

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**  
**DIVISIÓN DE AGRONOMÍA**



**Determinación del Flujo de Nutrientes Vía Hojarasca en un Bosque Natural  
de *Pinus cembroides* Zucc., en Los Lirios Arteaga, Coahuila**

**Por:**

**JOSÉ ISABEL MORALES MATEOS**

**TESIS**

**Presentada como requisito parcial para  
Obtener el título de:**

**INGENIERO FORESTAL**

**Buenvista, Saltillo, Coahuila, México**

**Febrero de 2011**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

Determinación del Flujo de Nutrientes Vía Hojarasca en un Bosque Natural  
de *Pinus cembroides* Zucc., en Los Lirios Arteaga, Coahuila

Por:

JOSÉ ISABEL MORALES MATEOS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

APROBADA:

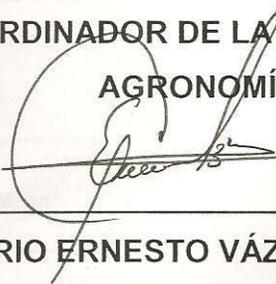
ASESOR PRINCIPAL



---

DR. JORGE MÉNDEZ GONZÁLEZ

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE  
AGRONOMÍA



---

DR. MARIO ERNESTO VÁZQUEZ BADILLO

División de Agronomía



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Febrero de 2011

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE AGRONOMÍA**

**DEPARTAMENTO FORESTAL**

**Determinación del Flujo de Nutrientes Vía Hojarasca en un Bosque Natural  
de *Pinus cembroides* Zucc., en Los Lirios Arteaga, Coahuila**

**Por**

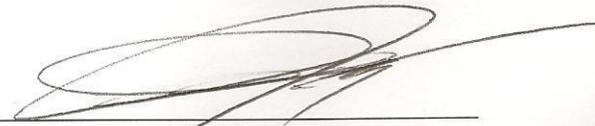
**JOSÉ ISABEL MORALES MATEOS**

**TESIS**

**Que se somete a consideración del Comité de Tesis, como requisito parcial  
para obtener el título de:**

**INGENIERO FORESTAL**

**APROBADA**



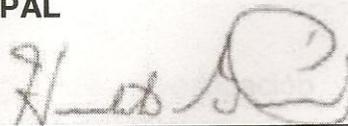
**Dr. Jorge Méndez González**

**ASESOR PRINCIPAL**



**Dr. Eladio H. Cornejo Oviedo**

**ASESOR**



**Dr. Humberto González Rodríguez**

**ASESOR**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México**

**Febrero de 2011**

El presente trabajo forma parte del proyecto de investigación titulado “Determinación del Flujo de Nutrientes Vía Hojarasca en un Bosque Natural de *Pinus cembroides* Zucc., en Los Lirios Arteaga, Coahuila” de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, con clave 02-03-0207-2193, a cargo del Dr. Jorge Méndez González.

## **DEDICATORIA**

**A DIOS**, Por darme la oportunidad de vivir, salud y felicidad, por estar siempre conmigo acompañándome en cada momento de mi vida y llevarme por el camino del bien.

**A mis padres, Isabel Morales Alcaraz y Sabacita Mateo Abarca.** Por darme la oportunidad vivir y seguir superándome profesionalmente para ser alguien en la vida. Infinitas Gracias.

**A mis hermanos**, M.C. Eliud, Magnolia y Marcelino por su cariño y por su gran apoyo y comprensión en los momentos difíciles de mi carrera y la vida y también por su gran apoyo incondicional emocionalmente y económicamente, muchas gracias hermanos.

**A mi Hijo**, Christian Morales Blanco por ser mi mayor y gran motivación para seguir superándome.

**A mi esposa**, Elizeth Blanco, gracias por todo tu apoyo cariño y amor que me haz brindado, por tu comprensión para seguir superándome. Mil gracias.

**A mis sobrinos (a)**, Marcelino, Yuruani, Ivan, Sherly, José y Jazmín, gracias por todo su apoyo los quiero mucho.

**A mis abuelos**, Pedro Morales<sup>+</sup>, Severiana Alcáraz<sup>+</sup>, Epifania Abarca<sup>+</sup> en memoria de ellos y Crisóforo Mateo, gracias por todos sus consejos que me dieron en vida en especial, a mi abuelita Severiana, gracias siempre la recordaré, la quiero mucho.

**A todos mis familiares**, Gabriel Mateo<sup>+</sup>, Martin Morales<sup>+</sup>, Profs. Elpidio Morales, Isidro Morales, Martin Mateo, Abel Morales, gracias por todo sus consejos ya que me han apoyado siempre y durante la formación de mi carrera.

**A mis amigos**, Ing. Vicente Martínez Oranday, Mc. Francisco Ortiz Serafín, Alejandro, Bernardo, Abelardo, Eddy F., Ake, Paloma, Mónica, Luis, Deysi, Carlos, Juan Manuel, Ángel, Julio, Palma, Aníbal, Rubí, Ariana, Toñita, Sandra y a la Residencia Forestal 647. Y a todos mis compañeros de la generación CVIII gracias por sus amistad y apoyo.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi *Alma Mater* la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Por darme la oportunidad de seguir desarrollándome profesionalmente en la carrera de Ingeniero Forestal

A todos los integrantes del Departamento Forestal, por darme su apoyo y servicio durante mi preparación profesional.

De manera muy especial: Al Dr. Jorge Méndez González, por su comprensión y orientación en el desarrollo de esta investigación, por ser un gran amigo, por brindarme su confianza y apoyo, y brindarme los conocimientos para la realización de este trabajo y que sea de suma importancia para la sociedad.

Al Dr. Eladio H. Cornejo Oviedo, por sus consejos y por su aportación hacia esta investigación y por su gran amistad y apoyo durante mi formación.

Al Dr. Humberto González Rodríguez, como asesor externo de esta investigación, por su gran apoyo en aceptar como asesor y por los comentarios que hacen enriquecer este documento sea de gran utilidad, y por apoyarnos incondicionalmente con el trabajo de laboratorio de este estudio.

A T.Q.L. Elsa, por su apoyo incondicional en el trabajo de laboratorio para la realización de este trabajo, y por su amistad brindada.

A mis amigos de la Facultad de Ciencias Forestales M.C. Tilo, M.C. Socorro, Ing. Manuel y Don Manuel, muchas gracias por todo su apoyo y amistad brindada.

Al profesor de Tae Kwon Do el Ing. Vicente Martínez Oranday, mil gracias por haberme enseñado el arte de este deporte, por sus gratos consejos y apoyo para salir adelante con mis estudios.

Al MC. Francisco Ortiz Serafín, por todo su apoyo que me aporta durante las estancias en UAAAN y en Saltillo muchas gracias de todo corazón.

De manera muy especial a las personas que me apoyaron a realizar el trabajo de campo: Alejandro, Abelardo, Evelio, Bernardo, Luis, Aníbal.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS .....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VII
RESUMEN .....	IX
1. INTRODUCCIÓN <sup>1</sup> .....	1
<b>1.1. Objetivos</b> .....	<b>4</b>
1.1.1. Objetivo general .....	4
1.1.2. Objetivos específicos .....	4
<b>1.2. Hipótesis</b> .....	<b>4</b>
2. REVISIÓN DE LITERATURA .....	5
<b>2.1. El concepto y definición de la hojarasca</b> .....	<b>5</b>
<b>2.2. Importancia de la hojarasca</b> .....	<b>5</b>
<b>2.3. La hojarasca y la sostenibilidad de los ecosistemas</b> .....	<b>7</b>
<b>2.4. Factores que influyen en la caída de hojarasca</b> .....	<b>8</b>
2.4.1. Factores biológicos .....	8
2.4.2. Factores climáticos.....	9
2.4.3. Factores fisiográficos .....	11
2.4.4. Variabilidad estacional .....	11
<b>2.5. Función de los nutrientes en la planta</b> .....	<b>11</b>
2.5.1. Macronutrientes.....	12
2.5.2. Micronutrientes.....	14
<b>2.6. Descripción de la especie bajo estudio</b> .....	<b>16</b>
<b>2.7. Estudios afines sobre la deposición de hojarasca</b> .....	<b>17</b>
2.7.1. Caída de hojarasca en bosques de coníferas .....	17
<b>2.8. Estudios afines sobre la deposición de nutrientes vía hojarasca</b> .....	<b>18</b>

<b>2.9. Caída de hojarasca y determinación de nutrimento en bosques de <i>Pinus cembroides</i> Zucc.</b>	<b>20</b>
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>21</b>
<b>3.1. Características físicas y biológicas del área de estudio</b>	<b>21</b>
3.1.1. Ubicación	21
3.1.2. Clima	22
3.1.3. Suelo	22
3.1.4. Vegetación	22
<b>3.2. Metodología</b>	<b>23</b>
3.2.1. Selección del área de estudio	23
3.2.2. Tamaño y forma de los colectores	24
3.2.3. Número de colectores	24
3.2.4. Construcción de colectores	25
3.2.5. Distribución de los colectores	25
3.2.6. Colecta de hojarasca	26
3.2.7. Trabajos de laboratorio	26
3.2.8. Determinación de macro- y micro-nutrientes en el componente hojas	27
<b>3.3. Variables ambientales</b>	<b>30</b>
<b>3.4. Análisis estadístico</b>	<b>31</b>
3.4.1. Contenido de macro y micronutrientes en el componente hojas	31
3.4.2. Acumulación de macro y micro-nutrientes	32
<b>4. RESULTADOS</b>	<b>34</b>
<b>4.1. Pruebas de normalidad en macro y micro-nutrientes por fecha de colecta</b>	<b>34</b>
<b>4.2. Pruebas de normalidad general para macros y micro-nutrientes</b>	<b>34</b>
<b>4.3. Porcentaje de la producción de hojas</b>	<b>35</b>
<b>4.4. Acumulación de macro y micronutrientes</b>	<b>36</b>
<b>4.5. Contenido mensual de macro y micro-nutrientes</b>	<b>39</b>
<b>4.6. Deposition de los nutrimentos durante el periodo de muestreo vía hojas</b>	<b>45</b>
<b>5. DISCUSIÓN</b>	<b>47</b>

6.	CONCLUSIONES .....	52
7.	RECOMENDACIONES.....	54
8.	LITERATURA CITADA .....	55
9.	ANEXOS.....	63

## ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Características de la composición florística del área de estudio. ....	23
Cuadro 2. Parámetros optimizados del espectrofotómetro de absorción atómica que se emplearon para determinar la concentración de macro y micro-nutrientes en el componente hojas. ....	30
Cuadro 3. Pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov a la concentración de macro-nutrientes (Ca, Mg y K) y micro-nutrientes (Zn, Mn, Fe y Cu) en la hojarasca depositada en un bosque de <i>Pinus cembroides</i> Zucc., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.....	35
Cuadro 4. Parámetros y estadísticos de regresión para estimar la acumulación de macro y micronutrientes en el componentes hojas, en un bosque natural de <i>Pinus cembroides</i> Zucc., en los Lirios, Arteaga, Coahuila.....	37
Cuadro 5. Deposición total de macro y micro-nutrientes en el componente hojas, en un bosque natural de <i>Pinus cembroides</i> Zucc., en los Lirios, Arteaga, Coahuila. ....	46

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio. ....	21
Figura 2. Trampa colectora de hojarasca en un bosque natural de <i>Pinus cembroides</i> Zucc. ....	24
Figura 3. Forma y distribución de los colectores en un bosque de <i>Pinus cembroides</i> Zucc., ubicado en Los Lirios, Arteaga, Coahuila. ....	26
Figura 4. Forma y distribución las 10 trampas seleccionadas para el análisis químico de los nutrientes, en un bosque de <i>Pinus cembroides</i> Zucc., ubicado en Los Lirios, Arteaga, Coahuila. ....	28
Figura 5. Temperatura media mensual y precipitación registrada en la estación del CESAVECO cerca al (CAESA), en los Lirios, Arteaga Coahuila. ....	31
Figura 6. Variación porcentual $\pm$ error estándar del componente hojas en un bosque natural de <i>Pinus cembroides</i> Zucc., en los Lirios, Arteaga, Coahuila. ....	36
Figura 7. Acumulación de macro-nutrientes ( $\text{mg m}^{-2}$ ), Calcio, Magnesio y Potasio, en el componente hojas, de un bosque de <i>Pinus cembroides</i> Zucc., en los Lirios, Arteaga, Coahuila. ....	38
Figura 8. Acumulación de micro-nutrientes ( $\text{mg m}^{-2}$ ), Zinc, Manganeso, Hierro y Cobre, en el componente hojas de un bosque natural de <i>Pinus cembroides</i> Zucc., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila. ....	39
Figura 9. Contenido mensual del Ca ( $\text{mg g}^{-1}$ ps) $\pm$ error estándar vía hojas, en un bosque natural de <i>Pinus cembroides</i> Zucc., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila. ....	40
Figura 10. Contenido mensual del Mg ( $\text{mg g}^{-1}$ ps) $\pm$ error estándar vía hojas, en un bosque natural de <i>Pinus cembroides</i> Zucc., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila. ....	41
Figura 11. Contenido mensual del K ( $\text{mg g}^{-1}$ ps) $\pm$ error estándar vía hojas, en un bosque natural de <i>Pinus cembroides</i> Zucc., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila. ....	42
Figura 12. Contenido mensual del Zn ( $\text{mg kg}^{-1}$ ps), $\pm$ error estándar vía hojarasca, en un bosque natural de <i>Pinus cembroides</i> Zucc., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila. ....	43
Figura 13. Contenido mensual del Mn ( $\text{mg kg}^{-1}$ ps) $\pm$ error estándar vía hojarasca, en un bosque natural de <i>Pinus cembroides</i> Zucc., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila. ....	44

Figura 14. Contenido mensual del Fe ( $\text{mg kg}^{-1}$ ps) $\pm$ error estándar vía hojarasca, en un bosque natural de <i>Pinus cembroides</i> Zucc., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila. ....	44
Figura 15. Contenido mensual del Cu ( $\text{mg kg}^{-1}$ ps) $\pm$ error estándar vía hojas, en un bosque natural de <i>Pinus cembroides</i> Zucc., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.....	45

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar la aportación de macro (Ca, Mg y K) y micro-nutrientes (Cu, Fe, Mn y Zn), así como sus variaciones temporales (mensuales) en el componente hojas de la hojarasca, en un bosque natural de *Pinus cembroides* Zucc., Los Lirios, Arteaga Coahuila. Se establecieron 40 colectores de hojarasca de 1,0m<sup>2</sup> distribuidos de forma sistemática en una hectárea durante un periodo de diez meses (31-03-2009 al 6-02-2010), realizándose la colecta mensualmente. Diez colectores de cada colecta fueron seleccionados para realizar el análisis químico para determinar macro y micronutrientes, mediante técnicas analíticas de digestión descritas por la AOAC. Los datos se analizaron mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (K-W) para detectar diferencias estadísticas de macro y micronutrientes en las diferentes colectas. Los resultados muestran que el mes con mayor aportación de hojas corresponde a septiembre con 54,83%, junio presenta la menor aportación con sólo 28,41%. La deposición total (de mayor a menor) es la siguiente: para los macros Ca 3,77; K 1,04 y Mg 0,71 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente, los micronutrientes reportan: Zn 110,37; Mn 5,34; Fe 3,47 y Cu 0,08 g ha<sup>-1</sup>. En cuanto a la deposición mensual el Ca fluctuó 7,89 (septiembre y octubre) a 13,38 (mayo); Mg de 1,78 (septiembre, octubre y diciembre) a 2,33 (mayo); por último el K de 2,25 (enero y febrero) a 3,54 (agosto) mg g<sup>-1</sup>. Los micronutrientes, presentan los siguientes: de 97,81 (mayo) a 764,89 (septiembre y octubre) para el Zn; el Cu registró de 0,19 (mayo y septiembre) a 0,27 (diciembre y febrero) reportados en mg kg<sup>-1</sup>, el Mn y Fe no presentan diferencias significativas entre las colectas. Los modelos utilizados para cuantificar la acumulación mensual de los nutrientes registra una R<sup>2</sup> promedio de 96%, con el modelo logístico se presentaron buenos ajustes: el Zn con 99%, K y Mn 97%, Mg y Fe 96%, Ca 95% y con el modelo de Schumacher's el Cu reporta 93% de ajuste.

**Palabras clave:** Bosque natural, *Pinus cembroides* Zucc., Deposición, Macro-Micronutrientes, Hojas, Acumulación.

## 1. INTRODUCCIÓN<sup>1</sup>

La producción de hojarasca tiene una función predominante en el mantenimiento de la productividad de un ecosistema forestal. La cantidad y composición de la materia depositada en el suelo y su posterior descomposición, son factores importantes en la eficiencia del ciclo de nutrientes (Bray y Gormam 1964).

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). A escala global la producción de hojarasca disminuye al aumentar la latitud, tiene mucha relación con los cambios de precipitación, temperatura y evapotranspiración (Bray y Gorham 1964).

La importancia de la hojarasca en el retorno de nutrimentos y la acumulación de materia en el suelo es un proceso vital y funcional que ha sido ampliamente documentada en diferentes ecosistemas (Jorgensen *et al.* 1975, Lugo *et al.* 1990 y Domínguez 2009). La acumulación de hojarasca en el suelo, conjuntamente con la materia orgánica proveniente de la descomposición de las raíces, constituye la fuente esencial de energía y bioelementos y ésta, en interacción entre la vegetación y el suelo se manifiesta en el proceso cíclico de entrada y salida de nutrientes en un ecosistema (Bertasso *et al.* 2003).

La descomposición de la hojarasca es uno de los procesos de suma importancia del reciclado de nutrientes para los ecosistemas forestales, siendo así una de las rutas del retorno de la materia orgánica y sus nutrientes al suelo (Moya *et al.* 2002).

---

<sup>1</sup>Esta tesis esta realizada con base en la guía de autores de la revista Bosque.

La cantidad de bioelementos contenidos en esa hojarasca constituye la principal fuente de nutrientes incorporados al suelo en los ecosistemas naturales, una vez que la hojarasca se descompone. Por tanto, en un alto porcentaje, su ciclo en ecosistemas forestales se encuentra ligado con el aporte de hojarasca y su posterior descomposición (Domínguez 2009).

