

ALMACENES DE CARBONO EN EL PISO FORESTAL DE DOS TIPOS DE BOSQUE

Forest Floor Carbon Stocks of Two Types of Forest

Jesús D. Gómez-Díaz^{1‡}, Alejandro I. Monterroso-Rivas¹,
Juan A. Tinoco-Rueda² y Jorge D. Etchevers-Barra³

RESUMEN

El bosque de encino (dominado por *Quercus spp.*) y el bosque tropical seco son dos de los principales tipos de vegetación en México donde los almacenes de carbono del piso forestal no han sido evaluados frecuentemente. Por lo anterior, en el presente estudio se realizó la evaluación de los almacenes de carbono del piso forestal en tres estados sucesionales de un bosque de encino y de un bosque tropical seco de la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla, Morelos. Los estados sucesionales para los dos tipos de bosque fueron: secundario temprano (i.e., 10 años), secundario medio (i.e., 20 años) y maduro (i.e., 40 años). Para cada estado sucesional se delimitaron tres sitios de muestreo de 1000 m² en donde se tomaron 12 muestras en un m² en cada sitio. En el bosque de encino se delimitaron dos estratos, el L de residuos vegetales con poca o nula descomposición y el F + H, un estrato con materiales cuya descomposición es de moderada a avanzada. Para el bosque de encino, los contenidos de carbono en el piso forestal fueron significativamente diferentes en la cronosecuencia con valores de 5.6±0.5, 8.0±0.6 y 10.3±0.6 Mg de C ha⁻¹ para las condiciones sucesionales de bosque secundario temprano, secundario medio y maduro, respectivamente. En el bosque tropical seco sólo se encontraron materiales orgánicos característicos de la capa L y los contenidos de C fueron significativamente menores que en el bosque de encino. Los contenidos de carbono resultaron significativamente mayores en el bosque de más edad y en el más joven, comparados con la del bosque

secundario medio, con valores de 1.9±0.2, 0.8±0.1 y 2.2±0.3 Mg de C ha⁻¹, para las fases sucesionales de bosque secundario temprano, secundario medio y maduro, respectivamente.

Palabras claves: capa L, capa F+H, bosque de encino, bosque tropical seco.

SUMMARY

Oak forest (dominated by *Quercus spp.*) and tropical dry forest are among two of the main forest vegetation types in Mexico, and their carbon stocks associated with the forest floor have not been frequently evaluated. Based on this, the present study was planned to provide data on forest floor carbon stocks in successional stages of both type of forests in the Biosphere Reserve Sierra de Huautla, Morelos. Three successional stages of the forest types were considered: secondary early (i.e., 10 years old), secondary mid (i.e., 20 years old) and mature (i.e., 40 years old). For each forest type and successional status three 1000 m² sampling plots were delimited and within each one 12 one m² quadrants were randomly selected. In the oak forest, two layers of organic material in the forest floor were determined: L stratum consisting of recently fallen non decomposed materials, and F+H layer consisting of partly to strongly decomposed plant material. The forest floor carbon stocks were significantly different in the three successional stages for both vegetation types. In the oak forest the estimated values of C contents were 5.6±0.5, 8.0±0.6 and 10.3±0.6 Mg of C ha⁻¹ for the secondary early, secondary mid, and mature successional stages, respectively. For the tropical dry forest, only organic materials characteristics of L layer were distinguished in the forest floor and their carbon stocks were significantly lower than those of the oak forest. The forest floor carbon stocks of the old and young successional stages were significantly higher than in the secondary mid successional stage with values of 1.9±0.2, 0.8±0.1 and 2.2±0.3 Mg of C ha⁻¹, for the secondary

¹ Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Suelos. 56230 Chapingo, estado de México.

[‡] Autor responsable (dgomez@correo.chapingo.mx)

² Universidad Autónoma Chapingo, CRUO. 94100 Huatusco, Veracruz, México.

³ Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. 56230 Montecillo, estado de México.

early, secondary mid and mature successional tropical dry forest, respectively.

Index words: *layer L, layer F+H, oak forest, tropical dry forest.*

INTRODUCCIÓN

En los bosques, se almacenan grandes cantidades de carbono (C) en las capas de residuos orgánicos sobre el suelo (piso forestal), los cuales deben de ser incluidos en los sistemas nacionales de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (Schulp *et al.*, 2008). Sin embargo, los inventarios del C en el piso forestal se dificultan por las grandes diferencias en su desarrollo, dependiendo de las especies forestales aun en un mismo tipo de suelo y condiciones climáticas similares (Ladegaard-Pedersen *et al.*, 2005) y también por la gran variación en el espesor del piso forestal en distancias cortas (Smit, 1999). La cuantía de los almacenes de C del piso forestal son altamente variables, y están influenciados por la especie forestal, además de otros factores. Esto conduce a que se requieran grandes esfuerzos para cuantificarlos, ya que un muestreo limitado resultará en estimaciones erróneas de la distribución espacial y los cambios del C almacenado en los pisos forestales (Welke y Hope, 2005; Schulp *et al.*, 2008).

La mayoría de los estudios del piso forestal se han centrado en descripciones semicuantitativas del perfil. Existen varias descripciones detalladas del piso forestal, pero son escasos los trabajos que incluyen el contenido de carbono y la masa de los materiales que los componen (Schulp *et al.*, 2008). Consecuentemente, esta información es incompleta y no permite una buena estimación del C almacenado en el piso forestal.

Adicionalmente, la descomposición de los residuos de las plantas es crucial para el almacenamiento a largo plazo de la materia orgánica en el suelo, particularmente en el piso forestal (Wardle *et al.*, 1997). Dicha descomposición está caracterizada por la disminución en la masa de los residuos vegetales y por cambios en la contribución relativa de diferentes clases de compuestos a través del tiempo (Kalbitz *et al.*, 2006). Lo anterior determina el rol importante que tiene el piso forestal en el ciclo de los nutrientes, a medida que estos son liberados en la descomposición de los residuos vegetales y usados de nuevo por las plantas (Vesterdal *et al.*, 2008). La masa del piso forestal refleja la relación entre

la producción de residuos y su descomposición (Vesterdal y Raulund-Rasmussen, 1998). Algunos estudios han mostrado que la masa del piso forestal, su contenido de nutrientes, relación C/N y pH varían de acuerdo al tipo de suelo aun para la misma especie vegetal (Sanger *et al.*, 1998; Vesterdal y Raulund-Rasmussen, 1998). También hay diferencias significativas entre especies de árboles desarrollándose en un mismo tipo de suelo (Son y Gower, 1992; Sariyildiz y Anderson, 2005). La edad de los arboles puede jugar un papel significativo en la calidad de los residuos vegetales que componen el piso forestal. Se ha sugerido que la calidad de los residuos declina con la edad de los árboles y que la descomposición y mineralización de los mismos es menor a mayor edad de las plantas del bosque (Bauhus *et al.*, 1998).

