

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



**CUANTIFICACIÓN DE NUTRIENTES VÍA HOJARASCA EN EL COMPONENTE
HOJAS, DE DOS ESPECIES DE PINO PLANTADOS EN ARTEAGA, COAHUILA**

**Por:
BERNARDO LÓPEZ LÓPEZ**

TESIS

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

INGENIERO FORESTAL

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Agosto de 2010

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

**CUANTIFICACIÓN DE NUTRIENTES VÍA HOJARASCA EN EL COMPONENTE
HOJAS, DE DOS ESPECIES DE PINO PLANTADOS EN ARTEAGA, COAHUILA**

Por:

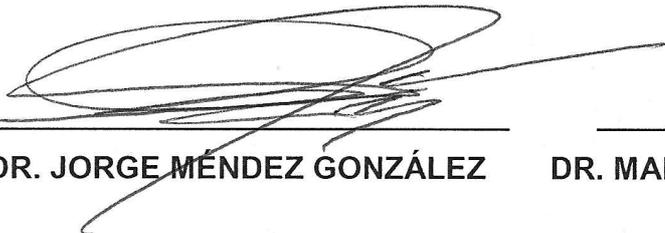
BERNARDO LÓPEZ LÓPEZ

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


Coordinación
División de Agronomía

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Agosto de 2010

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

CUANTIFICACIÓN DE NUTRIENTES VÍA HOJARASCA EN EL COMPONENTE
HOJAS, DE DOS ESPECIES DE PINO PLANTADOS EN ARTEAGA, COAHUILA

Por

BERNARDO LÓPEZ LÓPEZ

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. Humberto González Rodríguez

ASESOR



Dr. Eladio H. Cornejo Oviedo

ASESOR

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Agosto de 2010

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

DEDICATORIA

A DIOS, Por darme la oportunidad de vivir y la sabiduría para seguirme superando.

A mis padres, Elodia Olivia López Benítez e Ignacio Juan López Bautista. Por darme la vida y alegría, sobre todo su apoyo incondicional para que yo me pueda superar para ser un hombre de bien.

A mis hermanas, que han sido mi motor de superación: Estela, Crispina, Mayra y Brenda (†), que aunque no esté conmigo donde quiera que esté tenga la satisfacción de ver terminado lo que empecé.

A mi sobrinos, Alejandro Juan, Azalia Victoria y Carlos Bernardo esperando que yo pueda ser un gran ejemplo para ellos.

A todos mis familiares, mis abuelitos, mis primas y primos; tíos y todas aquellas personas que vieron en mí una persona capaz de superar cualquier reto y alentarme con sus buenos consejos en los momentos más difíciles.

A mis amigos, Fidel Salvador, Santiago Abelardo, Marcelino Celestino, José Isabel, Alejandro Roblero, Luis Alejandro, Eddy Floriberto, Eddy Ake, Mario Raya y Juan Manuel y la Generación CVIII de la Carrera de Ing. Forestal que de alguna u otra forma me brindaron su amistad e hicieron mi estancia más placentera en esta Universidad.

AGRADECIMIENTOS

A mi *Alma Mater* la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Por darme la oportunidad de superarme profesionalmente y poder encaminarme hacia nuevos horizontes.

A todo el personal del Departamento Forestal, que consciente o inconscientemente contribuyeron en mi formación profesional.

Al Dr. Jorge Méndez González, por su innovador proyecto de investigación que me permitió desarrollarme más y sobre todo la calidad humana que tiene con sus consejos que siempre alientan a seguir adelante y a no tener miedo a los retos; gracias por compartir su conocimiento.

Al Dr. Humberto González Rodríguez, como asesor externo, por sus sabios consejos y su contribución en gran medida apoyo principalmente para el análisis de los nutrientes, ya que sin ello el desarrollo y la culminación de este trabajo de investigación no serían posibles.

Al Dr. Eladio Cornejo Oviedo por brindarme su apoyo y sus valiosas aportaciones para mejorar este trabajo.

Agradezco a la Lab. Elsa Dolores González Serna, por su colaboración y ayuda en todos los análisis de laboratorio, por su paciencia y asesoría tan importante para realizar esta tesis.

A Tilo Gustavo, María del Socorro y a Juan Manuel por compartir sus conocimientos y me brindaron su amistad durante mi corta estancia en Linares.

A la Facultad de Ciencias Forestales de la UANL y a al Laboratorio de Ciencias químicas. Por brindar el equipo y los reactivos necesarios para poder realizar este trabajo a cargo del Dr. Humberto González Rodríguez.

A todas aquellas personas que de alguna u otra forma pudiera haber omitido en este apartado mis más sinceros agradecimientos.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivos	3
1.1.1. Objetivo general.....	3
1.1.2. Objetivos específicos	3
1.2. Hipótesis	4
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1. Importancia de la hojarasca y nutrientes	5
2.2. Factores que influyen en la caída de la hojarasca	6
2.3. Función de los nutrientes en la planta	6
2.3.1. Macronutrientes	7
2.3.2. Micronutrientes	8
2.4. Estudios afines sobre nutrientes en plantaciones forestales	10
2.4.1. Estudios sobre las especies de estudio.....	10
2.4.2. Plantaciones de coníferas.....	11
2.5. Descripción de la especie de estudio	12
2.5.1. <i>Pinus cembroides</i> Zucc.....	12
2.5.2. <i>Pinus greggii</i> Engelm.....	13
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
3.1. Características del área de estudio	14
3.1.1. Ubicación.....	14
3.1.1. Clima	15
3.1.2. Suelo	15
3.1.1. Vegetación.....	15
3.2. Metodología	16
3.2.1. Caracterización del área de estudio.....	16
3.2.2. Tamaño y forma de los colectores	17
3.2.3. Número de colectores.....	17
3.2.4. Construcción de los colectores	17

3.2.5.	Distribución de los colectores.....	17
3.2.6.	Colecta de la hojarasca.....	18
3.2.7.	Trabajos de laboratorio	18
3.3.	Variables ambientales	20
3.4.	Análisis estadístico	21
3.4.1.	Contenido de Macronutrientes y Micronutrientes en el componente hojas	21
3.4.2.	Acumulación de Macro y Micronutrientes.....	22
4.	RESULTADOS	23
4.1.	Pruebas de normalidad general para macro y micronutrientes.....	23
4.1.1.	Pruebas de normalidad por macro-nutrientes por fecha de colecta.....	24
4.1.2.	Pruebas de normalidad para micronutrientes por fecha de colecta	24
4.2.	Pruebas de Kruskal-Wallis entre especies.....	25
4.3.	Pruebas de Kruskal-Wallis entre especies y fechas de muestreo	26
4.3.1.	Kruskal – Wallis para macro-nutrientes	26
4.3.2.	Kruskal-Wallis para micronutrientes	29
4.4.	Variación mensual de nutrientes por especie.....	30
4.4.1.	Macro-nutrientes	30
4.4.2.	Micronutrientes	31
4.5.	Acumulación	33
4.5.1.	Macro-nutrientes	33
4.5.2.	Micronutrientes	33
4.6.	Deposición total anual de nutrientes en el componente hojas	37
5.	DISCUSIÓN.....	39
5.1.	Macronutrientes en (kg ha⁻¹ año⁻¹)	39
5.2.	Micronutrientes (g ha⁻¹ año⁻¹)	40
6.	CONCLUSIONES	42
7.	RECOMENDACIONES	43
8.	LITERATURA CITADA	44
9.	ANEXOS	50

ÍNDICE DE CUADROS

Página

Cuadro 1. Características dasométricas generales de <i>Pinus greggii</i> (Pg) y <i>Pinus cembroides</i> (Pc), en Los Lirios, Arteaga, Coah.	16
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.	20
Cuadro 3. Pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk a las deposiciones de Ca, K, Mg, Cu, Fe, Mn y Zn, en <i>Pinus cembroides</i> Zucc. (Pc) y <i>Pinus greggii</i> Engelm. (Pc), en Los Lirios, Arteaga, Coah.	23
Cuadro 4. Prueba de Kruskal-Wallis en macro (mg g^{-1} ps) y micronutrientes (mg kg^{-1} ps) en el componente hojas de <i>Pinus cembroides</i> Zucc (Pc) y <i>Pinus greggii</i> Engelm. (Pc) en Los Lirios, Arteaga, Coah.	25
Cuadro 5. Prueba de Kruskal-Wallis para detectar diferencias en macro y micronutrientes en el componente hojas de la hojarasca entre fechas de muestreo, <i>Pinus cembroides</i> Zucc. (Pc) y <i>Pinus greggii</i> Engelm. (Pg), en Los Lirios, Arteaga, Coah.	27
Cuadro 6. Parámetros de regresión para estimar la acumulación de nutrientes (mg m^{-2}) en el componente hojas en plantaciones de <i>Pinus cembroides</i> Zucc. (Pc) y <i>Pinus greggii</i> Engelm. (Pg), en Los Lirios, Arteaga, Coah.	35
Cuadro 7. Flujo total anual de nutrientes en el componente hojas en plantaciones de <i>Pinus cembroides</i> Zucc. (Pg) y <i>Pinus greggii</i> Engelm. (Pc), en Los Lirios, Arteaga, Coah.	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura 1. Localización geográfica del área de estudio Campo Agrícola Experimental Sierra de Arteaga, (CAESA), en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.	14
Figura 2. Temperatura media mensual y precipitación registrada en la estación del CESAVECO adjunta al (CAESA), en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.	21
Figura 3. Patrón del contenido de Ca (a), K (b) y Mg (c) en el componente hojas de la hojarasca en <i>Pinus cembroides</i> Zucc. (Pc) y <i>Pinus greggii</i> Engelm. (Pg), en Los Lirios, Arteaga, Coah.	28
Figura 4. Patrón del contenido de Cu (a), Fe (b), Mn (c) y Zn (d) en el componente hojas de la hojarasca en <i>Pinus cembroides</i> Zucc. (Pc) y <i>Pinus greggii</i> Engelm. (Pg), en Los Lirios, Arteaga, Coah.	30
Figura 5. Acumulación de macro-nutrientes (mg m^{-2}) para Ca (a), K (b) y Mg (c) en plantaciones de <i>Pinus cembroides</i> Zucc. (Pc) y <i>Pinus greggii</i> Engelm. (Pg), en Los Lirios, Arteaga, Coah.	36
Figura 6. Acumulación de micro-nutrientes (mg m^{-2}) para Cu (a), Fe (b), Mn (c) y Zn (d) en plantaciones de <i>Pinus greggii</i> Zucc. (Pc) y <i>Pinus greggii</i> Engelm. (Pg), en Los Lirios, Arteaga, Coah.	37

ÍNDICE DE ANEXOS

Página

Anexo 1. Pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk para las deposiciones de macro y micronutrientes por fecha de colecta en plantaciones <i>Pinus cembroides</i> Zucc. (Pc) y <i>Pinus greggii</i> Engelm. (Pg), en Los Lirios Arteaga, Coah.	50
Anexo 2. Pruebas de medias de rangos de K-W para la concentración de Calcio (mg g^{-1} ps) entre colectas, en plantaciones <i>Pinus cembroides</i> Zucc. (Pc) y <i>Pinus greggii</i> Engelm. (Pg), en Los Lirios, Arteaga, Coah.	55
Anexo 3. Pruebas de medias de rangos de K-W para la concentración de Potasio (mg g^{-1} ps) entre colectas, en plantaciones <i>Pinus cembroides</i> Zucc. (Pc) y <i>Pinus greggii</i> Engelm. (Pg), en Los Lirios Arteaga, Coah.	56
Anexo 4. Pruebas de medias de rangos de K-W para la concentración de Magnesio (mg g^{-1} ps) entre colectas, en plantaciones <i>Pinus cembroides</i> Zucc. (Pc) y <i>Pinus greggii</i> Engelm. (Pg), en Los Lirios, Arteaga, Coah.	57
Anexo 5. Pruebas de medias de rangos de K-W para la concentración de Cobre (mg kg^{-1} ps) entre colectas, en plantaciones <i>Pinus cembroides</i> Zucc. (Pg) y <i>Pinus greggii</i> Engelm. (Pc), en Los Lirios, Arteaga, Coah.	58
Anexo 6. Pruebas de medias de rangos de K-W para la concentración de Hierro (mg kg^{-1} ps) entre colectas, en plantaciones <i>Pinus cembroides</i> Zucc. (Pc) y <i>Pinus greggii</i> Engelm. (Pg), en Los Lirios, Arteaga, Coah.	59
Anexo 7. Pruebas de medias de rangos de K-W para la concentración de Manganeso (mg kg^{-1} ps) entre colectas, en plantaciones <i>Pinus cembroides</i> Zucc. (Pc) y <i>Pinus greggii</i> Engelm. (Pg), en Los Lirios, Arteaga, Coah.	60
Anexo 8. Pruebas de medias de rangos de K-W para la concentración de Zinc (mg kg^{-1} ps) entre colectas en plantaciones <i>Pinus cembroides</i> Zucc. (Pc) y <i>Pinus greggii</i> Engelm. (Pg), en Los Lirios Arteaga, Coah.	61
Anexo 9. Pruebas de medias de rango de K-W para la deposición de hojas en plantaciones de <i>Pinus cembroides</i> Zucc. (Pc) y <i>Pinus greggii</i> Engelm. (Pg) en Los Lirios, Arteaga, Coah.	62
Anexo 10. Deposición mensual (kg ha^{-1}) y anual (kg ha^{-1} año ⁻¹) de hojarasca en el componente hojas en plantaciones de <i>Pinus cembroides</i> Zucc. (Pc) y <i>Pinus greggii</i> Engelm. (Pg) en Los Lirios, Arteaga, Coah.	62

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue cuantificar Macro- (Ca, K y Mg) y Micro-nutrientes (Cu, Fe Mn y Zn) en hojarasca en el componente hojas de *Pinus cembroides* Zucc. (*Pc*) y *Pinus greggii* Engelm. (*Pg*) en plantaciones con 17 años de edad. Quince colectores de hojarasca de 1 m² distribuidos al azar fueron medidos durante un año (07-Feb-2009 a 06-Feb-2010). La colecta se realizó mensualmente. Para el análisis químico se seleccionaron 10 colectores por colecta y por plantación, la preparación de extractos para determinar macro- y micronutrientes en el componente hojas se realizó de acuerdo a las técnicas analíticas de digestión descritas en AOAC. Dado que la mayoría de los datos no siguen una distribución normal, se empleó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (K-W) a 95% de confiabilidad, para detectar diferencias significativas entre plantaciones y fecha de muestreo. La deposición anual de hojarasca para el componente hojas fue *Pg* mayor que *Pc* de 1016.57 kg ha⁻¹ año⁻¹ y 936.06 kg ha⁻¹ año⁻¹ respectivamente. El orden de deposición de macro y micros fue el siguiente: Ca, K, Mg y Zn, Mn, Fe, Cu de mayor a menor.

La acumulación total anual más importante de Ca y K fue de 10.16 y 7.21; y de 2.33 y 4.05 kg ha⁻¹ año⁻¹ en *Pg* y *Pc* respectivamente. En micro-nutrientes las mayores deposiciones se observaron en Zn y Mn con 277.67 y 136.41; 80.04 y 76.82 g ha⁻¹ año⁻¹ en *Pg* y *Pc* respectivamente. El modelo logístico para estimar la acumulación de nutrientes obtuvo buenos ajustes que van desde 0.9652, 0.9634, 0.9622, 0.9616, 0.9575, 0.9570 y 0.8143 en el siguiente orden Zn, Mn, Mg, Ca, K, Fe y Cu respectivamente.

Palabras clave: *Pinus cembroides* Zucc., *Pinus greggii* Engelm., Macro, Micronutrientes, Deposición, Acumulación.

1. INTRODUCCIÓN

En un suelo forestal se van depositando diferentes materiales provenientes de distintos estratos de vegetación, como hojas, ramas, inflorescencia, frutos, cuyo conjunto se denomina hojarasca; en los ecosistemas forestales, la fracción más importante corresponde a las hojas ó acículas (Prause *et al.*, 2003), constituyendo entre el 60 y 75% de la caída (Waring y Running, 1998), procedentes principalmente del dosel arbóreo (Bosco *et al.*, 2004).

Diversos estudios (Berg *et al.*, 1999; Bosco *et al.*, 2004) han mostrado una relación significativa entre la producción de hojarasca y las condiciones climáticas. A escala global la producción de hojarasca disminuye al aumentar la latitud, tiene mucha relación con los cambios de precipitación, temperatura y evapotranspiración (Bray y Gorham, 1964).

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 *et al.*, 1994). Las investigaciones anteriores indican que las hojas realizan la mayoría de los procesos fisiológicos, específicamente la fotosíntesis (Del Valle-Arango, 2003; González *et al.*, 2008; Domínguez, 2009).

Bosco *et al.*, (2004) documentan que el ciclo de nutrientes en un ecosistema forestal consta de: a) entrada de nutrientes al ecosistema, b) flujo de nutrientes entre las plantas y el suelo y c) salidas de nutrientes del ecosistema. Las entradas y salidas del ecosistema constituyen el ciclo externo de nutrientes y los flujos entre las plantas y el suelo el ciclo interno, además para comprender el funcionamiento del ecosistema forestal hay que conocer el compartimiento de manera conjunta de los flujos o procesos; biomasa aérea (fuste, corteza, ramas y hojas), suelo orgánico, raíces, suelo mineral y roca madre.

Con relación a los estudios de macronutrientes contenidos en el componentes hojas, Goya *et al.*, (2003) reportaron para Ca hasta 27; K 39 y Mg 7 ($\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) para plantaciones de *Pinus taeda* L. en Misiones, Argentina; en tanto Domínguez (2009) al evaluar cuatro tipos de vegetación en el noreste de México bosque de pino (*Pinus pseudostrobus* Lindl) ecotono de un bosque de *Quercus spp.* y matorral espinoso tamaulipeco para los otros dos sitios reportando desde 30 a 232 kg para Ca; 7 a 37 kg para K y 4.5 a 22.6 para Mg, todo esto en $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ valores correspondientes al bosque de *Pinus pseudostrobus* Lindl siempre las de menor deposición.

