



¿Es sustentable el aprovechamiento de tierra de hoja en bosques de encino?

How sustainable is the forest floor harvest in oak forests?

Héctor Daniel Mantero-García¹, Armando Gómez-Guerrero^{2*}, Francisco Gavi-Reyes¹, Bertha Patricia Zamora-Morales³ y Carlos Ramírez-Ayala¹

¹ Colegio de Postgraduados. Posgrado en Hidrociencias. Texcoco, Estado de México, México.

² Colegio de Postgraduados. Posgrado en Ciencias Forestales. Texcoco, Estado de México, México.

³ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento en Ecosistemas Forestales. Ciudad de México, México.

* Autor de correspondencia. agomezg@colpos.mx

RESUMEN

Se investigó si el esquema actual con el que se realiza el aprovechamiento de tierra de hoja es sustentable. Con este fin se evaluó la producción de hojarasca en un bosque de encino con aprovechamiento de tierra de hoja bajo tres condiciones: sin aprovechamiento (C1), aprovechamiento en los últimos dos años (C2) y aprovechamiento de más de dos años (C3). Se estimó la cantidad anual de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg y S) que regresa al piso forestal mediante la caída de hojarasca. Se emplearon trampas de hojarasca de 0.5 m² de área. La producción de hojarasca fue mayor en C₂ y C₃ [9.36 ± 0.64; 10.04 ± 1.92] Mg ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente], en comparación con C₁ [(6.74 ± 0.45) Mg ha⁻¹ año⁻¹]. La cantidad de nutrientes que regresa al piso forestal es 40% mayor en los sitios bajo aprovechamiento que en los sitios sin aprovechamiento. Los resultados sugieren que el aprovechamiento de tierra de hoja estimula la producción de hojarasca. Sin embargo, aun cuando pueda haber un proceso de estimulación en la producción, se debe tener cuidado con el tiempo que se deja descansar un área bajo aprovechamiento, ya que, de acuerdo con los resultados de este estudio, se requieren 14 años de descanso para aprovechar en forma sustentable un mismo sitio; es decir, un tiempo al menos dos veces y media mayor al que se da actualmente. Un esquema sustentable implica que el tiempo entre dos fechas de aprovechamiento es igual al tiempo requerido para formar la capa orgánica retirada.

PALABRAS CLAVE: bosque de encino, caída de follaje, hojarasca, nutrientes en hojarasca, remoción del piso forestal, tierra de hoja.

ABSTRACT

This work aimed to evaluate if the current procedure to harvest forest floor litter is sustainable. For this purpose, the litter production in an oak forest under forest floor removal, at three condition levels, was evaluated: without forest floor removal (C1), with recent forest floor removal in the last two years (C2), and with forest floor removal occurred in a previous time longer than two years (C3). The mass of nutrients (N, P, K, Ca, Mg and S) was also measured in the biomass that returned to the forest floor through the litter fall. Litter traps of 0.5 m² area were used and the litter bulk density and forest floor depth were measured. Litter production was higher in sites C₂ and C₃ [9.36 ± 0.64; 10.04 ± 1.92] Mg ha⁻¹ year⁻¹, respectively], compared to the control site C₁ [(6.74 ± 0.45) Mg ha⁻¹ year⁻¹]. The mass of nutrients that returns to the forest floor was 40% higher in sites with forest floor removal. The results suggest that the removal of forest floor has a stimulating effect on litter production. However, even when there may be a process of stimulation in litter production, this result should be cautiously considered as the data showed that the time period for recurrent removals of forest floor, in a sustainable way, is about 14 years. This is, a span at least two and a half times greater than that used currently in oak forests. A sustainable scheme implies that the time between two removal dates is equal to the time required to form the organic layer retired.

KEYWORDS: oak forests, litterfall, litter, nutrients in litterfall, forest floor removal, forest mulch harvest.

INTRODUCCIÓN

El horizonte orgánico (O) de los suelos forestales está formado por tres capas que se distinguen por su estado de descomposición. Estas capas se identifican con las literales L, F y H o bien con la simbología Oi, Oe y Oa, dependiendo del sistema de descripción morfológica del suelo empleado. Los nombres de las capas mencionadas corresponden a material fresco sin descomponer, descomposición intermedia y material altamente descompuesto, respectivamente. El término “hojarasca” se refiere al material orgánico reciente y menos descompuesto sobre la superficie del suelo, mientras que el término “piso forestal” considera todas las capas orgánicas en diferente estado de descomposición que componen el horizonte O de un perfil de suelo, su límite termina donde inicia el suelo mineral. La extracción del piso forestal de los bosques se realizó inicialmente en Europa en el siglo XVII, con fines energéticos (combustible) y de acondicionamiento de espacios para el ganado (Bray y Gorham, 1964). Sin embargo, en Alemania se observó que el abuso de esta práctica se traducía en deterioro del bosque y en una disminución de la productividad forestal maderable (Bray y Gorham, 1964; Ebermayer, 1876). A pesar de que desde hace siglos se sabe del efecto potencialmente negativo de retirar el piso forestal (Espejel-Rodríguez, Santacruz-García, y Sánchez-Flores, 1999; Flores, Bastida, Jiménez, & Godínez, 2004), su extracción es una práctica común y legalmente sustentada en México mediante la norma NOM-027-SEMARNAT-1996 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat], 1996). Una justificación de tipo social para permitir la extracción del piso forestal es que su aprovechamiento y comercialización representan un ingreso económico para las comunidades forestales. Los horizontes del piso forestal que principalmente se aprovechan son los horizontes Oa y Oe, y la combinación de este material retirado se conoce comúnmente por las comunidades como “tierra de hoja”.

La tierra de hoja de los bosques de encino es un sustrato rico en nutrientes y con presencia de hongos micorrizicos que ayudan al buen desarrollo de las plantas en invernaderos y

viveros (Galindo-García *et al.*, 2012); también sirve como mejorador de suelos de jardines urbanos (Callejas-Ruíz *et al.*, 2009; Flores *et al.*, 2004; Sayer, 2005) y en algunas comunidades se adiciona a tierras agrícolas para mejorar la fertilidad del suelo (Espejel-Rodríguez *et al.*, 1999). La tierra de hoja y el suelo mineral superficial (tierra de monte) representan el volumen principal de los productos no maderables de los bosques de México (Burney *et al.*, 2015; Tapia-Tapia y Reyes-Chilpa, 2008). El problema identificado es que la demanda de tierra de hoja como sustrato para invernaderos va en aumento y se sabe poco de las implicaciones de su extracción (Gayosso-Rodríguez, *et al.*, 2016).