Por lo antes descrito, en este trabajo se presenta un estudio de los almacenes de C en el piso forestal de una cronosecuencia en un bosque de encino y en un bosque tropical seco, ambos ubicados en la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla, Morelos, México, para estimar el efecto que tienen las especies arbóreas y su edad en el contenido de C en el piso forestal. Se busca contribuir al conocimiento de la variabilidad del piso forestal en estos dos tipos de vegetación que son de los principales en México. Se estima que los bosques tropicales secos cubren el 8% de la superficie del país (Masera *et al.*, 1997) y los bosques de encino (dominado por *Quercus spp.*) cubren el 5.5% (Challenger, 1998). Los primeros están asociados a climas tropical subhúmedo con una estación seca que dura varios meses y los segundos principalmente se encuentran en regiones ecológicas templadas subhúmedas.

La hipótesis planteada fue que manteniendo homogeneidad en las características biofísicas en una cronosecuencia de árboles, asociados al mismo tipo de vegetación, habrá diferencias en los almacenes de C del piso forestal de cada categoría de edad. Se predice también que se tendrán diferencias significativas en los almacenes de C del piso forestal en los dos tipos de vegetación estudiados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de Estudio

El estudio se realizó en la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla ubicada en el sur del estado de Morelos, México. Las evaluaciones en el bosque de

encino se hicieron en los terrenos del ejido el Zapote (18°27'55" a 18°28'20" N y 99°19'00" a 99°19'35" O, en una amplitud de altitud de 1785 a 1970 m). El clima del sitio es semicálido, del grupo de los cálidos, subhúmedo, con temperatura media anual de 19 a 20 °C y una precipitación media anual de 1200 a 1300 mm, con régimen de lluvias en verano; entre el mes de junio y octubre se acumula el 94% de la precipitación total anual y hay poca oscilación anual de las temperaturas medias mensuales (5 °C). Los suelos de estos sitios son principalmente Feozems lúvicos (PHlu) con texturas medias a finas y pedregosos en la superficie y dentro del perfil.

Las mediciones en el bosque tropical seco se hicieron en el ejido el Limón (18°31'15" a 18°32'12" N y 98°55'20" a 98°55'60" O, en una amplitud de altitud de 1219 a 1361 m). El clima es cálido subhúmedo con una temperatura media anual de 22 a 23 °C y precipitación media anual de 900 a 1000 mm con lluvias en verano, marcadamente estacional. La estación seca comprende de noviembre a finales de mayo periodo en el que cae solo el 13% de la precipitación total anual; hay poca oscilación anual de las temperaturas medias mensuales (6 °C). Los suelos son principalmente Feozems háplicos (PHha) y Feozems dúricos (PHdu), con texturas medias a finas y son pedregosos en la superficie y dentro del perfil.

En ambos sitios la litología superficial está constituida por brechas volcánicas riolíticas interestratificadas con tobas volcánicas ácidas (INEGI, 2002). Las topoformas dominantes son sierras de laderas escarpadas con pequeños valles intermontanos altos (INEGI, 2001). Las pendientes de los sitios del bosque de encino fueron de 45 a 55% para el bosque maduro, de 40 a 50% para el bosque secundario medio y de 35 a 45% para el bosque secundario temprano. Para el bosque tropical seco las pendientes de los sitios fueron de 40 a 60% para el bosque maduro, de 5 a 10% para el secundario medio y de 5 a 15% para el secundario temprano.

Recolección y Procesamiento de Muestras y Análisis Estadístico

Se muestrearon tres categorías sucesionales del bosque de encino y del bosque tropical seco, con base en el conocimiento de los ejidatarios: secundario temprano (i.e., de 10 años), secundario medio (i.e., de 20 años) y maduro (i.e., de 40 años).

Para cada categoría sucesional, se establecieron tres parcelas experimentales de 1000 m² (20 × 50 m), subdivididos en cuatro subparcelas de 10 × 25 m cada una. Las parcelas experimentales se seleccionaron de tal modo que fueran homogéneas y estructuralmente representativas. El muestreo se realizó en la estación seca (enero y febrero). La biomasa y los almacenes de C asociados con el piso forestal se determinaron en tres lotes de un metro cuadrado. Estos lotes se ubicaron sistemáticamente a lo largo del eje central en cada subparcela a intervalos equidistantes de 6.25 m, para un total de 12 muestras dentro de cada parcela de 1000 m².

Se identificaron las siguientes capas en el piso forestal del bosque de encino, de acuerdo a los criterios establecidos por van Delft *et al.* (2006). La de hojarasca (L) que consistió de material no descompuesto, la mayoría reciente, identificándose fácilmente los residuos de plantas, con menos del 10% del material orgánico descompuesto. En esta capa se incluyeron los residuos leñosos. Le sigue la capa formada por dos tipos de materiales (F+H), los materiales fragmentados (F) y los de la capa de humus (H). Los materiales de tipo F son residuos orgánicos parcialmente descompuestos, en donde los restos de plantas se reconocen a simple vista y el material orgánico descompuesto comprende de 10 al 70%. Finalmente el estrato H esta formado por materiales orgánicos fuertemente descompuestos; no es posible distinguir a simple vista los residuos de plantas que cayeron hace algunas décadas, por lo que más del 70% corresponde a materiales orgánicos descompuestos. En cada unidad de muestreo, las capas se identificaron, se les midió su espesor y posteriormente se colectaron los materiales.

Para las muestras del bosque tropical seco, solo se encontraron materiales característicos de la capa L por lo que se midió su espesor y se tomó la muestra, también se incluyeron las herbáceas y el pasto seco como parte del estrato L, cuya biomasa y contenido de carbono se incluyeron en los valores del piso forestal.

