

CAPTACIÓN DE CARBONO EN SUELOS ASOCIADOS A *Pinus greggii* Engelm. Y *Pinus oaxacana* Mirov. EN LA MIXTECA ALTA, OAXACA

CARBON SEQUESTRATION IN SOILS ASSOCIATED WITH *Pinus greggii* Engelm. AND *Pinus oaxacana* Mirov. IN THE HIGH MIXTECA, OAXACA

María López Ortiz¹, Reyna Belén Sánchez García¹, José Rafael Contreras Hinojosa², Adolfo Dagoberto Armenta Bojórquez³ y Jaime Alberto Félix Herrán⁴

Resumen

Se determinó la cantidad de hojarasca acumulada, la materia orgánica (MO) y el Carbono Orgánico (CO) en suelos asociados a trece procedencias de *Pinus greggii* Engelm. y ocho procedencias de *Pinus oaxacana* Mirov. en Tlacotepec Plumas (TP) y Magdalena Zahuatlán (MZ), Oaxaca, México. El contenido de hojarasca se obtuvo en sitios de muestreo de 0.25 m², recolectando todo el mantillo presente. En el mismo sitio de muestreo se abrió un perfil de 20 cm de profundidad, y se tomó una muestra de suelo, la cual se tamizó (< 2 mm) y se dejó secar por 24 h. Se le determinó el pH del extracto de pasta saturada y el % de materia orgánica (MO); el % de MO se multiplicó por 0.58 para convertirlo en Carbono Orgánico (CO). Para *P. greggii*, El Madroño acumuló más hojarasca en ambas comunidades (27.87 Mg ha⁻¹ y 21.85 Mg ha⁻¹, respectivamente); en TP, Tres lagunas acumuló mayor contenido de MO y CO (7.65% y 26.62%, respectivamente); mientras que en MZ, Jamé fue la que presentó mayor MO y CO (7.91% y 24.78%, respectivamente); para *P. oaxacana*, Yudolahuerta presentó la mayor acumulación de hojarasca en TP (10.57 Mg ha⁻¹), y en MZ fue Magdalena Zahuatlán (3.68 Mg ha⁻¹); mientras que el mayor contenido de MO se encontró en Magdalena Zahuatlán (6.99%) en TP y Los Molinos presentó el mayor contenido de CO (9.74%). Se presentó variación en cuanto a la concentración de CO entre localidades, especies y procedencias. **Palabras clave:** materia orgánica, sumidero de carbono, hojarasca, absorción de CO₂.

Abstract

The amount of litter accumulated, organic matter (MO) and organic carbon (CO) in soils associated to thirteen provenances of *Pinus greggii* Engelm. and eight provenances of *Pinus oaxacana* Mirov. at Tlacotepec Plumas (TP) and Magdalena Zahuatlán (MZ), Oaxaca, México were determined. The amount of litter was obtained in a sampling site of 0.25 m², gathering all the litter around. In the same sampling site, a profile of 20 cm of depth was opened in order to take a soil sample, which was sieved (< 2 mm) and dried for 24 h. Then the pH of the saturated paste extract and the % of organic matter (MO) were determined. The % of MO was multiplied by 0.58 to convert it into organic carbon (CO). For *P. greggii*, El Madroño accumulated more litter in both communities (27.87 Mg ha⁻¹ and 21.85 Mg ha⁻¹, respectively); at TP, Tres Lagunas accumulated the highest content of MO and CO (7.65% and 26.62%, respectively); while at MZ, Jamé showed higher amount of MO and CO (7.91% and 24.78%, respectively); For *P. oaxacana*, Yudolahuerta showed higher amount of litter at TP (10.57 Mg ha⁻¹), and at MZ it was Magdalena Zahuatlán (3.68 Mg ha⁻¹). The highest amount of MO was found at Magdalena Zahuatlán (6.99%) in TP and Los Molinos showed the highest amount of CO (9.74%). Variation in the concentration of CO between localities, species and provenances was found.

Key words: organic matter, carbon sink, litter, CO₂ absorption.

Introducción.

El clima de nuestro planeta lo determinan una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en la atmósfera, suelo y océano (Denman *et al.*, 2007). Cambio climático se refiere a la variación en el estado del clima y dicho cambio puede persistir por un periodo prolongado, normalmente décadas; este cambio puede deberse a procesos naturales internos o externos, como son: modulación de ciclos solares; erupciones

volcánicas; cambios antropogénicos persistentes en la composición atmosférica o cambios de uso del suelo (IPCC, 2014).