González *et al.*, (2006) al estudiar el aporte anual de micronutrientes en el Noreste de México en el matorral espinoso Tamaulipeco encontró que Cu fluctuó de 49 a 67, Fe de 607 a 1965, Mn va de 131 a 275, Zn de 291 a 660 ($\text{g ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) entre sitios de menor y mayor deposición; por otro lado Domínguez (2009) reporta valores que van desde 0.44 a 0.08 Cu; 2.70 a 11.20 Fe; 1.49 a 9.90 de Mn; 1.30 a 0.54 todo en ($\text{g ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) para bosques de pino (*Pinus pseudostrobus* Lindl) ecotono de un bosque de *Quercus spp* y dos sitios de matorral espinosos Tamaulipeco.

El incremento de la presión humana sobre los bosques ha conllevado a una fuerte regresión de los ecosistemas y su posterior reemplazo a plantaciones forestales de rápido crecimiento (Ramírez *et al.*, 2007). El uso forestal continuo puede reducir la calidad del sitio y disminuir la productividad, principalmente debido a la exportación de nutrientes provocada por el aprovechamiento en turnos de corte, posiblemente menores a la rotación ecológica (Kimmins, 1997). El agotamiento de la capa fértil de los suelos es una de las principales causas de la degradación de los suelos y el ambiente, donde la ineficiencia de manejo puede provocar serios problemas, en general si se pierden grandes cantidades de nutrientes en el sistema (FAO, 1999).

En México, *Pinus cembroides* Zucc., es la especie principal de piñoneros, por la amplitud de su distribución geográfica sobre el altiplano del norte y centro del país y por su importancia económica (Luna *et al.*, 2008). En la región Sureste de

Coahuila, los bosques de *Pinus cembroides* Zucc., se distribuyen ampliamente y su caracterización en cuanto a sus existencias volumétricas tiene relevancia ecológica y económica para la región (Navarro *et al.*, 2000), sin estudios sobre la cuantificación o flujo de nutrientes.

Por otro lado, *Pinus greggii* Engelm es una especie forestal nativa de México, que se distribuye en pequeños rodales a lo largo de la Sierra Madre Oriental, con amplia importancia económica y ecológica Ramírez *et al.*, 2005).

Sin embargo, estudios sobre retorno de nutrientes al suelo vía hojarasca para plantaciones de *Pinus cembroides* Zucc. y *Pinus greggii* Engelm. en la Sierra de Arteaga Coahuila, son casi nulos, por lo que es importante realizarlos para poder entender y tomar decisiones en el manejo de estas especies; sobre todo, considerando la gran importancia que éstas representan para la población que habita en esta región, así como para asegurar la productividad de los sitios en el futuro.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Cuantificar el retorno de nutrientes en el componente hojas, en plantaciones de *Pinus cembroides* Zucc. y *Pinus greggii* Engelm., establecidos en el Campo Agrícola Experimental Sierra de Arteaga (CAESA) Arteaga, Coahuila.

1.1.2. Objetivos específicos

- ✓ Determinar el contenido de macro (Ca, K y Mg) y micro-nutrientes (Cu, Fe, Mn y Zn) en el componente hojas de la hojarasca, en *Pinus cembroides* Zucc. y *Pinus greggii* Engelm.
- ✓ Cuantificar el retorno mensual y anual de cada nutrimento, evaluando las variaciones temporales e inter específicas.

1.2. Hipótesis

Ho: La deposición de macro y micro-nutrientes a través del componente hojas de *Pinus cembroides* Zucc. y *Pinus greggii* Engelm., hacia el suelo forestal es similar y constante en el tiempo.

Ha: La deposición de macro y micro-nutrientes a través del componente hojas de *Pinus cembroides* Zucc. y *Pinus greggii* Engelm., hacia el suelo forestal es diferente en el tiempo.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Importancia de la hojarasca y nutrientes

La cantidad de hojarasca producida por una comunidad vegetal es la sumatoria de los detritos vegetales aéreos finos aportados al suelo durante un período de tiempo, expresados en peso seco. Allí se incluyen, por tanto, hojas, flores, frutos y ramitas, entre otros. Por lo regular se expresan en $t\ ha^{-1}\ año^{-1}$ o en $g\ m^{-2}\ año^{-1}$ (Del Valle-Arango, 2003). La calidad de la hojarasca se refiere al tenor de nutrientes contenidos en ella; 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 (Del Valle-Arango, 2003). Más del 90% del nitrógeno y del fósforo absorbido por las plantas de la mayoría de los ecosistemas forestales, vienen de reciclar los nutrientes de la caída de años anteriores (Waring y Running, 1998).

La sostenibilidad a largo plazo de los ecosistemas forestales se sustenta 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).

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 se encuentra ligado con el aporte de hojarasca y su posterior descomposición (Del Valle, 2003).

2.2. Factores que influyen en la caída de la hojarasca

En cualquier tipo de bosque, la mayor caída de la hojarasca se produce cada año en un tiempo determinado, de esta manera, el comportamiento de una especie está evidenciado por la ocurrencia de las fases fenológicas como consecuencia de los estímulos de los elementos del clima, principalmente la temperatura y la precipitación (Santa Regina, 1987). Los vientos de gran velocidad ocasionan los mayores valores de producción de hojarasca debido al golpe de la masa de aire que ocasiona el desprendimiento de hojas de manera anticipada (Zapata *et al.*, 2007). En este mismo sentido, 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 los mínimos en invierno.

Por su parte, Dames *et al.*, (1998) y Quinto *et al.*, (2007) mencionan que la producción total de hojarasca se encuentra relacionada con el factor de área basal de los árboles, ya que el área basal muestra el desarrollo del bosque, por tanto, a mayor área basal mayor producción de hojarasca.

Así mismo, Dames *et al.*, (1998) en una plantación de *Pinus patula* Schl. et Cham en Mpumalanga Provincia de Sudáfrica no encontraron relación significativa entre la producción de hojarasca y la altitud; sin embargo, el diámetro y la edad del rodal sí fueron determinantes en la deposición de hojarasca.

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

2.3. Función de los nutrientes en la planta

La capacidad de las células vivas de tomar sustancias del ambiente y usarlas para la síntesis de sus propios componentes celulares o como fuente de energía,

para eso el suministro y absorción de componentes químicos necesarios para el crecimiento y metabolismo puede ser definido como nutrición y los componentes químicos requeridos por un organismo son llamados nutrientes (Mengel y Kirkby, 1982).

Walker (1991), mencionan que para que un elemento sea considerado como tal debe cumplir con los siguientes requisitos: 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 necesarios para las plantas relativamente en cantidades más altas que los micronutrientes. El contenido del macronutrientes en el tejido de la planta es generalmente mayor que los micronutrientes, bajo esta clasificación basada sobre el contenido del elemento en el material de la planta; los siguientes elementos que se analizarán se consideran como macronutrientes K, Ca y Mg, los micronutrientes son: Fe, Mn, Cu y Zn (Walker, 1991).

2.3.1. 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⁻¹ de materia seca. (Mengel y Kirkby, 1982). Las necesidades de Ca para el crecimiento de las plantas puede ser fácilmente demostrado, 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 2.3%. La principal fuente de K para el crecimiento de las plantas bajo condiciones naturales proviene de la intemperización de la roca madre. El contenido de K en el suelo es muy dependiente del contenido de arcillas y tipos de minerales arcillosos presentes. Además de ser 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 (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 (Salisbury y Ross, 1994). Un papel importante del Mg es actuar como cofactor de todos los procesos de fosforilación. 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 comienza en las hojas más maduras moviéndose hacia las jóvenes. Por lo tanto, las hojas deficientes en Mg caen prematuramente. Una alta proporción de Mg está involucrado en la regulación del pH celular; además de su papel como átomo central de la molécula de clorofila (Marschner, 1986).

2.3.2. Micronutrientes

Fierro (Fe): se presenta alrededor del 5% del peso de la corteza terrestre y está invariablemente presente en todos los suelos. Los minerales 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). 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. 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. 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 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.

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). Por otra parte, el nivel de Cu en la solución del suelo disminuye cuando se incrementa en pH debido a una fuerte absorción de Cu. El Cu no es móvil en las plantas aunque este puede ser translocado de las hojas maduras a las más jóvenes, Marschner (1986) 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).

Las plantas rara vez presentan deficiencias de Cu, en parte, porque lo requieren en cantidades muy pequeñas. 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. El Cu está 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 restringido en suelos neutrales y alcalinos. 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).

Las anomalías causadas por la deficiencia de Zn incluyen hojas pequeñas y el escarapelado de frutas de manzanas y duraznos a consecuencia de la disminución en el crecimiento de las hojas con frecuencia presentan distorsiones y pliegues. A menudo ocurre clorosis intervenal en hojas de maíz, sorgo, frijol y árboles frutales, lo que significa que el Zn participa en la formación de clorofila (Salisbury y Ross, 1994).

2.4. Estudios afines sobre nutrientes en plantaciones forestales

2.4.1. Estudios sobre las especies de estudio

Con relación a *Pinus cembroides* Zucc. Pérez *et al.*, (2009) destacaron la importancia de la caída de la hojarasca de esta especie para mantener y cumplir con los procesos ecológicos en los ecosistemas forestales, que influyen en la transferencia de materia orgánica y nutrientes de la vegetación en el suelo, principalmente en climas semiáridos del centro de México; *Pinus cembroides* registró $3023 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de hojarasca. Las hojas constituyeron la mayor fracción de hojarasca total que llega al suelo casi el 60%, mientras que las ramas pequeñas contribuyeron con 20-30%. Con énfasis en nutrientes analizados en *Pinus cembroides* Zucc., se reportó lo siguiente: C, 599; N, 20; y P, $1.8 \text{ (kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1})$.

Cabe destacar que para la especie *Pinus greggii* Engelm. no se encontraron estudios sobre caída y flujo de nutrientes en México.

2.4.2. Plantaciones de coníferas

Goya *et al.*, (2003) evaluaron el contenido de nutrientes en la biomasa aérea de plantaciones de *Pinus taeda* L. del norte de Misiones, Argentina, al turno de cosecha, y simularon el impacto de tres escenarios de manejo sobre la estabilidad del capital de nutrientes. Las masas minerales y aéreas (incluyendo mantillo) totales por hectárea fueron: 194 Mg (mega gramos) de C; 1018 kg de N; 480 kg de Ca; 335 kg de K; 97 kg de Mg y 42 kg de P; para ello la fracción mayoritaria correspondió a la biomasa aérea (C con 95%, N con 83%, Ca con 88%, K con 94%, Mg con 91% y P con 79%). Para los componentes de la biomasa, las acículas y las ramas menores presentan las mayores concentraciones de nutrientes.

Pérez *et al.*, (2006) estimaron la productividad primaria aérea neta (PPAN), ciclado y eficiencia del uso de nutrientes en tres plantaciones experimentales de *Pinus taeda* L. de 20 años de edad, para lo cual establecieron tres parcelas de 600 m², al final concluyeron que las acículas constituyeron el principal compartimiento de la caída y retorno de nutrientes; ellas aportaron 61% del C y 71-78% de los nutrientes, encontrando además para N 94; Ca 41; K 20; Mg 8 y P 5 (kg ha⁻¹ año⁻¹). Además, se concluye que a lo largo de un año, las concentraciones de N, P y K en las acículas variaron significativamente con mínimos (mg g⁻¹) durante el invierno coincidente con el pico en la caída: inversamente el C tuvo un máximo significativo en invierno. Las concentraciones de Ca y Mg no variaron significativamente, aunque el Ca tendió a aumentar en invierno.

Merino *et al.*, (2003) trabajaron sobre biomasa arbórea y contenidos de nutrientes en nueve plantaciones de *Pinus Radiata* D. Don localizadas en Galicia en parcelas con edades comprendidas entre 16 y 29 años, en cuyo estudio encontraron que la composición química de las fracciones de acículas fue el

siguiente: C 527.0; S 1.92; N 15.0; P 0.15; K 0.13; Ca 0.34; Mg 0.34 mg g⁻¹, concluyendo que la madera es la fracción que presenta las menores concentraciones de nutrientes ya que la mayoría se encuentra en las acículas. Si bien la corteza presenta niveles de Ca y Mg similares a las acículas; las concentraciones de Sulfato, Nitrógeno y Fósforo disminuyen en el orden: acículas > piñas > ramillos > ramas = corteza > madera. En el caso de Ca y Mg el orden fue: acículas ≥ corteza > ramillos ≥ piñas > madera.

En otro estudio Ramírez *et al.*, (2007) realizaron una evaluación en tres especies forestales (*Quercus humboldtii* Bonpl.) en un bosque natural, plantaciones forestales de pino (*Pinus patula* Schl. et Cham) y ciprés (*Cupressus lusitánica* Mill.) en Piedras Blancas, Antioquia, Colombia, durante dos años para nutrientes en hojarasca; las cantidades de hojarasca fina siguieron el orden: *Pinus patula* Schl. et Cham 8362.47: roble 7877.20 y ciprés 3725,97 todo en kg ha⁻¹año⁻¹. Las cantidades de nutrientes que retornaron a través de la hojarasca de la especie dominante en cada bosque fueron Ca 9.60 kg, K 3.37 kg, Mg 2.97 kg, Cu 20 g, Fe 190 g, Mn 1540 g y Zn 80 g en bosque de roble; Ca 20.13 kg, Mg 4.68 kg, K 3.44 kg, Cu 40 g, Fe 270 g, Mn 1340 g y Zn 210 g en plantación de pino pátula, y Ca 29.30 kg, K 1.95 kg, Mg 1.65 g, Cu 30 g, Fe 279 g, Mn 190 g, Zn 140 g en plantación de ciprés para macronutrientes (kg ha⁻¹ año⁻¹) y micronutrientes (g ha⁻¹ año⁻¹).

2.5. Descripción de la especie de estudio

2.5.1. *Pinus cembroides* Zucc.

Rentería y García (1997) describen a *Pinus cembroides* Zucc., como un 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. Conos subglobulosos, con frecuencia anchos de la base, de 2.9 a 4.5 cm de longitud, caedizos; escamas angostas de la base, ensanchándose gradualmente hacia el ápice, frágiles, 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. Semilla desprovista de ala, de forma suboblarga a ovoide, con cubierta grisácea y tintes amarillentos, de 11 a 21 mm de largo. Robert, (1977) indica que *Pinus cembroides* forma parte de la vegetación de transición entre las formaciones xerofíticas del Altiplano Mexicano y las vertientes internas de las Sierras Madre Oriental y Occidental. El pino piñonero se asocia con bosques de *Quercus*, *Pinus*, *Pinus-Quercus*, así como con especies de matorral arbustivo, encinares y pinares de climas semidesérticos.

2.5.2. *Pinus greggii* Engelm.

Ramírez *et al.*, (2005) destacaron la amplia importancia ecológica y económica de la especie de *Pinus greggii*, destacando que su área de distribución natural se encuentra entre los 20° 13' y los 25° 29' de latitud N, con una discontinuidad de 360 km en la parte central. El intervalo altitudinal de la especie es de 1400 a 2613 msnm. *Pinus greggii* Engelm es una especie endémica de México, de gran importancia ecológica y económica. Para lo cual se distribuye en poblaciones aisladas a lo largo de la Sierra Madre Oriental, en zonas semiáridas y a veces semitropicales. En la actualidad se reconocen dos variedades taxonómicas, *P. greggii* var. *Greggii*, que crece y desarrolla en la porción norte del área de distribución de la especie y *P. greggii* var. *Australis* en el sur. La variedad greggii tiene hojas en fascículos de 3, 7-12 cm de largo, 1.2-1.4 mm de ancho. Conos con longitudes de 8-12 cm y el ancho del cono de 3-5 cm. Las semillas son de 5-8 mm de longitud y 3-4 mm de ancho. Longitud de la semilla del ala es de 13-16 mm y el ancho es de 5-7 mm. Esta variedad naturalmente habita en los estados de Coahuila y Nuevo León (Donahue y López 1999).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Características del área de estudio

3.1.1. Ubicación

El área de estudio (Figura 1) se localiza en el Campo Agrícola Experimental Sierra de Arteaga (CAESA), propiedad de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada aproximadamente a 45 Km de la ciudad de Saltillo, Coahuila; en las coordenadas 25° 24' 37" Norte y 100° 36' 27" Oeste, a una altitud de 2280 msnm perteneciente a la parte Norte de la Sierra Madre Oriental (CETENAL, 1977).

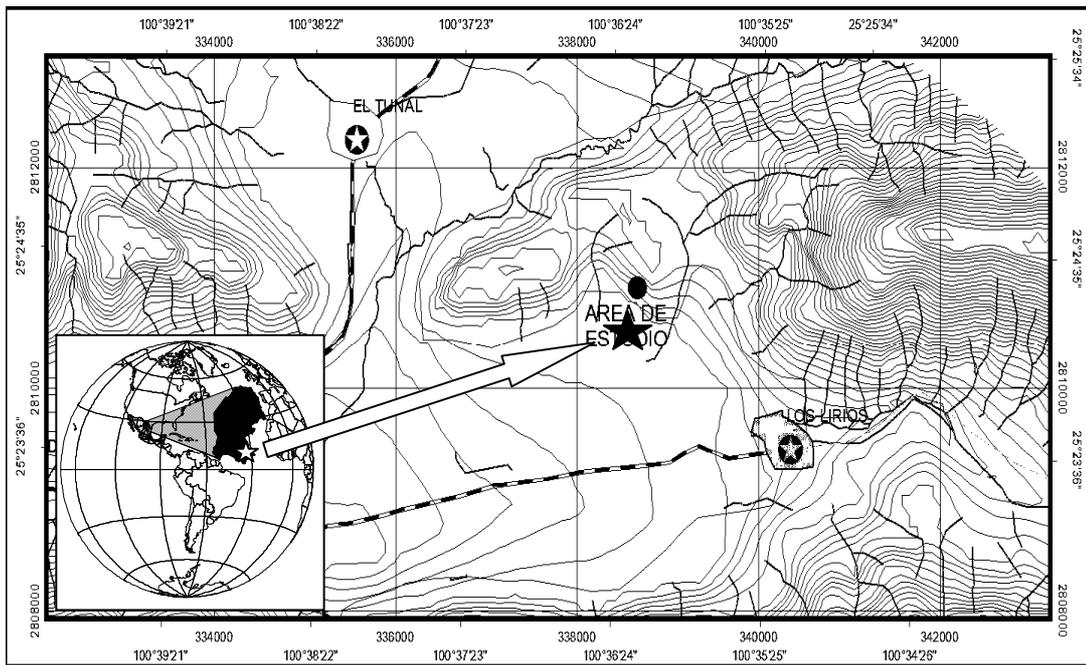


Figura 1. Localización geográfica del área de estudio Campo Agrícola Experimental Sierra de Arteaga, (CAESA), en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

3.1.1. Clima

El clima es templado, con una temperatura media anual de 13.6 °C y con una precipitación promedio anual de 521.2 mm. Las temperaturas más altas se presentan en los meses de mayo a julio y las temperaturas más bajas ocurren en los meses de diciembre a febrero. La mayor precipitación ocurre de junio a septiembre y la menor se presenta en los meses de febrero a marzo (CONAGUA, 2000).