Una pregunta relevante de investigación que surge es ¿qué tan sustentable es el aprovechamiento de la tierra de hoja en los bosques de encino? Parte de la respuesta a esta pregunta está en conocer la cantidad y contenido de nutrientes en la hojarasca de un bosque. No obstante, la información básica en este tema es escasa. Además, en México no existe un protocolo definido para hacer cálculos de la cantidad de nutrientes que salen de un bosque por el aprovechamiento de tierra de hoja; sin embargo, su extracción continúa debido a la demanda creciente para la producción de plantas ornamentales (Flores *et al.*, 2004; Tapia-Tapia y Reyes-Chilpa, 2008).

La cantidad de hojarasca y su contenido de nutrientes son datos importantes para juzgar qué tan serio puede ser el impacto por la extracción del piso forestal (Aceñolaza, Zamboni y Gallardo, 2006; Vitousek y Sanford, 1986). La mayor cantidad de nutrientes que adquieren los árboles de un bosque proviene del suelo superficial (Binkley y Fisher, 2013). En la medida en que la hojarasca se descompone, se mezcla con el primer horizonte mineral de suelo, dando origen al horizonte A de los suelos forestales. Como hojarasca se consideran todos los detritos vegetales como hojas, flores, frutos, semillas, corteza y ramas; sin embargo, en los bosques de encino el componente principal de la hojarasca es la hoja (Valle-Arango e Ignacio, 2003).

Debido a la falta de información en el tema para respaldar la Norma Mexicana, el presente estudio se propone aportar conocimiento sobre la sustentabilidad de la extracción de tierra de hoja.



OBJETIVOS

Los objetivos de este estudio fueron (1) investigar si, bajo las condiciones actuales de la norma Mexicana NOM-027-SEMARNAT-1996, el aprovechamiento de la tierra de hoja es sustentable; considerando como sustentable un aprovechamiento en el que el tiempo de descanso es suficiente para formar el volumen de tierra de hoja aprovechada; (2) evaluar la cantidad de hojarasca acumulada en un bosque de encino y, (3) estimar la masa de nutrientes en la hojarasca (N, P, K, Ca, Mg y S). La cantidad de hojarasca y masa de nutrientes se estudió bajo tres condiciones: sin extracción de tierra de hoja (C1), sujeta a extracción en los últimos dos años (C₂) y sujeta a extracción por un periodo mayor a los dos años (C3). Los resultados de este trabajo son de utilidad para valorar la práctica de extracción de tierra de hoja en un bosque de encino y fortalecer la regulación para su aprovechamiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en la comunidad de Coajumulco (19° 1'55.19"LN y 99°12'30.07"LO), municipio de Huitzilac, Morelos. La altitud de las áreas forestales va de 2500 m a 2700 m snm. Coajumulco es una región sujeta al aprovechamiento de tierra de hoja; está ubicada entre los

límites de los estados Ciudad de México y Morelos, y pertenece al Corredor biológico Chichinautzin. La temperatura media anual del área de estudio varía entre 12 °C - 18 °C, con una precipitación media anual de 1508 mm (Fig. 1).

Selección de sitios de estudio

Se seleccionaron tres condiciones del bosque de encino de acuerdo a la intensidad de alteración por la extracción de tierra de hoja. La primera sin evidencias de aprovechamiento (condición C1), la segunda con aprovechamiento reciente (< dos años; condición C2) y la tercera con aprovechamiento desde hace más de dos años (condición C3). La vegetación natural se compone principalmente por especies de encino, aunque también se encuentran otras hojarasas en la estructura del dosel (Tabla 1). El suelo es somero, de 30 cm-60 cm con un estrato rocoso de basalto que se muestra debajo del suelo mineral. La distribución de horizontes del perfil del suelo es principalmente: O (horizonte orgánico)- A (primer horizonte mineral)- R (Roca). Aunque la estructura arbórea es heterogénea, los sitios a estudiar se seleccionaron por su alta cobertura entre 90% y 100%. Para captar toda la variación de los sitios se hicieron doce repeticiones en cada condición.

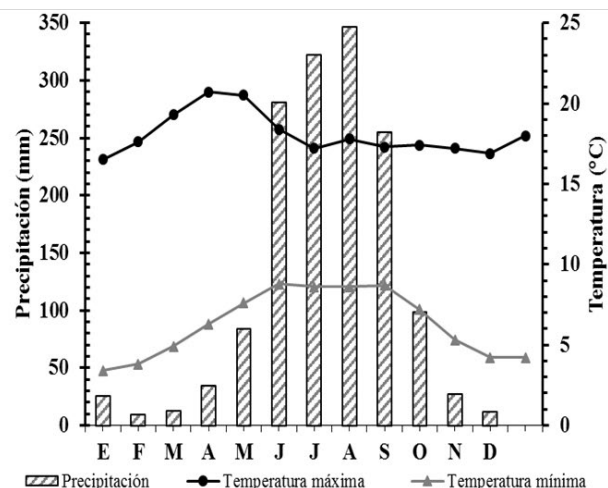
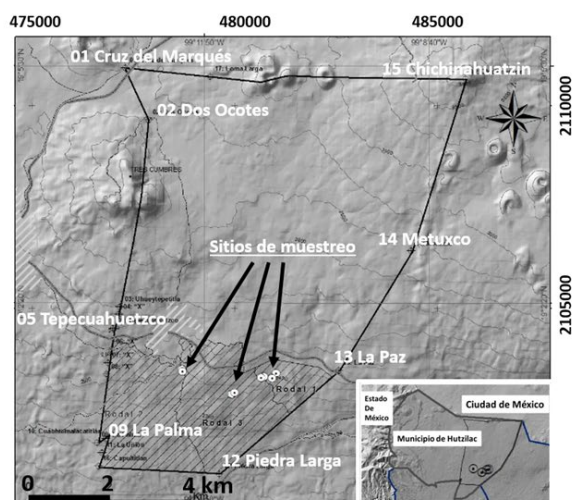


FIGURA 1. Localización y datos climáticos del área de estudio.

