamaulipan thornscrub, Northeastern Mexico. *Intern. J. Agric. Environ. Biotechnol.* 1:177-181.
- Gunadi, B., Verhoff, H.A., Bedaux, J.J.M. 1998. Seasonal dynamics of decomposition of coniferous leaf litter in a forest in a forest plantation (*Pinus merkusii*) in Central Java, Indonesia. *Soil Biology & Biochemistry*. 30: 845-852.
- Gutiérrez-Vázquez MH, Méndez González J, Flores López C, Ramírez Díaz JA & Gutiérrez Vázquez, BN. 2012. Caída de hojarasca en plantaciones de *Pinus greggii* Engelm: Y *Pinus cembroides* Zucc., en Coahuila, México. *Revista fitotecnica Mexicana*. 35(2), 123-133.
- Hastings, S.J., W.C. Oechel y A. Muhlia-Melo. 2005. Diurnal, seasonal, and annual variation in the net ecosystem CO₂ exchange of a desert shrub community (Sarcocaulis) in Baja California, Mexico. *Global Change Biology*. 11 :927-939.

- Hernández, I.M., Gallardo, J.F., Santa regina, I. 1995. Dynamics of bioelements during leaf decomposition in three forest ecosystem of semiarid climate in the Duero Basin. *Ardi Soil Research Rehabilita*. 9:437-455.
- Heal O.W., Anderson J. M y Swift M.J. 1997. Plant litter quality and decomposition: an historical overview. En: *Driven by nature: plant litter quality and decomposition* (Cadisch, G.; Giller, K.E., (Eds.) Wallingford, Oxon: CAB International, pp. 3-30.
- Hobbie, S.E. 2000. Interactions between litter lignin and soil nitrogen availability during leaf litter decomposition in Hawaiian montane forest. *Ecosystems*. 3: 484-494.
- Hobbie, S.E. 2005. Contrasting effects of substrate and fertilizer nitrogen on the early stages of litter decomposition. *Ecosystems*. 8: 644-656.
- Huang, J., Wang, X., Yan, E. 2007. Leaf nutrient concentration, nutrient resorption and litter decomposition in an evergreen broad-leaved forest in eastern China. *Forest Ecology and Management*. 239: 150-158.
- Hunter, M.D. *et al.* 2003. Relative effects of macroinvertebrates and habitat on the chemistry of litter during decomposition. *Pedobiología*. 47:101.
- Kara Ö, Bolat I, Çakiroglu K, Öztürk M (2008) Plant canopy effects on litter accumulation and soil microbial biomass in two temperate forest. *Biology and fertility soils*. 45:193-198.
- Kirschbaum, M.U.F. 1995. The temperature dependence of soil organic matter decomposition and the effect of global warming on soil organic carbon storage. *Soil Biology & Biochemistry*. 27: 753-760.
- Lambers, H., F. S. Chapin III and T. L. Pons. 1998. *Plant physiological ecology*. Springer-Verlag, Berlin, 540 p.
- Lawrence, D. y F. Foster. 2002. Changes in biomass, litter dynamics and soils following shifting cultivation in southern Mexico: An overview. *Interciencia*. 27: 400-408.
- Lawrence, D. 2005. Regional-scale variation in litter production and seasonality in tropical dry forest of southern Mexico. *Biotropica*. 37 : 561-570.

