

Revista Cubana de Ciencias Forestales

Volumen 13, número 3; 2025, septiembre-diciembre



Artículo original

*Nutrientes en el piso forestal y raíces en rodal de **Pinus pseudostrobus** bajo aclareo*

*Nutrients on the forest floor and roots of **Pinus pseudostrobus** stand under thinning*

*Nutrientes no solo e nas raízes da floresta em um povoamento desbastado de **Pinus pseudostrobus***

Carolina Aurora Ambrocio-Hernández¹ , Gerardo Rodríguez-Ortiz¹ ,
José Raymundo Enríquez-del Valle¹ , Vicente Arturo Velasco-Velasco¹ ,
Judith Ruiz-Luna¹ , Marcos Emilio Rodríguez-Vásquez^{1*} 

¹Tecnológico Nacional de México, División de Estudios de Posgrado e Investigación- IT del Valle de Oaxaca. Ex-Hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México.

*Autor por correspondencia; marcos.rv@voaxaca.tecnm.mx

Recibido: 01/05/2025.

Aprobado: 13/11/2025.

Publicado: 16/11/2025.



RESUMEN

El bosque almacena nutrientes en la biomasa de sus compartimientos, mismos que pueden modificarse favorablemente por medio de tratamientos silvícolas. El objetivo fue analizar el efecto del aclareo en respuesta a tratamientos silvícolas en un rodal joven de *Pinus pseudostrobus* en San Pedro el Alto, Oaxaca, México. En 2021 se realizó un muestreo destructivo de plantas herbáceas y arbustivas, necromasa, hojarasca, humus y raíces para cuantificar biomasa, carbono (C) y nitrógeno (N). Se utilizó un diseño complementemente aleatorizado (DCA) para los nutrientes en la biomasa y un DCA con arreglo factorial para el análisis de raíces. Se realizó un análisis de varianza y prueba de Duncan para la comparación de medias. El tratamiento IA_BA, que corresponde a una intensidad de aclareo alta (IA = 75 %) y área basal alta (BA >14 m² ha⁻¹), con una densidad de 2083 árboles por hectárea, mostró diferenciales significativas en comparación con otros tratamientos, específicamente en la cantidad de N en la hojarasca y en la biomasa de necromasa. El total de C fue en el tratamiento IB_BA, que presenta una intensidad de aclareo baja, fue de 11,80 t ha⁻¹, distribuyéndose en hojarasca (35,76 %), necromasa (14,40 %) y humus (49,83 %). El peso más alto de raíces registrado fue de 9,6 g m⁻², mientras que el contenido C en raíces alcanzó las 5,1 t ha⁻¹ en el tratamiento IA_BA. Además, el aclareo, la profundidad del suelo y el grosor de las raíces tienen efectos significativos en el sistema radical, con una densidad de 17,6 raíces finas por metro cuadrado en condiciones de intensidad de aclareo baja (50 %) y área basal alta, en comparación con el testigo, que presentó 9,6 raíces finas por metro cuadrado a una profundidad de 15 cm. La biomasa y nutrientes se ven afectados por la intensidad de aclareos al igual que las condiciones de los sitios.

Palabras clave: biomasa, carbono, humus, intensidad de aclareo, necromasa, nitrógeno.

ABSTRACT

Forests store nutrients in the biomass of its compartments, which can be modified favorably through silvicultural treatments. The objective was to analyze the effect thinning in response to silvicultural treatments in a young *Pinus pseudostrobus* stand in San Pedro el Alto, Oaxaca, Mexico. In 2021, destructive sampling on herbaceous and



bushy plants, necromass, litterfall, humus and root was carried out to quantify biomass, carbon (C) and nitrogen (N). A completely randomized design (DCA) was used for nutrients in biomass and a DCA with factorial arrangement for root analysis. An analysis of variance and Duncan tests were performed to compare means. The IA_BA treatment, which corresponds to a high thinning intensity (IA = 75 %) and high basal area (BA >14 m² ha⁻¹), with a density of 2083 trees per hectare, showed significant different with respect to the other treatments, specifically in the amount of N in litter and biomass in necromass. The total C in the IB_BA treatment, which has a low thinning intensity, with 11,80 t ha⁻¹, distributed in litter (35,76 %), necromass (14,40 %) and humus (49,83 %). The highest root weight recorded was 9,6 g m⁻², while the C content in roots reached 5,1 t ha⁻¹ in the IA_BA treatment. Furthermore, thinning, soil depth and root thickness had significant effects on the root system, with a density of 17,6 fine roots per square meter under low thinning intensity (50 %) and basal area high area conditions, compared to the control, which had 9,6 fine roots per square meter at a depth of 15 cm. Biomass and nutrients are affected by the intensity of thinning as well as site conditions.

Keywords: biomass, carbon, humus, bulk density, necromass, nitrogen.

RESUMO

As florestas armazenam nutrientes na biomassa de seus compartimentos, que podem ser modificados favoravelmente por meio de tratamentos silviculturais. O objetivo deste estudo foi analisar o efeito do desbaste em resposta a tratamentos silviculturais em um povoamento jovem de *Pinus pseudostrobus* em San Pedro el Alto, Oaxaca, México. Em 2021, foi realizada amostragem destrutiva de plantas herbáceas e arbustivas, necromassa, serapilheira, húmus e raízes para quantificar biomassa, carbono (C) e nitrogênio (N). Um delineamento inteiramente casualizado (DIC) foi utilizado para a análise de nutrientes na biomassa, e um DIC fatorial foi utilizado para a análise das raízes. Análises de variância e o teste de Duncan foram realizados para comparação de médias. O tratamento IA_BA, correspondente a uma alta intensidade de desbaste (IA = 75%) e alta área basal (AB > 14 m² ha⁻¹), com densidade de 2083 árvores por hectare, apresentou diferenças significativas em comparação aos demais tratamentos, especificamente na quantidade de nitrogênio na serapilheira e na biomassa da



necromassa. O carbono total no tratamento IB_BA, que apresenta baixa intensidade de desbaste, foi de 11,80 t ha⁻¹, distribuído entre serapilheira (35,76%), necromassa (14,40%) e húmus (49,83%). O maior peso radicular registrado foi de 9,6 g m⁻², enquanto o teor de carbono radicular atingiu 5,1 t ha⁻¹ no tratamento IA_BA. Além disso, o desbaste, a profundidade do solo e a espessura das raízes têm efeitos significativos no sistema radicular, com uma densidade de 17,6 raízes finas por metro quadrado em condições de baixa intensidade de desbaste (50%) e alta área basal, em comparação com o controle, que apresentou 9,6 raízes finas por metro quadrado a uma profundidade de 15 cm. A biomassa e os nutrientes são afetados tanto pela intensidade do desbaste quanto pelas condições do local.

