

Efectos de aclareos secuenciales en rodal de *Pinus pseudostrobus* Lindl.

Effect of sequential thinnings in *Pinus pseudostrobus* Lindl. Stand

Yazmin Pérez-Alavez¹ , Gerardo Rodríguez-Ortiz^{1*} , Wenceslao Santiago-García² ,
Meredith P. Martin³ , José Raymundo Enríquez-del Valle¹ , Iván José Aguilar-Pinacho¹ 

¹Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, División de Estudios de Posgrado e Investigación. Carretera al ITAO S/N, San Jesús Nazareno, CP. 71233. Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México.

²División de Estudios de Posgrado-Instituto de Estudios Ambientales, Universidad de la Sierra Juárez. Avenida Universidad S/N, CP. 68725. Ixtlán de Juárez, Oaxaca México.

³Department of Forestry and Natural Resources, North Carolina State University. 2820 Faucette Drive Campus Box 8001. Raleigh, NC 27695, USA.

*Autor de correspondencia: gerardo.ro@voaxaca.tecnm.mx

Artículo científico

Recibido: 7 de febrero 2025

Aceptado: 29 de julio 2025

RESUMEN. El aclareo es el tratamiento silvícola que tiene mayor éxito en un rodal productivo porque influye en el crecimiento maderable, la biomasa y área foliar. El objetivo fue evaluar el efecto de aclareos secuenciales en rodal de *Pinus pseudostrobus* del sur de México. En 2019 se derribaron 30 árboles distribuidos en 12 sitios de 400 m² correspondientes a cuatro niveles de aclareo; en cada árbol se midieron variables dasométricas y biomasa de acículas y ramas y área foliar (AF) a nivel rama-árbol. Se realizó análisis de varianza, pruebas de medias (Duncan, 0.05) y análisis de regresión. Los árboles de sitios en que se aplicaron intensidades de aclareo (IA) 50% alta (50A) mostraron mayor acumulación de biomasa (42.7 t ha⁻¹) y AF (17.54 m² ha⁻¹); esta misma IA mostró los mayores crecimientos en diámetro, área basal, volumen acumulado e incremento medio anual del área basal y volumen. La mejor respuesta en el rodal de *P. pseudostrobus* fue la aplicación de IA de 50% del área basal en sitios que superan 14 m² ha⁻¹. Los aclareos secuenciales durante un periodo de cinco años en rodales en etapa latizal magnifican el rendimiento maderable.

Palabras clave: Área basal residual, biomasa aérea, incremento maderable, intensidad de aclareo, volumen maderable.

ABSTRACT. Thinning is the silvicultural treatment that is most successful in a productive stand because it influences timber growth, biomass and leaf area. The objective was to evaluate the effect of sequential thinning on *Pinus pseudostrobus* stands in southern Mexico. In 2019, 30 trees were cut in 12 sites corresponding to four thinning levels; for each tree, We measured the following variables: needle and branch biomass and leaf area (LA) at the branch-tree level. Analysis of variance, tests of means (Duncan, 0.05) and regression analysis were performed. Trees from sites where 50% high (50A) thinning intensities (TI) were applied showed greater biomass accumulation (42.7 t ha⁻¹) and LA (17.544 m² ha⁻¹); this same TI showed the greatest growth in diameter, basal area, accumulated volume and mean annual increase in basal area and volume. The best result in the *P. pseudostrobus* stand was the application of TI of 50% on the basal area, where the sites exceed 14 m² ha⁻¹. Sequential thinning over a five-year period in young stands magnifies timber yield.

Keywords: Residual basal area, aboveground biomass, timber increase, thinning intensity, timber volume.

Como citar: Pérez-Alavez Y, Rodríguez-Ortiz G, Santiago-García W, P-Martín M, Enríquez-del Valle JR, Aguilar-Pinacho IJ (2025) Efectos de aclareos secuenciales en rodal de *Pinus pseudostrobus* Lindl. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios. 12(2): e4006. DOI: 10.19136/era.a12n2.4006.

INTRODUCCIÓN

Uno de los componentes más importantes en la captura de carbono (C) son los ecosistemas forestales que a nivel mundial absorben el 30% de las emisiones de CO₂ en un año (Pan *et al.* 2011, Cutini *et al.* 2013); cuando son sometidos a un manejo adecuado fijan la mayor cantidad de CO₂ en función de la edad del rodal, calidad de sitio, composición de especies, densidad, condiciones climáticas, edáficas, topográficas y tratamiento silvícola. El C se expresa en biomasa, que está constituida por ramas, raíces, frutos, semillas, troncos, flores; la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero está en proporción a los valores de biomasa (Soriano-Luna *et al.* 2015, Carvajal-Agudelo y Andrade 2020).

Todos los tipos de bosques son reservorios de C más importantes a escala mundial, pues son cruciales en la regulación del clima (Kurz *et al.* 2016, Cortés-Pérez *et al.* 2021). El manejo de áreas forestales es básico para las funciones del ecosistema como un regulador en el mantenimiento del clima, del agua, del suelo y de los recursos forestales (García-Oliva *et al.* 2014). La mayor cantidad de C en los bosques no siempre se encuentra en la biomasa aérea, ya que de esto depende de los montos de biomasa y de las diferentes especies, los suelos constituyen un reservorio que depende del equilibrio entre las tasas de entrada y salida de C, aunado al metabolismo microbiano ligado a las emisiones de CO₂ (Cruz-Sánchez *et al.* 2022).

La densidad arbórea es un indicador que permite caracterizar la acumulación de la biomasa en los ecosistemas forestales, en especial en áreas donde la regeneración se está estableciendo, ya que presentan gran cantidad de árboles y se conoce la vegetación existente (Hernández *et al.* 2013, Jumbo-Salazar *et al.* 2018). La cantidad de biomasa que un árbol puede acumular y distribuir entre sus estructuras depende de varios factores: diámetro normal (D_n), edad, altura y densidad (Caballero-Cruz *et al.* 2022). La calidad de sitio y la densidad determinan principalmente el rendimiento que el bosque tendrá a cierta edad, considerando la especie y su calidad genética. La eficiencia de crecimiento (EC) es la cantidad de madera en el fuste (volumen o biomasa) por unidad de área basal, área de albura (A_{alb}), área foliar (AF) o área de copa proyectada formada por año. El AF es un factor muy importante ya que de ella depende que se regule la intercepción de luz, absorbe el C y la transpiración (Pan *et al.* 2011). Sin embargo, el AF es difícil de medir en forma directa, por ello se utilizan ecuaciones alométricas para estimarla a nivel rama o de árbol, así como otros atributos como biomasa total, biomasa de acículas de ramas y AF proyectada (Rodríguez-Ortiz *et al.* 2011a, Rodríguez-Ortiz *et al.* 2012).

El aclareo es el método silvícola más utilizado en el manejo forestal porque controla la densidad del rodal hasta alcanzar el nivel deseado. Cuando se cortan árboles dominantes el incremento en diámetro es el más significativo en árboles residuales por que incrementa la tasa de crecimiento y se redistribuye el potencial de crecimiento, al aplicar aclareos selectivos favorece a los árboles grandes y es adecuado para rodales jóvenes y viejos (Vásquez-García *et al.* 2015). En el aclareo por lo bajo el impacto en el sitio es menor que con un aclareo por lo alto, debido a que este último deja entrar más cantidad de luz y en consecuencia hay un aumento de la temperatura en la parte inferior del dosel (Pérez-González *et al.* 2012, Rodríguez-Ortiz *et al.* 2011a, b). Una ecuación alométrica describe una línea curva que representa la relación entre la biomasa y el diámetro o la altura de la planta (Douterlungne *et al.* 2013); además, proporciona un buen equilibrio y precisión en las

predicciones con bajos requerimientos de datos (Sígala *et al.* 2016). La estimación de la biomasa es mediante ecuaciones o modelos basados en análisis de regresión donde se utilizan variables recolectadas en campo como D_n (cm), altura total (A_t , m), área basal ($m^2 ha^{-1}$) y la densidad específica de la madera (Tsakalidimi *et al.* 2013).