3.1.2. Suelo

El suelo presenta un tipo feozem calcarico, (Hc +e/3) se caracteriza por tener una superficie blanda de color oscuro, suave, moderado en materia orgánica y nutrientes y en menor proporción se presentan las rendzinas con textura fina (CETENAL, 1977).

3.1.1. Vegetación

La vegetación contigua a las plantaciones está compuesta principalmente por especies de *Pinus cembroides*, seguida de *Yucca carnerosana*, *Juníperus deppeana*, *Tillandsia recurvata*, *Agave* spp, *Rhus vírens*, *Rhus microphylla* y malezas (Reyes, 2010). En general, en cada área de estudio (plantación) están las respectivas especies y algunas malezas

3.2. Metodología

3.2.1. Caracterización del área de estudio

Los ensayos de *Pinus cembroides* Zucc. y *Pinus greggii* Engelm., ubicados en una superficie aproximadamente de 0.25 ha. cada uno, mismas que fueron establecidos en 1992 con semilla a granel de tres procedencias, sin identificación de familias, mediante un diseño experimental de tres bloques completos al azar, perpendiculares a la pendiente en exposición sur, con 39 plantas por parcela como unidad experimental, 117 por procedencia y 351 plantas útiles en total; además se utilizaron 98 plantas de borde. La distribución de plantas se hizo en “tresbolillo” con espaciamiento de 1.8 m, de tres procedencias del Estado de Coahuila (Ornelas *et al.*, 2001). Propiedades dasométricas de ambas especies de pino ilustradas en (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características dasométricas generales de *Pinus greggii* (Pg) y *Pinus cembroides* (Pc), en Los Lirios, Arteaga, Coah.

Variables	Especie de pino	
	<i>P. cembroides</i> Zucc.	<i>P. greggii</i> Engelm.
Densidad (árboles ha ⁻¹)	2382.00	679.00
Altura media (m)	2.50	7.73
Diámetro promedio (cm)	7.36	13.17
Diámetro de copa (m)	1.55	2.79
Diámetro de fuste limpio (m)	0.26	1.61
Edad (años)	17.00	17.00

3.2.2. Tamaño y forma de los colectores

Para la colecta de hojarasca se emplearon trampas ó colectores de hojarasca de 1 x 1 m, de forma cuadrada respaldándose en estudios similares como los de Gunadi (1994) y Domínguez (2009).

3.2.3. Número de colectores

Para la colecta de hojarasca, en cada plantación se colocaron 15 colectores, dando un total de 30 colectores por los dos sitios, similar a lo propuesto por Quinto *et al.*, (2007). En otros estudios como los realizados por González *et al.*, (2008) y Domínguez (2009) utilizaron 10 colectores para una superficie de 0.25 ha. Es importante resaltar que para la colecta de hojarasca se utilizaron 15 colectores, mientras que para el análisis de nutrientes se utilizaron sólo 10 de ellos, básicamente por los altos costos que representan la cuantificación de nutrientes, siendo este número adecuado para este tipo de estudios (González *et al.*, 2008).

3.2.4. Construcción de los colectores

Las trampas colectoras de hojarasca consistieron en un marco de madera de 5 cm ancho y de 1 x 1 m. Patas o bases con una altura de 50 cm del suelo y cuyo fondo se cubrió con malla metálica de 1.0 mm de grosor para propiciar el drenaje efectivo del agua de lluvia (Domínguez 2009 y Reyes 2010).

3.2.5. Distribución de los colectores

Después de la construcción de los colectores, se llevaron a las plantaciones, para lo cual se distribuyeron de manera aleatoria en las dos plantaciones, según lo propuesto por Santa Regina y Gallardo (1985); Dames *et al.*, (1998) y Santa

Regina (2001), así como por estudios más recientes de Jeong *et al.*, (2009) quienes sustentaron la aplicación de esta distribución en el estudio.

3.2.6. Colecta de la hojarasca

La recolecta de la hojarasca se realizó en intervalos de tiempo mensuales, como ha sido sugerido Guerrero *et al.*, (1998). La duración del estudio comprendió un año similar a lo realizado por Gunadi (1994), establecido el 7 de Febrero del 2009 y finalizando la última colecta el 6 de Febrero del 2010. Para la colecta de la hojarasca se utilizó una lona de nylon de 1.5 x 1.5 m, vaciando lo encontrado en cada colector en esta lona, posteriormente, la hojarasca que se pasó a bolsas de papel, previamente etiquetadas con la especie, fecha de colecta y número de trampa y se transportaron al laboratorio.

3.2.7. Trabajos de laboratorio

Una vez concentradas las muestras en el laboratorio, se separaron por especie, después fueron secadas de 65 a 80°C (González *et al.*, 2006; González *et al.*, 2008; Domínguez, 2009) por un periodo de 72 horas en una estufa de secado (Elissa) hasta obtener peso constante. Posteriormente, las muestras de cada colector se agruparon por componente, en hojas, ramas (<2.0 cm de diámetro), conos y se pesaron con ayuda de una balanza analítica digital de centésimas de gramo para obtener el peso seco ($\text{g m}^{-2} \text{mes}^{-1}$) de cada componente y total ($\text{kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$).

Para el análisis de Macro y Micro-nutrientes del total de 15 colectores se seleccionaron únicamente 10, siendo los mismos para las 12 fechas evaluadas: 7-Mar, 31-Mar, 5-May, 5-Jun, 7-Jul, 9-Ago, 6-Sep, 9-Oct, 2-Nov y 7-Dic, correspondiente a 2009 y 6-Ene, 6-Feb a 2010; este número de repeticiones han sido sugeridos por González *et al.*, (2006) y Domínguez (2009), ya que permite obtener buenos resultados y al mismo tiempo economizar costos.

En los meses de poca deposición de hojas fue necesario hacer compuestos (es la homogenización de 2 ó más muestras correspondientes a la misma fecha) todas las menores a 1.0 g de peso seco (ps). Cabe destacar que esto se realizó después de que se procesaron las muestras con un molino Thomas Willey ya que aunque se tenían más del gramo al principio, en el proceso se pierde material.

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 (1 x 1 mm). El material molido fue recolectado en un frasco previamente etiquetado.

La preparación de extractos para determinar macro- (Ca, K y Mg) y micro-nutrientes (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 pesó 1.0 g de muestra y se colocaron en crisoles previamente etiquetados para su incineración en la mufla a 550°C por un lapso de 5 h. 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 concentrado y 10 gotas de HNO₃ concentrado al vaso. Una vez transcurrido este paso, se colocó el vaso en una parrilla de calentamiento a 100°C hasta reducir a un volumen de 10 mL. A continuación se le agregan 10 mL de agua destilada y se colocan el vaso nuevamente en la parrilla de calentamiento por 2 ó 3 minutos. Posteriormente, se retira el vaso de la parrilla y se deja a que la muestra llegue a temperatura ambiente, filtrándose el extracto usando papel filtro (Whatman 1: 125mmØ) 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 hasta que se realizaron los análisis cuantitativos de cada nutriente. 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. Parámetros optimizados del Espectrofotómetro para determinar cada elemento (Cuadro 2).

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 ¹ (mA)	Ancho de ranura (nm)	Flujo (L min ⁻¹)		
				Combustible ²	Oxidante ³	Estequiometria de la flama
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

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

3.3. Variables ambientales

Se obtuvieron los datos de temperatura media, máxima y mínima (°C), precipitación (mm), velocidad del viento (km/h) media y máxima, estos datos fueron proporcionados por la estación adjunta al CAESA a cargo del Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Coahuila (CESAVECO). La temperatura media mensual y la precipitación acumulada mensual se ilustran en (Figura 2).

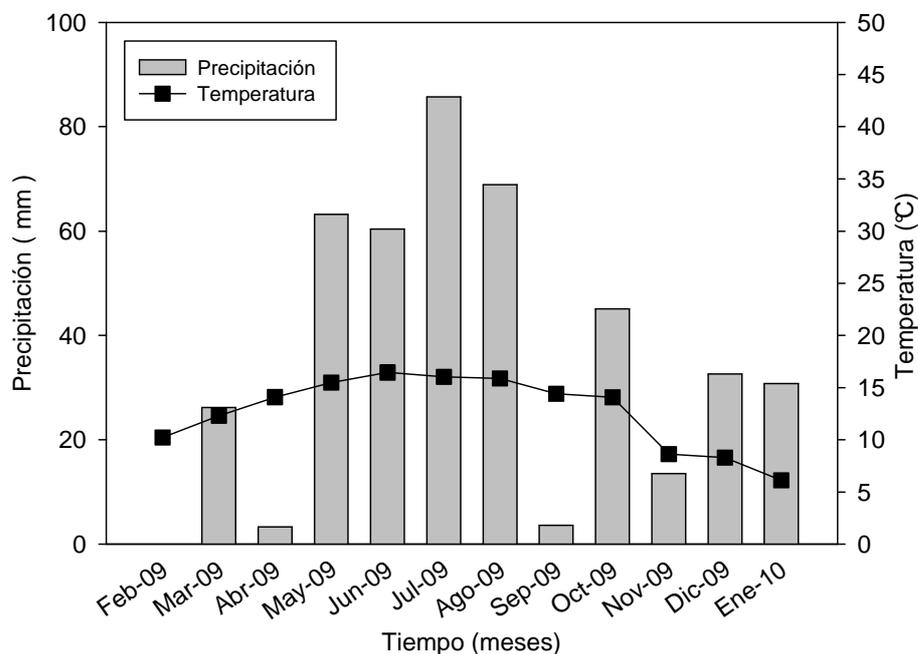


Figura 2. Temperatura media mensual y precipitación registrada en la estación del CESAVECO adjunta al (CAESA), en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

3.4. Análisis estadístico

3.4.1. Contenido de Macronutrientes y Micronutrientes en el componente hojas

Los datos de macro- (mg g^{-1} ps) y micro-nutrientes (mg kg^{-1} ps) general, por nutrimento y por fechas de muestreo, fueron sometidos a pruebas de normalidad utilizando las pruebas de Shapiro-Wilk y Kolmogorov-Smirnov (95%). Las pruebas de normalidad para este tipo de estudios han sido utilizadas por Domínguez (2009).

Posteriormente se procedió a someter los datos a un análisis de varianza (ANDEVA) mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (Domínguez, 2009) a un nivel de significancia de 95%, de acuerdo al diseño experimental con un criterio de clasificación. Para detectar diferencias estadísticas entre especies y

fechas de muestreo y para cada nutrimento en el componente hojas, se realizaron pruebas de medias (95%) de rangos de Kruskal-Wallis (K-W) (Kruskal y Wallis, 1952). Los procedimientos estadísticos aplicados fueron de acuerdo al SAS (Statistical Analysis System) por sus siglas en ingles.

Para el análisis y la interpretación de los datos se procedió a separarlos por macronutrientes Calcio (Ca), Potasio (K) y Magnesio (Mg); para micronutrientes Cobre (Cu), Hierro (Fe), Manganeso (Mn) y Zinc (Zn); por especie *Pinus cembroides* Zucc (*Pc*) y *Pinus greggii* Engelm. (*Pg*).

3.4.2. Acumulación de Macro y Micronutrientes

Para conocer la acumulación total de macro- y micronutrientes en el componente hojas para todo el periodo de estudio, se vio la necesidad de ajustar varios modelos de tiempo, similar a lo propuesto por Guerrero *et al.*, (1998) para ver el ajuste para los patrones acumulativos de cada nutrimento, dando mejores resultados el modelo logístico el cual viene dado por la formula siguiente.

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

Donde:

Y= Nutrimento en componentes en hojas.

a, b y c = Parámetros del Modelo.

e= Exponencial de la base diez.

1= Número constante.

X= Tiempo (Días transcurridos).

Los datos de acumulación se expresaron en mg m⁻², para fines prácticos se convirtieron en kg ha⁻¹ año⁻¹ para macro y g ha⁻¹ año⁻¹ para micronutrientes.

4. RESULTADOS

4.1. Pruebas de normalidad general para macro y micronutrientos

En lo referente al análisis de normalidad global en *Pc*, acorde a la prueba de Kolmoworov – Smirnov (K-S) y Shapiro Wilk (S-W), los resultados indicaron que Ca, Mg, Cu, Fe, Mn y Zn no presentan una distribución normal (n=106; P<0.01); sin embargo, las concentraciones de K (n=106; P=0.1500), si mostraron una distribución normal (Cuadro 3).

Para la especie *Pg*, todos los nutrientes (Ca, K, Mg, Cu, Fe, Mn y Zn) registraron una distribución distinta a la normal (Cuadro 3), según los estadísticos de K-S y S-W (n=115, P<0.05).

Cuadro 3. Pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk a las deposiciones de Ca, K, Mg, Cu, Fe, Mn y Zn, en *Pinus cembroides* Zucc. (*Pc*) y *Pinus greggii* Engelm. (*Pc*), en Los Lirios, Arteaga, Coah.

Especie	Nutriemento	n	Pruebas Estadísticas			
			Shapiro-Wilk		Kolmogorov-Smirnov	
			Estadístico	Pr	Estadístico	Pr
<i>Pc</i>	Ca	106	0.8209	0.0001	0.1205	0.0100
<i>Pc</i>	K	106	0.9834	0.2106	0.0694	0.1500
<i>Pc</i>	Mg	106	0.9564	0.0016	0.0989	0.0117
<i>Pc</i>	Cu	106	0.5448	0.0001	0.2278	0.0100
<i>Pc</i>	Fe	106	0.8065	0.0001	0.1199	0.0100
<i>Pc</i>	Mn	106	0.9509	0.0006	0.0943	0.0207
<i>Pc</i>	Zn	106	0.8176	0.0001	0.1645	0.0100
<i>Pg</i>	Ca	115	0.8811	0.0001	0.1936	0.0100
<i>Pg</i>	K	115	0.9643	0.0037	0.1003	0.0100
<i>Pg</i>	Mg	115	0.9693	0.0096	0.0964	0.0100
<i>Pg</i>	Cu	115	0.4651	0.0001	0.2791	0.0100
<i>Pg</i>	Fe	115	0.9620	0.0024	0.0984	0.0100
<i>Pg</i>	Mn	115	0.8934	0.0001	0.1579	0.0100
<i>Pg</i>	Zn	115	0.9025	0.0001	0.0860	0.0360

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

4.1.1. Pruebas de normalidad por macro-nutrientes por fecha de colecta

El Ca en *Pc* y *Pg*, acorde a la prueba de Shapiro-Wilk registró una distribución no normal en el 41.6% de las fecha de colecta (Anexo 1).

En cuanto al Mg en la especie *Pc*, 33.3% de los datos siguen una tendencia no normal, mientras que en *Pg* todo los datos se distribuyen normalmente (Anexo 1) según la prueba de Shapiro-Wilk.

Para el K, se observó que en el 16.6% de las fechas de colecta en *Pc* no siguen una tendencia normal, mientras que para la especie *Pg* todos los datos se comportan normalmente (Anexo 1) lo anterior de acuerdo con las pruebas de Shapiro - Wilk.

4.1.2. Pruebas de normalidad para micronutrientes por fecha de colecta

Para el micro-nutrimiento Cu, los resultados demuestran que en *Pc* en el 33.3% de las fecha de colecta, los datos no se distribuyen normalmente (prueba de Shapiro - Wilk); mientras que en *Pg* el 91.67% de las fechas no siguen una tendencia normal (Anexo 1).

Un pequeño porcentaje (8.33%) de las fechas de colecta en *Pc* con el nutrimento Fe, no se distribuyen normalmente según la prueba de Shapiro - Wilk, siendo un poco diferente a *Pg* el cual obtuvo que el 16.67% de los datos no se distribuyen normalmente (Anexo 1).

Por otro lado en *Pc* con el nutrimento Mn, los datos no se distribuyen normalmente (8.33% de las fechas de colecta) acorde a la prueba de Shapiro – Wilk. Con la misma prueba pero en *Pg* el 16.67% de los datos no se distribuyen normalmente (Anexo 1).

Es de notarse que el nutrimento Zn en *Pc*, en el 100% de los casos se distribuye normalmente ($P > 0.10$) según la prueba de Shapiro - Wilk, mientras que en *Pg* solo el 41.66% de los datos indican no distribuirse normalmente (Anexo 1).

4.2. Pruebas de Kruskal-Wallis entre especies

En relación a las pruebas de Kruskal - Wallis (95%), para detectar diferencias en la deposición de nutrimentos (Ca, K, Mg, Cu, Fe, Mn y Zn) entre especies (en el componente hojas) se obtuvo que durante el periodo de estudio *Pc* deposita mayor concentración de K, Mn y Zn con respecto a *Pg* (Cuadro 4); en contraste, se tiene que para Cu, Fe y Mg, *Pg* mostró las mayores concentraciones. El Nutrimento Ca no registró diferencias significativas entre especies (Cuadro 4), indicando que ambas especies depositaron las mismas cantidades de este elemento durante el periodo de estudio.