- Liu, C., Westman, C.J., Berg, B., Kutsch, W., Wang, G.Z., Man, R., Ilvesniemi, H. 2004. Variation in litterfall-climate relationships between coniferous and broadleaf forest in Eurasia. *Global Ecology and Biogeography*. 13: 105-114.
- Lonsdale, W.M. 1988. Predicting the amount of litterfall in forest of the world. *Annals of Botany*. 61: 319-324.
- López-López, J. Damián, Méndez González, Jorge, Nájera-Luna, J. Abel, Cerano-Paredes, Julián, Flores-Flores, J. David, & Nájera-Castro, J. Armando. 2013. Producción de hojarasca en *Pinus halepensis* Mill. y *Pinus cembroides* Zucc. y su relación con algunos factores climáticos. *Agrociencia*. 47(5), 497-510.
- Lusk, J. L., John A. Fox, T.C. Schroeder, James Mintert, and Mohammad Koochmaraie. 2001. Instore Valuation of Steak Tenderness. *American Journal of Agricultural Economics*. 83:539-550.
- Martínez-Sánchez, J.L. 2001. Leaf litterfall composition in a tropical rain forest in Mexico. *Geo-Eco-Trop*. 25: 29-44.
- Martínez-Yrizar A., Núñez S y Búrquez A. 2007. Leaf litter decomposition in a southern sonoran Desert ecosystem, northwestern Mexico: Effects of habitat and litter quality. *Acta Oecologica*. 32: 291-300.
- Martínez-Yrizar A., S. Núñez., H. Miranda y A. Búrquez. 1999. Temporal and spatial variation of litter production in Sonoran Desert communities. *Plant Ecology*. 145: 37-48.
- Maya, Y., y L. Arriaga. 1996. Litterfall and phenological patterns of the dominant overstorey species of a desert scrub community in north-western Mexico. *Journal of Arid Environments*. 34: 23-35.
- Méndez G. J., J. J. Návar CH y V. González. 2008. Análisis de tendencias de precipitación (1920–2004) en México. *Invest. Geogr.Bol. Inst. Geogr. UNAM*. 65: 38–55.
- Montagnini, F. y C. F. Jordan. 2002. Reciclaje de nutrientes. *En: Ecología y conservación de bosques neotropicales*. Guariguata, M. R. y G. H. Kattan (Comps). Libro Universitario Regional- GTZ. Costa Rica. 167-191 pp.
- Návar C J J, E Jurado Y. 2009a. Productividad foliar y radicular en ecosistemas forestales del noreste de México. *Ciencia For. Méx*. 34:89-106

- Návar-Cháidez, J. J., y E. Jurado Y. 2009b. Productividad foliar y radicular en ecosistemas forestales del Noreste de México. *Rev. Ciencia For. Méx.* 34 (106): 89–106.
- Negrete, A. and Lartigue C. 2004. Learning from Education to Communicate Science as a Good Story. *Endavour.* 28:3.
- O'Connell, A.M. 1997. Decomposition of slash residues in thinned regrowth eucalypt forest in western Australia. *Journal of Applied Ecology.* 34 (1): 111-122.
- Pavón N P, O Briones, J Flores R. 2005. Litterfall production and nitrogen content in an intertropical semi-arid Mexican scrub. *J. Arid Environ.* 60:1-13.
- Pérez C A, JF Goya, F Bianchini, JL Frangi, R Fernández. 2006. Productividad aérea y ciclo de nutrientes en plantaciones de *Pinus taeda* L. en el norte de la provincia de misiones, Argentina. *Interciencia.* 31:794-801.
- Pedersen, L. B., Billi-hansen, J. 1999. A comparison of litterfall and element fluxes in even aged Norway spruce, sitka spruce and beech stands in Denmark. *Forest Ecology and Management.* 114: 55-70.
- Piatek, K. B y Alen H. L. 2000. Site preparation effects on foliar N and P use, retranslocation, and transfer to litter in 15-years old *Pinus taeda*. *Forest Ecology and Management.* 129: 143-152.
- Prause J., Arce de Caram G y Angeloni PN. 2003. Variación mensual en el aporte de cuatro especies forestales nativas del Parque Chaqueño Humado (Argentina). Quebracho, *Revista de Ciencias Forestales* [Internet]. 10: 39-45.
- Preston, C. M., Trofymow, J.A. and Cidet Working Group. 2000. Variability in litter quality and its relationship to litter decay in Canadian forests. *Can. J. Bot.* 78:1269-1287.
- Reid, N., Marroquín, J. y Beyer, M.P., 1990. Utilization of shrubs and trees for browse, fuelwood and timber in the tamaulipan thornscrub, northeastern Mexico. *Forest Ecology and Management.* 36:61-79.
- Rocha-Loredo, A. G y Ramírez, M.N., 2009. Producción y descomposición de hojarasca en diferentes condiciones sucesionales del bosque de pino-encino en Chiapas, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México.* 84:1-12.