El estudio de los ciclos de nutrientes a través de la caída de hojarasca representa una importante aproximación hacia la comprensión de los ecosistemas forestales, dado que aquella constituye la principal entrada de nutrientes al suelo forestal (Vitousek y Sanford 1986). La extracción de elementos nutritivos desde las hojas y ramas más antiguas, para abastecer el crecimiento, acelera la muerte de estos tejidos en la copa baja, lo que se traduce en caída de hojas, dando origen a la hojarasca (Schlatter *et al.* 2006). Las investigaciones anteriores indican que las hojas realizan la mayoría de los procesos fisiológicos, sobresalientemente la fotosíntesis (González *et al.* 2008, Domínguez 2009).

La circulación de nutrientes es uno de los aspectos claves en la dinámica de los ecosistemas terrestres y forman parte integrante en la evolución de los sistemas ecológicos, ya sean en condiciones naturales, o bien sometidos a perturbaciones artificiales (Santa Regina y Gallardo 1989).

Según estudios realizados en diferentes comunidades vegetativas para determinar el flujo de nutrientes en hojas demuestran lo siguiente: Domínguez (2009), encontró desde 232,00 a 30,00 kg de Ca, 37,00 a 7,00 kg de K, y 4,50 a 22,60 kg de Mg ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ). Por otra parte en un estudio, realizado por Santa Regina y Gallardo 1989, en un Bosque de la Sierra de Bejar (Provincia de Salamanca) encontraron valores para el Ca de  $4,00 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , Mg  $0,50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , K  $1,40 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .

Montero *et al.* (1999) en un estudio de *Pinus pinaster* Ait., lugar próximo al puerto de Valderrepisa; bajo distintos regímenes de aclareo y dinámica de nutrientes, analizaron el porcentaje medio de las acículas caídas a lo largo del año durante tres primeros años obteniendo lo siguiente: N 0,40%, P 0,03%, K 0,17%, Ca 0,54%, Mg 0,12%;

Santa Regina y Gallardo (1989) al estudiar el aporte anual de los micronutrientes reportaron que el Cu  $4,00 \text{ g ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , Fe  $3,00 \text{ g ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , Mn  $6,00 \text{ g ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , Zn  $0,008 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . Por otra parte González *et al.* (2006) en el noreste de México encontraron que el aporte anual para el Cu fluctuó de 49,00 a 67,00 g, Fe de 607,00 a 1.965,00 g, Mn va de 131,00 a 275,00 g, Zn de 291,00 a 660,00 g. Por otra parte, Domínguez (2009), reporta 0,44 a 0,08 g de Cu; 2,70 a 11,20 g Fe; 1,49 a 9,90 g de Mn; 1,30 a 0,54 g todo esto en ( $\text{g ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ), en un matorral espinoso tamaulipeco del noreste de México.

Los bosques tienen funciones ecológicas como la retención del suelo, la captura de carbono, y además sirven de hábitat para la fauna silvestre a la que le proveen de alimento. Los bosques de piñón cuentan con una gran extensión en ambas cadenas montañosas de la parte norte de México. Logrando conformar así una vegetación de transición a lo que se refiere a las vertientes internas de la Sierra Madre Oriental y Occidental; y a la vez en las formaciones xerofíticas de la altiplanicie mexicana (Navarro *et al.* 2000). 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, los bosques de coníferas y latifoliadas ocupando 441.471 ha, mismas que representan 24'611.411  $\text{m}^3$  rollo de existencias volumétricas (Navarro *et al.* 2000).

El presente estudio se enfoca a investigar el retorno de los nutrientes vía hojarasca hacia el suelo en un Bosque Natural de *Pinus cembroides* Zucc., en la Sierra de Arteaga, Coahuila. Esta clase de investigaciones son escasas en ésta región, por eso es de suma importancia, para poder determinar ó bien para tomar decisiones ya que este tipo de estudios pueden ser de gran utilidad para poder determinar la cantidad de los nutrimentos para evaluar la fertilidad del suelo en lo que respecta a su sustentabilidad para estas regiones semiáridas.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo general**

Cuantificar la deposición de Macro y Micro-nutrientes vía hojarasca, en un bosque natural de *Pinus cembroides* Zucc., en la Sierra de Arteaga, municipio de Arteaga, Coahuila.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

Determinar la aportación de macro (Ca, Mg y K) y micro-nutrientes (Cu, Fe, Mn y Zn) en el componente hojas de la hojarasca, en un bosque natural de *Pinus cembroides* Zucc.

Evaluar las variaciones temporales (mensuales) de macro (Ca, Mg y K) y micro-nutrientes (Cu, Fe, Mn y Zn) en el componente hojas de la hojarasca, en un bosque natural de *Pinus cembroides* Zucc.

## **1.2. Hipótesis**

**Ho:** Existen diferencias en el aporte mensual de macro y micronutrientes aportados vía hojarasca en un bosque natural de *Pinus cembroides* Zucc.

**Ha:** No existen diferencias significativas en el aporte mensual de macro y micronutrientes aportados vía hojarasca en un bosque natural de *Pinus cembroides* Zucc.

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. El concepto y definición de la hojarasca**

Sobre un suelo forestal se van depositando diferentes materiales, provenientes de distintos estratos de vegetación, como hojas, ramas, inflorescencias, frutos, cuyo conjunto se denomina hojarasca, pero en los ecosistemas forestales, la fracción más importante corresponde a las hojas (órganos más abundantes). En cualquier tipo de bosque, la caída de hojarasca se produce cada año en un tiempo determinado. 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 1987).

Similarmente, Dentro de la interrelación suelo-planta, es importante la caída de hojarasca (Duvigneaud, 1978; citado por Santa Regina *et al.* 1989), denominándose así al conjunto de órganos vegetales (hojas, ramas, frutos, inflorescencias, cortezas, etc.) y de restos animales que caen al suelo del bosque, procedentes 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.

### **2.2. 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 ciclaje 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).

La cantidad de bioelementos contenidos en esa hojarasca constituye la principal fuente de nutrientes incorporados al suelo en los ecosistemas naturales, una vez

que la hojarasca se descompone por tanto, en un alto porcentaje su ciclo en las selvas se encuentra ligado con el aporte de hojarasca y su ulterior descomposición (Del Valle-Arango 2003).

La deposición de hojas juegan un papel importante al proveer cobertura al suelo modificando el ambiente edáfico, conforme se descompone esta hojarasca se convierte en fuente importante de materia orgánica, activando el ciclo biogeoquímico de elementos (Gliessman 2002). Los árboles permiten una captura más eficiente de la energía solar y favorecen la adsorción, retención o captura de carbono y nitrógeno sobre y bajo el suelo (Montagnini y Jordan 2002). Además, reciclan nutrientes y mantienen el sistema en un estado de equilibrio dinámico, al reducir la dependencia del sistema sobre insumos externos (Gliessman 2002).

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, Manganeso, Calcio, Hierro, Potasio, Nitrógeno, Magnesio, etc.). 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).

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, 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 integrados para sostener y mantener la productividad de los ecosistemas y la biodiversidad. 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).

La hojarasca foliar es la principal fuente de nutrientes del suelo forestal (Vitousek y Sanford 1986; Landsberg y Gower 1997) y representa 80% del total de nutrientes retornados al suelo por los detritos del árbol (Santa Regina y Tarazona 2001). La cantidad y naturaleza de la hojarasca tienen una importante relación con la formación del suelo y el mantenimiento de su fertilidad, de ahí que la cuantificación de su producción y naturaleza sea una importante aproximación para la comprensión de los bosques y del ciclaje de nutrientes (Rai y Proctor 1986).

### **2.3. La hojarasca y la sostenibilidad de los ecosistemas**

La sostenibilidad a largo plazo de los ecosistemas forestales se fundamenta en el mantenimiento natural de los ciclos de nutrientes. Además, si queremos entender y predecir el cambio en un ecosistema forestal y su influencia sobre ecosistemas adyacentes es básico conocer su funcionamiento, la explotación forestal altera los flujos de nutrientes en los bosques, y en ocasiones, los efectos pueden resultar irreversibles, produciéndose alteraciones importantes de la productividad y de otras funciones por lo que se considera importante adaptar las técnicas forestales para conseguir los objetivos deseados conservando lo mejor posible el ecosistema (Bosco *et al.* 2004).

Los ecosistemas forestales aseguran, principalmente, mediante el ciclo biogeoquímico sus necesidades en elementos nutritivos. Por ello, la exportación de bioelementos por el aprovechamiento forestal debe ser restituida en el curso

de la nueva generación de árboles con objeto de que la productividad se mantenga a un mismo nivel (Lemee 1982); por el contrario, en bosques naturales, sin acusada acción antropozoológica (pisoteo y pastoreo) los elementos nutritivos se mantienen a un nivel adecuado, gracias a un equilibrio dinámico (el llamado ciclo biogeoquímico) (Duchaufour, 1983; citado por Santa Regina y Gallardo 1989).

## **2.4. Factores que influyen en la caída de hojarasca**

### **2.4.1. Factores biológicos**

La producción de hojarasca en *Fagus sylvatica* L. se ha relacionado con la edad, área basal y madurez de los árboles, incrementándose significativamente con estos parámetros del bosque (Lebret *et al.* 2001). Sin embargo, 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 y sin embargo la relación entre las características de vegetación (diámetro, altura, número de árboles) con la producción de hojarasca no es clara.

No obstante, Rocha *et al.* (2009), en un bosque de pino encino en Chiapas, documentan que la producción de hojarasca es influenciada por el área basal, como resultado de la etapa de crecimiento en el que se encuentran caracterizado por la ausencia de árboles grandes.

Las fluctuaciones estacionales en la producción de hojarasca están reguladas principalmente por procesos y factores biológicos y climáticos, aunque también son relevantes la topografía, condiciones edáficas, especie vegetal, edad y densidad de la comunidad vegetal (Prause *et al.* 2003).

### 2.4.2. Factores climáticos

La caída de hojarasca ha sido referida también a los fenómenos climáticos naturales. Por una parte, este proceso responde a fluctuaciones climáticas estacionales, principalmente como respuesta al estrés hídrico estival. Ello quedó reflejado en una mayor cantidad de hojas caídas en los meses más secos del verano, conducta que fue similar a la observada en otras y en la misma especie del género *Eucalyptus* en Australia (Bray y Gorham 1964). Por otra parte, la caída de la hojarasca está influenciada eventualmente, por precipitaciones de intensidad elevada, las cuales son acompañadas de vientos de gran velocidad, con lo cual, los mayores valores de producción de hojarasca, supuestamente relacionados con tales eventos de lluvia, son en realidad producto del golpe de la masa de aire que ocasiona el desprendimiento de hojas de manera anticipada (Zapata *et al.* 2007).

Santa Regina y Gallardo (1985) en la sierra de Béjar (Salamanca) España aluden que el mayor aporte de hojarasca total (hojas y ramas de roble, acículas y estróbilos) en un bosque de *Pinus sylvestris* está influenciada por los fenómenos meteorológicos de la temporada, principalmente por la precipitación y el viento. En un estudio realizado por González *et al.* (2008), mencionan que la deposición de la hojarasca a lo largo de un gradiente altitudinal en el noreste de México que está influenciada por las temperaturas extremas y altas precipitaciones.

Por otra parte Hubert y Oyarzún (1984), mencionan que la caída de acículas y partes vegetales mayores, 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 donde se alcanza la máxima velocidad del viento, produciendo un aumento en la deposición de hojarasca; también indican que la producción de semillas, además de presentar un marcado ciclo anual producto del desarrollo fenológico, está directamente correlacionada con la temperatura máxima del aire.

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 casos, 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 (Liu *et al.* 2004). Sin embargo, en un estudio realizado en bosques nativos y de *Leucaena* sp., mencionan que la relación entre factores ambientales y caída de hojarasca se analizó mediante el coeficiente de correlación de Pearson. En el bosque, la correlación entre la hojarasca y los factores: temperatura, humedad relativa y precipitación no fue significativa ( $P > 0,05$ ); no obstante, sí se presentó correlación significativa con el factor viento (Bonilla *et al.* 2008).

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. Por el contrario, en un estudio realizado por Quinto *et al.* (2007) en un bosque pluvial tropical en Salero, Choco, Colombia, observaron una relación negativa entre el aumento en la precipitación y la producción de hojarasca.

La caída de hojarasca y por ende la liberación de nutrientes está determinada por las características genéticas de las especies, así como por las condiciones ambientales (Carnevale y Lewis 2001, Zamboni y Aceñolaza, 2004). Reyes (2010) reportó que la deposición de la hojarasca en bosques de *Pinus cembroides* Zucc., ubicados en una porción de la Sierra Madre Oriental, obedece principalmente a la temperatura máxima acumulada, velocidad máxima del viento y a la precipitación, registrándose los valores más altos en verano y en invierno los mínimos.

### **2.4.3. Factores fisiográficos**

La caída de acículas y partes vegetales mayores, aparentemente no son reguladas por un ciclo biológico, sino que están directamente determinadas por la velocidad del viento (Huber y Oyarzún 1984).

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 registra 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 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).

Existe variación espacial y temporal no únicamente en la deposición de la hojarasca y sus principales componentes como lo son las fracciones de hojas, ramas y estructuras reproductivas, sino que también, se ha detectado que hay diferencias en las deposiciones de la calidad de la hojarasca a través del aporte de macro- y micronutrientes analizados en los diferentes componentes (González *et al.* 2006).

## **2.5. Función de los nutrientes en la planta**

Walker (1991) menciona para que un elemento sea considerado como tal debe de cumplir con los siguientes criterios de esencialidad: a) la planta no completa su ciclo de vida en ausencia del elemento mineral, b) La función del elemento no

debe ser remplazado por otro elemento mineral y c) el elemento debe implicarse directamente en el metabolismo de las plantas.

Los nutrientes en las plantas pueden ser clasificados como macronutrientes y micronutrientes. Los macronutrientes se encuentran y son necesarias para las plantas relativamente en cantidades más altas que los micronutrientes. El contenido de los macronutrientes en el tejido de la planta es generalmente miles de veces más grande que los micronutrientes, bajo esta clasificación basada sobre el contenido del elemento en el material de la planta, los siguientes elementos que se analizaron se clasifican como macronutrientes: K, Ca y Mg y micronutrientes: Fe, Mn, Cu y Zn (Walker 1991).

### **2.5.1. Macronutrientes**

Calcio (Ca):

El promedio de contenido de Ca en la corteza terrestre es de 3,64%. El contenido de Ca difiere en los tipos de suelos y varía principalmente del material parental y el grado de intemperización. Las plantas superiores contienen apreciables cantidades de Ca y en el orden de 5 a 30 mg Ca g<sup>-1</sup> de materia seca. Estas altas concentraciones de Ca, sin embargo, resultan principalmente del alto nivel de este elemento en el suelo, más que de la eficiencia del mecanismo de absorción de Ca por las células de la raíz (Mengel y Kirkby 1982).

Las necesidades de Ca para el crecimiento de las plantas pueden ser fácilmente demostradas, pues la interrupción del abastecimiento de Ca a las raíces, reduce su tasa de crecimiento y después de algunos días los ápices de las raíces llegan a la necrosis ocasionando posteriormente la muerte (Devlin 1982).

Potasio (K):

El promedio del contenido de K en la corteza terrestre es del orden de 2,30%. La principal fuente de K para el crecimiento de las plantas bajo condiciones naturales proviene de la intemperización de K. El contenido de K en el suelo es muy dependiente del contenido de arcillas y tipos de minerales arcillosos presentes. Es

un elemento esencial para todos los organismos vivos. En fisiología vegetal es el más importante catión, no sólo con respecto al contenido en el tejido vegetal, sino también las funciones fisiológicas y bioquímicas. El mecanismo de apertura y cierre de estomas depende enteramente del flujo de K, por esta razón, las plantas con inadecuado abastecimiento de K tienen deficiencia en esta actividad (Penny y Bowling 1974) citado por (Mengel y Kirkby 1982).

Una de las principales características de K es la alta tasa en la cual es absorbido por el tejido de las plantas. El K en las plantas es muy móvil. El K se encuentra en los tejidos jóvenes y es transportado hacia los tejidos maduros (Salisbury y Ross 1994).

Magnesio (Mg):

El Mg casi nunca es un factor limitante en el suelo para el crecimiento vegetal. Además, de su presencia en la clorofila, el Mg es esencial ya que favorece la hidrólisis del ATP (Adenosina trifosfato) permitiendo así que participe en muchas reacciones y porque activa muchas enzimas necesarias en la fotosíntesis, respiración y formación de DNA y RNA (ácido desoxirribonucleico y ácido ribonucleico,) respectivamente (Salisbury y Ross 1994).

Un papel importante del Mg es actuar como cofactor de todos los procesos de fosforilación. Generalmente cuando las plantas tienen deficiencia de Mg, la proporción de proteína decremente, de esta forma se puede concluir que la deficiencia de Mg inhibe la síntesis de proteínas. La deficiencia de Mg puede ser el resultado de un gran suplemento de K. El Mg es móvil en las plantas y la deficiencia siempre inicia en las hojas más maduras moviéndose hacia las jóvenes. Por tanto, las hojas deficientes en Mg caen prematuramente (Mengel y Kirkby 1982).

Una alta proporción de Mg está involucrado en la regulación del pH celular y el balance de catión-anión. Una mayor función de Mg y ciertamente es la función más familiar, es su papel como átomo central de la molécula de clorofila (Marschner 1986).

## 2.5.2. Micronutrientes

Fierro (Fe):

Se presenta alrededor del 5% del peso de la corteza terrestre y está invariablemente presente en todos los suelos. Los minerales primarios en la cuales el Fe está presente junto con las micas de biotita constituyen la mayor fuente de Fe en rocas ígneas. El contenido de Fe soluble en los suelos es extremadamente bajo en comparación con el contenido de Fe total (Mengel y Kirkby 1982).

