

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE REGIMENES DE PODA SOBRE
EL CRECIMIENTO Y CALIDAD DE MADERA EN *Pinus taeda***

por

**Leonardo GOMES NAVARRO
Martin SARACHO POSES**

**Trabajo final de grado
presentado como uno de los
requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo**

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2023**

Hoja de aprobación

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a:

Ing. Agr. (MSc. PhD.) Fernando Resquin

Ing. Agr. (PhD.) Cecilia Rachid

Dra. Ing. For. Ana Paula Coelho

Fecha: 16 de junio de 2023

Estudiante:

Leonardo Gómes Navarro

Martín Saracho Poses

Agradecimientos

A los directores de tesis Ing. Agr. (MSc. PhD.) Fernando Resquin, Ing. Agr. (PhD.) Cecilia Rachid y MSc Ing. Ana Paula Coelho por el apoyo, por habernos guiado en el desarrollo de este trabajo y por la dedicación brindada durante todo el transcurso de realización de la tesis.

A INIA Tacuarembó, por brindarnos los medios y la posibilidad de realizar la tesis final de grado.

A los funcionarios de INIA, en particular a los del Departamento forestal, por la ayuda brindada y buena disposición durante la etapa experimental del trabajo.

A nuestros familiares, por acompañarnos en este proceso de formación y por el apoyo incondicional brindado durante toda la carrera.

A la Ing. Agr. Carla Padilla por su colaboración y apoyo brindado en la etapa de campo.

A la empresa Arboreal por haber permitido realizar el secado de las tablas en su horno de secado.

A nuestros amigos y compañeros por el apoyo y los buenos momentos compartidos.

A nuestra institución Facultad de Agronomía, Universidad de la República, por la formación recibida.

A todas las aquellas personas que de una u otra forma estuvieron acompañándonos.

Tabla de contenido

Tabla de contenido.....	4
Lista de cuadros e ilustraciones	6
Resumen.....	8
Summary.....	9
1. Introducción.....	10
2. Revisión Bibliográfica	11
2.1 Generalidades de la Especie	11
2.2 <i>Pinus taeda</i> en Uruguay.....	13
2.3 Poda Forestal.....	15
2.3.1 Tipos de Podas	16
2.3.2 Efecto de la poda de ramas verdes sobre el crecimiento	17
2.3.2.1 Otros efectos.....	18
2.3.2.2 Crecimiento en el diámetro a la altura del pecho (<i>Dap</i>).18	18
2.3.2.3 Crecimiento en altura total (<i>Ht</i>).....	19
2.3.2.4 Crecimiento en volumen individual (<i>Vi</i>).....	20
2.3.2.5 Efecto de la poda en la forma del fuste.	20
2.3.2.6 Efecto de la poda en la calidad de la madera.	21
2.3.3 Regímenes de poda.....	25
2.3.3.1 Inicio del ciclo de poda.	26
2.3.3.2 Época de poda.	27
2.3.3.3 Severidad de poda.	28
2.3.3.4 Intensidad de poda.....	29
2.4 MADERA DE COMPRESIÓN	29
2.4.1 Efecto de la poda en MC.....	35
2.4.2 Reconocimiento de la MC	36
2.4.3 Efectos de la MC en la industria.....	37
3. MATERIALES Y METODOS.....	41
3.1 DESCRIPCION Y UBICACION DEL SITIO	41
3.1.1 Ubicación del sitio	41
3.1.2 Características edafológicas	42
3.1.3 Descripción climatológica del sitio.....	42
3.1.3.1 Temperatura.....	43
3.1.3.2 Precipitación.....	44
3.2 DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO DE PODA.....	45
3.3 MEDICIONES Y MUESTREO A CAMPO.....	48
3.3.1 Medición de Crecimiento.....	48
3.4 VARIABLES ESTIMADAS.....	52
3.4.1.1 Muestreo y cuantificación de <i>MC a campo</i>	54

3.4.1.2	Aserrado, medición del CN y cuantificación de defectos. 57	
3.4.2	Medición de defectos en tablas	61
3.5	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	63
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	65
4.1	CRECIMIENTO.....	65
4.1.1	Crecimiento en el diámetro a la altura del pecho (Dap).....	65
4.1.2	Crecimiento en altura total (Ht).....	67
4.1.3	Área basal (AB).....	69
4.1.4	Crecimiento en volumen individual (Vi)	71
4.1.5	Crecimiento en volumen total/ha	73
4.1.6	Volumen individual del cilindro podado (Vcp).....	75
4.1.7	Volumen del cilindro podado por hectárea (Vcp/ha).....	77
4.2	CALIDAD MADERA	79
4.2.1	Diámetro cilindro nudoso.....	79
4.2.2	Proporción de madera libre de defectos.....	80
4.3	Deformaciones.....	83
4.3.1	Curvatura de cara	83
4.3.2	Torcedura.....	85
4.3.3	Abarquillado	87
4.4	MC.....	88
4.5	Correlación MC y deformaciones	89
5.	CONCLUSIONES.....	91
6.	REFERENCIAS	93
7.	ANEXOS	98

Lista de cuadros e ilustraciones

Tabla 1. Propiedades físicas Pinus taeda.....	12
Tabla 2. Superficie forestada con Pinus taeda por departamento.....	14
Tabla 3. Descripción de las principales características de los esquemas de poda (Fechas, proporción de extracción de copa viva y altura en cada levante y final).	47
Tabla 4. Porcentaje de defectos relevados, según esquemas de podas aplicados.	49
Tabla 5. Categorías y criterios de MC	56
Tabla 6. Correlación de MC con cada deformación (Spearman)	89
Figura 1. Área de distribución de plantaciones del género Pinus en comparación a otras especies forestales sobre el territorio nacional.....	13
Figura 2. Diagrama esquemático de troza podada.....	22
Figura 3. Esquema del efecto de la poda sobre el fuste y la producción de madera libre de nudos.	23
Figura 4. Corte longitudinal y transversal de un árbol sin podar y un árbol podado de diámetros similares.	24
Figura 5. Esquema del momento oportuno de poda.....	26
Figura 6. Esquema de severidad de poda y las variables vinculadas.....	28
Figura 7. Tallos inclinados que muestran la dirección de las fuerzas inducidas por el estrés del crecimiento que actúan para mantener el hábito erguido o estabilizar los tallos.....	30
Figura 8. Madera de compresión (CW) y madera opuesta (OW) en un fuste de pino joven.	31
Figura 9. Madera de compresión en coníferas (A), sección transversal (B).....	32
Figura 10. Diferencia de las traqueidas de MCA y MCN	33
Figura 11. Estructura celular de la madera normal (madura), madera juvenil y madera de compresión.	34
Figura 12. Estrés del crecimiento de los árboles y problemas relacionados.....	37
Figura 13. Efectos de la presencia de madera de compresión en tablas y láminas de debobinado.....	39
Figura 14. Ubicación del establecimiento Punta de cinco sauces.	41
Figura 15. Temperatura máxima, media y mínima promedio mensual para el periodo 1980-2009.....	43
Figura 16. Precipitaciones acumuladas medias mensuales para el periodo 1980-2009.	44

Figura 17. Croquis del ensayo con sus correspondientes números de parcelas, tratamientos y bloques.....	46
Figura 18. Observación de individuos con defecto, bifurcación (BIF)	49
Figura 19. Medición de diámetro a la altura del pecho (Dap) con cinta diamétrica	50
Figura 20. Medición de Ht con el instrumento vertex.....	51
Figura 21. Porcentaje de copa verde remanente respecto a la altura total para cada esquema de poda.	54
Figura 22. Trozas apeadas en el suelo	55
Figura 23. Mc en caras de trozas recién apeadas.....	56
Figura 24. Aserrado de trozas.....	57
Figura 25. Apilado de tablas para secadero	58
Figura 26. Visualización de cilindro nudoso en tablas	59
Figura 27. Medición de defectos en tablas	60
Figura 28. Curvatura de cara	61
Figura 29. Torcedura	61
Figura 30. Abarquillado	62
Figura 31. Dap de los diferentes esquemas de poda evaluados	65
Figura 32. Altura de los diferentes tratamientos de poda evaluados	68
Figura 33. AB/ha de los diferentes esquemas de poda evaluados.	69
Figura 34. Vi(m ³) de los diferentes esquemas de poda evaluados.	71
Figura 35. V/ha acumulados de los diferentes esquemas de podas evaluados.	73
Figura 36 Valores promedios de volumen de cilindros podados de los diferentes esquemas de podas evaluados	75
Figura 37 Valores medios de Vcp/ha acumulados de los diferentes esquemas de podas evaluados.....	77
Figura 38. Diámetros de cilindro nudoso de los distintos esquemas de poda evaluados.	79
Figura 39. Proporción libre de defectos de los distintos esquemas de poda evaluados.	81
Figura 40. Curvatura de cara con relación a los diferentes esquemas de poda.	83
Figura 41. Torcedura con relación a los diferentes esquemas de poda.....	85
Figura 42. Abarquillado con relación a los diferentes esquemas de poda	87
Figura 43. Clasificación de tablas para madera de compresión, según categorías del 1 al 4 en los diferentes esquemas de poda.	88

Resumen

El presente trabajo de tesis se desarrolló en un ensayo de poda para *Pinus taeda*, ubicado en la localidad de Punta de Cinco Sauces, Departamento de Tacuarembó, Uruguay, a la edad de 19.2 años. El ensayo fue instalado en 2008 sobre un rodal plantado en 2003. El diseño experimental es de Bloques Completos al Azar con; tres repeticiones en donde se evaluaron, cinco esquemas de poda, de distinta intensidad y número de intervenciones denominados Suave, Medio Suave, Medio Fuerte, Fuerte, más un testigo Comercial. Tuvo como objetivo evaluar el efecto de diferentes esquemas de poda sobre el crecimiento individual, calidad de madera y madera de compresión. Las variables estudiadas fueron Diámetro a la altura del pecho, altura total, área basal, volumen individual, Volumen total por hectárea, volumen del cilindro podado individual, volumen del cilindro podado por hectárea, diámetro máximo del cilindro nudoso, el porcentaje de madera libre de defectos y deformaciones (curvatura de cara, torcedura y abarquillado). Además, se analizó el impacto de la madera de compresión en la calidad de la madera y su correlación con las deformaciones. Los resultados indican que la intensidad y frecuencia de la poda no tuvieron efectos significativos en el crecimiento individual y la calidad de los árboles para la mayoría de las variables, pero sí tuvieron un impacto en V_{cp} individual y la $\%LD$. Los esquemas de poda Suave, Medio Fuerte y Medio Suave fueron los más efectivos para la producción de volumen individual del cilindro podado (V_{cp}) hasta los 9 m de altura, mientras que el esquema Comercial fue el más adecuado para la producción de madera libre de defectos ($\%LD$) en la troza basal de 3 m. Se concluyó que la poda temprana es importante, pero no debe exceder el 50% de la extracción de la copa verde. El estudio también determinó que la presencia de madera de compresión fue menor en los esquemas de poda Comercial y Medio Suave. Sin embargo, no se encontró relación entre la presencia de madera de compresión y las variables de deformación analizadas. En general, se destaca la importancia de manejar la masa forestal desde edades tempranas para lograr los objetivos de producción y la necesidad de prestar atención oportuna tanto al manejo de la densidad como a la realización de podas para obtener una producción que cuantitativa y cualitativamente optimizar la rentabilidad al momento de la cosecha.

Palabras clave: *Pinus taeda*, severidad de poda, madera libre de defectos, volumen podado, madera de compresión

Summary

This work was developed in a *Pinus taeda*'s pruning trial of 19.2 years located near Punta de Cinco Sauces, Department of Tacuarembó, Uruguay. The trial was installed in 2008 on a stand planted in 2003. The experimental design is Complete Random Blocks with three repetitions where five pruning schemes were evaluated. Those schemes comprised different intensity and number of interventions called Light pruning, Medium Light, Medium Severe, Severe, plus a Commercial witness. The objective was to evaluate the effect of different pruning schemes on individual growth, wood quality and compression wood. The variables studied were diameter at breast height, total height, basal area, individual volume, total volume per hectare, volume of the individual pruned cylinder, volume of the pruned cylinder per hectare, maximum diameter of the knotty cylinder, the percentage of wood free of defects and warping (bow, twist and cup). In addition, the impact of compression wood on wood quality and its correlation with deformations was analyzed. The results indicate that pruning intensity and frequency did not have significant effects on individual growth and tree quality for most variables, but did have an impact on individual volume of pruned cylinder and the percentage of wood free of defects. The Light, Medium Severe and Medium Light pruning schemes were the most effective for the production of individual volume of the pruned cylinder up to 9 m height, while the Commercial scheme was the most suitable for the production of wood free of defects considering a basal log of 3 m length. It was concluded that early pruning is important, but it should not exceed 50% of the extraction of the green crown. The study also determined that the presence of compression wood was lower in the Commercial and Medium Light pruning schemes. However, no relationship were found between the presence of compression wood and the deformation variables analyzed. The importance of managing the planted forest from an early age to achieve production objectives is highlighted. This implies to pay timely attention to both density management and pruning to obtain a production that quantitatively and qualitatively optimizes the yield and profitability at harvest.

Keywords: *Pinus taeda*, pruning severity, clear wood, pruned volume, compression wood

1. Introducción

Pinus taeda es una especie forestal originaria del sudeste de los Estados Unidos de América. En nuestro país es la conífera más plantada y se encuentra distribuida mayormente en los departamentos de Rivera, Tacuarembó, Cerro Largo, Treinta y Tres y Paysandú.

El destino principal de dichas plantaciones es la obtención de madera de alta calidad y mayor valor comercial (madera clear, libre de defectos) para abastecer las industrias de aserrado y debobinado instaladas en la zona, como también la exportación.

Para obtener productos de calidad se practican podas y raleos sistemáticos, siendo la poda verde el manejo silvícola más frecuente. La misma consiste en la extracción de ramas laterales y basales antes de su senescencia y abscisión con el objetivo de reducir el cilindro nudoso de las trozas (Fassola, como se cita en Costas et al., 2002).

Por otra parte, actualmente uno de los principales factores que afectan el proceso productivo y la calidad de los productos de pino es la madera de compresión (MC).

La madera de compresión (MC) es un tipo de madera de reacción que presentan las especies coníferas, cuya formación se atribuye a diferentes causas probables como: pendiente, manejo silvícola, material genético y vientos.

Esta posee características peculiares notoriamente diferentes a las de la madera normal, donde se ven alteradas sus propiedades anatómicas, físicas, químicas y mecánicas. Esto condiciona significativamente la calidad de la madera (Duncker, 2014).

Hay que tener en cuenta que las operaciones que implican una inversión deben estar justificadas por futuros beneficios y deben ser también proporcionales a la capacidad del propietario de realizar tales inversiones (Hawley & Smith, 1982).

Objetivo general: Evaluar el efecto de diferentes esquemas de poda sobre crecimiento individual, calidad de madera y madera de compresión en *P. taeda* de la zona norte de Uruguay.

Los objetivos específicos del siguiente trabajo son:

- a) Conocer el efecto de distintas intensidades de poda sobre el crecimiento individual (Dap , Ht , AB/ha , Vi , V/ha , Vcp , Vcp/ha) en *Pinus taeda*.
- b) Cuantificar la proporción de madera libre de defectos (DCN y $\%LD$) en trozas comerciales de cada esquema de poda.
- c) Conocer la relación entre la intensidad de poda y la formación de madera de compresión (MC).

2. Revisión Bibliográfica

2.1 Generalidades de la Especie

Pinus taeda L. (loblolly pine) es la especie forestal de mayor importancia comercial en el sureste de los Estados Unidos, contribuyendo a más de la mitad del volumen de pino en pie. Su área de distribución natural abarca una gran superficie, extendiéndose a través de 14 estados, desde el sur de Nueva Jersey hasta el centro de Florida y desde la costa oeste del atlántico hasta el este de Texas, a excepción del valle del Mississippi (Baker & Langdon, 1990).