El cambio climático afecta a los bosques y viceversa, los dos están ligados; las variaciones en los patrones del clima (elevación de temperatura, alteración en los patrones de lluvia y otros eventos climáticos frecuentes y extremos) provocan estrés en el bosque; por otro lado, los bosques atrapan y almacenan

CO₂, teniendo un papel muy importante en la mitigación del cambio climático (Osman, 2013). La agricultura, silvicultura y otros usos del suelo (AFOLU, por sus siglas en inglés) son responsables de aproximadamente un cuarto (~10–12 GtCO₂ eq año⁻¹) de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) antropogénico, principalmente por la deforestación y la emisiones agrícolas del ganado, suelo y manejo de nutrimentos (Smith *et al.*, 2014).

El bosque desempeña un papel muy importante en el cambio climático y en las formas de mitigación del mismo, lo cual es un reto para el siglo XXI. Esto debido a que al reducir el potencial de mitigación del cambio climático de los bosques, se pierden muchos beneficios de los ecosistemas (Osman, 2013).

Las plantas durante la fotosíntesis, absorben el CO₂ y lo convierten en O₂, pero una parte del C queda inmovilizado en sus tejidos y otra parte regresa al suelo en forma de exudados. Por lo tanto, los bosques, que representan aproximadamente el 30% de la superficie terrestre (FAO, 2006), almacenan cerca de 45% del C en ecosistemas terrestres (Anderegg *et al.*, 2012).

A nivel global la biomasa forestal almacena 283 Gt de C en su biomasa, 38 Gt en madera muerta y 317 Gt en el suelo forestal (los primeros 30 cm) y la hojarasca. El contenido total de C en los ecosistemas forestales se estimó en 638 Gt para el 2005, cifra mayor que la concentración de C en la atmósfera (Osman, 2013).

Price *et al.* (2012) sugieren que la naturaleza y condición de los bosques es importante para el secuestro de carbono en el suelo y los procesos de almacenamiento. Sin embargo la deforestación puede reducir la capacidad del suelo forestal de almacenar CO₂ (Gorte & Sheikh, 2010).

México es un país megadiverso, por su diversidad de bosques y selvas, los cuales por sus servicios ambientales, regulan el ciclo hidrológico y la captura de carbono, entre otros beneficios (SEMARNAT, 2007). Aun cuando es del dominio público la

importancia de estos ecosistemas, la tasa de deforestación es de 155 mil ha al año en el periodo del 2005 al 2010 (SEGOB, 2014). La deforestación no solo implica la pérdida de cobertura vegetal, sino también el impacto al suelo, y los ciclos biogeoquímicos que se llevan a cabo en él, como la captación del C por parte de la materia orgánica del suelo (Félix-Herrán *et al.*, 2014).

Esta investigación pretende estimar la cantidad de carbono en suelos de plantaciones de *Pinus greggii* Engelm. y *Pinus oaxacana* Mirov. de diferentes procedencias, en dos comunidades de la región Mixteca del estado de Oaxaca, y así conocer si existe variación en cuanto a captura y almacenamiento de C en función de la especie.

Materiales y métodos.

Elección del sitio.

Las plantaciones de estudio se establecieron en 1997 en las localidades de Tlacotepec Plumas y Magdalena Zahuatlán, Oaxaca. Para determinar los sitios de muestreo se utilizó un muestreo simple aleatorio, tomando muestra de cuatro sitios por especie (Castillo, 2005).

Obtención de muestras de material vegetal (hojarasca).

Para determinar el contenido de hojarasca se delimitó un sitio de muestreo de 0.25 m², dentro del cual se colectó todo el mantillo (ramillas y hojarasca), se clasificó como: materia orgánica que se podía identificar y materia orgánica humificada. Las muestras se dejaron secar a la sombra y después se determinó el peso seco, el cual se extrapoló a 1 ha.

Obtención de muestras de suelo.

En el cuadrante donde se tomó la muestra de mantillo, se abrió un perfil con una profundidad de 20 cm, para *Pinus greggii* se abrieron 52 perfiles (13 procedencias y 4 sitios de muestreo) y para *Pinus oaxacana* se abrieron 32 perfiles (8 procedencias y 4 sitios de muestreo). Las muestras se secaron a la

Tabla 1. Cantidad de acículas (Mg ha⁻¹) (A) y carbono (Mg C ha⁻¹) (CA) de *P. greggii* Engelm. acumuladas por procedencia en las dos comunidades.