Cuadro 4. Prueba de Kruskal-Wallis en macro (mg g^{-1} ps) y micronutrientes (mg kg^{-1} ps) en el componente hojas de *Pinus cembroides* Zucc (*Pc*) y *Pinus greggii* Engelm. (*Pg*) en Los Lirios, Arteaga, Coah.

Estadísticos de Kruskal-Wallis (95%)						
Especie	Nutrimento	N	Media	D. E.	χ^2	Valor P
<i>Pc</i>	Ca	106	7.8490	2.4979	0.5779	0.4471
<i>Pg</i>		115	9.8262	5.3558		
<i>Pc</i>	K	106	4.1630	0.8357	135.4577	0.0001
<i>Pg</i>		115	2.2301	0.6885		
<i>Pc</i>	Mg	106	1.3231	0.2071	21.8738	0.0001
<i>Pg</i>		115	1.4683	0.2492		
<i>Pc</i>	Cu	106	0.0490	0.0414	117.4724	0.0001
<i>Pg</i>		115	0.2749	0.4215		
<i>Pc</i>	Fe	106	1.6648	0.8602	62.0418	0.0001
<i>Pg</i>		115	3.0740	1.4205		
<i>Pc</i>	Mn	106	87.1831	31.1571	13.1948	0.0003
<i>Pg</i>		115	75.1178	38.3469		
<i>Pc</i>	Zn	106	389.2228	343.5931	45.8624	0.0001
<i>Pg</i>		115	144.7820	86.0468		

Valores P en negritas indican diferencias estadísticamente significativas en la deposición de macro y micro-nutrimentos en el componente hojas entre especies.

4.3. Pruebas de Kruskal-Wallis entre especies y fechas de muestreo

4.3.1. Kruskal – Wallis para macro-nutrientes

El ANDEVA de K-W indicó que el contenido de Ca presentó diferencias significativas ($P \leq 0.02$) entre *Pc* y *Pg* únicamente en dos fechas (meses de diciembre y enero), promediando $8.78 \text{ mg g}^{-1} \text{ ps}$; en tanto el promedio para cada especie fue $9.82 \text{ mg g}^{-1} \text{ ps}$ para *Pg*, mientras para *Pc* fue de $7.81 \text{ mg g}^{-1} \text{ ps}$ respectivamente (Cuadro 5 y Figura 3a).

La deposición de K en todas las fechas de muestreo representó diferencias estadísticamente significativas en todas las fechas mostrándose las mayores concentraciones en *Pc* con un promedio de $4.13 \text{ mg g}^{-1} \text{ ps}$, mientras que *Pg* apenas promedió $2.22 \text{ mg g}^{-1} \text{ ps}$ (Cuadro 5 y Figura 3b).

Con respecto al Mg, se detectaron diferencias significativas ($P \leq 0.04$) en la deposición de este nutrimento en las fechas 1, 3, 6, 8 y 11 correspondiente a los meses de (febrero, abril, julio, octubre y diciembre) promediando a nivel global $1.47 \text{ mg g}^{-1} \text{ ps}$, para *Pg* y en *Pc* $1.32 \text{ mg g}^{-1} \text{ ps}$; en términos generales, *Pg* tuvo los más altos contenidos de Mg (Cuadro 5 Figura 3c).

Cuadro 5. Prueba de Kruskal-Wallis para detectar diferencias en macro y micronutrientes en el componente hojas de la hojarasca entre fechas de muestreo, *Pinus cembroides* Zucc. (*Pc*) y *Pinus greggii* Engelm. (*Pg*), en Los Lirios, Arteaga, Coah.

Fecha de Muestreo	Especie	n	Estadístico	Nutrimento en el componente hojas						
				Ca	K	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
07-Mar-2009	<i>Pc</i>	10	χ^2	2.1600	11.7600	6.4067	12.9067	2.6667	0.0067	8.1667
	<i>Pg</i>	9	Valor P	0.1416	0.0006	0.0114	0.0003	0.1025	0.9349	0.0043
31-Mar-2009	<i>Pc</i>	10	χ^2	0.0514	14.2857	0.2800	14.2857	13.1657	5.1429	14.2857
	<i>Pg</i>	10	Valor P	0.8206	0.0002	0.5967	0.0002	0.0003	0.0233	0.0002
05-May-2009	<i>Pc</i>	9	χ^2	1.9267	12.9067	7.2600	13.5000	3.5267	0.0267	13.5000
	<i>Pg</i>	10	Valor P	0.1651	0.0003	0.0071	0.0002	0.0604	0.8703	0.0002
05-Jun-2009	<i>Pc</i>	10	χ^2	0.4629	14.2965	2.7657	11.5714	11.5714	0.8229	12.6229
	<i>Pg</i>	10	Valor P	0.4963	0.0002	0.0963	0.0007	0.0007	0.3643	0.0004
07-Jul-2009	<i>Pc</i>	9	χ^2	3.5267	7.2600	0.4267	9.6267	3.2267	0.1067	1.1267
	<i>Pg</i>	10	Valor P	0.0604	0.0071	0.5136	0.0019	0.0724	0.744	0.2885
09-Ago-2009	<i>Pc</i>	8	χ^2	0.6395	12.0079	4.1763	10.2316	2.5579	0.5053	2.5579
	<i>Pg</i>	10	Valor P	0.4239	0.0005	0.0410	0.0014	0.1097	0.4772	0.1097
06-Sep-2009	<i>Pc</i>	9	χ^2	0.1579	12.7895	0.2359	5.4756	0.0955	0.1579	12.7895
	<i>Pg</i>	8	Valor P	0.6911	0.0003	0.6272	0.0193	0.7573	0.6911	0.0003
09-Oct-2009	<i>Pc</i>	9	χ^2	0.4386	4.6803	4.6803	2.6686	0.5634	0.0019	12.7895
	<i>Pg</i>	8	Valor P	0.5078	0.0305	0.0305	0.1023	0.4529	0.9648	0.0003
02-Nov-2009	<i>Pc</i>	8	χ^2	0.0711	4.5474	0.0316	5.3368	3.1579	0.3868	12.6316
	<i>Pg</i>	10	Valor P	0.7898	0.0330	0.8590	0.0209	0.0756	0.534	0.0004
07-Dic-2009	<i>Pc</i>	8	χ^2	0.3868	12.0079	2.5579	8.0842	7.5868	2.0211	12.6316
	<i>Pg</i>	10	Valor P	0.5340	0.0005	0.1097	0.0045	0.0059	0.1551	0.0004
06-Ene-2010	<i>Pc</i>	8	χ^2	5.3333	10.7037	5.7870	12.000	10.7037	8.8981	12.0000
	<i>Pg</i>	9	Valor P	0.0209	0.0011	0.0161	0.0005	0.0011	0.0029	0.0005
06-Feb-2010	<i>Pc</i>	8	χ^2	6.2593	7.7870	1.1204	10.7037	10.0833	7.2593	4.4815
	<i>Pg</i>	9	Valor P	0.0124	0.0053	0.2898	0.0011	0.0015	0.0071	0.0343

Valores P en negritas indican diferencias estadísticamente significativas en la deposición de macro y micro-nutrientes en el componente hojas para una fecha de muestreo dada.

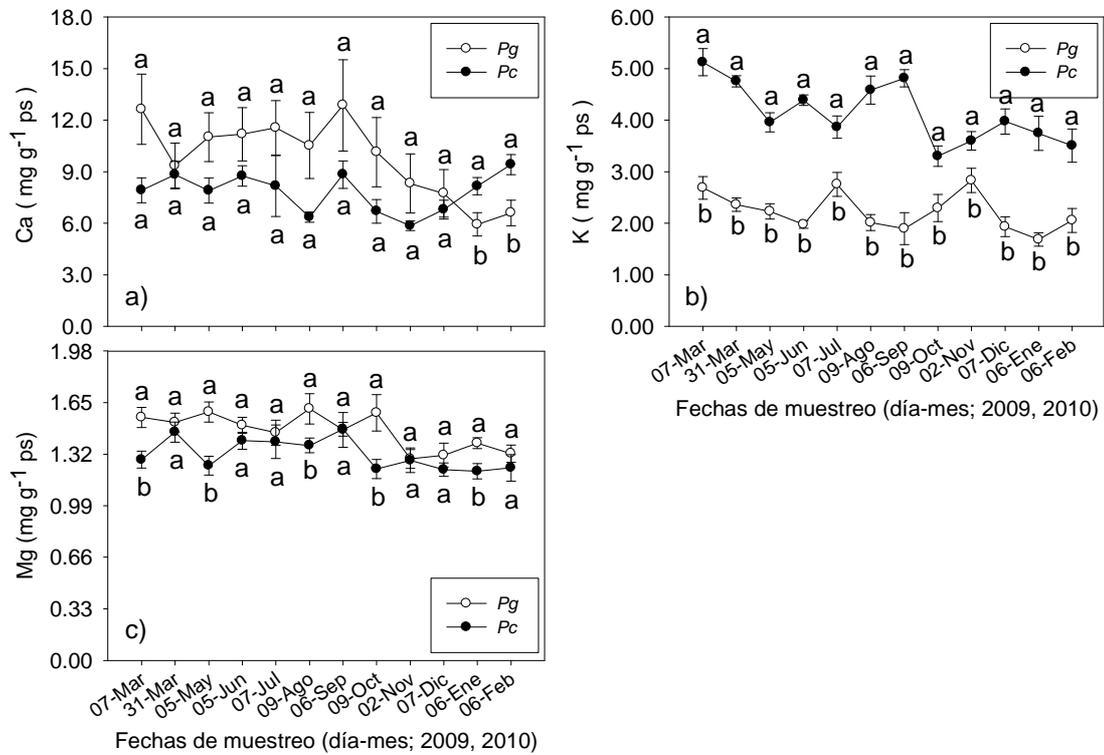


Figura 3. Patrón del contenido de Ca (a), K (b) y Mg (c) en el componente hojas de la hojarasca en *Pinus cembroides* Zucc. (*Pc*) y *Pinus greggii* Engelm. (*Pg*), en Los Lirios, Arteaga, Coah.

4.3.2. Kruskal-Wallis para micronutrientes

Los resultados del ANDEVA de K-W indicaron que existen diferencias en el contenido de Cu entre especies ($P \leq 0.02$), *Pg* mostró los contenidos más altos en todas las fechas, promediando 0.27 mg kg^{-1} ps, mientras que *Pc* promedio solamente 0.049 mg kg^{-1} ps. Los resultados también indican que el mismo contenido ocurrió en septiembre con 0.13 mg g^{-1} ps. Los contenidos más altos se observaron en los primeros tres meses 0.53 mg kg^{-1} ps para *Pg* mientras que en *Pc* se mantuvo constante (Cuadro 5 y Figura 4a).

Con relación a Fe, la prueba de K-W detectó diferencias significativas entre especies ($P \leq 0.0059$). En este sentido, el contenido más importante se registró en *Pg* (2.74 mg kg^{-1} ps) mostrando los contenidos más altos en todas las fechas; en contraparte *Pc* apenas alcanzó 1.66 mg kg^{-1} ps (Cuadro 5 y Figura 4b).

Sólo en tres fechas de muestreo (marzo, diciembre y enero) mostraron diferencias en el contenido de Mn entre especies ($P \leq 0.0233$) promediando en las tres fechas 95.68 mg kg^{-1} ps en *Pc* siendo los contenidos más altos; por otro lado *Pg* promedió 54.75 mg kg^{-1} ps siendo los contenidos más bajos; el promedio general en *Pc* fue 86.81 mg kg^{-1} mientras *Pg* registró 75.18 mg kg^{-1} ps (Cuadro 5 y Figura 3c).

Por último, las deposiciones de Zn mostraron diferencias significativas entre especies con valores de ($P \leq 0.0343$), la fecha 7 correspondiente a agosto mostró menor contenido en *Pg* con respecto a *Pc*; el promedio de todas las fechas de Zn en *Pc* fue de $396.66 \text{ mg kg}^{-1}$ ps mientras que para *Pg* el promedio fue de $145.75 \text{ mg kg}^{-1}$ ps (Cuadro 5 y Figura 4d).

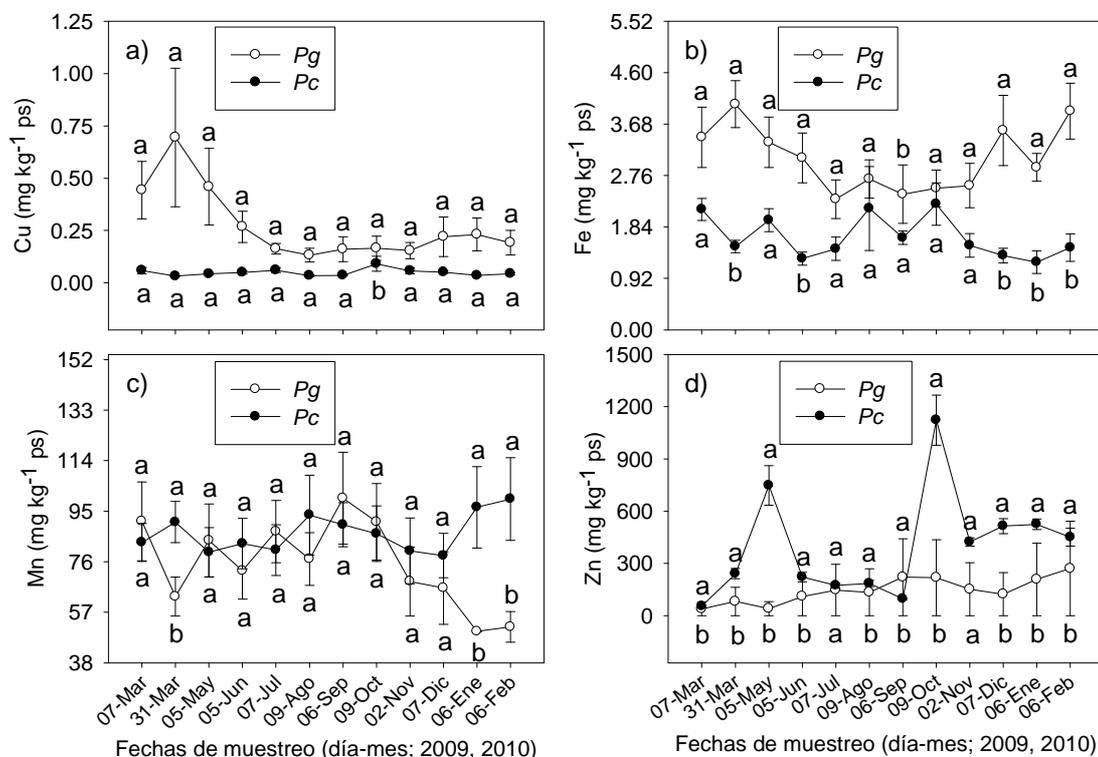


Figura 4. Patrón del contenido de Cu (a), Fe (b), Mn (c) y Zn (d) en el componente hojas de la hojarasca en *Pinus cembroides* Zucc. (*Pc*) y *Pinus greggii* Engelm. (*Pg*), en Los Lirios, Arteaga, Coah.

4.4. Variación mensual de nutrientes por especie

4.4.1. Macro-nutrientes

Calcio: Utilizando las pruebas de medias de rangos de Kruskal-Wallis para detectar diferencias entre fechas se encontró que existen diferencias significativas ($P=0.0001$) en *Pc*, para ello las fechas 12, 4, 7 y 2 correspondientes a (enero, mayo, agosto y marzo) son diferentes a todas las demás, con los contenidos más altos ($8.96 \text{ mg g}^{-1} \text{ ps}$). Por el contrario, la fecha 9 (octubre) es diferente a las demás reportando el más bajo contenido con apenas $5.85 \text{ mg g}^{-1} \text{ ps}$ (Anexo 2).

En *Pg* también se observaron diferencias significativas ($P=0.041$), la fecha 1 (febrero) registró el contenido más alto, siendo diferente a todas, promediando $12.63 \text{ mg g}^{-1} \text{ ps}$; la fecha 11 (diciembre) obtuvo los contenidos más bajos ($5.93 \text{ mg g}^{-1} \text{ ps}$). Así mismo las fechas 3 y 5 mostraron cantidades importantes de Ca (Anexo 2).

Potasio: Altas diferencias significativas ($P=0.0001$) fueron encontradas en este nutrimento, en el cual se formaron cinco grupos de medias de rangos, de este modo, en *Pc* en la Fecha 1 (febrero) se encontró el mayor contenido ($5.12 \text{ mg g}^{-1} \text{ ps}$) siendo también las fechas 7, 2 y 6 los contenidos más altos de K; Por el contrario, las fechas 12, 9 y 8 (enero, octubre y noviembre) promediaron $3.47 \text{ mg g}^{-1} \text{ ps}$ correspondientes a los contenidos más bajas (Anexo 3).

En *Pg* también se mostraron diferencias significativas entre fechas de recolecta ($P=0.0009$), las fechas 9, 5 y 1 (octubre, junio y febrero) fueron las más altas con un promedio de $2.76 \text{ mg g}^{-1} \text{ ps}$; los contenidos más bajos se detectaron en la fecha 11 (diciembre) la cual promedió $1.68 \text{ mg g}^{-1} \text{ ps}$ (Anexo 3).

Magnesio: en *Pc* las fechas 7 y 2 (agosto y marzo) se mostraron diferentes a todas las demás con un promedio de $1.47 \text{ mg g}^{-1} \text{ ps}$ siendo los contenidos más altos, mientras que las fechas 10, 8 y 11 correspondieron a los contenidos más bajos con un promedio de $1.22 \text{ mg g}^{-1} \text{ ps}$ (Anexo 4).

Haciendo énfasis en *Pg* para el mismo macro-nutriente se obtuvo un valor de ($P=0.0059$) indicando altas diferencias de Mg, las fechas 1, 5 y 9 (marzo, julio y octubre) mostraron diferencias respecto a las demás con un promedio de $2.60 \text{ mg g}^{-1} \text{ ps}$ que consistieron en los mayores contenidos; mientras que la fecha 11 (diciembre) promedia $1.60 \text{ mg g}^{-1} \text{ ps}$ contenido más bajo (Anexo 4).