San Pedro el Alto, Zimatlán, al sur de Oaxaca, México es una comunidad exitosa en el manejo forestal comunitario. Se fortaleció gracias al buen manejo, aprovechamiento y conservación de sus recursos forestales, ya que fue una de las primeras comunidades del estado de Oaxaca en obtener su certificación en manejo forestal comunitario bajo los lineamientos del Forest Stewardship Council (FSC) en el año 2001 (Espinoza-Zúñiga *et al.* 2023). La certificación exige llevar un mejor control y organización de todas sus operaciones, con miras a optimizar el aprovechamiento sustentable de sus recursos. La principal fuente de ingresos con la que cuenta la comunidad es la venta de madera y en 18 000 ha de bosque bajo manejo se cosechan 120 mil m^3 al año, del 100% que aprovecha el 60% la venden en rollo, mientras que el resto se somete a aserrío en instalaciones de la misma organización comunal. *Pinus pseudostrabus* es una especie con mayor distribución y potencial para ser utilizada en las plantaciones forestales comerciales, es de crecimiento rápido en sus etapas tempranas, de fustes largos y rectos buen productor de resina que se ocupa en el ramo industrial específicamente para la fabricación de brea y aguarrás; además, fuera de su ambiente natural presenta gran variación en su rendimiento y desarrollo (Cambrón-Sandoval *et al.* 2014). Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de los aclareos secuenciales sobre el crecimiento maderable, biomasa aérea y área foliar en rodal de *Pinus pseudostrabus* de San Pedro el Alto, Oaxaca, México. Bajo la hipótesis que al aplicar altas intensidades de aclareo (75% del área basal existente) en un rodal se generan incrementos en diámetros mayores al 30%.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área experimental fue un rodal de 20 ha con regeneración natural de *Pinus pseudostrabus* Lindl. posterior a un incendio en 2008; se ubica en el paraje “La Pobreza” en San Pedro el Alto, Zimatlán, Oaxaca a $16^{\circ} 80' 83.33$ LN y $-097^{\circ} 05' 33.3$ LO y altitud de 2 800 m, en clima templado sub-húmedo, con lluvias en verano y temperatura media anual de $18^{\circ}C$. El rodal joven se compone de arbolado de 12 a 15 años de edad en etapa latizal (Figura 1).

Aclareos secuenciales e inventario forestal

En el año 2016 se aplicaron aclareos de 30 y 40% sobre el área basal residual (A_{br}), en el 2018 se establecieron 12 sitios de muestreo de 400 m^2 circulares, en los cuales se aplicó dos intensidades de aclareo (75 y 50%) sobre sitios con dos áreas basales, alta ($A \geq 14 m^2 ha^{-1}$) y baja ($B < 14.0 m^2 ha^{-1}$) (Pérez-Alavez *et al.* 2021).

Durante marzo de 2019, enero de 2020 y junio de 2023 se realizó un inventario forestal sobre los árboles que se encontraban en los sitios con los diferentes tipos de aclareo y área basal obteniendo: diámetro normal (D_n , cm) con forcípula forestal marca Haglöf Mantax, altura total (A_t , m)

mediante uso de relascopeo de Bitterlich sofisticado, diámetro de copa tomando posición norte-sur y este-oeste (DC, m) con una cinta métrica de 20 m Truper®12638.

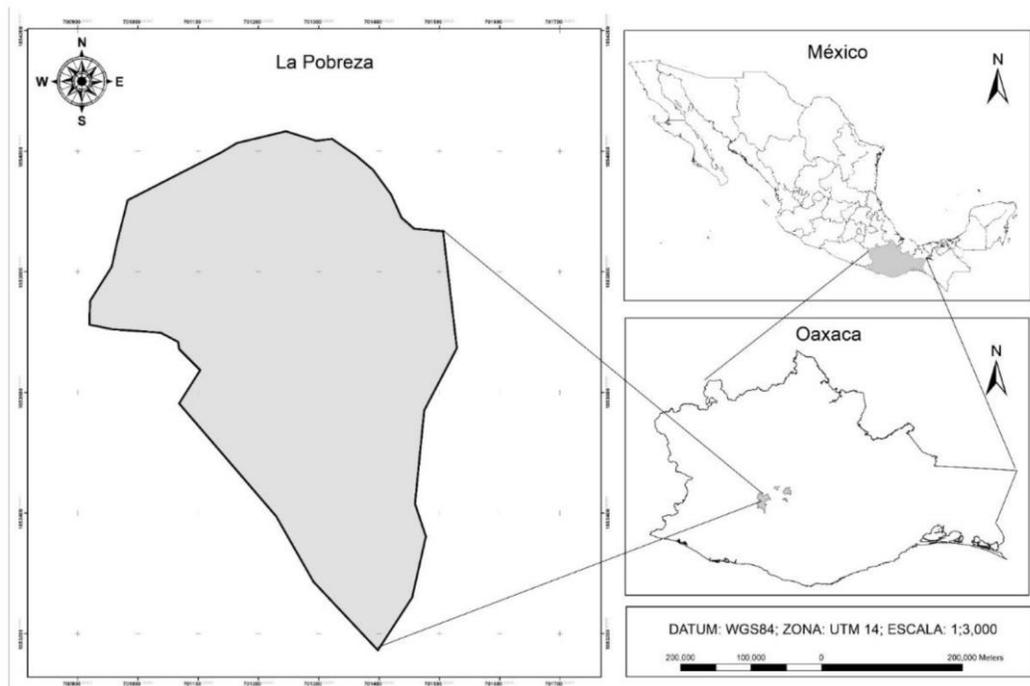


Figura 1. Ubicación del area de estudio.

Muestreo destructivo de árboles

En junio 2019 se llevó a cabo un muestreo destructivo en donde se seleccionaron al azar 30 árboles, con las mejores condiciones en diferentes puntos dentro del mismo rodal. Cada árbol fue identificado y etiquetado tomando en cuenta el número de derribo, el cual se realizó con una motosierra marca Husbarna® mod. 360 a una altura de 0.30 m. A cada árbol derribado se le midió el diámetro de tocón (*DT*, cm), altura de tocón (*ATT*, m), *Dn* (cm) y a cada 1.0 m, los diámetros (cm) hasta la punta; *At*, longitud de fuste limpio (*LFL*), altura de inserción de cada rama viva (*ATIR*) y longitud de copa viva (*LCV*), todas en metros.

En árboles derribados, la longitud de copa viva se dividió en tres secciones inferior, media y superior, por sección se obtuvieron tres muestras de acículas y ramas ($n = 90$ para cada componente) en las que se cuantificó el peso verde (g) en una balanza analítica marca Sartorius® (Figura 2).

Cada muestra se colocó en bolsa de papel debidamente identificadas y se trasladaron a laboratorio donde todas las muestras de acículas en fresco fueron escaneadas con un scanner Hp Scanjet 4890; posterior a ello, con el programa Imagej® se determinó área foliar (*AF*, cm²). Las muestras se introdujeron en sus respectivas bolsas de papel y se colocaron en estufa de convección (Memmert GmbH +Co. KG) a 75 °C, hasta obtener peso constante.

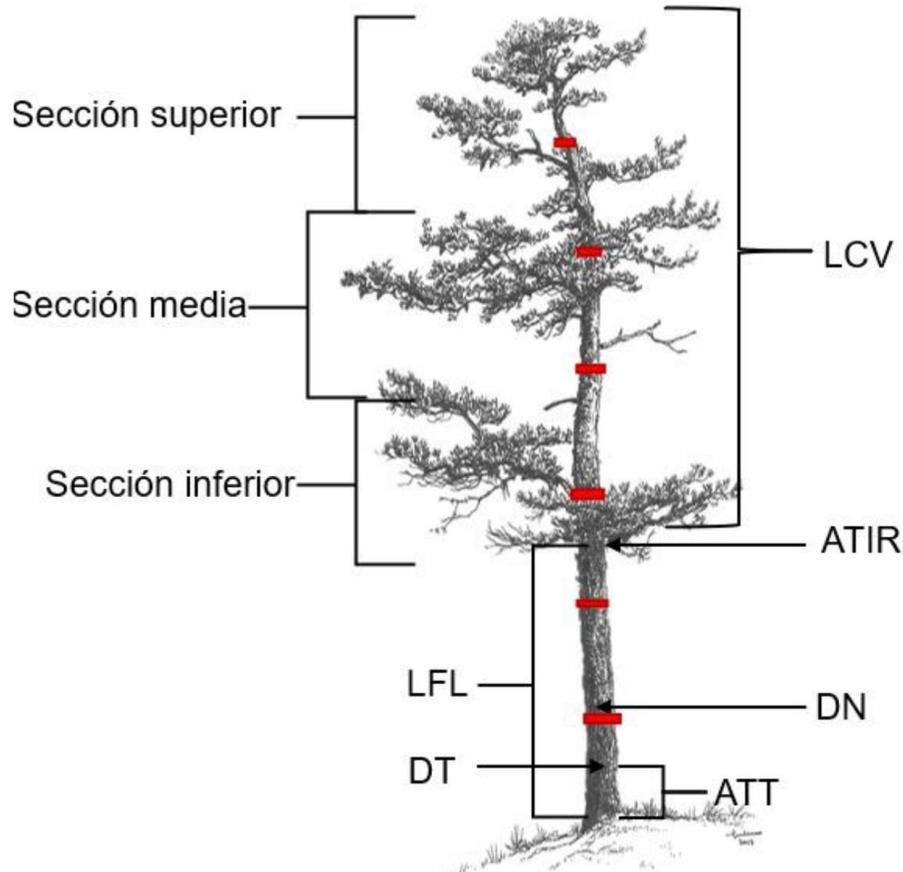


Figura 2. Diagrama del muestreo destructivo. LCV = longitud de copa viva (m), LFL = longitud de fuste limpio (m), DT = diámetro de tocón (cm), DN = diámetro normal (cm), ATIR = altura de inserción de rama viva (m), ATT = altura de tocón (m).