Procedencia	Tlacotepec Plumas		Magdalena Zahuatlán	
	A	CA	A	CA
Xichicoatlán	18.16f±2.0	10.53f±0.8	8.21g±2.0	4.76g±0.4
Puerto San Juan	17.01g±1.6	9.86g±1.0	7.25i±1.3	4.21i±0.3
El Piñón	19.06e±0.6	11.05e±0.1	10.93e±1.4	6.34e±0.2
Los Lirios	12.13j±1.0	7.03j±0.2	12.47d±1.3	7.23d±0.1
Com. Durango	22.18b±0.6	12.86b±0.4	8.39f±0.6	4.86f±0.6
Molango	20.35d±1.4	11.80d±0.7	20.53b±1.5	11.91b±0.4
Pto. Los Conejos	12.19i±0.4	7.07i±0.2	1.83m±0.8	1.06m±0.4
Laguna Atezca	16.92h±0.8	9.81h±0.2	7.48h±1.5	4.34h±0.3
El Madroño	27.87a±1.7	16.16a±0.2	21.85a±1.7	12.67a±0.3
Jamé	11.43k±1.3	6.62k±0.6	13.38c±1.3	7.76c±0.4
Santa Anita	11.08l±1.0	6.43l±0.2	5.19j±0.6	3.01j±0.4
Ej. 18 de marzo	9.97m±1.2	5.78m±0.1	5.07k±1.0	2.94k±0.2
Tres lagunas	21.38c±1.3	12.40c±0.4	4.20l±1.2	2.43l±0.3

*Letras diferentes entre columnas de la misma procedencia indican diferencias significativas entre el contenido de acículas, de acuerdo a la prueba de rangos múltiples de Tukey (p<0.05). El dato después del ± es el error estándar de la media.

sombra y se tamizaron (malla de 2 mm). A las muestras se les determinó el pH del extracto de pasta saturada (Soil Survey Staff, 2014) y el carbono orgánico (López, 2012) presente, mismo que se extrapola a una ha (Mg C ha⁻¹).

Cuantificación del C orgánico de muestras de suelo.

El contenido de materia orgánica de las muestras de suelo se determinó por el método AS-07 (NOM-021-RECNAT-2000), el cual se relacionó con el volumen de suelo contenido en 20 cm de profundidad por ha considerando una densidad aparente de 1.2 g cm⁻³ (2400 Mg de suelo ha⁻¹) (López, 2012); para calcular el Carbono orgánico se multiplicó el porcentaje obtenido de la materia orgánica se multiplicó por 0.58, que es el factor de conversión de materia orgánica a carbono orgánico (Pribyl, 2010).

Análisis estadístico.

Se utilizó un diseño en bloques completos al azar para cada especie, siendo los bloques las comunidades Tlacotepec Plumas y Magdalena Zahuatlán, y las procedencias de cada especie los tratamientos, es decir, para *Pinus greggii* se tendrían 13 procedencias y para *Pinus oaxacana* se tendrían 8 procedencias, con 12 repeticiones cada una. El análisis de varianza (ANDEVA) se realizó en el paquete estadístico SAS versión 9.0 (2002), y para la comparación de medias se utilizó la prueba de rangos múltiples de Tukey a un nivel de significancia de 0.05. Se comprobaron los supuestos básicos de normalidad con el estadístico de Shapiro-Wilk, y la homogeneidad de varianzas con la prueba de Brown y Forsythe.

Resultados y discusión.

Cantidad de hojarasca y C de la hojarasca.

Para ambas especies *Pinus greggii* Engelm. (Tabla 1) y *Pinus oaxacana* Mirov. (Tabla 2) se evaluó la cantidad de mantillo acumulada en el suelo, derivado de las ramillas y hojarasca, el monto obtenido se presenta como contenido de carbono (Mg C ha⁻¹).

Se encontró diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) entre el carbono acumulado en los suelos asociados a *P. greggii* en las dos comunidades, como se puede observar en la Tabla 1,

también se puede apreciar que la cantidad de C acumulado en los suelos fue mayor en Tlacotepec Plumas que en Magdalena Zahuatlán. También se encontró que la procedencia El Madroño fue la que acumuló mayor cantidad de acículas y de C en ambas comunidades, que fue de 27.87 Mg C ha⁻¹ y 16.16 Mg C ha⁻¹, respectivamente para Tlacotepec Plumas y de 21.85 Mg C ha⁻¹ y 12.67 Mg C ha⁻¹, respectivamente para Magdalena Zahuatlán.