4.4.2. Micronutrientes

Cobre: La prueba no paramétrica de K-W (95%) demostró que el contenido de Cu en el componente hojas de *Pc* fue igual en todas las fechas de muestreo ($P=0.0709$), con un promedio general de $0.048 \text{ mg kg}^{-1} \text{ ps}$. Sin embargo, en *Pg* si

se detectaron diferencias de Cu entre meses ($P=0.0003$) siendo la fecha 2 (marzo) la que mostró mayor contenido de Cu con $0.69 \text{ mg kg}^{-1} \text{ ps}$; siguiendo las fechas 1, 3, 4 y 11 (febrero, abril, mayo y diciembre, respectivamente) con un promedio de $0.35 \text{ mg kg}^{-1} \text{ ps}$ y por último las demás fechas promedian apenas $0.17 \text{ mg kg}^{-1} \text{ ps}$ (Anexo 5).

Fierro: el contenido de Fe fue muy variablemente entre fechas ($P=0.0161$), en *Pc* las fechas 1, 3, 7 y 8 (febrero, marzo, agosto y septiembre, respectivamente) promediaron los valores más altos $2.00 \text{ mg kg}^{-1} \text{ ps}$ para las cuatro fechas; por el contrario, los muestreos 10, 4 y 11 (noviembre, mayo y diciembre, respectivamente) representaron los contenidos de Fe más bajos $1.27 \text{ mg kg}^{-1} \text{ ps}$. Los contenidos mensuales de Fe en *Pg* fueron similares en todo el año ($P= 0.12$) con un promedio de $3.07 \text{ mg kg}^{-1} \text{ ps}$ (Anexo 6).

Manganeso: Los resultados de la prueba de K-W indicaron que tanto en *Pc* como en *Pg* no se detectaron diferencias en los contenidos mensuales de Mn ($P=0.9487$ y $P=0.5030$, respectivamente), registrando valores promedio de 87.41 y $75.18 \text{ mg kg}^{-1} \text{ ps}$, respectivamente (Anexo 7).

Zinc: Altas diferencias en el contenido mensual de Zn fueron detectados entre ambas especies ($P<0.0001$); en *Pc*, la prueba de medias de rangos de K-W arrojó seis grupos ubicando al muestreo 8 (septiembre) con el contenido más alto ($1122.90 \text{ mg kg}^{-1} \text{ ps}$), le siguen los meses 3, 11, 10 y 12 (abril, noviembre, diciembre y enero, respectivamente) con un promedio de $559.72 \text{ mg kg}^{-1} \text{ ps}$ y finalmente la fecha 1 (febrero) con apenas $54.88 \text{ mg kg}^{-1} \text{ ps}$ (Anexo 8).

En *Pg* las fechas de mayor contenido de Zn fueron 8 y 12 (septiembre y enero, respectivamente) con un promedio de $251.27 \text{ mg kg}^{-1} \text{ ps}$; en lo sucesivo, la fecha con menor contenido correspondió a febrero con solo $39.19 \text{ mg kg}^{-1} \text{ ps}$ (Anexo 8).

4.5. Acumulación

4.5.1. Macro-nutrientes

El ajuste de los modelos para estimar la acumulación de macro (mg m^{-2}) y micronutrientes (mg m^{-2}) durante el periodo de estudio de manera global fue bueno, registrando una R^2 promedio de a 0.94. A nivel especie se tiene que en *Pg* se obtuvieron los mejores ajustes con un promedio de $R^2 = 0.96$ mientras que en *Pc* las R^2 promediaron 0.92. Acorde a pruebas de "t", estadísticamente hay diferencias significativas ($P=0.008$) en β_1 siendo más alto en *Pg*, mientras que β_2 es similar en ambas especies.

Haciendo énfasis en el promedio de la R^2 por nutrimentos se tiene lo siguiente: $0.9652 > 0.9634 > 0.9622 > 0.9616 > 0.9575 > 0.9570 > 0.8143$ en el siguiente orden $\text{Zn} > \text{Mn} > \text{Mg} > \text{Ca} > \text{K} > \text{Fe} > \text{Cu}$ (Cuadro 6).

La acumulación de Ca en ambas especies se mantuvo similar hasta los 120 días; en general las mayores acumulaciones ocurrieron en los primeros 180 días para *Pg* mientras que en *Pc* los 90 días. En total en *Pg* se acumularon $1016.20 \text{ mg m}^{-2}$ y 720.86 mg m^{-2} en *Pc* ocurriendo la mayor acumulación en *Pg* (Figura 7a).

En cuando al K, *Pc* mostró una mayor acumulación con 404.93 y sólo de 232.88 mg m^{-2} en *Pg* destacando las mayores acumulaciones en los 60 y 180 días en *Pc*, mientras que para *Pg* la acumulación se torno más constante (Figura 7b).

Para el Mg la acumulación total fue muy similar, 123.20 mg m^{-2} y 122.83 mg m^{-2} para *Pc* y *Pg* respectivamente sin diferencias significativas (Figura 7c).

4.5.2. Micronutrientes

Altas diferencias en la acumulación de Cobre durante el periodo de estudio fue observada entre especies, la mayor acumulación se mostró en *Pg* con 0.0318 mg m^{-2} y menor en *Pc* 0.0041 mg m^{-2} . La acumulación más importante ocurrió en *Pg* en los primeros 120 días, mientras que en *Pc* se mantuvo constante (Figura 8a).

Las acumulaciones de Fe en ambas especies se mantuvieron similares y constante hasta los 150 días aproximadamente, a partir de aquí, *Pg* se fue separando hasta terminar como la mayor acumulación con 0.2871 mg m^{-2} , mientras *Pg* acumuló con apenas 0.1625 mg m^{-2} (Figura 8b).

Las mayores acumulaciones de Mn se registraron en *Pc* en los primeros 150 días. Las graficas son bastante similares siendo ligeramente la acumulación superior en *Pc* con 8.0040 mg m^{-2} y en *Pg* 7.6818 mg m^{-2} al termino de la colecta (Figura 8c).

Por último el Zn se tiene una mayor acumulación en *Pc* aportando 27.76 mg m^{-2} mientras que *Pg* acumuló aproximadamente la mitad de lo reportado en *Pc* 13.64 mg m^{-2} ; las mayores acumulaciones se observaron en *Pc* para los días (0 a 60 y 210 a 240) en *Pg* tuvo una acumulación más constante (Figura 8d).

Cuadro 6. Parámetros de regresión para estimar la acumulación de nutrientes (mg m^{-2}) en el componente hojas en plantaciones de *Pinus cembroides* Zucc. (*Pc*) y *Pinus greggii* Engelm. (*Pg*), en Los Lirios, Arteaga, Coah.

Especie	Nutrimento	N	β_0	β_1	β_2	CME	R ²	Pr
<i>Pc</i>	Ca	12	673.3397	1.6607	0.0186	2828.6136	0.9514	0.0001
<i>Pg</i>		12	963.9363	2.3486	0.0173	4003.2980	0.9719	0.0001
<i>Pc</i>	K	12	387.7395	1.6128	0.0180	923.3115	0.9507	0.0001
<i>Pg</i>		12	230.7507	2.2229	0.0141	250.7195	0.9644	0.0001
<i>Pc</i>	Mg	12	118.0988	1.7214	0.0176	75.9749	0.9576	0.0001
<i>Pg</i>		12	149.5073	2.2438	0.0148	115.6696	0.9628	0.0001
<i>Pc</i>	Cu	12	0.0035	0.0751	0.0099	5.86E-07	0.6932	0.0001
<i>Pg</i>		12	0.0272	2.4028	0.0298	8.02E-06	0.9355	0.0001
<i>Pc</i>	Fe	12	0.1586	1.6569	0.0167	1.31E-04	0.9576	0.0001
<i>Pg</i>		12	0.3107	2.4534	0.0120	4.59E-04	0.9564	0.0001
<i>Pc</i>	Mn	12	7.6378	1.7065	0.0168	0.3264	0.9558	0.0001
<i>Pg</i>		12	7.4714	2.3285	0.0157	0.2337	0.9711	0.0001
<i>Pc</i>	Zn	12	27.1606	2.0563	0.0144	5.1732	0.9477	0.0001
<i>Pg</i>		12	17.6306	3.0204	0.0112	0.4055	0.9826	0.0001

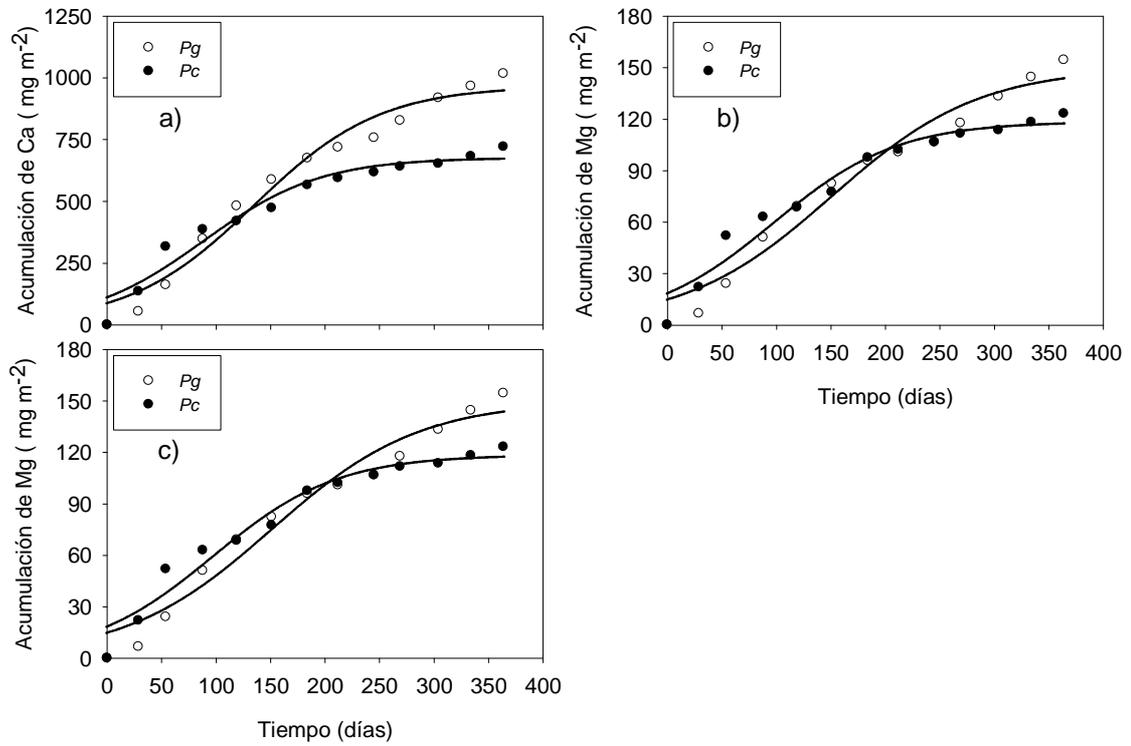


Figura 5. Acumulación de macro-nutrientes (mg m^{-2}) para Ca (a), K (b) y Mg (c) en plantaciones de *Pinus cembroides* Zucc. (*Pc*) y *Pinus greggii* Engelm. (*Pg*), en Los Lirios, Arteaga, Coah.

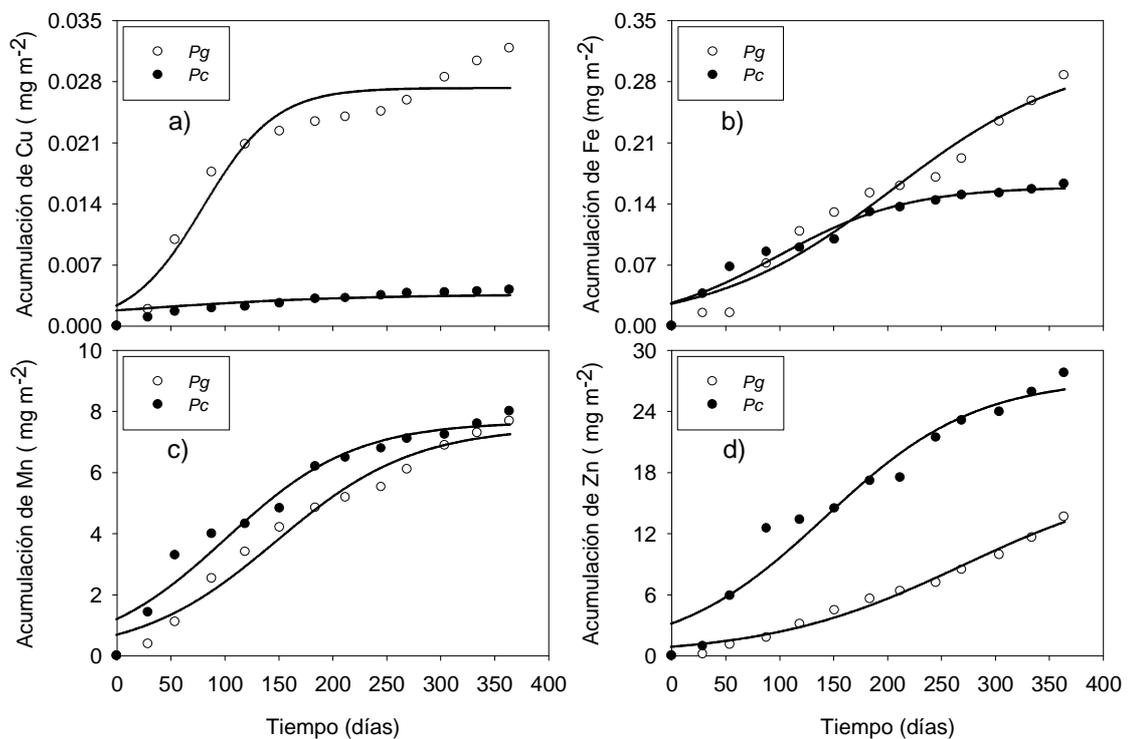


Figura 6. Acumulación de micro-nutrientes (mg m^{-2}) para Cu (a), Fe (b), Mn (c) y Zn (d) en plantaciones de *Pinus greggii* Zucc. (Pc) y *Pinus greggii* Engelm. (Pg), en Los Lirios, Arteaga, Coah.

4.6. Deposición total anual de nutrientes en el componente hojas

El cálculo de la deposición de macro-nutrientes se realizó como sigue: ($\text{mg de macro-nutriente g}^{-1} \text{ ps}$) \times ($\text{g}^{-1} \text{ ps hojas m}^{-2}$) siendo valores correspondientes a cada mes y especie, la suma de los 12 meses nos da la deposición total anual. Para la conversión de $\text{mg m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ a $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ se tiene que ($\text{mg m}^{-2} \text{ año}^{-1} / \text{un millón}$) \times 10 mil para macronutrientes (Cuadro 7).

En tanto que para la deposición de micronutrientes se procedió de la forma siguiente: ($\text{mg del micronutriente kg}^{-1} \text{ ps}$) \times ($\text{g}^{-1} \text{ ps hojas m}^{-2}$) para valores correspondientes a cada mes y especie, correspondiente a la suma de los 12 meses la deposición total anual.

Para la conversión de $\text{mg m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ a $\text{g ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ se tiene que $(\text{mg m}^{-2} \text{ año}^{-1} / \text{mil}) \times 10 \text{ mil}$ para micronutrientes (Cuadro 7).

Cuadro 7. Flujo total anual de nutrientes en el componente hojas en plantaciones de de *Pinus cembroides* Zucc. (*Pg*) y *Pinus greggii* Engelm. (*Pc*), en Los Lirios, Arteaga, Coah.

Especie	Macronutrientes ($\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$)			Micronutrientes ($\text{g ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$)			
	Ca	K	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
<i>Pc</i>	7.2086	4.0493	1.2320	0.3179	2.8707	76.8178	136.4057
<i>Pg</i>	10.1620	2.3288	1.5444	0.0413	1.6254	80.0396	277.6692

5. DISCUSIÓN

A nivel global, los macro y micronutrientes se comportaron de forma no normal, en ambas especies, excepto el Potasio ($P=0.1500$) en *Pc*. Los patrones encontrados en este estudio son similares a los encontrados por Domínguez (2009), detectándose una distribución no normal para todos los nutrimentos analizados (Ca, K, Mg, Cu, Fe, Mn y Zn), cabe señalar que además de estos elementos dicho autor analizó otros nutrientes no evaluados en este estudio.

Pinus greggii Engelm. deposita en promedio, las mayores cantidades de Mg, Cu y Fe, contenidas en las hojas, mientras que *Pinus cembroides* Zucc. aporta las mayores concentraciones de K, Mn y Fe. El macro nutriente Ca, es depositado en las mismas cantidades en ambas especies, durante todo el periodo de estudio. Entre fechas de colecta y en cada especie, las deposiciones de macros (Ca, K, y Mg) son diferentes; sin embargo, en Mn las deposiciones son las mismas durante todo el año en *Pc* y en *Pg*. En este sentido, Domínguez (2009) en varios ecosistemas, ha reportado que el Ca es depositado variablemente en las 12 fechas evaluadas; en K no se detectaron diferencias significativas ($P>0.05$). En nutrimentos (Mg, Fe y Mn) en solo una fecha de 12 no se detectaron diferencias significativas; es decir también son depositados en forma diferentes en cada fecha. En Cu no se detectaron diferencias significativas.

5.1. Macronutrientes en ($\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$)

En el presente trabajo, la deposición total de Ca presentó los siguientes patrones: *Pinus greggii* Engelm. mayor que en *Pinus cembroides* Zucc. (10.16 y $7.21 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, respectivamente). Domínguez (2009) encontró una deposición de Ca de 30 a $232 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, en el sitio de mayor y menor deposición respectivamente, siendo muy superior que la deposición de Ca encontrada en este estudio; Ramírez *et al.*, (2007) encontraron valores de Ca en un bosque de *Quercus*, de *Pinus patula* y ciprés de 51 , 32 y $39 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ respectivamente. González *et*

al., (2006) reportaron un aporte anual de nutrientes en el Matorral Espinoso Tamaulipeco de Ca que van de los 257 a 366 kg ha⁻¹ año⁻¹. Todos estos resultados son superiores a los encontrados en este estudio.