A cada número consecutivo de rama viva se le midió la altura de inserción (SR) desde la base del tocón hasta la punta y diámetro basal (DBR , cm) a 1 cm de separación del fuste. Cada rama muestra de sección por árbol se identificó y se le tomó el peso verde (g) en campo con una báscula digital Gramera® con capacidad de 10 ± 0.003 kg; se trasladaron al laboratorio para colocarlas en estufa de convección a 105°C hasta obtener su peso constante. Se determinó el peso seco (g) de la muestra mediante una balanza analítica Sartorius® modelo SAR TALENT1 y se determinó el factor de conversión de biomasa al dividir peso seco entre el peso fresco de las muestras de ramas. Se calculó el área basal de rama (cm^2) $ABR = \pi/4(DB)^2$, donde DB es el diámetro basal de rama (cm).

A nivel rama se ajustaron modelos exponenciales para estimar AF y peso seco de acículas (PSA) y de ramas (PSR) utilizando como variables independientes el ABR y la sección de rama (SR); con estas ecuaciones se integraron dichos componentes a nivel árbol. El AF y la biomasa de acículas y ramas por árbol se estimaron mediante el mismo modelo exponencial, pero utilizando como variables regresoras el Dn y altura (At) (Tabla 1). El incremento medio anual (IMA) se calculó al dividir el valor de la variable entre la edad del año de medición, en tanto que el ICA correspondió al diferencial de la variable en el diferencial de los años de aclareo.

Análisis estadístico

Las variables dasométricas utilizadas en los inventarios y los datos del muestreo destructivo se analizaron mediante un diseño completamente aleatorio; la intensidad de aclareo (IA) del 50 y 75% aplicada en sitios de área basal residual (AB_R) alta (A) $\geq 14.0 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ y baja (B) $< 14 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, generaron cuatro tratamientos con tres repeticiones. Los análisis de varianza se realizaron mediante el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS (SAS 2022) y pruebas de medias (Duncan, 0.05). Se corroboraron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Shapiro-Wilk y Bartlett ($\alpha = 0.05$); debido a la alta variabilidad en los datos de algunas variables se transformaron con $\log \sqrt{x}$ y arcotangente.

Tabla 1. Estimación de área foliar y biomasa en ramas y árbol de *Pinus pseudostrobus* Lindl.

| Modelo | Componentes a nivel rama | Parámetros | | | R ² _{adj} | |
|--|---------------------------|---------------------|-----------|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | | β_0 | β_1 | β_2 | | |
| $y = \beta_0 \times ABR^{\beta_1} \times SR^{\beta_2}$ | AF | 0.115** | 0.917** | 0.211** | 0.48 | |
| | PSA | 18.553** | 0.918** | 0.424** | 0.51 | |
| | PSR | 45.518** | 1.221** | -0.468** | 0.58 | |
| Modelo | Componentes a nivel árbol | Parámetros | | | CME | R ² _{adj} |
| $y = \beta_0 \times Dn^{\beta_1} \times At^{\beta_2}$ | | β_0 | β_1 | β_2 | | |
| | AF | 0.792 ^{ns} | 0.926** | 0.143 ^{ns} | 8.41 | 0.33 |
| | PSA | 0.132 ^{ns} | 0.976** | 0.137 ^{ns} | 0.30 | 0.35 |
| | PSR | 0.007 ^{ns} | 2.629** | 0.149 ^{ns} | 4.638 | 0.58 |

ABR = área basal de rama (cm²), SR = sección de rama, R²_{adj} = R cuadrada ajustada, CME = cuadrado medio del error, Dn = diámetro normal (cm), At = altura total (m), $\beta_{0,1,2}$ = parámetros de regresión. AF = área foliar (cm², m²), PSA = peso seco de acículas (g, kg), PSR = peso seco de ramas (kg). **Valores significativos ($p \leq 0.05$), ^{ns} = no significativo ($p > 0.05$).

RESULTADOS

Efecto del aclareo en variables dasométricas

El análisis de varianza mostró que todas las variables dasométricas evaluadas se diferenciaron entre tratamientos de aclareo ($p \leq 0.05$), desde el inicio de las cortas (2018) hasta el final del experimento en 2023; en este último año se observa que el incremento corriente anual (ICA) para las cuatro variables dasométricas no fue diferente entre tratamientos ($p > 0.05$) en relación al aclareo de 2018. Es importante destacar que el volumen, biomasa arbórea, así como el IMA en volumen y área basal mostraron en 2018 elevados coeficientes de variación, CV (> 34%), reflejo de su alta heterogeneidad entre tratamientos; sin embargo, para el aclareo de 2023 este CV se reduce a 17.3% para las mismas variables (Tabla 2).

Las variables dasométricas más importantes en el manejo forestal muestran el mayor incremento en la intensidad de aclareo baja (50%); en el año 2018 la altura mostró diferencias entre los niveles de AB residual en la misma intensidad de aclareo (75%), sin embargo, en el mismo año, el volumen (Figura 3), área basal y biomasa aérea arbórea fueron mayores en el tratamiento 50A, situación que permanece por el tiempo de aplicación de los aclareos, aunque al llegar al final del experimento este tratamiento iguala los valores de los tratamientos 50B y 75A, como muestra de que en una

intensidad de aclareo baja el tiempo de recuperación es más lento. Es importante destacar que en 2018 la diferencia en AF entre el mejor (50A) y peor (75B) tratamiento fue de 116.8%, la cual se redujo a 97.8% en 2020 (Tabla 3).

Tabla 2. Resumen del análisis de varianza de variables dasométricas y biomasa en parcelas de aclareo en diferentes años.

| Año | Variable | GLerror | SC | \sqrt{CME} | CV (%) |
|------|---------------------------------|---------|--------------------|--------------|--------|
| 2018 | Área basal18 [†] | 8 | 0.047** | 0.04 | 12.7 |
| | Volumen18 | 8 | 1520.3* | 10.4 | 35.9 |
| | Biomasa arbórea18 | 8 | 181.9* | 3.6 | 35.9 |
| | IMAVol18 | 8 | 15.2* | 1.0 | 35.9 |
| | IMAb18 | 8 | 0.5* | 0.2 | 34.2 |
| | PSRT18 ^{††} | 8 | 2.27* | 0.0 | 0.0 |
| 2019 | Área basal19 | 8 | 43.6* | 1.9 | 29.7 |
| | Volumen19 [†] | 8 | 0.053* | 0.05 | 7.3 |
| | Biomasa arbórea 19 [†] | 8 | 0.047* | 0.05 | 9.7 |
| | IMAVol19 [†] | 8 | 0.03* | 0.04 | 14.5 |
| | IMAb19 | 8 | 0.4* | 0.2 | 29.7 |
| | PSRT19 | 8 | 27742702.2* | 1501.9 | 31.6 |
| 2020 | Área basal20 | 8 | 77.1* | 2.6 | 28.3 |
| | Volumen20 | 8 | 4177.7* | 17.0 | 28.4 |
| | Biomasa arbórea 20 | 8 | 499.9* | 5.9 | 28.4 |
| | IMAVol20 | 8 | 29.0* | 1.4 | 28.4 |
| | IMAb20 | 8 | 0.5* | 0.2 | 28.3 |
| | PSRT20 | 8 | 62377512.0* | 2058.6 | 28.5 |
| 2023 | Volumen23 | 6 | 5431.8* | 17.2 | 17.3 |
| | Biomasa arbórea 23 | 6 | 650.1* | 5.9 | 17.3 |
| | IMAVol23 | 6 | 24.1* | 1.1 | 17.3 |
| | PSRT23 | 6 | 75173779.8** | 1759.7 | 14.7 |
| | ICAVol | 6 | 63.6 ^{ns} | 2.8 | 20.1 |
| | ICADn | 6 | 0.3 ^{ns} | 0.3 | 21.9 |
| | ICAAt | 6 | 0.05 ^{ns} | 0.3 | 33.1 |
| | ICAAb | 6 | 0.4 ^{ns} | 0.5 | 29.8 |

GL = grados de libertad, SC = suma de cuadrados, CME = cuadrado medio del error, CV = coeficiente de variación; IMAVol, Ab = incremento medio anual de volumen y área basal, PSRT = peso seco de ramas totales, ICA = incremento corriente anual, Dn = diametro normal, At = altura total, Ab = área basal **Valores significativos ($p \leq 0.05$), ^{ns} = no significativo ($p > 0.05$). Datos transformados [†] $\log\sqrt{x}$, ^{††}arcotangente.