En un estudio similar, Gutiérrez-Vázquez *et al.* (2012), evaluaron la caída de hojarasca (acículas) en suelos asociados a *Pinus greggii* y *P. cembroides*, encontraron que la caída de hojarasca fue mayor en *P. greggii* con 1.072 Mg C ha⁻¹ y en *P. cembroides* fue 0.976 Mg C ha⁻¹. Los autores atribuyen esto a que la caída de hojarasca está en función de la especie, así como de factores climáticos (viento y temperatura) que influyen para obtener variaciones en cuanto a la cantidad de hojarasca acumulada.

En *P. oaxacana* Mirov. (Tabla 2) al realizar la comparación entre las comunidades, se encontró diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) entre el contenido de carbono acumulado en el suelo asociado a la especie, se observó el mismo comportamiento que en *P. greggii*, se puede apreciar que el C acumulado fue mayor en Tlacotepec Plumas que en Magdalena Zahuatlán. También se encontró que la procedencia Yudolahuerta fue la que acumuló mayor cantidad de acículas y de Carbono en Tlacotepec Plumas con 10.57 Mg C ha⁻¹ y 6.13 Mg C ha⁻¹ respectivamente; mientras que en Magdalena Zahuatlán fue Magdalena Zahuatlán con 3.68 Mg C ha⁻¹ y 2.14 Mg C ha⁻¹ respectivamente.

Comparando las dos especies, en *Pinus greggii* la cantidad de acículas y de carbono (Mg C ha⁻¹) fue tres veces mayor que en *Pinus oaxacana* en la Tlacotepec plumas y siete veces mayor que la encontrada en Magdalena Zahuatlán.

Cabe señalar que la caída de hojarasca en las dos especies estudiadas es menor a la reportada en otras especies del género *Pinus*, por ejemplo, Pérez *et al.* (2006) reportan una caída de 15.930 Mg C ha⁻¹ para *P. taeda* L.; en otro ensayo, Nívar-Cháidez y Jurado-

Tabla 2. Cantidad de acículas (Mg ha⁻¹) (A) y carbono (Mg C ha⁻¹) (CA) de *Pinus oaxacana* Mirov. acumuladas por procedencia en las dos comunidades.

Procedencia	Tlacotepec Plumas		Magdalena Zahuatlán	
	A	CA	A	CA
Tlacotepec Plumas	4.51d±1.4	2.61d±0.2	2.66d±2.0	1.54d±0.1
San Miguel Peras	9.52b±0.7	5.52b±0.8	3.58b±0.4	2.07b±0.2
San Miguel Aloapan	3.99e±0.8	2.31e±0.3	2.61e±1.4	1.51e±0.4
Magdalena Zahuatlán	2.83h±0.9	1.64h±0.2	3.68a±1.1	2.14a±0.4
Los Molinos	3.01g±0.4	1.74g±0.2	3.11c±0.7	1.80c±0.1
Ixtlán de Juárez	3.05f±1.5	1.77f±0.1	2.25g±0.5	1.30g±0.2
Yudolahuerta	10.57a±1.1	6.13a±0.1	2.50f±1.6	1.45f±0.2
Rancho Nuevo	4.68c±0.7	2.71c±0.6	2.66d±0.8	1.54d±0.1

*Letras diferentes entre columnas de la misma procedencia indican diferencias significativas entre el contenido de acículas, de acuerdo a la prueba de rangos múltiples de Tukey ($p < 0.05$). El dato después del ± es el error estándar de la media.

Ybarra (2009), en un reforestaciones con *P. piniceana* y *P. pseudostrobus*, reportan una caída de 2.850 y 4.120 Mg C ha⁻¹, respectivamente. Por lo que la baja producción de hojarasca tanto en *P. greggii* como en *P. oaxacana* registrada en el presente estudio, comparada con los reportes antes mencionados, podría deberse a la limitada productividad del sitio, como mencionan Domínguez-Calleros *et al.* (2001), quienes reportan la influencia de las características del sitio y las condiciones climáticas sobre la sobrevivencia, rendimiento y el volumen de madera, para *Pinus pseudostrobus* Lindl., *P. greggii* Engelm. y *P. cembroides* Zucc.; mientras que Návar-Cháidez y Jurado-Ybarra (2009), mencionan que la productividad de hojarasca y biomasa radicular en comunidades forestales está influenciada por la capacidad productiva de la especie en cuestión.