El material se llevó al laboratorio y se secó a 75 °C por 72 h hasta que se alcanzó un peso constante. Los componentes de la capa L (fracciones de leñosas, ramas pequeñas y follaje) se separaron manualmente y se pesaron para estimar su proporción en la muestra. De cada muestra y sus respectivos estratos L, F o H, se tomaron submuestras de 100 g que se procesaron para determinar su contenido de carbono por combustión seca con un analizador automático de C total (Shimadzu TOC

5000-A) provisto de una unidad para procesar muestras sólidas (Etchevers *et al.*, 2005).

El análisis estadístico para las variables cantidad de residuos y materiales del piso forestal, espesor, densidad aparente y su contenido de carbono para cada una de las comunidades forestales estudiadas se realizó con el programa MINITAB 14 (Moore *et al.*, 2004). Dentro de cada tipo de bosque se realizó un ANOVA paramétrico para detectar las diferencias significativas de los parámetros medidos entre las etapas sucesionales de cada capa y del total del piso forestal. Para probar el efecto de comunidad en la biomasa y el contenido total de carbono en el piso forestal se realizó un análisis no paramétrico con un diseño de parcelas divididas con el programa estadístico PASW Statistics V.18 (IBM, 2009).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción del Piso Forestal y Contenido de Carbono en el Bosque de Encino

En el bosque de encino estudiado, la especie con mayor valor de importancia (VI) fue *Quercus magnoliaefolia*, este parámetro se estimó a partir del promedio ponderado para una determinada área muestreada de la relación del área basal de la especie *i* con el área basal total de las especies leñosas, con el diámetro a la altura del pecho mayor o igual a 2.5 cm. La frecuencia de la especie *i* en cada una de las parcelas muestreadas en relación con la frecuencia total de dicha especie en todas las parcelas muestreadas y en el número de individuos de la especie *i* en relación al número total de individuos de especies leñosas. Los VI *Q. magnoliaefolia*, fueron de 63.2, 61.5 y 58.5%, para el bosque secundario temprano, secundario medio y maduro, respectivamente.

El C del piso forestal representó el 7.12, 10.9 y 11.03%, del almacén total de C orgánico del suelo para las condiciones de bosque secundario temprano, secundario medio y maduro, respectivamente. El C orgánico total del suelo se estimó en 78.12, 79.80 y 93.68 Mg de C ha⁻¹, en donde se incluyeron los contenidos de C del piso forestal, de las raíces finas, las raíces gruesas y medias y el C orgánico del suelo (datos no mostrados).

Los valores de biomasa, contenido de C, almacenes de C, espesor y densidad aparente del piso forestal para cada una de las tres condiciones del bosque de encino estudiadas se muestran en el Cuadro 1.

La biomasa de la capa L presentó diferencias estadísticamente significativas ($P = 0.01$) para las tres fases de bosque de encino del estudio, sin embargo, las diferencias significativas fueron sólo entre el bosque maduro con las otras dos condiciones del bosque. Por su parte, la biomasa de la capa F + H y la biomasa total del piso forestal presentaron diferencias significativas entre las tres fases del bosque ($P < 0.001$), aumentando conforme fue mayor la edad del mismo.

El contenido de C en este estudio fue mayor para las estructuras con poco grado de descomposición (capa L) en donde no se presentaron diferencias significativas en las tres condiciones de edad del bosque ($P = 0.284$); sin embargo, estos valores son mayores casi en un 40% que los encontrados en la capa de material con mayor grado de descomposición (capa F + H) en donde tampoco se presentaron diferencias significativas entre las fases del bosque de encino ($P = 0.498$). En los materiales de la capa L se tienen mayores concentraciones de carbohidratos o compuestos de reserva, en contraste con los materiales con alto grado de descomposición de la capa F + H cuyos compuestos ya fueron degradados por los microorganismos y perduran los resistentes a la descomposición con mayores contenidos de celulosa y lignina, en donde el contenido de C es menor que en los carbohidratos (Watson y Casper, 1984). El contenido de C en la capa L en los bosques de encino de nuestro estudio (44.8 a 45.3%) fueron inferiores al reportado por Schulp *et al.* (2008) para bosques de encino y otras especies de hoja ancha en regiones templadas (48.2 a 49.5%), lo que se explica por nuestra estrategia de muestreo en donde se incluyeron también los residuos de leñosas que tienen menor contenido de C que las hojas. En cambio, el contenido de C para la capa F + H, de nuestro estudio (27.4 a 28.9%), fue superior a los reportados por Schulp *et al.* (2008) de 19.3 a 23.6% para bosques de encino y otras especies de hoja ancha, lo que sugiere que el material dominante es característico de la capa F en la cual el contenido de C es mayor que en los materiales de la capa H.

En el piso forestal que comprende las dos capas descritas, la cantidad de biomasa por hectárea y el C asociado a ésta, presenta diferencias significativas ($P < 0.001$) en las tres condiciones de bosque de encino, aumentando conforme el bosque es de mayor edad. Sin embargo, en la capa de hojarasca y residuos leñosos (capa L), a pesar de que no hubo diferencia significativa en el espesor ($P = 0.882$), la cantidad de C fue

Cuadro 1. Biomasa, contenido y almacenes de carbono, espesor y densidad aparente (media \pm error estándar) de las capas del piso forestal (L y F+H) y el total del piso forestal para las diferentes fases de bosque de encino en la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla, Morelos.