- Roig S, M del Río, I Cañellas, G Montero. 2005. Litterfall in Mediterranean *Pinus pinaster* Ait stands under different thinning regimes. *For. Ecol. Manage.* 206:179-190.
- Sánchez-Cárdenas, S., G. Crespo-López., C. Marta-Hernández y Y. García-Ortega. Acumulación y descomposición de la hojarasca en un pastizal de *Panicum maximum* y en un sistema silvopastoril asociado con *Leucaena leucocephala*. *Zootecnia Tropical*. Volumen 26, numero 3.
- Sariyildiz, T., Anderson, J.M.,Kucuk, M. 2005. Effects of tree species and topography on soil chemistry, litter quality, and decomposition in Northeast Turkey. *Soil Biology y Biochemistry.* 37: 1695-1706.
- Scheu S. 2002. The soil food web: structure and perspectives. *European Journal of Soil Biology.* 38: 11-20.
- Sheriff, D.W. 1996. Responses of carbon gain and growth of *Pinus radiata* stands to thinning and fertilizing. *Tree Physiology.* 16: 527-536.
- Sluyter, A. 1997. Regional, Holocene records of the human dimension of global change: Sea-level and land-use change in prehistoric Mexico. *Global and Planetary Change.* 14: 27-146.
- Therrell, M.D., D.W. Stahle, M.K. Cleaveland y J.D.A.N. Villanueva-Díaz. 2002. Warm season tree growth and precipitation over Mexico. *Journal of Geophysical Research* 107: 4205.
- Thiebaud, B., Vernet, P. 1981. Biologie de la reproductionsexuée. En: Teissier du Cros (Ed.) *Le Hêtre*, Inra, Paris, 1981, pp.118-135.
- Trofymow, J.A., Barclay, H.F.; Mccullough, K.M. 1991. Annual rates and elemental concentrations of litter fall in thinned and fertilized Douglas-fir. *Canadian Journal of Forest Research.* 21: 1601-1615.
- Weerakkody, J., Parkinson, D. 2006. Leaf litter decomposition in an upper montane rainforest in Sri Lanka. *Pedobiologia.* 50: 387-395.
- Weltzin, J.F., Keller, J.K.,Bridgham, S.D., Pastor, J., Allen, P.B., Chen, J. 2005. Litter controls plant community composition in a northern fen. *Oikos.* 110: 537-546.
- Williams-Linera, G., M.S. Devall y C. Álvarez-Aquino. 2000. A relict population of *Fagus grandifolia* var. *mexicana* at the Acatlán Volcano, Mexico: Structure,

litterfall, phenology and dendroecology. *Journal of Biogeography*. 27: 1297-1309

Williams-Linera, G. y Tolome, J., 1996. Litterfall, temperate and tropical dominant trees and climate in a Mexican lower montane forest. *Biotropica*. 24(4): 649-656.

Wolf DC, Wagner GH (2005) Carbon transformations and soil organic matter formation. En: Sylva DM, Fuhrmann JJ, Hartel PG, Zuberer DA (ed) Principles and applications of soil microbiology. 2nd. Edition. Pearson-Prentice Hall. Upper Sanddle River, New Jersey.

Xu X N, E Hirata. 2002. Forest floor mass and litterfall in *Pinus luchuensis* islantations with and without broad-leaved trees. *For. Ecol. Manage.* 157:165-173.

Xuluc-Tolosa F.J, Vester H.F.M., Ramírez-Marcial N., Castellanos-Albores J. y Lawrence D. 2003. Leaf litter decomposition of tree species in three successional phases of tropical dry secondary forest in Campeche, Mexico. *Forest Ecology and Management*. 174:401-412.

Zapata D C M, J A Ramírez, J D León P, M I González H. 2007. Producción de hojarasca fina en bosques altoandinos de Antioquia, Colombia. *Rev. Fac. Nac. Agron.* 60:3771- 3784.

Zimmer, M.,Topp, W. 2000. Species-specific utilization of food sources by sympatric woodlice (Isopoda: Oniscidea). *Journal of Animal Ecology*. 69: 1071-1082.