El clima dominante en esa región es húmedo y cálido-templado con inviernos pocos rigurosos, mientras que los veranos son largos y calurosos. La precipitación media anual varía de 1020 a 1520 mm. El periodo libre de heladas varía de 5 meses en la parte norte del rango a 10 meses a lo largo de los estados costeros del sur. Las temperaturas medias anuales varían de 13 a 24 °C, donde la temperatura promedio de verano es de 27 °C y frecuentemente supera los 38 °C. Las temperaturas invernales promedian entre 4 a 16 °C y ocasionalmente cae a -23 °C en el norte y oeste de la cordillera (Di Marco, 2014).

Se encuentra predominantemente en suelos Ultisoles, pero puede crecer en una amplia variedad de suelos incluyendo Entisols, Spodosols y Altisoles (taxonomía de suelos de USDA). Crece mejor en suelos moderadamente ácidos con drenaje superficial imperfecto a pobre, capas superficiales gruesas de textura media y subsuelos de textura fina, por lo que aparecen en terrenos llanos a montañosos de 150 a 365 m (Baker & Langdon, 1990). Debido a que se desarrolla naturalmente en condiciones de suelo húmedo, se lo conoce como “loblolly” (lodo). Sin embargo, no crece en sitios con agua libre.

Es una especie diclino-monoica de floración estival, donde las flores masculinas se forman en racimos en la punta del crecimiento del año anterior y las flores femeninas se forman en el crecimiento del año nuevo. Las flores estaminadas que contienen polen tienen una apariencia parecida a un amento; varían de 2,5 a 3,8 cm de largo y varían de verde claro a rojo y amarillo según la etapa de desarrollo. Las flores pistiladas son generalmente ovóides y varían de 1,0 a 1,5 cm de largo.

Su madera presenta albura blanca amarillenta y duramen marrón rojizo susceptible al ataque de insectos y poco resistente al ataque de hongos; textura fina y heterogénea; grano recto; de secado rápido con tendencia a mancharse por hongos cromógenos por lo que requiere tratamiento antimancha.

A continuación, se presentan las principales propiedades físicas de la madera de *Pinus taeda* (tabla1).

Tabla 1

Propiedades físicas Pinus taeda

<i>Pinus taeda</i> L.	
Dureza Janka	28.9 Mpa
Módulo de ruptura	79 Mpa
Módulo de elasticidad	8017 Mpa
Densidad aparente al 12% contenido de Humedad	380 - 450 kg/m ³
Estabilidad dimensional: Coeficiente de contracción volumétrica	2.6%

Nota. Adaptado de DANK (2022).

El crecimiento de árboles genéticamente mejorados bajo manejo intensivo es tan rápido que las rotaciones pueden ser tan cortas como de 20 a 30 años. A esa edad, los árboles contienen una alta proporción de madera juvenil de menor calidad. Por lo tanto, las propiedades tecnológicas de la madera juvenil deben caracterizarse para utilizar este recurso de manera efectiva.

En la actualidad en nuestro país, la mayoría de los árboles de pino con destino al aserrado se cosechan a corta edad (árboles de raleo), hecho que sumado a los rápidos crecimientos que presentan las especies como *Pinus taeda* y *Pinus elliotti*, hacen que la madera no cumpla con los requisitos mínimos necesarios para el uso estructural. La madera de pino con estas características tiene importante participación en productos derivados como contrachapados, SWP (Solid Wood Panel), LVL (Laminated Veneer Lumber), OSB (Oriented Strand Board), OSL (Oriented Strand Lumber), PSL (Parallel Strand Lumber), LSL (Laminated Strand Lumber), MDF (Medium Density Fiberboard) (O'Neill et al., 2013).

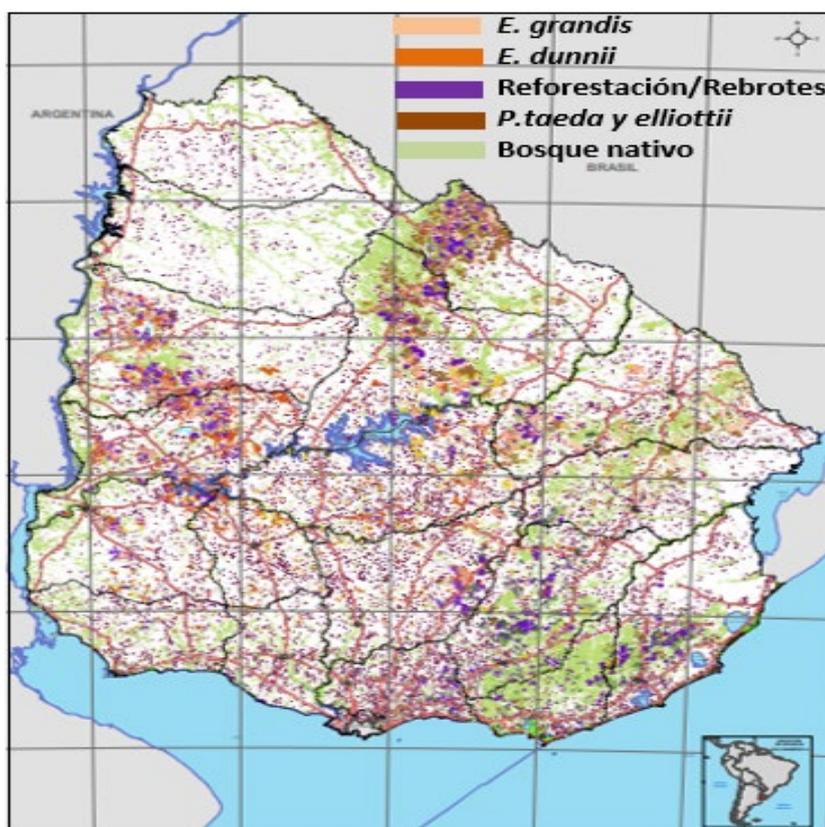
Al igual que la densidad, las propiedades de resistencia de módulo de elasticidad (MOE) y módulo de rotura (MOR) determinan la calidad de la madera para aplicaciones estructurales. MOE es la relación entre el esfuerzo por unidad de superficie sobre la deformación por unidad de longitud, constituyendo una medida de la rigidez o flexibilidad de la madera. Cuanto mayor es su valor, mayor será la rigidez. Esta propiedad varía entre y dentro especies, y con el contenido de humedad y densidad de la madera. El MOR refleja la capacidad de carga máxima de una pieza en flexión, y es proporcional al momento máximo soportado por la madera, esto es, el esfuerzo unitario máximo aplicado en una probeta de madera en el momento de su rotura (Kretschmann, 2010).

2.2 *Pinus taeda* en Uruguay

La especie ocupa en nuestro país una superficie total, hasta el año 2021, de 150.908 ha (Dirección General Forestal [DGF], 2021). Las Plantaciones se encuentran ubicadas principalmente en los departamentos de Cerro Largo, Durazno, Paysandú, Río Negro, Rivera, Tacuarembó y Treinta y tres. Dentro de la superficie ocupada por la especie, un 77,6 % del total se encuentran en los departamentos de Rivera y Tacuarembó (Figura 1). En dichas zonas, se presentan las mejores condiciones climáticas y edafológicas para su crecimiento y desarrollo (DGF, 2021).

Figura 1

Área de distribución de plantaciones del género Pinus en comparación a otras especies forestales sobre el territorio nacional



Nota. Elaborado a partir de DGF (2021).

Esta especie introducida en Uruguay es en su género una de las más promisorias en cuanto a la adaptación a las condiciones ambientales del país. Así lo indicaban los crecimientos observados en cierta diversidad de sitios, su vigor y su estado sanitario en condiciones adecuadas de tratamiento silvícola (Krall, 1970, 1979).

La distribución de plantaciones de *Pinus taeda* en nuestro país presentan dos zonas bien marcadas: Litoral Oeste (zona 9), principalmente en el departamento de Paysandú y en el Noreste, en Tacuarembó y Rivera (zona 7), (ver tabla 2).

Tabla 2

Superficie forestada con Pinus taeda por departamento

Departamentos	Superficie plantada (ha)	Porcentaje %
Rivera	65.356	43,30
Tacuarembó	51.824	34,34
Treinta y tres	6.536	4,33
Paysandú	5.583	3,70
Durazno	1.952	1,29
Rio negro	1.162	0,77
Resto del país	18.495	12,25
Total	150.908	100

Nota. Elaborado a partir de Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP), 2021.

Dentro de la zona en la cual se planta la especie las características climáticas son generales ya que las diferencias dentro de las zonas del país no son muy marcadas.

Uruguay está ubicado entre 30° y 35° de latitud sur, en la zona templada del hemisferio sur, con un clima subtropical húmedo. La temperatura media anual es de 17.5 °C, con un gradiente incremental de sureste a noroeste.

La distribución de los máximos y mínimos promedios mensuales con un rango de entre 14.6 °C y 32.4 °C para los máximos y entre 5.1 °C y 19.2 °C para los mínimos.

En cuanto a las precipitaciones acumuladas anuales varían entre 1.100 y 1.600 mm con gradiente incremental de suroeste a noreste. A diferencia de las temperaturas, los comportamientos medios mensuales no presentan una estacionalidad tan marcada y uniforme a lo largo de todo el país.

La madera de *Pinus taeda* es ampliamente conocida en los mercados internacionales por presentar buenas propiedades tecnológicas. El destino principal de dichas plantaciones es la obtención de madera de alta calidad y mayor valor comercial (madera clear, libre de defectos) para abastecer las industrias de aserrado y debobinado instaladas en la zona. En este contexto es que en la actualidad tres empresas (Fymnsa, Lumin y Arboreal), abarcan la mayor parte de

la producción y dos de ellas realizan el ciclo completo, mientras que la última solamente realiza industrialización y comercialización.

Se debe destacar la importancia de manejar la masa forestal desde edades tempranas para lograr los objetivos de producción. Como el manejo de la densidad y la realización de podas son complementarios y producen resultados independientes, es necesario prestar atención oportuna sobre ambos a la vez para obtener una producción que cuantitativa y cualitativamente optimice la rentabilidad al momento de la cosecha (Costas et al., 2004, p. 283).

La producción de madera de mayor calidad para aserrío supone aumentar la complejidad de manejos silvícolas, las tasas de inversión y la duración de rotaciones que oscilan entre 23-25 años, con diferentes niveles de riesgo (Bussoni & Cabris, 2006).

Bussoni y Cabris (2010) mencionan que empresas que invierten en plantaciones forestales sin la debida provisión de tratamientos silvícolas tempranos, como podas y raleos precomerciales, generan un alto riesgo de pérdida financiera. Los regímenes de madera aserrada de rotación larga son más rentables y ofrecen un menor riesgo de pérdidas financieras.

Es esencial propiciar la producción de madera de alta calidad y simultáneamente maximizar la producción de biomasa. Esto significa, que se debe buscar minimizar cantidad de madera de menor calidad tecnológica como aquella con nudos muertos, madera de reacción y madera juvenil, como también garantizar que el desperdicio se mantenga al mínimo.

En los últimos tiempos la MC ha tenido mayor impacto a nivel industrial en nuestro país y las empresas están trabajando con el fin de identificar las causas del problema.

2.3 Poda Forestal

La poda es una corta intermedia que se diferencia de las demás (raleos, cortas de mejora, cortas de liberación, cortas de limpieza, cortas sanitarias y de recuperación), porque, en lugar de cortar el árbol entero, solamente se extrae parte de este (ramas).

Es una práctica silvícola que consiste en la eliminación o supresión de las ramas del fuste mediante un corte neto y limpio, por medio del empleo de herramientas adecuadas a partir de un determinado diámetro y altura total de la plantación (Kurtz & Ferruchi, 2000, p. 4).

Mediante la poda se eliminan las ramas de los árboles cuando su edad es todavía corta, de modo que así se obtienen árboles maduros con madera libre de nudos (Daniel et al., 1982).

Por lo que se lleva a cabo cuando se busca obtener madera aserrable de calidad (Ottone, 2005).

El desafío que esta práctica implica es el de mantener al cilindro con defectos (CCD) tan pequeño como sea posible mientras que el árbol crece a una alta tasa, de modo de depositar la mayor cantidad posible de madera libre de nudos (Shepherd, 1986).

2.3.1 Tipos de Podas

En especies forestales plantadas para uso industrial, los principales tipos de poda pueden clasificarse en a) poda selectiva, de formación o parcial; b) monda; c) escamonda; d) poda de saneamiento; e) poda sistemática o total.

Poda de formación (selectiva, parcial): tipo de poda realizada en etapas muy tempranas en la rotación, con el fin de corregir defectos en el fuste, como horquetas, ejes múltiples, o pérdida de dominancia del brote apical.

Monda: se refiere a la supresión de todas las ramas verdes del árbol, excepto la guía terminal.

Escamonda: consiste en la eliminación de ramas muertas y/o de brotes basales o epicórmicos; en estos dos casos no se produce alteración alguna de la fisiología del árbol, dado que no se reduce de forma significativa la superficie foliar.

Poda de saneamiento: Se realiza para eliminar los árboles atacados por alguna plaga o enfermedad, los que pueden representar un foco de infección para los árboles restantes.

Para nuestro estudio nos basaremos en la poda de elevación de la copa, también conocida como refaldado o poda total sistemática, la cual consiste en la remoción, en sucesivas operaciones de ramas laterales desde el suelo hasta una altura determinada del fuste, con el fin de reducir la incidencia de nudos y defectos anatómicos en la madera.

La altura de poda se alcanza en una o más operaciones de poda; estas etapas son comúnmente llamadas levantes. La primera de estas instancias se llama poda baja; si se aplican otras podas, son denominadas 1^a, 2^a, 3^a, etc. podas altas.

La calidad que se desea obtener con el producto final determinará la intensidad de cada operación y las veces que se deba realizar (Ottone, 2005).

Los nudos de la madera se pueden clasificar en nudos vivos y en nudos muertos. Los nudos producidos mientras las ramas están vivas se denominan nudos vivos, estos nudos no ocasionan problemas en la industrialización. Los formados después que las ramas se secan y se mueren se denominan nudos muertos, que traen aparejados una serie de inconvenientes en la industrialización (Hawley & Smith, 1982).

Con la poda artificial se logra obtener madera libre de defectos en un periodo de tiempo menor al necesario por la poda natural y de esta forma permite mejorar la calidad del producto final. Esta práctica silvícola es el medio más eficaz para evitar la formación de nudos muertos, reducir la longitud de nudos vivos y

concentrarlos en un diámetro límite, sobre el cual se espera la acumulación de madera sin nudos (Kurtz & Ferruchi, 2004).

2.3.2 Efecto de la poda de ramas verdes sobre el crecimiento

La poda verde es el manejo silvícola más frecuente y debe hacerse en forma muy temprana e involucran la remoción de ramas verdes en el primer tercio de rotación (Shepherd, 1986).

Debe iniciarse precozmente, mientras las ramas que son todavía pequeñas y pueden ser extraídas sin grandes costos. El efecto más importante que causa es que puede reducir el crecimiento posterior del árbol, al reducir su área foliar.

La eliminación de ramas y hojas vivas mediante la poda tiene una variedad de efectos en el crecimiento y desarrollo subsiguiente de los árboles (Briggs, 1995, Maguire y Petruncio, 1995, Pinkard y Beadle, 2000, MacDonald y Hubert, 2002, como se cita en West, 2014).

De acuerdo con Daniel et al. (1982), al podar árboles, no se debe eliminar más de 50% de la copa viva de una sola vez, la reducción de la proporción de copa viva por debajo de 50% pone casi siempre al árbol en desventaja competitiva, ya que el crecimiento en altura puede reducirse temporalmente, si esto ocurre, los árboles de la cosecha final podrían llegar a quedar bajo dominio de árboles de menor calidad, los que crecen con mayor velocidad debido a que sus copas son más grandes.

Investigaciones han sugerido que siempre que no se elimine más del 40% al 50% de las hojas de las partes inferiores de la copa del árbol de muchas especies de madera dura, o alrededor del 30% al 40% para las especies de madera blanda, el crecimiento del árbol no se verá afectado (Maguire & Petruncio, 1995, Pinkard & Beadle, 2000, Neilsen & Prinkard, 2003, Pinkard et al., 2004, como se cita en West, 2014).