La acumulación de mantillo (partes muertas de la vegetación, incluyendo hojas, corteza, ramas, acículas, flores, frutos, entre otros) representa una ruta biológica muy importante para la transferencia de elementos inmovilizados en la vegetación al suelo (Yang *et al.*, 2005; Osman, 2013), favoreciendo la recuperación del contenido de materia orgánica del suelo y promoviendo el ciclaje de nutrientes (Bhat & Jan, 2010). Osman (2013) menciona que la caída de hojarasca depende de factores como la composición del rodal, la edad de los árboles, el área basal, la densidad, latitud, altitud, estación del año. En *Pinus oaxacana* Mirov., la edad pudo influir en la caída de hojarasca, ya que la plantación inicio en 1997. También la estación del año en la que se tomaron las muestras de suelo, que fue en marzo de 2013, y el pico de acumulación de acículas en bosques templados es de julio a octubre (Edmonds & Murray, 2002).

Materia orgánica y Carbono orgánico.

Para la especie *Pinus greggii* (Tabla 3) la procedencia El Madroño tanto en Tlacotepec Plumas

como en Magdalena Zahuatlán presentó alto contenido de MO (7.62% y 7.12%, respectivamente). En el contenido de Carbono orgánico, en la comparación entre comunidades, se encontró diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) en ambas comunidades, que como se puede apreciar en la Tabla 3, fue mayor en Tlacotepec Plumas que en Magdalena Zahuatlán.

En un estudio similar, Valencia-Manzo *et al.* (2006) evaluaron el desarrollo de *Pinus greggii* en Tlacotepec Plumas y Magdalena Zahuatlán, considerando las mismas procedencias consideradas en este estudio, y mencionan que el suelo de Tlacotepec plumas presentó mayor contenido de materia orgánica (3.0% y 2.5%, respectivamente) y de nitrógeno (0.18% y 0.10%, respectivamente) que en Magdalena Zahuatlán. Esto concuerda con lo encontrado en este trabajo, ya que en promedio el contenido de MO fue significativamente mayor en Tlacotepec Plumas (7.1592%) que en Magdalena Zahuatlán (6.3424%). Esto debido a que la plantación es un área sin aprovechamiento forestal, lo que ha permitido la acumulación de C y N bajo el dosel de los árboles de ambas especies.

Para *Pinus oaxacana* Mirov. (Tabla 4) la procedencia Magdalena Zahuatlán presentó mayor contenido de materia orgánica en Tlacotepec Plumas (6.99 Mg C ha⁻¹), mientras que en Magdalena Zahuatlán fue la procedencia Los Molinos (9.74 Mg C ha⁻¹). Para la especie *P. oaxacana* no se encontraron reportes sobre la cantidad de materia orgánica que se acumula bajo su dosel. En cuanto al contenido de Carbono orgánico entre comunidades se encontró diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) que, como se puede apreciar en la Tabla 4, fue mayor en la comunidad de Tlacotepec plumas que en Magdalena Zahuatlán. La procedencia que presentó el mayor contenido de CO fue Los Molinos en Tlacotepec Plumas (33.90 Mg C ha⁻¹) y Magdalena Zahuatlán en

Tabla 3. Contenido de materia orgánica (%) y carbono orgánico (%) en suelos asociados a *Pinus greggii* Engelm. en Tlacotepec Plumas y Magdalena Zahuatlán, Oaxaca, a una profundidad de 0–20 cm.

Procedencias	Tlacotepec Plumas		Magdalena Zahuatlán	
	%MO	%CO	%MO	%CO
Xichicoatlán	6.81i±0.01	23.73ab ±0.4	6.16fg±0.004	21.43cd±0.9
Puerto San Juan	6.69j±0.01	23.27bc±1.2	6.92e±0.01	24.08bc±0.01
El Piñón	5.93k±0.02	20.64c±0.5	6.14g±0.002	21.40cd±0.2
Los Lirios	7.28e±0.002	25.32ab±0.7	6.19f±0.005	21.52cd±0.6
Com. Durango	7.32e±0.01	25.46ab±0.6	6.98d±0.01	24.33bc±0.7
Molango	7.01g±0.003	24.41ab±0.5	6.99d±0.02	24.35bc±0.6
Pto. Los Conejos	7.21f±0.01	25.11ab±0.4	5.18j±0.01	18.02e±0.4
Laguna Atezca	7.58bc±0.01	26.37a±0.2	7.52b±0.004	26.16ab±0.6
El Madroño	7.62ab±0.01	26.50a±0.3	7.12c±0.005	27.54a±0.6
Jamé	7.47d±0.01	26.02ab±0.4	7.91a±0.01	24.78ab±0.9
Santa Anita	6.91h±0.01	24.07ab±0.3	6.00h±0.01	20.95de±0.7
Ej. 18 de marzo	7.55c±0.01	26.25a±0.7	5.35i±0.01	18.65de±0.2
Tres lagunas	7.65a±0.01	26.61a±0.5	3.94k±0.02	11.71f±0.4

