

Effect of pruning in young *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. plantations of in the ejido Llano Grande, Chignahuapan, Puebla

Efecto de podas en plantaciones jóvenes de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. en el ejido Llano Grande, Chignahuapan, Puebla

Uriel E. Pastor-Martínez¹; Alejandro Velázquez-Martínez^{2*}; José A. Gil-Vera¹

¹Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5. C. P. 56230. Texcoco, Estado de México, México.

²Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco km 36.5. C. P. 56230. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México.

*Corresponding author: alejvela@colpos.mx; tel.: +52 595 952 0200 ext. 1470.

Abstract

Introduction: The silvicultural objective of pruning is the production of knot-free wood; however, pruning can affect the growth of early-aged trees.

Objective: The aim of this study was to evaluate the effect of four pruning intensities in a seven-year-old plantation of *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham.

Materials and methods: A randomized experimental design with 12 plots (four treatments and three replications) was used; a total of 48 trees were sampled. Pruning treatments were: 1) no pruning, 2) pruning of the lower third of the crown, 3) pruning of the lower half of the crown and 4) pruning of the lower two thirds of the crown. Growth and number of epicormic shoots were measured one year after pruning.

Results and discussion: The ANOVA showed a significant effect ($P < 0.05$) of pruning intensity on the variables evaluated. Pruning the lower third of the crown was the treatment with the least amount of epicormic shoots and the greatest increment in height, diameter and volume, while the most intense pruning (lower two thirds of the crown) had the opposite effect.

Conclusion: More intense pruning negatively affects the growth of *P. patula* trees in early stages of development.

Keywords: Epicormic shoots; tree crown; growth increment; pruning intensity; silviculture.

Resumen

Introducción: El objetivo silvícola de las podas es la producción de madera libre de nudos; sin embargo, estas pueden afectar el crecimiento de los árboles de edad temprana.

Objetivo: Evaluar el efecto de cuatro intensidades de poda en una plantación de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. de siete años.

Materiales y métodos: Se utilizó un diseño experimental al azar con 12 parcelas (cuatro tratamientos y tres repeticiones); en total se muestrearon 48 árboles. Los tratamientos de poda fueron: 1) sin poda, 2) poda del tercio inferior de la copa, 3) poda de la mitad inferior de la copa y 4) poda de los dos tercios inferiores de la copa del árbol. El crecimiento y el número de brotes epicórmicos se midieron un año después de la poda.

Resultados y discusión: El análisis de varianza demostró efecto significativo ($P < 0.05$) de la intensidad de poda sobre las variables evaluadas. La poda del tercio inferior de la copa fue el tratamiento que generó menor cantidad de brotes epicórmicos y mayor incremento en altura, diámetro y volumen, mientras que la poda de mayor intensidad (dos tercios inferiores de la copa) tuvo el efecto contrario.

Conclusión: La poda más intensa afecta negativamente el crecimiento de los árboles de *P. patula* en etapas tempranas de desarrollo.

Palabras clave: Brotes epicórmicos; copa del árbol; incremento de crecimiento; intensidad de poda; silvicultura.

Introduction

Pruning as a silvicultural tool is implemented with the main objective of producing knot-free wood, which translates into good quality timber when other intermediate cuts such as thinning are also applied (Baders, 2017; Fernández et al., 2016; Nyland et al., 2016). These are usually applied when stands are going to be managed intensively, since it is a silvicultural practice that requires a high investment and will be recovered until the end of the rotation (Ashton & Kelty, 2018; Nyland et al., 2016).

Classic silvicultural literature indicates that trees should be pruned when they have reached at least the height of the first commercial log and in stands on high quality sites that have been thinned (Ashton & Kelty, 2018; Daniel et al., 1982; Nyland et al., 2016; Smith et al., 1997).

The removal of inefficient branches for photosynthesis in the lower parts of trees can benefit tree growth (Nyland et al., 2016; Tonguc & Guner, 2017). On the other hand, excessive pruning promote a photosynthetic deficiency condition in the tree stand that is compensated by vigorous emission of photosynthetic structures, which can compromise growth and survival (Amateis & Burkhart, 2011; Masatoshi & Velez-Mesa, 1992).

Because of its physiological activity, the tree crown is usually divided vertically into three sections, of which the upper two thirds remain photosynthetically active, while the last third produces a lower amount of photosynthates, thus depending on the supply of metabolites produced by the upper two thirds for its subsistence. Accordingly, the theory suggests pruning the last third of the crown, since it is not only freed from significant photosynthate production, but also receives energy supply that could be used for other tree development processes, such as diameter and height growth (Ashton & Kelty, 2018).

In the ejido Llano Grande, municipality of Chignahuapan, Puebla, the clearcut regeneration method is applied in *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. stands, with immediate assisted regeneration, and when the saplings growth between two or three years these are pruned. Pruning is based on removing the portion of the crown located below half of its total height; however, when the prune is applied, usually the removal is over the lower two thirds of the crown, which can cause the reduction of sapling growth.

Therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of applying four pruning intensities on the growth of a seven-year-old *P. patula* plantation in the

Introducción

La poda como herramienta silvícola se hace con el objetivo principal de la producción de madera libre de nudos, lo que se traduce en madera de buena calidad cuando se hacen también otras cortas intermedias como los aclareos (Baders, 2017; Fernández et al., 2016; Nyland et al., 2016). Estos se aplican, generalmente, cuando los rodales se van a manejar de manera intensiva, en virtud de que es una práctica silvícola que requiere de una inversión fuerte y que se recuperará hasta al final del turno (Ashton & Kelty, 2018; Nyland et al., 2016).

La literatura clásica de silvicultura indica que los árboles deben podarse cuando hayan alcanzado al menos la altura de la primera troza comercial y en rodales de sitios de alta calidad que han sido aclareados (Ashton & Kelty, 2018; Daniel et al., 1982; Nyland et al., 2016; Smith et al., 1997).

La remoción de ramas ineficientes para la realización de la fotosíntesis en las partes bajas de los árboles puede beneficiar el crecimiento del árbol (Nyland et al., 2016; Tonguc & Guner, 2017). Por otro lado, la poda excesiva propicia una condición de deficiencia fotosintética en el arbolado que se compensa mediante la emisión vigorosa de estructuras fotosintéticas, lo cual puede comprometer el crecimiento y sobrevivencia (Amateis & Burkhart, 2011; Masatoshi & Velez-Mesa, 1992).

Por su actividad fisiológica, la copa del árbol suele ser dividida verticalmente en tres secciones, de las cuales los dos tercios superiores se mantienen activos fotosintéticamente, mientras que el último tercio produce una cantidad insignificante de fotosintatos, dependiendo así del suministro de metabolitos producidos por los dos tercios superiores para su subsistencia. Acorde con lo anterior, la teoría sugiere la poda del último tercio de la copa, puesto que este no solo se exime de una producción significativa de fotosintatos, sino que percibe suministro de energía que pudiera ser destinada a otros procesos de desarrollo del árbol, tales como crecimiento en diámetro y altura (Ashton & Kelty, 2018).