La tasa de deposición anual de macro K fue de 4.05 y 2.31 correspondientes *Pc* y *Pg* respectivamente, muy por debajo de los valores reportados por Domínguez (2009) de 7 a 37 kg ha⁻¹ año⁻¹ para cuatro tipos de vegetación. González *et al.*, (2008) encontraron fluctuaciones de 24 a 45 kg ha⁻¹ año⁻¹ superiores al presente estudio. Ramírez *et al.*, (2007) encontraron una deposición de K vía hojas de hojarasca de 3.37, 3.44 y 1.95 kg ha⁻¹ año⁻¹ para bosques de roble, plantaciones pino pátula y ciprés, respectivamente similares a lo de este estudio. Del Valle-Arango (2003), encontró una producción de este elemento de 4.44 kg ha⁻¹ año⁻¹ valores similares.

Con respecto al aporte de Mg depositados vía hojas, fue mayor para *Pg* que *Pc* con valores de 1.23 y 1.54 Kg ha⁻¹ año⁻¹ respectivamente. Estos valores están muy por debajo de lo reportado Domínguez (2009) 4.5 y 22.6 kg ha⁻¹ año⁻¹; González *et al.*, (2006) hasta 4 kg ha⁻¹ año⁻¹. Por otra parte, Dezzeeo y Chacón (2006) en un estudio realizado en un bosque de la Gran Sabana, al sureste de Venezuela, documentan deposiciones de Mg hasta de 12 kg ha⁻¹ año⁻¹. Kadeba y Aduayi (1985) reportan una deposición de Mg de 19 kg ha⁻¹ año⁻¹ en *Pinus caribaea* en Nigeria.

5.2. Micronutrientes (g ha⁻¹ año⁻¹)

Para el caso del micronutriente Cu la deposición de éste presentó el siguiente orden: mayor en *Pc* con 0.32 g ha⁻¹ año⁻¹ mientras que para *Pg* depositó 0.04 g ha⁻¹ año⁻¹; otros estudios (Domínguez, 2009) arrojan valores de 0.08 g ha⁻¹ año⁻¹ en un bosque de coníferas. Del Valle-Arango (2003), reporta una producción de 70.0 g ha⁻¹ año⁻¹ en este elemento. En investigaciones realizadas por Ramírez *et al.*, (2007) encontraron valores de Cu en un bosque de *Pinus patula* de 30 g ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente. En tanto González *et al.*, (2006) al estudiar el aporte

anual de micronutrientes en el Noreste de México encontró una producción anual de Cu que fluctuó de 49 a 67 g ha⁻¹ año⁻¹.

En cuanto a la deposición total de Fe, se obtuvo lo siguiente: *Pc* mayor que *Pg* con 2.87 a 1.62 g ha⁻¹ año⁻¹ respectivamente. Domínguez (2009) encontró deposiciones de 2.7 a 11.2 g ha⁻¹ año⁻¹. González *et al.*, (2006) encontraron fluctuaciones de 607 a 1965 g ha⁻¹ año⁻¹, en tanto que Ramírez *et al.*, (2007) observaron deposiciones de 630 g ha⁻¹ año⁻¹. Del Valle-Arango (2003) observó una producción de este elemento de 730 g ha⁻¹ año⁻¹. Hagen *et al.*, (2006), estudiaron la deposición en tres especies forestales deciduas encontrando deposiciones que van de 0.84 a 2.08 g ha⁻¹ año⁻¹ similar a lo de este estudio, mientras que Xiaoni *et al.*, (2004) reportaron valores de 860 g ha⁻¹ año⁻¹ en un bosque subtropical en la isla de Okinawa, Japón.

El Mn en el componente hojas fue mayor en *Pg* que en *Pc*, siendo de 80.039 y 76.82 g ha⁻¹ año⁻¹. Por su parte Domínguez (2009) reportó fluctuaciones de 1.49 a 79 g ha⁻¹ año⁻¹. González *et al.*, (2006), reportaron deposiciones que van de 131 a 275 g ha⁻¹ año⁻¹, mientras que Del Valle (2003) encontró hasta 930 g ha⁻¹ año, Hagen *et al.*, (2006) estimaron una deposición de 27 a 458 g ha⁻¹ año⁻¹. Xiaoni *et al.*, (2004) observaron valores de hasta 3910 g ha⁻¹ año⁻¹.

La deposición anual de Zn se mostró superior en *Pg* con 277.67 g ha⁻¹ año⁻¹ mientras que para *Pc* fue de 136.40 g ha⁻¹ año⁻¹. Domínguez (2009) reportó valores oscilando desde 1.30 a 0.54 g ha⁻¹ año⁻¹. González *et al.*, (2006) encontraron una variación en el aporte de Zn vía el componente hojas de la hojarasca en el Matorral Espinoso Tamaulipeco, de 291 a 660 g ha⁻¹ año⁻¹, en tanto que Del Valle-Arango (2003), cuantificó una deposición de 230 g ha⁻¹ año⁻¹ de este elemento. Por su parte, Ramírez *et al.*, (2007) documentaron 260 g ha⁻¹ año⁻¹.

6. CONCLUSIONES

En este estudio, las concentraciones de macro y micro nutrientes no poseen una distribución, normal excepto en el Ca.

La deposición promedio mensual de Mg, Cu y Fe es mayor en *Pg*, mientras que *Pc* deposita las mayores concentraciones de K, Mn y Zn. La deposición total anual de Ca ocurre mayoritariamente en *Pg*, pudiendo atribuirla a la mayor caída de hojarasca, mientras que *Pc* tuvo las mayores deposiciones anuales de K, Cu y Fe no precisamente influenciadas por las mayores deposiciones de hojas (Cuadro 6 y Anexo 9).

Los valores acumulativos de macro y micro nutrientes en las especies estudiadas *Pinus greggii* Engelm. y *Pinus cembroides* Zucc. son bajos comparados con estudios sobre nutrientes.

Con los resultados obtenidos se puede decir que las fluctuaciones de macro y micronutrientes durante el periodo de estudio variaron considerablemente tanto para cada especie, como temporalmente, por lo que a esto se le puede atribuir a la fenología de cada especie que crece y se desarrolla en cada uno de los sitio de estudio, a procesos y factores biológicos tales como longevidad de estructuras vegetales, a los cambios estacionales, a las variaciones de temperatura, precipitación y a las condiciones edáficas del sitio.

Estos resultados confirman la importancia ecológica que representan las especies estudiadas, a través de las diferentes deposiciones de los componentes de la hojarasca en la productividad primaria neta y la fertilidad del suelo como indicadores de sustentabilidad de las diferentes comunidades vegetales estudiadas.

7. RECOMENDACIONES

Realizar estudios en periodos más prolongados para poder obtener información más contundente que permita tomar decisiones para el manejo de los recursos forestales.

Realizar estudios edafológicos para conocer más sobre la fertilidad del sitio en relación al retorno de nutrientes vía hojarasca.

Considerar la importancia de las plantaciones y la importancia de mantener la productividad de la misma sin deteriorar el ecosistema.

Realizar este tipo de investigaciones en otros tipos de comunidad de vegetación con el fin de evaluar la productividad y ciclo de nutrientes entre ellas.

8. LITERATURA CITADA

- AOAC. (1990) Official Methods of Analysis (15th Ed.). Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC. 832 pp.
- Berg B, A Albrektson, P Berg, J Cortina, J Maj-Britt, A Gallardo, M Madeira, J Pausas, W Kiratz, R Vallejo, C McLaugherty (1999) Amounts of litter fall in some pine forests in a European transect, in particular Scots pine. *Ann. For. Sci.* 56: 625-639.
- Bosco I J Blanco, A J 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. Pp. 479-506.
- Bray J y E Gorham (1964) Litter production in forests of the world. *Adv. Ecol. Res.* 2: 101-157.
- CETENAL (1977). Carta edafológica. San Antonio de las Alazanas G14 C35. Escala. 1: 50,000. México.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2000) Departamento de hidrología operativa, Precipitación y Temperatura de la Estación Meteorológica de San Antonio de las Alazanas Arteaga Coahuila.
- Dames F J, M C Scholes and C J Straker (1998) Litter production and accumulation in *Pinus pátula* plantations of the Mpumalanga Province, South Africa. *Plant and Soil.* 203: 183–190.
- Del Valle-Arango J I (2003) Cantidad, calidad y nutrientes reciclados por la hojarasca fina de bosques pantanosos del pacífico sur Colombiano. *Interciencia.* 28:443- 449.
- Devlin R (1982) *Fisiología vegetal*. Ediciones Omega, Barcelona, España. 517 p.

- Dezzeo N y N Chacón (2006) Litterfall and nutrient input in undisturbed and adjacent fire disturbed forests of the Gran Sabana, Southern Venezuela. *Interciencia*. 31:894-899.
- Domínguez T G (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.
- Donahue J K y J López-Upton (1999) A new variety of *Pinus greggii* (Pinaceae) in México. *Sida* 18(4): 1083-1093.
- FAO (1999) Guía para el manejo eficiente de la nutrición de las plantas.
- González H, T G Domínguez, I Cantú, M V Gómez, M Pando, R G 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.
- González R H, L Cantú Silva, M V Gómez Meza, M V Ramírez Lozano, R G Uvalle, J I Saucedo (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. Pp 296.
- Goya J F, Pérez C, J L Frangí y R Fernández (2003) Impacto de la cosecha y destino de los residuos sobre la estabilidad del capital de nutrientes en plantaciones de *Pinus taeda* L. *Ecología Austral* 13:139-150.
- Guerrero J, J J Camarero y E Gutiérrez. (1998) Crecimiento estacional y caída de acículas en *Pinus sylvestris* y *P. uncinata*. *Invest. Agr: Sist. Recur. For.* 7 (1 y 2): 155-172.

- Gunadi B (1994) Litterfall, litter turnover and soil respiration in two pine forest plantations in central Java, Indonesia. *Journal of Tropical Forest Science* 6(3): 310- 322.
- Hagen T A, I Varnagiryte, B Nihlgård y K Armolaitis (2006) Autumn nutrient resorption and losses in four deciduous forest tree species. *Forest: Ecology and Management*. 228:33-39.
- Huber A, E Schlatter y C Oyarzun (1986) Aporte en elementos nutritivos por la hojarasca de un bosque adulto de *Pinus radiata*. Proyectos RS-83-28 y RS-84-14 de la Dirección de Investigación y Desarrollo. Universidad Austral de Chile. *Bosque* 7(2): 59-64.
- Jeong J Ch, Chul A H, Seo Ch H y Chul Ch G (2009) A Comparison of Litterfall Dynamics in Three Coniferous Plantations of Identical Age under Similar Site Conditions. *J. Ecol. Field Biol.* 32 (2): 97-102.
- Kadeba O y E A Aduayi (1985) Impact on soils of plantation of *Pinus caribaea* in natural tropical savannas. *Forest Ecology and Management*. 13:27-29.
- Kimmins J P (1997) *Forest ecology. A foundation for sustainable management*. Prentice-Hall, Nueva Jersey.
- Kruskal W H, W A Wallis (1952) Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association*. 47: 583-621.
- Luna-Cavazos M A, Romero-Manzanares y E García-Moya (2008) Afinidades en la flora genérica de piñoneros del norte y centro de México: un análisis fenético. *Revista Mexicana de Biodiversidad*: 79 (2). 449-458 p.
- Marschner H (1986) *Mineral nutrition of higher plants*. Academic Press, Londres. Pp. 7-73, 285-299.
- Mengel K y E A Kirkby (1982) *Principies of plant nutrition*. 3^{er} Ed. International Potash Institute Bern. Switzerland 655 p.

- Merino A, C Rey, J Brañas y S R Rodríguez (2003) Biomasa arbórea y acumulación de nutrientes en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en Galicia. Investigación. Agrarias: Sistemas Recursos Forestales 12 (2), 85-98.
- Montero G, C Ortega, I Cañellas y A Bachiller (1999) Productividad aérea y dinámica de nutrientes en una repoblación de *Pinus pinaster* AIT. Sometida a distintos regímenes de claras. Investigaciones Agrícolas: Sistemas Recursos Forestales: Fuera de Serie 1: 175-206.
- Navarro S A, L M Torres, A Cano, S Valencia y E H 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.
- Ornelas H G, Aldrete E A, Cornejo O E H (2001) Ensayo de tres procedencias de *Pinus greggii* Engelm, en el Campo Agrícola Experimental Sierra de Arteaga. Foresta-AN. Nota Técnica No. 6 UAAAN. Saltillo, Coah. 12 p.
- Pérez C A, J F Goya, F Bianchini, J L Frangí, y R. Fernández (2006) Productividad aérea y ciclo de nutrientes en plantaciones de *Pinus taeda* L. en el norte de la provincia de misiones, Argentina. Interciencia. 11:794-801.
- Pérez Suarez M, J T Arredondo-Moreno, E Huber, J J Vargas (2009) Production and quality of senesced and green luskánica in a pine–oak forest in central-northwest Mexico. Forest Ecology and Management 258: 1307-1315.
- Prause J, G Arce de Caram, y P N Angeloni (2003) Variación mensual en el aporte de cuatro especies forestales nativas del Parque Chaqueño Humado (Argentina). Revista de Ciencias Forestales –Quebracho N° 10. 39-45 p.
- Quinto M H, Y Ramos y B 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. N° 26, chocó, Colombia. 28-41p.

- Ramírez H C, J J Vargas H y J López U (2005) Distribución y conservación de las poblaciones naturales de *Pinus greggii*. Acta botánica mexicana 72: 1-16.
- Ramírez J A , Zapata D C M , León P D J , González, H I M (2007) Caída de hojarasca y retorno de nutrientes en bosques montanos andinos de Piedras Blancas, Antioquia, Colombia. Interciencia. 32:303-311.
- Rentería L I y A A García (1997) Las coníferas de la Reserva de la Biosfera “La Michilía”, Durango, México. Madera y Bosques 3(1):53-70.
- Reyes C S A (2010) Dinámica de la caída de hojarasca y deposición de carbono en un bosque natural de *Pinus cembroides* Zucc., en Arteaga, Coahuila. Tesis de Licenciatura en Ingeniero Forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 65 p
- Robert M F (1997) Notas sobre estudio ecológico y Fitogeográfico de los bosques de *Pinus cembroides* Zucc. en México. Ciencia Forestal: Dirección general de investigación y capacitación forestal. 10(02); 49-58
- Salisbury F B, C W Ross (1994) Difusión, termodinámica y potencial hídrico. In: Fisiología Vegetal. F Salisbury, C Ross (eds). Grupo Editorial Iberoamérica, S.A de C.V. México, D.F. pp: 29-46.
- 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 pp.
- Santa Regina I (2001) Litter fall, decomposition and nutrient release in three semi-arid forests of the Duero basin, Spain. Forestry 74(4): 347-358.
- Santa Regina I y J F Gallardo. 1989. Ciclos biogeoquímicos en bosques de la Sierra de Béjar (provincia de salamanca). Options Méditerranéennes–Série Séminaires 3: 147-149.

- Santa Regina R, J F Gallardo (1985) Producción de hojarasca en tres bosques de la sierra de Béjar. (Salamanca). *Mediterránea Ser. Biol.*, n.º 8. 89-101 p.
- SAS® Software Inc (1989) Statistical Analysis System SAS/STAT User's Guide. Version 9.1, Cary, N.C.
- Vitousek P M, D R Turner, Parton W J P, Sanford R L (1994) Litter decomposition on the Mauna Loa environmental matrix, Hawaii: patterns, mechanisms, and models. *Ecology* 72:418-429.
- Walker R B (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.
- Waring R H y S W Running (1998) *Forest ecosystems. Analysis at multiple scales*. Academic Press, San Diego.
- Xiaoniu X, E Hirata, 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.
- Zapata C M, J A Ramírez, J D León, M I González (2007) Producción de hojarasca fina en bosques de *Quercus humboldtii*, *Pinus patula* y *Cupressus lusitánica* de Antioquia, Colombia. *Revista. Facultad. Nacional.de Agronomía*. 60:3371-3784.

9. ANEXOS

Anexo 1. Pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk para las deposiciones de macro y micronutrientes por fecha de colecta en plantaciones *Pinus cembriodes* Zucc. (*Pc*) y *Pinus greggii* Engelm. (*Pg*), en Los Lirios Arteaga, Coah.