Methol (2001) señala que, *Pinus taeda* parece ser la especie más sensible (en comparación con *Pinus elliottii*) a la intensidad de poda, ya que, en esta especie, al aumentarse la altura de poda se redujo significativamente el crecimiento diamétrico. Resaltó en su investigación, para que el número de intervenciones no resulte excesivo, podría recomendarse que en la primera poda se elimine hasta un tercio de la altura total del árbol, sin que el crecimiento se vea afectado en forma significativa.

Si se extraen demasiadas ramas vivas al mismo tiempo, la superficie de copa disponible para la actividad fotosintética puede quedar tan reducida que ocasione un serio retraso de crecimiento en altura y diámetro (Hawley & Smith, 1982).

Considerando que la remoción o eliminación de parte de la copa viva (poda) tiende a disminuir el crecimiento de los árboles y que los raleos tienden a

favorecer el crecimiento diamétrico en *Pinus taeda*, es importante analizar la influencia de distintos tratamientos sobre el crecimiento individual.

2.3.2.1 Otros efectos.

Otro efecto importante de la poda de ramas verdes puede ser la aparición de brotes epicórmicos a lo largo del tallo podado, causando como efecto el desarrollo de ramas de diámetros considerables con la unión del tallo que provocan a futuro algún defecto de la madera aserrada, frustrando por completo el propósito por el cual se realizó la poda (West, 2014)

La herida producida por la poda puede ser un punto de entrada para los patógenos, en general los hongos que pudren la madera. Muchos de estos hongos manchan la madera y generan descomposición de esta y como consecuencia hacen que la madera sea completamente inútil para cualquier propósito comercial.

Shepherd (1986) señala que la eliminación de las ramas inferiores en un dosel cerrado rompe la continuidad entre el combustible del suelo y el dosel, de modo que, en condiciones de peligro de incendio de moderado a alto, se reduce la probabilidad de que ocurra un incendio de copa y se hace más fácil la supresión.

Hawley y Smith (1982) indican que, sobre los muñones de ramas podadas se forman con frecuencia bolsas de corteza y resina, este tipo de defecto se encuentra al final del muñón podado en que el tallo, al recubrir la superficie cortada, ha incluido en su crecimiento trozos de corteza y resina en lugar de empujarlos hacia afuera. Este defecto tiende a presentarse con más frecuencia en heridas que se cierran lentamente.

2.3.2.2 Crecimiento en el diámetro a la altura del pecho (*Dap*).

Amateis y Burkhart (2010), sugieren que los árboles podados asignan el crecimiento en primer lugar al crecimiento de la copa y en segundo lugar al crecimiento del diámetro.

“Los pinos sometidos a poda artificial responderán favoreciendo el crecimiento en altura a expensas del crecimiento en diámetro, presumiblemente para mantener la dominancia y la posición de la copa en el rodal mientras se reconstruye la capacidad fotosintética” (Amateis & Burkhart, 2011, p. 2338).

Evans (1992), Seitz (1995), Fassola et al. (2002) observaron que cuanto mayor fue la proporción de copa extraída, la disminución del *Dap* fue más acentuada.

Fassola et al. (1999) determinaron que al año de aplicados los tratamientos, no se observaron tendencias bien definidas que relacionen severidad de poda y *Dap* medio para una misma densidad de rodal. Al finalizar el segundo periodo de crecimiento, comenzaron a diferenciarse los distintos tratamientos y en el tercer periodo, ya fue posible determinar que, para una misma

densidad, los diámetros disminuyen con el aumento del porcentaje de remoción de copa verde.

Según Shepherd (1986) si se extraen alrededor de 2 m de ramas verdes en cada operación, primero se debe dejar que los árboles alcancen una altura mínima antes de realizar la primera poda baja. Se ha encontrado que esto es alrededor de 6 a 8 m, o tres veces la longitud de la poda, ya que una pérdida de más de un tercio de la copa verde activa causará una pérdida del crecimiento del diámetro.

Meneses y Guzman (2000) señalaron que podas muy severas influyen negativamente sobre el *Dap* hasta la edad de cosecha y que el éxito de las podas depende de la calidad de sitio y de la oportunidad e intensidad de estas.

Methol (2001) observó que en *Pinus taeda* al aumentar la altura de poda verde (*Hpv*), se redujo significativamente el crecimiento en *Dap*. Para que el régimen de poda no resulte excesivo, es recomendable podar hasta un 33 % de la altura total (*Ht*) en la primera poda, de forma tal de que el crecimiento no se vea afectado en forma significativa.

Posse (2007), observó un significativo impacto de la severidad e intensidad de poda a la edad de 9.85 años (118 meses) sobre el *Dap*.

Rodríguez (2007) observó que la severidad de poda es inversamente proporcional al desarrollo del *Dap*. Las diferencias significativas fueron notorias entre los tratamientos más extremos (40 y 70 % *Ht*).

2.3.2.3 Crecimiento en altura total (*Ht*).

Fassola et al. (1999) observaron cierta tendencia dónde la tasa de incremento periódica en altura fue menor a medida que aumentaba la severidad y el número de intervenciones de poda con relación a los tratamientos sin poda (testigos).

Hawley y Smith (1982) indican que las reducciones en crecimiento en altura ocasionadas por una poda verde excesiva son invariablemente escasas, pero su efecto acumulativo puede ser bastante grande para conducir al ahogo de árboles podados por pies adyacentes que no han sido tratados. Por consiguiente, el crecimiento en altura es el mejor criterio para la severidad tolerable de la poda verde.

Amateis y Burkhart (2010), señalan que el crecimiento en altura no se vio afectado significativamente por la poda. Aunque se eliminó una gran parte de la copa en las parcelas muy podadas, los recursos aún eran adecuados para lograr un crecimiento en altura que no fuera significativamente diferente del control.

Según Posse (2007), los tratamientos no afectaron la altura media del rodal, constatándose una relación poco significativa entre esta característica y la severidad de poda a edad de 9.85 años (118 meses).

Rodríguez (2007), observó que H_t se ve menos afectada por la aplicación de los tratamientos silvícolas (podas y raleos) que otras variables a la edad de 6 años.

2.3.2.4 Crecimiento en volumen individual (V_i).

Amateis y Burkhart (2010) señalan que quitar el 25 % de la longitud de la copa viva pareció reducir la masa de la copa, o el volumen, en aproximadamente un 30 % en cada árbol individual, quitando el 50 % de la longitud de la copa viva se redujo la masa de la copa considerablemente más, dejando abierto el dosel de la parcela, resultando en la reducción en el incremento volumétrico individual.

Seitz (1995) destaca que los incrementos en diámetro muestran una tendencia parabólica, cuya mayor inclinación se encuentra cuando se realiza la remoción del 0% al 40% de la altura total del árbol; por lo tanto, podas con mayor intensidad no permiten ganancias importantes en el crecimiento del diámetro y, como consecuencia se obtiene un menor V_i .

Fassola et al. (2002, p. 59) mencionan en una investigación que “el volumen cilíndrico de los árboles, alcanzado entre los tres y siete años, fue afectado por raleos y podas, pudiendo establecerse que niveles de poda del 50 % o superiores no son recomendables, ni aun aplicando raleos”.

Costas et al. (2004) mencionan que encontraron diferencias de V_i debido al efecto de la poda. Observaron que los tratamientos de menor altura final de poda produjeron V_i estadísticamente mayores que los tratamientos de mayor altura de poda.

2.3.2.5 Efecto de la poda en la forma del fuste.

La conicidad del árbol es un parámetro de calidad importante desde la perspectiva industrial, ya que está relacionado con la eficiencia de la producción de madera. El término "conicidad del árbol" se refiere a la diferencia de diámetro a lo largo del fuste del árbol. Cuando esta diferencia en el fuste es grande, hay una disminución importante en la eficiencia y la rentabilidad del trozado de dicha madera (Bowyer et al., 2003).

La eliminación de una porción significativa de la copa viva produce casi siempre en los árboles el desarrollo de una forma cilíndrica (Daniel et al., 1982).

Valenti y Cao (1986) demostraron que la poda redujo la conicidad del tallo dando como resultado árboles más cilíndricos con más volumen por árbol (estudio sin silvicultura intensiva).

Amateis y Burkhart (2010) indican en un estudio que al podar los árboles el crecimiento en altura se mantuvo mientras que el crecimiento en diámetro disminuyó. Por lo tanto, la relación altura sobre D_{ap} fue ligeramente mayor para las parcelas podadas, sugiriendo que podar los árboles a una edad temprana

cuando el crecimiento en altura es vigoroso puede ser un tratamiento viable para mejorar la calidad de la madera y la forma del fuste (conicidad).

Costas et al. (2004) señalan que se encontraron diferencias significativas debida al efecto de la densidad. Con densidades altas se produjeron fustes más cilíndricos y pequeños, ramas con menores ángulos de inserción y diámetros menores, respecto de los resultados obtenidos con densidades bajas. En buenos sitios los rodales alcanzan mayor altura y diámetro, son más cilíndricos, más rectos, de menor tamaño de ramas y engrosamiento nodal que en sitios de peor calidad (Maclaren, 1993).

2.3.2.6 Efecto de la poda en la calidad de la madera.

Puede definirse la calidad de la madera, como las características, que influyen en las propiedades de sus productos derivados. Por lo mismo, la calidad no puede ser considerada en términos absolutos, pues características de la madera importante o deseable para un producto, pueden no serlo para otro.

Las tres principales causas de baja calidad en las maderas de árboles jóvenes con destino aserrable son, el tamaño de los nudos y su frecuencia, la madera de reacción y el grano en espiral (Daniel et al., 1982).

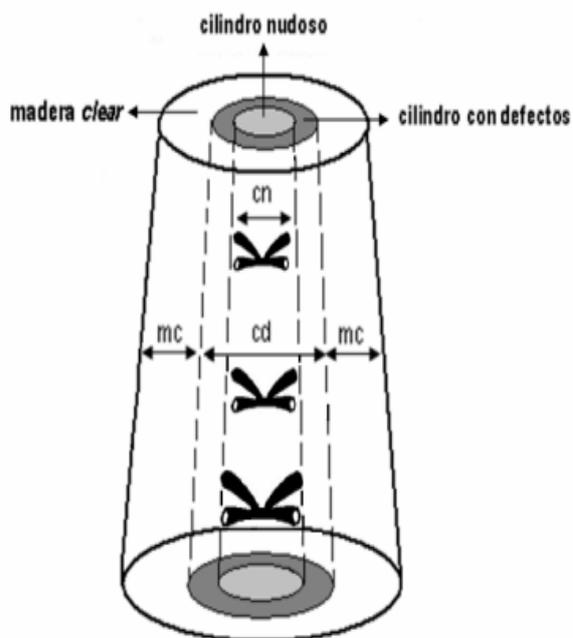
El objetivo de la poda es concentrar los nudos en un cilindro defectuoso de dimensiones mínimas. Cuanto menor sea el cilindro central con defectos mayor será la cantidad de madera libre de nudos al momento de la tala rasa o intermedia. El uso del diámetro del cilindro con defectos deseado se constituye en un parámetro importante para definir cuándo será el momento de realizar la poda.

Es fundamental para evaluar la calidad de poda y producción futura de madera sin nudos tener claro los conceptos básicos de cilindro nudoso (CN) y cilindro con defectos (CD).

El cilindro nudoso es aquel volumen que contiene la médula y los muñones de la poda. El cilindro con defectos contiene el cilindro nudoso, las oclusiones de la herida de poda y las sinuosidades del fuste (Park como se cita en Fassola, Fahler et al., 2002) (Ver figura 2).

Figura 2

Diagrama esquemático de troza podada



*mc: madera clara; cd: cilindro con defectos; cn: cilindro nudoso

Nota. Adaptado de Seitz (1995).

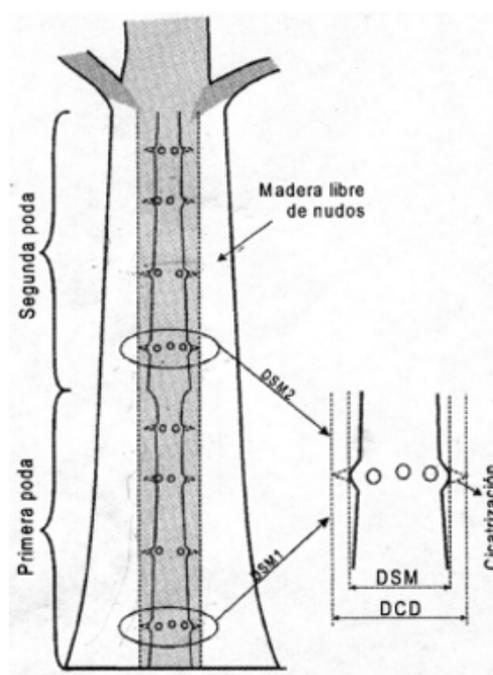
La poda genera un efecto importante sobre la calidad de la madera, ya que provoca una transición más temprana del leño juvenil a maduro, debido a que la porción podada del fuste se aleja de la influencia fisiológica de la copa viva (Shepherd, 1986).

El volumen de madera clara producido depende de la tasa de crecimiento de los árboles en el sitio en cuestión y de la edad de dicho rodal. Cuanto mayor sea el período de tiempo entre la poda y la cosecha final, mayor será el volumen de la porción de madera clara producida. Por otro lado, la realización de raleos es una operación esencial para la obtención de mayores rendimientos de madera clara, dado que se libera a los árboles seleccionados de competencia (Shepherd, 1986).

Como resultado de los sistemas de podas se logra maximizar la producción de madera clara (ver figura 3), mejorando además la forma del fuste (conicidad) y comportamiento tecnológico para los distintos usos. Esto conlleva a la posibilidad de obtener mejores precios en el mercado, dado que este tipo de madera es demandada por laminadoras y aserraderos (industrias) que elaboran productos de alto valor agregado, tanto en el mercado interno como externo.

Figura 3

Esquema del efecto de la poda sobre el fuste y la producción de madera libre de nudos.



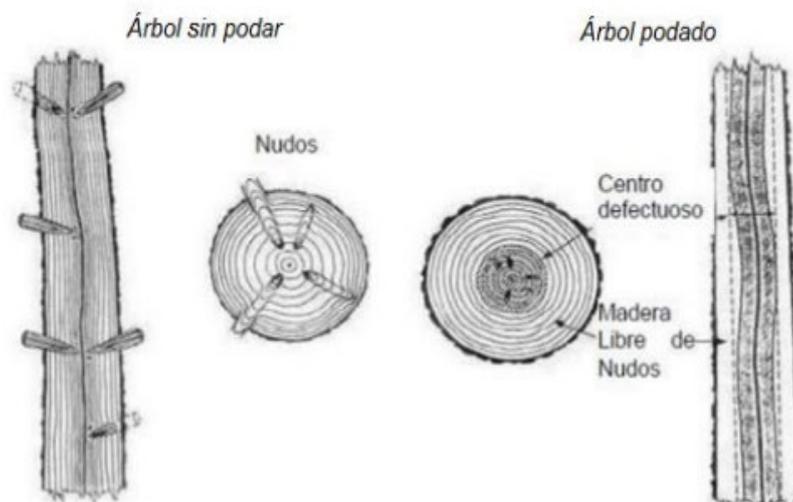
DSM: Diámetro sobre muñones, medido en el verticilo podado; DCD: Diámetro del cilindro con defectos

Nota. Tomado de Davel y Sepúlveda (2003).

Daniel et al. (1982) señalan que podar árboles jóvenes de diámetro de alrededor de 10 cm, no solo se consigue que las ramas sean más pequeñas, sino que el corazón nudoso del tronco estará confinado a los 10 cm centrales (ver figura 4).

Figura 4

Corte longitudinal y transversal de un árbol sin podar y un árbol podado de diámetros similares.



Nota. Adaptado de Maclaren (1993).

Krall (1970) determinó que, para *Pinus taeda*, cuando el *Dap* de los árboles llega a 6-8 cm, es adecuado podar, ya que hay que sumarle 4 cm más de madera de oclusión, quedando un cilindro con defectos de 10-12 cm de espesor, momento en el cual comenzará a depositarse madera clear.