Parámetros	Condición del bosque de encino			F	P
	Secundario temprano	Secundario medio	Maduro		
Capa L					
Biomasa (Mg ha ⁻¹)	7.7b \pm 0.6 [†]	8.1ab \pm 0.4	10.2a \pm 0.8	4.81	0.010
Contenido de C (%)	45.3a \pm 0.3	44.8a \pm 0.3	44.6a \pm 0.3	1.27	0.284
Almacenes de C (Mg ha ⁻¹)	3.5b \pm 0.3	3.7ab \pm 0.2	4.6a \pm 0.3	4.16	0.018
Espesor (cm)	4.0a \pm 0.3	3.9a \pm 0.2	3.8a \pm 0.2	0.13	0.882
Densidad aparente (Mg m ⁻³)	0.021b \pm 0.001	0.021b \pm 0.000	0.029a \pm 0.003	5.54	0.005
Capa F+H					
Biomasa (Mg ha ⁻¹)	7.0c \pm 1.1	15.9b \pm 1.4	21.7a \pm 1.3	32.52	<0.001
Contenido de C (%)	28.9a \pm 0.7	27.5a \pm 0.7	27.4a \pm 1.1	0.70	0.498
Almacenes de C (Mg ha ⁻¹)	2.1c \pm 0.3	4.4b \pm 0.4	5.8a \pm 0.3	27.27	<0.001
Espesor (cm)	0.3c \pm 0.0	0.6b \pm 0.1	0.8a \pm 0.0	32.52	<0.001
Densidad aparente (Mg m ⁻³)	0.256b \pm 0.002	0.268a \pm 0.000	0.271a \pm 0.001	26.42	<0.001
Total piso forestal					
Biomasa (Mg ha ⁻¹)	14.7c \pm 1.5	24.1b \pm 1.7	31.9a \pm 1.7	27.37	<0.001
Almacenes de C (Mg ha ⁻¹)	5.6c \pm 0.5	8.0b \pm 0.6	10.3a \pm 0.6	18.53	<0.001
Espesor (cm)	4.2a \pm 0.4	4.5a \pm 0.2	4.6a \pm 0.2	0.46	0.632
Densidad aparente (Mg m ⁻³)	0.036c \pm 0.002	0.052b \pm 0.002	0.071a \pm 0.004	34.23	<0.001

[†] = valores designados por la misma letra para un parámetro de cada condición del bosque no son diferentes significativamente ($P \leq 0.05$).

significativamente mayor ($P = 0.018$) en la condición de más edad del bosque que para las otras dos condiciones más jóvenes, entre las cuales no hubo diferencia significativa ($P = 0.895$). Esto puede explicarse por el aporte de los residuos leñosos a la biomasa y a la cantidad de C, mismos que se incluyeron en las muestras de esta capa, los cuales se estimó que aportan el 20.0, 21.4 y 34.7%, a la biomasa de las fases de bosque de encino secundario temprano, secundario medio y maduro, respectivamente. En la capa con materiales vegetales con mediano a alto grado de descomposición (capa F + H), la diferencia para la cantidad del C fue significativa ($P < 0.001$) para cada una de las condiciones del bosque de encino estudiadas con valores mayores conforme aumentó la edad del bosque.

Los almacenes de C del piso forestal en las condiciones del bosque de encino (Cuadro 1) mostraron valores considerablemente menores (5.6 a 10.3 Mg de C ha⁻¹) que los resultados reportados para plantaciones forestales de encino en zonas templadas en donde se midieron valores de 14.0 a 26.07 Mg de C ha⁻¹ (Ladegaard-Pederson *et al.*, 2005; Schulp *et al.*, 2008; Versterdal *et al.*, 2008). Los valores encontrados en

nuestro estudio sugieren una tasa de mineralización de elevada a intermedia asociada a las condiciones climáticas de la zona, en donde la temperatura media anual es de 19 a 20 °C con poca oscilación térmica anual, con humedad disponible en el suelo por 7 meses en promedio. En condiciones similares, Loaiza-Usuaga *et al.* (2010) en un estudio en la zonas tropicales de altura de Colombia, determinaron que una proporción importante de los residuos que caen al suelo se descomponen en menos de un año. Otro aspecto que puede contribuir a la alta tasa de mineralización de los residuos es la condición de alta fertilidad del suelo en la zona de estudio (Feozems lúvicos), por lo que las especies de árboles tienden a producir hojas y estructuras con alto contenido de nutrientes y menor concentración de compuestos con alto contenido de C como los taninos y la lignina, lo que constituyen residuos de alta calidad que se descomponen más rápidamente y aportan nutrimentos para la producción de las plantas y mejoran el nivel de nutrimentos en el suelo (Sariyildiz y Anderson, 2005). Varios trabajos han documentado la relación de la fertilidad del suelo con la calidad de los residuos que producen los árboles y su tasa de mineralización

(Tresender y Vitousek, 2001; Hattenschwiler *et al.*, 2003).

El espesor total del piso forestal en las tres condiciones de bosque estudiadas varió entre 0 y 9.6 cm, con valores de 0 a 8.8 cm para la capa L y de 0 a 1.5 cm para la capa F y H. En general, las zonas con mayor espesor se ubicaron en áreas cóncavas en donde se favorece la acumulación del material vegetal que cae de los árboles. El espesor total del piso forestal así como el espesor de la capa L no presentaron diferencias significativas entre las condiciones del bosque de encino estudiadas con valores de P de 0.882 para la capa L y de 0.632 para el total del piso forestal; en cambio el espesor de la capa de material orgánico con mayor grado de descomposición (capa F + H), difiere significativamente ($P < 0.001$) en cada una de las condiciones del bosque, siendo mayor en la condición de más edad y menor en la más joven, el coeficiente de variación (datos no mostrados) se incrementa considerablemente conforme el bosque es más joven. Los espesores de la capa L encontrados en este estudio en las tres condiciones del bosque están en los rangos reportados por Schulp *et al.* (2008) para un bosque de encino de 60 años en Holanda, pero el espesor de las capas F + H fueron considerablemente menores en este estudio, en donde se obtuvieron valores de 0.3 a 0.8 cm, mientras que en el estudio de Holanda se reportan valores de 2.5 a 3.1 cm, esto se atribuye a que los horizontes H solo se desarrollan después de 40 a 50 años (Schulp *et al.*, 2008) y es congruente con nuestro estudio en donde el espesor de estas capas fueron mayores conforme aumentó la edad del bosque y los materiales dominantes correspondieron a los descritos para la capa F.

Los valores de densidad aparente fueron significativamente diferentes para el total del piso forestal y cada una de sus capas ($P < 0.001$ para el total del piso forestal y la capa F + H y un valor de $P = 0.005$ para la capa L). Los valores de este parámetro de la capa L para las tres fases del bosque de encino estudiadas (0.021, 0.021 y 0.029 Mg m^{-3} para el bosque secundario temprano, secundario medio y el maduro, respectivamente) fueron superiores a los reportados por Schulp *et al.* (2008) de 0.014 a 0.016 Mg m^{-3} para los bosque de encino de 60 años, situación que se asocia a que la descomposición de las hojas y otros residuos que caen de los árboles en el sitio de estudio es más rápida que la de los bosques de clima templado del estudio de Schulp *et al.* (2008) y aumenta más rápidamente su

densidad aparente conforme se descomponen las estructuras originales. Los valores de densidad aparente de la capa F + H en las tres fases del bosque estudiado (0.256, 0.268 y 0.271 Mg m^{-3} para el bosque secundario temprano, secundario medio y el maduro, respectivamente) fueron similares a los reportados por Schulp *et al.* (2008) de 0.251 a 0.265 Mg m^{-3} para el bosque de encino de Holanda.