Pruebas Estadísticas							
Colecta	especie	Variable	n	Shapiro – Wilk		Kolmogorov – Smirno	
				Estadístico	Pr	Estadístico	Pr
1	<i>Pc</i>	Ca	10	0.6719	0.0004	0.3252	0.0100
1	<i>Pc</i>	K	10	0.8351	0.0386	0.2765	0.0287
1	<i>Pc</i>	Mg	10	0.9814	0.9723	0.1121	0.1500
1	<i>Pc</i>	Cu	10	0.5522	0.0001	0.3661	0.0100
1	<i>Pc</i>	Fe	10	0.9645	0.8362	0.1527	0.1500
1	<i>Pc</i>	Mn	10	0.9872	0.9920	0.1116	0.1500
1	<i>Pc</i>	Zn	10	0.8528	0.0627	0.2570	0.0603
1	<i>Pg</i>	Ca	9	0.9197	0.3897	0.1923	0.1500
1	<i>Pg</i>	K	9	0.9573	0.7695	0.1489	0.1500
1	<i>Pg</i>	Mg	9	0.9789	0.9585	0.1072	0.1500
1	<i>Pg</i>	Cu	9	0.6808	0.0008	0.3263	0.0100
1	<i>Pg</i>	Fe	9	0.9553	0.7484	0.1305	0.1500
1	<i>Pg</i>	Mn	9	0.8351	0.0509	0.2070	0.1500
1	<i>Pg</i>	Zn	9	0.5532	0.0001	0.4534	0.0100
2	<i>Pc</i>	Ca	10	0.9127	0.3003	0.2517	0.0723
2	<i>Pc</i>	K	10	0.9343	0.4914	0.1786	0.1500
2	<i>Pc</i>	Mg	10	0.8869	0.1564	0.2378	0.1062
2	<i>Pc</i>	Cu	10	0.9583	0.7659	0.1588	0.1500
2	<i>Pc</i>	Fe	10	0.9418	0.5737	0.1657	0.1500
2	<i>Pc</i>	Mn	10	0.9344	0.4928	0.2081	0.1500
2	<i>Pc</i>	Zn	10	0.8656	0.0887	0.2425	0.0929
2	<i>Pg</i>	Ca	10	0.8517	0.0609	0.2359	0.1136
2	<i>Pg</i>	K	10	0.8980	0.2082	0.2384	0.1040
2	<i>Pg</i>	Mg	10	0.9499	0.6675	0.1546	0.1500
2	<i>Pg</i>	Cu	10	0.5108	0.0001	0.4295	0.0100
2	<i>Pg</i>	Fe	10	0.9653	0.8439	0.1424	0.1500
2	<i>Pg</i>	Mn	10	0.9585	0.7691	0.1705	0.1500
2	<i>Pg</i>	Zn	10	0.7976	0.0136	0.2486	0.0793
3	<i>Pc</i>	Ca	9	0.9127	0.3350	0.1672	0.1500
3	<i>Pc</i>	K	9	0.9655	0.8536	0.1336	0.1500
3	<i>Pc</i>	Mg	9	0.7659	0.0083	0.2896	0.0280
3	<i>Pc</i>	Cu	9	0.8594	0.0945	0.2127	0.1500

Continuación...							
3	<i>Pc</i>	Fe	9	0.9812	0.9700	0.4943	0.1500
3	<i>Pc</i>	Mn	9	0.9187	0.3817	0.1879	0.1500
3	<i>Pc</i>	Zn	9	0.9585	0.7820	0.2241	0.1500
3	<i>Pg</i>	Ca	10	0.8088	0.0185	0.2150	0.1500
3	<i>Pg</i>	K	10	0.9557	0.7361	0.1284	0.1500
3	<i>Pg</i>	Mg	10	0.8519	0.0611	0.2919	0.0168
3	<i>Pg</i>	Cu	10	0.5330	0.0001	0.3753	0.0100
3	<i>Pg</i>	Fe	10	0.9361	0.5110	0.1620	0.1500
3	<i>Pg</i>	Mn	10	0.8501	0.0583	0.2859	0.0207
3	<i>Pg</i>	Zn	10	0.7455	0.0031	0.3086	0.0100
4	<i>Pc</i>	Ca	10	0.7992	0.0142	0.2546	0.0659
4	<i>Pc</i>	K	10	0.9761	0.9412	0.1279	0.1500
4	<i>Pc</i>	Mg	10	0.9489	0.6561	0.2088	0.1500
4	<i>Pc</i>	Cu	10	0.7486	0.0034	0.2843	0.0217
4	<i>Pc</i>	Fe	10	0.9387	0.5390	0.1788	0.1500
4	<i>Pc</i>	Mn	10	0.8288	0.0323	0.2603	0.0530
4	<i>Pc</i>	Zn	10	0.9120	0.2949	0.1675	0.1500
4	<i>Pc</i>	Ca	10	0.9120	0.2949	0.1675	0.1500
4	<i>Pg</i>	K	10	0.9494	0.6615	0.1600	0.1500
4	<i>Pg</i>	Mg	10	0.8900	0.1695	0.2734	0.0332
4	<i>Pg</i>	Cu	10	0.7486	0.0034	0.2843	0.0217
4	<i>Pg</i>	Fe	10	0.9387	0.5390	0.1788	0.1500
4	<i>Pg</i>	Mn	10	0.9374	0.5247	0.1342	0.1500
4	<i>Pg</i>	Zn	10	0.9120	0.2949	0.1675	0.1500
5	<i>Pc</i>	Ca	9	0.5800	0.0001	0.3762	0.0100
5	<i>Pc</i>	K	9	0.8401	0.0578	0.2589	0.0813
5	<i>Pc</i>	Mg	9	0.8227	0.0370	0.2870	0.0315
5	<i>Pc</i>	Cu	9	0.9387	0.5678	0.1553	0.1500
5	<i>Pc</i>	Fe	9	0.9349	0.5292	0.1703	0.1500
5	<i>Pc</i>	Mn	9	0.9687	0.8836	0.1283	0.1500
5	<i>Pc</i>	Zn	9	0.9115	0.3265	0.1797	0.1500
5	<i>Pg</i>	Ca	10	0.8613	0.0790	0.1929	0.1500
5	<i>Pg</i>	K	10	0.8955	0.1952	0.1741	0.1500
5	<i>Pg</i>	Mg	10	0.9098	0.2795	0.1603	0.1500
5	<i>Pg</i>	Cu	10	0.9453	0.6129	0.1554	0.1500
5	<i>Pg</i>	Fe	10	0.8262	0.0301	0.2394	0.1000
5	<i>Pg</i>	Mn	10	0.8481	0.0552	0.2394	0.0999
5	<i>Pg</i>	Zn	10	0.8723	0.1064	0.2741	0.0323
6	<i>Pc</i>	Ca	8	0.9378	0.5893	0.1719	0.1500
6	<i>Pc</i>	K	8	0.6690	0.0010	0.3948	0.0100
6	<i>Pc</i>	Mg	8	0.8458	0.0863	0.3248	0.0141
6	<i>Pc</i>	Cu	8	0.9259	0.4791	0.1889	0.1500

Continuación...							
6	<i>Pc</i>	Fe	8	0.6935	0.0019	0.3397	0.0100
6	<i>Pc</i>	Mn	8	0.8849	0.2095	0.1971	0.1500
6	<i>Pc</i>	Zn	8	0.8688	0.1466	0.2283	0.1500
6	<i>Pg</i>	Ca	10	0.8765	0.1190	0.1989	0.1500
6	<i>Pg</i>	K	10	0.9403	0.5567	0.2215	0.1500
6	<i>Pg</i>	Mg	10	0.9071	0.2614	0.2649	0.0453
6	<i>Pg</i>	Cu	10	0.7657	0.0055	0.2416	0.0950
6	<i>Pg</i>	Fe	10	0.9337	0.4851	0.1778	0.1500
6	<i>Pg</i>	Mn	10	0.9618	0.8059	0.1424	0.1500
6	<i>Pg</i>	Zn	10	0.8704	0.1010	0.2381	0.1049
7	<i>Pc</i>	Ca	9	0.7903	0.0158	0.2643	0.0697
7	<i>Pc</i>	K	9	0.8775	0.1478	0.2195	0.1500
7	<i>Pc</i>	Mg	9	0.9673	0.8705	0.1600	0.1500
7	<i>Pc</i>	Cu	9	0.9025	0.2671	0.2081	0.1500
7	<i>Pc</i>	Fe	9	0.8729	0.1321	0.2500	0.1008
7	<i>Pc</i>	Mn	9	0.9262	0.4458	0.1576	0.1500
7	<i>Pc</i>	Zn	9	0.9422	0.6049	0.1497	0.1500
7	<i>Pg</i>	Ca	9	0.7895	0.0155	0.2617	0.0752
7	<i>Pg</i>	K	9	0.8482	0.0711	0.2237	0.1500
7	<i>Pg</i>	Mg	9	0.8809	0.1606	0.2521	0.0959
7	<i>Pg</i>	Cu	9	0.7662	0.0084	0.3409	0.0100
7	<i>Pg</i>	Fe	9	0.8266	0.0408	0.2765	0.0458
7	<i>Pg</i>	Mn	9	0.9710	0.9034	0.1442	0.1500
7	<i>Pg</i>	Zn	9	0.8322	0.0472	0.1972	0.1500
8	<i>Pc</i>	Ca	9	0.7310	0.0033	0.3067	0.0158
8	<i>Pc</i>	K	9	0.8606	0.0973	0.2542	0.0913
8	<i>Pc</i>	Mg	9	0.8319	0.0469	0.2915	0.0254
8	<i>Pc</i>	Cu	9	0.6167	0.0002	0.3354	0.0100
8	<i>Pc</i>	Fe	9	0.8403	0.0582	0.2660	0.0661
8	<i>Pc</i>	Mn	9	0.9033	0.2716	0.2128	0.1500
8	<i>Pc</i>	Zn	9	0.9599	0.7975	0.1514	0.1500
8	<i>Pg</i>	Ca	9	0.8577	0.0905	0.1904	0.1500
8	<i>Pg</i>	K	9	0.8787	0.1521	0.1952	0.1500
8	<i>Pg</i>	Mg	9	0.9782	0.9542	0.1214	0.1500
8	<i>Pg</i>	Cu	9	0.7178	0.0023	0.2706	0.0561
8	<i>Pg</i>	Fe	9	0.9459	0.6447	0.1554	0.1500
8	<i>Pg</i>	Mn	9	0.8223	0.0366	0.2649	0.0683
8	<i>Pg</i>	Zn	9	0.9519	0.7105	0.1758	0.1500
9	<i>Pc</i>	Ca	8	0.9190	0.4217	0.1960	0.1500
9	<i>Pc</i>	K	8	0.9595	0.8055	0.1902	0.1500
9	<i>Pc</i>	Mg	8	0.7981	0.0273	0.2421	0.1500
9	<i>Pc</i>	Cu	8	0.7816	0.0181	0.2685	0.0879

Continuación...							
9	<i>Pc</i>	Fe	8	0.9399	0.6105	0.1466	0.1500
9	<i>Pc</i>	Mn	8	0.8867	0.2180	0.2253	0.1500
9	<i>Pc</i>	Zn	8	0.9569	0.7797	0.1484	0.1500
9	<i>Pg</i>	Ca	10	0.7959	0.0129	0.2768	0.0284
9	<i>Pg</i>	K	10	0.8795	0.1288	0.2522	0.0712
9	<i>Pg</i>	Mg	10	0.9233	0.3854	0.1918	0.1500
9	<i>Pg</i>	Cu	10	0.6579	0.0003	0.3648	0.0100
9	<i>Pg</i>	Fe	10	0.9609	0.7961	0.1208	0.1500
9	<i>Pg</i>	Mn	10	0.6953	0.0008	0.3012	0.0109
9	<i>Pg</i>	Zn	10	0.9433	0.5907	0.1261	0.1500
10	<i>Pc</i>	Ca	8	0.9035	0.3103	0.2259	0.1500
10	<i>Pc</i>	K	8	0.8991	0.2835	0.2575	0.1179
10	<i>Pc</i>	Mg	8	0.9119	0.3676	0.1689	0.1500
10	<i>Pc</i>	Cu	8	0.8836	0.2037	0.2694	0.0860
10	<i>Pc</i>	Fe	8	0.9400	0.6108	0.1873	0.1500
10	<i>Pc</i>	Mn	8	0.9446	0.6573	0.1989	0.1500
10	<i>Pc</i>	Zn	8	0.9601	0.8114	0.1739	0.1500
10	<i>Pg</i>	Ca	10	0.7905	0.0111	0.2875	0.0197
10	<i>Pg</i>	K	10	0.8862	0.1535	0.2415	0.0953
10	<i>Pg</i>	Mg	10	0.8838	0.1443	0.2285	0.1424
10	<i>Pg</i>	Cu	10	0.5553	0.0001	0.3855	0.0100
10	<i>Pg</i>	Fe	10	0.9071	0.2619	0.2245	0.1500
10	<i>Pg</i>	Mn	10	0.8591	0.0744	0.1871	0.1500
10	<i>Pg</i>	Zn	10	0.9140	0.3093	0.1689	0.1500
11	<i>Pc</i>	Ca	8	0.8550	0.1071	0.2660	0.0930
11	<i>Pc</i>	K	8	0.9644	0.8506	0.1902	0.1500
11	<i>Pc</i>	Mg	8	0.9059	0.3259	0.1852	0.1500
11	<i>Pc</i>	Cu	8	0.9691	0.8906	0.1455	0.1500
11	<i>Pc</i>	Fe	8	0.8984	0.2798	0.2161	0.1500
11	<i>Pc</i>	Mn	8	0.9400	0.6114	0.2172	0.1500
11	<i>Pc</i>	Zn	8	0.8926	0.2473	0.1924	0.1500
11	<i>Pg</i>	Ca	9	0.8776	0.1481	0.2215	0.1500
11	<i>Pg</i>	K	9	0.9534	0.7274	0.1683	0.1500
11	<i>Pg</i>	Mg	9	0.9304	0.4847	0.2338	0.1500
11	<i>Pg</i>	Cu	9	0.6861	0.0010	0.2754	0.0473
11	<i>Pg</i>	Fe	9	0.9161	0.3609	0.2368	0.1498
11	<i>Pg</i>	Mn	9	0.9442	0.6272	0.2062	0.1500
11	<i>Pg</i>	Zn	9	0.8951	0.2251	0.2541	0.0917
12	<i>Pc</i>	Ca	8	0.8760	0.1723	0.2650	0.0950
12	<i>Pc</i>	K	8	0.9848	0.9827	0.1317	0.1500
12	<i>Pc</i>	Mg	8	0.9251	0.4729	0.1871	0.1500
12	<i>Pc</i>	Cu	8	0.9535	0.7461	0.1632	0.1500

Continuación...							
12	<i>Pc</i>	Fe	8	0.8942	0.2560	0.2640	0.0972
12	<i>Pc</i>	Mn	8	0.8984	0.2795	0.2726	0.0795
12	<i>Pc</i>	Zn	8	0.9585	0.7960	0.2137	0.1500
12	<i>Pg</i>	Ca	9	0.7860	0.0141	0.2829	0.0371
12	<i>Pg</i>	K	9	0.9253	0.4379	0.2061	0.1500
12	<i>Pg</i>	Mg	9	0.9805	0.9667	0.1464	0.1500
12	<i>Pg</i>	Cu	9	0.7291	0.0031	0.3432	0.0100
12	<i>Pg</i>	Fe	9	0.9595	0.7927	0.1648	0.1500
12	<i>Pg</i>	Mn	9	0.9544	0.7387	0.1611	0.1500
12	<i>Pg</i>	Zn	9	0.7965	0.0186	0.2637	0.0709

Valores P en negritas ($P < 0.05$) indican que no hay homogeneidad de varianza.

Anexo 2. Pruebas de medias de rangos de K-W para la concentración de Calcio (mg g^{-1} ps) entre colectas, en plantaciones *Pinus cembroides* Zucc. (*Pc*) y *Pinus greggii* Engelm. (*Pg*), en Los Lirios, Arteaga, Coah.

Especie	Colecta	n	Media	Desviación Estándar	Mediana	Rango	Grupos (H=37.14) (P=0.0001)				
<i>Pc</i>	9	8	5.85	0.78	5.88	20.88	A				
<i>Pc</i>	6	8	6.36	0.83	6.46	31.00	A	B			
<i>Pc</i>	8	9	6.70	2.05	6.20	32.89	A	B			
<i>Pc</i>	10	8	6.80	1.56	6.41	40.00	A	B	C		
<i>Pc</i>	5	9	8.17	5.33	6.67	41.44	A	B	C		
<i>Pc</i>	3	9	7.91	2.21	8.04	55.00		B	C	D	
<i>Pc</i>	1	10	7.92	2.20	7.13	55.20		B	C	D	
<i>Pc</i>	11	8	8.16	1.43	8.12	66.00			C	D	
<i>Pc</i>	2	10	8.83	2.49	8.53	69.70					D
<i>Pc</i>	7	9	8.83	2.40	8.16	70.00					D
<i>Pc</i>	4	10	8.75	1.89	8.39	70.70					D
<i>Pc</i>	12	8	9.41	1.66	9.49	82.25					D

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

Especie	Colecta	n	Media	Desviación Estándar	Mediana	Rango	Grupos (H=20.33) (P=0.041)				
<i>Pg</i>	11	9	5.93	2.05	5.31	32.11	A				
<i>Pg</i>	12	9	6.60	2.23	5.87	40.67	A	B			
<i>Pg</i>	10	10	7.74	4.38	5.71	42.30	A	B			
<i>Pg</i>	9	10	8.32	5.42	6.29	44.50	A	B	C		
<i>Pg</i>	8	9	10.14	6.06	8.05	58.33	A	B	C	D	
<i>Pg</i>	2	10	9.34	4.19	7.56	58.90	A	B	C	D	
<i>Pg</i>	6	10	10.52	6.08	10.42	59.40	A	B	C	D	
<i>Pg</i>	7	9	12.86	7.97	16.31	67.11		B	C	D	
<i>Pg</i>	4	10	11.18	4.92	12.28	68.40		B	C	D	
<i>Pg</i>	3	10	11.01	4.73	9.20	72.10			C	D	
<i>Pg</i>	5	10	11.55	5.03	10.17	73.40			C	D	
<i>Pg</i>	1	9	12.63	6.13	12.36	77.33					D

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

Colectas: (1) 7-Mar-09, (2) 31-Mar-09, (3) 5-May-09, (4) 5-Jun-09, (5) 7-Jul-09, (6) 9-Ago-09, (7) 6-Sep-09, (8) 9-Oct-09, (9) 2-Nov-09, (10) 7-Dic-09, (11) 6-Ene-10 y (12) 6-Feb-10.

Anexo 3. Pruebas de medias de rangos de K-W para la concentración de Potasio (mg g^{-1} ps) entre colectas, en plantaciones *Pinus cembroides* Zucc. (*Pc*) y *Pinus greggii* Engelm. (*Pg*), en Los Lirios Arteaga, Coah.