En el ejido Llano Grande, municipio de Chignahuapan, Puebla, se aplica el método de regeneración de matarrasa con plantación inmediata en rodales de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. y los brinzales son podados cuando la plantación tiene entre dos o tres años. La poda se basa en la eliminación de la porción de la copa localizada debajo de la mitad de su altura total; sin embargo, se ha observado que dicha intensidad suele traducirse, al momento de su ejecución, como el corte de los dos tercios inferiores de la copa del arbolado, lo que puede causar la reducción del crecimiento de los brinzales.

Llano Grande ejido, to determine the pruning intensity that promotes greater growth in diameter at breast height, total height and volume, as well as the one that produces the greatest number of epicormic shoots.

Materials and Methods

Study area

The study was carried out in the ejido Llano Grande, municipality of Chignahuapan, in the northwestern region of the state of Puebla (19° 43' 08.39" N, 104° 09' 29.40" W) (Figure 1). The ejido is located in the Sierra Norte de Puebla in the foothills of the Sierra Madre Oriental, Physiographic Province V, specifically, in subprovince 57 called Lago y Volcanes de Anáhuac (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2001). Elevation ranges from 2 200 a 3 400 m.

The formation of the mineral matrix of the area dates from the Cenozoic era, specifically the Tertiary period and the Miocene epoch. The origin is volcanic, with a predominance of basaltic and andesitic rocks, and medium to high permeability. Regarding soil types, the area has a ditic Regosol and humic Andosol (INEGI, 2014).

According to the Köppen climate system, modified by García (1964), the ejido has climates C(w₂) and Cb'(w₂) (Comisión Nacional para el Conocimiento y

Por lo anterior, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de la aplicación de cuatro intensidades de poda en el crecimiento de una plantación de *P. patula* a los siete años en el ejido Llano Grande, para conocer la intensidad de poda que promueve un mayor crecimiento en diámetro normal, altura total y volumen, al igual que aquel que produce el mayor número de brotes epicórmicos.

Materiales y métodos

Localización del estudio

El estudio se realizó en el ejido Llano Grande, municipio de Chignahuapan, en la región noroeste del estado de Puebla (19° 43' 08.39" N, 104° 09' 29.40" O) (Figura 1). El ejido se encuentra enclavado en la Sierra Norte de Puebla en las estribaciones de la Sierra Madre Oriental, provincia Fisiográfica V, específicamente, en la subprovincia 57 denominada Lago y Volcanes de Anáhuac (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2001). La altitud varía de 2 200 a 3 400 m.

La formación de la matriz mineral del área data de la era Cenozoica, específicamente del periodo Terciario y la época del Mioceno. El origen es volcánico, predominan las rocas basálticas y andesíticas, y presentan permeabilidad media a alta. En cuanto a los tipos de suelo, en el área existen Regosol dístico y Andosol húmico (INEGI, 2014).

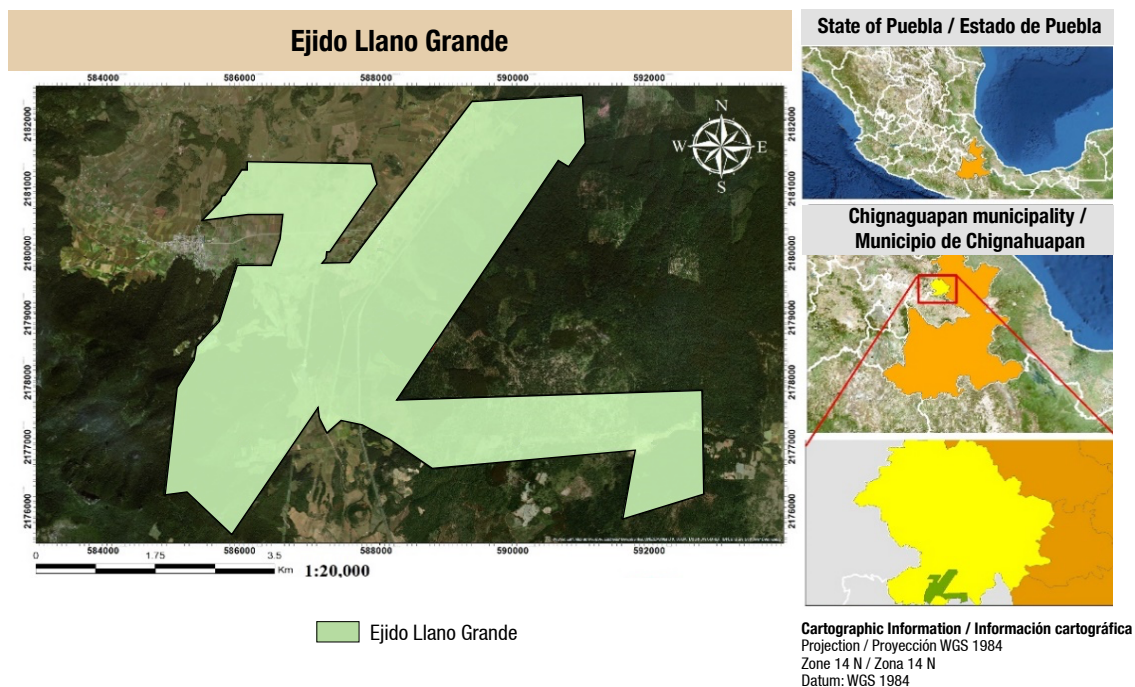


Figure 1. Location of the Llano Grande ejido, municipality of Chignahuapan, in the northwestern region of the state of Puebla. Source: Soto-Gil et al. (2022).

Figura 1. Ubicación del ejido Llano Grande, municipio de Chignahuapan, en la región noroeste del estado de Puebla. Fuente: Soto-Gil et al. (2022).

Uso de la Biodiversidad [CONABIO], 1998). The average annual temperature is 13.1 °C with an average annual precipitation of 1463 mm, most of which is distributed between June and September (INEGI, 2018).

The dominant species in the ejido is *P. patula*, but it is also possible to find species of the genus *Quercus* and *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. & Cham. (Comisión Nacional Forestal [CONAFOR], 2016).

The experimental area has an area of 7317 m² with a homogeneous slope of 10 %. The plantation was established in mid-2011 with a density of 1100 plants·ha⁻¹, so this property should have a number of individuals ranging between 800 and 1100 trees. However, at the time of the establishment of the study (seven years), a series of gaps were observed.