Kurtz y Ferruchi (2000), observaron que tomando el rango de *Dap* entre 9 y 12 cm, se obtiene madera sin nudos entre los 13 y 16 cm de diámetro. Concluyen que podando en tiempo y forma se obtiene, en esta especie, un cilindro defectuoso de 16 cm.

El núcleo será más pequeño cuanto antes se lleve a cabo el tratamiento, pero debe equilibrarse con la posible pérdida de fotosíntesis debido a la eliminación de la copa verde activa (Shepherd, 1986).

De acuerdo con Costas et al. (2004), podas realizadas en edades tempranas permiten obtener trozas basales con nudos circunscritos a un cilindro central de diámetro reducido que aumenta el valor económico de la masa al realizar la cosecha.

2.3.3 Regímenes de poda

Los rendimientos de poda varían fundamentalmente según la altura a podar, la herramienta utilizada, la especie, la condición del rodal y el podador, entre otros.

De acuerdo con Daniel et al. (1982), la elección, la frecuencia y la intensidad de estos tratamientos están determinados por una evaluación total de los aspectos ecológicos y una traducción de los objetivos de la ordenación o manejo en una estructura y una composición del rodal deseables.

Los árboles elegidos para las podas altas (podas de más de 2,2 m de altura) generalmente son los mejores individuos, es decir, los que esperamos que lleguen al final de la rotación, ya que no es ni económico, ni práctico podar todos los individuos de un rodal. Se podan únicamente los árboles dominantes, vigorosos, de buena forma y sin problemas sanitarios ya que son los que mejor aprovechan los beneficios de esta práctica (Hawley & Smith, 1982).

Kurtz y Ferruchi (2004) recomiendan podar en la época más propicia (fin de invierno, principio de primavera), realizando la práctica en función de la altura y/o diámetros indicados, donde se debe realizar la primera operación de poda sobre un número suficiente de árboles, para brindar mayor posibilidad de seleccionar a los mejores ejemplares en las siguientes operaciones.

Los levantes de poda deben realizarse en función del aumento del diámetro que manifiesta el primer verticilo dejado con ramas en operaciones anteriores, para lograr dentro de lo posibles, un cilindro defectuoso a partir del diámetro guía, tomado en la primera operación. Por lo tanto, para controlar el tamaño del cilindro de poda es necesario especificar que las dos podas iniciales se deben aplicar hasta un diámetro límite más bien que hasta una altura fija, tomando en cuenta la altura de los árboles más altos, que tienen mayor probabilidad de quedar hasta el corte final (Kurtz & Ferruchi, 2004).

Intervalos de 6 a 12 meses entre intervenciones de poda, logran un ideal régimen de podas que no afecta el crecimiento. Desde el punto de vista económico esto no resulta viable debido a sus costos operativos. Es recomendable que cada intervención sea para periodos más prolongados (Shepherd, 1986).

Según Hawley y Smith (1982), la poda al ser extendida hacia las partes más altas del árbol resulta cada vez más costosa y por lo tanto se reduce el número de árboles que reciben el tratamiento. Esto se debe a que la operación se va tornando cada vez más compleja debido a las herramientas necesarias para su realización (p. ej., escaleras), aumentando así la dificultad de esta.

2.3.3.1 Inicio del ciclo de poda.

Realizar la poda a edades tempranas no solo permite obtener un cilindro nudoso pequeño, sino que también permite aprovechar el rápido crecimiento de los árboles jóvenes y lograr una rápida oclusión de los muñones de las ramas (Shepherd, 1986).

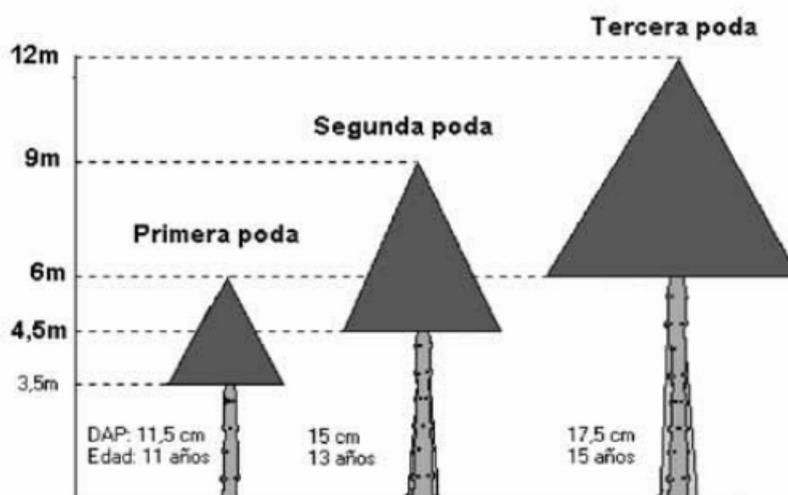
Es muy común observar que se toma como base la edad de la plantación para definir el momento de iniciar la práctica de la poda. Pero éste no es el indicador adecuado, ya que las plantaciones manifiestan diferencias en crecimiento en función del sitio donde están establecidas, el material genético empleado y la época de plantación. Por lo tanto, el parámetro técnico que indica el momento oportuno de iniciar la poda es la altura total y/o el *Dap* promedio de la plantación (Kurtz & Ferruchi, 2000).

Según Kurtz y Ferruchi (2000), la primera poda será en árboles que tengan entre 5,5-7 m de altura, 9-10 cm de *Dap*, y se les realizará una poda hasta los 2,30 -2,40 m.

Davel et al. (2009) menciona que el momento oportuno para realizar la primera poda es cuando los árboles más grandes alcanzan un diámetro aproximado de 10 cm. La segunda poda se realiza cuando los árboles ya podados tengan un diámetro de 13-15 cm. Esto ocurrirá aproximadamente 2 o 3 años después de la primera poda. La tercera poda se realiza a los 2 o 3 años de la segunda cuando llegan aproximadamente a 17 cm de diámetro (ver figura 5).

Figura 5

Esquema del momento oportuno de poda.



Nota. Tomado de Davel et al. (2009).

2.3.3.2 Época de poda.

En los pinos del sureste de EUA, la mejor época para realizar la poda es fines de invierno y principios de primavera, durante la estación de reposo vegetativo. La oclusión de la herida de poda es más rápida durante la estación de crecimiento siguiente, puesto que ocurre la mayor tasa de incremento en diámetro del fuste y el cambium genera tejido cicatricial que cierra prontamente la herida (Banks & Prev, 1976)

Según Ottone (2005), la época más conveniente para efectuar esta tarea es a finales del invierno. En la citada época, en los pinos la translocación de resinas es muy lenta y por tal motivo, no se forman bolsas de resina que puedan disminuir el valor de la madera.

Banks y Prev (1976) indican que no es aconsejable podar en otoño porque se retrasa el cierre de las heridas debido a la interrupción temporaria del incremento diametral durante el invierno, de este modo, es mayor el riesgo de ataque de plagas y enfermedades. Tampoco se recomienda la poda en Pinus en los meses de verano, porque se generan defectos a causa del encostramiento de resina exudada sobre la herida, que da lugar a la formación de bolsas de resina previo a la deposición de madera libre de defectos.

La época más propicia para realizar la poda es a fines de invierno, principio de primavera. Al iniciarse la actividad de crecimiento en primavera, la herida comienza a cubrirse paulatinamente con las nuevas capas de madera. Además, al realizar la poda en esta estación solo fluye la cantidad suficiente de resina como para sellar la herida (Kurtz & Ferruchi, 2004).

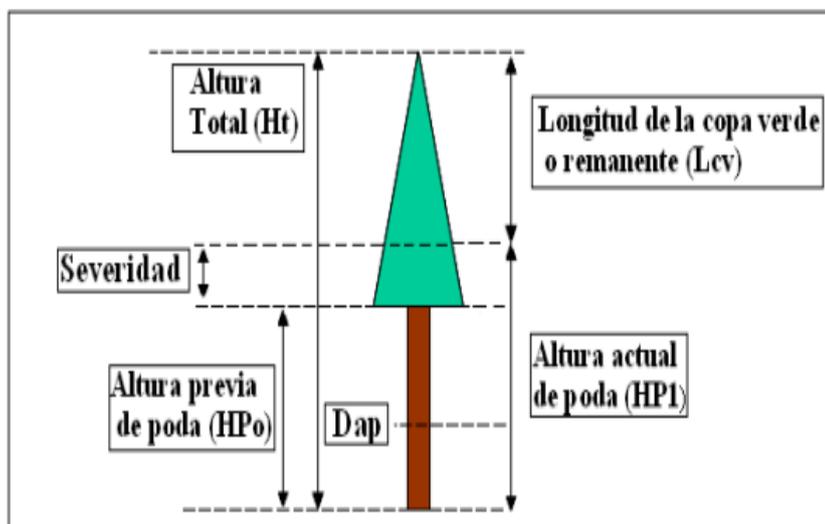
2.3.3.3 Severidad de poda.

Severidad de poda se entiende como la proporción de biomasa aérea retirada en cada intervención realizada (Shepherd, 1986).

La altura de poda es un indicador de la severidad de poda que se expresa como porcentaje de la copa viva retirada y proporción de la longitud del fuste podada. Está estrechamente relacionada con la altura total del árbol, ya que se retira un porcentaje de la copa verde (ver figura 6). Dado que la altura total no se ve afectada por podas de severidad moderada, al finalizar una serie de intervenciones, es posible que no se observen grandes diferencias entre las alturas de poda para tratamientos similares (Fassola et al., 1999).

Figura 6

Esquema de severidad de poda y las variables vinculadas



Nota. Elaborado a partir de Fassola et al. (1999).

La severidad de poda se expresa mediante variables como longitud del fuste a podar, porcentaje de reducción de la copa viva, porcentaje de copa remanente y proporción de la longitud del fuste. A mayor cantidad de copa remanente, menos severo es el régimen. Cuanto más se poda en menos años, más intenso es el sistema y nos permite comparar diferentes regímenes de poda, expresado mediante variables como longitud total de fuste podado durante la rotación, es decir, resulta en un mayor porcentaje de extracción acumulado de copa verde.

2.3.3.4 Intensidad de poda.

La intensidad de un régimen de podas es el conjunto de los valores de severidad de todas las etapas de poda (Shepherd, 1986).

Costas et al. (2004), consideran razonable podar hasta el 50% de la copa viva de los árboles dominantes. Si se realizan podas más intensas, el rendimiento disminuye. Esta reducción en el crecimiento y los costos relativamente más altos de las podas, deberían ser compensados por el precio diferencial de la madera a cosechar.

Según Ottone (2005), la intensidad de poda depende de las características de cada especie forestal, dada por su desrame natural, el ritmo de crecimiento y distancia de plantación.

2.4 MADERA DE COMPRESIÓN

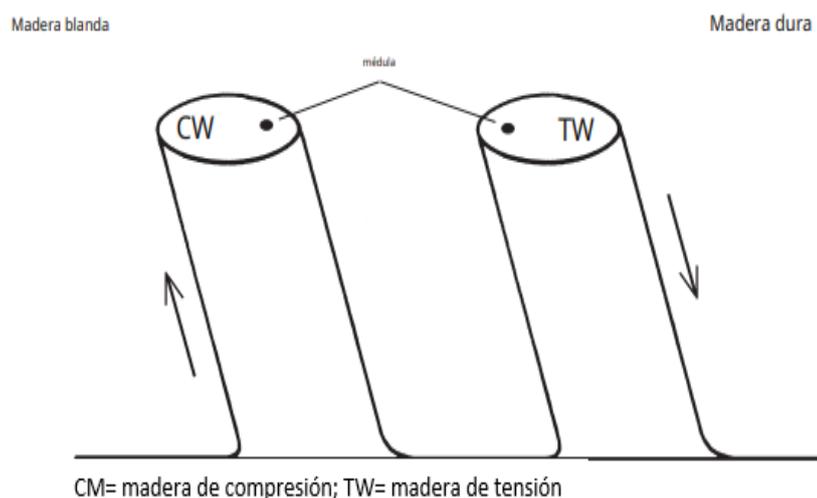
La madera de reacción (MR) se desarrolla en fustes y ramas en respuesta a la percepción de estímulos endógenos y ambientales provocados por un cambio en la posición natural. Como resultado, el fuste se mueve hacia su posición original, puesto que los árboles reorientan su eje por una acción mecánica muy activa impulsada por variaciones de la actividad cambial. Estas variaciones de la actividad cambial darán lugar a variaciones en la anatomía y ultraestructura del xilema para lograr esta función biomecánica, formando un tipo de madera denominada madera de compresión (MC) en las gimnospermas (Tocquard et al., 2014).

La MC es un tipo de madera que producen las gimnospermas, con características diferentes a la de madera normal, donde se ven alteradas propiedades físicas, químicas y mecánicas de esta. De estas propiedades, la dureza y el color rojizo son las más obvias (Duncker, 2014).

Los árboles, durante su desarrollo, muestran un crecimiento vertical en altura, y horizontal en diámetro, sin embargo, si el ambiente es perturbado por fuerzas mecánicas externas, como vientos fuertes, crecimiento geotrópico, terrenos inclinados y su propio peso, el árbol tiende a presentar como respuesta a estas fuerzas el desarrollo de la madera de reacción (Bamber, 2001) (ver figura 7).

Figura 7

Tallos inclinados que muestran la dirección de las fuerzas inducidas por el estrés del crecimiento que actúan para mantener el hábito erguido o estabilizar los tallos



Nota. Tomado de Bamber (2001).

Bamber (2001) menciona que, para lograr el posicionamiento vertical del árbol, la madera de compresión desarrolla una tensión de compresión que sirve para empujar el fuste hacia arriba o estabilizarlo, mientras que la madera de tracción desarrolla una tensión de tracción que sirve para tensionar el fuste hacia arriba o estabilizarlo. El mismo autor adiciona que, si bien las tensiones están sin duda presentes en todos los troncos de los árboles, están distribuidas de manera más o menos uniforme, mientras que, en la madera de reacción, las tensiones se distribuyen de manera desigual y, como consecuencia, pueden causar problemas considerables durante la conversión y secado.

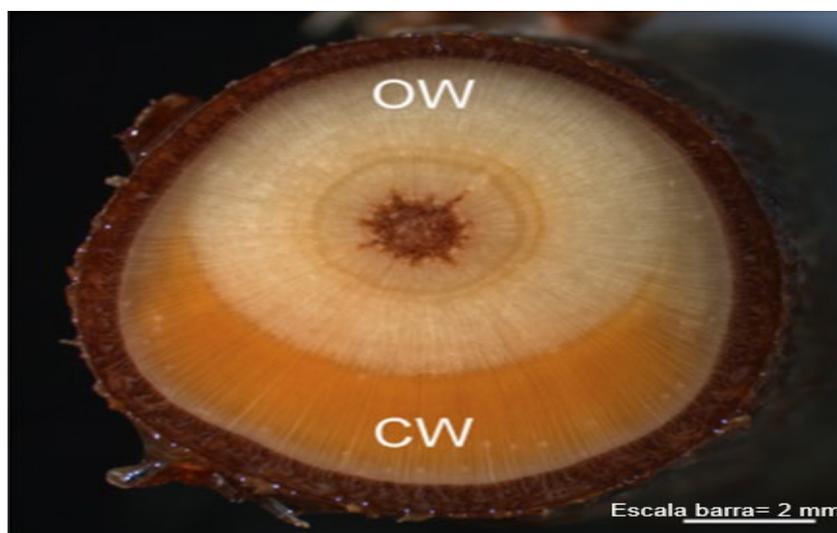
La madera de compresión se forma ordinariamente en la parte inferior de los troncos inclinados y de las ramas, aunque puede encontrarse en el interior de los árboles verticales o incluso en la parte superior de los troncos inclinados (Pillow & Luxford, 1937).

De acuerdo con Diaz-Vaz et al. (2007), las singularidades y propiedades de la madera de compresión (MC) son diferentes a las que se encuentran en la madera opuesta e igualmente distintas a las de los árboles que no tienen madera de compresión. Generalmente este tipo de madera se relaciona con árboles inclinados y curvos. Sin embargo, en rodales con árboles que crecen sin inclinación o con inclinaciones menores, también se puede encontrar MC.