TABLA 1. Estructura arbórea típica de los sitios de estudio.

<i>Especie</i>	<i>Arboles ha⁻¹</i>	<i>Porcentaje</i>
<i>Arbustus xalapensis</i>	20	1.1
<i>Clethra macrophylla</i>	5	0.3
<i>Persea sp.</i>	525	28.4
<i>Pinus montezumae</i>	5	0.3
<i>Pinus patula</i>	5	0.3
<i>Pinus teocote</i>	10	0.5
<i>Quercus castanea</i>	180	9.7
<i>Quercus crassifolia</i>	700	37.8
<i>Sassatrum sp.</i>	35	1.9
<i>Symplocos sp.</i>	5	0.3
<i>Ternstroemia pringlei</i>	360	19.5
Total	1850	100.0

Colecta de hojarasca

Para colectar la hojarasca, en cada condición fueron utilizadas 12 trampas circulares con área de 0.5 m². Las trampas se construyeron con tela mosquitera y se hicieron círculos con poliducto de media pulgada de diámetro sostenidos por tres soportes de tubo PVC (policloruro de vinilo) de una pulgada de diámetro y 60 cm de longitud, de tal forma que quedaran a 50 cm sobre el suelo. La colecta de hojarasca se realizó en diez fechas a intervalos mensuales, de noviembre 2016 a septiembre 2017 (periodo de 11 meses). La hojarasca colectada se secó a 70 °C por tres días en estufa con aire de circulación forzada (Riossa HCF-4848D, México). La hojarasca se separó en los componentes de hoja, otros (ramillas, flores, frutos) y total, que incluye la suma de los dos anteriores. Cada componente se pesó en seco en una balanza (Sartorius PRO 32/34F) con 0.001 g de resolución. Los datos de la cantidad de hojarasca se ajustaron proporcionalmente al tiempo equivalente de un año para expresar los resultados en unidades de kg ha⁻¹ año⁻¹.

Profundidad y densidad aparente del piso forestal

En el sitio de referencia sin aprovechamiento de hojarasca, se midió la profundidad promedio del piso forestal con una regla de 1 mm de resolución en nueve puntos distribuidos

a lo largo del sitio. Adicionalmente se retiró y se pesó el piso forestal en cuatro puntos, empleando un marco de 20 cm × 20 cm. Las muestras de piso forestal se secaron en estufa de circulación forzada (Riossa HCF-4848D, México) a 70 °C. Con base en el volumen estimado en la oquedad al retirar el piso forestal y la masa seca, se estimó la densidad aparente del mismo en unidades de megagramo por metro cúbico.

Contenido y masa nutrimental de la hojarasca

De la hojarasca colectada en las trampas de cada condición se separó una muestra cada dos meses para el análisis de contenido de N, P, K, Ca, Mg y S. El nitrógeno se determinó por el método de Kjeldahl; el K, Mg y Ca por digestión húmeda; el S por método turbidimétrico (Horwitz, 1984); y el fósforo total con molibdato de amonio método espectrofotométrico (Norma Mexicana NMX-Y-275-1985, Diario Oficial de la Federación, 4 de noviembre de 1985).

A partir de la concentración media de nutrientes y la masa neta de hojarasca estimada se calculó la cantidad anual de nutrientes que regresa al piso forestal en cada condición. Para estimar la masa de nutrientes por la caída de hojarasca, se separó una muestra de hojarasca cada dos meses para determinar la concentración de los siguientes nutrientes: N, P, K, Ca, Mg y S. La concentración de nutrientes y masa de hojarasca se utilizó para estimar la biomasa de nutrientes en kilogramo por hectárea por año.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó considerando como variable de respuesta la masa de los componentes: hoja, otros y total. Dado que las mediciones se tomaron a través del tiempo durante diez fechas, los datos se analizaron bajo un modelo de medidas repetidas en el tiempo (Littell, Henry y Ammerman, 1998) con el módulo STAT-GLM del paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System [SAS], 2011). El diseño experimental fue de tipo factorial con tres condiciones o tratamientos y diez tiempos o fechas de medición (Littell, Henry y Ammerman, 1998). Este



procedimiento estadístico evalúa la evolución de las variables en cada condición y prueba, si se pueden considerar diferencias en el tiempo dentro de cada condición y si para una fecha específica las tres condiciones son estadísticamente diferentes. Los datos se analizaron de dos maneras, considerando los valores medios de cada fecha de colecta y con valores acumulativos mensuales en cada condición. La comparación de medias para una misma fecha se hizo mediante la diferencia mínima significativa al 0.1 de significancia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción de hojarasca entre condiciones

El análisis de varianza (Tabla 2) indicó que la producción media de hojarasca durante las fechas medidas varió entre condiciones. Sin embargo, la interacción fecha \times condición no fue significativa ($p < 0.199$), indicando que la producción de hojarasca en cada condición varió de acuerdo a la fecha de medición. Con relación a las mediciones acumulativas, los valores medios para una fecha determinada fueron estadísticamente diferentes. Sin embargo, la interacción fecha \times condición fue marginalmente significativa ($p < 0.058$), lo que indica que la tendencia fue similar en las diferentes fechas para las tres condiciones. Las condiciones C2 y C3 mostraron tendencias similares, mientras la condición C1 sin aprovechamiento fue diferente (Fig. 2).

En cuanto a la variable fecha, y considerando una significancia de hasta 10%, las mediciones mensuales del

componente hoja, que es el más importante en masa, mostró diferencias significativas entre condiciones en cinco de las diez fechas de medición (Tabla 3). En el caso de los valores acumulativos, también el componente hoja fue el que mostró más diferencias significativas con dos de las diez fechas.