*Letras diferentes entre columnas de la misma procedencia indican diferencias significativas entre el contenido de acículas, de acuerdo a la prueba de rangos múltiples de Tukey ($p < 0.05$). El dato después del ± es el error estándar de la media.

Tabla 4. Contenido de materia orgánica (%) y carbono orgánico (%) en suelos asociados a *Pinus oaxacana* Mirov. en Tlacotepec Plumas y Magdalena Zahuatlán, Oaxaca, a una profundidad de 0–20 cm.

Procedencia	Tlacotepec Plumas		Magdalena Zahuatlán	
	%MO	%CO	%MO	%CO
Tlacotepec Plumas	6.43d ±0.006	29.17e ±0.1	8.38f ±0.002	22.40c ±0.2
San Miguel Peras	4.96g ±0.018	30.23c ±0.1	8.69c ±0.002	17.30e ±0.1
San Miguel Aloapan	5.93f ±0.008	32.80b ±0.1	9.42b ±0.006	20.66d ±0.2
Magdalena Zahuatlán	6.99a ±0.005	30.0cd ±0.04	8.61d ±0.006	24.35a ±0.1
Los Molinos	6.07e ±0.02	33.90a ±0.05	9.74a ±0.004	21.16d ±0.1
Ixtlán de Juárez	4.69h ±0.007	28.56f ±0.2	8.20g ±0.006	16.32f ±0.1
Yudolahuerta	6.81b ±0.006	27.73g ±0.1	7.97h ±0.004	23.72ab±0.1
Rancho Nuevo	6.69c ±0.006	29.65de ±0.1	8.52e ±0.01	23.31b ±0.1

*Letras diferentes entre columnas de la misma procedencia indican diferencias significativas entre el contenido de acículas, de acuerdo a la prueba de rangos múltiples de Tukey ($p < 0.05$). El dato después del \pm es el error estándar de la media.

Magdalena Zahuatlán (24.35 Mg C ha⁻¹), mientras que San Miguel Peras, que había presentado mayor acumulación de acículas, presentó bajo contenido de materia orgánica.

En los primeros 20 cm de profundidad del suelo es donde se acumula la mayor actividad microbiana de síntesis y descomposición de materia orgánica (Félix-Herrán *et al.*, 2014), de estos procesos se deriva la acumulación de materia orgánica, las acículas secas de pino presentan alto contenido de lignina (25.93–30.05%) (Díaz-Aguirre *et al.*, 2007) y taninos (0.07–0.12%), precursores de las sustancias húmicas en la materia orgánica, alta relación C/N (alrededor a 150), además presentan bajo contenido de Ca (39.5–54.3%) y Mg (10.8–18.8%) (Bernabé-Santiago *et al.*, 2013), por lo que la descomposición sería lenta y al final del proceso de descomposición se tendría un mantillo con alto contenido de materia orgánica (Millar, 2012; Félix-Herrán *et al.*, 2014). En el estudio realizado por Monreal *et al.* (2005) encontraron que en los sistemas con vegetación forestal, el C acumulado en la primera capa del suelo 0–15 cm fue casi el doble del encontrado en la profundidad 15–30 cm lo que indica que en la primera capa se concentra más el C del suelo.

Aunque la composición química de las acículas es característica para cada especie de coníferas, pero esta varía considerablemente con la edad de la hoja y la estación del año (Napp-Zinn, 1966), por ejemplo en un estudio con *Pinus sylvestris* L. y *Picea abies* L., se encontró que los nutrimentos se concentran en las hojas en primavera y se traslocan en verano cuando el crecimiento del árbol es más activo, señalando que los nutrimentos son más estables durante el otoño (Tamm, 1955). En este estudio la plantación inicio en 1997, por lo que la edad de los árboles también podría haber influido en la caída de acículas y en el contenido de materia orgánica final.