En 2024, la biomasa total de rama (PSTR) fue de 15 206 kg ha⁻¹ para el tratamiento 50A, que representa un aumento en este tratamiento de 154.1% en relación al aclareo de 2018; en el mismo sentido, el volumen entre ambos aclareos incrementó 154.1% (Tabla 3, Figura 3). El área basal en cinco años de medición mantuvo su máximo nivel en el aclareo 50A, mientras que para el volumen (Figura 3) y biomasa para el año 2023 no se observaron diferencias en los tratamientos 50A y 75A; la altura de árbol en el tratamiento 50A en el año 2018 fue 17.0% mayor que el tratamiento 75A,

esto se debe a que a mayor intensidad de aclareo la variable que mayormente se estimula es el DN (Tabla 3). Los volúmenes producidos por *Pinus pseudostrobus* Lindl. en los cinco años de medición fueron diferentes debido a la edad del rodal, mostrando que el rodal se encuentra en fase de crecimiento acelerada. Los incrementos mayores se presentaron en la intensidad de 50A, siguiendo la intensidad de 75A, esto puede deberse a la mayor disponibilidad de espacio de crecimiento y al manejo forestal mediante las cortas y porque *P. pseudostrobus* es una especie de crecimiento rápido (Figura 3).

Tabla 3. Variables dasométricas en parcelas de aclareos secuenciales en *Pinus pseudostrobus*.

| | Variable | Intensidad de aclareo (%) | | | |
|------|--|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|----------------------------|
| | | 50A | 50B | 75A | 75B |
| 2018 | AT ₁₈ (m) | 9.6 ± 0.3 ^{ab} | 9.7 ± 0.6 ^{ab} | 10.6 ± 0.6 ^a | 8.2 ± 0.2 ^b |
| | AB ₁₈ (m ² ha ⁻¹) | 8.4 ± 1.8 ^a | 4.5 ± 0.6 ^b | 4.8 ± 0.4 ^b | 3.0 ± 0.2 ^b |
| | Biom ₁₈ (t ha ⁻¹) | 15.9 ± 3.8 ^a | 8.8 ± 1.2 ^b | 10.1 ± 1.0 ^{ab} | 5.1 ± 0.4 ^b |
| | IMA _{AT18} (m/año) | 0.09 ± 0.0 ^{ab} | 0.09 ± 0.0 ^{ab} | 0.1 ± 0.0 ^a | 0.08 ± 0.0 ^b |
| | IMA _{AB18} (m ² ha ⁻¹ /año) | 0.8 ± 0.1 ^a | 0.4 ± 0.0 ^b | 0.4 ± 0.0 ^b | 0.3 ± 0.0 ^b |
| | PSA ₁₈ (kg ha ⁻¹) | 1151.2 ± 273.1 ^a | 732.1 ± 71.2 ^{ab} | 762.5 ± 106.7 ^{ab} | 525.3 ± 31.0 ^b |
| | PSRT ₁₈ (kg ha ⁻¹) | 5984 ± 1502.2 ^a | 2878 ± 503.6 ^{ab} | 3202 ± 232.6 ^b | 1800 ± 209.3 ^b |
| | AF ₁₈ (m ² ha ⁻¹) | 6122 ± 1471.0 ^a | 3923 ± 732.0 ^{ab} | 4083 ± 583.4 ^{ab} | 2824 ± 162.8 ^b |
| 2019 | AB ₁₉ (m ² ha ⁻¹) | 9.3 ± 2.0 ^a | 6.8 ± 0.4 ^{ab} | 6.1 ± 0.5 ^{ab} | 4.0 ± 0.5 ^b |
| | Biom ₁₉ (t ha ⁻¹) | 19.6 ± 4.6 ^a | 14.1 ± 0.4 ^{ab} | 13.7 ± 1.5 ^{ab} | 7.9 ± 1.1 ^b |
| | IMA _{AB19} (m ² ha ⁻¹ /año) | 0.8 ± 0.1 ^a | 0.6 ± 0.0 ^{ab} | 0.5 ± 0.0 ^{ab} | 0.3 ± 0.0 ^b |
| | PSA ₁₉ (kg ha ⁻¹) | 1240.6 ± 314.6 ^a | 910 ± 46.9 ^{ab} | 877.6 ± 127.5 ^{ab} | 615.5 ± 52.2 ^b |
| | PSRT ₁₉ (kg ha ⁻¹) | 6917 ± 1609.5 ^a | 5010 ± 400.4 ^{ab} | 4442 ± 311.2 ^{ab} | 2655 ± 399.7 ^b |
| | AF ₁₉ (m ² ha ⁻¹) | 6583 ± 1686.6 ^a | 4831 ± 249.5 ^{ab} | 4674 ± 694.8 ^{ab} | 3290 ± 272.1 ^b |
| 2020 | AB ₂₀ (m ² ha ⁻¹) | 12.7 ± 2.7 ^a | 8.7 ± 0.4 ^{ab} | 8.8 ± 0.7 ^{ab} | 5.6 ± 0.5 ^b |
| | Biom ₂₀ (t ha ⁻¹) | 30.1 ± 5.9 ^a | 18.9 ± 0.8 ^{ab} | 25.5 ± 2.6 ^{ab} | 12.1 ± 1.7 ^b |
| | IMA _{AB20} (m ² ha ⁻¹ /año) | 1 ± 0.2 ^a | 0.7 ± 0.0 ^{ab} | 0.7 ± 0.0 ^{ab} | 0.4 ± 0.04 ^b |
| | PSA ₂₀ (kg ha ⁻¹) | 1480.9 ± 371.0 ^a | 1048.6 ± 56.3 ^{ab} | 1066.7 ± 149.8 ^{ab} | 744.2 ± 54.9 ^b |
| | PSRT ₂₀ (kg ha ⁻¹) | 10596 ± 2221.2 ^a | 6890 ± 320.1 ^{ab} | 7236 ± 619.2 ^{ab} | 4172 ± 480.3 ^b |
| | AF ₂₀ (m ² ha ⁻¹) | 7805 ± 1976.5 ^a | 5534 ± 298.5 ^{ab} | 5632 ± 809.7 ^{ab} | 3947 ± 286.4 ^b |
| 2023 | AB ₂₃ (m ² ha ⁻¹) | 16.3 ± 2.4 ^a | 13.6 ± 1.0 ^{ab} | 13.0 ± 0.91 ^{ab} | 9.1 ± 1.0 ^b |
| | Biom ₂₃ (t ha ⁻¹) | 42.7 ± 3.7 ^a | 38.2 ± 2.8 ^a | 35.7 ± 3.2 ^{ab} | 22.7 ± 3.9 ^b |
| | IMA _{AB23} (m ² ha ⁻¹ /año) | 1.0 ± 0.1 ^a | 0.9 ± 0.0 ^{ab} | 0.8 ± 0.0 ^{ab} | 0.6 ± 0.0 ^b |
| | PSRT ₂₃ (kg ha ⁻¹) | 15206 ± 1197.7 ^a | 12932 ± 810.7 ^a | 11894 ± 203.2 ^{ab} | 8233 ± 1195.4 ^b |
| | ICA _{DN} (cm/año) | 1.36 ± 0.2 ^a | 1.83 ± 0.1 ^a | 1.59 ± 0.2 ^a | 1.64 ± 0.1 ^a |
| | ICA _{AT} (m/año) | 0.96 ± 0.1 ^a | 1.07 ± 0.0 ^a | 0.86 ± 0.2 ^a | 1.02 ± 0.2 ^a |
| | ICA _{AB} (m ² ha ⁻¹ /año) | 1.58 ± 0.4 ^a | 1.76 ± 0.0 ^a | 1.58 ± 0.0 ^a | 1.21 ± 0.1 ^a |

AT = altura total, AB = área basal, VOL = volumen, Biom = biomasa aérea arbórea, IMA = incremento medio anual, PSA = peso seco de acículas, PSRT = peso seco de rama total, AF = área foliar, ICA = incremento corriente anual, DN = diámetro normal (cm). A = área basal alta (≥ 14.0 m² ha⁻¹), B = área basal baja (< 14.0 m² ha⁻¹). Valores letras distintas en columnas presentan diferencias estadísticas significativas (Duncan, 0.05). Media ± error estándar.