Previously, the plantation was pruned in two periods (2014 and 2016) under the intensity scheme of approximately two thirds of the live crown. The sampling intensity was 10 %, resulting in 12 trees per treatment (four treatments with three replicates) and a total of 48 trees sampled (Table 1; Figure 2). Pruning was carried out in December 2018, under the premise that tree metabolism is reduced in winter and, therefore, these are prevented from negatively influencing wood development.

Evaluated variables

The variables evaluated were: diameter at breast height of 1.30 m from ground level, measured with a diameter tape; height of the individuals from ground level to the terminal shoot, measured with a Bitterlich relascope (Spiegel, Model MS) and taking as reference its scale of 15 m distance to the tree; tree volume, determined from the standardized model to estimate the total volume of a tree of the species *P. patula* in the UMAFOR 2108 ($V = 0.000101d^{1.893733} * h^{0.841048}$); and number of

De acuerdo con el sistema climático de Köppen, modificado por García (1964), en el ejido existen los climas C(w₂) y Cb'(w₂) (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO], 1998). En general, la temperatura media anual es de 13.1 °C con precipitación anual promedio de 1463 mm que se distribuye la mayor parte en los meses de junio a septiembre (INEGI, 2018).

La especie dominante en el ejido es *P. patula*, pero también es posible encontrar especies del género *Quercus* y *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. & Cham. (Comisión Nacional Forestal [CONAFOR], 2016).

El área experimental tiene una superficie de 7317 m² con pendiente homogénea del 10 %. La plantación se estableció a mediados del 2011 con una densidad de 1100 plantas·ha⁻¹, por lo que dicho predio debería contar con un número de individuos que oscilara entre los 800 y 1100 árboles. No obstante, al momento del establecimiento del estudio (siete años), se observó una serie de claros.

Previamente, la plantación se sometió a dos periodos de podas (2014 y 2016) bajo el esquema de intensidad de dos tercios de la copa viva, aproximadamente. La intensidad de muestreo fue de 10 %, dando como resultado 12 árboles por tratamiento (cuatro tratamientos con tres repeticiones) y un total de 48 árboles muestreados (Cuadro 1; Figura 2). Las podas se hicieron en diciembre del 2018, bajo la premisa de que el metabolismo de los árboles se reduce en invierno y, por tanto, se evita que estas influyan negativamente en el desarrollo de la madera.

Variables evaluadas

Las variables evaluadas fueron: diámetro normal a una altura de 1.30 m a partir del ras del suelo, medido con una cinta diamétrica; altura de los individuos desde el ras del suelo hasta el ápice terminal, medida de forma

Table 1. Pruning treatments applied to a *Pinus patula* plantation in the ejido Llano Grande, municipality of Chignahuapan, Puebla

Cuadro 1. Tratamientos de poda aplicados a una plantación de *Pinus patula* en el ejido Llano Grande, municipio de Chignahuapan, Puebla.

Treatment / Tratamiento	Description / Descripción	Plots / Parcelas
1	No pruning (control) / Sin poda (testigo)	7, 8 and 11 / 7, 8 y 11
2	Pruning of the lower third of the tree crown / Poda del tercio inferior de la copa del árbol	3, 4 and 12 / 3, 4 y 12
3	Pruning of the lower half of the tree crown / Poda de la mitad inferior de la copa del árbol	2, 6 and 9 / 2, 6 y 9
4	Pruning of the lower two thirds of the tree crown / Poda de los dos tercios inferiores de la copa del árbol	1, 5 and 10 / 1, 5 y 10

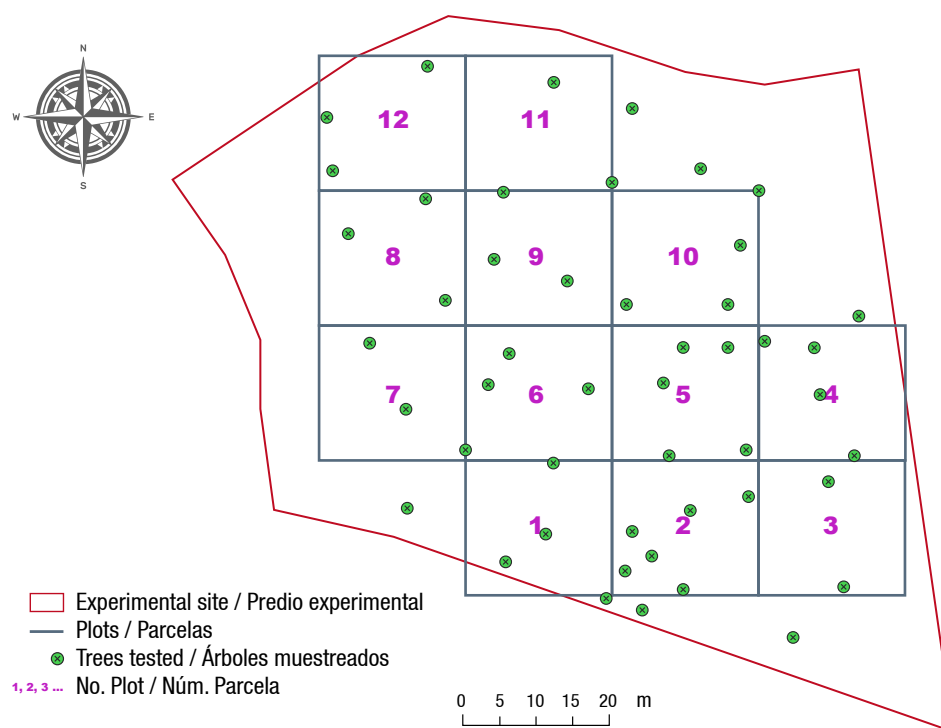


Figure 2. Projection of the studied polygon and spatial location of the plots and *Pinus patula* trees sampled in the ejido Llano Grande, municipality of Chignahuapan, Puebla.

Figura 2. Proyección del polígono estudiado y ubicación espacial de las parcelas y árboles de *Pinus patula* muestreados en el ejido Llano Grande, municipio de Chignahuapan, Puebla.

epicormic shoots by direct count. Each variable was recorded immediately after the pruning treatment and one year later to evaluate the increase in the number of pruning treatments.

Statistical analysis

The study was carried out under a completely randomized experimental design, with four treatments and three replications, with a total of 12 plots. The experimental unit was 400 m² (20 m x 20 m square), consisting of no more than 40 trees.

The statistical model of the experimental design is shown as follows:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + u_{ij}, i = 1, \dots, I; j = 1, \dots, n_i$$

where,

Y_{ij} = random variable representing the j -th observation of the i -th treatment (response variable)

μ = constant effect, common to all the levels of the factor, called global mean

τ_i = part of Y_{ij} caused by the action of the i -th level, which will be common to all the elements subjected

directa con un relascopio de Bitterlich (Spiegel, Modelo MS) y tomando como referencia su escala de 15 m de distancia al árbol; volumen del árbol, determinado a partir del modelo estandarizado para estimar el volumen total de un árbol de la especie *P. patula* en la UMAFOR 2108 ($V = 0.000101dc^{1.893733} * h^{0.841048}$); y número de brotes epicórmicos mediante conteo directo. Cada variable se registró inmediatamente después de ejecutar el tratamiento de poda correspondiente y un año después para evaluar el incremento.