Palavras-chave: biomassa, carbono, húmus, intensidade de desbaste, necromassa, nitrogênio.

INTRODUCCIÓN

Habitualmente, se considera que el cambio climático únicamente se relaciona con lo que sucede en la atmósfera, sin embargo, el suelo y sus bosques son el segundo sumidero de carbono (C) de mayor importancia, donde irracionalmente la extracción de madera es la perturbación más importante, tanto en extensión como en remoción de C (Oswalt *et al.*, 2019).

Los ecosistemas forestales almacenan una mayor cantidad de C por unidad de superficie que cualquier otro tipo de uso de la tierra. Esto se debe a que los suelos forestales contienen entre 60 % y 85 % del C total en bosques templados (Domke *et al.*, 2021). Esta capacidad de acumulación de carbono hace que los bosques sean fundamentales en la mitigación del cambio climático.

Dada la importancia económica del manejo forestal sustentable en ecosistemas forestales, los estudios de los nutrimentos en bosques y el secuestro de C están recibiendo mayor atención. Estos aspectos permiten comprender la producción primaria y el flujo de energía en los ecosistemas. Por esta razón, suelen tener los precios más altos en la valoración económica y ecológica de los servicios de los ecosistemas, principalmente los relacionados directamente con la captura de C (Ontl *et al.*, 2020).



Muchos investigadores y prestadores de servicios forestales se preguntan si las prácticas silvícolas utilizadas alteran la cantidad de nutrientes y si reducen o no la fertilidad del suelo, particularmente si se aplica el derribo de árboles completos (Mayer *et al.*, 2020). El stock actual de C en los bosques del mundo se estima en 861 ± 66 Pg C, con 42 % en biomasa viva (sobre y bajo tierra), 8 % en madera muerta y 44 % en suelo mineral (Galicía *et al.*, 2016).

Las perturbaciones en los bosques, intencionadas o no, tienen un efecto muy significativo en las reservas de C terrestre, tanto en el piso forestal como en el suelo mineral (Cao *et al.*, 2019). En investigaciones realizadas a los bosques, se ha encontrado que la extracción de materia forestal reduce el C del suelo de un 8 a un 11 % dependiendo del tipo de ecosistema y hasta un 36 % si se trata de la primera capa del suelo (James y Harrison 2016).

Por lo tanto, resulta indispensable evaluar los cambios a través del tiempo, aplicando prácticas silvícolas como el aclareo para que recuperen y mantengan el potencial de los suelos en la captura de C (Mayer *et al.*, 2020). Por otro lado, a largo plazo resulta altamente beneficioso, principalmente en las existencias volumétricas de madera y C en la estructura del ecosistema (Zhang *et al.*, 2018). Sin embargo, la cosecha de biomasa subterránea ha sido poco estudiada debido a la falta de datos experimentales sólidos y a que el método directo empleado (derribar el árbol y extraer raíces) resulta destructivo para el bosque (Quintero-Gradilla *et al.*, 2022).

No obstante, realizar estimaciones de biomasa subterránea de manera precisa es fundamental para conocer los cambios obtenidos después del aclareo. Las raíces, por ejemplo, representan una fracción significativa de la biomasa total de un árbol (15-45 %); además juegan un papel importante en la dinámica nutrimental de los bosques, pues desempeñan funciones importantes en los ciclos biogeoquímicos y flujos de nutrientes (Fan *et al.*, 2017). El suelo contiene la mayor cantidad de C en interacción con la atmósfera, estimando que hay alrededor de 1 500 Pg C a 1 m de profundidad y cerca de 2 456 Pg C a 2 m, lo que significa que existe un aumento en el secuestro de otros nutrientes como de nitrógeno (Deng *et al.*, 2016).



Por ello, el presente estudio pretende analizar el efecto de las intensidades de aclareo en los contenidos de C y N en el piso forestal y raíces, en un rodal joven de *Pinus pseudostrobus* Lindl. de San Pedro el Alto, Oaxaca, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área experimental se estableció en un rodal de *Pinus pseudostrobus* en la Cofradía, perteneciente a San Pedro el Alto, Zimatlán, Oaxaca, dentro del paraje llamado “La Pobreza”, en el cual se presentó un incendio en 2008, que generó alta densidad (aproximadamente 1 100 árboles por hectárea) y homogeneidad en tamaño. Los sitios se establecieron en 2018 y se localizan a una altitud de 2 800 m, 16°80'83,33" LN y -097°05'33,3" LO. Es un área de 18 ha donde se establecieron parcelas de árboles en fase de desarrollo latizal y con alturas entre 7 y 13 m. Los aclareos se realizaron con la finalidad de optimizar el crecimiento diametral de árboles residuales (Pérez-Alavez *et al.*, 2023).

Diseños experimentales

El trabajo se realizó en el año 2018 en una zona que está bajo aprovechamiento forestal. Dentro del área de estudio se establecieron 15 sitios de muestreo de 400 m² de forma circular para desarrollar dos ensayos. 1) ensayo 1: utilizó 12 sitios que se sometieron a intensidades de aclareo (I) alta IA = 75 % y baja IB = 50 %, que se aplicaron en condición de área basal (B) alta (BA > 14,2 m² ha⁻¹) y baja (BB < 12,8 m² ha⁻¹); a partir de ello, se establecieron cuatro tratamientos (IA_BA, IB_BA, IA_BB y IB_BB) con tres repeticiones, en diseño experimental completamente aleatorizado (DCA). Con base a este diseño, se cuantificó el C y N contenido en la biomasa aérea estructural y de compartimentos (hojarasca, humus, herbáceas, arbustivas y necromasa).

2) Ensayo 2: a los 12 sitios del primer ensayo se agregaron tres sitios que funcionaron como testigo (sin aclareo). Se utilizó diseño DCA con arreglo factorial 5×3×3, intensidad de aclareo, profundidad de suelo (15, 30 y 50 cm) y grosor de raíz (gruesa, media y fina)



con tres repeticiones (Pérez-Alavez *et al.*, 2023). Bajo este ensayo se estudiaron peso de raíces, dimensiones, volumen, densidad por unidad de superficie, densidad aparente y contenido de C.

Las variables registradas en campo para realizar las estimaciones de biomasa aérea y densidad de raíces se indican en la Tabla 1.

Tabla 1. - Variables registradas en campo de *Pinus pseudostrobus* Lindl. bajo aclareo

Diseño 1	Variables registradas en campo
	Sitio
	Número de árbol
	Diámetro normal (cm)
	Altura total (m)
	Número de muestra. Biomasa en compartimentos y estructuras
Diseño 2	Variables registradas en campo
	Sitio
	Peso y volumen de raíz
	Longitud y diámetro de raíz (mm)
	Profundidad se suelo Densidad de raíces y densidad aparente

Muestreo en el piso forestal

Sobre la superficie se colectaron muestras de necromasa (componentes de plantas muertas), incluyendo hojarasca, troncos y ramas caídas, tocones y raíces muertas (Pearson *et al.*, 2005). En este estudio, se consideró como necromasa a ramas gruesas y finas, troncos caídos y conos.