En los suelos muy lavados y pobremente drenados esta propiedad resulta en la movilización del Fe de los horizontes superiores hacia los inferiores. El Fe no es fácilmente movible dentro de los diferentes tejidos de las plantas. Las plantas deficientes de Fe pronto llegan a ser cloróticas en las partes más jóvenes, siguiendo la marchitación hacia los tejidos remanentes más maduros. Las plantas bien suministradas de Fe presentan altos contenidos de clorofila (Mengel y Kirkby 1982).

Las plantas deficientes en Fe se caracterizan por desarrollar una clorosis intervenal pronunciada, similar a la desarrollada por la deficiencia de Mg, pero se presenta primero en las hojas más jóvenes. En ocasiones muy severas, las hojas se tornan blancas con lesiones necróticas. La función más conocida del Fe es como cofactor de diversas enzimas. El Fe es esencial debido a que forma parte de ciertas enzimas y numerosas proteínas que transportan electrones durante la fotosíntesis y la respiración (Salisbury y Ross 1994).

Manganeso (Mn):

El Mn ocurre en varias rocas primarias y particularmente en materiales ferromagnesianos. El Mn es frecuentemente liberado de esas rocas por mecanismos de intemperización. Los niveles totales de Mn pueden diferir considerablemente entre los suelos. Como el nivel de Mn en el suelo depende de las reacciones oxido-reducción, los factores incluyen el pH del suelo, contenido de materia orgánica, actividad microbial y humedad del suelo (Mengel y Kirkby 1982).

De acuerdo con Bremner y Knight, (1970) citado por Mengel y Kirkby, (1982), encontraron que el Mn es preferencialmente translocado hacia los tejidos meristemáticos, por tanto, órganos de plantas jóvenes son generalmente ricos en Mn.

En dicotiledóneas, la clorosis es uno de los síntomas de deficiencia de este elemento, presentándose éste en las hojas jóvenes principalmente. Bajo condiciones de campo, la deficiencia de Mn está usualmente confinada a las plantas que crece en suelos tropicales deslavados y de pH alto con un gran contenido de materia orgánica, esto puede ser fácilmente corregido con la aplicación de  $MnSO_4$  al suelo o tejido foliar (Marschner 1986).

Cobre (Cu):

El Cu ocurre en componentes orgánicos y está presente como un catión intercambiable en los coloides del suelo y es un constituyente de la solución del suelo (Mengel y Kirkby 1982). De tal manera, el nivel de Cu en la solución del suelo disminuye cuando se incrementa en pH debido a una fuerte absorción de Cu. Dado que el Cu está fuertemente ligado a las partículas del suelo, es muy inmóvil, y por lo tanto al agregar Cu como fertilizante estará restringido exclusivamente en las capas superiores del suelo. El Cu no es fácilmente movible en las plantas aunque éste puede ser translocado de las hojas maduras a las más jóvenes (Marschner 1986).

Relativamente altas concentraciones de Cu ocurren en los cloroplastos. A este respecto el comportamiento del Cu es similar al Fe, ya que es un constituyente del cloroplasto. El Cu juega un papel importante también en la síntesis y estabilidad de la clorofila y de otros pigmentos de las plantas (Mengel y Kirkby 1982).

En ausencia de Cu, las hojas adquieren un color verde oscuro y están arrugadas o deformes y muchas veces, presentan manchas necróticas. Ya que es requerido en pequeñas cantidades, en algunas ocasiones el Cu se vuelve tóxico; además de estar presente en diversas enzimas o proteínas implicadas en los procesos de oxidación y reducción, por ejemplo, en la enzima citocromo oxidasa, una enzima involucrada en la cadena de transporte de electrones de la respiración que se

encuentra en las mitocondrias y la plastocianina, una proteína de los cloroplastos (Salisbury y Ross 1994).

Zinc (Zn):

El Zn puede ser absorbido a los coloides como  $Zn^{2+}$ ,  $ZnOH^+$  ó  $ZnCl^+$ ; la intensidad de absorción de Zn por geotitas se incrementa conforme aumenta el pH y por esta razón la movilidad del Zn está particularmente restringida en suelos neutrales y alcalinos. La solubilidad de Zn es especialmente baja en suelo de pH alto y particularmente cuando el  $CaCO_3$  está presente. La movilidad del Zn en plantas no es muy grande. El Zn se acumula en los tejidos de las raíces especialmente cuando es abastecimiento de Zn es alto. En hojas maduras, el Zn llega a ser muy inmóvil (Mengel y Kirkby 1982), entre varias funciones, el Zn participa en la formación de clorofila (Salisbury y Ross 1994)

## **2.6. Descripción de la especie bajo estudio**

*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; triangulares y semilunares en corte transversal cuando hidratadas, carinadas y semilunares en seco, estomas en hileras de 1 a 4 en la cara dorsal y de 2 a 3, ocasionalmente 4 en cada cara ventral de hojas carinadas 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 2,90 a 4,50 cm de longitud, caedizos; escamas angostas de la base, ensanchándose gradualmente hacia el ápice, frágiles, apófisis piramidal, de 5 a 9 mm de longitud, ocasionalmente reflejada, umbo irregular de posición dorsal, frecuentemente ancho en la porción inferior, quilla transversal y cúspide muy

desarrolladas; pedúnculo pequeño de 2 a 5 mm de longitud, inconspicuo. 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 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 (Rzedowski 2006). Se localiza en suelos someros, generalmente con poca materia orgánica o sobre afloramientos rocosos. Las especies con las que se asocia principalmente son: *Quercus eduardii*, *Q. hartwegii*, *Q. grisea*, *Pinus engelmannii*, *P. chihuahuana*, *P. lumholtzii*, *P. leiophylla*, *Arctostaphylos pungens*, *Juniperus deppeana*, *Arbutus arizonica* y *Opuntia* sp. (Rentería y García 1997).

## **2.7. Estudios afines sobre la deposición de hojarasca**

### **2.7.1. Caída de hojarasca en bosques de coníferas**

En un estudio realizado por Santa Regina y Gallardo (1985), en tres bosques de la sierra de Bejar (Salamanca), como es, bosque de *Quercus pirenaica*, *Castanea sativa* y *Pinus sylvestris*, encontraron que la producción de hojarasca fue de de 5.900,00 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en el castañar, representando las hojas el 60%; 8.600,00 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en el rebollar, constituyendo las hojas el 65%; y 8.800,00 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en el pinar, siendo las acículas la fracción principal (46%), aunque también los estróbilos suponen una fracción importante (33%).

En *Pinus sylvestris* en los Pirineos orientales, Pausas (1997) reportó que en un periodo de dos años, las hojas representan 1.764,60 kg ha<sup>-1</sup>, ramas 402,80 kg ha<sup>-1</sup>

<sup>1</sup>, corteza 467,50 kg ha<sup>-1</sup>, flores 273,60 kg ha<sup>-1</sup>, conos 388,30 kg ha<sup>-1</sup> y para el componente otros 195,00 kg ha<sup>-1</sup>. La fracción de las hojas aporta entre 40 y 60% de la hojarasca total, con un coeficiente de variación entre 5 y 20%.

En *Pinus radiata* la deposición de hojarasca es del orden de 8.130,00 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> registrándose en junio la mayor producción y la mínima en julio. La deposición por componente es de la siguiente manera: hojas (75%), ramas (15%), flores y frutos (7,50%), corteza y líquenes (1%) cada uno y las semillas (0,50%) del peso total de la hojarasca anual, respectivamente (Palacios 2002).

Hernández (2006), estimó la incorporación de hojarasca en un bosque coetáneo de *Pinus* spp., en la región El Salto, Durango, encontrando que el aporte fue de 7.903,00 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, del cual el 29% corresponde a la deposición de conos, el 41% a hojas y el 30 % de ramas.

En otro estudio realizado por Nájera y Hernández (2009), reportaron que para un bosque coetáneo de *Pinus* spp., de la región del Salto, Durango, la acumulación total de hojarasca fue de 3.999,40 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. El 74% correspondió a las hojas, el 17% a las ramas y el 9% a los conos. El promedio mensual de aporte de hojarasca fue de 333,28 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> con una desviación estándar de 247,40 kg ha<sup>-1</sup>. Se estimó un aporte anual promedio por árbol de 16,70 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, de los cuales 12,20 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> correspondieron a las hojas, el resto lo aportan las ramas y los conos. Diciembre registró la mayor deposición de hojarasca en hojas, mientras que para las ramas y conos octubre reportó los valores más altos.

En un bosque de pino (*Pinus pseudostrobus* Lindl) la deposición anual de la hojarasca fue de 4.407,00 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. De la producción de hojarasca total, las hojas representaron el 74% (Domínguez 2009).

## **2.8. Estudios afines sobre la deposición de nutrientes vía hojarasca**

Huber *et al.* (1986), estudiaron la producción de hojarasca depositada durante 4 años en un bosque de 25 a 28 años de edad de *Pinus radiata*, reportando los aportes promedio y su correspondiente concentración con respecto al peso

anhidro (105°C) de la hojarasca: cenizas 104 kg ha<sup>-1</sup> (2,60%); carbono 2.060,00 kg ha<sup>-1</sup> (52,70%); nitrógeno 27,40 kg ha<sup>-1</sup> (0,74%); fósforo 3,10 kg ha<sup>-1</sup> (0,08%); sodio 1,30 kg ha<sup>-1</sup> (0,03%); potasio 14,10 kg ha<sup>-1</sup> (0,37%); calcio 21,30 kg ha<sup>-1</sup> (0,51%); magnesio 4,40 kg ha<sup>-1</sup> (0,11%).

Santa Regina y Gallardo (1989), reportan para un estudio realizado en un bosque de *Pinus sylvestris* en la Sierra de Bejar, Salamanca, analizando los elementos nutricionales en el componente hojas. Donde reportan valores expresados en kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>: el N 6,00; Ca 4,00; Mg 0,50; P 1,10; K 1,40; Na 0,20. Sin embargo, para el Mn 6,00; Fe 3,00; Cu 4,00; Zn 8,00 estos, representados en g ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

Montero *et al.* (1999), en un estudio de *Pinus pinaster* Ait., bajo distintos regímenes de aclareo, analizaron la dinámica de nutrientes de las acículas caídas durante tres años obteniendo lo siguiente en términos porcentuales: N 0,40%, P 0,03%, K 0,17%, Ca 0,54%, Mg 0,12%. A nivel de tratamiento silvícola se tuvo: Máxima densidad biológica (MDB): N 14,04; P 1,29; K 7,07; Ca 20,61; Mg 5,05; Testigo: N 13,36; P 0,00; K 6,74; Ca 19,63; Mg 4,83; Aclareo 1: N 12,07; P 1,10; K 6,14; Ca 17,98; Mg 4,42; Aclareo 2: N 10,15; P 0,94; K 5,25; Ca 15,07; Mg 3,74; todo expresado en kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

Santa Regina y Tarazona (2000), en un estudio sobre el ciclo de nutrientes en dos ecosistemas forestales en la Sierra de la Demanda: un bosque de hayas clímax (*Fagus sylvatica* L.) y una plantación reforestada de pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.), estimaron el retorno de los bioelementos al suelo a través de la hojarasca y el escurrimiento con el fin de definir su papel en el suelo y, en general, en la dinámica de los bioelementos en los ecosistemas, concluyendo que el retorno de nutrientes al suelo por la hojarasca fue mayor en *Fagus sylvatica* L, en comparación con el pino de todos los elementos analizados (P: 0,23 – 0,11 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>; Ca: 17,40 – 12,80 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>; Mg: 4,0 – 2,0 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, y K: 11,50 – 5,70 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) a excepción de N 19,80 – 23,30 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

Por otra parte, Domínguez (2009), tuvo como propósito determinar la deposición de macro- (Ca, K, Mg, N y P) y micro-nutrientes (Cu, Fe, Mn y Zn) a través del componente hojas, para el caso de *Pinus pseudostrobus* en el noreste de México.

El aporte anual de Ca de 30,00; K de 7,00; Mg de 4,00; N de 18,00; y P de 1 expresados en  $\text{kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ . El aporte anual de Cu de 8,60; Fe de 273,00; Mn de 166,80 y Zn de 54,00 en  $\text{g ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ .

## **2.9. Caída de hojarasca y determinación de nutrimento 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*, con densidad de  $950,00 \pm 185,00$  árboles  $\text{ha}^{-1}$ , con una altura promedio de  $4,20 \pm 0,20$  m, diámetro promedio de  $17,20 \pm 0,56$  cm y un dosel del 30% al 60% de cobertura. Los resultados indican una producción total de hojarasca de  $3.023,00 \pm 337,00$   $\text{kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ . 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%. En el contenido de nutrimentos se encontraron para el N: 20,00 C: 599,00 y P 1,80; estos son expresado en  $\text{kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ .

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Características físicas y biológicas del área de estudio

##### 3.1.1. 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. Coordenadas de 25°24' 37" de latitud Norte; 100° 36' 27" de longitud Oeste, a una altitud de 2332 msnm, perteneciente a la parte Norte de la Sierra Madre Oriental (INEGI 2001).

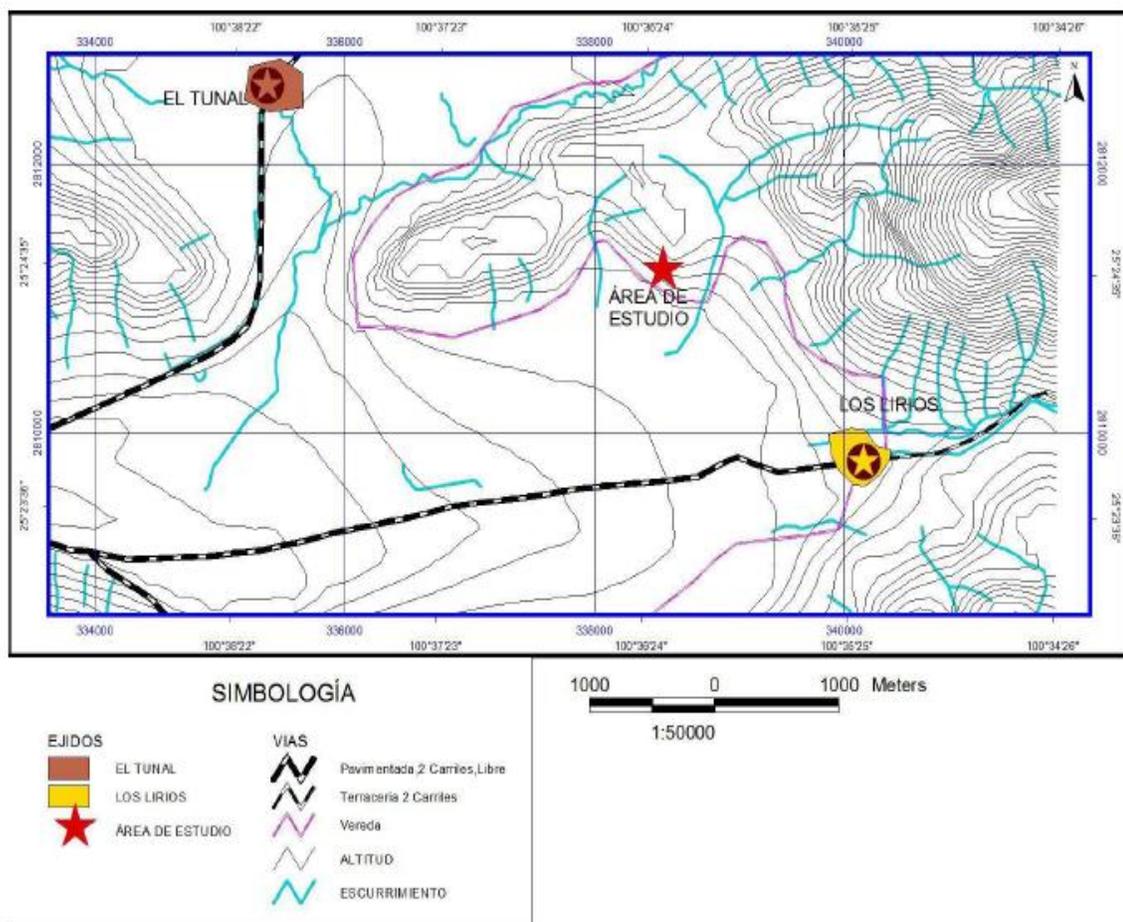


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio.

### **3.1.2. Clima**

El clima es templado, con una temperatura media anual de 13.6°C y con una precipitación promedio anual de 521,20 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, 2000).

### **3.1.3. Suelo**

El suelo es de tipo Litosol (1+e/2) constituyendo la capa primaria en la formación del suelo, se caracteriza por tener una superficie menor a 10 cm de espesor, predominando con ella materia orgánica, con una fertilidad de media a alta. Ésta la podemos encontrar en pendientes muy pronunciadas ó altas, impidiendo que sea explotada económicamente. Por otra parte, se puede encontrar Rendzina (1+E/2) presentando una textura media, a la vez presentando muy poca profundidad de 10-15 cm que sobreyacean directamente a material carbonatado (CETENAL 1977).

### **3.1.4. Vegetación**

La vegetación del área de estudio está compuesta principalmente por especies de *Pinus cembroides* seguida de *Yucca carnerosana*, *Juniperus deppeana*, *Tillandsia recurvata*, *Agave* sp, *Rhus virens*, *Rhus microphylla*, 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 de 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 <sup>-1</sup> )	685,00	140,00	285,00	20,00
Cobertura de 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 tuvieron los datos correspondientes.

### 3.2. Metodología

#### 3.2.1. Selección del área de estudio

Para este trabajo, se realizó un recorrido preliminar en la zona de estudio para determinar el área a muestrear (una hectárea), tomando en cuenta que el área reuniera las condiciones promedio de los bosques de *Pinus cembroides* Zucc. El área de estudio presenta pendientes mayores al 25% con una exposición al oeste, dominando principalmente *Pinus cembroides*, seguida por *Rhus virens*, *Yucca carnerosana*, *Tillandsia recurvata* y *Juniperus depeana*.



Figura 2. Trampa colectora de hojarasca en un bosque natural de *Pinus cembroides* Zucc.