Pillow y Luxford (1937) señalan que, la MC no sólo difiere de la madera normal del mismo árbol o de otros árboles de una especie determinada, sino que también varía dentro del mismo árbol. En general, la MC se puede dividir en dos grandes clases: (1) MC pronunciada, que es llamativa y fácilmente reconocible a la vista; y (2) MC leve, que no se visualiza tan fácilmente y puede ser conocida como madera anormal, pero se puede distinguir de la madera normal mediante un examen microscópico. Otros autores como, Diaz-Vaz et al. (2007) también sugieren que la MC se presenta con distintos grados de severidad, esto es, MC de grado severo, MC de grado leve (suave) y la zona que se conoce como madera opuesta que es la que se encuentra en esos árboles, pero no posee características de MC. En el caso de esta última, madera opuesta, sólo se encuentran diferencias menores en comparación con la madera de árboles sin MC (Figura 8).

Figura 8

Madera de compresión (CW) y madera opuesta (OW) en un fuste de pino joven.



Nota. Tomado de Donaldson y Singh (2016).

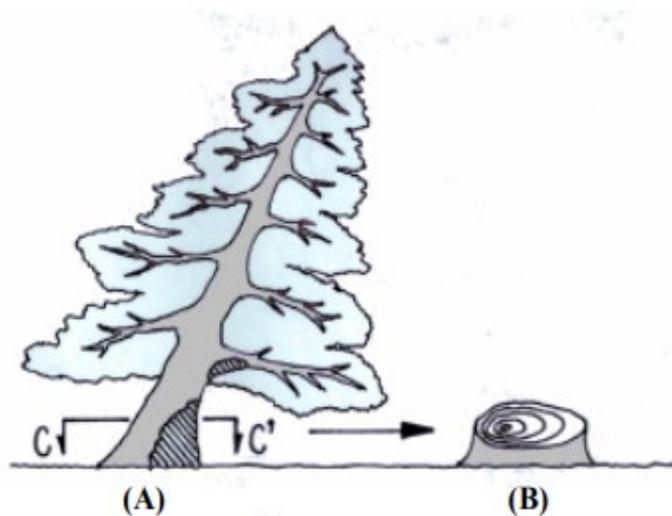
La MC leve a menudo puede tener la misma apariencia que la madera normal y detectarla a menudo requiere un examen microscópico (Yumoto et al., como se cita en Duncker, 2014).

La MC también se puede distinguir en dos tipos: madera de compresión "normal" (MCN) y madera de compresión "anormal" (MCA). La primera es la más ampliamente conocida y se produce en árboles inclinados. La segunda comenzó a conocerse y a tomar importancia hace relativamente poco tiempo a nivel Nacional y se diferencia por aparecer aún en árboles rectos o que no hayan sido expuestos a las condiciones que generan la MC normal.

La MCN se encuentra generalmente en la parte inferior de las ramas gruesas o en árboles inclinados (Figura 9). Su incidencia tiende a disminuir con el aumento en altura del árbol, indicando que el problema es relevante a la troza más importante (Maclaren, 2002).

Figura 9

Madera de compresión en coníferas (A), sección transversal (B).



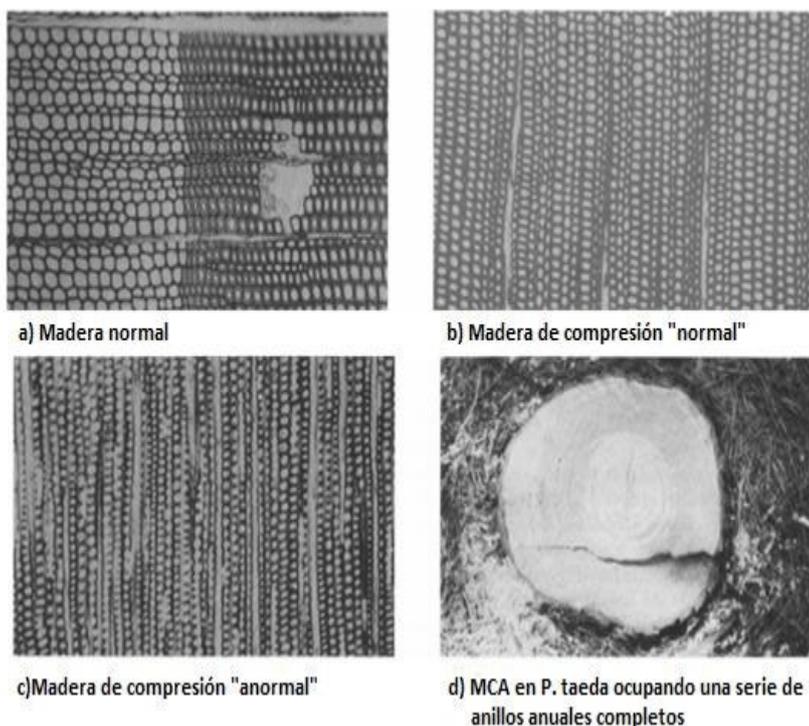
Nota. Tomado de Chan Martin et al. (2002).

Las características anatómicas y estructurales de la MC generalmente se describen en comparación con la llamada madera normal. El último término en realidad se refiere a la madera que tiene las propiedades más deseadas por la industria maderera, por ejemplo, fibra recta, alta densidad, alta resistencia a la flexión y contracción uniforme sin distorsión al secarse.

A nivel anatómico la madera de compresión posee características diferentes: fibras más cortas, con paredes más gruesas y sin la capa S3, con espacios intercelulares, altos contenidos de lignina y galactanos, mayores ángulos microfibrilares (Llic et al., 2003). Las propiedades de la madera de compresión "normal" son considerablemente diferentes de las de la madera normal (especialmente la madera madura). Las traqueidas de la madera de compresión son un 30 % más cortas y contienen un 10 % menos de celulosa y un 8-9 % más de lignina que la madera normal. La madera de compresión también produce pulpa de menor resistencia (Haygreen & Bowyer, como se cita en Malan & Kassier 2002). Timell, como se cita en Duncker (2014), menciona que, en comparación con la madera normal, son en gran parte las traqueidas las que muestran una anatomía diferente, mientras que otros tipos de células cambian menos (Timell, como se cita en Duncker 2014). (ver figura 10).

Figura 10

Diferencia de las traqueidas de MCA y MCN

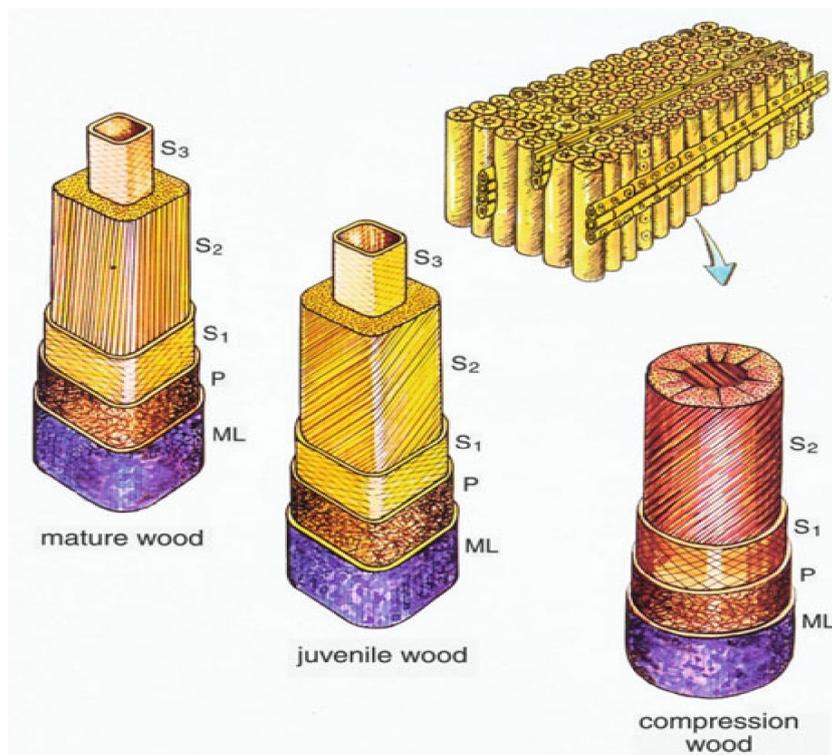


Nota. Adaptado de Van der Sijde et al. (1985).

Entre las diferencias más notables se tiene: mayor proporción de lignina, falta de la pared S3, presencia de fracturas helicoidales, mayor ángulo microfibrilar (AMF) en la pared S2, secciones de las traqueidas redondeadas, presencia de espacios intercelulares, reducción de la proporción de lignina en la lámina media y concentración de este compuesto entre la S1 y S2, menor largo de traqueidas, mayor ancho de la pared celular en la madera intermedia y tardía, anillos más anchos, coloración más oscura y cambios dimensionales longitudinales mayores a los de la madera opuesta o a la que no es de compresión (Díaz-Vaz et al., 2007). (ver figura 11).

Figura 11

Estructura celular de la madera normal (madura), madera juvenil y madera de compresión.



Nota. Tomado de Barnett et al. (2014).

2.4.1 Efecto de la poda en MC

Se asume que la poda puede afectar indirectamente en la MC, al tener efecto sobre la tasa de crecimiento (TC) del árbol y sobre la madera juvenil. La TC disminuye con las podas, dado la reducción del área foliar y por ende del área fotosintética (más aún con podas severas) lo que deja al árbol más delgado durante más tiempo, y por ende más susceptible a ser inclinado por vientos.

Las podas causan modificaciones en el crecimiento de las plantas, y reacciones internas en el desarrollo de la madera generada por el corte, por lo que Schweitzer (2016) sostiene que puede ser uno de los factores que origina MC.

Debido a la asociación de nudos y ramas con la MC, la poda conduce inevitablemente a una reducción de los niveles de madera de reacción. La poda también reduce el área juvenil, que nuevamente se asocia con la formación de MC y con la conicidad del tallo. La única restricción importante para el uso generalizado de la poda son los altos costos asociados (Timell, 1986).

Según Brazier (1977), las influencias de los tratamientos de raleo y poda sobre las propiedades anatómicas de la madera, como la longitud de la traqueida y el AMF, han recibido poca atención.

Cown (1973), examinó la influencia de la poda en la densidad de la madera de *Pino radiata* durante tres o cuatro años después de eliminar el 54% o el 76% de la copa viva, en comparación con el control sin raleo ni podar, el autor encuentra que la densidad aumenta en el primer o segundo año después de los tratamientos.

Gartner et al. (2005) encuentran que, cuando se eliminaban las ramas vivas más bajas no había ningún efecto sobre la densidad de la madera, pero cuando la poda eliminaba las ramas vivas más altas había un aumento pequeño y de corta duración en la densidad.

La MC tiene ángulos de microfibrillas elevados en comparación con la madera normal u opuesta. Sin embargo, en la madera juvenil donde el ángulo de las microfibrillas ya es alto, la MC y la madera opuesta pueden tener ángulos similares (Donaldson, 2008).

Barbour et al. (2003) indican que el AMF disminuye y que la longitud de la fibra aumenta ligeramente después de la poda. Esto puede atribuirse a la reducción de madera juvenil producida luego del tratamiento.

El mayor AMF se asocia con la MC, provocando aumento de la contracción longitudinal; por lo tanto, experimenta una estabilidad dimensional reducida y una mayor aparición de alabeo cuando se seca la madera (Barnett & Jeronimidis, 2009).

La poda fuerza la recesión de la copa y promueve el desarrollo de la madera clear y a la vez reduce la cantidad de producción de madera juvenil. La reducción de la madera juvenil y el aumento de la madera madura disminuyen efectivamente el AMF y aumenta la densidad (Hart, 2010, p. 22).

2.4.2 Reconocimiento de la MC

A pesar de que la MC es objeto de estudio hace más de 100 años, las técnicas analíticas para su detección aún no son satisfactorias.

Duncker (2014) menciona que, su detección requiere una identificación completa de este tejido en contraste con otros tejidos de madera. En principio, esta identificación podría basarse en sus propiedades anatómicas, físicas o químicas específicas. Aunque la noción de MC se basa en sus anomalías ópticas y mecánicas en comparación con la “madera normal”, su identificación, de acuerdo con sus propiedades anatómicas, es la mejor documentada y entendida.

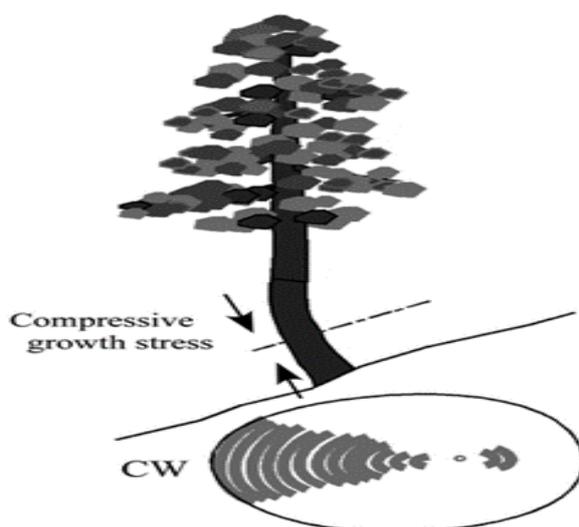
El mejor momento para examinar un tronco y obtener una imagen precisa de la extensión de la MCA presente es inmediatamente después del corte transversal, ya que el contraste entre la MCN y MCA en la cara del corte transversal disminuye rápidamente a medida que avanza el secado de la superficie (Malan & Kassier, 2002).

Según Malan y Kassier (2002), la MCA se puede reconocer fácilmente en los extremos de los troncos recién cortados como bandas de madera oscura, marrón rojizo o de color ámbar. En casos severos, puede no haber una estructura de anillo anual distinta, A veces, los anillos de crecimiento en la zona MCA de la madera tienen una apariencia ondulada, a menudo se extienden hasta la superficie del tallo y le dan una apariencia corrugada. En casos raros, puede salir en espiral hacia la superficie.

Donaldson (2008) menciona que, la MCN generalmente se presenta como bandas anchas en forma de medialuna de color marrón oscuro que se encuentran dentro de los anillos de crecimiento o como áreas amplias que cubren varios anillos de crecimiento. La MC a veces puede parecer madera tardía, la parte exterior de color más oscuro de los anillos de crecimiento. Este autor menciona que los tallos que contienen madera de compresión muestran un crecimiento excéntrico, es decir, crecen más madera en el lado de compresión (inferior) que en el lado opuesto (superior), por lo tanto, el tallo tenderá a tener forma ovalada, y el centro del tallo marcado por la médula estará más cerca del lado superior del tallo, una condición conocida como médula excéntrica (Ver figura 12).

Figura 12

Estrés del crecimiento de los árboles y problemas relacionados.



Nota. Tomado de Gril et al. (2017).

La cantidad de madera de compresión generalmente se puede estimar visualmente o mediante análisis de imágenes (Duncker & Spiecker, 2009).

2.4.3 Efectos de la MC en la industria

Malan y Kassier (2002) mencionaron que la MCA en *P. taeda* era uno de los problemas más serios que afectaba a la madera aserrada de pino en términos de su efecto sobre el procesamiento, la calidad y el valor del producto final.

Prácticamente todas las etapas del procesamiento de la madera, así como las propiedades técnicas y de comportamiento de los productos finales, se ven afectadas por la aparición de MCA.

En la industria del aserrado, la MC se considera un defecto importante, similar a la formación de nudos. Las razones incluyen la menor resistencia general de los tableros, propiedades de secado desfavorables, pegado problemático y

propiedades de acabado superficial deterioradas. Además, la MC tiene mayor dureza y tiende a ser más quebradiza (Wernsdörfer et al., 2004).

Las razones de las propiedades de secado alteradas se encuentran en las diferencias anatómicas de la madera. La permeabilidad de la MC es menor, en comparación con la madera normal en la dirección longitudinal y radial de la madera de la misma especie. La madera opuesta se seca significativamente más rápido que la MC durante el período de remoción de agua libre debido a las puntuaciones más grandes y numerosas en las traqueidas axiales (Tarmian et al., 2009).