Producción mensual de hojarasca

La producción mensual de hojarasca separada en los siguientes componentes: (1) hoja (2) otros componentes vegetales (en el que se incluye, ramas, corteza, frutos, flores) y (3) total (suma de los dos componentes anteriores), varió durante los meses del año en las tres condiciones estudiadas (Fig. 2). Independientemente del componente de la hojarasca, se observaron dos picos en la producción, uno en el mes de abril y otro en el mes de julio. Es decir, el primero durante la estación seca del año y otro en julio, una vez establecido el periodo de lluvias. Sin embargo, comparado con el componente hoja, el componente “otros” mostró un pico más abrupto en el mes de julio. La tendencia observada con dos picos estacionales en producción de hojarasca se ha visto también en bosques de pino (Lopez-Escobar *et al.*, 2018). El incremento en caída de follaje en la temporada de sequía podría estar relacionado a estrés hídrico, mientras que el pico de la temporada de lluvias podría estar relacionado con la formación de hojas nuevas y remplazo de follaje viejo. Adicionalmente, con el impacto cinético de la lluvia y viento se acelera la caída de hojas viejas.

TABLA 2. Análisis de varianza para la cantidad de hojarasca

Fuente	G. L.	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pro > F
Mediciones mensuales					
Fecha	9	11.90	1.32	4.96	<.0001
Fecha \times Condición	18	6.31	0.35	1.32	0.1999
Mediciones acumulativas					
Fecha	9	677.29	75.25	92.01	<.0001
Fecha \times Condición	18	24.85	1.38	1.69	0.0585

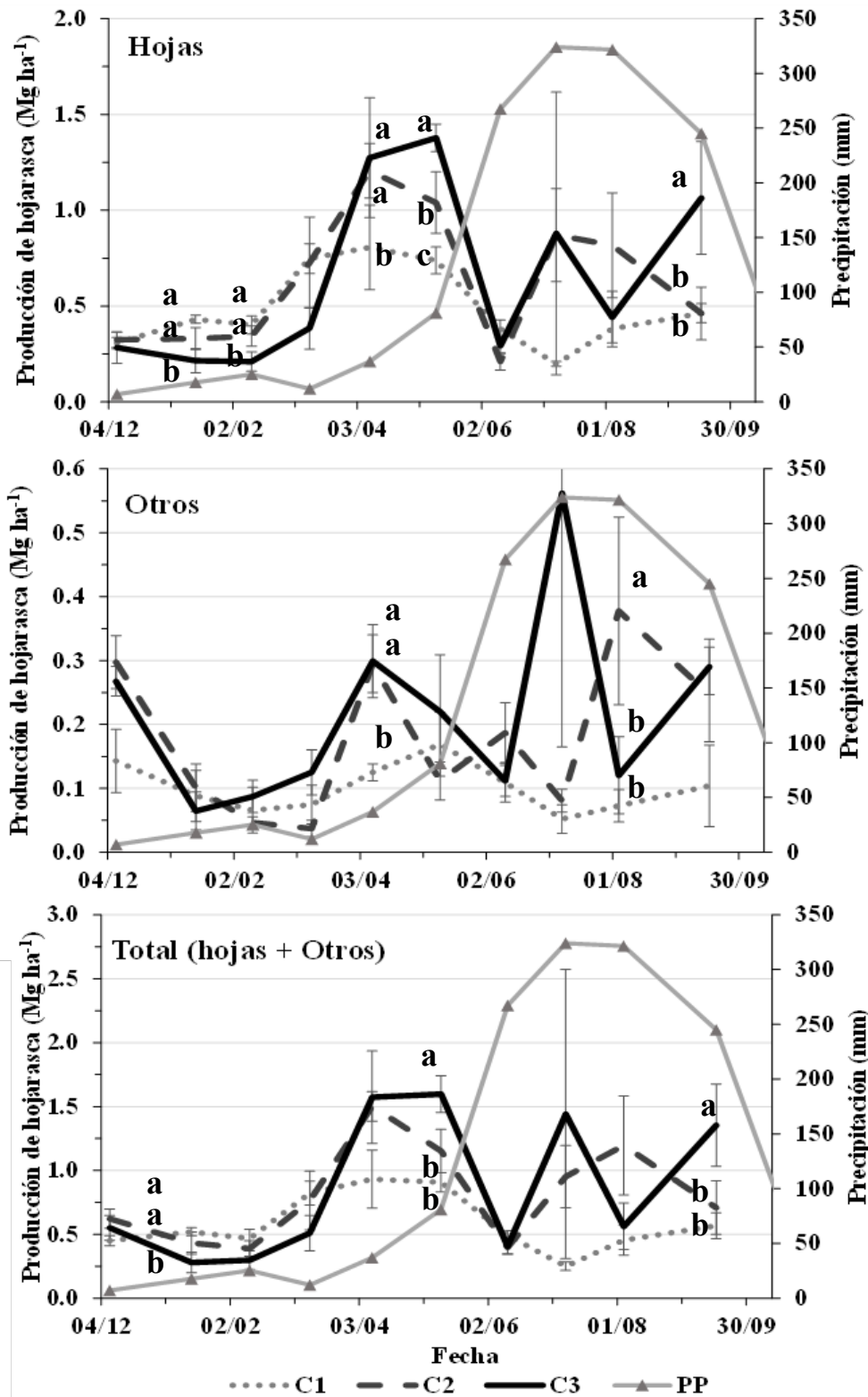


FIGURA 2. Producción mensual de componentes de hojarasca para las tres condiciones. Las literales C1, C2 y C3, representan las siguientes condiciones: sin aprovechamiento, con aprovechamiento reciente durante los dos últimos años y aprovechado actualmente y con intervenciones desde hace más de dos años. Las barras verticales indican desviación estándar. Las medias estadísticamente iguales se indican con la misma literal.



TABLA 3. Diferencias significativas para los componentes de hojarasca mensuales y acumulados*.