Descripción del Piso Forestal y Contenido de Carbono en el Bosque Tropical Seco

En el bosque tropical seco estudiado, la especie con mayor valor de importancia (VI) en las condiciones de bosques más jóvenes fue *Acacia cochliacantha* con 28.7 y 43.8% para secundario temprano y secundario medio, respectivamente y en el bosque maduro, la especie con el VI mayor fue *Lysiloma microphyllum* con 18.0%. En la condición de bosque maduro se presentó mayor diversidad de especies, en donde seis constituyeron el 61.3% del VI (*L. microphyllum*, *Conzattia multiflora*, *Euphorbia schlechten*, *Ruprechtia fusca*, *Stenocereus dumartier* y *Mascagnia polystachya*). Para la condición de bosque secundario medio, la riqueza de especies baja y sólo dos especies comprendieron el 66.0% del VI (*A. cochliacantha* e *Ipomoea arborecens*) y en la condición de bosque secundario temprano cuatro especies constituyeron el 60.8% de VI (*A. cochliacantha*, *Heliocarpus terebinthinaceus*, *Mimosa benthami* y *L. microphyllum*) (datos no mostrados).

Los valores de biomasa, contenido de C, almacenes de C, espesor y densidad aparente del piso forestal para cada una de las tres condiciones del bosque tropical seco estudiadas se muestran en el Cuadro 2, que en este caso está compuesto principalmente por materiales característicos de la capa L, así como algunos residuos leñosos incluyendo también pasto seco y herbáceas secas. La cantidad de C del piso forestal representó el 9.0, 1.8 y 2.3%, del almacén total de C orgánico del suelo para las fases de bosque secundario temprano, secundario medio y maduro, respectivamente, en donde se incluyeron el C del piso forestal, de las raíces finas, las raíces gruesas y medias y el C orgánico del suelo. El respectivo C orgánico total del suelo, se estimó en 23.4, 50.6 y 95.3 Mg de C ha^{-1} , para las fases de bosque tropical descritas (datos no mostrados).

Cuadro 2. Biomasa, contenido y almacenes de carbono, espesor y densidad aparente (media \pm error estándar) en el piso forestal (estrato L) de las diferentes fases del bosque tropical seco en la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla, Morelos.

Parámetros	Condición del bosque tropical seco			F	P
	Secundario temprano	Secundario medio	Maduro		
Capa L (total piso forestal)					
Biomasa (Mg ha ⁻¹)	4.7a \pm 0.5 [†]	2.0b \pm 0.3	5.8a \pm 0.6	13.46	<0.001
Contenido de C (%)	40.8a \pm 0.2	41.7a \pm 0.4	38.3b \pm 0.6	13.04	<0.001
Almacenes de C (Mg ha ⁻¹)	1.9a \pm 0.2	0.8b \pm 0.1	2.2a \pm 0.3	10.80	<0.001
Espesor (cm)	0.5b \pm 0.1	0.2b \pm 0.0	0.9a \pm 0.1	11.46	<0.001
Densidad aparente (Mg m ⁻³)	0.029b \pm 0.001	0.080ab \pm 0.008	0.108a \pm 0.020	3.31	0.041

[†] = valores designados por la misma letra para un parámetro de cada condición del bosque no son diferentes significativamente ($P \leq 0.05$).

El peso seco de los residuos vegetales que se incluyeron en el muestreo del piso forestal para este tipo de vegetación, así como la cantidad de C asociado a estos, fue significativamente mayor ($P < 0.05$) en el bosque más viejo y en el más joven comparados con el bosque secundario medio que está compuesto principalmente por *A. cochliacantha* cuyas hojas son pequeñas y por lo tanto aportan menos biomasa que otras especies de hojas de mayores dimensiones. En el muestreo se observó que la cobertura del suelo por el dosel de las leñosas arbóreas fue mayor conforme el bosque tuvo más edad, mientras que la abundancia de herbáceas y pasto seco presentó una tendencia opuesta a la cobertura del dosel, situación con la que se asocia que en la condición más joven de la biomasa y los almacenes de C de los mismos, sean comparables con los de la condición de más edad por el aporte de las herbáceas y pasto seco. La cantidad de biomasa seca en el piso forestal de las tres condiciones de edad del bosque tropical seco en este estudio (2.0 a 5.8 Mg ha⁻¹) estuvo en el rango inferior de los valores estimados por Martínez-Yrizar (1995) para los bosque tropicales secos a nivel mundial que fue de 3.2 a 12.3 Mg ha⁻¹. Saynes *et al.* (2005) en un estudio en la misma región de la Sierra de Huautla, Morelos, estimó que los residuos producidos por los árboles en un año para este tipo de vegetación fueron de 3.8, 5.6 y 5.9 Mg ha⁻¹ para las fases de bosque tropical seco secundario temprano, secundario medio y maduro, respectivamente, valores que se asemejan a la biomasa determinada en el piso forestal de nuestro estudio. Lo que indica que la tasa de mineralización es muy alta en estas condiciones y es congruente con lo reportado por Álvarez *et al.* (1992) que señala que la descomposición de la mayor parte de los residuos en este tipo de vegetación se da en un año; en este mismo

sentido, Martínez-Yrizar (1995) reporta una tasa de mineralización anual de 0.72 para los residuos de un bosque tropical seco en Chamela, Jalisco, cuyas condiciones ecoclimáticas son ligeramente más secas que las de la región de nuestro estudio.

La concentración de C en los residuos del piso forestal fue significativamente mayor ($P < 0.001$) en las dos condiciones de la selva más joven que en la condición de más edad, lo que se asocia a la composición de los residuos en cada condición. En las condiciones más jóvenes la abundancia de herbáceas y pastos fue mayor que en el bosque de más edad, mismas que tienen mayor contenido de C asociado a materiales de menor complejidad estructural.

La cantidad de C almacenado en el piso forestal de las fases del bosque tropical seco temprano y la madura fueron diferentes significativamente a las de la fase secundaria media ($P < 0.001$), en donde las herbáceas y el pasto seco contribuyeron con más del 50% de este parámetro en la condición del bosque más joven.