### 3.2.2. Tamaño y forma de los colectores

La forma y tamaño de los colectores construidos fueron de forma cuadrada (Figura 2), mismos que han sido sugeridos por Huber y Oyarzún (1984), Nájera y Hernández 2009 y Aceñolasa *et al.* 2009. Por otra parte, Huber y Oyarzun (1984) mencionan que el tamaño de los colectores para cuantificar la caída de hojarasca en los diferentes ecosistemas puede ser desde  $0,25 \text{ m}^2$ , o más; en este sentido, González *et al.* (2008) y Domínguez (2009), en sus estudios utilizaron colectores de hasta  $1 \text{ m}^2$ , conviniendo en utilizar los colectores de este tamaño ( $1 \text{ m}^2$ ).

### 3.2.3. Número de colectores

Algunos estudios indican que alrededor de 40 colectores pueden ser convenientes para una superficie de 1 hectárea (ha), ejemplo: González *et al.* (2008) y Domínguez (2009) utilizaron 10 colectores de  $1 \text{ m}^2$  en una superficie de 0,25 hectárea. De tal forma que se recomendado utilizar desde 25 hasta 40 colectores

de 1 m<sup>2</sup> por hectárea. Para este estudio, se utilizaron 40 colectores de 1 m<sup>2</sup> en una superficie de tamaño similar.

#### **3.2.4. Construcción de colectores**

Los colectores fueron contruidos de madera, la cual fue tratada previamente con aceite quemado, con el propósito de prolongar su durabilidad y así mismo darle protección contra hongos y termitas. Un total de 40 colectores de 1m x 1m (1 m<sup>2</sup>) fueron contruidos, teniendo un marco en su primero de 10 cm de altura y fondo de malla metálica de 1 mm<sup>2</sup>. Para tomar en cuenta la pendiente (~25%), la altura de los colectores fue compensada, proporcionando diferentes dimensiones a favor de la pendiente 25 cm y en contra 50 cm, esto con el propósito de mantener los colectores en forma horizontal y así mismo evitar que las hojas, ramas o ramillas fueran llevadas por el viento fuera del colector.

#### **3.2.5. Distribución de los colectores**

Una vez finalizada la construcción de los colectores, se transportaron al área de estudio, distribuyéndose acorde a un diseño de muestreo sistemático, según se ha sugerido por algunos autores (Huber y Oyarzún 1984; Nájera y Hernández 2009). La distribución consistió en lo siguiente: En el terreno se trazaron 4 filas a una distancia de separación de 16 metros entre ellas, en forma transversal a la pendiente. Cada fila consta de 80 m de largo; en la cual se ubicaron 10 colectores, con una separación de 8 m entre cada una de ellas. Este experimento fue establecido el 31 de Marzo del 2009 y finalizando el 6 de febrero (Figura 3).

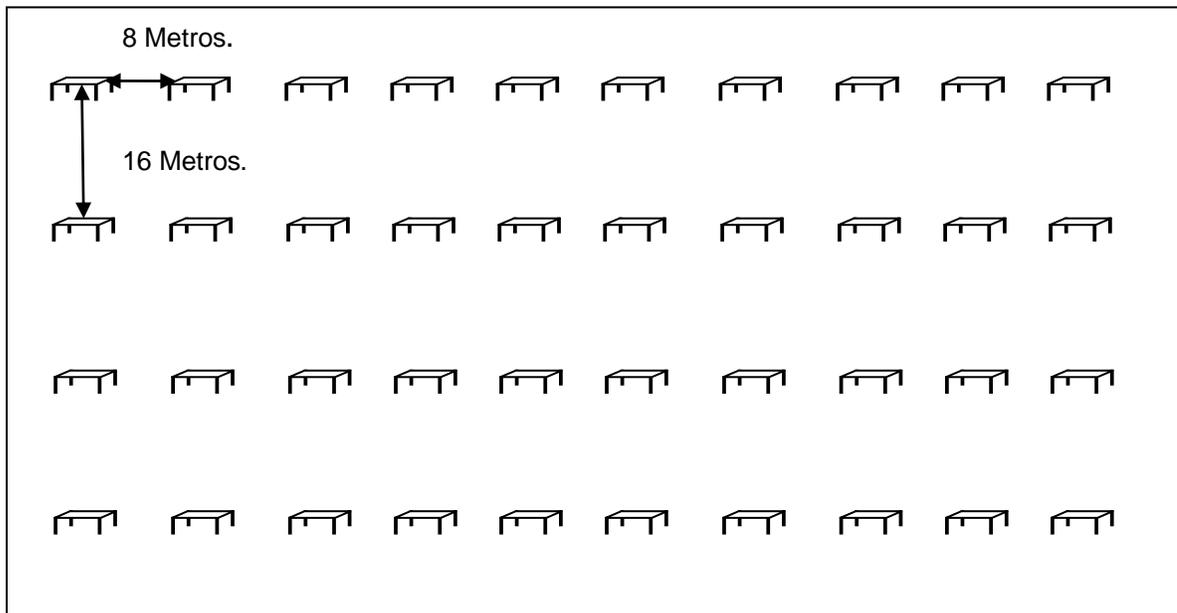


Figura 3. Forma y distribución de los colectores en un bosque de *Pinus cembroides* Zucc., ubicado en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

### 3.2.6. Colecta de hojarasca

La colecta de la hojarasca se realizó mensualmente; esta periodicidad de colecta ha sido sugerida por Gunadi (1992), Rocha *et al.* (2009) y Aceñolaza *et al.* (2009). Para concluir, la colecta de hojarasca fue necesario utilizar una mini-lona de 2x1,50 m, para recoger los componentes de cada uno de los colectores, los cuales fueron depositados en bolsas de papel estraza debidamente etiquetadas con el número de colector y fecha de colecta. El periodo considerado en este estudio fue de 10 meses, del 5 de Mayo del 2009 al 6 de Febrero del 2010.

### 3.2.7. Trabajos de laboratorio

Una vez que la hojarasca fue separada por fecha de muestreo, fue secada en una estufa de aire forzado a 70-80°C durante 72 horas, esto de acuerdo a lo propuesto por Keenan *et al.* (1995) y Rocha *et al.* (2009) hasta obtener peso constante, determinando así el peso seco ( $\text{g m}^{-2}$ ) por componente. Obteniéndose

con el uso de una balanza digital (Marca Sartorius, Modelo C1), con resolución de milésimas de gramo. A través de la sumatoria de todos los muestreos realizados, se determinó la deposición anual por componente ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ).

### **3.2.8. Determinación de macro- y micro-nutrientes en el componente hojas**

Tomando en cuenta que el mayor y principal constituyente de la hojarasca es el componente hojas y en éste se realiza la mayoría de los procesos fisiológicos, específicamente la fotosíntesis (González *et al.* 2008 y Domínguez 2009), mencionan que el mayor aporte de nutrientes es reciclado principalmente por las hojas, es por ello que en la presente investigación, se procedió a la determinación de macro- y micro-nutrientes en este componente.

La cuantificación del contenido de nutrientes, se realizó sólo en 10 de las 40 trampas, correspondientes a las trampas 2, 6, 10, 14, 18, 22, 26, 30, 34 y 38 (Figura 4). Las fechas de muestreo fueron las siguientes: 5-Mayo, 5-Junio, 8-Julio, 9-Agosto, 6-Septiembre, 9-October, 2-Noviembre, 7-Diciembre de 2009, 6-Enero y 6-Febrero de 2010. Las razones que sustentan el haber utilizado diez repeticiones (trampas) por colecta fueron con el fin de reducir los costos técnicos y operativos del proceso, capacidad de trabajo y de materiales a utilizar durante la determinación.

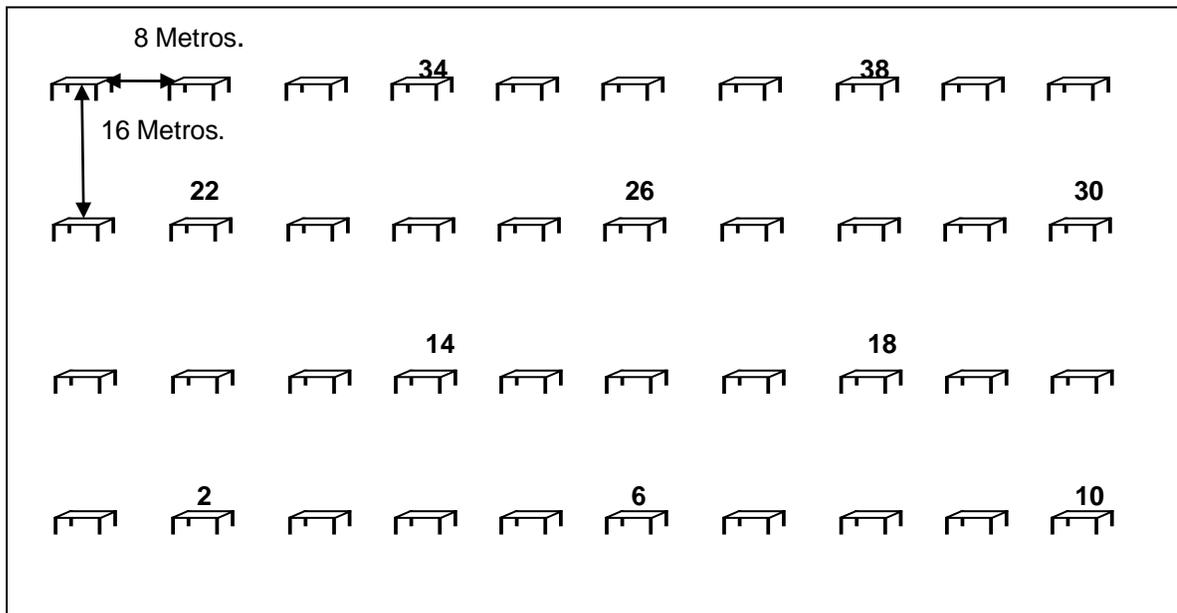


Figura 4. Forma y distribución las 10 trampas seleccionadas para el análisis químico de los nutrientes, en un bosque de *Pinus cembroides* Zucc., ubicado en Los Lirios, Arteaga, Coahuila

Una vez que las muestras de hojas fueron secadas, se procesaron en un molino Thomas Willey (Thomas Scientific Apparatus, Modelo 3383) usando una malla No. 60 (1x1mm). El material molido fue recolectado en un frasco previamente etiquetado.

La preparación de extractos para determinar macro- (Ca, K y Mg) y micronutrientes (Cu, Fe, Mn y Zn) en el componente hojas se realizó de acuerdo a las técnicas analíticas de digestión descritas en AOAC (1990) y consiste en lo siguiente: el material previamente molido y etiquetado se colocó en la estufa para ser secado a 65°C durante 24 h. Posteriormente, se retiró el material de la estufa y se colocó en un desecador para ser enfriado. Después se pesaron 2.0 g de muestra y se colocaron en crisoles previamente etiquetados para su incineración en la mufla a 550°C por un lapso de 5 horas. Una vez obtenidas las cenizas, se dejaron enfriar por aproximadamente 30 minutos a temperatura ambiente. Posteriormente, las cenizas fueron vertidas a un vaso de precipitado de 50 mL, lavando el crisol con 20 mL de agua destilada en pequeñas porciones. Enseguida,

se agregaron 5 mL de HCl (Ácido clorhídrico) concentrado y 10 gotas de HNO<sub>3</sub> (Ácido nítrico) concentrado al vaso. Una vez transcurrido este paso, se colocaron los vasos con la disolución en una parrilla de calentamiento a 100°C hasta reducir a un volumen de 10 mL. A continuación se le agregaron 10 mL de agua destilada y los vasos nuevamente se dejaron en la parrilla de calentamiento por 2 ó 3 minutos.

Posteriormente, se retira el vaso de la parilla y se deja a que la muestra llegue a temperatura ambiente, filtrándose el extracto usando papel filtro Watham No. 40 en un matraz volumétrico de 50 mL, el cual fue aforado con agua destilada. Una vez concluido este procedimiento, las muestras se conservaron en refrigeración a 4°C para posteriormente la realización su análisis cuantitativo de cada nutrimento. Para determinar el contenido de cada elemento, se utilizó un Espectrofotómetro de Absorción Atómica (Marca Varian, Modelo SpectrAA-200). Partiendo de estándares comerciales de cada elemento, se obtuvo una curva estándar para cuantificar el contenido de dicho elemento en la solución de cada extracto.

Para el caso de los estándares de Ca y Mg se añadió K a una concentración final de 1000 µg mL<sup>-1</sup> de solución para contrarrestar el efecto ionizante. Con la misma finalidad, se añadió Cs a una concentración de 1000 µg mL<sup>-1</sup> a los estándares de K. Ambos supresores de la ionización también fueron añadidos a las muestras a la misma concentración. Los resultados de los contenidos de nutrimentos para macro fueron expresados en miligramos por gramos de peso seco (mg g<sup>-1</sup> ps), mientras que para micro en términos de µg g<sup>-1</sup> ps. En el Cuadro 2 se ilustra los parámetros optimizados del Espectrofotómetro que se emplearon para cuantificar cada elemento.

Cuadro 2. Parámetros optimizados del espectrofotómetro de absorción atómica que se emplearon para determinar la concentración de macro y micro-nutrientes en el componente hojas.

Nutrimento	Longitud de onda (nm)	Corriente de lámpara <sup>1</sup> (mA)	Ancho de ranura (nm)	Flujo (L min <sup>-1</sup> )		
				Combustible <sup>2</sup>	Oxidante <sup>3</sup>	Estequiometría
Ca	422,7	10,0	0,5	6,3	11,0	Reductora
K	766,5	5,0	1,0	2,0	13,5	Oxidante
Mg	285,2	4,0	0,5	2,0	13,5	Oxidante
Cu	327,4	4,0	0,2	2,0	13,5	Oxidante
Fe	372,0	5,0	0,2	2,0	13,5	Oxidante
Mn	403,1	5,0	2,0	2,0	13,5	Oxidante
Zn	213,9	5,0	2,0	2,0	13,5	Oxidante

<sup>1</sup>Lámpara de cátodo hueco. <sup>2</sup>Acetileno (grado de absorción atómica, AA). <sup>3</sup>Oxido nitroso (Ca) y aire (K, Mg, Cu, Fe, Mn y Zn).

### 3.3. Variables ambientales

Con la intención de tener una representación de algunas variables climáticas durante el periodo de estudio, se obtuvieron datos de precipitación (mm) y temperatura (°C) (media de cada mes) mismos que fueron proporcionados por representantes del CESAVERCO (Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Coahuila) de la estación adjunta al CAESA, y están representados en la Figura 5).

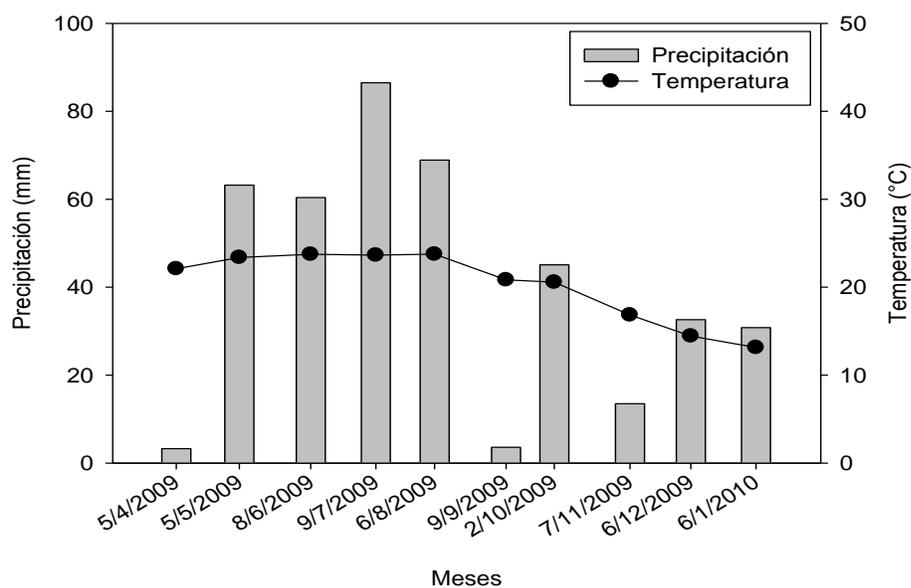


Figura 5. Temperatura media mensual y precipitación registrada en la estación del CESAVECO cerca al (CAESA), en los Lirios, Arteaga Coahuila.

### 3.4. Análisis estadístico

#### 3.4.1. Contenido de macro y micronutrientes en el componente hojas

Los datos del contenido de macro-nutrientes Ca, Mg y K fueron expresados en  $\text{mg g}^{-1}$  ps y micro-nutrientes Zn, Mn, Fe y Cu se expresaron en  $\text{mg kg}^{-1}$  ps; cada uno de estos componentes, ya sea por fecha de muestreo y general, fueron sometidos a pruebas de normalidad (95%) acorde a las pruebas de Shapiro-Wilk y Kolmogorov-Smirnov. Pruebas de normalidad en este tipo de estudios de han sido sugeridas por González *et al.* (2006) y Domínguez (2009).

Posteriormente, la deposición mensual de los nutrientes fue sometida a un análisis de varianza (ANDEVA) mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (Ott, 1993) a un nivel de significancia del 95% la cual pude analizar datos cuya distribución sea normal o no, 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 elementos nutricionales, se realizaron pruebas de medias (95%) a los rangos de Kruskal-Wallis.

Para el análisis y la interpretación de los resultados se procedió a separarlos por macronutriente como son: Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Potasio (K); para el caso de los micronutrientes son: Cobre (Cu), Manganeseo (Mn), Hierro (Fe) y Zinc (Zn).

### 3.4.2. Acumulación de macro y micro-nutrientes

Para conocer la acumulación mensual y total de los macro y micro-nutrientes durante el tiempo de estudio fue necesario ajustar varios modelos de crecimiento (Schumacher, logística generalizada, Logística, Gompertz y Power) con la ayuda del programa SPSS versión 8,0; dando mejores resultados el modelo de crecimiento logístico y la Ecuación Schumacher los cuales vienen dados por las fórmulas siguientes (Guerrero *et al.* 1998).