En la especie *Pinus oaxacana* Mirov, la procedencia de Los Molinos presentó el mayor contenido de Carbono total con 33.90 Mg C ha⁻¹ en la comunidad de Tlacotepec Plumas, mientras que Magdalena Zahuatlán presentó el mayor contenido en

Magdalena Zahuatlán con 24.35 Mg C ha⁻¹. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Ordoñez & Masera (2001) y Ordoñez & García (2001), quienes evaluaron el contenido de Carbono total en suelos asociados a *Pinus pseudostrobus* y *Pinus oaxacana* en la comunidad de Magdalena Zahuatlán, y encontraron que la acumulación de C en los suelos con *P. pseudostrobus* fue mayor que el C en suelos con *P. oaxacana*, los autores atribuyeron esto a que *P. pseudostrobus* se asocia con otras arbóreas y arbustivas lo que favorece la acumulación de C en el suelo, además de factores edáficos y climáticos que influyen para obtener variaciones.

Conclusiones.

Se presentó variación en cuanto a la cantidad de CO acumulado en las muestras de suelos asociados a *Pinus greggii* Engelm. y *Pinus oaxacana* Mirov, esta variación se presentó entre localidades, especies y procedencias.

Con base en los resultados obtenidos en el presente estudio, se puede recomendar el uso *Pinus oaxacana* Mirov., si la intención de la plantación es la de captar C (bonos verdes) o bien para implementarla en programas de reforestación en suelos perturbados.

Literatura citada.

- Anderegg W. R., Berry J. A., Smith D. D., Sperry J. S., Anderegg L. D. & Field C. B. 2012. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 109: 233–237.
- Bernabé-Santiago R., Ávila-Calderón L. E. A. & Rutiaga-Quñones J. G. 2013. Componentes químicos de la madera de cinco especies de pino del municipio de Morelia, Michoacán. Madera y Bosques, 19(2): 21–35.
- Bhat N. H. & Jan S. 2010. Litterfall and Nutrient Return in *Ulmus villosa* Forests of Dachigam National Park, Jammu and Kashmir. Res J Agric Sci 1(4):363–365.
- Castillo M. L. E. 2005. Elementos de muestreo de poblaciones. 2da. Edición, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Edo. de México, 267 p.
- Denman, G. Brasseur, A. Chidthaisong, P. Ciais, P.M. Cox, R.E. Dickinson, D. Hauglustaine, C. Heinze, E. Holland, D. Jacob, U. Lohmann, S. Ramachandran, P.L. da Silva Dias, S.C. Wofsy & X. Zhang. 2007. Couplings between