El espesor de la hojarasca y herbáceas muertas que constituye la capa L varió de 0 a 2.2 cm y fue significativamente mayor ($P < 0.001$) en la condición de más edad que en las otras dos más jóvenes. En las dos fases de bosque con menor edad, una alta proporción de la superficie del suelo no presentó acumulación de residuos de hojas y ramas de los árboles, sin embargo, en algunas zonas cóncavas de las parcelas de muestreo se acumularon estos materiales lo que elevó los valores de este parámetro y se ve reflejado en mayores CV (datos no incluidos).

La densidad aparente de los materiales del piso forestal fue diferente significativamente en las fases del bosque tropical seco estudiadas, aumentando conforme la mayor edad del bosque.

Características de la Biomasa y Almacenes de Carbono en los Dos Tipos de Bosque

Los pesos secos promedios de la biomasa y su desviación estándar de las fracciones del material con poca o nula descomposición (capa L) para las diferentes condiciones de los dos tipos de bosque estudiados se muestran en la Figura 1. La biomasa total del bosque de encino para las tres condiciones del estudio, fueron significativamente mayores ($P < 0.05$) que en sus contrapartes del bosque tropical seco. En el bosque de encino, la biomasa asociada a las hojas y los pecíolos de las hojas compuestas, comprendió 6.4 ± 0.6 , 6.3 ± 0.3 y 6.1 ± 0.3 Mg ha^{-1} , lo que constituyó el 81.0, 76.8 y 59.8%, del total de la biomasa de esta capa para las condiciones de bosque secundario temprano, secundario medio y maduro, respectivamente. La biomasa de las ramas con diámetros de 0.5 hasta 10cm fue de 1.3 ± 0.2 , 1.9 ± 0.3 y 3.1 ± 0.4 Mg ha^{-1} , que constituyeron el 16.5, 23.2 y 30.4% para cada una de las fases de bosque de encino descritas anteriormente. Solo en la condición de bosque maduro se encontraron residuos leñosos gruesos (RLG) que se caracterizan por ramas o troncos con diámetros mayores o iguales a 10cm; en este caso su biomasa fue de

1.0 ± 0.6 Mg ha^{-1} , que representa el 9.8% del total de la biomasa de esta capa. Los coeficientes de variación (CV) para la biomasa de hojas y los pecíolos de las hojas compuestas fueron menores a 52% y para las ramas con diámetros menores a 10cm fueron menores a 82%, sin embargo, para los RLG el CV en el bosque maduro fue de 350.9% lo que indica que solo en escasos puntos de muestreo fueron encontrados estos componentes.

Para el bosque tropical seco, en la biomasa de la capa L se incluyó la biomasa de pastos y hierbas secas que fueron considerables en este tipo de bosque a diferencia del bosque de encino donde no se tuvo la presencia de este tipo de material en cantidades significativas. La biomasa de las hojas y los pecíolos de las hojas compuestas fue de 1.2 ± 0.3 , 0.6 ± 0.1 y 2.3 ± 0.3 Mg ha^{-1} , que constituyeron el 25.5, 30.0 y 39.7% para las condiciones de bosque tropical seco secundario temprano, secundario medio y maduro, respectivamente. La biomasa para las ramas con diámetros de 0.5 cm a 10 cm fue de 1.0 ± 0.3 , 1.0 ± 0.3 y 2.2 ± 0.3 Mg ha^{-1} , que representaron el 21.3, 50.0 y 37.9% de la biomasa total para cada una de las fases de bosque tropical seco descritas. Los RLG se encontraron también en la condición de bosque maduro, con un valor promedio

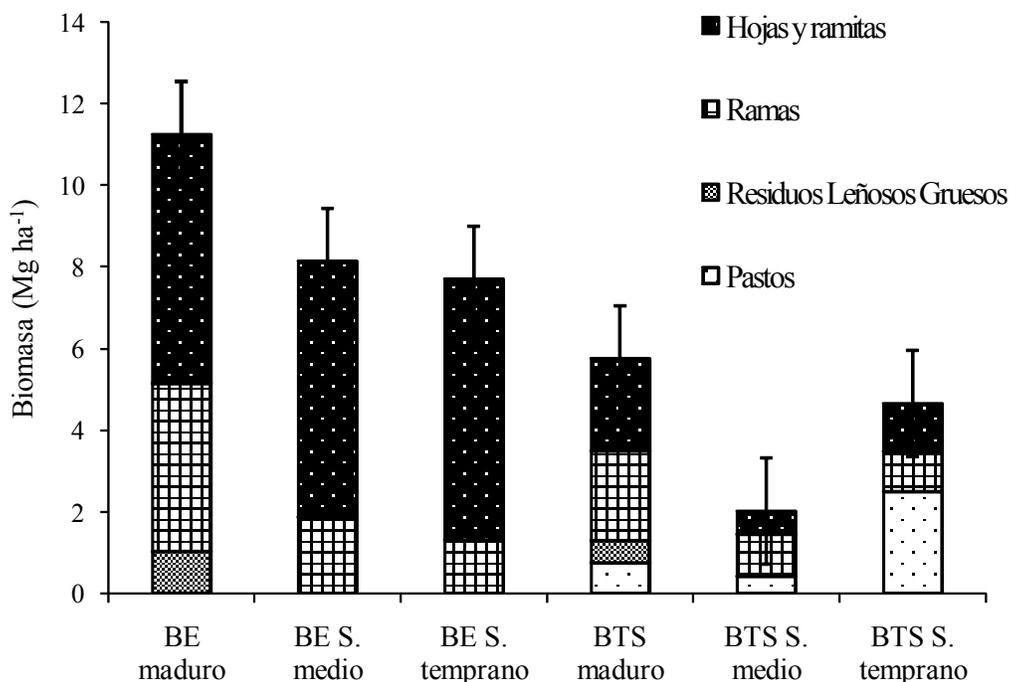


Figura 1. Biomasa promedio total, desviación estándar y biomasa de las distintas fracciones en la capa L del piso forestal en las diferentes condiciones de edad del bosque de encino y del bosque tropical seco en la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla, Morelos, México. BE = bosque de encino; BE S. = bosque de encino secundario; BTS = bosque tropical seco; BTS S. = bosque tropical seco secundario.

de $0.5 \pm 0.4 \text{ Mg ha}^{-1}$ y representaron el 8.6% del total. La biomasa asociada a las herbáceas y pasto seco, fue de 2.5 ± 0.4 , 0.4 ± 0.1 y $0.8 \pm 0.1 \text{ Mg ha}^{-1}$, que representaron el 53.2%, 20.0% y 13.8% del total de la biomasa del piso forestal para las condiciones de bosque tropical seco descritas.