Análisis estadístico

El estudio se hizo bajo un diseño experimental completamente al azar, con cuatro tratamientos y tres repeticiones, dando un total de 12 parcelas. La unidad experimental fue la parcela de 400 m² (cuadrado de 20 m x 20 m), conformada por no más de 40 árboles.

El modelo estadístico del diseño experimental se muestra a continuación:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + u_{ij}, i = 1, \dots, I; j = 1, \dots, n_i$$

donde,

Y_{ij} = variable aleatoria que representa la observación j -ésima del i -ésimo tratamiento (variable respuesta)

to that level of the factor, called the effect of the i -th treatment.

μ_{ij} = random variables comprising a set of factors, each influencing the response in only a small magnitude, but which should be considered.

The random variables μ_{ij} are called perturbations or experimental error and can be interpreted as variations caused by all the non-analyzed factors that within the same treatment will vary from one element to another.

An ANOVA ($P < 0.05$) was performed to detect differences in the effect of the treatments using Excel 2016. Subsequently, and using the same program, a Tukey mean comparison was performed to identify groups with different or similar means.

Results and Discussion

Pruning intensity and its effect on height and diameter

According to Table 2, the ANOVA showed significant differences between treatments in all variables. Table 3 shows the average increments of the variables analyzed, in which the treatments with the highest pruning intensity (T3 and T4) had the lowest increments.

Tukey's test shows that the greatest height increment was recorded in T2 (0.93 m) (pruning the lower third of the tree crown); however, it was not statistically different from the control (0.92 m). According to Figure 3, T4 was the treatment with the lowest height increment (0.74 m) and was statistically different from the rest of the treatments (Table 3)

The lower height increment trend at higher pruning intensities is consistent with the idea that pruning more than 50 % has a negative effect on growth. This agrees with the results of Fassola et al. (2002) in *Pinus taeda* L., who report that pruning intensities of 50 % of the live crown in early stages of development result in lower height increment, while when 30 %

μ = efecto constante, común a todos los niveles del factor, denominado media global

τ_i = parte de Y_{ij} debida a la acción del nivel i -ésimo, que será común a todos los elementos sometidos a ese nivel del factor, llamado efecto del tratamiento i -ésimo.

μ_{ij} = variables aleatorias que engloban un conjunto de factores, cada uno de los cuales influye en la respuesta solo en pequeña magnitud, pero que de forma común debe tenerse en cuenta.

Las variables aleatorias μ_{ij} reciben el nombre de perturbaciones o error experimental y se pueden interpretar como variaciones causadas por todos los factores no analizados que dentro del mismo tratamiento variarán de unos elementos a otros.

Se realizó un análisis de varianza ($P < 0.05$) para detectar diferencias en el efecto de los tratamientos mediante el uso de Excel 2016. Posteriormente, y empleando el mismo programa, se hizo una comparación de medias de Tukey para la identificación de grupos con medias diferentes o similares.

Resultados y discusión

Intensidad de poda y su efecto sobre la altura y diámetro de *Pinus patula*

De acuerdo con el Cuadro 2, el ANDEVA mostró diferencias significativas entre tratamientos en todas las variables. El Cuadro 3 presenta los incrementos promedio de las variables analizadas, en el cual se puede apreciar que los tratamientos de mayor intensidad de poda (T3 y T4) tuvieron los menores incrementos.

La prueba de Tukey demuestra que el mayor incremento en altura se registró en el T2 (0.93 m) (poda del tercio inferior de la copa); sin embargo, no fue diferente estadísticamente al testigo (0.92 m). De acuerdo con la Figura 3, el tratamiento T4 fue el que presentó menor incremento en altura (0.74 m) y fue

Table 2. Analysis of variance summary of the variables evaluated for *Pinus patula* after one year of pruning treatment.
Cuadro 2. Resumen de los análisis de varianza de las variables evaluadas en *Pinus patula* después de un año de la aplicación de podas.

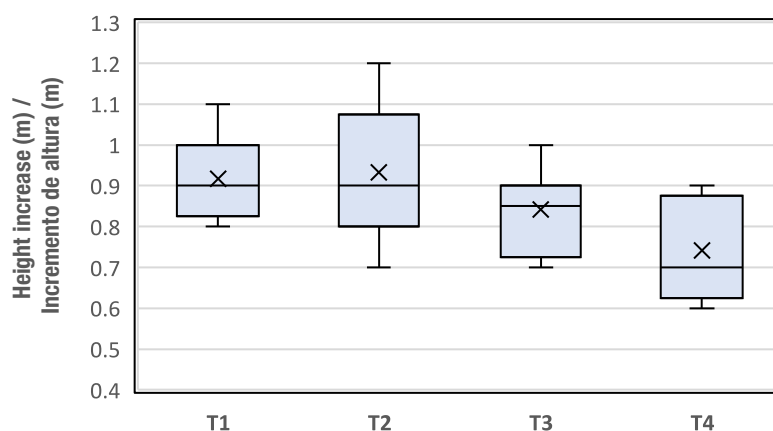
Variable	F	P- value / Valor P	Critical value for F / Valor crítico para F
Height / Altura	5.91687	0.00175	2.81646
Diameter / Diámetro	14.7559	8.6797E-07	2.81646
Volume / Volumen	3.39993	0.02585	2.81646
Epicormic shoots / Brotes epicórmicos	11.5277	1.0543E-05	2.81646

Table 3. Average increase in growth variables and number of shoots of *Pinus patula* by pruning intensity treatment.Cuadro 3. Incremento promedio de las variables de crecimiento y número de brotes de *Pinus patula* por tratamiento de intensidad de poda.

Treatment / Tratamiento	Description / Descripción	Height / Altura (m)	Diameter / Diámetro (cm)	Volume / Volumen (m ³)	Epocormic shoots / Brotes epicórmicos
1	No pruning / Sin poda	0.92 ± 0.09 ab	1.13 ± 0.12 b	0.0097 ± 0.0021 b	0.33 ± 0.65 dc
2	Pruning the lower third of the tree crown / Poda del tercio inferior de la copa del árbol	0.93 ± 0.17 a	1.29 ± 0.21 a	0.1080 ± 0.0031 a	0.42 ± 0.67 cb
3	Pruning of the lower half of the tree crown / Poda de la mitad inferior de la copa del árbol	0.84 ± 0.11 c	1.08 ± 0.14 cb	0.0093 ± 0.0022 cb	1.42 ± 1.38 bc
4	Pruning of the lower two thirds of the tree crown / Poda de los dos tercios inferiores de la copa del árbol	0.74 ± 0.12 d	0.88 ± 0.14 cd	0.0077 ± 0.0022 d	3.33 ± 2.31 a

Means (± standard error, n = 12) with different letters indicate significant differences between pruning treatments according to Tukey's test (P = 0.05).