- changes in the climate system and biogeochemistry. Páginas 499 – 587. En: S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, H.L. Miller (eds.), Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of working group 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
- Díaz-Aguirre S., Alessandrini Díaz M. & Herrera García A. 2007. Comportamiento del follaje de *Pinus caribaea* var. *Caribaea* y *Pinus tropicalis* en el desarrollo de una metodología para la obtención de cera conífera, pasta clorofila-caroteno y residuo forrajero a escala de banco. Revista Cubana de Química, 19(1): 81-83.
- Domínguez-Calleros P. A., J. J. Návar-Cháidez & J. A. Loera-Ortíz. 2001. Comparación del rendimiento de pinos en la reforestación de sitios marginales en Nuevo León. Madera y Bosques, 7(1): 27-35.
- Edmonds R. L. & Murray G. L. D. 2002. Overstory litter inputs and nutrient returns in an old-growth temperate forest ecosystem, Olympic National Park, Washington. Can J For Res 32(4):742–750.
- FAO. 2006. Global forest resource assessment 2005, Main Report, Forestry Paper 147, FAO, Rome.
- Félix-Herrán J. A., García-Gutiérrez C. & Armenta-Bojórquez A. D. 2014. Caracterización fisicoquímica y orgánica de suelos y abonos orgánicos. Páginas 11 – 71. En: Técnicas de caracterización de suelos y abonos orgánicos, ISBN: 978-607-8347-34-6, editado por Fundación Produce Sinaloa A. C.
- Gorte R. W. & Sheikh P. A. 2010. Deforestation and climate change. CRC Report for Congress.
- Gutiérrez-Vázquez, M. H., Méndez-González J., Flores-López C., Ramírez-Díaz J. A. & B. N. Gutiérrez-Vázquez B. N. 2012. Caída de hojarasca en plantaciones de *Pinus greggii* Engelm. y *Pinus cembroides* Zucc., en Coahuila, México. Rev. Fitotec. Mex. 35 (2): 129-132
- IPCC, 2014: Annex II: Glossary [Mach, K.J., S. Planton and C. von Stechow (eds.)]. In: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 117-130.
- López O., J. 2012. Carbono orgánico e inorgánico en el suelo en plantaciones de dos especies de pino (*Pinus oaxacana* Mirov y *Pinus greggii* Engelm.) de diferentes edades en Magdalena Zahuatlán, Oaxaca. Tesis Profesional ITSMIGRA. 34 p.
- Millar C. S. 2012. Decomposition of coniferous leaf litter. Páginas 105–127. En: Biology of plant litter decomposition, Volume 1. C. H. Dickinson (ed.), Edited by Elsevier. U.S.
- Napp-Zinn K. 1966. Anatomie des Blattes. I. Gymnospermen. Handbuch der Pflanzenanatomie VII. Gebrüder Borntraeger, Berlin.
- Návar-Cháidez J.J. & Jurado-Ybarra E. 2009. Productividad foliar y radicular en ecosistemas forestales del noreste de México. Rev. Ciencia Forestal en México. 34(106): 89 – 106.
- NOM-2011-RECNAT-2000. Método AS-07 para determinar contenido de materia orgánica en muestras de suelo. Aprobada por el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Conservación, Protección, Restauración y Aprovechamiento de los Recursos Forestales de Suelos y Costas, en sesión celebrada el 14 de agosto de 2001. 85 p.
- Ordoñez S. N. & O. M. García O. M. 2001. Almacenamiento de Carbono en un bosque de *P. pseudostrobus* en Nuevo san Juan Michoacán. Madera y bosques. Xalapa, México. pp. 27-47.
- Ordóñez, J. A. & Masera O. 2001. Captura de Carbono ante el cambio climático. Madera y Bosques. 7(1): 3-12
- Osman K. T. 2013. Forest soils properties and management. Edited by Springer International Publishing, New Delhi, India, p. 217.
- Pérez C. A., Goya J. F., Bianchini F., Frangi J. L. & Fernández R. 2006. Productividad aérea y ciclo de nutrientes en plantaciones de *Pinus taeda* L. en el norte de la provincia de Misiones, Argentina. Revista Interciencia, 31(11): 794 – 801
- Pribyl D. W. 2010. A critical review of the conventional SOC to SOM conversion factor. Geoderma 156:75-83.
- Price S. P., Bradford M. A. & Ashton M. S. 2012. Characterizing organic carbon stocks and flows in forest soils. Páginas 233 – 244. En: Ashton MS et al. (eds) Managing forest carbon in a changing climate. Springer Science + Business Media BV
- SAS System for Windows. 2002. By SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Secretaría de Gobernación (SEGOB). 2014. Programa Nacional Forestal 2014-2018. Disponible en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5342498&fecha=28/04/2014
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2007. ¿Y el medio ambiente? Problemas en México y el mundo. SEMARNAT. México. 192 p.
- Smith P., M. Bustamante, H. Ahammad, H. Clark, H. Dong, E.A. Elsiddig, H. Haberl, R. Harper, J. House, M. Jafari, O. Masera, C. Mbow, N.H. Ravindranath, C.W. Rice, C. Robledo Abad, A. Romanovskaya, F. Sperling, & F. Tubiello, 2014: Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). Páginas 811 – 922. En: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Soil Survey Staff. 2014. Soil Survey Field and Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report No. 51, Version 2.0. R. Burt and Soil Survey Staff (ed.). U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, p. 487.
- Tamm C. O. 1955. Studies on forest nutrition: Seasonal variation in the nutrient content of conifer needles. Medd. Statens Skogsforskningsinst. 45(5/6): 5–34.
- Valencia-Manzo, S., Velasco-García M. V., Gómez-Cárdenas M., Ruiz Muñoz M. & Capó Arteaga M. A. 2006. Ensayo de procedencias de *Pinus greggii* Engelm. en dos localidades de la mixteca alta de Oaxaca, México Revista Fitotecnia Mexicana, 29(1): 27-32.
- Yang W.Q., Wang K. Y., Kellomaki S. & Gong H. 2005. Litter dynamics of three subalpine forests in Western Sichuan. Pedosphere. 15(5):653–659.

¹ Estudiante de Ingeniería Forestal, Universidad Autónoma Indígena de México.

² Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca, Melchor Ocampo No. 7, INIFAP.

³ Investigador Titular del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional del Instituto Politécnico Nacional (CIIDIR-IPN).

⁴ Profesor de Ingeniería Forestal, Universidad Autónoma Indígena de México. Correo-e: jfelixherran@hotmail.com (autor para correspondencia).