Mes	Datos mensuales						Datos acumulados					
	Hojarasca		Hojas		Otros		Hojarasca		Hojas		Otros	
	Valor F	Pr > F	Valor F	Pr > F	Valor F	Pr > F	Valor F	Pr > F	Valor F	Pr > F	Valor F	Pr > F
08-dic	1.33	0.31	0.14	0.87	4.31	0.05	1.32	0.31	0.14	0.87	4.31	0.05
15-ene	2.96	0.10	4.53	0.04	0.26	0.77	1.20	0.35	2.06	0.18	2.12	0.18
11-feb	1.58	0.26	3.84	0.06	0.63	0.55	2.22	0.16	5.70	0.03	1.64	0.25
11-mar	1.03	0.40	1.67	0.24	2.51	0.14	2.18	0.17	4.49	0.04	1.11	0.37
09-abr	1.89	0.21	1.15	0.36	5.40	0.03	0.49	0.63	0.60	0.57	3.42	0.08
11-may	6.64	0.02	8.59	0.01	0.78	0.49	0.81	0.47	0.48	0.63	1.82	0.22
11-jun	1.04	0.39	3.74	0.07	1.54	0.27	0.54	0.60	0.20	0.82	1.57	0.26
08-jul	0.80	0.48	0.76	0.50	1.55	0.26	0.74	0.50	0.50	0.63	1.87	0.21
04-ago	2.45	0.14	1.64	0.25	3.13	0.09	1.18	0.35	0.89	0.44	2.04	0.19
16-sep	3.34	0.08	3.34	0.08	2.49	0.14	2.26	0.16	1.57	0.26	3.34	0.08

* En negritas los valores hasta $P > 0.1$

La producción anual de hojas fue el principal componente de la hojarasca y representó 83%, 78% y 75% de la producción en las condiciones C1, C2 y C3, respectivamente. Esta proporción es cercana a la que señalan en otros estudios donde las hojas representaron entre 60% y 75% de la biomasa de la hojarasca (Imbert, Blanco y Castillo, 2004).

Aunque las tres condiciones mostraron una variación similar en la producción de hojarasca a lo largo del año, las condiciones alteradas C₂ y C₃ mostraron valores más cercanos entre sí, en tanto que el testigo (C1) mostró menor producción de hojarasca, especialmente en los meses donde se presentaron los picos de la producción. Aparentemente se nota un estímulo en la producción de hojarasca en los sitios bajo aprovechamiento.

Profundidad y densidad aparente del piso forestal

La profundidad media del piso forestal en sitios sin aprovechamiento fue de 8.8 cm [densidad específica (D.E.) 1.8] y con una proporción de 24% y 76% en profundidad de hojarasca cruda y hojarasca en descomposición (material ideal para el aprovechamiento). Con respecto a la densidad del piso forestal, esta fue de 0.053 Mg m⁻³ (D.E. 0.021). Estos valores de densidad concuerdan con los observados para bosques de encino (Chojnacky, Amacher y Gavazzi, 2009).

Producción de hojarasca acumulada

Los valores acumulados de los tres componentes mostraron una tendencia similar durante los meses de colecta, (Fig. 3). Los resultados acumulados de las condiciones alteradas C₂ y C₃ mostraron valores similares y superaron a la condición sin aprovechamiento o testigo. La mayor variación se observó en el componente otros. Nuevamente, parece haber un estímulo en la producción de hojarasca en los sitios bajo aprovechamiento.

Producción anual de hojarasca

Los valores de producción del componente total a escalas mensual y anual se muestran en la tabla 4. El orden descendente en producción anual fue C3 > C2 > C1 con valores de (6.74 ± 0.45; 9.36 ± 0.64; 10.04 ± 1.92) Mg ha⁻¹ año⁻¹, es decir, las condiciones más alteradas produjeron más hojarasca que la condición no perturbada

La producción de hojarasca encontrada en este estudio es mayor a la que se ha observado para bosques de encino por Nívar-Cháidez y Jurado-Ybarra (2009) en Nuevo León y las de Rocha-Loredo y Ramírez-Marcial (2009) con 3.01 Mg ha⁻¹ año⁻¹ y 6.50 Mg ha⁻¹ año⁻¹ respectivamente. En el matorral tamaulipeco se ha encontrado una producción de hojarasca entre 3.2 Mg ha⁻¹ año⁻¹ y 4.6 Mg ha⁻¹ año⁻¹ (López-Hernández *et al.*, 2007). A escala mundial, la producción

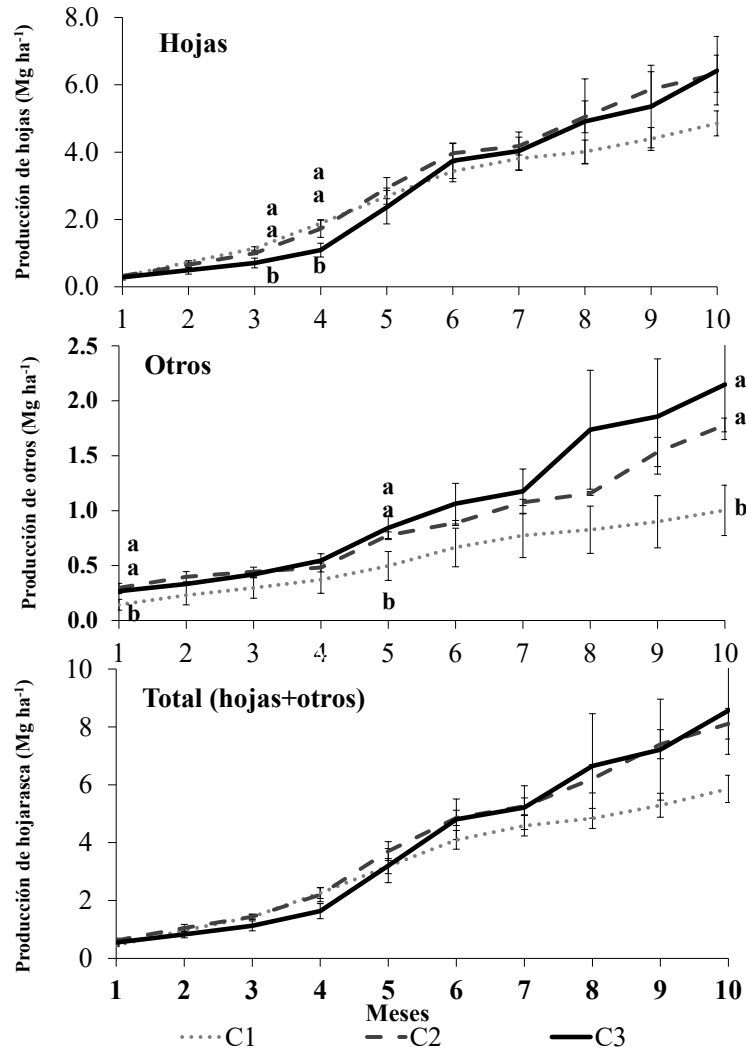


FIGURA 3. Tendencias acumulativas de componente de hojarasca para las tres condiciones.