Además, muestras de herbáceas vivas en parcelas de 3×3 m dentro de cada sitio, para pesarlos en una báscula Torrey® serie EQB/EQM Houston, TX, USA (peso fresco de la muestra *PFM*, kg). De lo anterior, se tomó una muestra de aproximadamente 700 g para llevarlas al Laboratorio de Agroecosistemas del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca donde se obtuvieron factores de conversión de biomasa (*FCB*)/sitio ($FCB = \frac{PSM}{PFM}$). Donde, *PSM*= peso seco de la muestra (kg), *PFM*= peso fresco de la muestra (kg); los cuales se utilizaron para estimar la biomasa de ramas/árbol, mediante el producto $FCB \times PFR$.



Para la colecta de humus se delimitó un espacio de 1 m² dentro de cada uno de los 12 sitios (g, definido aquí como materia orgánica en su último estado de descomposición por la acción de los microorganismos del suelo), obteniendo tres repeticiones por sitio y posteriormente pesarlo. Las submuestras se metieron a una estufa de secado (marca Beschickung/Loading-modell 100-800 Memmert) a 72 °C para obtener sus pesos secos (g). La determinación de los FCB por compartimento se realizó mediante la metodología de Rodríguez-Ortiz *et al.* (2019), donde se calculó la biomasa con el factor de conversión de biomasa $B = (PS/PF) / 1000$. Donde, B = biomasa (kg), PS = peso seco y PF = peso fresco.

Se consideró el método de *Walkey y Black* (NOM-021-RECNAT-2000) para la determinación del C orgánico a través del contenido de materia orgánica. Se pesaron 0,5 g de cada muestra en un matraz Erlenmeyer con capacidad de 500 mL, a la cual se agregaron 10 mL de K₂Cr₂O₇ 1,00 N, a la solución obtenida se añadieron 20 mL de H₂SO₄ y se dejó reposar 30 min; transcurrido ese tiempo se agregaron 200 mL de agua destilada, 5 mL de H₃PO₄ y cinco gotas de difenilamina; posterior se realizó la titulación para calcular el porcentaje de materia orgánica y así multiplicarlo por 0,58 para su conversión a C orgánico. Para la determinación de nitrógeno se utilizó el método de *Kjendahl*, que consistió en la oxidación húmeda de la materia orgánica con ácido sulfúrico caliente (López-Choque *et al.*, 2023).

Muestreo destructivo de biomasa subterránea

En la parte central de cada sitio se delimitó cuidadosamente un espacio de 50×50 cm para retirar hojarasca y humus; posterior se excavó el suelo mineral con pala y barreta hasta llegar a los 15 cm. Esta primera capa de suelo se tamizó con malla de 3 mm, para posteriormente tomar peso total de raíces y adquirir una muestra representativa de cada uno de los tamaños; se realizó el mismo procedimiento hasta llegar a los 30 cm y finalmente a los 50 cm y al final se colectaron tres repeticiones por sitio. Las raíces se midieron con un vernier con la finalidad de clasificarlas de acuerdo al grosor: raíces finas (≤ 1 mm), raíces medias (1,1-3,0 mm) y raíces gruesas ($> 3,0$ mm). Las muestras de las raíces se enviaron al Laboratorio Central Universitario de Chapingo, donde se analizaron para obtener el contenido de C por el método de calcinación (Izquierdo-Bautista y Arévalo-Hernández, 2021).



Para conocer la gravedad específica de las raíces y el suelo se utilizó la siguiente ecuación (1):

$$GE = \frac{P}{VOL} \quad (1)$$

Donde:

GE = gravedad específica (g cm^{-3});

P = peso seco (g);

VOL (cm^{-3}) = volumen, en raíces y suelo.

El carbono orgánico (COR) y N contenido en la muestra de raíces se infirió por unidad de superficie (kg ha^{-1}) y se obtuvo como producto el peso total de la muestra de raíces (g) y la proporción de C y N obtenidos en el análisis de laboratorio.

Análisis estadístico

En los datos se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas mediante las pruebas respectivas de *Shapiro-Wilk* y *Bartlett* ($\alpha = 0,05$) (Rodríguez-Vásquez *et al.*, 2024); previamente, los datos originales de algunas variables fueron transformadas a raíz cuadrada de $x+1$, debido a que presentaron distribuciones probabilísticas diferentes a la distribución normal (Gutiérrez-Pulido y De la Vara-Salazar, 2012). Se realizaron análisis de varianza y pruebas de Duncan ($p \leq 0,05$) para la comparación de medias, utilizando el software estadístico Statistical Analysis System (SAS) versión 9,4 (SAS Institute versión universitaria®, 2018).

RESULTADOS

Árboles residuales

La densidad inicial (2, 083 árboles), así como todos los contenidos de biomasa evaluados se diferenciaron entre tratamientos ($p \leq 0,05$); los contenidos de C en necromasa, humus y arbustos se diferenciaron entre los niveles de aclareo ($p \leq 0,05$), lo cual no sucedió en los compartimentos hojarasca y herbáceas ($p > 0,05$). El N contenido en hojarasca mostró diferencias significativas altas ($p = 0,01$), lo cual no sucedió con el resto de variables ($p >$



Tabla 2. - Resumen del análisis de varianza del contenido de carbono (C) y nitrógeno (N) en biomasa en rodal de *Pinus pseudostrobus* Lindl. bajo aclareo

Característica	Tratamiento silvícola	Error	Total	Coefficiente de variación (%)	Raíz del cuadrado medio del error
Grados de libertad	3	8	11		
Densidad inicial ^u	76,70*	31,70		14,80	5,60
Biomasa en hojarasca ^u	0,30*	0,08		10,30	0,30
Biomasa en necromasa ^{um}	1,30**	0,15		179,70	0,39
Biomasa en humus ^{ummm}	6,40*	3,20		52,20	1,80
Biomasa herbácea ^{ummm}	0,03*	0,12		97,60	0,34
Biomasa en arbustos ^{ummm}	18,50*	20,90		62,30	4,50
C en hojarasca ^{ummm}	26,40 ^{ns}	30,90		22,40	0,90
C en necromasa [†]	0,22*	0,09		104,70	0,30
C en humus ^{ummm}	10,90*	5,00		54,10	2,20
C en herbácea ^{ummm}	0,00 ^{ns}	0,00		135,50	0,07
C en arbustos ^{ummm}	0,00*	0,00		62,80	0,03
N hojarasca ^{um}	0,00**	0,00		21,10	0,03
N necromasa ^{ummm}	0,07 ^{ns}	0,08		179,00	0,29
N en humus ^{ummm}	0,10 ^{ns}	0,08		65,60	0,29
N en herbácea ^{ummm}	0,00 ^{ns}	0,00		119,00	0,00
N en arbustos ^{ummm}	0,00 ^{ns}	0,00		64,50	0,00

ns = no significativo ($p > 0,05$); * Significativo ($p \leq 0,05$); ** Altamente significativo ($p \leq 0,01$). Variables con transformación $\pi, \pi\pi\text{seno}(x), \pi\pi\text{tangente}(x), \dagger\text{coseno}(x) (\sqrt{X+1})$.