Medias (± error estándar, n = 12) con letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos de poda de acuerdo con la prueba de Tukey (P = 0.05).

Figure 3. Height increment variation of *Pinus patula* by pruning intensity treatment (T1 = no pruning [control], T2 = lower third of the tree crown, T3 = lower half of the tree crown and T4 = lower two thirds of the tree crown).Figura 3. Variación del incremento en altura de *Pinus patula* por tratamiento de intensidad de poda (T1 = sin poda [testigo], T2 = tercio inferior de la copa, T3 = mitad inferior de la copa y T4 = dos tercios inferiores de la copa).

of the live crown is removed the height increment is not affected. In addition, the results of this study coincide with those of Davel (2013), who reported that light (25 %) and moderate (50 %) intensities had no significant effect on height increment in plantations of *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco; even when there was no significant difference with the most intense treatment (65 % pruning), the trend was lower height increment in pruning's higher than 50 %. In the case of *Pinus pinaster* Ait. and *Pinus radiata* D. Don., light pruning (12 to 15 %) had no significant effect on height growth (Hevia et al., 2016).

diferente estadísticamente del resto de los tratamientos (Cuadro 3).

La tendencia del menor incremento en altura en podas de mayor intensidad coincide con la idea de que las podas mayores de 50 % tienen efecto negativo en el crecimiento. Lo anterior concuerda con los resultados de Fassola et al. (2002) en *Pinus taeda* L., quienes reportan que con intensidades de poda del 50 % de la copa viva, en etapas de desarrollo iniciales, se obtiene menor incremento en altura, mientras que cuando se elimina 30 % de la copa viva no hay efecto

The same trend was observed for diameter increment as for height growth (Table 3). Figure 4 shows that the treatment causing the greatest increment was T2 (pruning of the lower third of the crown, 1.29 cm). On the other hand, the treatment without pruning (T1, 1.13 cm) showed no significant differences compared to T3 (1.08 cm), but the treatment with the highest intensity (T4) had the lowest diameter growth.

Height increment showed significant differences ($P = 0.05$) between treatments T2 (removal of the lower third of the tree crown) and T1 (control) compared to T3 (pruning of the lower half of the tree crown) and T4 (removal of the lower two thirds of the tree crown), while diameter at breast height increment showed significant differences between T2 and the rest of the treatments. This is consistent with the idea that diameter growth is significantly more sensitive to intensive pruning than height increment (Amateis & Burkhart, 2011; Erkan et al., 2016).

Pruning the lower third of the tree crown (T2) was higher in diameter growth, indicating that this pruning intensity has no negative effect on radial increment, but rather benefits its increase. This agrees with that found by Tonguc and Guner (2017) in *Pinus nigra* J. F. Arnold, who reported that the effect of pruning 25 % of the crown showed a tendency of a higher increment than the rest of the treatments.

Table 3 shows a trend in the reduction of radial increment as pruning intensity increases. This coincides with the findings of Schneider et al. (1999) in *Pinus elliottii* Engelm, who consider the existence of an inverse relationship between pruning intensity and

en el incremento en altura. Aunado a lo anterior, los resultados del presente estudio coinciden con los de Davel (2013), quién reportó que intensidades ligeras (25 %) y moderadas (50 %) no afectaron de forma significativa el incremento en altura en plantaciones de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco; incluso cuando no hubo diferencia significativa con el tratamiento más intenso (poda del 65 %), la tendencia fue menor incremento en altura en podas superiores al 50 %. En el caso de *Pinus pinaster* Ait. y *Pinus radiata* D. Don., las podas ligeras (12 a 15 %) no afectan significativamente el crecimiento en altura (Hevia et al., 2016).

Con relación al incremento en diámetro se observó la misma tendencia que con el crecimiento en altura (Cuadro 3). La Figura 4 muestra que el tratamiento que ocasionó el mayor incremento fue el T2 (poda del tercio inferior de la copa, 1.29 cm). Por otro lado, el tratamiento sin poda (T1, 1.13 cm) no mostró diferencias significativas respecto al T3 (1.08 cm), pero sí con el tratamiento de mayor intensidad (T4) que tuvo el menor crecimiento en diámetro.

El incremento en altura mostró diferencias significativas ($P = 0.05$) entre los tratamientos T2 (remoción del tercio inferior de la copa) y T1 (testigo) con respecto al T3 (poda de la mitad inferior de la copa del árbol) y T4 (remoción de los dos tercios inferiores de la copa), mientras que el incremento en diámetro normal mostró diferencias significativas entre T2 y el resto de los tratamientos. Lo anterior concuerda con la idea de que el crecimiento en diámetro es significativamente más sensible a las podas intensas que el incremento en altura (Amateis & Burkhart, 2011; Erkan et al., 2016).

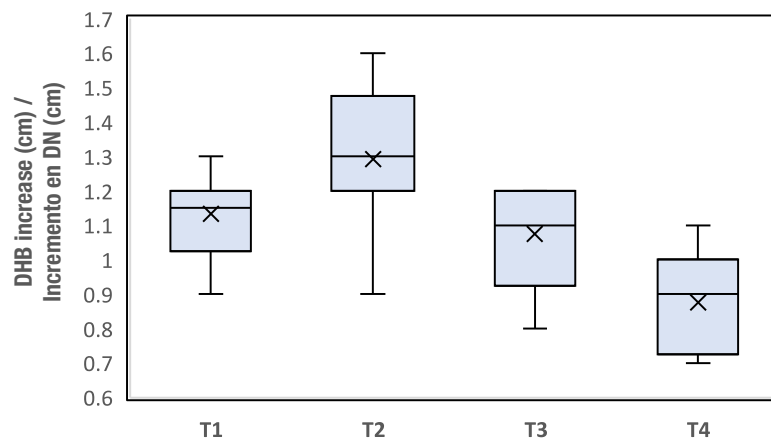


Figure 4. Variation in diameter at breast height (DBH) of *Pinus patula* by pruning intensity treatment (T1 = no pruning [control], T2 = lower third of the crown, T3 = lower half of the crown and T4 = lower two thirds of the crown).