Las literales C1, C2 y C3, representan las siguientes condiciones: sin aprovechamiento, con aprovechamiento reciente durante los dos últimos años y aprovechado actualmente y con intervenciones desde hace más de dos años. Las líneas verticales indican desviación estándar. Las medias estadísticamente iguales se indican con la misma literal.

TABLA 4. Producción de hojarasca total mensual y anual en Mg ha⁻¹.

Condición	2016					2017					Anual
	08-dic	15-ene	11-feb	11-mar	09-abr	11-may	11-jun	08-jul	04-ago	16-sep	
C1	0.45	0.52	0.47	0.82	0.93	0.91	0.49	0.25	0.45	0.57	6.74
ES	(±0.04)	(±0.03)	(±0.07)	(±0.09)	(±0.23)	(±0.07)	(±0.04)	(±0.03)	(±0.12)	(±0.10)	(±0.45)
C2	0.62	0.43	0.39	0.76	1.50	1.15	0.40	0.95	1.20	0.71	9.36
ES	(±0.08)	(±0.09)	(±0.06)	(±0.23)	(±0.11)	(±0.17)	(±0.06)	(±0.24)	(±0.39)	(±0.21)	(±0.64)
C3	0.55	0.28	0.30	0.51	1.57	1.60	0.40	1.44	0.56	1.35	10.04
ES	(±0.10)	(±0.08)	(±0.07)	(±0.14)	(±0.36)	(±0.14)	(±0.06)	(±1.13)	(±0.18)	(±0.32)	(±1.92)

ES= error estándar. Los valores de la columna Total se expresan en Mg ha⁻¹ año⁻¹.



media esperada de hojarasca para una latitud norte de 19° como la del área de estudio es de 7 Mg ha⁻¹ año⁻¹ (Vogt, Grier, y Vogt, 1986); un valor muy cercano al de la condición sin alterar C1. Por lo tanto, en las condiciones alteradas C2 y C3 con valores más altos de la media esperada, estos podrían estar indicando un efecto de estimulación en la producción de hojarasca, tal vez como consecuencia de la extracción de tierra de hoja. Con menos profundidad de horizonte O, hay menos retención de humedad y menos amortiguamiento en la variación de la temperatura del suelo y como resultado, mayor producción de hojarasca por efecto de estrés hídrico (Jordan, 1985).

La implicación de los resultados se puede explicar de la siguiente forma: el sitio no alterado produjo 6.74 Mg ha⁻¹ año⁻¹ de hojarasca, y tomando en cuenta la densidad aparente del piso forestal medida en este estudio (0.053 Mg m⁻³), así como la profundidad media del piso forestal (8.8 cm), la masa de hojarasca en el piso forestal es de 46.64 Mg ha⁻¹. Es decir, que, si toda la hojarasca producida anualmente se transformara en tierra de hoja, se requerirían al menos 6.9 años (46.64/6.74) de descanso para que el aprovechamiento de tierra de hoja fuera sustentable en esta localidad. Sin embargo, con este razonamiento se asume una eficiencia de transformación de hojarasca cruda a tierra de hoja de 100%, situación que difícilmente ocurre. Para tener una estimación más real se debe considerar que la densidad de la tierra de hoja es de una a cuatro veces mayor que la de la hojarasca cruda (Chojnacky, Amacher y Gavazzi, 2009). Por lo tanto, una estimación conservadora de tiempo de recuperación es de 13.8 años (6.9 × 2). En bosques de *Pinus sylvestris* de Suecia, mediante isótopos de ¹⁴C se ha estimado que, en promedio, la formación de piso forestal toma un tiempo de 17 años (Franklin, Högberg, Ekblad y Ågren, 2003). Si se considera ese tiempo de 14 años como un periodo de descanso sustentable para el aprovechamiento de la tierra de hoja, la práctica común, que en promedio es de cinco años (2.8 veces más frecuente), no es sustentable.

Contenido de nutrientes en la hojarasca

El contenido de nutrientes varió con la fecha de colecta. La figura 4 muestra los cálculos de la masa de nutrientes que regresó al piso forestal en cinco de las diez fechas observadas. Para todos los nutrientes destacó el mes de abril como el periodo de mayor masa de nutrimentos que regresó al piso forestal y se observó una tendencia de incremento en el mes de agosto. Estos resultados se explican tanto por la concentración de nutrientes de cada fecha como por la cantidad de hojarasca caída, como se ha visto en otros estudios (Lawrence, 2005).

La tabla 5 muestra las cantidades anuales que regresaron al piso forestal en cada condición. Las condiciones bajo aprovechamiento de tierra de hoja muestran evidencia de circular mayores cantidades de nutrientes que la condición sin aprovechamiento. Estos valores son entre dos y cuatro veces más grandes a los que se observan en bosques de pino (Lopez-Escobar *et al.*, 2018) y se explican por un mayor contenido de nutrientes en follaje de hojosas. Por otra parte, en bosques de encino que se componen de varias especies como el de este estudio, la retención de nutrientes en follaje disminuye como consecuencia de un piso forestal con mayor actividad biológica y mayor fertilidad (Chávez-Vergara, González-Rodríguez, Etchevers, Oyama, y García-Oliva, 2015).