Se encontró el contenido más alto de biomasa en los compartimientos necromasa (98,76 t ha⁻¹) y hojarasca (9,03 t ha⁻¹) donde se aplicó una $IA = 75 \%$, $AB > 14 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, mismo que generó un incremento diferencial respectivo de 588,7 % y 83,5 % con respecto al tratamiento con $IA=50 \%$ en sitios con menos área basal. La biomasa en humus también sobresalió en los tratamientos con $IA = 50 \%$ con respecto a los sitios con $IA = 75 \%$ independiente del área basal (Tabla 3). La biomasa en humus presentó 6,3 t C ha⁻¹ en el tratamiento 4 ($IB = 50 \%$, $BB \leq 14 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$), el cual generó un incremento diferencial de



70,7 % ($2,6 \text{ t ha}^{-1}$) más que el promedio de los demás tratamientos; mientras que en necromasa se encontró el contenido más alto de carbono ($4,85 \text{ t ha}^{-1}$) en el tratamiento IA_BA ($IA = 75 \%$, $BA > 14 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) generando un incremento diferencial de 286,9 % más que el promedio de los otros tres tratamientos. El caso de N fue similar, pues el contenido más alto en humus fue de $0,58 \text{ t ha}^{-1}$ en el tratamiento IB_BB. Cabe mencionar que solo la variable hojarasca presentó mejor respuesta a los tratamientos ($p < 0,01$) que las variables necromasa, humus, herbácea y arbusto que no generaron cambios significativos ($p > 0,05$) (Tabla 3).

Tabla 3. - Contenido de carbono (C) y nitrógeno (N) (t ha^{-1}) en biomasa de *Pinusseudostrobus* Lindl. bajo aclareo

Variable	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4
	IA (75 %)_BA ($> 14 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$)	IB (50 %)_BA ($> 14 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$)	IA (75 %)_BB ($\leq 14 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$)	IB (50 %)_BB ($\leq 14 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$)
Densidad inicial (árboles ha^{-1})	2 083±449 ^a	1 425±232 ^{ab}	1 217±123 ^{ab}	1 167±145 ^b
Biomasa en hojarasca	9,03±1,30 ^a	7,44±1,00 ^{ab}	5,48±0,80 ^b	4,92±0,10 ^b
Biomasa en necromasa	98,76±82,00 ^a	30,50±14,80 ^b	17,36±3,90 ^b	14,34±3,20 ^c
Biomasa en humus	34,30±8,30 ^b	45,00±11,70 ^a	35,0±12,60 ^b	50,71±15,80 ^a
Biomasa herbácea	0,40±0,10 ^b	0,30±0,10 ^b	0,39±0,10 ^b	1,23±0,80 ^a
Biomasa en arbustos	0,36±0,20 ^b	0,96±0,06 ^a	0,5±0,10 ^b	0,77±0,30 ^{ab}
C en hojarasca	3,82±0,30 ^a	4,22±0,70 ^a	4,92±0,40 ^a	3,96±0,60 ^a
C en necromasa	4,85±4,00 ^a	1,70±0,80 ^b	0,65±0,10 ^b	1,41±0,30 ^b
C en humus	3,04±0,70 ^b	5,88±1,50 ^a	2,15±0,70 ^b	6,30±1,90 ^a
C en herbácea	0,04±0,01 ^a	0,03±0,01 ^a	0,04±0,01 ^a	0,13±0,08 ^a
C en arbustos	0,03±0,01 ^b	0,08±0,00 ^a	0,04±0,01 ^b	0,07±0,03 ^a
N hojarasca	0,15±0,01 ^b	0,14±0,02 ^b	0,22±0,01 ^a	0,15±0,02 ^b
N necromasa	0,31±0,20 ^a	0,08±0,04 ^a	0,06±0,01 ^a	0,05±0,01 ^a
N en humus	0,26±0,06 ^a	0,41±0,10 ^a	0,34±0,00 ^a	0,58±0,10 ^a
N en herbácea	0,003±0,00 ^a	0,002±0,00 ^a	0,004±149,40 ^a	0,009±0,00 ^a
N en arbustos	0,006±0,00 ^a	0,005±0,00 ^a	37,00±0,00 ^a	0,009±0,00 ^a

Medias con diferentes letras en hileras son estadísticamente diferentes (Duncan, $p \leq 0,05$); media $\pm$ error estándar; $I_{A,B}$ = intensidad de aclareo (%) alta y baja; $B_{A,B}$ = área basal residual alta y baja



Muestreo destructivo de raíz

El factor aclareo tuvo efectos significativos en todas las variables ($p < 0,05$); el mayor número de raíces se encontró en respuesta al tratamiento IB_BA (T2) con 17,6 raíces m^{-2} , a una profundidad de 15 cm (17,9 raíces m^{-2}) y mayor proporción de raíces finas (16,8 raíces m^{-2}). Lo mismo ocurrió con el diámetro de raíces, pues el valor más alto se presentó en el tratamiento IB_BA con 3,3 mm.

El mejor crecimiento en longitud de raíces fue de 238,5 mm y resultó del T2, en su caso las raíces más largas se encontraron a una profundidad de 15 cm y en grosor de raíz media y fina. El tratamiento IA_BA resultó estadísticamente mejor en peso seco de raíces con 9,6 g m^{-2} , pero diferente del tratamiento IA_BB (4,2 g m^{-2}) que fue menor; en cuanto a su relación con la profundidad del suelo no existieron diferencias significativas en ninguna de las tres profundidades, pero si existieron diferencias ($p \leq 0,01$) en el grosor de raíz, siendo las raíces gruesas las de mayor variabilidad estadística (16,1 g m^{-2}).

Finalmente, la concentración más alta de carbono en raíces (5,1 t C ha^{-1}) se encontró en el tratamiento IA_BA el cual fue diferente del tratamiento IA_BB (2,2 t C ha^{-1}); y en su caso el grosor de raíz afectó significativamente el contenido de C en los tres tipos de grosor, donde las raíces gruesas generaron mayor contenido de carbono (8,3 t ha^{-1}), cabe resaltar que aunque no hubo diferencias significativas entre los tratamientos y el testigo la variable volumen mostró los contenidos más notables que las demás variables (Tabla 4).