Según Malan y Kassier (2002), la torcedura generalmente ocurre en forma de arco, pero cuando la madera se contrae anormalmente con grados de severidad variables, conduce a una contracción longitudinal desigual, lo que generalmente resulta en torceduras abruptas en la tabla.

Williams, como se cita en Wimmer y Johansson (2014) compara las tasas de secado de la MC y la madera normal en *Pinus radiata* bajo dos condiciones de secado. Se confirmó que la MC tiene una tasa de secado más lenta que la madera normal Davis et al. (2002), mostró que la MC también tiene una influencia adversa en la tasa de secado de *P. radiata*. Los mismos autores mostraron que la MC también tuvo una influencia adversa en la tasa de secado de *P. radiata*.

La MC a menudo da lugar a tensiones de crecimiento negativas, es decir, tensiones de compresión. La liberación de estas tensiones durante el aserrado puede causar que las tablas se vuelten y se doblen hacia el tronco restante y se atasquen en la hoja de la sierra (Timell, 1986).

La madera aserrada seca que contiene MC frecuentemente resulta arqueada o torcida, fuera de forma o severamente marcada por la contracción longitudinal excesiva y desigual. Estas piezas se distinguen fácilmente durante la manipulación en el patio de almacenamiento o en la planta de fabricación y, como resultado, las piezas que contienen la MC más severa se eliminan en la fábrica o se colocan en los grados más bajos que se destinan a usos menos exigentes (Pillow & Luxford, 1937). (Ver figura 13).

Figura 13

Efectos de la presencia de madera de compresión en tablas y láminas de debobinado



La MCA severa parece ser relativamente uniforme debido a la difícil distinción entre madera temprana y tardía. En casos severos, puede que ni siquiera parezca madera de pino. Los tableros aserrados que contienen grandes cantidades de MCA tienden a ser quebradizos y, en consecuencia, tienen una menor resistencia a la flexión y al impacto que la madera normal (Malan & Kassier, 2002).

Pillow y Luxford (1937), indican que un tablero compuesto tanto de madera normal como de MC tiene una baja contracción longitudinal en una parte y alto en otra. Por lo tanto, una parte del tablero tiende a acortarse mucho más que otra a medida que se reduce el contenido de humedad y, como resultado, la pieza suele curvarse longitudinalmente. También pueden desarrollarse grietas transversales en la porción de MC o pueden producirse fisuras longitudinales en los extremos. La cantidad y el carácter de la deformación depende de la proporción de madera normal y MC, así como de la diferencia en la contracción longitudinal de los dos tipos de madera.

Un tablero de madera compuesto de madera de reacción no sería un problema en el uso, ya que se encogerá. El problema ocurre cuando la madera de reacción se mezcla con madera normal dentro de un mismo tablero, como suele ser el caso, y esto puede conducir a una contracción no uniforme que causan

defectos como torceduras, curvado de cara, curvado de canto y alabeos. La aparición de MC en los tableros suele ser la explicación de la deformación grave que se produce durante los cambios en el contenido de humedad (Du Toit, como se cita en Wimmer & Johansson, 2014).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 DESCRIPCION Y UBICACION DEL SITIO

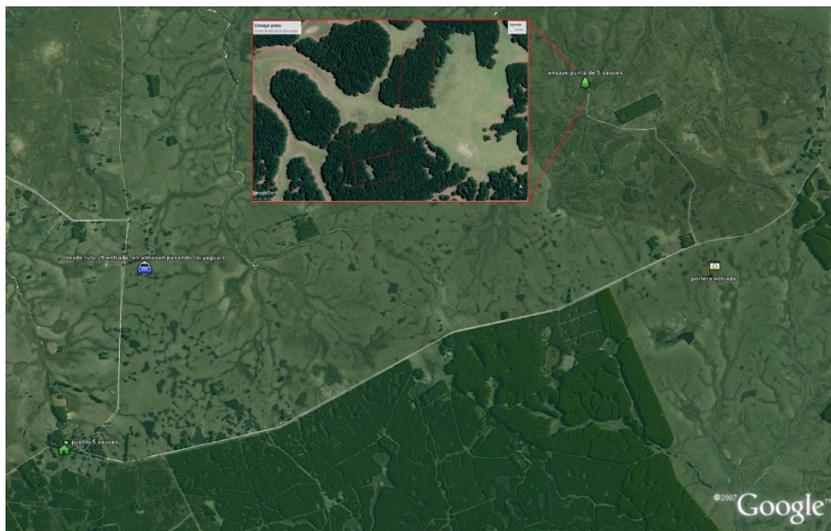
3.1.1 *Ubicación del sitio*

El ensayo de poda se encuentra ubicado en el departamento de Tacuarembó, Uruguay en la localidad de Punta de Cinco Sauces, en las coordenadas: 31° 53' 52" S; 55° 01' 24" W; 188 m elevación. La plantación actualmente es parte del patrimonio de Cofusa (Figura 14).

Para acceder al mismo, se debe recorrer aproximadamente 8 kilómetros por los caminos internos del predio, desde la portera principal que da al camino vecinal.

Figura 14

Ubicación del establecimiento Punta de cinco sauces.



Nota. Tomado de Google (2022).

3.1.2 Características edafológicas

El sitio experimental se ubica sobre suelos pertenecientes al grupo CONEAT 7.31 de prioridad forestal. El material geológico está constituido por areniscas rojas, poco litificadas, apoyadas sobre areniscas de Tacuarembó. Los suelos dominantes son Acrisoles Ócricos Típicos (Praderas Arenosas rojas) muy profundos, de color pardo rojizo, textura arenoso-franca, bien drenados y fertilidad extremadamente baja. Asociados, aparecen Acrisoles Ócricos Albicos muy profundos de color pardo oscuro, textura franco-arenosa, bien drenados y fertilidad extremadamente baja. Los suelos corresponden a la Unidad Rivera de la carta a escala 1: 1.000.000, índice de Productividad 66 (Dirección General de Recursos Naturales [DGRN], 2020).

El relieve está constituido por colinas sedimentarias no rocosas, con pendientes de 6 - 10% (DGRN, 2020).

3.1.3 Descripción climatológica del sitio

Para la caracterización climática del sitio del ensayo, se utilizaron los registros obtenidos de la Caracterización Agroclimatológica del Uruguay del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria la cual abarca 30 años desde 1980 hasta 2009 (Castaño et al., 2011).

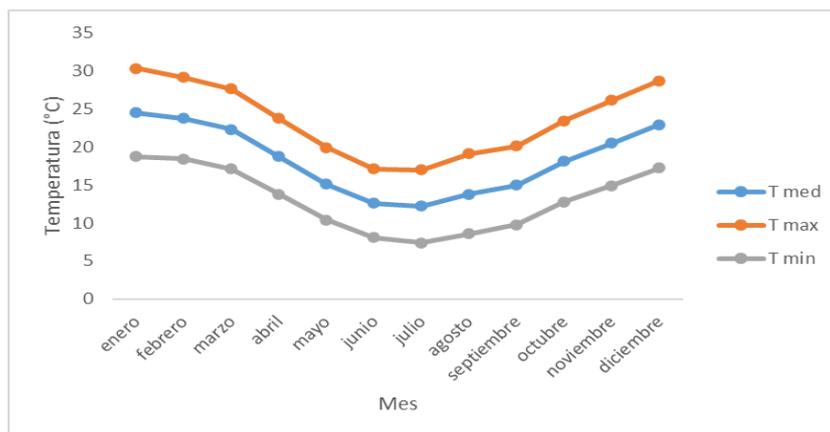
Cabe destacar que la ausencia de sistemas orográficos importantes en Uruguay contribuye a que las variaciones espaciales de gran parte de las variables climáticas sean relativamente de poca magnitud, permitiendo realizar una caracterización general del territorio y permitiendo centrarnos en la región norte la cual se encuentra el ensayo.

3.1.3.1 Temperatura.

La evolución de la temperatura media anual, tanto para la temperatura máxima, mínima y media, muestra una distribución de los datos de forma parabólica (Figura 15).

Figura 15

Temperatura máxima, media y mínima promedio mensual para el periodo 1980-2009.



Nota. Elaborado con base en Castaño et al. (2011).

La zona de Tacuarembó se caracteriza por valores de temperatura media para el mes más cálido (enero), durante el periodo 1980-2009, de 24,5 °C, máxima en promedio de 30,3 °C y mínima en promedio de 18,7 °C. En el mes más frío (julio), la temperatura media en promedio fue de 12,2 °C, la máxima de 17 °C y la mínima de 7,4 °C.

3.1.3.2 Precipitación.

La región de estudio tiene una variación mensual considerable de lluvias por estación, generando ausencia de una estación seca y una estación lluviosa bien definida (Figura 16).

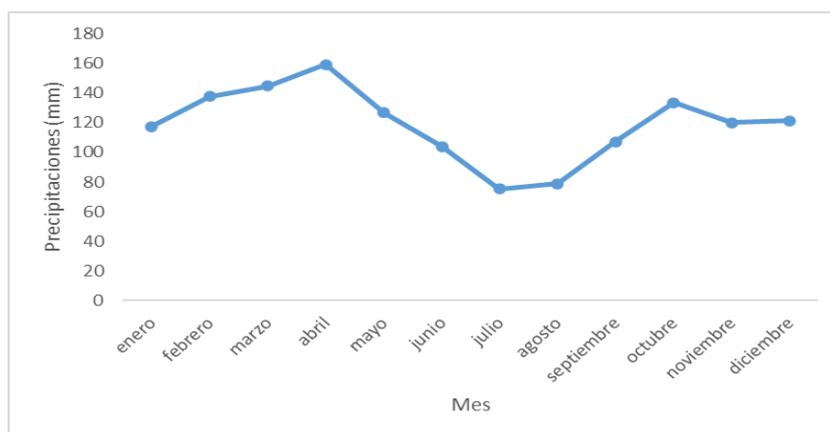
El mes con más lluvia es abril, con un promedio de 159.3 milímetros de lluvia, en cambio el mes con menos lluvia es julio, con un promedio de 75,2 milímetros de lluvia.

Durante el periodo analizado, las precipitaciones se concentran principalmente en los meses de otoño y primavera (valores máximos en abril y octubre), siendo el invierno y verano los momentos del año con menores precipitaciones (julio y enero).

Los valores medios anuales de precipitación acumulada anual para el periodo 1980-2009 fue de 1426.6 mm.

Figura 16

Precipitaciones acumuladas medias mensuales para el periodo 1980-2009.



Nota. Elaborado con base en Castaño et al. (2011).

3.2 DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO DE PODA

El ensayo de poda fue instalado en mayo del año 2008 sobre una plantación de *Pinus taeda* del año 2003. Dicha plantación tenía una población efectiva de 850 árboles/ha, presentando valores de *Dap* medio de 9.1 cm, una altura total media de 4.9 m y un área basal de 5.7 m²/ha. Antes de instalar el ensayo de poda, se hizo un primer raleo uniforme llevando la densidad a 650 árboles/ha aproximadamente.

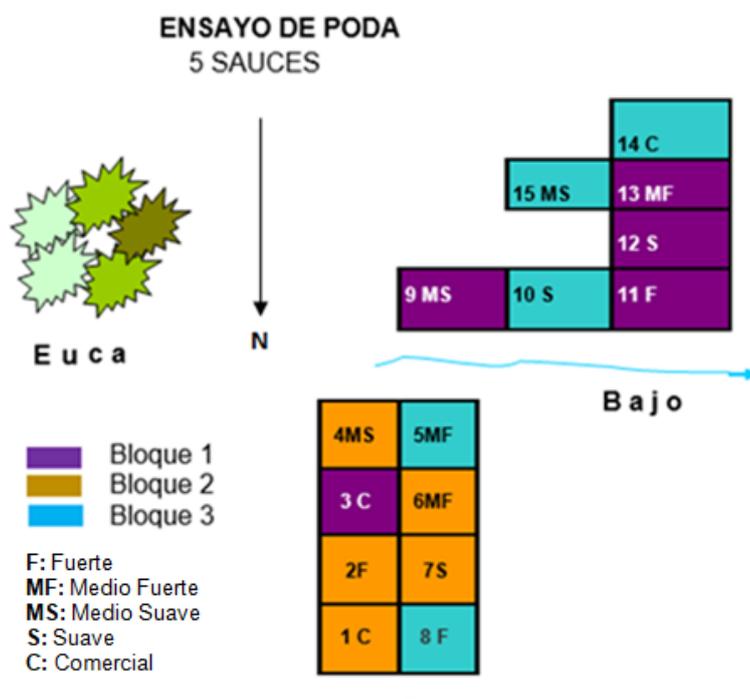
El ensayo tiene un diseño experimental de bloques completos al azar con 3 repeticiones, siendo las parcelas de 850 m². (8 filas x 10 árboles). Para la instalación del ensayo se tuvo en cuenta el efecto borde, omitiendo las dos primeras filas y columnas del rodal, de modo de evitar el error causado por la competencia de individuos sometidos a diferentes esquemas de poda. De esta forma se obtuvo una parcela efectiva de 800 m² (40 m x 20 m) (Figura 15).

Se establecieron 5 tratamientos según intensidad y el número de podas, como se muestra en el Cuadro 1. Los tratamientos del 1 al 4 se caracterizan por el porcentaje de extracción de copa en relación con el largo de copa verde, por lo que para la aplicación de las intensidades de poda establecidas la variable de ajuste es la altura total de los individuos y el momento de intervención. En cambio, el tratamiento 5 representa un régimen comercial con momentos de intervención fijos.

Los bloques fueron definidos antes de la instalación del ensayo. Se midió diámetro a la altura del pecho y altura total de todos los árboles presentes. Se calculó para cada unidad experimental altura promedio y área basimétrica equivalente, expresada en metros cuadrados (m^2) por hectárea, bajo el supuesto de que una de estas variables estaría relacionada con productividad de sitio. Se confeccionaron listados de las parcelas en orden decreciente de altura total media y área basimétrica equivalente. En dichos listados, se formaron tres bloques con 15 unidades experimentales. Se adoptó el área basimétrica como variable indicadora de calidad de sitio a la edad de 3 años, puesto que resultaba en bloques más compactos y diferencias más notorias al compararlos con la variación observada para altura total media. Así, las parcelas del bloque 1 (color violeta), mejor sitio, presentaban el mayor valor de área basal, en las del bloque 2 (color naranja), sitio intermedio, se observaron valores intermedios de área basal y las parcelas del bloque 3 (color celeste), las de menor valor de área basal (Ver figura 17).

Figura 17

Croquis del ensayo con sus correspondientes números de parcelas, tratamientos y bloques



Nota. C. Rachid (comunicación personal, 15 de junio de 2022).

Las variables dasométricas medidas al instalarse el ensayo fueron: altura total (Ht), diámetro a la altura del pecho (DAP) y diámetro a los 0.5m de altura ($D0.5$) como medida de diámetro máximo sobre muñón ($DMSM$) inicial. A partir de las alturas medidas se calculó en forma teórica para cada individuo la altura de poda de cada tratamiento correspondiente y también se calculó el área basal de cada parcela. El porcentaje de copa extraída se calculó como el largo de copa podada sobre el largo de copa total. Al momento de la poda se midió el diámetro

y la altura al primer verticilo (*DV1* y *HV1*) efectivas y se calculó el porcentaje de copa efectivamente extraído. Estas mediciones fueron realizadas en julio de 2010, 2013 y 2015.

En la tabla 3, se presentan los diferentes tratamientos (esquemas de poda) evaluados. Se aplicaron diferentes intensidades de poda, definidas como el porcentaje de extracción de copa en relación con el largo de copa verde. Dependiendo del tratamiento a tratar se realizaron diferentes intervenciones, con diferentes severidades de poda, alcanzando diferentes intensidades de poda en cada tratamiento hasta el final del ciclo de poda. En cada intervención que se realizó en los distintos tratamientos se midió la altura final de poda para el respectivo año y la altura efectiva final de poda (año 2015).

Tabla 3

Descripción de las principales características de los esquemas de poda (Fechas, proporción de extracción de copa viva y altura en cada levante y final).