En este tipo de vegetación, los CV para las hojas y peciolos de hojas compuestas fueron menores a 146%, para las ramas con diámetros menores a 10 cm fueron de hasta 209.9%, para el pasto y herbáceas estuvieron entre 99.6 y 106.6%; en cambio el CV para los RLG fue de 463.6% en la condición de bosque más viejo.

Los almacenes de C asociados al total del piso forestal en las distintas condiciones de los dos tipos de bosque del estudio se muestran en la Figura 2. Para las tres condiciones de encino, los almacenes de C en el piso forestal fueron significativamente mayores ($P < 0.05$) que sus contrapartes del bosque tropical seco. En el bosque de encino, la cantidad de C asociado con la capa L representó el 64.3, 46.3 y 44.7% del C total; mientras el C correspondiente a la capa F + H fue de 36.7, 54.7 y 56.3% del C total en las condiciones de bosque secundario temprano, secundario medio y maduro, respectivamente. La tendencia observada

es que el C aportado por la capa L al piso forestal disminuye conforme aumenta la edad del bosque, y el aportado por la capa de mayor descomposición de los materiales vegetales (F + H) aumenta conforme la edad del bosque. Para las condiciones de selva tropical seca, a diferencia del anterior, solo se encontraron materiales correspondientes a la capa L.

En ambos tipos de vegetación estudiados, el peso seco de los residuos del piso forestal y la cantidad del C total se incrementaron considerablemente conforme el bosque se hace mayor, lo que se explica por el tiempo que los residuos son aportados y una porción de los mismos son acumulados como materiales orgánicos descompuestos (Pregitzer y Euskirchen, 2004). Los resultados de este estudio muestran grandes diferencias en el desarrollo del piso forestal entre las distintas especies de árboles, situación que está acorde con lo reportado por otros autores (Yanai *et al.*, 2000; Pregitzer y Euskirchen, 2004; Ladegaar-Pedersen *et al.*, 2005), así como, la gran variación en el espesor del piso forestal en distancias cortas por las condiciones del relieve del terreno, que favorecen la acumulación de los residuos de los árboles en las áreas cóncavas, tal como lo reporta Smit (1999). Además, los resultados mostraron

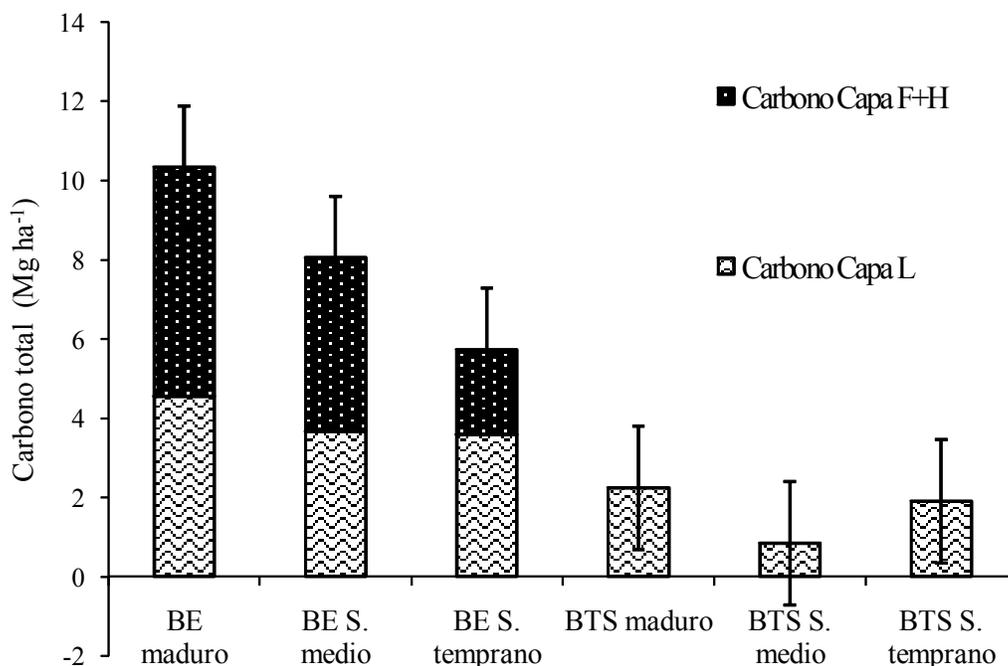


Figura 2. Almacenes promedio de carbono total, desviación estándar del piso forestal y contribución de las distintas capas (capa L y capa F+H) en las diferentes condiciones de edad del bosque de encino y del bosque tropical seco en la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla, Morelos, México. BE = bosque de encino; BE S. = bosque de encino secundario; BTS = bosque tropical seco; BTS S. = bosque tropical seco secundario.

que la formación de los almacenes de C asociados al piso forestal son dependientes de la edad de los bosques y de sus características biofísicas (Vesterdal *et al.*, 2002; Thuille y Schulze, 2006).

CONCLUSIONES

- La biomasa y los almacenes de carbono (C) del piso forestal en las diferentes condiciones de edad del bosque de encino fueron significativamente mayores a las de sus contrapartes del bosque tropical seco.

- En la cronosecuencia del bosque de encino, la biomasa y los almacenes de C del piso forestal, presentaron diferencias significativas en las tres condiciones estudiadas, aumentando los valores con la edad del bosque. En la selva tropical seca la diferencia de estos parámetros en la cronosecuencia no fue consistente como en el caso del bosque de encino, al presentar valores mayores en las condiciones de mayor edad, pero sin diferencias significativas con la condición más joven que tuvo aportes importantes de pastos y herbáceas.