Tabla 4. - Características de raíces de *Pinus pseudostrobus* Lindl. bajo aclareo a diferente profundidad de suelo

Tratamiento	Peso seco (g m^{-2})	Volumen (cm ³ m^{-2})	Carbono (t ha^{-1})	Cantidad (raíces m^{-2})	Diámetro (mm)	Longitud (mm)
Tratamiento de aclareo						
IB_BA	7,50±1,50 ^{ab}	15,80±3,70 ^a	4,00±0,80 ^{ab}	17,60±3,30 ^a	3,30±0,70 ^a	238,50±38,10 ^a
IA_BA	9,60±2,30 ^a	23,40±6,50 ^a	5,10±1,20 ^a	8,10±1,60 ^b	3,00±0,50 ^{ab}	178,30±22,70 ^{bc}
Testigo	7,90±1,90 ^{ab}	20,50±7,70 ^a	4,30±1,00 ^{ab}	9,60±2,00 ^b	2,80±0,50 ^{ab}	162,10±20,80 ^c
IB_BB	6,80±1,50 ^{ab}	20,60±6,70 ^a	3,70±0,80 ^{ab}	12,70±1,20 ^b	2,70±0,40 ^{ab}	220,60±29,70 ^{ab}
IA_BB	4,20±0,80 ^b	8,90±2,20 ^a	2,20±0,40 ^b	10,10±0,90 ^b	2,10±0,30 ^b	164,20±33,20 ^c



Profundidad de suelo (cm)						
15	7,30±0,95 ^a	17,60±3,80 ^a	3,90±0,50 ^a	17,90±2,30 ^a	2,90±0,40 ^a	310,50±29,10 ^a
30	8,40±1,71 ^a	21,50±5,70 ^a	4,50±0,90 ^a	9,70±0,80 ^b	2,80±0,30 ^a	169,20±13,20 ^{bc}
50	5,80±1,19 ^a	14,50±3,60 ^a	3,20±0,60 ^a	7,20±0,80 ^b	2,60±0,30 ^a	98,50±8,30 ^c
Grosor de raíz (mm)						
Gruesa	16,10±1,53 ^a	45,90±5,80 ^a	8,30±0,80 ^a	4,40±2,10 ^c	3,00±0,30 ^a	95,70±6,30 ^b
Media	4,50±0,37 ^b	6,50±0,50 ^b	2,70±0,20 ^b	13,60±1,20 ^b	1,70±0,00 ^b	242,60±19,00 ^a
Fina	0,90±0,12 ^c	0,80±0,10 ^b	0,60±0,00 ^c	16,80±0,30 ^a	0,60±0,00 ^c	239,90±30,00 ^a

Medias con diferentes letras en columnas y por factor son estadísticamente diferentes (Duncan, $p \leq 0,05$); media $\pm$ desviación estándar. $I_{A,B}$ = Intensidad de aclareo alta y baja (%); $B_{A,B}$ = Área basal residual alta y baja (m^2).

Por otra parte, los efectos significativos más altos sobre la densidad aparente de las raíces (Figura 1) se generaron en el tratamiento IA_BA (intensidad alta y área basal alta) con una densidad de $4,0298 \text{ g cm}^3$, que resultó diferente estadísticamente con el tratamiento IA_BB . Cabe resaltar que la densidad aparente (DA) de raíces más alta se encontró a una profundidad de 30 y 50 cm con $3,4503 \text{ g cm}^3$ y la más baja a los 15 cm ($2,0338 \text{ g cm}^3$). Las raíces más gruesas tienen efectos significativos más altos respecto a la densidad aparente de las raíces ($6,8548 \text{ g cm}^3$); es decir, que a mayor grosor de raíces mayor será su densidad aparente.

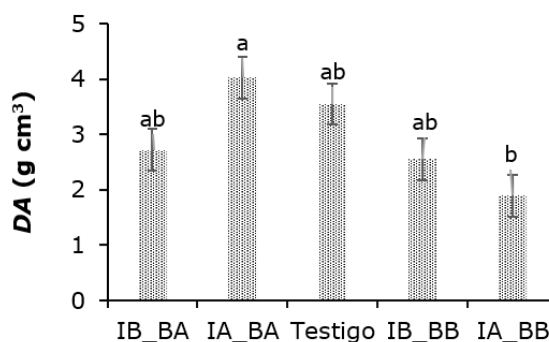


Figura 1. - Densidad aparente de raíz (DA) en rodal de *Pinus pseudostrobus* Lindl. bajo aclareo

Nota: $I_{A,B}$ = intensidad de aclareo alta y baja (%); $B_{A,B}$ = área basal residual alta y baja (m^2). Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Duncan, $p \leq 0,05$). Líneas verticales sobre columnas representan error estándar.



DISCUSIÓN

Aclareo

Se observó de manera general que aplicar aclareos a estas dos intensidades, tiene un efecto variable en el contenido de nutrientes debido a que se extraen grandes cantidades de biomasa. Bajo este contexto, *IA_BA* genera mayores diferencias en los contenidos de N en hojarasca y biomasa en necromasa, lo que pudo deberse a la edad joven de los árboles y a la intensidad de aclareo alta aplicada, liberándose altas cantidades de hojarasca. Al respecto, en rodales forestales sometidos a tratamientos silvícolas en Pueblo Nuevo, Durango, Solís-Hernández *et al.* (2014) encontraron que la hojarasca representa 71 % del aporte total de biomasa, la necromasa 23 % y las herbáceas y arbustivas 2 y 7 % de la biomasa total, respectivamente. por otro lado, Retana-Chinchilla *et al.* (2019) estimaron en un bosque primario de Costa Rica, donde analizaron varios componentes: necromasa, vegetación herbácea, hojarasca, latizales, fustales y suelo, que los dos últimos presentan mayor carbono total (46,35 % y 50,79 %, respectivamente).

Necromasa fue el componente que presentó la mayor cantidad de biomasa (98,76 t ha⁻¹), lo que puede explicarse por la cantidad de biomasa residual que se genera después de aclareos; esta cantidad entra en la reportada por Galicia *et al.* (2015) quienes analizaron las consecuencias de la extracción forestal en la biomasa y necromasa en un bosque templado de la Sierra Norte de Oaxaca, y concluyeron que la necromasa varió de 63 a 177 t ha⁻¹, la mayoría por residuos leñosos gruesos. El segundo compartimiento con mayor contenido de biomasa fue humus (50,7 t ha⁻¹), dato que rebasa al presentado por Chávez-Pascual *et al.* (2017) en una estimación de biomasa aérea, piso forestal y sotobosque en rodales de *P. oaxacana* bajo manejo en Ixtlán, Oaxaca, donde el compartimiento humus generó apenas un total de 20,53 t ha⁻¹ y no se presentó diferencia estadística entre cuatro tratamientos aplicados.