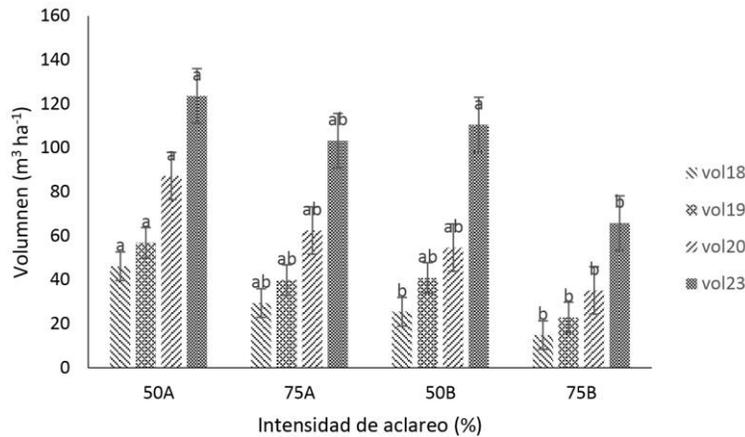


Figura 3. Comportamiento del volumen durante aclareos secuenciales. Área basal alta (A ≥ 14 m² ha⁻¹) y baja (B < 14 m² ha⁻¹). Valores con letras distintas y por año muestran diferencias estadísticas significativas (Duncan, 0.05); las líneas verticales sobre las barras representan el error estándar (n = 174 árboles).

Efecto del aclareo en incrementos

En el año 2018 el tratamiento 75A tenía el mejor IMA_{AT}, lo cual contrasta con el IMA en área basal, donde el valor mayor se encontró en los aclareos 50A durante todo el periodo de intervención, aunque al finalizar en 2023 estos tratamientos igualaron sus valores en esta última variable (Tabla 3). Este mismo comportamiento sucede para el IMA_{VOL}, donde el tratamiento 50A mantiene la superioridad durante los aclareos secuenciales (Figura 4), ya que al finalizar los aclareos (2023) este tratamiento superó en más del 100% (8.2 m³ ha⁻¹ año⁻¹) al aclareo 75B (Figura 4). Por otro lado, al tomar en cuenta únicamente el periodo de realización de los aclareos no se detectaron diferencias entre tratamientos al evaluar el incremento corriente anual en volumen, donde el rodal tuvo en promedio cerca de 13.87 m³ ha⁻¹ año⁻¹ (Figura 5).

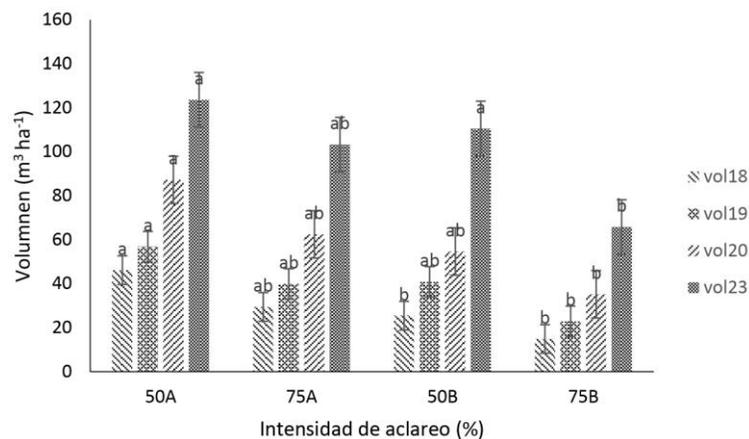


Figura 4. Incremento medio anual (IMA) de volumen en cinco años de aclareos secuenciales. Intensidad de aclareo de 50 y 75% en sitios con área basal alta (A ≥ 14 m² ha⁻¹) y baja (B < 14 m² ha⁻¹) densidad. Valores con la misma letra y por año no presentan diferencias estadísticas significativas (Duncan, 0.05); las líneas verticales sobre las barras representan el error estándar (n = 174 árboles).

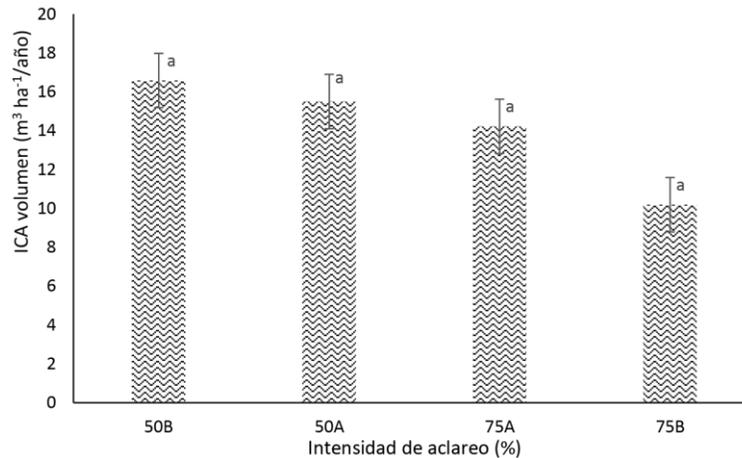


Figura 5. Incremento corriente anual (ICA) de volumen durante la aplicación de aclareos (2018-2023). Área basal alta (A $\geq 14 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) y baja (B $< 14 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$). Valores con la misma letra no presentan diferencias estadísticas significativas (Duncan, 0.05); las líneas verticales sobre las barras representan el error estándar.

Al comparar (*t*-Student, $\alpha = 0.05$) el volumen en sus valores de ICA (todo el periodo de aclareo) e IMA ($6.64 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}/\text{año}$) al 2023 a una edad de 15 años se encontraron diferencias altamente significativas ($t = 5.71^{**}$), demostrando un diferencial de incremento en volumen de 108.9 % al aplicar cortas secuenciales. Esta misma prueba se realizó para el área basal en donde se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas ($t = 4.12^{**}$), que representan un incremento del 74.4 % entre el periodo de no intervención (IMA) y el periodo de aclareos (ICA); este mismo comportamiento se encontró para los incrementos en diámetro ($t = 14.05^{**}$) y altura (10.52^{**}).

DISCUSIÓN

El tiempo que tarda un sitio aclareado en recuperar su potencial de crecimiento es el tiempo de respuesta al aclareo y el número de aclareos depende del objetivo que se tenga (Li *et al.* 2020, Del-Campo *et al.* 2022); los aclareos en el manejo silvícola disminuyen la competencia entre individuos y favorece el incremento en volumen y biomasa de los árboles residuales (Ruiz-Díaz *et al.* 2014, Ramírez-Martínez *et al.* 2020). Mientras que Chaves y Mora (2010) mencionan que existe una relación estrecha entre el diámetro, la edad y el área basal cuando se realizan aclareos intensivos, permitiendo desarrollar la copa y por lo tanto el crecimiento en diámetro es mayor; de acuerdo con lo observado en este estudio, el rodal de *P. pseudostrobus* tardó cinco años en recuperarse con intensidades de aclareo del 50% en sitios con áreas basales altas ($\geq 14.0 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$), mientras que *Pinus contorta* var. *latifolia* tardó cuatro años (Blevins *et al.* 2005); mientras tanto, Rodríguez- Souilla *et al.* (2023) mencionan que el crecimiento tarda de dos a cuatro años después del aprovechamiento. Por otro lado, Rodríguez-Ortiz *et al.* (2011b) incrementaron la cantidad de biomasa con intensidades altas de aclareo. En tanto que Hoover y Stout (2007) mencionan que los efectos del aclareo pueden ser significativos a largo plazo. El incremento de agua, nutrientes y otros recursos podría también ser críticos en la respuesta del AF (McDowell *et al.* 2007). El AF por unidad de superficie disminuyó al reducirse la densidad luego de ser aplicados los aclareos, porque se redujo la proporción de

copas por los espacios abiertos (Rajput *et al.* 2017). No obstante, después del aclareo los árboles tienden a crecer a una tasa mayor y así dan lugar a mayores valores de *AF* y de volumen de madera por árbol (Ramírez-Martínez *et al.* 2020), situación que fue encontrada en este estudio.