Figura 4. Variación del incremento en diámetro normal (DN) de *Pinus patula* por tratamiento de intensidad de poda (T1 = sin poda [testigo], T2 = tercio inferior de la copa, T3 = mitad inferior de la copa y T4 = dos tercios inferiores de la copa).

diameter increment, recommending pruning less than 40 % of the live crown. In the case of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* in Brazil, pruning of branches up to 70 % of the live crown has no effect on diameter growth, while more intense pruning (85 %) has a negative effect (Ferraz et al., 2016).

Although there is a negative relationship between pruning intensity and diameter increment, except for the light pruning treatment (T2), it can be assumed that the removal of ineffective branches may benefit tree growth (Nyland et al., 2016; Tonguc & Guner, 2017). The results coincide with the studies of Cown (1972) and Ferrere et al. (2015) in *Pinus radiata* D. Don, who report that pruning the lower third of the tree crown benefits radial growth. This could also be achieved by planting at a higher density that promotes natural pruning (Wang et al., 2019).

Pruning intensity and its effect on volume

Regarding volume, Figure 5 shows that the treatment causing the greatest increment was T2 (pruning of the lower third of the crown, 0.0108 m³). According to Table 3, this treatment had significant differences with the rest of the treatments. Volume, as determined by the increment in height and diameter at breast height, had similar trends with these variables; that is, less increment was observed as the intensity of pruning increased. Irschick et al. (2005) report that light pruning in *Pinus taeda* L. results in greater increment in volume per tree, while in *Pinus radiata*, pruning more than 50 % results in reduced growth (Ferrere et al., 2015; Neilsen & Pinkard, 2003). In this study, the difference between the average volume resulting from the upper (T2) and lower (T4) treatment was 0.10033 m³, which can be

La poda del tercio inferior de la copa del árbol (T2) fue superior en crecimiento en diámetro, lo cual indica que esta intensidad de poda no produce efectos negativos en el incremento radial, sino que beneficia su incremento. Esto concuerda con lo hallado por Tonguc y Guner (2017) en *Pinus nigra* J. F. Arnold, quienes reportaron que el efecto de las podas del 25 % de la copa mostró tendencia de un incremento superior al resto de los tratamientos.

El Cuadro 3 muestra una tendencia en la reducción del incremento radial conforme la intensidad de poda aumenta. Esto coincide con lo hallado por Schneider et al. (1999) en *Pinus elliottii* Engelm, quienes consideran la existencia de una relación inversa entre la intensidad de poda y el incremento en diámetro, recomendando podas menores de 40 % de la copa viva. No obstante, hay que considerar la especie a la cual se le aplican podas, en el caso de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* en Brasil, la poda de ramas hasta 70 % de la copa viva no afecta el crecimiento en diámetro, mientras que las podas más intensas (85 %) lo afectan negativamente (Ferraz et al., 2016).

Si bien se presenta una relación negativa entre la intensidad de poda y el incremento en diámetro, con excepción del tratamiento de poda ligera (T2), se puede suponer que la remoción de ramas ineficaces puede beneficiar el crecimiento del árbol (Nyland et al., 2016; Tonguc & Guner, 2017). Los resultados coinciden con los estudios de Cown (1972) y Ferrere et al. (2015) en *Pinus radiata* D. Don, quienes reportan que la poda del tercio inferior de la copa del árbol beneficia el crecimiento radial. Lo anterior también se podría conseguir con una plantación a mayor densidad que promueva la poda natural (Wang et al., 2019).

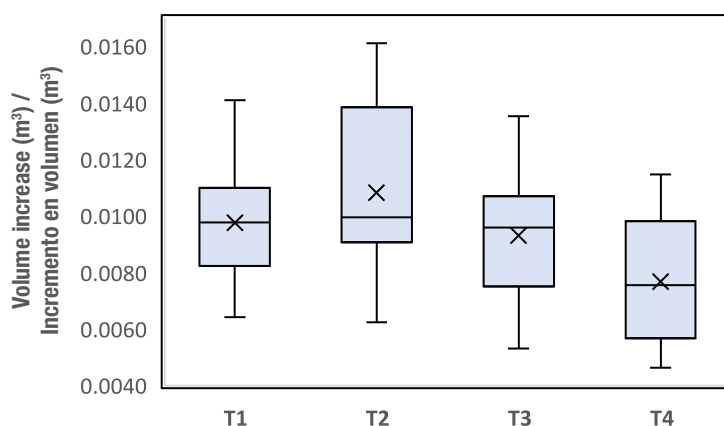


Figure 5. Variation in volume increment of *Pinus patula* by pruning intensity treatment (T1 = no pruning [control], T2 = lower third of the crown, T3 = lower half of the crown and T4 = lower two thirds of the crown).

Figura 5. Variación del incremento en volumen de *Pinus patula* por tratamiento de intensidad de poda (T1 = sin poda [testigo], T2 = tercio inferior de la copa, T3 = mitad inferior de la copa y T4 = dos tercios inferiores de la copa).

taken as the loss in volume that the trees had due to intense pruning.

Based on the average increment in volume per tree resulting from the superior treatment (T2), extrapolated to the estimated number of trees in the experimental property (800 trees), it is calculated that each year there would be an increase of 8.64 m³. On the other hand, based on the average increase in volume per tree, obtained by applying the lower treatment (T4), there would be an annual increase of 6.16 m³. This indicates that the application of the lower pruning treatment results in a loss of 2.48 m³ of timber volume. Similar results have been obtained by York (2019) in *Sequoia giganteum* (Lindl. J. Buchholz).

The results of this study support the fact that maintaining the upper two thirds of the tree crown shows a constant photosynthetic activity, so it can be inferred that the increment in height and diameter and, therefore, in volume, is negatively affected when part of the crown undergoing effective photosynthesis is removed (Nyland et al., 2016). The results of Ferrere et al. (2015) in *P. radiata* plantations, with density equal to that of this study (around 1 100 plants·ha⁻¹), reveal that reducing the plantation density to 50 % plus a 40 % pruning of the live crown results in a loss of productivity. On the other hand, it has been reported that trees with different growth capacity respond differently to pruning intensity; for example, in *Pinus massoniana* Lamb., increment and height respond better with light pruning in weak trees, while vigorous trees respond better with severe pruning (Zhao et al., 2023).

Pruning intensity and its effect on epicormic shoot emission

The emission of epicormic shoots also showed different trends depending on pruning intensity. Figure 6 shows that the treatment with the lowest number of epicormic shoots was the control (T1, 0.33 shoots·tree⁻¹) which was only significantly different with the most intense treatment (T4, 3.3 shoots·tree⁻¹). Overall, the rest of the treatments were similar to each other and differed compared to T4 (Table 3).