Se observó que los tratamientos silvícolas influyen en la fijación de C (Rodríguez-Ortiz *et al.*, 2019); con base en el análisis, humus y necromasa generaron las mayores cantidades de carbono (6,3 y 4,85 t ha⁻¹) en los tratamientos T4 y T1 respectivamente, valores inferiores a los reportados por Espinoza-Zúñiga *et al.* (2023) quienes encontraron que los tratamientos silvícolas generan mayor cantidad de C a comparación de los sitios



donde no se aplica manejo; al comparar el C almacenado en bosques con manejo (San Pedro el Alto) y sin manejo (San Juan Atepec) en Oaxaca.

Sin embargo, estos autores encontraron que el contenido de humus tuvo 233,7 % más C en la comunidad no certificada que la que tiene manejo ($9,2 \text{ t C ha}^{-1}$). Lo anterior se atribuye a que en la comunidad de Atepec no se realizan intervenciones humanas, ya que los tratamientos silvícolas pueden alterar las concentraciones de nutrientes. Mientras que en necromasa el contenido de C fue más alto en San Pedro el Alto ($13,4 \text{ t C ha}^{-1}$), esto se debe al tamaño del material muerto caído, el tiempo de descomposición y los residuos de los aclareos en el mismo lugar como abono de los rodales (Leyva-Pablo *et al.*, 2021).

Por otro lado, los sitios evaluados en este estudio son ricos en materia orgánica debido a las características edáficas y fisiográficas del lugar, en este sentido se puede mencionar que, aunque la hojarasca es la principal entrada de nutrientes al suelo, y debido a la estrecha relación que tiene con el humus, este fue el compartimiento en donde se encontró la mayor cantidad de N ($0,58 \text{ t N ha}^{-1}$) seguido de la necromasa ($0,31 \text{ t N ha}^{-1}$). Estos valores son similares a los encontrados por Torres-Duque *et al.* (2022), quienes en bosques de *Pinus hartwegii* Lindl. en Texcoco, México, encontraron $0,36 \text{ t N ha}^{-1}$ en mantillo, $3,27 \text{ t N ha}^{-1}$ en suelo y $0,11 \text{ t N ha}^{-1}$ en hojarasca anuales.

Densidad de raíz

En este estudio el mayor número de raíces se encontró en respuesta a *IB_BA*, y en mayor proporción raíces finas ($16,8 \text{ raíces m}^{-2}$), lo que quiere decir que el aplicar aclareos de baja intensidad con *AB* alta puede resultar positivo para el sistema radicular. Este resultado fue similar al de Pavón *et al.* (2012) quienes evaluaron la biomasa de raíces de pinos (*Pinus teocote* Schltdl. & Cham., *P. montezumae* Lamb. y *P. patula* Schltdl. & Cham.) en un bosque templado bajo manejo en Hidalgo, México; donde las raíces finas ocuparon el mayor porcentaje con 66,8 % del total entre raíces gruesas y finas. Por lo anterior, Medrano-Meraz *et al.* (2021) mencionan que la biomasa de raíz en coníferas genera porcentajes significativos de biomasa con valores que oscilan entre 12,1 y 22 % respecto a la biomasa total del árbol.



Considerar la profundidad dentro del sitio resulta muy importante para saber datos más específicos: la mayor cantidad de raíces se localiza en los primeros 15 cm y disminuyen a medida que la profundidad aumenta (Gómez *et al.*, 2021), es decir a una determinada profundidad de suelo aumenta la capacidad de anclaje de las raíces y absorción de nutrientes en el horizonte superior del suelo. Como lo mencionan Galicia *et al.* (2015) quienes en un estudio realizado en bosques templados con y sin manejo en la Sierra Norte de Oaxaca, encontraron que el aprovechamiento forestal tuvo efectos significativos en la biomasa de raíces ($2,2 \text{ Mg ha}^{-1}$) únicamente en la profundidad de 0-10 cm, mientras que el bosque sin manejo no presentó diferencia entre tratamientos.

El grosor de la raíz varió de manera irregular entre el diámetro y longitud, como lo reportan Germon *et al.* (2020) quienes mencionan que el sistema radicular puede variar debido a su genética y plasticidad, ya que las raíces se elongan hacia donde puedan desarrollarse mejor según la condición del suelo (Lwila *et al.*, 2021). Por otra parte, la variable peso seco de raíz y contenido de C mostraron resultados significativos al T1, lo que posiblemente se debió a la buena retención de agua que tienen los sitios (Luna, 2019).

En este estudio, los contenidos más altos de C total se encontraron en el IA_BA ($5,1 \text{ t ha}^{-1}$); sin embargo, el C también disminuye a medida que disminuye su biomasa. Se entiende por los resultados obtenidos que los mayores contenidos de C en raíces de *Pinus pseudostrobus* se encuentran a los primeros 30 cm, al realizar muestreos de mayor profundidad este nutriente se vuelve menor, este hecho se debe a que la mayor actividad nutrimental de raíces favorece la actividad microbiana que en general se realizan en los primeros centímetros del suelo por la alta concentración de materia orgánica (Galicia *et al.*, 2016). Este resultado supera al reportado por Quintero-Gradilla *et al.* (2022) en la Sierra de Manantlán, México, que al cuantificar C en biomasa de raíces en un bosque templado de *Pinus douglasiana* Martínez en los primeros 30 cm de suelo, encontraron que las raíces almacenan $3,51 \text{ t ha}^{-1}$, dentro del cual, el 46 % del C se presenta en las raíces finas mientras que el 54 % se encontró en las raíces gruesas, como sucedió con el resultado de este estudio.



El tratamiento *IA_BA* es el que más influyó en la *DA* de las raíces, ya que su *DA* fue de 4,0298 g cm⁻³ a una profundidad de entre 30 y 50 cm. Mientras que las raíces que tuvieron mayor grosor generaron *DA* más altas en comparación de las finas. La biomasa de raíces por sí sola, no es un buen indicador de la capacidad de absorción de nutrientes, la densidad de las raíces es un mejor indicador, ya que relaciona la longitud radical por unidad de volumen de suelo. Sin embargo, es claro que las raíces finas son las encargadas de tomar los recursos necesarios para el árbol, entre mayor sea la biomasa de raíces mayor será la capacidad adquisitiva (McCormack y Guo 2014).