Especie	Colecta	n	Media	Desviación Estándar	Mediana	Rango	Grupos (H=52.69) (P<0.0001)							
<i>Pc</i>	8	9	3.30	0.59	3.11	20.78	A							
<i>Pc</i>	9	8	3.60	0.50	3.65	29.50	A							
<i>Pc</i>	12	8	3.51	0.91	3.44	31.50	A							
<i>Pc</i>	11	8	3.74	0.94	3.77	39.50	A	B						
<i>Pc</i>	5	9	3.87	0.65	3.88	40.78	A	B						
<i>Pc</i>	3	9	3.96	0.55	3.98	44.00	A	B	C					
<i>Pc</i>	10	8	3.97	0.69	3.84	45.25	A	B	C					
<i>Pc</i>	4	10	4.39	0.33	4.42	60.80		B	C	D				
<i>Pc</i>	6	8	4.58	0.77	4.78	72.13			C	D	E			
<i>Pc</i>	2	10	4.75	0.34	4.73	75.90				D	E			
<i>Pc</i>	7	9	4.81	0.50	4.78	80.11				D	E			
<i>Pc</i>	1	10	5.12	0.79	5.25	89.00					E			

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

Especie	Colecta	n	Media	Desviación Estándar	Mediana	Rango	Grupos (H=31.57) (P=0.0009)							
<i>Pg</i>	11	9	1.68	0.39	1.73	30.33	A							
<i>Pg</i>	7	9	1.90	0.93	1.58	39.89	A	B						
<i>Pg</i>	10	10	1.93	0.60	1.76	41.30	A	B						
<i>Pg</i>	4	10	1.98	0.24	2.02	46.50	A	B						
<i>Pg</i>	6	10	2.01	0.50	1.98	47.30	A	B						
<i>Pg</i>	12	9	2.06	0.70	1.79	49.00	A	B						
<i>Pg</i>	3	9	2.23	0.45	2.23	61.00		B	C					
<i>Pg</i>	8	9	2.29	0.79	2.20	61.44		B	C					
<i>Pg</i>	2	10	2.36	0.41	2.18	67.90		B	C					
<i>Pg</i>	1	9	2.69	0.66	2.66	81.00				C				
<i>Pg</i>	5	10	2.75	0.74	2.65	81.90				C				
<i>Pg</i>	9	10	2.83	0.74	2.68	85.60				C				

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

Colectas: (1) 7-Mar-09, (2) 31-Mar-09, (3) 5-May-09, (4) 5-Jun-09, (5) 7-Jul-09, (6) 9-Ago-09, (7) 6-Sep-09, (8) 9-Oct-09, (9) 2-Nov-09, (10) 7-Dic-09, (11) 6-Ene-10 y (12) 6-Feb-10.

Anexo 4. Pruebas de medias de rangos de K-W para la concentración de Magnesio (mg g^{-1} ps) entre colectas, en plantaciones *Pinus cembroides* Zucc. (*Pc*) y *Pinus greggii* Engelm. (*Pg*), en Los Lirios, Arteaga, Coah.

Especie	Colecta	n	Media	Desviación Estándar	Mediana	Rango	Grupos (H=25.95) (P=0.0066)		
<i>Pc</i>	11	8	1.21	0.14	1.19	36.38	A		
<i>Pc</i>	8	9	1.23	0.18	1.16	37.44	A		
<i>Pc</i>	10	8	1.22	0.12	1.23	38.63	A		
<i>Pc</i>	12	8	1.23	0.24	1.21	39.50	A	B	
<i>Pc</i>	3	9	1.25	0.18	1.17	41.00	A	B	
<i>Pc</i>	9	8	1.28	0.22	1.22	45.38	A	B	
<i>Pc</i>	1	10	1.28	0.18	1.30	49.00	A	B	
<i>Pc</i>	5	9	1.40	0.32	1.35	58.33	A	B	C
<i>Pc</i>	6	8	1.38	0.13	1.45	65.00	A	B	C
<i>Pc</i>	4	10	1.41	0.17	1.44	67.50		B	C
<i>Pc</i>	2	10	1.46	0.20	1.55	76.30			C
<i>Pc</i>	7	9	1.48	0.13	1.48	79.22			C

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

Especie	Colecta	n	Media	Desviación Estándar	Mediana	Rango	Grupos (H=26.29) (P=0.0059)		
<i>Pg</i>	11	9	1.68	0.39	1.73	30.33	A		
<i>Pg</i>	7	9	1.90	0.93	1.58	39.89	A	B	
<i>Pg</i>	10	10	1.93	0.60	1.76	41.30	A	B	
<i>Pg</i>	4	10	1.98	0.24	2.02	46.50	A	B	
<i>Pg</i>	6	10	2.01	0.50	1.98	47.30	A	B	
<i>Pg</i>	12	9	2.06	0.70	1.79	49.00	A	B	
<i>Pg</i>	3	9	2.23	0.45	2.23	61.00		B	C
<i>Pg</i>	8	9	2.29	0.79	2.20	61.44		B	C
<i>Pg</i>	2	10	2.36	0.41	2.18	67.90		B	C
<i>Pg</i>	1	9	2.69	0.66	2.66	81.00			C
<i>Pg</i>	5	10	2.75	0.74	2.65	81.90			C
<i>Pg</i>	9	10	2.83	0.74	2.68	85.60			C

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

Colectas: (1) 7-Mar-09, (2) 31-Mar-09, (3) 5-May-09, (4) 5-Jun-09, (5) 7-Jul-09, (6) 9-Ago-09, (7) 6-Sep-09, (8) 9-Oct-09, (9) 2-Nov-09, (10) 7-Dic-09, (11) 6-Ene-10 y (12) 6-Feb-10.

Anexo 5. Pruebas de medias de rangos de K-W para la concentración de Cobre (mg kg^{-1} ps) entre colectas, en plantaciones *Pinus cembroides* Zucc. (*Pg*) y *Pinus greggii* Engelm. (*Pc*), en Los Lirios, Arteaga, Coah.

Especie	Colecta	n	Media	Desviación Estándar	Mediana	Grupos (H=18.49) (P=0.0709)
<i>Pc</i>	1	10	0.06	0.05	0.04	A
<i>Pc</i>	2	10	0.03	0.01	0.03	A
<i>Pc</i>	3	9	0.04	0.02	0.04	A
<i>Pc</i>	4	10	0.05	0.03	0.04	A
<i>Pc</i>	5	9	0.06	0.03	0.05	A
<i>Pc</i>	6	8	0.03	0.01	0.04	A
<i>Pc</i>	7	9	0.04	0.01	0.03	A
<i>Pc</i>	8	9	0.09	0.11	0.06	A
<i>Pc</i>	9	8	0.06	0.04	0.05	A
<i>Pc</i>	10	8	0.05	0.02	0.05	A
<i>Pc</i>	11	8	0.03	0.01	0.03	A
<i>Pc</i>	12	8	0.04	0.02	0.04	A

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

Especie	Colecta	n	Media	Desviación Estándar	Mediana	Rango	Grupos (H=34.86) (P=0.0003)
<i>Pg</i>	7	9	0.16	0.18	0.06	37.67	A
<i>Pg</i>	6	10	0.13	0.10	0.10	37.95	A
<i>Pg</i>	8	9	0.17	0.17	0.11	42.17	A
<i>Pg</i>	9	10	0.15	0.12	0.13	45.10	A
<i>Pg</i>	10	10	0.22	0.30	0.12	47.30	A
<i>Pg</i>	12	9	0.19	0.18	0.12	50.00	A
<i>Pg</i>	5	10	0.16	0.08	0.15	52.10	A
<i>Pg</i>	11	9	0.23	0.23	0.14	56.00	A B
<i>Pg</i>	4	10	0.27	0.24	0.22	65.30	A B C
<i>Pg</i>	3	10	0.46	0.58	0.31	84.00	B C
<i>Pg</i>	1	9	0.44	0.41	0.27	85.89	B C
<i>Pg</i>	2	10	0.69	1.05	0.37	90.70	C

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

Colectas: (1) 7-Mar-09, (2) 31-Mar-09, (3) 5-May-09, (4) 5-Jun-09, (5) 7-Jul-09, (6) 9-Ago-09, (7) 6-Sep-09, (8) 9-Oct-09, (9) 2-Nov-09, (10) 7-Dic-09, (11) 6-Ene-10 y (12) 6-Feb-10.

Anexo 6. Pruebas de medias de rangos de K-W para la concentración de Hierro (mg kg⁻¹) entre colectas, en plantaciones *Pinus cembroides* Zucc. (*Pc*) y *Pinus greggii* Engelm. (*Pg*), en Los Lirios, Arteaga, Coah.

Especie	Colecta	n	Media	Desviación Estándar	Mediana	Rango	Grupos (H=23.28) (P=0.0161)				
<i>Pc</i>	11	8	1.21	0.57	1.05	33.25	A				
<i>Pc</i>	4	10	1.27	0.38	1.24	38.00	A				
<i>Pc</i>	10	8	1.33	0.37	1.27	41.56	A				
<i>Pc</i>	6	8	2.17	2.12	1.06	44.63	A	B			
<i>Pc</i>	12	8	1.47	0.7	1.22	46.56	A	B	C		
<i>Pc</i>	5	9	1.45	0.63	1.52	47.00	A	B	C		
<i>Pc</i>	9	8	1.51	0.59	1.49	50.13	A	B	C		
<i>Pc</i>	2	10	1.49	0.35	1.43	50.4	A	B	C		
<i>Pc</i>	7	9	1.65	0.36	1.76	59.44	A	B	C	D	
<i>Pc</i>	3	9	1.96	0.62	1.96	71.00		B	C	D	
<i>Pc</i>	8	9	2.25	1.14	2.00	74.22			C	D	
<i>Pc</i>	1	10	2.15	0.63	2.17	79.3					D

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

Especie	Colecta	n	Media	Desviación Estándar	Mediana	Grupos (H=16.63) (P=0.1193)					
<i>Pg</i>	1	9	3.45	1.62	3.42	A					
<i>Pg</i>	2	10	4.04	1.33	3.80	A					
<i>Pg</i>	3	10	3.36	1.43	3.59	A					
<i>Pg</i>	4	10	3.08	1.40	2.87	A					
<i>Pg</i>	5	10	2.34	1.09	2.20	A					
<i>Pg</i>	6	10	2.70	1.08	2.53	A					
<i>Pg</i>	7	9	2.43	1.57	1.92	A					
<i>Pg</i>	8	9	2.53	0.99	2.66	A					
<i>Pg</i>	9	10	2.58	1.26	2.37	A					
<i>Pg</i>	10	10	3.57	1.98	3.90	A					
<i>Pg</i>	11	9	2.91	0.75	2.87	A					
<i>Pg</i>	12	9	3.91	1.50	4.04	A					

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

Colectas: (1) 7-Mar-09, (2) 31-Mar-09, (3) 5-May-09, (4) 5-Jun-09, (5) 7-Jul-09, (6) 9-Ago-09, (7) 6-Sep-09, (8) 9-Oct-09, (9) 2-Nov-09, (10) 7-Dic-09, (11) 6-Ene-10 y (12) 6-Feb-10.

Anexo 7. Pruebas de medias de rangos de K-W para la concentración de Manganeso (mg kg^{-1} ps) entre colectas, en plantaciones *Pinus cembroides* Zucc. (*Pc*) y *Pinus greggii* Engelm. (*Pg*), en Los Lirios, Arteaga, Coah.

Especie	Colecta	n	Media	Desviación Estándar	Mediana	Grupos (H=4.61) (P=0.9487)
<i>Pc</i>	1	10	83.26	22.7	84.77	A
<i>Pc</i>	2	10	90.9	24.47	92.5	A
<i>Pc</i>	3	9	79.58	27.93	78.15	A
<i>Pc</i>	4	10	82.87	29.97	79.22	A
<i>Pc</i>	5	9	80.42	28.68	83.48	A
<i>Pc</i>	6	8	93.6	42.53	80.33	A
<i>Pc</i>	7	9	89.92	24.83	90.05	A
<i>Pc</i>	8	9	86.58	31.42	73.85	A
<i>Pc</i>	9	8	80.12	34.97	86.95	A
<i>Pc</i>	10	8	78.35	23.72	72.81	A
<i>Pc</i>	11	8	103.66	43.37	92.09	A
<i>Pc</i>	12	8	99.61	44.07	87.95	A

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

Especie	Colecta	n	Media	Desviación Estándar	Mediana	Grupos (H=34.86) (P=0.5030)
<i>Pg</i>	1	9	91.24	44.55	80.29	A
<i>Pg</i>	2	10	62.91	23.06	62.64	A
<i>Pg</i>	3	10	84.04	43.48	62.42	A
<i>Pg</i>	4	10	72.62	33.78	75.57	A
<i>Pg</i>	5	10	87.39	37.06	73.33	A
<i>Pg</i>	6	10	77.03	31.41	69.91	A
<i>Pg</i>	7	9	99.9	51.75	105.29	A
<i>Pg</i>	8	9	91.01	43.22	76.21	A
<i>Pg</i>	9	10	68.59	40.92	47.16	A
<i>Pg</i>	10	10	66.14	43.00	51.20	A
<i>Pg</i>	11	9	49.81	15.47	45.84	A
<i>Pg</i>	12	9	51.53	17.35	53.27	A

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

Colectas: (1) 7-Mar-09, (2) 31-Mar-09, (3) 5-May-09, (4) 5-Jun-09, (5) 7-Jul-09 (6) 9-Ago-09 (7) 6-Sep-09 (8) 9-Oct-09 (9) 2-Nov-09 (10) 7-Dic-09 (11) 6-Ene-10 (12) 6-Feb-10.

Anexo 8. Pruebas de medias de rangos de K-W para la concentración de Zinc (mg kg^{-1} ps) entre colectas en plantaciones *Pinus cembroides* Zucc. (*Pc*) y *Pinus greggii* Engelm. (*Pg*), en Los Lirios Arteaga, Coah.

Especie	Colecta	n	Media	Desviación Estándar	Mediana	Rango	Grupos (H=90.43) (P<0.0001)			
<i>Pc</i>	1	10	54.88	10.63	54.28	5.60	A			
<i>Pc</i>	7	9	96.92	13.69	96.59	15.00	A B			
<i>Pc</i>	5	9	173.90	43.49	160.15	33.78	B C			
<i>Pc</i>	6	8	185.65	51.43	205.45	36.38	B C			
<i>Pc</i>	4	10	222.00	87.59	201.55	41.90	B C D			
<i>Pc</i>	2	10	241.38	92.06	214.12	44.80	C D			
<i>Pc</i>	9	8	423.40	69.22	427.46	67.25	D E			
<i>Pc</i>	12	8	451.00	145.64	487.64	70.25	D E F			
<i>Pc</i>	10	8	514.73	121.23	525.45	77.63	E F			
<i>Pc</i>	11	8	525.09	86.93	537.47	79.75	E F			
<i>Pc</i>	3	9	748.07	343.63	598.32	87.44	E F			
<i>Pc</i>	8	9	1122.90	430.27	1048.16	96.89	F			

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

Especie	Colecta	n	Media	Desviación Estándar	Mediana	Rango	Grupos (H=93.57) (P<0.0001)			
<i>Pc</i>	1	9	39.19	30.50	30.33	10.11	A			
<i>Pc</i>	3	10	40.56	12.43	38.65	12.80	A B			
<i>Pc</i>	2	10	81.87	18.49	77.25	27.30	A B C			
<i>Pc</i>	4	10	110.34	27.74	113.79	40.90	B C D			
<i>Pc</i>	10	10	123.45	29.88	123.85	48.70	C D			
<i>Pc</i>	6	10	134.39	28.00	137.78	56.70	D			
<i>Pc</i>	5	10	147.62	17.39	142.33	64.80	D E			
<i>Pc</i>	9	10	152.48	36.49	146.32	65.80	D E			
<i>Pc</i>	11	9	208.38	40.21	220.15	92.44	E F			
<i>Pc</i>	7	9	221.30	74.16	194.99	92.56	E F			
<i>Pc</i>	8	9	231.49	56.62	214.16	96.67	F			
<i>Pc</i>	12	9	271.06	135.03	227.11	97.11	F			

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

Colectas: (1) 07-Mar-09, (2) 31-Mar-09, (3) 05-May-09, (4) 05-Jun-09, (5) 07-Jul-09, (6) 09-Ago-09, (7) 06-Sep-09, (8) 09-Oct-09, (9) 02-Nov-09, (10) 07-Dic-09, (11) 06-Ene-10 y (12) 06-Feb-10.

Anexo 9. Pruebas de medias de rango de K-W para la deposición de hojas en plantaciones de *Pinus cembroides* Zucc. (*Pc*) y *Pinus greggii* Engelm. (*Pg*) en Los Lirios, Arteaga, Coah.

Variable	Especie	N	Medias	D.E.	Medianas	Rangos	Grupos (H=10.51) (P=0.0012)
Hojas	<i>Pg</i>	180	8.47	5.9	7.02	198.28	A
Hojas	<i>Pc</i>	180	7.78	8.33	4.35	162.72	B

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

Anexo 10. Deposición mensual (kg ha^{-1}) y anual ($\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) de hojarasca en el componente hojas en plantaciones de *Pinus cembroides* Zucc. (*Pc*) y *Pinus greggii* Engelm. (*Pg*) en Los Lirios, Arteaga, Coah.

Fechas de colecta	<i>Pc</i>	%	<i>Pg</i>	%
1	178.14	97.37	38.9	78.45
2	205.55	98.87	98.55	95.49
3	86.89	92.80	145.04	96.16
4	45.89	88.56	121.17	95.38
5	81.37	98.02	91.61	94.43
6	144.07	96.98	89.73	95.64
7	32.80	94.15	30.92	98.38
8	38.00	93.56	39.80	95.95
9	37.32	88.19	90.62	89.35
10	20.91	99.34	102.11	98.66
11	32.10	93.47	84.77	95.85
12	33.01	95.45	83.35	96.13
Total Anual		1016.57		936.06

Colectas: (1) 7-Mar-09, (2) 31-Mar-09, (3) 5-May-09, (4) 5-Jun-09, (5) 7-Jul-09, (6) 9-Ago-09, (7) 6-Sep-09, (8) 9-Oct-09, (9) 2-Nov-09, (10) 7-Dic-09, (11) 6-Ene-10 y (12) 6-Feb-10.