LITERATURA CITADA

- Álvarez S., F. J., G. R. Sánchez, I. Sánchez-Gallén, y J. A. González-Iturbe. 1992. Métodos para el estudio de la productividad primaria y la descomposición en comunidades terrestres. Cuadernos de Ecología, Facultad de Ciencias, UNAM. México, D. F.
- Bauhus, J., D. Pare, and L. Cote. 1998. Effects of tree species, stand age and soil type on soil microbial biomass and its activity in a southern boreal forest. *Soil Biol. Biochem.* 30: 1077-1089.
- Challenger, A. 1998. Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México: pasado, presente y futuro. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México D. F.
- Delft, B. van, R. de Waal, R. Kemmers, P. Mekink, P., and J. Sevink. 2006. Field guide humus forms: Description and classification of humus forms for ecological applications. Alterra. Wageningen, Netherlands.
- Etchevers, J. D., B. C. Monreal, C. Hidalgo, M. Acosta, J. Padilla y R. M. López. 2005. Manual para la determinación de carbono en la parte aérea y subterránea de sistemas de producción en laderas. Colegio de Postgraduados. Montecillo, estado de México.
- Hattenschwiler, S., A. E. Hagerman, and P. M. Vitousek. 2003. Polyphenols in litter from tropical montane forests across a wide range in soil fertility. *Biogeochemistry* 64: 129-148.
- IBM (International Business Machines). 2009. Pasw Statistics Software versión 18. New Orchard Road, Armonk, NY, USA.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2001. Provincias fisiográficas. Conjunto de datos vectoriales fisiográficos. Continuo Nacional. Escala 1:1'000,000. Serie I, Dirección General de Geografía. Aguascalientes, Ags., México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2002. Geología. Conjunto de datos vectoriales geológicos. Continuo Nacional. Escala 1:1'000,000. Dirección General de Geografía. Aguascalientes, Ags., México.
- Kalbitz, K., K. Kaiser, J. Bargholz, and P. Dardenne. 2006. Lignin degradation controls the production of dissolved organic matter in decomposing foliar litter. *Eur. J. Soil Sci.* 57: 504-516.
- Ladegaard-Pedersen, P., B. Elberling, and L. Vesterdal. 2005. Soil carbon stocks, mineralization rates, and CO₂ effluxes under 10 tree species on contrasting soil types. *Can. J. For. Res.* 35: 1277-1284.
- Loaiza-Usuga, J. C., J. A. Rodríguez-Toro, M. V. Ramírez-Alzate, and A. J. Lema-Tapias. 2010. Estimation of biomass and carbon stocks in plants, soil and forest floor in different tropical forests. *For. Ecol. Manage.* 260: 1906-1913.
- Martínez-Yrizar, A. 1995. Biomass distribution and primary productivity of tropical dry forests. pp 326-45. *In*: S. H. Bullock, H. A. Mooney, E. Medina (eds.). *Seasonally dry tropical forests*. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom.
- Masera, O., M. de J. Ordóñez, and R. Dirzo. 1997. Carbon emissions from mexican forest: Current situation and long-term scenarios. *Clim. Change* 35: 265-295.
- Moore, D., G. McCabe, and M. J. Evans. 2004. Introduction to the practice of statistics minitab manual and minitab version 14. W. H. Freeman. Toronto, Canada.
- Pregitzer, K. S. and E. S. Euskirchen. 2004. Carbon cycling and storage in world forest: biome patterns related to forest age. *Global Change Biol.* 10: 2052-2077.
- Sanger, L. J., P. Cox, P. Splatt, M. Whelan, and J. M. Anderson. 1998. Variability in the quality and potential decomposability of *Pinus sylvestris* litter from sites with different soil characteristics: acid detergent fiber (ADF) and carbohydrate signature. *Soil Biol. Biochem.* 30: 445-461.
- Sariyildiz, T. and J. M. Anderson. 2005. Variation in the chemical composition of green leaves and leaf litters from three deciduous tree species growing on different soil types. *For. Ecol. Manage.* 210: 303-319.
- Saynes, V., C. Hidalgo, J. D. Etchevers, and J. E. Campo. 2005. Soil C and N dynamics in primary and secondary seasonally dry tropical forests in Mexico. *Appl. Soil Ecol.* 29: 282-289.
- Schulp, C. J. E., G. J. Nabuurs, P. H. Verburg, and R. W. de Waal. 2008. Effect of tree species on carbon stocks in forest floor and mineral soil and implications for soil carbon inventories. *For. Ecol. Manage.* 256: 482-490.
- Smit, A. 1999. The impact of grazing on spatial variability of humus profile properties in a grass-encroached Scots pine ecosystem. *Catena* 36: 85-98.
- Son, Y. and S. T. Gower. 1992. Nitrogen and phosphorus distribution for five plantation species in southwestern Wisconsin. *For. Ecol. Manage.* 53: 175-193.
- Thuille, A. and E. D. Schulze. 2006. Carbon dynamics in successional and afforested spruce stands in Thuringia and the Alps. *Global Change Biol.* 12: 325-342.
- Tresender, K. K. and P. M. Vitousek. 2001. Potential ecosystem-level effects of genetic variation among populations of *Metrosideros polymorpha* from a soil fertility gradient in Hawaii. *Oecologia* 126: 266-275.

- Vesterdal, L. and K. Raulund-Rasmussen. 1998. Forest floor chemistry under seven tree species along a soil fertility gradient. *Can. J. For. Res.* 28: 1636-1647.
- Vesterdal, L., E. Ritter, and P. Gundersen. 2002. Change in soil organic carbon following afforestation of former arable land. *For. Ecol. Manage.* 169: 137-147.
- Vesterdal, L., I. K. Schmidt, I. Callesen, L. O. Nilsson, and P. Gundersen. 2008. Carbon and nitrogen in forest floor and mineral soil under six common European tree species. *For. Ecol. Manag.* 255: 35-48.
- Wardle, D. A., O. Zackrisson, G. Hörnberg, and C. Gallet. 1997. The influence of island area on ecosystem properties. *Science* 227: 1296-1299.
- Watson, M. A. and B. B. Casper. 1984. Morphogenetic constraints on pattern of carbon distribution in plants. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 15: 233-258.
- Welke, S. E. and G. D. Hope. 2005. Influences of stand composition and age on forest floor processes and chemistry in pure and mixed stands of Douglas-fir and paper birch in interior British Columbia. *For. Ecol. Manage.* 219: 29-42.
- Yanai, R. D., M. A. Arthur, T. G. Siccama, and C. A. Federer. 2000. Challenges of measuring forest floor organic matter dynamics: Repeated measures from a chronosequence. *For. Ecol. Manage.* 138: 273-283.