La intensidad de aclareo con mejor respuesta fue la 50A, que tuvo mayores valores en variables dasométricas y de biomasa. Al respecto, Costas *et al.* (2004) indican que en *Pinus taeda* L. a mayor densidad de árboles, mayor cantidad de biomasa por unidad de superficie y menor biomasa individual, ya que a densidades bajas o medias no se usa todo el espacio de crecimiento. El efecto de aumentar el volumen de aclareo en el crecimiento del árbol depende del tiempo de respuesta (Rodríguez-Ortiz *et al.* 2011a). El volumen total de madera para el año 2023 en este estudio fue de 123.6 m³ ha⁻¹, superiores a los encontrados por Jumbo-Salazar (2018), que fue de 115 m³ ha⁻¹ para la misma especie.

Se reporta que hay relación estrecha entre el diámetro y la biomasa de cada uno de los componentes estructurales (Delgado *et al.* 2005, Figueroa-Navarro *et al.* 2010), es decir, a mayor diámetro, se espera una mayor acumulación de biomasa (Rodríguez-Larramendi *et al.* 2016). Por su parte, Hashimoto *et al.* (2000) reportaron en bosques secundarios en Indonesia entre 45 t ha⁻¹ y 56 t ha⁻¹ de biomasa aérea arbórea en rodales de 15 años, valores un poco mayores a los encontrados en este estudio a la misma edad (42.7 t ha⁻¹). Mientras que Chávez-Pascual *et al.* (2017) para un bosque con corta de regulación (10 años) reportan 55.94 t ha⁻¹, esto puede deberse a que en edades jóvenes el crecimiento es más acelerado, lo cual se acentúa cuando se tienen prácticas de manejo adecuadas. Por otro lado, Ronquillo-Gorgúa (2022) en un bosque de *Pinus patula* en etapa latizal encontró 36.4 t ha⁻¹ de biomasa aérea arbórea, mientras que Razo-Zárate *et al.* (2013), Álvarez *et al.* (2012) y Ambrosio-Lazo *et al.* (2024), mencionan que los árboles jóvenes son los que almacenan la mayor cantidad de biomasa y carbono cuando se aplican los tratamientos adecuados.

Valores similares muestran Aguirre *et al.* (2018) en un bosque andino (42.29 t ha⁻¹), mientras que Moser *et al.* (2011) reportan valores mayores de 48 t ha⁻¹ en bosques nublados del sur del Ecuador. Mientras tanto Ledesma *et al.* (2021) encontraron en promedio 92.68 t ha⁻¹, en cambio Siles *et al.* (2017) encontró un valor de 221.2 t ha⁻¹ en una reserva con vegetación pino-encino de Santa Rosa, Nicaragua, montos superiores a los encontrados en este estudio. En un área natural de especies de latifoliadas asociadas con *P. patula* demostraron que los árboles con los diámetros y alturas más grandes (> 25 cm de DN y > 20 m de altura), aunque su distribución es dispersa, registran la mayor biomasa que depende de la edad del rodal (Figueroa-Navarro *et al.* 2010, Chávez-Aguilar *et al.* 2023); en este estudio el área basal encontrada para el año 2023 fue de 16.3 m² ha⁻¹ con una edad de 15 años, datos similares encontró Figueroa-Navarro *et al.* (2022), quien obtuvo 16 m² ha⁻¹ a una edad de 20 años en el 2020; en cambio Bermejo *et al.* (2004) encontraron datos superiores de 17.4 m² ha⁻¹ a los 20 años de edad de una plantación de teca, esto se debe a la edad y a las condiciones en las que se encuentran; Pereira *et al.* (2008) superaron los valores con 30.5 m² ha⁻¹, que son datos superiores a los encontrados. Por otro lado, Tamarit-Urías *et al.* (2019) con una edad de referencia de 7.5 años de *Tectona grandis* encontraron 12.3 m² ha⁻¹.

El volumen maderable fue de 123.6 m³ ha⁻¹ con una intensidad de aclareo al 50% y área basal alta, valores inferiores a los encontrados por Restrepo *et al.* (2012) para teca en la región noroccidental de Colombia, quienes a una edad de 9.5 años encontraron 153.4 m³ ha⁻¹. El incremento corriente

anual para volumen mostró mayor crecimiento en la intensidad de 50A con $8.2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ para el año 2023, valores inferiores a los encontrados Vasquez-Miño *et al.* (2023) que fue de $16.109 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}/\text{año}$ en plantaciones de *Tectona grandis* de cinco años; el ICA para área basal, diámetro y altura no mostró diferencias entre tratamientos, como lo obtenido por Abarca-Valverde *et al.* (2020). El ICA en diámetro fue 0.30 cm año^{-1} , menor a los encontrados en otros estudios (Corral y Nívar, 2005, Hernandez *et al.* 2020, Hernández *et al.* 2014, Quiñonez *et al.* 2015). Por otro lado, Corral y Nívar (2005) mencionan que el incremento corriente máximo lo encontraron a los 16 años de edad den las especies de *P. cooperi*, *P. durangensis*, *P. engelmannii*, *P. herrerae* y *P. leiophylla* en el estado de Durango; mientras que Monárrez y Ramírez (2003) lo encontraron a los 17 años para diámetro y para la altura a los 15 años en *P. durangensis*. Para el ICA_{AB} fue de $0.4 \text{ m}^2 \text{ año}$ superior a los encontrados por Calvillo *et al.* (2005) que fue de $0.009 \text{ m}^2 \text{ año}^{-1}$.

CONCLUSIONES

Las intensidades de aclareo aplicadas a *Pinus pseudostrobus* Lindl en 2018, con extracciones de 50 y 75%, aumentan el crecimiento maderable, diámetro, área basal (AB) y volumen, así mismo el incremento medio anual del área basal aumenta con intensidades de aclareo al 50% aplicados en sitios con $\text{AB} \geq 14.0 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$). La aplicación de aclareos secuenciales en etapa latizal incrementa más del 100% el volumen maderable, esto medido en el incremento corriente anual ($\text{ICA}_{\text{VOL}} = 13.87 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}/\text{año}$, así como un incremento del 74.4% en AB. Los valores mas altos en área foliar se generaron con intensidades de aclareo bajas y áreas basales residuales altas (50A), debido a la mayor cantidad de árboles que se quedaron presentes. La aplicación de aclareos secuenciales durante cinco años, con intensidades mayores del 50% de extracción del AB en etapas juveniles del rodal amnifican los rendimientos.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

LITERATURA CITADA

- Abarca-Valverde P, Meza-Picado V, Gamboa-Méndez J (2020) Evaluación de tratamientos silviculturales en la sostenibilidad de bosques tropicales en la Región Huetar Norte, Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales* 54(1): 140-166. <https://dx.doi.org/10.15359/rca.54-1.8>
- Aguirre MZ, Quizhpe CW, Pinza D (2018) Estimación del carbono acumulado en una parcela permanente de bosque andino en el parque universitario Francisco Vivar Castro, Loja, Ecuador. *Arnaldoa* 25(3): 939-952. <https://dx.doi.org/10.22497/arnaldoa.253.25307>
- Álvarez E, Duque A, Saldarriaga J, Cabrera K, de las Salas G, del Valle I, Lema A, Moreno F, Orrego S, Rodríguez L (2012) Tree above-ground biomass allometries for carbon stocks estimation in the natural forests of Colombia. *Forest Ecology and Management* 267: 297-308. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.12.013>