Función Logística:

$$Y = \frac{a}{1 + e^{b-cx}}$$

Donde:

Y= Componente de macro y micro-nutrientes acumulativo expresados en mg m<sup>-2</sup>.

a, b y c = Parámetros del modelo

e= Exponencial de base diez

1 = Número constante

X = Días transcurridos

Ecuación Schumacher:

$$Y = e^{\frac{(a+b)}{X}}$$

Los resultados que se obtuvieron de la acumulación de los nutrimentos se expresaron en  $\text{mg m}^{-2}$ , con fines prácticos para el caso de los macronutrientes se convirtieron en  $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  y para los micronutrientes  $\text{g ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .

## **4. RESULTADOS**

### **4.1. Pruebas de normalidad en macro y micro-nutrientes por fecha de colecta**

#### Macro-nutrientes

Los resultados muestran que la concentración de Ca en la hojarasca presenta una distribución normal, de acuerdo a la prueba de Kolmogorov-Smirnov, KS (Anexo 1). Para el elemento de Mg, se puede observar que en el 30% de las colectas no presentan una distribución normal, como es el caso de la colecta 1, 5 y 9. El K presenta el 10% una distribución no normal en todas las colectas analizadas ( $P > 0,05$ ).

#### Micro-nutrientes

Similarmente en micronutrientes, la prueba de KS indicó que para el caso de Zn, Mn y Fe presentan una distribución normal al 100%. En el caso del Cu el 50% no se distribuyen normalmente en las colectas 1, 2, 3, 5 y 6, respectivamente. (Anexo 1).

### **4.2. Pruebas de normalidad general para macros y micro-nutrientes**

En lo que se refiere a las pruebas de normalidad acorde a la prueba de KS a un 95% de confiabilidad, incluyendo todas las colectas se tuvo que los elementos nutritivos como es el caso del Ca, Mg y K, se distribuyen normalmente (Cuadro 3) ( $n=83$ ;  $P < 0,05$ ).

En lo correspondiente a micro-nutrientes, Zn y Cu no presentan una distribución normal ( $n=83$ ;  $P < 0,05$ ) (Cuadro 3); por otra parte el Mn y Fe si presentan una distribución normal (Cuadro 3).

Cuadro 3. Pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov a la concentración de macro-nutrientes (Ca, Mg y K) y micro-nutrientes (Zn, Mn, Fe y Cu) en la hojarasca depositada en un bosque de *Pinus cembroides* Zucc., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

Nutriente	N	Kolmogorov-Smirnov	
		Estadístico	Valor P
Ca	83	0,0710	0,1500
Mg	83	0,0962	0,0566
K	83	0,0937	0,0722
Zn	83	0,1881	<b>0,0100</b>
Mn	83	0,0447	0,1500
Fe	83	0,0725	0,1500
Cu	83	0,2018	<b>0,0100</b>

Valores de P en negritas ( $P < 0,05$ ) indican que no se distribuyen normalmente.

### 4.3. Porcentaje de la producción de hojas

Los resultados muestran que durante los 10 muestreos (colectas) de hojarasca en los cuales se separaron los componentes: hojas, ramas, conos, corteza y Juníperos, los porcentajes de hojas que se analizaron en este estudio fue muy variable de colecta a colecta. La colecta 5 (septiembre) representó un 54,83% de la producción total de la hojarasca de esa colecta. De la misma forma le sigue la colecta 1 (mayo) con una aportación de 48,98%, contrariamente la colecta 2 (junio) aportó únicamente el 28,41% de la producción de hojas, siendo el porcentaje mas inferior de total de las colectas (Figura 6, Anexo 2).

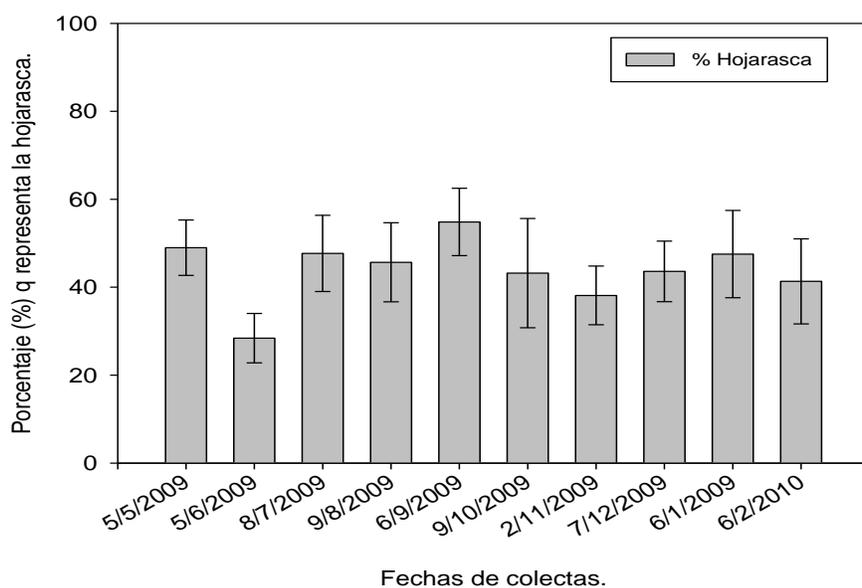


Figura 6. Variación porcentual  $\pm$  error estándar del componente hojas en un bosque natural de *Pinus cembroides* Zucc., en los Lirios, Arteaga, Coahuila.

#### 4.4. Acumulación de macro y micronutrientes

De acuerdo al ajuste de los modelos probados para cuantificar la acumulación mensual de la deposición de macro y micronutrientes, en relación con la  $R^2$ , ésta promedia un valor de 0,9671 tanto en macro como micronutrientes. (Cuadro 4), indicando que la concentración mensual de nutrientes en las hojas se presenta de forma similar.

De acuerdo al modelo logístico el elemento nutricional Zn presenta un excelente ajuste de un 99%, después se encuentran el K y Mn con un valor de 97%, seguidos por el Mg y Fe con 96%, enseguida se encuentra el Ca con 95% y por último el Cu 93%, considerando que el modelo logístico no se ajusto a este elemento para lo cual se utilizó el modelo de Schumacher's (Cuadro 4).

Cuadro 4. Parámetros y estadísticos de regresión para estimar la acumulación de macro y micronutrientes en el componentes hojas, en un bosque natural de *Pinus cembroides* Zucc., en los Lirios, Arteaga, Coahuila.

Nutriente	Parámetros de regresión			Estadísticos de regresión			
	N	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	CME	$r^2$	Pr
Ca	10	400,8315	1,8984	0,0134	724,2542	0,9580	0,0001
Mg	10	74,3096	2,0024	0,0144	20,9910	0,9670	0,0001
K	10	109,0959	2,0905	0,0153	35,6865	0,9755	0,0001
Zn	10	11,8465	2,9425	0,0169	0,1695	0,9909	0,0001
Mn	10	0,5785	2,1364	0,0141	9,73E-04	0,9740	0,0001
Fe	10	0,3862	2,0926	0,0130	4,87E-04	0,9677	0,0001
Cu	10	-4,4900	-120,7715		3,38E-07	0,9369	0,0001

**Grupo 1: Macro-nutrientes:** Considerando el modelo logístico para el Ca, se puede observar que durante los 10 meses (312 días) de colecta, la acumulación de éste elemento nutricional fue de 363,94 mg m<sup>-2</sup>. Por otra parte, el Mg, acumula un total de 68,59 mg m<sup>-2</sup> y el K registró un valor de 102,19 mg m<sup>-2</sup> (Figura 7).

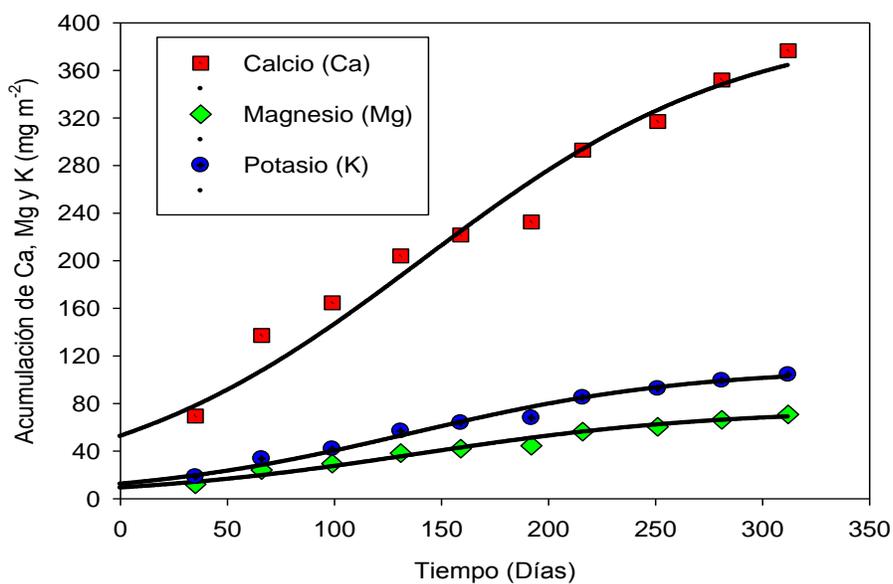


Figura 7. Acumulación de macro-nutrientes ( $\text{mg m}^{-2}$ ), Calcio, Magnesio y Potasio, en el componente hojas, de un bosque de *Pinus cembroides* Zucc., en los Lirios, Arteaga, Coahuila.

**Grupo 2 Micro-nutrientes:** De la misma manera se aplicó el modelo logístico a los micronutrientes acumulados durante los 10 meses de colecta, para el caso del Zn, muestra una acumulación (al final de este periodo) con un valor de  $10,79 \text{ mg m}^{-2}$ , seguido por Mn, con  $0,52 \text{ mg m}^{-2}$ , Fe representó  $0,33 \text{ mg m}^{-2}$  y por ultimo al Cu, acumulando únicamente  $0,01 \text{ mg m}^{-2}$  (Figura 8).

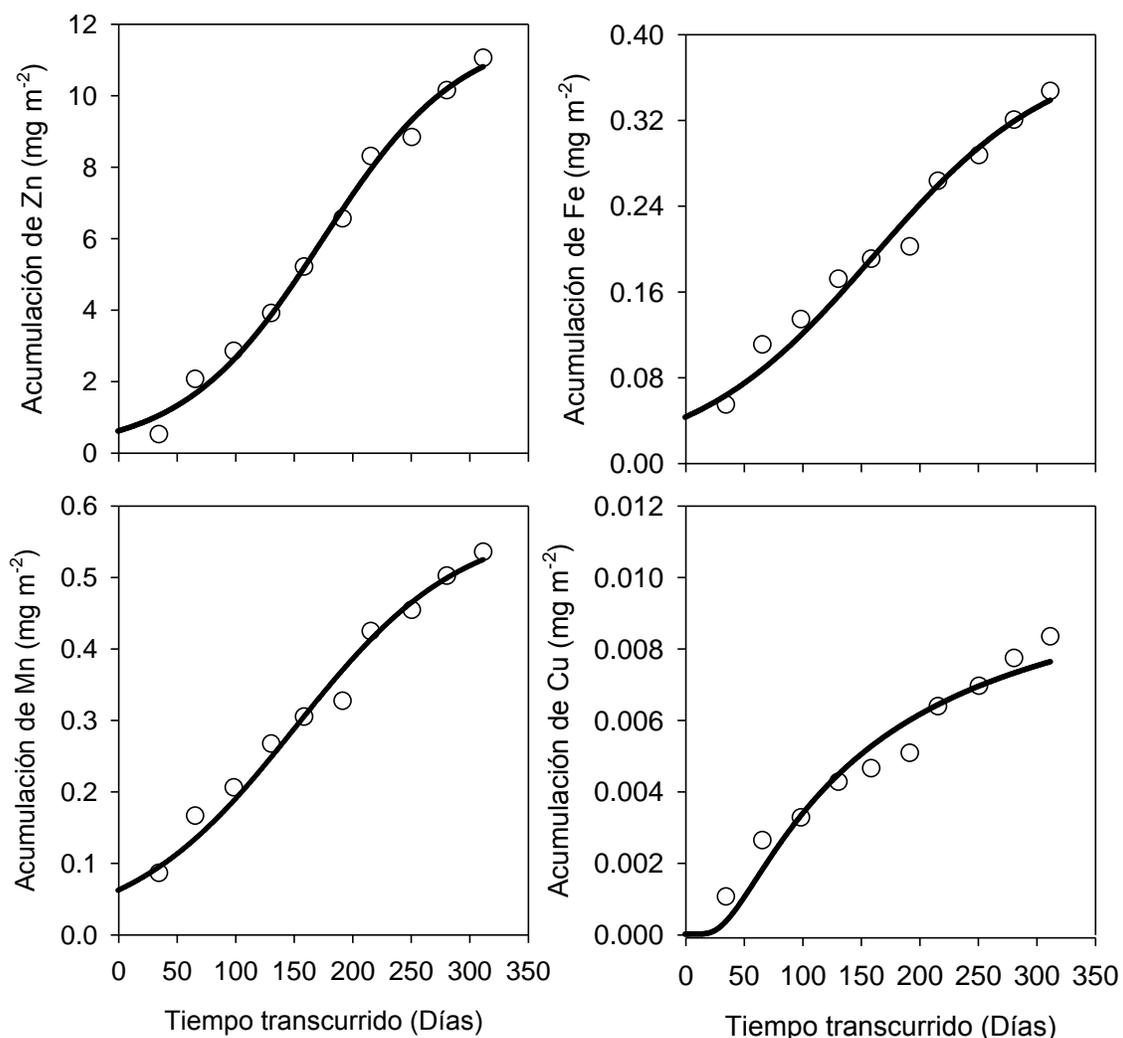


Figura 8. Acumulación de micro-nutrientes ( $\text{mg m}^{-2}$ ), Zinc, Manganeso, Fierro y Cobre, en el componente hojas de un bosque natural de *Pinus cembroides* Zucc., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

#### 4.5. Contenido mensual de macro y micro-nutrientes

Para efectos prácticos se utilizaron los promedios e intervalos de confianza de contenido mensual de macro y micronutrientes ( $\text{mg g}^{-1}$  ps) para construir las figuras siguientes.

## Macronutrientes

Para el elemento **Ca**, en hojas de *Pinus cembroides*, se encontró que existen diferencias significativas entre colectas ( $H= 30,89$  y  $P= 0,0003$ ), en el contenido de este elemento (Anexo 3). Acorde a la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis (95%), el mayor contenido de Ca se observó en la colecta 1 (mayo) siendo muy superior a las demás (Figura 9 y Anexo 4), presentado aproximadamente un promedio de  $13,38 \text{ mg g}^{-1}$  en esa fecha. Las colectas 2, 10, 9, 8, 7, 3, 4 (junio, febrero, enero, diciembre, octubre, julio y agosto) promedian  $10,94 \text{ mg g}^{-1}$ . El menor contenido de Ca se registró en las colectas 5 y 6 (septiembre y octubre) con únicamente  $7,89 \text{ mg g}^{-1}$ .

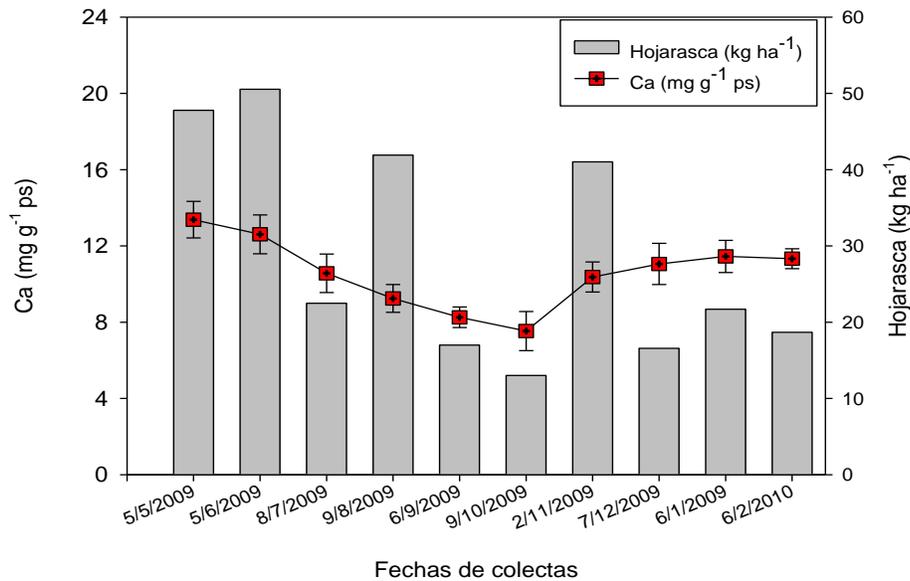


Figura 9. Contenido mensual del Ca ( $\text{mg g}^{-1}$  ps)  $\pm$  error estándar vía hojas, en un bosque natural de *Pinus cembroides* Zucc., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

Similarmente, las pruebas de rangos de KW, en **Mg** indicaron diferencias significativas ( $H=19,59$  y  $P= 0,0206$ ) (Anexo 3 y 4). El mayor contenido de Mg se encontró en mayo, con un valor de  $2,33 \text{ mg g}^{-1}$ , indicando que fue muy diferente a las demás colectas. En seguida, la colectas 2, 3, 4, 7, 10 y 9 (junio, julio, agosto, noviembre, febrero y enero) reportaron un promedio de  $2,06 \text{ mg g}^{-1}$ .

<sup>1</sup>; el menor contenido se registró en las colectas 5, 6, y 8 (septiembre, octubre y diciembre) con únicamente 1,77 mg g<sup>-1</sup> (Figura 10).