The results indicate that high pruning intensity favors the emission of photosynthetic structures. The results are similar to studies reported by Masatoshi and Velez-Mesa (1982), Amateis and Burkhart (2011) and Desrochers et al. (2015), which indicate that, in addition to increased shoot emission, intensive branch pruning also results in vigorous growth of photosynthetic structures. Therefore, pruning should be applied at one third of the crown length to avoid the formation of

Intensidad de poda y su efecto sobre el volumen de *Pinus patula*

Con respecto al volumen, la Figura 5 muestra que el tratamiento que causó mayor incremento fue T2 (poda del tercio inferior de la copa, 0.0108 m³). De acuerdo con el Cuadro 3, este tratamiento tuvo diferencias significativas con el resto de los tratamientos. El volumen, al ser determinado por el incremento en altura y diámetro normal, tuvo tendencias similares con dichas variables; es decir, se observa menor incremento conforme la intensidad de la poda aumenta. Irschick et al. (2005) reportan que las podas ligeras en *Pinus taeda* L. dan como resultado mayor incremento en volumen por árbol, mientras que en *Pinus radiata*, las podas superiores al 50 % se traducen en la reducción del crecimiento (Ferrere et al., 2015; Neilsen & Pinkard, 2003). En este estudio, la diferencia entre el volumen promedio resultante del tratamiento superior (T2) y el inferior (T4) fue de 0.10033 m³, lo cual puede tomarse como la pérdida en volumen que tuvo el arbolado a causa de una poda intensa.

Con base en el incremento promedio en volumen por árbol obtenido con el tratamiento superior (T2), extrapolado al número estimado de árboles en el predio experimental (800 árboles), se calcula que cada año se incrementaría 8.64 m³. Por otro lado, con base en el incremento promedio en volumen por árbol, obtenido a través de la aplicación del tratamiento inferior (T4), se tendría un incremento anual de 6.16 m³. Lo anterior indica que la aplicación del tratamiento de poda inferior se traduce en una pérdida de volumen maderable de 2.48 m³. Resultados similares ha obtenido York (2019) en *Sequoia giganteum* (Lindl. J. Buchholz).

Los resultados de este estudio sostienen el hecho de que manteniendo los dos tercios superiores de la copa del árbol se presenta una actividad fotosintética constante, por lo que se puede inferir que el incremento en altura y diámetro y, por lo tanto, en volumen, se ve afectado negativamente cuando se retira parte de la copa que realiza fotosíntesis de forma efectiva (Nyland et al., 2016). Los resultados de Ferrere et al. (2015) en plantaciones de *P. radiata*, con densidad igual a la de este estudio (alrededor de 1 100 plantas·ha⁻¹), revelan que la reducción de la densidad de la plantación al 50 % más una poda del 40 % de la copa viva se traduce en una pérdida de la productividad. Por otro lado, se ha reportado que los árboles con capacidad diferente de crecimiento responden de manera distinta con respecto a la intensidad de poda; por ejemplo, en *Pinus massoniana* Lamb., el incremento y altura responden mejor con podas ligeras en árboles débiles, mientras que los árboles vigorosos responden mejor con podas severas (Zhao et al., 2023).

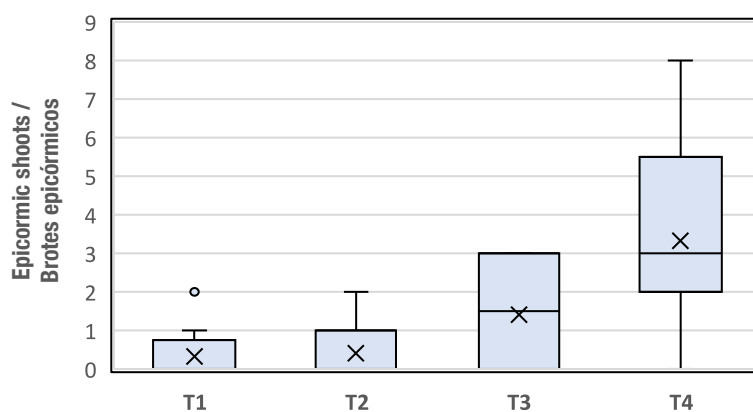


Figure 6. Emission of epicormic shoots of *Pinus patula* by pruning intensity treatment (T1 = no pruning [control], T2 = lower third of the crown, T3 = lower half of the crown and T4 = lower two thirds of the crown).

Figura 6. Emisión de brotes epicórmicos de *Pinus patula* por tratamiento de intensidad de poda (T1 = sin poda [testigo], T2 = tercio inferior de la copa, T3 = mitad inferior de la copa y T4 = dos tercios inferiores de la copa).

epicormic branches that eventually decrease growth, specifically stem growth (Desrochers et al., 2015).

Conclusions

Pruning treatments had a significant effect on *Pinus patula*; in general, pruning of greater intensity (lower two thirds of the tree crown) had a negative effect on growth variables, so pruning in early development stages is not recommended. Since the plantation studied had already been pruned previously, it is recommended to study pruning in all growth stages where it is applied to define the most convenient pruning system.

Acknowledgments

The first author thanks the Universidad Autónoma Chapingo for the scholarship granted for his studies in Forest Restoration Engineering.

End of English version

References / Referencias

- Amateis, R. L., & Burkhart, H. E. (2011). Growth of young loblolly pine trees following pruning. *Forest Ecology and Management*, 262, 2338–2343. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.08.029>
- Ashton, M. S., & Kelty, M. J. (2018). *The practice of silviculture: Applied forest ecology*. John Wiley and Sons. <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/1266>
- Baders, E., Donis, J., Snepsts, G., Adamovics, A., & Jansons, A. (2017). Pruning effect on Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) growth and quality. *Forestry Studies*, 66(1), 33–48. <https://doi.org/10.1515/fsmu-2017-0005>

Intensidad de poda y su efecto sobre la emisión de brotes epicórmicos de *Pinus patula*

La emisión de brotes epicórmicos también mostró tendencias diferentes dependiendo de la intensidad de poda. La Figura 6 muestra que el tratamiento que presentó menor cantidad de brotes epicórmicos fue el testigo (T1, 0.33 brotes-árbol⁻¹) que solo fue significativamente diferente con el tratamiento más intenso (T4, 3.3 brotes-árbol⁻¹). En general, el resto de los tratamientos fueron similares entre sí y difirieron respecto al T4 (Cuadro 3).

Los resultados indican que una intensidad alta de poda propicia la emisión de estructuras fotosintéticas. Los resultados son similares a los estudios reportados por Masatoshi y Velez-Mesa (1982), Amateis y Burkhart (2011) y Desrochers et al. (2015), los cuales indican que, adicional a la mayor emisión de brotes, la poda intensiva de ramas también se traduce en un crecimiento vigoroso de estructuras fotosintéticas. Por lo anterior, las podas se deberían aplicar a un tercio de la longitud de la copa con el fin de evitar la formación de ramas epicórmicas que con el tiempo declinan su crecimiento, específicamente el del tallo (Desrochers et al., 2015).