- Ambrosio-Lazo A, Rodríguez-Ortiz G, Santiago-García W, Ruiz-Luna J, Velasco-Velasco, VA, Enríquez-del Valle JR (2024) Biomasa aérea y carbono en el suelo en rodales de pino-encino bajo tratamientos silvícolas. *Madera y bosques* 30(2): e3022564. <https://doi.org/10.21829/myb.2024.3022564>
- Bermejo I, Cañellas I, San-Miguel A (2004) Growth and yield models for teak plantations in Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 189: 97-110. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2003.07.031>
- Blevins DP, Prescott CE, Allen HL, Newsome TA (2005) The effects of nutrition and density on growth, foliage biomass, and growth efficiency of high-density fire-origin lodgepole pine in central British Columbia. *Canadian Journal of Forest Research* 35: 2851-2859. <https://doi.org/10.1139/x05-204>
- Caballero-Cruz P, Treviño-Garza EJ, Mata-Balderas JM, Alanís-Rodríguez E, Yerena-Yamallel JI, Cuéllar-Rodríguez LG (2022) Análisis de la estructura y diversidad arbórea de bosques templados en la ladera oriental del volcán Iztaccíhuatl, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 13(71): 76-102. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i71.1253>
- Calvillo GJC, Cornejo OEH, Valencia MS, Flores LC (2005) Estudio epidemético para *Pinus herrerae* Martínez en la region de Cd. Hidalgo, Michoacán México. *Foresta Veracruzana* 7(1): 5-10.
- Cambrón-Sandoval VH, Suzán-Azpiri H, Sáenz-Romero C, Sánchez-Vargas NM (2014) Desarrollo de *Pinus pseudostrobus* bajo distintos ambientes de crecimiento en jardín común. *Madera y Bosques* 20(1): 47-57. <https://doi.org/10.21829/myb.2014.201175>
- Carvajal-Agudelo BN, Andrade HJ (2020) Captura de carbono en biomasa de sistemas de uso del suelo, municipio de Yopal, Casanare, Colombia. *Orinoquia* 24(1): 13-22. <https://doi.org/10.22579/20112629.587>
- Cortés-Pérez M, León-González FD, Paz-Pellat F, Leyva-Pablo T, Santiago-García W, Ponce-Mendoza A, Fuentes-Ponce M (2021) Almacenamiento de carbono aéreo en un bosque templado de Oaxaca: manejo de alta y baja intensidad. *Madera y Bosques* 27(Spe): e2742440. <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2742440>
- Corral RS, y Návar C (2005) Análisis de crecimiento e incremento de cinco pináceas de los bosques de Durango, México. *Madera y Bosques* 11(1): 29-47. <https://doi.org/10.21829/myb.2005.1111260>
- Chaves SE, Mora FCH (2010) Incrementos en diámetro, área basal y altura en un ensayo de aclareos para *Pachira quinata* (Jacq.) W. S. Alverson, Nicoya, Guanacaste, Costa Rica. *Revista Forestal Venezolana* 54(2): 131-146.
- Chávez-Aguilar G, Pérez-Suárez M, Gayosso-Barragán O, López-López MÁ, Ángeles-Pérez G (2023) El manejo forestal acelera la acumulación de biomasa aérea en un bosque templado del centro de México. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente* 29(1): 15-33. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2022.03.014>
- Chávez-Pascual EY, Rodríguez-Ortiz G, Enríquez-Del Valle JR, Velasco-Velasco VA, Gómez-Cárdenas M (2017) Compartimentos de biomasa aérea en rodales de *Pinus oaxacana* bajo tratamientos silvícolas. *Madera Bosques* 23(3): 147-161. <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2331627>
- Costas RMC, Donagh P, Weber E, Irschick P, Palavecino J (2004) Efectos de la densidad de plantación y tratamiento de poda sobre la producción de *Pinus taeda* L. a los 6 años de edad. *Revista Forestal Venezolana* 48: 117-125.
- Cutini A, Chianucci F, Manetti MC (2013) Allometric relationships for volume and biomass for stone pine (*Pinus pinea* L.) in Italian coastal stands. *iForest – Biogeosciences and Forestry* 6: 331-337. <https://doi.org/10.3832/ifer0941-006>
- Clerici N, Rubiano K, Abd-Elrahman A, Posada Hoestettler J, Escobedo F (2016) Estimating Aboveground Biomass and Carbon Stocks in Periurban Andean Secondary Forests Using Very High Resolution Imagery. *Forests* 7(7): 138-154. <https://doi.org/10.3390/f7070138>

- Cruz-Sánchez Y, López-Teloxa LC, Gómez-Díaz JD, Monterroso-Rivas AI (2022) Respiración de CO₂ desde el suelo en bosques templados del Parque Nacional Iztaccihuatl-Popocatepetl, centro de México. *Bosque* 43(2): 125-133. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002022000200125>
- Delgado LA, Acevedo MF, Castellanos H, Ramírez H, Serrano J (2005) Relaciones alométricas y patrones de crecimiento para especies de árboles de la reserva forestal Imataca, Venezuela. *Interciencia* 30(5): 275-283.
- Del-Campo A, Otsuki K, Serengil Y, Blanco J, Yousefpour R, Wei X (2022) A global synthesis on the effects of thinning on hydrological processes: Implications for forest management. *Forest Ecology and Management* 519: 120324. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120324>
- Douterlungne D, Herrera-Gorocica AM, Ferguson BG, Siddique II, Soto-Pinto L (2013) Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono de cuatro especies leñosas neotropicales con potencial para la restauración. *Agrociencia* 47(4): 385-397.
- Espinoza-Zúñiga P, Leos-Rodríguez JA, Rodríguez-Ortiz G, Montiel-Batalla BM, Valdivia-Alcalá R (2023) Carbono estructural y compartimentos en bosques certificados por el Forest Stewardship Council, en Oaxaca, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 10(1): e3474. <https://doi.org/10.19136/era.a10n1.3474>
- Figueroa-Navarro CF, Angeles PG, Velázquez MA, De-los-Santos-Posadas HM (2010) Estimación de Biomasa en un bosque bajo manejo de *Pinus patula* Schltdl. et Cham. en Zacualtán, Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 1: 105-112.
- Figueroa-Navarro CM, Salcedo-Pérez E, Gallegos-Rodríguez A, Vargas-Larreta B, Huerta-Martínez FM, Ángeles-Pérez G (2023) Dinámica estructural y área basal de bosques mixtos en dos áreas naturales protegidas de Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 14(77): 4-30. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v14i77.1318>
- García-Oliva F, Covalada S, Gallardo JF, Velázquez-Durán R, Prat C, Etchevers JD (2014) Firewood extraction affects carbon pools and nutrients in remnant fragments of temperate forests at the Mexican Transvolcanic Belt. *Bosque* 35(3): 311-324. <https://doi.org/10.4067/S071792002014000300006>
- Gilmore DW, Zenner EK (2005) Foliage-sapwood area relationships for balsam fir in Northwestern central Minnesota. *Northern Journal of Applied Forestry* 22: 203-210. <https://doi.org/10.1093/njaf/22.3.203>
- Hashimoto T, Kojima K, Tange T, Sasaki S (2000) Changes in carbon storage in fallow forests in the tropical lowlands of Borneo. *Forest Ecology and Management* 126: 331-337. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00104-8](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00104-8)
- Hernández J F, Meraz-Aragón JC, Vargas Larreta B, Nájera- Luna JA (2020) Crecimiento en diámetro, altura, área basal y volumen para tres especies de pino en Chihuahua, México. *Revista Mexicana De Ciencias Forestales* 11(60): 120-143. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i60.711>
- Hernández RJ, García M, Olvera EH, Velarde DJC, García C, y Muñoz F (2014) Índice de sitio para plantaciones de *Pinus greggii* Engelm. En Metztlán, Hidalgo, México. *Revista Chapingo Serie de Ciencias Forestales y del Ambiente* 20(2): 167-176. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2013.04.016>
- Hernández RJ, García MJJ, Muñoz FHJ, García CX, Sáenz RT, Flores LC, Hernández RA (2013) Guía de densidad para manejo de bosques naturales de *Pinus teocote* Schlecht. et Cham. en Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 4(19): 62-77. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v4i19.379>
- Hoover C, Stout S (2007) The carbon consequences of thinning techniques: stand structure makes a difference. *Journal of Forestry* 105: 266-271.
- Jumbo-Salazar CA, Arévalo-Delgado CD, Ramirez-Cando LJ (2018) Medición de carbono del estrato arbóreo del bosque natural tinajillas-limón indanza, Ecuador. *La Granja. Revista de Ciencias de la Vida* 27(1): 51-63. <https://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.04>
- Kurz WA, Birdsey R, Mascorro V, Greenberg D, Dai Z, Olgún M, Colditz R (2016) Modelización y evaluación integradas de la dinámica del carbono forestal en América del Norte: Herramientas para monitorear,