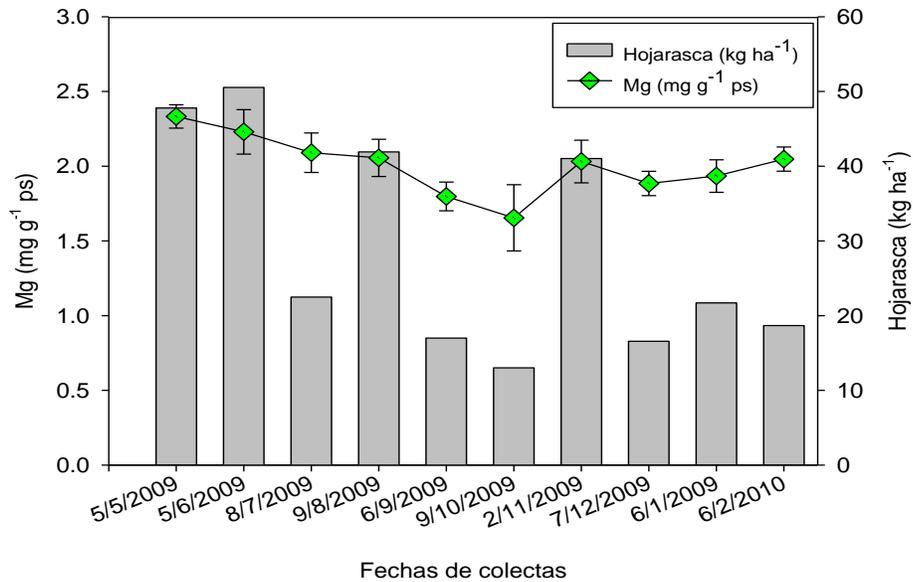


Figura 10. Contenido mensual del Mg (mg g<sup>-1</sup> ps) ± error estándar vía hojas, en un bosque natural de *Pinus cembroides* Zucc., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

En **K**, los resultados indican diferencias altamente significativas en el contenido mensual vías hojas (H=33,85 y P=0,0001) (Anexo 3 y 4). La colecta 4 (agosto) fue de 3,54 mg g<sup>-1</sup> siendo esta el mayor contenido, posteriormente un promedio de 3,13 mg g<sup>-1</sup> de las colectas 1, 8, 5, 3, 7, 6 y 2 (mayo, diciembre, septiembre, julio, noviembre, octubre y junio), para finalizar con un valor promedio inferior a las anteriores de 2,10 mg g<sup>-1</sup>, para las colectas 9 y 10 (enero y febrero) (Figura 11).

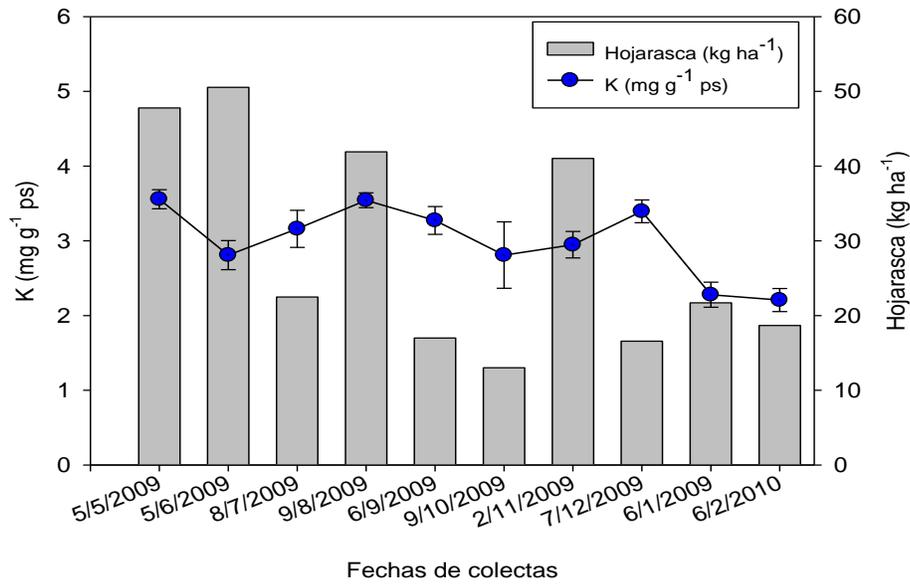


Figura 11. Contenido mensual del K ( $\text{mg g}^{-1}$  ps)  $\pm$  error estándar vía hojas, en un bosque natural de *Pinus cembroides* Zucc., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

### Micronutrientes

Los resultados de indicaron que existen diferencias significativas en el contenido de Zn entre colectas. Este elemento mostró ser el mas abundante de los micronutrientes. El mínimo se registro en la colecta 1 (mayo) con  $97,81 \text{ mg kg}^{-1}$ , mientras que el contenido máximo lo encontramos en las colectas 5 y 6 (septiembre y octubre) con un promedio de  $764,89 \text{ mg kg}^{-1}$ , las cuales nos muestran altas diferencias mensuales de flujo de Zn vía hojas ( $H= 62,22$  y  $P= 0,0001$ ) (Anexo 5 y 6) (Figura 12).

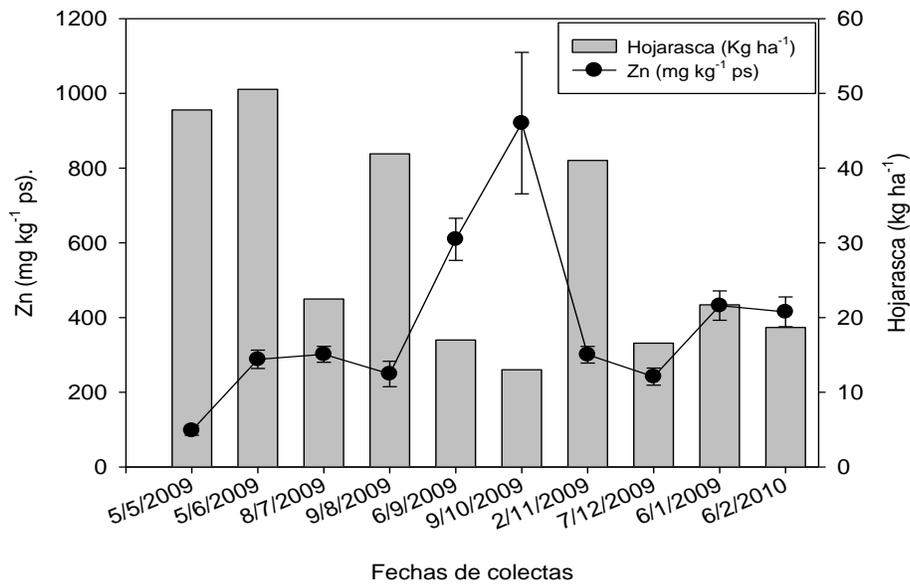


Figura 12. Contenido mensual del Zn ( $\text{mg kg}^{-1}$  ps),  $\pm$  error estándar vía hojarasca, en un bosque natural de *Pinus cembroides* Zucc., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

Para el caso de Mn (Figura 13) y Fe (Figura 14), las pruebas de KW no indicaron diferencias significativas en el contenido mensual, estas promediaron  $15,53 \text{ mg kg}^{-1}$  para el Mn y  $10,00 \text{ mg kg}^{-1}$  en Fe (Anexo 5 y 6).

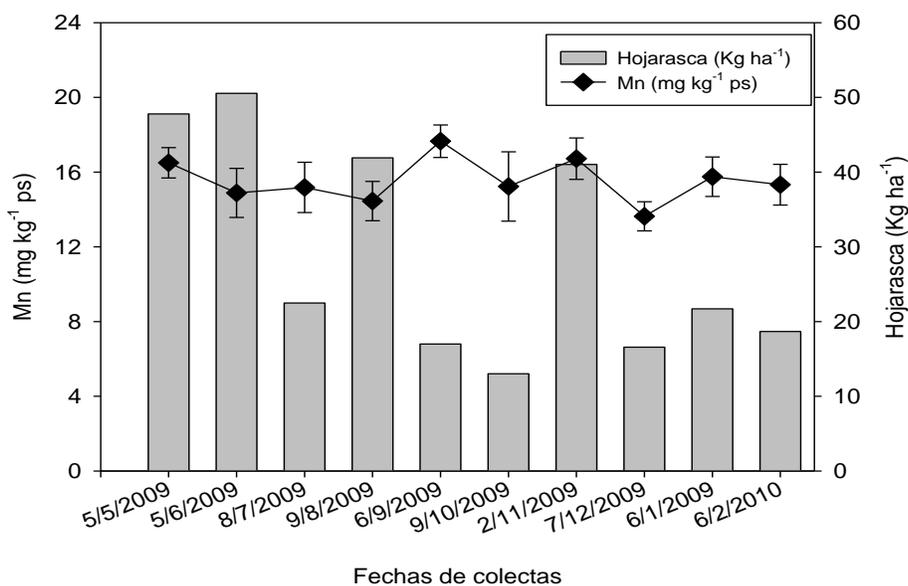


Figura 13. Contenido mensual del Mn ( $\text{mg kg}^{-1}$  ps)  $\pm$  error estándar vía hojarasca, en un bosque natural de *Pinus cembroides* Zucc., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

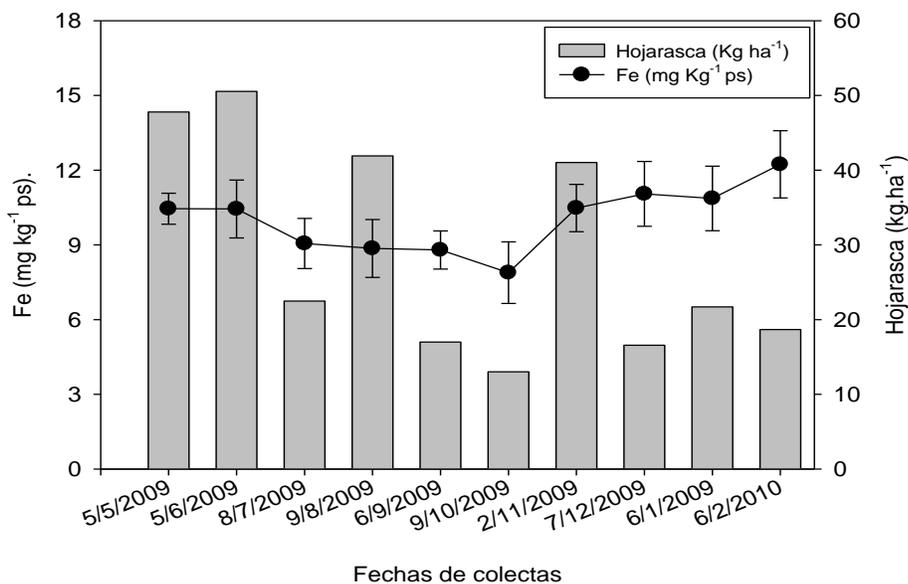


Figura 14. Contenido mensual del Fe ( $\text{mg kg}^{-1}$  ps)  $\pm$  error estándar vía hojarasca, en un bosque natural de *Pinus cembroides* Zucc., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

Por último, el Cu fue uno de los elementos con menor contenido dentro de este grupo con un contenido mensual mínimo en los meses de mayo y septiembre (colecta 1 y 5) promediando  $0,19 \text{ mg kg}^{-1}$ , donde en febrero y diciembre (colecta 10 y 8) se observó el mayor contenido con  $0,27 \text{ mg kg}^{-1}$ , con un 95% de confianza se puede decir que si hay diferencias significativas ( $H= 17,68$  y  $P= 0,0391$ ) (Anexo 5 y 6) (Figura 15).

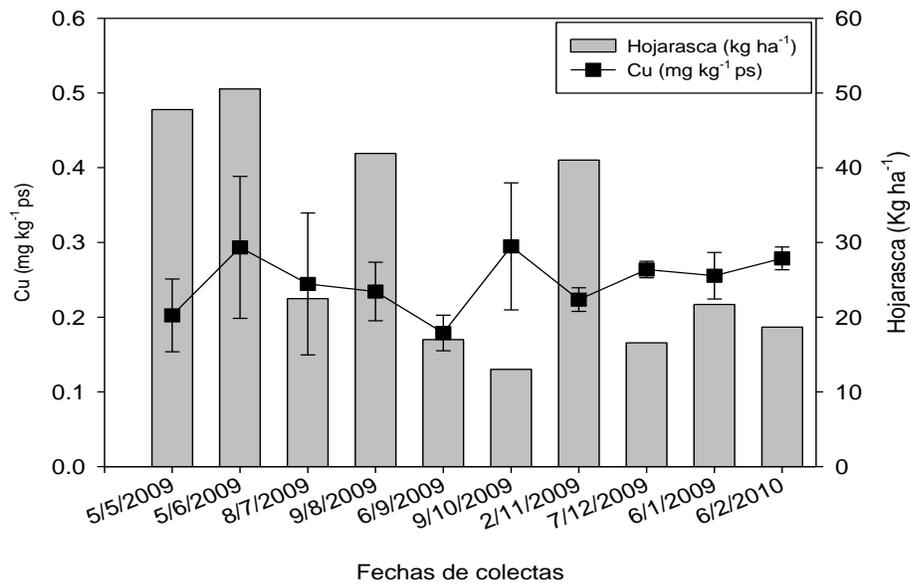


Figura 15. Contenido mensual del Cu ( $\text{mg kg}^{-1} \text{ ps}$ )  $\pm$  error estándar vía hojas, en un bosque natural de *Pinus cembroides* Zucc., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

#### 4.6. Deposición de los nutrientes durante el periodo de muestreo vía hojas

La deposición, de mayor a menor de macronutrientes se presenta así:  $\text{Ca} > \text{K} > \text{Mg}$ , siendo el Ca el de mayor aporte el cual fue de  $3,77 \text{ kg ha}^{-1}$ , seguido por K con  $1,04 \text{ kg ha}^{-1}$  y por último encontramos al Mg proporcionando  $0,71 \text{ kg ha}^{-1}$ . De acuerdo a lo obtenido durante el periodo de estudio, al año se podría obtener para el Ca un total de  $4,52 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ;  $1,25 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  para el K y  $0,84 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  en Mg.

En lo que respecta a producción total de macro-nutrientes por hojas de *Pinus cembroides* (Ca+K+Mg) es de 5,55 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente.

Para el caso de los Micro-nutrientes se tiene lo siguiente: Zn>Mn>Fe>Cu. En primer lugar se tuvo al Zn con una proporción de 110,37 g ha<sup>-1</sup>, seguido el Mn con 5,35 g ha<sup>-1</sup>, Fe con 3,47 g ha<sup>-1</sup> y en por último podemos encontrar al Cu con un deposición muy inferior con 0,08 g ha<sup>-1</sup>. En lo que respecta a la deposición total de los micro-nutrientes (Zn + Mn + Fe + Cu) se obtuvo un total de 119,3 g ha<sup>-1</sup>. Al año se pudiera obtener 132,44 g ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de Zn; 6,42 g ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de Mn, Fe con un valor de 4,16 g ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y por último 0,09 g ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de Cu.

Cuadro 5. Deposición total de macro y micro-nutrientes en el componente hojas, en un bosque natural de *Pinus cembroides* Zucc., en los Lirios, Arteaga, Coahuila.

Nutriente	Macronutrientes (kg ha <sup>-1</sup> )			Micronutrientes (g ha <sup>-1</sup> )			
	Ca	K	Mg	Zn	Mn	Fe	Cu
Cantidad	3,7662	1,0424	0,7081	110,3671	5,3494	3,4668	0,0833

## 5. DISCUSIÓN

### Deposición de hojarasca

De forma general, la caída de la hojarasca (hojas) total de todas las colectas, la mayor producción, se tiene en la colecta 5 (Septiembre) representando las hojas un 54,83%, de la producción total de la colecta. De la misma forma la colecta 1 (Mayo) se tuvo una aportación de hojas 48,98%, por el contrario, en la 2 (Junio) las hojas representaron únicamente el 28,41% siendo el porcentaje mas inferior de total de las colectas. Estos resultados difieren a los valores encontrados por Huber y Oyarzún (1984) en un estudio realizado sobre deposición de hojarasca, en un bosque de *Pinus radiata*, durante los años 1981 y 1982, las hojas constituyeron la mayor proporción, con una representación de 86,70 y 79,50%, donde la mayores aportaciones fue en el mes Mayo para ambos años. Sin embargo, son similares a los resultados de Santa Regina y Gallardo (1985) en un bosque de *Pinus sylvestris* en la Sierra del Béjar, reportaron que a finales de septiembre, que se registrara para el mes octubre la mayor aportación de acículas, reportando valores de hojas de 46% del total de la hojarasca acumulada. Por otra parte, Palacios (2002) en un bosque Maulino fragmento de *Pinus radiata* reportó que el componente de mayor importancia en la hojarasca le correspondió a las hojas con el 75% encontrando los valores máximos en el mes de junio, lo cual no coinciden a los resultados obtenido en un nuestro estudio. Mientras que Nájera y Hernández (2009), en un estudio realizado en la acumulación de biomasa aérea en un bosque coetáneo de *Pinus* spp., de la región de El Salto, Durango, los resultados son diferentes reportando 74% las hojas que fue la que mayor incorporación, donde el mes de diciembre presenta la mayor registro de todo el año de estudio. En otro estudio donde se reportó la producción de hojarasca en *Pinus pseudostrobus* Lindl, en el Noreste de México, los resultados demuestran que son muy superiores con 74% en hojas de la hojarasca total, donde la mayor aportación de hojas se tienen durante el mes de diciembre, según

(Domínguez 2009). En un estudio relacionado a esta misma especie para un bosque de *Pinus cembroides*, mencionando que las hojas constituyeron la mayor fracción de hojarasca total, alcanzando casi el 60%, tomando en cuenta que el valor con mayor proporción de hojas se obtuvo durante el mes de junio, siendo este similar considerando el porcentaje aportado (Pérez *et al.* 2009).

Tómese en cuenta que la deposición porcentual de hojarasca reportada en este estudio es muy inferior a la que se indica en la literatura y es básicamente debido a que estos últimos cuantifican dos o tres componentes, mientras que en nuestro estudio se evaluaron siete componentes (hojas, conos, hojosa, corteza, tillandsia, ramas y otros), repartiéndose el porcentaje en todos ellos.

#### Macro-nutrientes

La deposición del Ca vía hojas en *Pinus cembroides* *zucc.*, durante el periodo de estudio es fue  $3,77 \text{ kg ha}^{-1}$  obteniendo por mes  $0,37 \text{ kg ha}^{-1}$  y  $4,52 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . Estos resultados difieren a los obtenidos por Huber *et al.* (1986), reportan valores de Ca de  $21,31 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  en un bosque adulto de *Pinus radiata*. Por otra parte, Montero *et al.* (1999) reportaron en una repoblación de *Pinus pinaster* Ait., valores para el Ca de  $21,05 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  durante un periodo de 1985 – 1995, siendo estos resultados muy superiores. En otro estudio realizado en un bosque de *Pinus patula*, Ramírez *et al.* (2007) encontraron  $31,85 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . De igual manera, Domínguez (2009), en un estudio realizado en diferentes comunidades vegetales reporta en *Pinus pseudostrobus* Lindl., valores de  $30,00 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  de Ca.