CONCLUSIONES

Los contenidos de biomasa y nutrientes de los diferentes compartimentos evaluados en el rodal de *Pinus pseudostrobus* de San Pedro el Alto, Oaxaca se ven afectados por la aplicación de aclareos en intensidades de 50 % y 75 % de extracción de área basal residual de nivel bajo y alto. Después del aclareo se observa una mejor respuesta de los árboles ante las condiciones de los sitios, debido a que la reducción de la densidad de árboles permite el espaciamiento entre ellos. Esto permite que disminuya la competencia por agua, nutrientes y luz, facilitando el incremento de la biomasa y la acumulación de nutrientes en todos los compartimientos. La aplicación de aclareos en intensidades altas (75 %) en sitios con área basal elevada (>14 m² ha⁻¹) generan las mayores variaciones en los contenidos de C y N de la biomasa estructural y en los diferentes compartimientos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la localidad San Pedro el Alto, Zimatlán, Oaxaca y al Ing. Moisés Raúl Hernández Cortez, responsable de los Servicios Técnicos Forestales de la comunidad, por las facilidades otorgadas para realizar este trabajo de investigación.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAO, B., DOMKE G.M., RUSSELL, M.B., y WALTERS, B.F. 2019. Spatial modeling of litter and soil carbon stocks on forest land in the conterminous United States. *Science of the Total Environment*, [en línea], vol. 654, pp. 94-106. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.359>
- CHÁVEZ-PASCUAL, E.Y., RODRÍGUEZ-ORTIZ, G., ENRÍQUEZ-DEL VALLE, J.R., VELASCO-VELASCO, V.A., y GÓMEZ-CÁRDENAS, M. 2017. Compartimentos de biomasa aérea en rodales de *Pinus oaxacana* bajo tratamientos silvícolas. *Madera y Bosques*, [en línea], vol. 23, no. 3, pp. 147-161. Doi: <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2331627>
- DENG, L., WANG, G.L., LIU, G.B. y SHANGGUAN, Z.P. 2016. Effects of age and land-use changes on soil carbon and nitrogen sequestrations following cropland abandonment on the Loess Plateau, China. *Ecological Engineering*, [en línea], vol. 90, pp. 105-112. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.01.086>
- DOMKE, G.M., WALTERS, B.F., NOWAK, D.J., SMITH, J.E., NICHOLS, M.C., OGLE, S.M., COULSTON, J.W., y WIRTH, T.C. 2021. Greenhouse gas emissions and removals from forest land, woodlands, and urban trees in the United States, 1990–2017. U.S. Resource Update FS-307. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station. Madison, WI. USA. 5 p. Doi: <https://doi.org/10.2737/FS-RU-307>
- ESPINOZA-ZÚÑIGA, P., RODRÍGUEZ, L. J.A., RODRÍGUEZ-ORTIZ, G., BATALLA, B.M., y VALDIVIA-ALCALÁ, R. 2023. Carbono estructural y compartimentos en bosques certificados por el Forest Stewardship Council, en Oaxaca, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, [en línea], vol. 10, no. 1, e3474. Doi: <https://doi.org/10.19136/era.a10n1.3474>
- FAN, Y., MIGUEZ-MACHO, G., JOBBÁGY, E.G., JACKSON, R.B. y OTERO-CASAL, C. 2017. Hydrologic regulation of plant rooting depth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, [en línea], vol. 114, 10572-10577. Doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.1712381114>



- GALICIA, L., GAMBOA CÁCERES, A.M., CRAM, S., CHÁVEZ-VERGARA, B., PEÑA RAMÍREZ, V., SAYNES, V., y SIEBE, C. 2016. Almacén y dinámica del carbono orgánico del suelo en bosques templados de México. *Terra Latinoamericana*, [en línea], vol. 34, no. 1, pp. 1-29. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792016000100001
- GALICIA, L., SAYNE, V., y CAMPO, J. 2015. Biomasa aérea, biomasa subterránea y necromasa en una cronosecuencia de bosques templados con aprovechamiento forestal. *Botanical Sciences*, [en línea], vol. 93, no. 3, pp. 473-484. Doi: <https://doi.org/10.17129/botsci.66>
- GERMON, A., LACLAU, J.P., ROBIN, A., y JOUDAN, C. 2020. Tamm Review: Deep fine roots in forests ecosystems: Why dig deeper? *Forest Ecology and Management*, [en línea], vol. 466, no. 15, pp. 118-135. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118135>
- GÓMEZ, J. D., ETCHEVERS, J.D., MONTERROSO, A.I., CAMPO, J., PAUSTIAN, K., y ASENSIO, C. 2021. Carbono orgánico del suelo y su relación con la biomasa radical de *Quercus* sp. *Madera y Bosques*, [en línea], vol. 27, no. Especial, e2742445. Doi: <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2742445>
- GUTIÉRREZ-PULIDO, H., y DE LA VARA-SALAZAR, R. 2012. Análisis y diseño de experimentos. Mc Graw Hill. México. 489 p. https://www.researchgate.net/publication/44401609_Analisis_y_Disenio_de_Experimentos
- IZQUIERDO-BAUTISTA, J., y ARÉVALO-HERNÁNDEZ, J.J. 2021. Determinación de la materia orgánica del suelo (MOS) por el método químico y por calcinación. *Ingeniería y Región*, [en línea], vol. 26, pp. 20-28. Doi: <https://doi.org/10.25054/22161325.2527>



- JAMES, J., y HARRISON, R. 2016. The effect of harvest on forest soil carbon: A meta-analysis. *Forests*, [en línea], vol. 7, no. 12, p. 308. Doi: <https://doi.org/10.3390/f7120308>
- LEYVA-PABLO, T., LEÓN-GONZÁLEZ, F., ETCHEVERS-BARRA, J.D., CORTÉS-PÉREZ, M., SANTIAGO-GARCÍA, W., PONCE-MENDOZA, A., y FUENTES-PONCE, M.H. 2021. Almacenamiento de carbono en bosques con manejo forestal comunitario. *Madera y Bosques*, [en línea], vol. 27, no. 4, e2742421. Doi: <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2742421>
- LÓPEZ-CHOQUE, M. A., LÓPEZ-MAMANI, M.A., y YUJRA-TICONA, E. 2023. Evaluación de los parámetros de calidad para la determinación de nitrógeno total en suelos. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, [en línea], vol. 10, no. 1, pp. 37-43. Doi: <https://doi.org/10.53287/tuov3244ge80j>
- LUNA, C.V. 2019. Evaluación de sustratos y concentraciones de fertilizantes sobre el crecimiento de pino tadea (*Pinus tadea* L.) en vivero. *Revista Agronómica del Noreste Argentino*, [en línea], vol. 39, no. 1, pp. 19-29. https://repositorio.unne.edu.ar/bitstream/handle/123456789/53150/RIUNN_E_FCA_AR_Luna_CV.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- LWILA, A. S., MUND, M., AMMER, C., y GLATTHORN, J. 2021. Site conditions more than species identity drive fine root biomass, morphology and spatial distribution in temperate pure and mixed forests. *Forest Ecology and Management*, [en línea], vol. 499, 119581. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119581>
- MAYER, M., PRESCOTT, C.E., ABAKER, W.E., AUGUSTO, L., CÉCILLON, L., FERREIRA D. G.W., JAMES, J., JANDL, R., KATZENSTEINER, K., LACLAU, J.P., LAGANIERE, J., NOUVELLON, Y., PARÉ, D., STANTURF, J.A., VANGUELOVA, E.I., y VESTERDAL, L. 2020. Tamm Review: Influence of forest management activities on soil organic carbon stocks: A knowledge synthesis. *Forest Ecology and Management*, [en línea], vol. 466, pp. 118127. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118127>