Tipo de poda		1 ^{ra} Poda 2008	2 ^{da} Poda 2010	3 ^{ra} poda 2013	4 ^{ta} Poda 2015	Altura final de poda (m)
Fuerte	Ext. Copa (%) (Altura, m.)	60 (3)			60 (9,3)	9,3
Medio fuerte	Ext. Copa (%) (Altura, m.)	60 (3,1)		45 (7,4)	30 (9,3)	9,3
Medio suave	Ext. Copa (%) (Altura, m.)	30 (1,6)	45 (4,9)	60 (9,4)		9,4
Suave	Ext. Copa (%) (Altura, m.)	30 (1,6)	30 (3,9)	30 (7,6)	30 (9,4)	9,4
Comercial	Edad (años) (Altura, m.)	4 (2,3)	6 (4,0)	8 (5,3)	9 (6,4)	6,4

3.3 MEDICIONES Y MUESTREO A CAMPO

El objetivo de la investigación fue comparar diferentes esquemas de poda en términos de crecimiento individual, calidad de la madera y deformaciones. Para ello, se realizó una medición del ensayo para conocer las variables de crecimiento, para luego proceder a realizar el muestreo de individuos para analizar las propiedades de la madera. Las variables dasométricas de interés fueron: *Dap*, *Ht*, *AB/ha*, *Vi*, *V/ha*, *Vcp*, *Vcp/ha* (Crecimiento), *DCN* y *%LD* (calidad de madera), curvatura de cara, torcedura y abarquillado (deformaciones) en el efecto acumulado de sucesivas podas a los 19,2 años del ensayo. Luego de recolectadas las variables, se procedió a los análisis estadísticos correspondientes. El desarrollo en detalle de estos pasos se describe a continuación.

3.3.1 *Medición de Crecimiento*

Las mediciones fueron tomadas siguiendo un orden de bloque y tratamiento para una mejor eficiencia en el relevamiento de datos. Las mediciones realizadas fueron *DAP* y *Ht* en el año 2022 por parte de los estudiantes. En años anteriores además de estas, fueron medidas las variables *HV1*, *D 0.5* por el personal de INIA Tacuarembó.

Simultáneamente se realizaron observaciones cualitativas, con el fin de detectar la presencia de árboles con defectos, tales como: bifurcados (BIF) (figura 18), quebrados (Q), secos (S), presencia de brotes epicórmicas (BE), con el objetivo de poder relacionar los mismos con los distintos esquemas de poda aplicados. Ver tabla 4.

Figura 18

Observación de individuos con defecto, bifurcación (BIF)



Tabla 4

Porcentaje de defectos relevados, según esquemas de podas aplicados.

Esquemas de poda	Defectos			
	BIF	Q	S	BE
Comercial	8,3	0,8	1,25	0
Fuerte	9,2	1,25	0,8	0
Medio Fuerte	5,4	1,6	2,5	0
Medio suave	4,2	3,3	1,6	0
Suave	6,6	1,25	1,6	0

Los materiales utilizados fueron: planillas impresas para el registro de las variables dasométricas, mapa de ubicación de las parcelas dentro de la plantación, material de escritorio, cámara fotográfica e instrumentos dasométricos (cinta métrica, cinta diamétrica y vertex).

La medición del *Dap* fue realizada con cinta diamétrica de precisión 0,1 cm, a una altura de 1,30 m desde la base del árbol (figura19) y la medición de la *Ht* fue realizada con un hipsómetro (marca vertex).

Figura 19

Medición de diámetro a la altura del pecho (Dap) con cinta diamétrica



El instrumento se calibra a 10 m, para medir la distancia exacta se utiliza una cinta métrica, para medir la distancia entre el transponder y el frente del Vertex (Figura 20).

Figura 20

Medición de Ht con el instrumento vertex.



3.4 VARIABLES ESTIMADAS

Las variables estimadas fueron: volumen individual (V_i, m^3), volumen por hectárea ($V/ha, m^3$), volumen individual del cilindro podado (V_{cp}, m^3), volumen del cilindro podado por hectárea (V_{cp}/ha) y área basal por hectárea ($AB/ha, m^2$). También se calculó la variable indicadora de severidad como: porcentaje de copa remanente (%CR).

Para el cálculo de V_i y V_{cp} se utilizó una ecuación de volumen de de Clutter et al. (1983) y una ecuación de ahusamiento de Muhairwe (1999) ambas ajustadas por Rachid Casnati et al. (2014) para *Pinus taeda*.

$$V_i = -0.0047 + 0.00003388 * d^2 h + 0.00371h - 0.0001449 * d^2 \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

- $d^2 = (Dap)^2$
- $h = Ht$

Para el cálculo de V_{cp} se utilizaron las siguientes expresiones para estimar los diámetros a diferentes alturas, según el ahusamiento del árbol:

$$\frac{X=hi}{ht} \quad \text{Ecuación 2}$$

* hi = Alturas fijas de fuste, donde se consideraron las siguientes: 0,20 cm, 3,30 cm, 5,30 cm, 7,30 cm y 9,30 cm; ht = Altura total.

C= Exponente variable de la función de ahusamiento

$$C = -0.366478 \log \log (X + 0.001) + 0.5185238eX + 0.2192664 \frac{d}{h} - 0.3055746 \log \log (d) + 0.0523507 \frac{h}{\sqrt{hi}} + 0.0086633 \frac{d/h}{hi} \quad \text{Ecuación 3}$$

d_{ti} = Diámetro a las diferentes alturas fijas

$$d_{ti} = 2.6479678d^{0.7889123} 1.0055376^d [1 - \sqrt{X}]^C \quad \text{Ecuación 4}$$

* Dap =diámetro altura del pecho; X =altura fija del fuste sobre altura total del individuo; C =ahusamiento; Ht = altura total; hi = alturas fijas de fuste.

Luego de realizados los cálculos de cada variable (X, C y D) para cada uno de los individuos presentes en cada parcela de su respectivo tratamiento, se prosiguió a realizar el cálculo de volumen podado.

Se denominó volumen individual del cilindro podado (V_{cp}) de madera sólida, al que resulta de sucesivas podas, medido desde la base del árbol hasta la última altura de levante de cada esquema de poda. Representa la fracción del volumen total del fuste que contiene potencialmente una alta proporción de madera libre de defectos.

Para el citado cálculo se utilizó la fórmula de Smalian la cual tiene en cuenta el largo (l) de la troza a considerar y los diámetros tanto en punta fina (d^2) como en punta gruesa (D^2).

$$V = \frac{\pi}{8} * (d^2 + D^2) * l \quad \text{Ecuación 5}$$

Teniendo en cuenta la altura efectiva de poda lograda en cada tratamiento (ver tabla 3) se asumió que para los tratamientos: fuerte, medio fuerte, medio suave y suave, se obtendrían más trozas podadas, dado que alcanzan una altura de 9 metros aproximadamente. Sin embargo, para el tratamiento comercial se logra una altura efectiva de poda de 6 metros aproximadamente, por lo que se obtienen una menor cantidad de trozas podadas.

Por último, se realizó la sumatoria del volumen de cada troza para lograr obtener el volumen podado total de cada individuo de su respectiva parcela y tratamiento.

Para el cálculo de volumen del cilindro podado por hectárea ($V_{cp/ha}$) se utilizaron las densidades reales existentes actualmente en cada esquema de poda, o sea, los volúmenes de cilindro podado por hectárea están calculados a partir de la sumatoria de los volúmenes individuales de los cilindros podados en cada parcela y extrapolados luego a la hectárea.

Paralelamente se realizó el siguiente cálculo:

✓ Área basal

$$AB = \frac{\pi}{4} * Dap^2 \quad \text{Ecuación 6}$$

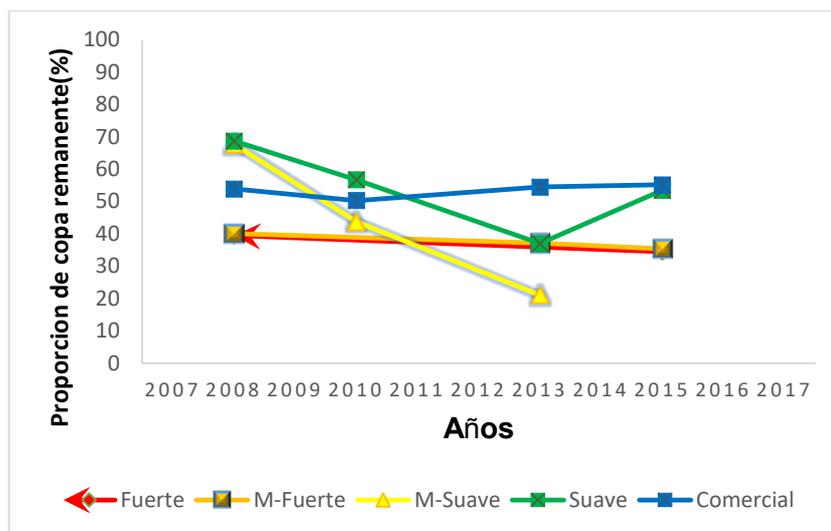
Por último, se calculó el porcentaje de copa remanente (%CR) como indicador de la severidad e intensidad de poda en los diferentes tratamientos.

$$\%CR = (Ht - Hp) * 100/Ht \quad \text{Ecuación 7}$$

A continuación, se muestra la figura 21 con el porcentaje de copa verde remanente respecto a la altura total para cada esquema de poda. Las diferentes intervenciones de poda, nos permite observar la frecuencia, la severidad e intensidad de poda que se logró para cada tratamiento a través de la copa remanente.

Figura 21

Porcentaje de copa verde remanente respecto a la altura total para cada esquema de poda.



El efecto de los diferentes tratamientos de poda sobre el crecimiento fue evaluado mediante los incrementos en Altura, *DAP*, *AB*, *Vi* y Volumen por hectárea a los 19,2 años desde su plantación.

El trabajo se llevó a cabo en dos fases bien diferenciadas: i) muestreo y cuantificación de *MC*, y ii) aserrado, medición del *CN* y *cuantificación de defectos*.

3.4.1.1 Muestreo y cuantificación de *MC* a campo

El número total de árboles a ser apeados dentro del ensayo tuvo como criterio que permita garantizar el control de las trozas en todas las etapas: identificación en campo; carga, traslado y descarga en camión, como también el procesamiento en el aserradero móvil.

El criterio para seleccionar los árboles a ser apeados en cada parcela se basó en el resultado del inventario, el cual permitió definir un perfil de distribución de clases diamétricas, tomando 3 individuos representativos de cada parcela y discriminando los mismos en bajo, intermedio y alto; sin defectos aparentes (BIF, Q, S y YE), para luego ser llevadas las trozas obtenidas a las instalaciones de INIA.

A los árboles seleccionados, en campo se les señaló la dirección norte y sur, con la utilización de una brújula y luego fueron apeados utilizando motosierra,

dejando un tocón de 15 - 20 cm aproximadamente. Una vez en el piso cada árbol, se realizó la extracción de una troza basal, la cual se definió considerando el largo máximo posible para la manipulación y logística, alcanzando un largo de 3 metros aproximadamente (Ver figura 22).

Figura 22

Trozas apeadas en el suelo



Para detectar la MC, luego de la extracción de la troza de cada árbol, se tomó como criterio la proporción de mancha en cada cara. Para eso, se realizó un corte limpio en los extremos de las trozas para visualizar claramente los anillos de crecimiento y las manchas. Se realizó una categorización visual según la proporción de mancha de MC y se la clasificó de 0 a 3 (Tabla 5) (Figura 23).

Tabla 5

Categorías y criterios de MC

Categoría	Criterio
0	Sin mancha
1	Mancha hasta 1/3 del área de la cara
2	Mancha hasta 2/3 del área de la cara
3	Mancha superior a 2/3 del área de la cara

Figura 23

Mc en caras de trozas recién apeadas



3.4.1.2 Aserrado, medición del CN y cuantificación de defectos.

Las 45 trozas que fueron obtenidas y retiradas de campo fueron aserradas en el aserradero móvil WoodMizer LT – 28 (Figura 24). El aserradero presenta una sierra sinfín horizontal que permitió realizar cortes longitudinales a lo largo de la troza. Se realizó el aserrado de trozas con un esquema de cortes sucesivos paralelos, el cual permitió obtener un total de 135 tablas con dimensiones comerciales en cuanto a largo y espesor; y el ancho según la conicidad de cada troza.

Figura 24

Aserrado de trozas



El número de tablas obtenidas de cada troza fue variable debido a la variabilidad de diámetro de los árboles seleccionados según clases diamétricas. De esta forma se obtuvieron diversas tablas por troza con un espesor de 1 pulgada.

Después se procedió con la etapa de clasificación y apilado, se clasificaron las tablas en 2 categorías: i) tablas que contienen médula (45 en total) para medición de cilindro nudoso en uno de los planos la cual se nombró tabla cero, ii) tablas más externas (tapas de las trozas) con destino a secado y posterior medición de torceduras para estimación de MC (90 en total).

El secado de las tablas del segundo grupo se realizó en Arboreal. Para ello se utilizó el método de apilado horizontal para el armado del paquete, en el cual se apila las tablas sobre 3 tacos y luego se va alternando con listones transversales (separadores) para dejar espacios por donde circule el aire (Figura 25).

Figura 25

Apilado de tablas para secadero



El proceso de secado de 90 tablas al horno duró 60 horas, con las condiciones de temperatura, humedad y circulación de aire controladas.

La determinación del CN, utilizando el primer grupo de tablas, se llevó a cabo tomando como principal punto de referencia el centro de la tabla, dado que se asumió al CN como un cilindro perfecto.

Esto permitió dividir la tabla en dos y observar los nudos más externos, facilitando la medición del CN. Para esto, se tomó como partida el centro de la médula hacia el nudo más externo (a ambos lados) perpendicularmente al eje longitudinal de la tabla, quedando los defectos confinados en una zona nudosa central, que son los que marcan el diámetro del CN y así sucesivamente para cada tabla.

Con respecto a las demás dimensiones, en la totalidad de las tablas se midieron el ancho y largo. Para el caso del ancho se utilizó una regla milimétrica, tomándose 2 medidas, una en cada extremo de cada tabla. El largo se midió con cinta métrica.

Se analizaron las relaciones existentes entre el diámetro del cilindro nudoso central y el diámetro de tabla, tomando como referencia el diámetro menor de cada tabla para trazar un rectángulo perfecto que contenga madera libre de defectos, más el CN (Figura 26).

Con estas medidas de diámetro se estimaron las respectivas áreas y se calculó el porcentaje libre de defectos para cada tabla (%LD).

Figura 26

Visualización de cilindro nudoso en tablas



Luego del secado, se procedió a efectuar la evaluación de las deformaciones presentes en las 90 tablas mediante un procedimiento específico (Ver figura 27). Este proceso contempló algunas sugerencias establecidas por el Instituto Uruguayo de Normas Técnicas (UNIT) en 2018, en la norma técnica 1261:2018, la cual se enfoca en la clasificación visual de la madera aserrada utilizada para fines estructurales.

Figura 27

Medición de defectos en tablas



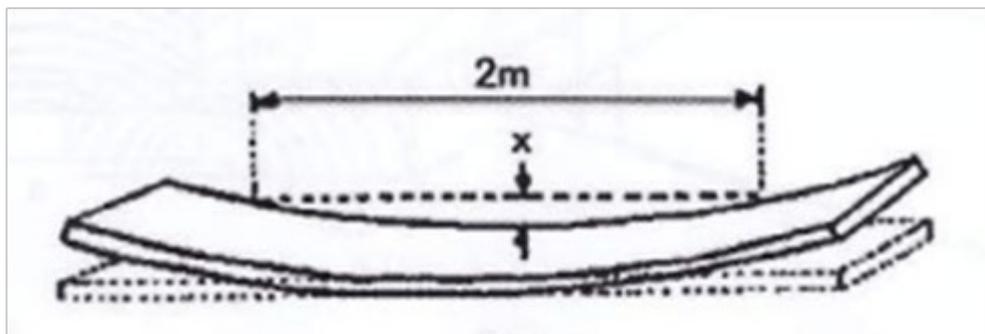
3.4.2 Medición de defectos en tablas

Curvatura de cara, combado o arqueadura (X)

Esta deformación se evalúa como la deformación máxima X (en mm) en la cara de la pieza en un tramo de 2m de longitud, tal como en la figura 28. Si la longitud de la pieza L (en metro) es inferior a 2 m, se debe medir entre los extremos de la misma y calcular la curvatura de cara X' .