- registrar en informes y proyectar emisiones y remociones de gases de efecto invernadero en el sector forestal. Comisión para la Cooperación Ambiental. Montreal, Canada. 24p.
- Ledesma SG, Sione SMJ, Ozsust JD, Rosenberger LJ (2021) Estimación del contenido y captura potencial de carbono en la biomasa arbórea de bosques nativos del Espinal (Entre Ríos, Argentina). *Fave. Sección Ciencias Agrarias* 20(1): 331-345 <http://dx.doi.org/10.14409/fa.v20i1.10274>
- Li X, Li Y, Zhang J, Peng S, Chen Y, Cao Y (2020) The effects of forest thinning on understory diversity in China: A meta-analysis. *Land Degradation & Development* 31: 1225-1240 <https://doi.org/10.1002/ldr.3540>
- Monárrez GJC, Ramírez MH (2003) Predicción del rendimiento en masas de densidad excesiva de *Pinus durangensis* Mtz. *Revista Chapingo Serie de Ciencias Forestales y del Ambiente* 9(1): 45-56.
- Moser G, Leuschner C, Hertel D, Graefe S, Soethe N, Lost S (2011) Elevation effects on the carbon budget of tropical mountain forests (S Ecuador): The role of the belowground compartment. *Global Change Biology* 17(6): 2211-2226. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02367.x>
- McDowell NG, Adams HD, Bailey JD, Kolb TE (2007) The role of stand density on growth efficiency, leaf area index, and resin flow in southwestern ponderosa pine forests Canadian. *Journal of Forest Research* 37(2): 343-355. <https://doi.org/10.1139/X06-233>
- Pan Y, Birdsey RA, Fang J, Houghton R, Kauppi PE, Kurz WA, Phillips OL, Shvidenko A, Lewis SL, Canadell JG, Ciais P, Jackson RB, Pacala SW, McGuire AD, Piao S, Rautiainen A, Sitch S, Hayes D (2011) A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science* 333(6045): 988-993. <https://doi.org/10.1126/science.1201609>
- Pereira CJ, Garcia L H, Boechat S CP, Chagas CJC, Smit L, Saraiva N G, Romarco de O ML (2008) Modelos de crecimiento e produção para plantios comerciais jovens de *Tectona grandis* em Tangará da Serra, Mato Grosso. *Árvore* 32: 821-828.
- Pérez-Alavez Y, Rodríguez-Ortiz G, Santiago-García W, Campos-Angeles GV, Enríquez-del Valle JR, Martín MP (2021) Effect of thinning intensity of litterfall biomass and nutrient deposition in a naturally regenerated *Pinus pseudostrobus* Lindl. forest in Oaxaca, México. *Journal of Sustainable Forestry* 40: 1-18. <https://doi.org/10.1080/10549811.2021.1946410>
- Pérez-González G, Domínguez-Domínguez M, Martínez-Zurimendi P, Etchevers-Barra JD (2012) Caracterización dasométrica e índice de sitio en plantaciones de caoba en Tabasco, México. *Madera y Bosques* 18(1): 7-24.
- Quiñonez BG, García E, Aguirre C (2018) ¿Cómo corregir heterocedasticidad y autocorrelación de residuales en modelos de ahusamiento y crecimiento en altura?. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9(49): 28-59. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i49.151>
- Rajput BS, Bhardwaj DR, Pala NA (2017) Factors influencing biomass and carbon storage potential of different land use systems along an elevational gradient in temperate northwestern Himalaya. *Agroforestry Systems* 91(3): 479-486. <https://doi.org/10.1007/s10457-016-9948-5>
- Ramírez-Martínez A, De-los-Santos-Posadas HM, Ángeles-Pérez G, González-Guillén MJ, Santiago-García W (2020) Densidad inicial en el rendimiento maderable y biomasa de *Pinus patula* con especies latifoliadas. *Agrociencia* 54(4): 555-573. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v54i4.2053>
- Restrepo OHL, Orrego SSA, del Valle AI, Salazar UJC (2012) Rendimiento, turno óptimo forestal y rentabilidad de plantaciones forestales de *Tectona grandis* y *Pinus patula* en Colombia. *Interciencia* 37: 14-20.
- Razo-Zárate R, Gordillo-Martínez R, Rodríguez-Laguna R, Maycotte-Morales C, Acevedo-Sandoval OA (2013) Estimación de biomasa y carbono almacenado en árboles de oyamel afectados por el fuego, en el Parque nacional El Chico. *Madera y Bosques* 19(2): 73-86.
- Rodríguez-Larramendi LA, Guevara-Hernández F, Reyes-Muro L, Ovando-Cruz J, Nahed-Toral J, Prado-López M, Campos SRA (2016) Estimación de la biomasa y carbono almacenado en bosques

- comunitarios de la región Frailesa de Chiapas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 7(37): 77-94.
- Rodríguez-Ortiz G, González-Hernández VA, Aldrete A, De los Santos-Posadas HM, Gómez-Guerrero A, Fierros-González AM (2011a) Modelos para estimar crecimiento y eficiencia de crecimiento en plantaciones de *Pinus patula* en respuesta al aclareo. *Revista Fitotecnia Mexicana* 34(3): 205-212.
- Rodríguez-Ortiz G, Aldrete A, González-Hernández VA, De Los Santos-Posadas HM, Gómez-Guerrero A, Fierros-González AM (2011b) ¿Afectan los aclareos la acumulación de biomasa aérea en una plantación de *Pinus patula*? *Agrociencia* 45(6): 719-732.
- Rodríguez-Ortiz G, De Los Santos-Posadas HM, González-Hernández VA, Aldrete A, Gómez-Guerrero A, Fierros-González AM (2012) Modelos de biomasa aérea y foliar en una plantación de pino de rápido crecimiento en Oaxaca. *Madera y Bosques* 18(1): 25-41.
- Rojas-García F, Gómez-Guerrero A, Terrazas T, Endara-Agramont A, Gutiérrez-García, G, Reyes-Hernández V, Ángeles-Pérez G, Jong B (2024) Efecto del aprovechamiento forestal en la formación de madera en árboles remanentes de *Abies religiosa*. *Maderas. Ciencia y Tecnología* 26: 47. <https://dx.doi.org/10.22320/s0718221x/2024.47>
- Ronquillo-Gorgúa N, Razo-Zárate R, Rodríguez-Laguna R, Acevedo-Sandoval O A, Hernández-Ortiz J, Manzur-Chávez N (2022) Almacenamiento de carbono en etapas de crecimiento de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. en la Sierra Alta Hidalguense. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 28(3): 483-497. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2022.02.009>
- Rodríguez-Souilla J, Cellini J, Roig F, Lencinas M, Chaves J, Paredes D, Parodi M, Favoretti S, Peri P, Martínez-Pastur G (2023) Radial growth response to long-term thinning strategies in *Nothofagus pumilio* forests of Tierra del Fuego. *Bosque* 44(1): 241-254. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002023000100241>
- Ruiz-Díaz C, Rodríguez-Ortiz G, Leyva-López JC, Enríquez-del Valle JR (2014) Metodologías para estimar biomasa y carbono en especies forestales en México. *Naturaleza y Desarrollo* 12(1): 28-45.
- SAS (2022) The SAS System for Windows User's guide release 9.4. SAS Institute. Cary North Carolina, USA. 35p.
- Sígala RJÁ, González TMA, Prieto RJÁ, Basave VE, Jiménez PJ (2016) Relaciones alométricas para predecir biomasa en plantas de *Pinus pseudostrabus* cultivadas en diferentes sistemas de producción en vivero. *Bosque* 37(2): 369-378. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002016000200015>
- Siles G, Talavera P, Andino-Rugama PA, Alaniz FL, Ortiz-González W (2017) Composición florística, estructura y biomasa de los bosques de pino-encino en la reserva Santa Rosa, Tisey, Estelí, Nicaragua. *Revista de Biología Tropical* 65(2): 763-775. <https://dx.doi.org/10.15517/rbt.v65i2.22928>
- Soriano-Luna MÁ, Ángeles-Pérez G, Martínez-Trinidad T, Plascencia-Escalante FO, Razo-Zárate R (2015) Estimación de biomasa aérea por componente estructural en Zacualtipán, Hidalgo, México. *Agrociencia* 49(4): 423-438.
- Tamarit-Uria JC, de los Santos-Posadas HM, Aldrete A, Valdez-Lazalde JR, Ramírez-Maldonado H, Guerra-De la CV (2019) Sistema de crecimiento y rendimiento maderable para plantaciones de teca (*Tectona grandis* L. f.) en Campeche, México. *Madera y Bosques* 25(3): e2531908. <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2531908>
- Tsakalimi M, Ganatsas P, Jacobs DF (2013) Prediction of planted seedlings survive of five Mediterranean species based on initial seedling morphology. *New Forests* 44: 327-339. <https://doi.org/10.1007/s11056-012-9339-3>
- Vásquez-García I, López-López MA, Ángeles-Pérez G, Trinidad-Santos A, Jiménez-Casas M, Aguilar-Benítez G (2015) Aclareo y fertilización química en la productividad primaria neta de plantaciones de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6(31): 82-93. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v6i31.197>

Vasquez-Miñope C, Sulca-Gamboa K, Cuellar-Bautista E (2023) Crecimiento, productividad e índices silviculturales en plantaciones juveniles de *Tectona grandis* L. f. en Perú. Colombia Forestal 26(1): 79-91. <https://doi.org/10.14483/2256201x.19158>