En este periodo de estudio, la deposición de K registró un valor de  $1,04 \text{ kg ha}^{-1}$ ; es decir,  $1,25 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  y  $0,10 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$ , comparando con otros estudios en la cual difieren los resultados se tiene lo siguiente: En un bosque adulto de *Pinus radiata*, Huber *et al.* (1986) reportan que los valores del K fueron de  $14,05 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . Montero *et al.* (1999) en una repoblación de *Pinus pinaster* Ait., reportan un valor de  $3,98 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . Sin embargo Ramírez *et al.* (2007), reportan únicamente  $5,58 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  de K, en un bosque *Pinus patula*. En

otro estudio realizado por Domínguez (2009) en *Pinus pseudostrobus* Lindl., mostró montos de 7,20 de K kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

La deposición del Mg en el componente hojas en este estudio fue de 0,70 kg ha<sup>-1</sup>, esto es 0,84 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Sin embargo existen otros estudios donde nos muestran resultados muy superiores: según Huber *et al.* (1986) obtuvieron para el caso de este elemento un valor de 4,36 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en un bosque adulto de *Pinus radiata*. En una repoblación de *Pinus pinaster* Ait., el Mg en la hojarasca se registró en 4,68 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Montero *et al.* 1999). Así mismo, Ramírez *et al.* (2007) reportan para el Mg 6,74 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, en un bosque de *Pinus patula*. Similarmente, en un bosque de *Pinus pseudostrbus* Lindl., Domínguez (2009), documentó que los montos de Mg fue de 4,50 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

#### Micro-nutrientes

En el caso de estos elementos nutricionales, se tuvo al Zn en primer lugar, depositado a través de las hojas, obteniéndose durante este periodo de estudio un total de 110,37 g ha<sup>-1</sup>, estimándose en 132,44 g ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, este estudio es superior al reportado por Santa Regina y Gallardo (1989) con 8,00 g ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, en un bosque de *Pinus sylvestris* en la sierra del Béjar (provincia de Salamanca). Por otra parte en otro estudio realizado en Colombia, en un bosque de *Pinus patula* Ramírez *et al.* (2007) encontraron 380,00 g ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, siendo esté muy superior. De este modo, con valores inferiores Domínguez (2009) reportó en un estudio realizado en una comunidad de *Pinus Pseudostrobus* Lindl., para este elemento nutricional reporta de 0,53 g ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

El Mn en este estudio resultó en 5,35 g ha<sup>-1</sup> equivalente a 6,42 g ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Por otra parte los resultados difieren de otros estudios demostrados por: Santa Regina y Gallardo (1989) en la sierra del Béjar (provincia de Salamanca) para en un bosque de *Pinus sylvestris*, reportando valores de 6,00 g ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Sin embargo, Xiaoniu *et al.* (2004) registraron 3.910,00 g ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Respectivamente, Ramírez *et al.* (2007) encontraron en su estudio realizado en Colombia en un bosque de *Pinus patula*, para el Mn un valor 1.920,00 g ha<sup>-1</sup>

año<sup>-1</sup>. Por ultimo, en un estudio realizado en un bosque de *Pinus pseudostrobus* Lindl., reporta 1,50 g ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, según (Domínguez 2009).

Para el micronutriente Fe, la deposición se encontró en 3,47 g ha<sup>-1</sup>, 4,16 g ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, siendo estos resultados superiores a los reportados por otros estudios: reportando 3,00 g ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, en un bosque de *Pinus sylvestris*, en la sierra del Béjar (provincia de Salamanca), según Santa Regina y Gallardo (1989). Por otra parte Xiaoniu *et al.* (2004) reportan valores superiores, en un estudio realizado en un bosque subtropical en la isla de Okinawa, Japón, con 860,00 g ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Por otra parte en un estudio realizado en Antioquia Colombia, en un bosque de *Pinus patula*, reportan valores mayores con 630,00 g ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para el Fe, realizado por (Ramírez *et al.* 2007). Domínguez (2009) encontró resultados inferiores en la disposición del Fe que fluctuó de 2,70 g ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, en un bosque de *Pinus pseudostrobus* Lindl.

El Cu registró durante el periodo de estudio (diez meses) en 0,08 g ha<sup>-1</sup>, 0,09 g ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Sin embargo, existen estudios reportando valores superiores como es: un estudio realizado en un bosque de *Pinus sylvestris*, registrando 4,00 g ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, (Santa Regina y Gallardo 1989). En un estudio realizado por Ramírez *et al.* (2007) reportan la deposición de 100,00 g ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para el Cu, en un bosque de *Pinus patula* en Antioquia, Colombia. Por otra parte, un estudio realizado en lo que respecta al a un bosque *Pinus pseudostrobus* Lindl., reporta 0,10 g ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de Cu, coincidiendo estos resultados.

Las observaciones encontradas en la presente investigación confirman la importancia en el contenido, la deposición, en la variación espacial y temporal de los nutrientes a través de las hojas, la cual este componente es un tejido vegetal de suma e importancia, ya que a través de ellas se llevan a cabo la mayor parte de los procesos fisiológicos, como es la fotosíntesis. La cantidad de bioelementos contenidos en esa hojarasca constituye la principal fuente de nutrientes incorporados al suelo en los ecosistemas naturales, una vez la hojarasca se descompone. Por tanto, en un alto porcentaje, su ciclo en las

selvas se encuentra ligado con el aporte de hojarasca y su ulterior descomposición, según Del Valle-Arango (2003).

Sin embargo en otro estudio que realizó Schlatter *et al.* (2006) mencionan que la hojarasca, este estrato cubre el suelo y lo protege de los cambios de temperatura y de humedad, y también retorna elementos nutritivos en una cantidad importante. Los elementos nutritivos de las sustancias orgánicas son liberados al suelo y constituyen un abastecimiento para los árboles.

## 6. CONCLUSIONES

En el presente estudio el contenido de nutrientes se obtuvo únicamente del componente hojas, no se estimó en otros constituyentes (ramas, estructuras reproductivas y otros) siendo quizá este una de las diferencias entre este estudio y los consultados; contribuyendo las hojas con un valor máximo de 54,83%, siendo inferior al de otros estudios reportados; por otra parte, la mayor incorporación de este componente fue en el mes de septiembre, difiriendo al de otra evaluaciones. Las diferencias que existen de la deposición mensual de hojas esta influenciada a las temperaturas máximas (Reyes 2010). En cuantos a los elementos nutricionales comparados con otros estudios realizados en bosques de pino los macronutrientes en lo que respecta al Ca y K son seis veces inferiores y cinco veces menor el Mg. Por otra parte los micronutrientes como es el caso del Zn es superior con un valor mínimo a los demás estudios. Sin embargo, el Mn 100 veces; el Fe 51 y el Cu 386, siendo estos valores muy inferiores.

Se detecta que existen diferencias en la deposición de la calidad de la hojarasca a través del aporte de los macro-nutrientes y micro-nutrientes y se encuentran por debajo de otros estudios analizados en las hojas. Estos nos confirma lo importante que es el flujo de nutrientes a través de este componente analizado en la productividad primaria neta y para la fertilización del suelo indicando que no es buena, esto en el área de estudio en un Bosque Natural de *Pinus cembroides* Zucc., en los Lirios, Arteaga, Coahuila.

En presente trabajo, el orden de mayor aporte anual de macro-nutrientes fue de  $Ca > K > Mg$ . Para el caso del aporte anual de micro-nutrientes, el orden de deposición fue como sigue:  $Zn > Mn > Fe > Cu$ . En cambio, el orden de mayor aporte anual de macro- y micro-nutrientes (“reciclado de nutrientes”) vía hojas. En cuanto al contenido de Macro y Micro-nutrientes, los resultados emanados, donde estos variaron con otros estudios debido a la variación que existen entre las especies de pino, como el lugar donde se encuentren, esto se le puede atribuir a la fenología de las especies que se compararon, así como

en el lugar donde estas se desarrollan, factores biológicos y su procesos tal es el caso en los cambios estacionales, las condiciones edáficas, a las variaciones de temperatura-precipitación y a las longevidades de las estructuras vegetales.

Mediante estos resultados obtenidos nos damos cuenta que las fluctuaciones de cada uno de los nutrimentos estudiados pueden que tengan relación la calidad de sitio y la fenología de la especie estudiada, (González *et al.* 2006 y Domínguez 2009). También a la diferencia de temperatura, precipitación y a la edafología presente; ya que presenta valores muy bajos al comparar con otros estudios.

En lo que respecta el contenido mensual de los nutrimentos; se afirma que el calcio fluctuó promediando  $7,89 \text{ mg g}^{-1}$  (septiembre y octubre) a  $13,38 \text{ mg g}^{-1}$  (mayo); magnesio, lo podemos obtener un valor promedio de  $1,78 \text{ mg g}^{-1}$  (septiembre, octubre y diciembre) a  $2,33 \text{ mg g}^{-1}$  (mayo); por último en lo que respecta al grupo de los macronutrientes se registró de  $2,25 \text{ mg g}^{-1}$  (enero y febrero) a  $3,54 \text{ mg g}^{-1}$  (agosto) de potasio, siendo este el mayor registro.

Para los micronutrientes la cual presenta fluctuaciones el Zinc promediando de  $97,81 \text{ mg kg}^{-1}$  (mayo) a  $764,89 \text{ mg kg}^{-1}$  (septiembre y octubre); posteriormente el Cobre se registró promediando de  $0,19 \text{ mg kg}^{-1}$  (mayo y septiembre) a  $0,27 \text{ mg kg}^{-1}$  (diciembre y febrero). El Manganeseo y Fierro no presentaron diferencias significativas entre las fechas de muestreo durante el periodo de estudio.

Tomando en cuenta, que en la hojarasca las hojas son el principal constituyente siendo así, de gran importancia en la deposición y concentración de los nutrimentos esenciales para el desarrollo de la comunidad vegetal.

## 7. RECOMENDACIONES

Realizar estudios sobre la deposición de nutrientes en todos los componentes de hojarasca y compararlo además del genero *Pinus*, con otros ecosistemas forestales.

Evaluar la deposición y la dinámica de la hojarasca, ya que mediante esta es de donde provienen la mayor cantidad de los nutrimentos que se aportan para la fertilización de los diferentes suelos, ya que esto influye para el desarrollo de diferentes comunidades vegetales.

Seguir realizando estudios en esta área durante periodos prologados que nos permitiría obtener información en el comportamiento de la caída de la hojarasca y la portación de los nutrientes en el boque de *Pinus cembroides* Zucc., la cual nos ayudaría para tomar decisiones para el enriquecimiento del suelo y el desarrollo de la especie con mayor éxito y mantener la productividad del sitio.

Realizar estudios en las diferentes áreas de la sierra de Arteaga, en estos temas, ya que esta región tiene una gran importancia tanto económica, ecológica, como de servicios ambientales que brinda a todos los seres vivos, ya que mediante a estos estudios se tomarán las mediadas necesarias en el manejo adecuado para los bosques de *Pinus cembroides* Zucc., y poder visualizar hacia futuras generaciones del ecosistema.

## 8. 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 *J. For. Res.* 3:333-342.
- Álvarez-Sánchez 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.
- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis (15th Ed.). Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC. 832 p.
- Barnes BV, DR Zak, SR Denton y SH Spurr. 1998. *Forest ecology*. 4th ed. Wiley. Nueva York, USA. 774 p.
- Bertasso B, D Prieto T, R Berazaín I. 2003. Producción de hojarasca en un bosque semideciduo estacional en São Pedro, Potirendaba, estado de São Paulo, Brasil. *Revista del Jardín Botánico Nacional, la ciudad de Habana, Cuba* vol. 24:173-176.
- Belmonte SF, 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, E Gorham. 1964. Litter production in forests of the world. *Adv. Ecol. Res.* 2:101-157.
- Bosco JI, J Blanco y JF Castillo. 2004. Gestión forestal y ciclos de nutrientes en el marco del cambio global. Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. Organismo Autónomo Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente. EGRAF, S.A., Madrid. p. 479-506.

- Bonilla R, B Roncallo, J Jimeno y T García. 2008. Producción y descomposición de la hojarasca en boques nativos y de *Leucaena* sp., en Codazzi, Cesar. *Revista Corpoica – Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 9 (2):5-11.
- Carnevale N y 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. Arteaga G14 C34. Escala. 1:50,000. México. 44.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2000. Departamento de hidrología operativa. Precipitación y Temperaturas de la Estación Meteorológica de San Antonio de Las Alazanas, Arteaga, Coahuila. s/p.
- Devlin RM. 1982. Fisiología vegetal. 4ª. Ed., Omega, S.A., España, p. 270-275.
- Del Valle-Arango JI. 2003. Cantidad, calidad y nutrientes reciclados por la hojarasca fina de bosques pantanosos del pacífico sur Colombiano. *Interciencia*. 28:443-449.
- 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.
- Guerrero J, JJ Camarero y E Gutiérrez. 1998. Crecimiento estacional y caída de acículas en *Pinus sylvestris* y *P. uncinata*. *Investigación Agrarí. Sistemas y Recursos Forestales* 7 (1 y 2):155-172.
- González RH, I Cantú S, MV Gómez M, RG Ramírez L, JI Uvalle S. 2006. Producción de hojarasca y reciclado de nutrientes en el Matorral Espinoso Tamaulipeco en el Noreste de México. Memoria del 2do Congreso Latinoamericano IUFRO. La Serena, Chile. Octubre del 2006. 296 p.

- 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.
- 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.
- Gliessman SR. 2002. Agroecología: Proceso ecológicos en agricultura sostenible. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 359 p.
- Hernández E. 2006. Aspectos morfométricos y dinámica de la carga de combustibles forestales en un bosque coetáneo de *pinus* spp. de la región de el Salto, 95 Pueblo Nuevo, Durango. Tesis Profesional. Instituto Tecnológico del Salto. El Salto, Pueblo Nuevo, Durango. 73 p.
- Huber JA y C Oyarzún C. 1984. Producción de hojarasca y sus relaciones con factores meteorológico en un bosque de *Pinus radiata* (d.don.). Proyecto RS80-18. Dirección de Investigación y Desarrollo, Universidad Austral de Chile. *Bosque* (5) 1:1-11.
- Huber A, JE Schlatter y C Oyarzun. 1986. Aporte en elementos nutritivos por la hojarasca de un bosque adulto de *Pinus radiata*. Proyectos RS-83-28 y RS84-14 de la Dirección de Investigación y Desarrollo. Universidad Austral de Chile. *Bosque* 7(2):59-64. Porque así me aparece en la revista solo con esa iniciales
- INEGI. 2001. Carta topográfica. San Antonio de las Alazanas G14 C35. Escala. 1:50,000. México.
- Keenan RJ, CE Prescott, y JP kimmins. 1995. Litter production and nutrient resorption in western red cedar and western hemlock forests on northern Vancouver Island, Bristish Columbia. *Can. J. For. Res.* 25:1850-1857.

- Jorgensen JR, Well CG, Metz LJ. 1975. The nutrient cycle: key to continuous forest production. *Journal of Forestry*. 73:400-403.
- Landsberg J, S Gower. 1997. Applications of Physiological Ecology to Forest Management. Academic Press. San Diego, California. 364 p.
- Lemee G. 1982. Recherches sur les écosystèmes des réserves biologiques de la forêt de Fontainebleau. VIII. Elements du bilan d' azote du sol. *Rev. Ecol. Biol. Sol.* 19:485-499.
- 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*, 13:105-114.
- Lugo AE, E Cuevas and MJ Sánchez. 1990. Nutrients and mass in litter and top soil of ten tropical tree plantations. *Plant and Soil* 125:262-280.
- 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.
- Marschner H. 1986. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, San Diego, Ca., 649 p.
- Mengel K and Kirkby EA. 1982. Principles of plant nutrition. 3<sup>rd</sup>.ed., International Potash Institute, Switzerland, 655 p.
- Montero G, C Ortega, I Cañellas, A Bachiller. 1999. Productividad aérea y dinámica de nutrientes en una repoblación de *Pinus pinaster* Ait. Sometida a distintos regímenes de claras. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales*, 1:175 – 206.

- Montagnini F y C Jordan. 2002. Reciclaje de nutrientes. *In* Guariguata, M. R; Kattan, G.H. (eds). *Ecología y conservación de Bosques Lluviosos Neotropicales*. Ediciones LUR, Cartago. p 167-190.
- Moya RJ G, RG Ramírez L, R Foroughbakhch P, L Háuad M, H González R. 2002. Variación estacional de minerales en las hojas de ocho especies arbustivas. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey México. *Ciencia UANL*. 5:59-65.
- Nájera JA y E Hernández. 2009. Acumulación de biomasa aérea en un bosque coetáneo de la región de El Salto, Durango. *Ra Ximhai* 5 (2):225 -230.
- 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.
- Ott L. 1993. *An introduction to statistical methods and data analysis*. 2<sup>nd</sup> Edn., Duxbury Press. Boston, Massachusetts. 775 p.
- Palacios PA. 2002. Producción y descomposición de hojarasca en un bosque Maulino fragmentado. Seminario de Título, Biología Ambiental. 1-19 p.
- Pausas JG. 1997. Litterfall and litter decomposition in *Pinus sylvestris* forests of the eastern Pyrenees. *Journal of Vegetation Science* 8:643-650.
- 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*, 10:39-45.
- 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 centralnorthwest Mexico. *Forest Ecology and Management* 258:1307-1315.