Conclusiones

Los tratamientos de poda tuvieron efecto significativo en *Pinus patula*; en general, las podas de mayor intensidad (dos tercios inferiores de la copa) tuvieron efecto negativo en las variables de crecimiento, por lo que no es recomendable la poda en etapas tempranas de desarrollo. Debido a que la plantación estudiada ya había sido podada con anterioridad, se recomienda el

- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2016). *Conservación de biodiversidad en el ejido Llano Grande*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/159093/05_Llano_Grande_Puebla.pdf
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (1998). *Climas, escala 1:1000000*. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Cown, D. J. (1972). Effects of severe thinning and pruning treatments on the intrinsic Wood properties of young radiata pine. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 3, 379–389. https://www.scionresearch.com/_data/assets/pdf_file/0018/30816/NZJFS331973COWN379-389.pdf
- Daniel, T. W., Helms, J. A., & Baker, F. S. (1982). *Principios de silvicultura*. McGraw-Hill.
- Davel, M. (2013). Poda en plantaciones de *Pseudotsuga menziesii*, en la Patagonia Andina, Argentina. *Bosque*, 34(2), 181–189. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002013000200007>
- Desrochers, A., Maurin, V., & Tarroux, E. (2015). Production and role of epicormic shoots in pruned hybrid poplar: effects of clone, pruning season and intensity. *Annals of Forest Science*, 72, 425–434. <https://doi.org/10.1007/s13595-014-0443-8>
- Erkan, N., Uzun, E., Aydin, A. C., & Bas, M. N. (2016). Effect of pruning on diameter growth in *Pinus brutia* Ten. plantations in Turkey. *Croatian Journal for Engineer* 37(2), 367–371. https://www.researchgate.net/publication/307018591_Effect_of_Pruning_on_Diameter_Growth_in_Pinus_brutia_Ten_Plantations_in_Turkey
- Fassola, H. E., Moscovich, F. A., Ferrere, P., & Rodríguez, F. (2002). Evolución de las principales variables de árboles de *Pinus taeda* L. sometidos a diferentes tratamientos silviculturales en el nordeste de la provincia de Corrientes, Argentina. *Ciência Florestal*, 12(2), 51–60. <https://www.redalyc.org/pdf/534/53412206.pdf>
- Fernández, P., Basauri, J., Madariaga, C., Menéndez, M., Olea, R., & Zubizarreta, R. (2016). Effects of thinning and pruning on stem and crown characteristics of radiata pine (*Pinus radiata* D. Don). *iForests*, 10(2), 383–390. <https://doi.org/10.3832/ifer02037-009>
- Ferraz, A. C., Mola, B., González, J. R., & Soares, J. R. (2016). Pruning effect in *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* clone growth. *Scientia Forestal Piracicaba*, 44(111), 729–738. <https://doi.org/10.18671/scifor.v44n111.19>
- Ferrere, P., Lupi, A. M., & Boca, T. (2015). Crecimiento del *Pinus radiata* sometido a diferentes tratamientos de raleo y poda en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Bosque*, 36(3), 423–434. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002015000300009>
- Hevia, A., Álvarez-González, J. G. & Majada, J. (2016). Comparison of pruning effects on tree growth, productivity and dominance of two major timber conifer species. *Forest Ecology and Management*, 374(15), 82–92. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.05.001>
- Irschick, P., Figueredo, S., Weber, E., Mac-Donagh, P., & Costas, R. (2005). Influencia de la densidad y podas sobre la producción de *Pinus taeda* L. a los 7 años de edad. *Ciência Florestal*, 15(3), 275–284. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53415307>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2001). Conjunto nacional de datos vectoriales de hipsometría, escala 1:4000000- <http://adesur.centrogeo.org.mx/layers/geonode%3Aaltimetria>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2014). *Conjunto de datos vectoriales edafológico, escala 1:250000 serie II*. www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/eda250s2gw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2018). Base de datos vectoriales de uso del suelo y tipos de vegetación, escala 1:250000. <https://www.elementospolipub.org/ojs/index.php/epp/article/view/23>
- Masatoshi, E., & Velez-Mesa, G. (1992). Results of a pruning trial with *Pinus patula* in Colombia. *Piracicaba*, 2, 45–49. <https://www.ipef.br/publicacoes/international/nr02cap07.pdf>
- Neilsen, W. A., & Pinkard, E. A. (2003). Effects of green pruning on growth of *Pinus radiata*. *Canadian Journal Forest Restoration*, 33(11), 2067–2073. <https://doi.org/10.1139/x03-131>
- Nyland, R. D., Kenefic, L. S., Bohn, K. K., & Stout, S. L. (2016). *Silviculture: Concepts and applications* (3rd ed.). Ed. Waveland Press, Inc.
- Schneider, P. R., Finger, C. A. G., & Hoppe, J. M. (1999). Efeito da intensidade de desrama na produção de *Pinus elliottii* Engelm., implantado em solo pobre, no estado do Rio Grande do Sul. *Ciência Florestal*, 9(1), 35–46. <https://doi.org/10.5902/19805098364>
- Smith, D. M., Larson, B. C., Kelty, M. J., & Ashton, P. M. S. (1997). *The practice of silviculture: Applied forest ecology* (9th ed.). John Wiley & Sons, Inc.
- Soto-Gil, A. L., Velázquez-Martínez, A., Pérez-Moreno, J., Fierros-González, A. M., & Martínez-Reyes, M. (2022). Ectomycorrhizal morphotypes in structural variable retention of *Pinus patula* Schlltdl et Cham. *Madera y Bosques*, 28(2), e2822388. <https://doi.org/10.21829/myb.2022.2822388>
- Tonguc, F., Guner, S. (2017). Effects of pruning on diameter and height growth of *Pinus nigra* Arnold subsp. *pallasiana* plantations in Turkey. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 2(1), 3–4. <https://doi.org/10.22161/ijeab/2.1.32>
- Wang, Ch., Tang, Ch., Hein, S., Guo, J., Zhao, Z., & Zeng, J. (2019). Branch development of five-year-old *Betula alnoides* plantations in response to planting density. *Forests*, 9(1), 42. <https://doi.org/10.3390/f9010042>
- York, R. A. (2019). Long-term taper and growth reductions following pruning intensity treatments in giant sequoia (*Sequoiadendron giganteum*). *Canadian Journal Forest Restoration*, 49, 10. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2019-0118>
- Zhao, X., Mang, S., Quan, W., & Ding, G. (2023). Growth response of trees with different growth statuses to pruning on a *Pinus massoniana* Lamb. plantation. *Forests*, 14(4), 668. <https://doi.org/10.3390/f14040668>

Agradecimientos

El primer autor agradece a la Universidad Autónoma Chapingo por la beca otorgada para la realización de sus estudios de Ingeniería en Restauración Forestal.

Fin de la versión en español