CONCLUSIONES

Se encontró que la producción de hojarasca fue mayor en sitios que están sujetos a aprovechamiento de tierra de hoja, indicando un posible efecto de estimulación con respecto a las áreas que no están bajo aprovechamiento. Sin embargo, aun cuando pueda haber un proceso de estimulación en la producción de hojarasca, se debe tener cuidado con el tiempo que se deja descansar un área bajo aprovechamiento, ya que, de acuerdo con los resultados de este estudio, se requieren 14 años de descanso para aprovechar en forma sustentable un mismo sitio; es decir, un tiempo al menos dos veces y media mayor al que se da

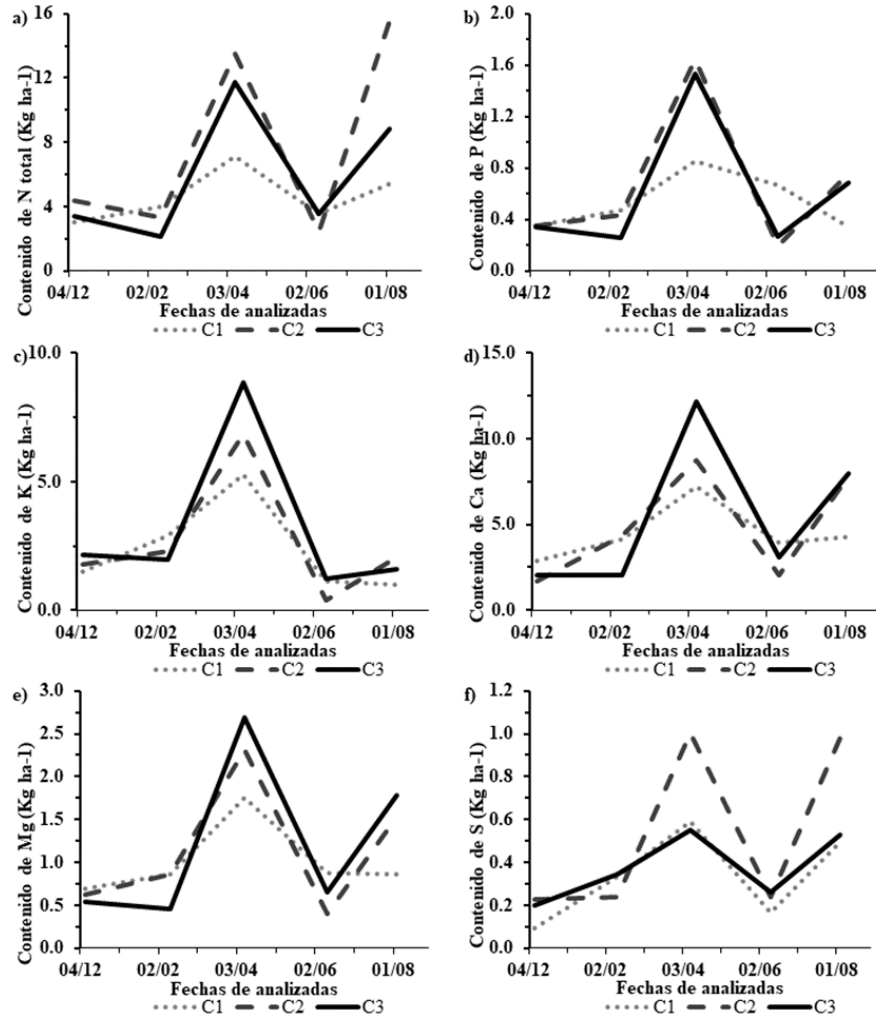


FIGURA 4. Masa de nutrientes a) Nitrógeno total, b) Fósforo, c) Potasio, d) Calcio, e) Magnesio y f) Azufre en las hojas (Mg ha-1). Las literales C1, C2 y C3, representan las siguientes condiciones: sin aprovechamiento, con aprovechamiento reciente durante los dos últimos años y aprovechado actualmente y con intervenciones desde hace más de dos años.

TABLA 5. Masa de nutrientes que regresa al piso forestal por condición (kg ha-1 año-1).

Condición	N	P	K	Ca	Mg	S
C1	81.3	8.0	35.0	67.2	15.1	5.9
C2	112.8	11.0	48.6	93.3	21.0	8.1
C3	121.0	11.8	52.1	100.1	22.5	8.7

actualmente. La cantidad de nutrientes que regresan al piso forestal es muy alta y se debe, en parte, a la diversidad de especies arbóreas que dan lugar a un sustrato de alta calidad rápidamente degradable por los microorganismos del suelo. La hojarasca de bosques de encino del área de estudio es de

un alto contenido nutrimental, lo que explica por qué los productores de ornamentales y dasonomía urbana seguirán buscando la tierra de hoja como insumo. Este trabajo destaca la necesidad de realizar más investigación y adecuar las normas mexicanas vigentes con protocolos sustentables.



RECONOCIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca de postgrado otorgada al primer autor.