- Perry JP. 1991. The pines of Mexico and Central America. Timber Press, Inc. 231 p.
- Quinto MH, Y Ramos y D 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.* 26:28-41.
- Ramírez JA, CM Zapata, JD León, MI González. 2007. Caída de hojarasca y retorno de nutrientes en bosques montanos andinos de Piedras Blancas, Antioquia, Colombia. *Interciencia.* 32:303-311.
- Rai SN and J Proctor. 1986. Ecological studies on four rainforests in Karnataka, India II. *Litterfall. Journal of Ecology.* 74:455-463.
- Rzedowski J. 2006. Vegetación de México. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 504 p.
- Rentería LI y A García.1997. Las coníferas de la Reserva de la Biosfera "La Michilía", Durango, México. *Madera y Bosques* 3(1):53-70.
- Rocha-Loredo AG y Ramírez-Marcial N. 2009. Producción y descomposición de hojarasca en diferentes condiciones sucesionales del bosque de Pino-Encino en Chipas, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México.* 84:1-12.
- Sánchez 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.
- Salisbury FB y CW Ross. 1994 Fisiología vegetal Iberoamericana, S. A. de C. V. México, D. F., p 127-147.
- Santa Regina I y JF Gallardo. 1985. Producción de hojarasca en tres bosques de la sierra de Béjar. (Salamanca). *Mediterránea Ser. Biol.* 8:89-101.

- Santa Regina I. 1987. Contribución al estudio de la dinámica de la materia orgánica y bioelementos en bosques en la Sierra de Béjar. Tesis Doctoral. Universidad de Salamanca. Salamanca, España. 464 p.
- Santa Regina I y JF Gallardo. 1989. Ciclos biogeoquímicos en bosques de la Sierra de Bejar (Provincia de Salamanca). *Options Méditerranéennes-Série Séminaires*. 3:147-149.
- Santa Regina I y T Tarazona. 2001. Nutrient cycling in a natural beech forest and adjacent planted pine in northern Spain. *Forestry*. 74:11-28.
- Santa Regina I, Tarazona T. 2000. Nutrient return to the soil through litterfall and throughfall under beech and pine Stands of Sierra de la Demanda, Spain. *Arid Land Research and Management*. 14:239-252.
- Schlatter JE, R Grez, V Gerding. 2003. Manual para el reconocimiento de suelos. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 114 p.
- Schlatter JE, V Gerding, S Calderón. 2006. Aporte de la hojarasca al ciclo biogeoquímico en plantaciones de *Eucalyptus nitens*, X Región, Chile.. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. Valdivia, Chile. *Bosque* 2:115-125.
- 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.
- Vitousek PM, RL Sanford. 1986. Nutrient cycling in moist tropical forest. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 17:137-167.
- Walker RB. 1991. Measuring Mineral Nutrient Utilization Chapter 2 183-206 Lassoie J P Y T M Hinkley (eds). Techniques and approaches in forest tree. *Ecophysiology*. CRC press.
- Xiaoni, X, E Hirata, and H Shibata. 2004. Effect of typhoon disturbance on fine litterfall and related nutrient input in a subtropical forest on Okinawa Island, Japan. *Basic and Applied Ecology*. 5:271-282.

- Zamboni P y P Aceñoloza. 2004. Aporte al conocimiento de ciclos de materia orgánica (MO) en formaciones boscosas de la llanura de inundación del Río Paraná: Área PNPD. Tucumán. *INSUGEO, Miscelánea*. 12:161-168.
- Zapata CM, JA Ramírez, JA León, MI González. 2007. Producción de hojarasca fina en bosques de *Quercus humboldtii*, *Pinus patula* y *Cupressus lusitanica* de Antioquia, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. 60:3371-3784.

## 9. ANEXOS

Anexo 1. Pruebas de normalidad a la concentración de de macro y micro-nutrientes en el componente hojas, en un bosque natural de *Pinus cembroides* Zucc., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

Macro-nutrientes

Colecta	Variable	N	Shapiro-Wilk		Kolmogorov-Smirnov	
			Estadístico	Pr	Estadístico	Pr
1	Ca	10	0,8758	0,1167	0,2384	0,1041
1	Mg	10	0,8371	<b>0,0407</b>	0,2618	<b>0,0498</b>
1	K	10	0,8585	0,0732	0,2973	<b>0,0134</b>
2	Ca	10	0,9155	0,3210	0,1651	0,1500
2	Mg	10	0,9541	0,7168	0,1190	0,1500
2	k	10	0,9397	0,5501	0,2046	0,1500
3	Ca	8	0,8509	0,0972	0,2157	0,1500
3	Mg	8	0,9323	0,5368	0,2183	0,1500
3	K	8	0,9379	0,5905	0,1582	0,1500
4	Ca	10	0,9550	0,7272	0,1318	0,1500
4	Mg	10	0,8676	0,0937	0,2100	0,1500
4	k	10	0,9288	0,4358	0,2218	0,1500
5	Ca	9	0,9124	0,3329	0,2727	0,0516

5	Mg	9	0,8406	0,0587	0,2821	<b>0,0382</b>
5	k	9	0,8692	0,1205	0,2726	0,0517
6	Ca	7	0,9717	0,9101	0,1621	0,1500
6	Mg	7	0,9427	0,6634	0,1732	0,1500
6	k	7	0,9837	0,9756	0,1489	0,1500
7	Ca	10	0,9335	0,4827	0,2001	0,1500
7	Mg	10	0,9154	0,3204	0,2037	0,1500
7	K	10	0,8865	0,1546	0,2005	0,1500
8	Ca	7	0,9708	0,9040	0,1330	0,1500
8	Mg	7	0,9840	0,9765	0,1511	0,1500
8	K	7	0,9578	0,7995	0,2078	0,1500
9	Ca	6	0,9925	0,9944	0,1413	0,1500
9	Mg	6	0,7272	<b>0,0118</b>	0,3765	<b>0,0100</b>
9	K	6	0,9641	0,8505	0,2005	0,1500
10	Ca	6	0,8502	0,1580	0,2649	0,1500
10	Mg	6	0,9076	0,4209	0,1911	0,1500
10	K	6	0,9922	0,9938	0,1365	0,1500

---

Valores de P en negritas ( $P < 0.05$ ) indica que no presentan un distribución normal.

Micro-nutrientes

Colecta	Variable	N	Shapiro-Wilk		Kolmogorov-Smirnov	
			Estadístico	Pr	Estadístico	Pr
1	Zn	10	0,7913	<b>0,0113</b>	0,2155	0,1500
1	Mn	10	0,9337	0,4850	0,1772	0,1500
1	Fe	10	0,9795	0,9624	0,1234	0,1500
1	Cu	10	0,5409	<b>0,0001</b>	0,3781	<b>0,0100</b>
2	Zn	10	0,9162	0,3262	0,1678	0,1500
2	Mn	10	0,9537	0,7122	0,1596	0,1500
2	Fe	10	0,9329	0,4767	0,1620	0,1500
2	Cu	10	0,5794	<b>0,0001</b>	0,3390	<b>0,0100</b>
3	Zn	8	0,9210	0,4381	0,1695	0,1500
3	Mn	8	0,9079	0,3395	0,2229	0,1500
3	Fe	8	0,8684	0,1454	0,2400	0,1500
3	Cu	8	0,6277	<b>0,0003</b>	0,3786	<b>0,0100</b>
4	Zn	10	0,8780	0,1238	0,2050	0,1500
4	Mn	10	0,9460	0,6218	0,1215	0,1500
4	Fe	10	0,8478	0,0547	0,2284	0,1426
4	Cu	10	0,8657	0,0890	0,2000	0,1500
5	Zn	9	0,9576	0,7731	0,1818	0,1500
5	Mn	9	0,9620	0,8192	0,1432	0,1500
5	Fe	9	0,9451	0,6368	0,1397	0,1500

5	Cu	9	0,6730	<b>0,0007</b>	0,3767	<b>0,0100</b>
6	Zn	7	0,8860	0,2544	0,1918	0,1500
6	Mn	7	0,7563	<b>0,0148</b>	0,2734	0,1120
6	Fe	7	0,8583	0,1461	0,2968	0,0614
6	Cu	7	0,7046	<b>0,0042</b>	0,3462	<b>0,0121</b>
7	Zn	10	0,8853	0,1502	0,1995	0,1500
7	Mn	10	0,9229	0,3815	0,1758	0,1500
7	Fe	10	0,9662	0,8536	0,1485	0,1500
7	Cu	10	0,9311	0,4587	0,1328	0,1500
8	Zn	7	0,8912	0,2811	0,2956	0,0638
8	Mn	7	0,9690	0,8915	0,1418	0,1500
8	Fe	7	0,9738	0,9243	0,1743	0,1500
8	Cu	7	0,8710	0,1895	0,2473	0,1500
9	Zn	6	0,9038	0,3968	0,3070	0,0761
9	Mn	6	0,8974	0,3587	0,2194	0,1500
9	Fe	6	0,9361	0,6283	0,1850	0,1500
9	Cu	6	0,8656	0,2094	0,2874	0,1206
10	Zn	6	0,9371	0,6362	0,2549	0,1500
10	Mn	6	0,8930	0,3342	0,2662	0,1500
10	Fe	6	0,9163	0,4793	0,2578	0,1500
10	Cu	6	0,8623	0,1970	0,2391	0,1500

---

Valores de P en negritas ( $p < 0.05$ ) indican que no presentan un distribución normal.

Anexo 2. Valores porcentuales del componentes hoja, en un bosque natural de *Pinus cembroides* Zucc., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

Fecha de colecta	Componente hojas	
	%	Kg/ha
05-May-09	48,9872	47,7900
05-Jun-09	28,4105	50,5350
08-Jul-09	47,6781	22,4875
09-Ago-09	45,6666	41,9050
06-Sep-09	54,8357	17,0025
09-Oct-09	43,1897	13,0075
02-Nov-09	38,1286	41,0200
07-Dic-09	43,5918	16,5725
06-Ene-10	47,5274	21,7025
06-Feb-10	41,3238	18,6750

Anexo 3. Grupo 1: Pruebas de Kruskal Wallis a macro-nutrientes, Calcio (Ca), Manganeso (Mg) y Potasio (K) depositados vía hojas en un bosque de *Pinus cembroides*.

Variable	Colecta	N	Medias	D.E.	Promedios de rangos	H	P
Ca	1	10	13,38	3,04	13,38	30,89	0,0003
Ca	2	10	12,61	3,23	11,67		
Ca	3	8	10,56	2,85	9,91		
Ca	4	10	9,24	2,30	9,00		
Ca	5	9	8,26	1,61	7,33		
Ca	6	7	7,53	2,72	7,40		
Ca	7	10	10,37	2,49	10,03		
Ca	8	7	11,05	2,86	10,98		
Ca	9	6	11,45	2,07	11,60		
Ca	10	6	11,33	1,28	11,02		

Donde N= numero de observaciones, D.E. es la desviación estándar, H=Estadístico de KW y P= valor de p.

Variable	Colecta	N	Medias	D.E.	Promedios de rangos	H	P
Mg	1	10	2,33	0,25	2,23	19,59	0,0206
Mg	2	10	2,23	0,47	2,23		
Mg	3	8	2,09	0,37	2,15		
Mg	4	10	2,06	0,39	2,17		
Mg	5	9	1,80	0,29	1,87		
Mg	6	7	1,65	0,59	1,70		
Mg	7	10	2,03	0,45	2,20		
Mg	8	7	1,88	0,22	1,85		
Mg	9	6	1,93	0,27	2,09		
Mg	10	6	2,05	0,24	2,07		

Donde N= numero de observaciones, D.E. es la desviación estándar, H=Estadístico de KW y P= valor de p.

Variable	Colecta	N	Medias	D.E.	Promedios de Rangos	H	p
K	1	10	3,56	0,40	3,62	33,85	0,0001
K	2	10	2,81	0,62	2,73		
K	3	8	3,16	0,70	3,12		
K	4	10	3,54	0,31	3,64		
K	5	9	3,27	0,56	3,26		
K	6	7	2,81	1,18	2,77		
K	7	10	2,95	0,56	3,02		
K	8	7	3,39	0,40	3,32		
K	9	6	2,28	0,41	2,31		
K	10	6	2,21	0,38	2,18		

Donde N= numero de observaciones, D.E. es la desviación estándar, H=Estadístico de KW y P= valor de p.

Anexo 4. Pruebas de medias de rango de Kruskal Wallis a la deposición de macro-nutrientes, Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Potasio (K) depositados vías hojas en un Bosque de *Pinus cembroides*.

Calcio				Magnesio				Potasio			
Colecta	Medias	Rangos		Colecta	Medias	Rangos		Colecta	Medias	Rangos	
6	7,53	18,00	A	5	1,80	25,56	A	10	2,21	12,83	A
5	8,26	20,33	A	6	1,65	26,00	A	9	2,28	15,00	A
4	9,24	30,20	A B	8	1,88	29,14	A	2	2,81	30,70	A B
3	10,56	39,88	A B C	9	1,93	33,33	A B	6	2,81	36,29	A B C
7	10,37	40,50	A B C	10	2,05	41,00	A B C	7	2,95	36,40	A B C
8	11,05	45,71	B C D	7	2,03	44,30	A B C	3	3,16	45,38	B C D
9	11,45	51,83	B C D	4	2,06	46,00	A B C	5	3,27	49,56	B C D
10	11,33	52,50	B C D	3	2,09	46,50	A B C	8	3,39	54,00	C D
2	12,61	56,80	C D	2	2,23	53,00	B C	1	3,56	59,30	C D
1	13,38	63,70	D	1	2,33	61,90	C	4	3,54	61,40	D

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p=0,05$ )

**Colectas:** (1) 05-May-09, (2) 05-Jun-09, (3) 08-Jul-09, (4) 09-Ago-09, (5) 06-Sep-09, (6) 09-Oct-09, (7) 02-Nov-09, (8) 07-Dic-09, (9) 06-Ene-10 y (10) 06-Feb-10.

Anexo 5. Pruebas de Kruskal Wallis en micronutrientes, Zinc (Zn), Manganese (Mn), Hierro (Fe) y Cobre (Cu) depositados vías hojas en un Bosque de *Pinus cembroides*.

Variable	colecta	N	Medias	D.E.	Medianas	Promedio rangos	H	p
Zn	1	10	97,81	40,66	88,76	6,10	62,22	<0,0001
Zn	2	10	288,11	77,65	277,60	36,80		
Zn	3	8	301,59	60,42	295,83	39,25		
Zn	4	10	249,00	107,50	227,32	28,50		
Zn	5	9	609,36	169,47	554,81	71,44		
Zn	6	7	920,42	501,13	845,61	76,14		
Zn	7	10	300,46	69,85	281,14	39,30		
Zn	8	7	241,82	60,26	226,07	26,43		
Zn	9	6	431,86	96,22	434,51	60,50		
Zn	10	6	415,12	97,41	386,26	56,83		

Donde N= numero de observaciones, D.E. es la desviación estándar, H=Estadístico de KW y P= valor de p.

Variable	colecta	N	Medias	D.E.	Medianas	Promedio rangos	H	p
Mn	1	10	16,50	2,58	15,86	48,10	11,36	0,2517
Mn	2	10	14,89	4,15	14,45	36,90		
Mn	3	8	15,18	3,80	14,63	37,38		
Mn	4	10	14,45	3,34	13,98	32,70		
Mn	5	9	17,65	2,61	17,60	57,44		
Mn	6	7	15,23	4,92	17,43	47,57		
Mn	7	10	16,72	3,50	16,55	49,90		
Mn	8	7	13,63	2,06	13,71	25,71		
Mn	9	6	15,75	2,59	15,09	42,00		
Mn	10	6	15,33	2,67	14,97	38,17		

Donde N= numero de observaciones, D.E. es la desviación estándar, H=Estadístico de KW y P= valor de p.

Variable	colecta	N	Medias	D.E.	Medianas	Promedio rangos	H	p
Fe	1	10	10,45	1,97	10,33	47,50	10,99	0,2767
Fe	2	10	10,44	3,68	10,08	44,20		
Fe	3	8	9,05	2,84	9,72	36,88		
Fe	4	10	8,86	3,68	8,28	31,40		
Fe	5	9	8,79	2,29	8,39	33,56		
Fe	6	7	7,88	3,27	5,92	27,57		
Fe	7	10	10,48	3,01	10,05	47,00		
Fe	8	7	11,05	3,44	11,94	51,14		
Fe	9	6	10,86	3,18	10,57	48,17		
Fe	10	6	12,23	3,30	12,58	58,00		

Donde N= numero de observaciones, D.E. es la desviación estándar, H=Estadístico de KW y P= valor de p.

Variable	colecta	N	Medias	D.E.	Medianas	Promedio rangos	H	p
Cu	1	10	0,20	0,15	0,16	26,90	17,68	0,0391
Cu	2	10	0,29	0,30	0,17	40,80		
Cu	3	8	0,24	0,27	0,17	32,00		
Cu	4	10	0,23	0,12	0,20	40,40		
Cu	5	9	0,18	0,07	0,16	28,00		
Cu	6	7	0,29	0,22	0,21	47,71		
Cu	7	10	0,22	0,05	0,22	46,50		
Cu	8	7	0,26	0,03	0,28	57,57		
Cu	9	6	0,26	0,08	0,28	53,67		
Cu	10	6	0,28	0,04	0,29	62,17		

Donde N= numero de observaciones, D.E. es la desviación estándar, H=Estadístico de KW y P= valor de p.

Anexo 6. Pruebas de medias de rango de Kruskall Wallis en la deposición para los micronutrientes para el Zinc (Zn) y Cobre (Cu) depositados vías hojas en un Boque de *Pinus cembroides*.

Zinc				Cobre			
Colectas	Rangos			Colectas	Rangos		
1	6,10	A		1	26,90	A	
8	26,43	A	B	5	28,00	A	
4	28,50		B	3	32,00	A	B
2	36,80		B	4	40,40	A	B C
3	39,25		B	2	40,80	A	B C
7	39,30		B	7	46,50	A	B C
10	56,83			6	47,71	A	B C
9	60,50			9	53,67		B C
5	71,44			8	57,57		C
6	76,14			10	62,17		C

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p= 0,05$ )

**Colectas:** (1) 05-May-09, (2) 05-Jun-09, (3) 08-Jul-09, (4) 09-Ago-09, (5) 06-Sep-09, (6) 09-Oct-09, (7) 02-Nov-09, (8) 07-Dic-09, (9) 06-Ene-10 y (10) 06-Feb-10.