- MCCORMACK, M.L. y GUO, D. 2014. Impacts of environmental factors on fine root lifespan. *Frontiers in Plant Science*, [en línea], vol. 5, pp. 205. Doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00205>
- MEDRANO-MERAZ, F., LÓPEZ-LÓPEZ, M.A., ÁNGELES-PÉREZ, G., CRUZ-COBOS, F., y JOZEPH-DE JONG, B.H. 2021. Allometric equations for belowground biomass and carbon content of *Pinus patula* Schl. et Cham. *Revista Fitotecnia Mexicana*, [en línea], vol. 44, no. 3, pp. 343-454. <https://revfitotecnia.mx/index.php/RFM/article/view/973/921>
- NOM-021-RECNAT-2000 (Norma Oficial Mexicana). 2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y análisis. Diario Oficial de la Federación. 17 de octubre del 2000.
- ONTL, T.A., JANOWIAK, M.K., SWANSTON, C.W., DALEY, J., HANDLER, S., CORNETT, M., HAGENBUCH, S., HANDRICK, C., MCCARTHY, L. y PATCH, N. 2020. Forest management for carbon sequestration and climate adaptation. *Journal of Forestry*, [en línea], vol. 118, no. 1, pp. 86-101. Doi: <https://doi.org/10.1093/jofore/fvz062>
- OSWALT, S.N., SMITH, W.B., MILES, P.D. y PUGH, S.A. 2019. Forest resources of the United States 2017. A technical document supporting the forest service 2020 RPA assessment (General Technical Report WO-97). U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Washington Office. Washington, DC, USA. 223 p. Doi: <https://doi.org/10.2737/WO-GTR-97>
- PAVÓN, N.P., MORENO, C.E., y RAMÍREZ-BAUTISTA, A. 2012. Biomasa de raíces en un bosque templado con y sin manejo forestal en Hidalgo, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, [en línea], vol. 18, no. 3, pp. 304-312 Doi: <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2011.07.052>
- PEARSON, T., WALKER, S. y BROWN, S. 2005. Sourcebook for Land use, Land-use change and forestry projects. Winrock International and the BioCarbon Fund of the World Bank 57 (2005), vol. 21, no. 3, pp. 64.



- PÉREZ-ALAVEZ, Y., RODRÍGUEZ-ORTIZ, G., SANTIAGO-GARCÍA, W., CAMPOS-ANGELES, G.V., ENRÍQUEZ-DEL VALLE, J.R. y MARTÍN, M.P. 2023. Effect of thinning intensity of litterfall biomass and nutrient deposition in a naturally regenerated *Pinus pseudostrobus* Lind. forest in Oaxaca, México. *Journal of Sustainable Forestry*, [en línea], vol. 42, no. 1, pp. 77-94 Doi: <https://doi.org/10.1080/10549811.2021.1946410>
- QUINTERO-GRADILLA, S.D., MUÑOZ, A., y CASTILLO-PARRA, V.M. 2022. Estimación de carbono en las raíces en bosques de la Sierra de Manantlán, México. *Madera y Bosques*, [en línea], vol. 28, no. 2, e2822431. Doi: <https://doi.org/10.21829/myb.2022.2822431>
- RETANA-CHINCHILLA, L., MÉNDEZ-CARTÍN, A.L., SÁNCHEZ-TORUÑO, H., MONTERO-FLORES, W., BARQUERO-ELIZONDO, A.I., y HERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, L.G. 2019. Estimación de la biomasa y carbono almacenado en un bosque primario intervenido de la zona protectora “El Rodeo”, Costa Rica. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, [en línea], vol. 7, no. 3, pp. 341-353. <https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/464>
- RODRÍGUEZ-ORTIZ, G., ENRÍQUEZ-DEL VALLE, J.R., CAMPOS-ÁNGELES, G.V., VELASCO-VELASCO, V.A. y RUÍZ-LUNA, J. 2019. Carbono aéreo en plantación de *Pinus patula* bajo aclareo al norte de Oaxaca. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, [en línea], vol. 6, no. 1, 48-56. <https://revistaremaeitvo.mx/index.php/remae/issue/view/14/12>
- RODRÍGUEZ-VÁSQUEZ, M.E., RODRÍGUEZ-ORTIZ, G. y CERVANTES-MACHUCA, M.M. 2024. Potencial germinativo de semillas de *Bursera glabrifolia* Kunth Engl. en el sur de México. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, [en línea], vol. 12, no. 2, e826. <https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/826>
- SAS, INSTITUTE VERSIÓN UNIVERSITARIA ®. 2018. SAS User's Guide: Statistics, version 9.4. SAS Institute. Cary, North Carolina, USA. <https://support.sas.com/software/94/>



SOLÍS-HERNÁNDEZ, A., NÁJERA-LUNA, J.A., MÉNDEZ-GONZÁLEZ, J., VARGAS-LARRETA, B. y ÁLVAREZ-GALLEGOS, M. 2014. Carbono orgánico del suelo en rodales silvícolas del ejido La Victoria, Pueblo Nuevo, Durango. Investigación y Ciencia, [en línea], vol. 22, no. 63, pp. 5-11. Doi: <https://doi.org/10.33064/iycuaa2014633605>

TORRES-DUQUE, F., GÓMEZ-GUERRERO, A., TREJO-TÉLLEZ, L.I., REYES-HERNÁNDEZ, V.J. y CORREA-DÍAZ, A. 2022. Soil inorganic nitrogen pulses and leaf nitrogen resorption in two *Pinus hartwegii* Lindl. forests. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, [en línea], vol. 28, no. 2, pp. 257-269. Doi: <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2021.02.010>

ZHANG, X., GUAN, D., LI, W., DI SUN, J.C., YUAN, F., WANG, A., y WU, J. 2018. The effects of forest thinning on soil carbon stocks and dynamics. A meta-analysis. Forest Ecology and Management, [en línea], vol. 429, pp. 36-43. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.06.027>

Conflictos de intereses:

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribución de los autores:

Los autores han participado en la redacción del trabajo y análisis de los documentos.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional.