REFERENCIAS

- Aceñolaza, P. G., Zamboni, L. P., & Gallardo, J. F. (2006). Ciclos biogeoquímicos de bosques de la llanura de inundación del río Paraná (Argentina): Aporte de hojarasca. En J. F. Gallardo-Lancho (Ed. y Coord.). *Medio ambiente en Iberoamérica, visión desde la física y la química en los albores de siglo XX* (pp. 529-536). Badajoz, España: Diputación de Badajoz.
- Binkley, D., & Fisher, R. (2013). *Ecology and management of forest soils*. NJ, USA: John Wiley & Sons.
- Bray, J. R., & Gorham, E. (1964). *Litter production in forests of the world. Advances in ecological research* (Vol. 2, pp. 101-157): Elsevier.
- Burney, O., Aldrete, A., Alvarez Reyes, R., Prieto Ruíz, J. A., Sánchez Velazquez, J. R., & Mexal, J. G. (2015). México—Addressing Challenges to Reforestation. *Journal of Forestry*, 113(4), 404-413. doi:10.5849/jof.14-007
- Callejas-Ruíz, B., Castillo-González, A., Colinas-León, M., González-Chávez, M. d. C., Pineda-Pineda, J., & Valdez-Aguilar, L. (2009). Sustratos y hongos micorrízicos arbusculares en la producción de nochebuena. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 15(1), 57-66.
- Chávez-Vergara, B. M., González-Rodríguez, A., Etchevers, J. D., Oyama, K., & García-Oliva, F. (2015). Foliar nutrient resorption constrains soil nutrient transformations under two native oak species in a temperate deciduous forest in Mexico. *European Journal of Forest Research*, 134(5), 803-817. doi:10.1007/s10342-015-0891-1
- Chojnacky, D., Amacher, M., & Gavazzi, M. (2009). Separating duff and litter for improved mass and carbon estimates. *Southern journal of applied forestry*, 33(1), 29-34. doi: 10.1093/sjaf/33.1.29
- Ebermayer, E. (1876). *Die gesammte Lehre der Waldstreu mit Rücksicht auf die chemische Statik des Waldbaues: unter Zugrundlegung der in den Königl. Staatsforsten Bayerns angestellten Untersuchungen* (Vol. 2): Springer.
- Espejel-Rodríguez, M. M. A., Santacruz-García, N., & Sánchez-Flores, M. (1999). The use of oak in the region of La Malinche, State of Tlaxcala, Mexico. *Botanical Sciences*, 64, 35-39. doi: 10.17129/botsci.1580
- Flores, E., Bastida, T., Jiménez, G., & Godínez, F. (2004). *Use of plant mulch as a substrate for production of ornamental plants: Xochimilco, Mexico*. Paper presented at the Proceedings of the Interamerican Society for Tropical Horticulture.
- Franklin, O., Höglberg, P., Ekblad, A., & Ågren, G. I. (2003). Pine Forest Floor Carbon Accumulation in Response to N and PK Additions: Bomb 14C Modelling and Respiration Studies. *Ecosystems*, 6(7), 644-658. doi: 10.1007/s10021-002-0149-x
- Gayosso-Rodríguez, S., L. Borges-Gómez, E. Villanueva-Couoh, M. A. Estrada-Botello, & R. Garruña-Hernández. 2016. Sustratos para producción de flores. *Agrociencia*, 50(5), 617-631.
- Galindo-García, D. V., Alía-Tejagal, I., Andrade-Rodríguez, M., Colinas-León, M. T., Canul-Ku, J., & Sainz-Aispuro, M. D. J. (2012). Producción de nochebuena de sol en Morelos, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(4), 751-763.
- Horwitz, W. (1984). Standard Official Methods of Analysis of the Association of Analytical Chemists (14a ed., pp. 121). Washington DC: AOAC (Association of Analytical Chemists).
- Imbert, J. B., Blanco, J. A., & Castillo, F. J. (2004). Gestión forestal y ciclos de nutrientes en el marco del cambio global. En F. Valladares (Ed.), *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante* (pp. 479-508). Madrid, España: Organismo Autónomo de Parques Nacionales.
- Jordan, C. F. (1985). *Nutrient cycling in tropical forest ecosystems: principles and their application in management and conservation*. Canadá: John Wiley & Sons.
- Lawrence, D. (2005). Regional-scale variation in litter production and seasonality in tropical dry forests of southern Mexico. *Biotropica*, 37(4), 561-570. doi: 10.1111/j.1744-7429.2005.00073.x
- Littell, R. C., Henry, P. R., & Ammerman, C. B. (1998). Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedures. *Journal of Animal Science*, 76(4), 1216-1231. doi: 10.2527/1998.7641216x
- Lopez-Escobar, N. F., Gomez-Guerrero, A., Velazquez-Martinez, A., Fierros-Gonzalez, A. M., Castruita-Esparza, L. U., & Vera-Castillo, J. A. (2018). Reservoirs and nutrient dynamics in two stands of Pinus montezumae Lamb. in Tlaxcala, Mexico. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 24(1), 115-129. doi: 10.5154/r.rchscfa.2017.09.055
- López-Hernández, J. M., González-Rodríguez, H., Ramírez-Lozano, R. G., Cantú-Silva, I., Gómez-Meza, M. V., Pando-Moreno, M., & Estrada-Castillón, A. E. (2013). Producción de hojarasca y retorno potencial de nutrientes en tres sitios del estado de Nuevo León, México. *Polibotánica*, 35, 41-64.

- Návar-Cháidez, J. d. J., & Jurado-Ybarra, E. (2009). Productividad foliar y radicular en ecosistemas forestales del Noreste de México. *Ciencia forestal en México*, 34(106), 89-106.
- Rocha-Loredo, A. G., & Ramírez-Marcial, N. (2009). Producción y descomposición de hojarasca en diferentes condiciones sucesionales del bosque de pino-encino en Chiapas, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 84, 1-12.
- Statistical Analysis System [SAS] (2011). *SAS/ETS 9.3 User's Guide*. Cary, NC. SAS Institute Inc.
- Sayer, E. J. (2005). Using experimental manipulation to assess the roles of leaf litter in the functioning of forest ecosystems. *Biological Reviews*, 80 (1), 1-31. doi: 10.1017/S1464793105006846
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat] (1996). Norma Oficial Mexicana NOM-027-SEMARNAT-1996 Que establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de tierra de monte. México, D.F. Semarnat.
- Tapia-Tapia, E. D. C., & Reyes-Chilpa, R. (2008). Productos forestales no maderables en México: aspectos económicos para el desarrollo sustentable. *Madera y Bosques*, 14(3), 95-112. doi: 10.21829/myb.2008.1431208
- Valle-Arango, D., & Ignacio, J. (2003). Cantidad, calidad y nutrientes reciclados por la hojarasca fina en bosques pantanosos del Pacífico Sur Colombiano. *Interciencia*, 28(8), 443-449.
- Vitousek, P. M., & Sanford, R. L. (1986). Nutrient cycling in moist tropical forest. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 17(1), 137-167. doi: 10.1146/annurev.es.17.110186.001033
- Vogt, K. A., Grier, C. C., & Vogt, D. J. (1986). Production, turnover, and nutrient dynamics of above- and belowground detritus of World Forests. En A. MacFadyen & E. D. Ford (Eds.), *Advances in Ecological Research* (Vol. 15, pp. 303-377). Academic Press.

Manuscrito recibido el 19 de junio de 2018

Aceptado el 27 de febrero de 2019

Publicado el 13 de diciembre de 2019

Este documento se debe citar como:

Mantero-García, H. D., Gómez-Guerrero, A., Gavi-Reyes, F., Zamora-Morales, B. P., & Ramírez-Ayala, C. (2019). ¿Es sustentable el aprovechamiento de tierra de hoja en bosques de encino?. *Madera y Bosques*, 25(3), e2531807. doi: 10.21829/myb.2019.2531807



Madera y Bosques por Instituto de Ecología, A.C. se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.