Figura 28

Curvatura de cara



Nota. Tomado de UNIT (2018).

Torcedura o alabeo (Z)

Esta se evalúa como la deformación máxima de la superficie Z sobre una longitud representativa de 2 m desde el extremo de la pieza, tal como en la figura 29. Si la longitud de la pieza L (en metro) es inferior a 2 m, se debe medir entre los extremos de esta y calcular la torcedura, Z' .

Figura 29

Torcedura



Nota. Tomado de UNIT (2018).

Abarquillado o acanaladura (W)

Se evalúa como la deformación máxima sobre el ancho de la sección como en la figura 30.

Figura 30

Abarquillado



Nota. Tomado de UNIT (2018).

3.5 ANALISIS ESTADISTICO

Para el análisis estadístico se utilizó un diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA). La unidad experimental es cada parcela con su correspondiente tratamiento en cada año.

A continuación, se presentan la ecuación, hipótesis, criterio de decisión y supuestos del modelo estadístico utilizado.

Modelo:

$$Y_{ik} = \mu + \beta_k + \tau_i + \varepsilon_{ik}$$

Con:

- $i = 1, 2, 3, 4, 5$
- $k = 1, 2, 3$

En donde:

- Y_{ik} = Variable aleatoria observable.
- μ = Media poblacional.
- β_k = Efecto del k-ésimo bloque.
- τ_i = Efecto del i-ésimo tratamiento.
- ε_{ik} = Error experimental (residual).

Supuestos:

- Al modelo: es aditivo.
- A los errores experimentales: $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2_{\varepsilon})$

Por definición:

- $\alpha_i = \mu_i - \mu$
- El grado de generalidad de las poblaciones es similar, lo cual "permite" la suposición de homogeneidad de varianzas.
- No existe interacción Bloque x Tratamiento.

Una vez aplicado el modelo estadístico correspondiente, se realizaron pruebas de normalidad para validar la suposición de normalidad de los errores del modelo. Para tal fin, se utilizaron dos métodos de prueba de normalidad: la prueba de normalidad de residuos, que utiliza gráficos de histograma y dispersión Q-Q para cada variable; y la prueba de Shapiro-Wilk, que compara la distribución de los datos con una distribución teórica, sin necesidad de ajustar un modelo estadístico.

Además, se llevó a cabo la prueba de Levene (homocedasticidad) para verificar si la varianza de los errores era constante en todas las combinaciones de los valores de las variables independientes.

En caso de cumplirse ambas suposiciones (normalidad y homocedasticidad), se realizó el análisis de varianza (ANOVA) para cada variable de interés, seguido por la prueba de comparación de medias Tukey entre tratamientos y bloques con un nivel de confianza del 95%.

Por último, se calculó el coeficiente de correlación de orden de rangos de Spearman (Rho) para evaluar si existe una asociación entre la deformación de la madera y la presencia de *MC*.

Para todos los análisis se utilizó planilla electrónica (Microsoft Excel) y el programa estadístico InfoStat.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CRECIMIENTO

4.1.1 Crecimiento en el diámetro a la altura del pecho (*Dap*)

El efecto acumulado de las cinco podas fue evaluado en mayo de 2022 (a 235 meses de instalado el ensayo y 80 meses de efectuada la última poda en los tratamientos correspondientes).

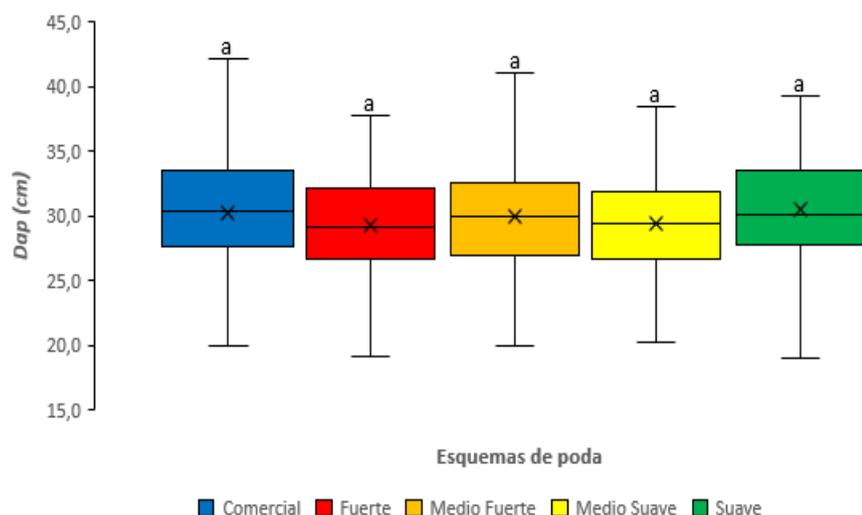
No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos, según la prueba de Tukey (Anexo A).

Se aprecia que el diámetro en los distintos esquemas se incrementó en forma muy similar. El menor crecimiento en *Dap* lo presentó el esquema de poda más intenso (F), esto se ve explicado por la mayor proporción de copa extraída, aunque las diferencias entre tratamientos estadísticamente no son diferentes. Podemos observar que su valor extremo inferior se encuentra por debajo de los 20 cm, valor que lo presentó también el esquema de poda (S), mientras que los demás esquemas tuvieron una leve tendencia al alza de dicho valor.

No obstante, se puede decir que existe cierta recuperación en los tratamientos más fuertes, lo que puede explicarse por el menor número de intervenciones de estos sistemas (ver figura 31).

Figura 31

Dap de los diferentes esquemas de poda evaluados



El esquema de podas realizado en función a una altura fija (C) en cuanto a la proporción de copa verde removida es el que obtiene una mayor

concentración de sus observaciones en valores superiores para la variable *Dap*, es decir, presenta un rango intercuartílico (RI) de 6 cm (Q3-Q1), como también es el esquema que presenta el valor máximo superior (bigote superior; X_{max} , Q3) con un valor de 43 cm aproximadamente.

Por último, si observamos las medias de los esquemas de podas, se observa que 4 de los 5 esquemas de poda presentan distribución normal, es decir, la distribución es simétrica, dando como resultado que la media, mediana y moda son iguales. Esto indica que el 50% de los valores superiores para la variable en estudio coinciden con el promedio de observaciones, 30 cm aproximadamente, mientras que el esquema de poda (S) presenta una distribución asimétrica positiva, siendo la media mayor a la mediana y esta es mayor a la moda. Obteniéndose que este último esquema de poda mencionado concentra la mayoría de sus datos de *Dap* en la parte inferior de la caja, entre el cuartil 1(Q1) 25% y el cuartil 2 (Q2) 50%, indicándonos que una mayor cantidad de sus datos analizados se encuentran sesgados hacia rangos inferiores para la variable en cuestión.

Como resultado, se asume que el menor crecimiento en *Dap* de los esquemas de poda más fuertes (intensos) debería ser compensado por una mayor producción de madera libre de nudos debido a una mayor altura de levante de la poda en etapas tempranas de crecimiento.

Cabe resaltar, que nuestros resultados fueron obtenidos luego de 7 años de haber terminado el ensayo de poda, con la edad de 19 años.

Los resultados obtenidos coinciden de cierta forma en cuanto a disminución de *Dap* con lo citado por Fassola et al. (1999), quienes determinaron que luego del segundo periodo de crecimiento, tras haber podado, comenzaron a diferenciarse los distintos tratamientos y en el tercer periodo, ya fue posible determinar que, para una misma densidad, los diámetros disminuyen con el aumento del porcentaje de remoción de copa verde.

Posse (2007), obtuvo en un periodo menor al estudiado, un significativo impacto de la severidad e intensidad de poda a la edad de 9.85 años (118 meses) sobre el *Dap*. Del mismo modo, Rodríguez (2007), observaron que la severidad de poda es inversamente proporcional al desarrollo del *Dap*. Las diferencias significativas fueron notorias entre los tratamientos más extremos (40 y 70 % *Ht*), como también de modo similar lo registraron Evans (1992), Seitz (1995), Fassola, Moscovich et al. (2002), los cuales observaron que cuanto mayor fue la proporción de copa extraída, la disminución del *Dap* fue más acentuada.

Meneses y Guzman (2000) señalaron que podas muy severas influyen negativamente sobre el *Dap* hasta la edad de cosecha y que el éxito de las podas depende de la calidad de sitio y de la oportunidad e intensidad de estas.

Methol (2001) observó que en *Pinus taeda* al aumentar la altura de poda verde (*Hpv*), se redujo significativamente el crecimiento en *Dap*. Para que el régimen de poda no resulte excesivo, el autor recomienda podar hasta un 33 % de la altura total (*Ht*) en la primera poda, de forma tal de que el crecimiento no se vea afectado en forma significativa.

No se observan diferencias significativas entre los diferentes esquemas de poda, por lo tanto, los esquemas de poda no tuvieron un notorio efecto sobre la variable, no siendo posible adjudicar los bajos crecimientos obtenidos para *Dap* como consecuencia de la mayor proporción de copa verde extraída.

Es importante tener en cuenta que la población actual es alta y la competencia en los diámetros finos es evidente. Esto ha influido negativamente en el desarrollo de los diámetros, lo que a su vez ha dificultado la diferenciación entre los diferentes esquemas de poda.

4.1.2 Crecimiento en altura total (*Ht*)

En cuanto a la variable altura total no se observa una relación clara entre la severidad del tratamiento y dicha variable. El análisis de varianza determinó que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los 5 tratamientos, observándose un leve aumento en el valor promedio del tratamiento medio fuerte (Anexo B).

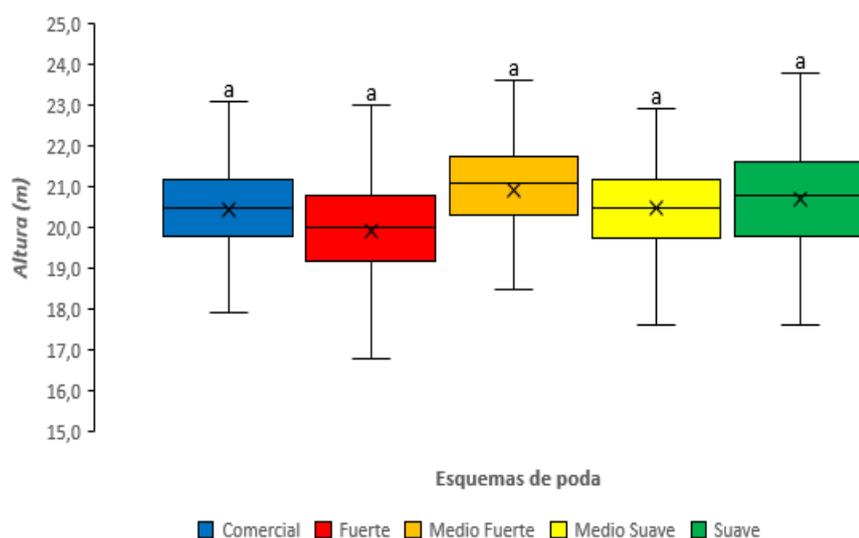
El análisis de los resultados obtenidos muestra que la *Ht* promedio del conjunto de árboles de cada esquema de poda ha sido prácticamente la misma independientemente del esquema de poda aplicado en cada tratamiento.

Los resultados de la prueba de Tukey indican que no existen diferencias significativas entre esquemas de poda para la variable *Ht*. Dicha situación probablemente se explica por la estrecha relación que existe entre la *Ht* y la calidad del sitio para la especie. A mayor *Ht* para una misma edad del rodal, mayor será la adaptación de la especie en cuestión al sitio. Únicamente podas muy severas afectarían el crecimiento en altura de los árboles.

Observando la figura 32, se determina que en general los árboles de cada esquema de poda mostraron un comportamiento similar con constantes crecimientos hasta el año de la última medición (2022) y poca variación entre esquemas, esto último sin considerar el análisis estadístico. Únicamente el tratamiento de poda más severo (fuerte) muestra una leve tendencia al detrimento del crecimiento de la *Ht* media de los árboles.

Figura 32

Altura de los diferentes tratamientos de poda evaluados



Si realizamos un análisis más exhaustivo de la gráfica, podemos observar a través de los valores máximos inferiores que el esquema de poda (F) continúa presentando de forma notoria ese mayor detrimento con un valor de 17 m y el mayor valor extremo inferior lo obtuvo el esquema de poda (MF) 19 m, mientras que valores intermedios es posible observar para los esquemas (C, MS y S) 18 m aproximadamente.

En cuanto al RI de los esquemas, es posible observar que todos presentan una amplitud de caja similar (2 m), con una distribución de sus datos que tiende a la simetría.

Los resultados obtenidos coinciden con lo señalado por Amateis y Burkhart (2010), los cuales mencionan que el crecimiento en altura no se vio afectado significativamente por la poda. Aunque se eliminó una gran parte de la copa en las parcelas muy podadas, los recursos aún eran adecuados para lograr un crecimiento en altura que no fuera significativamente diferente del control. Así como lo expone Posse (2007), los tratamientos no afectaron la altura media del rodal, constatándose una relación poco significativa entre esta característica y la severidad de poda a edad de 9.85 años (118 meses).

Resultados similares fueron encontrados por Rodríguez (2007), quienes observaron que la *Ht* se ve menos afectada por la aplicación de los tratamientos silvícolas (podas y raleos) que otras variables a la edad de 6 años.

Esto confirma lo expuesto por Hawley y Smith (1982) los cuales indican que las reducciones en crecimiento en altura ocasionadas por una poda verde excesiva son invariablemente escasas, pero su efecto acumulativo puede ser bastante grande para conducir al ahogo de árboles podados por pies adyacentes que no han sido tratados. Por consiguiente, el crecimiento en altura es el mejor criterio para la severidad tolerable de la poda verde.

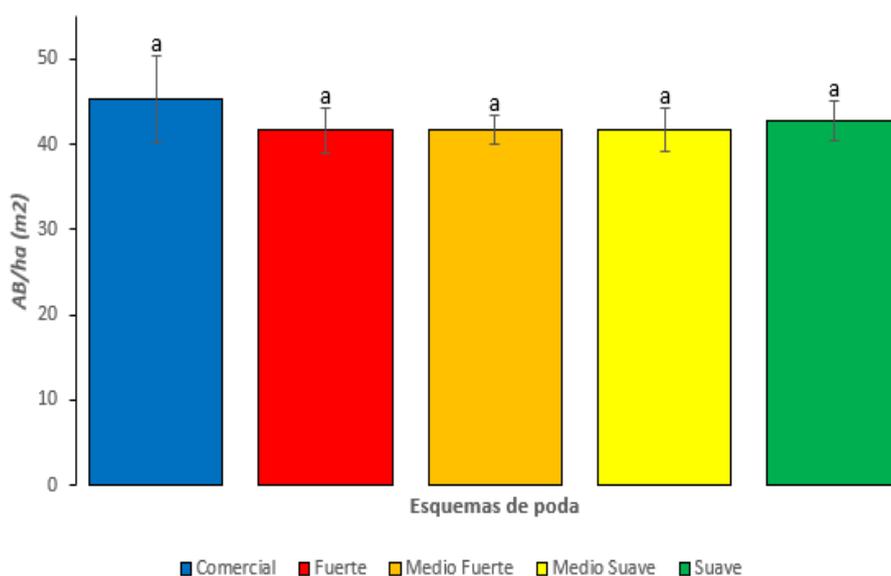
4.1.3 Área basal (AB)

No se observaron diferencias significativas entre *AB/ha* media, según la prueba de Tukey, para todos los diferentes tratamientos (Anexo C). Esto permite suponer que la población al año de la medición para dicha variable (2022) es homogénea, sin verse afectada por los diferentes esquemas de poda.

En la figura 33 si no tomamos en cuenta el análisis estadístico y nos centramos solamente en el valor obtenido para cada esquema, se aprecia que los resultados que presentaron mayor detrimento fueron los esquemas más intensos, es decir, el tratamiento F, MF y MS.

Figura 33

AB/ha de los diferentes esquemas de poda evaluados.



Es importante destacar que la utilización de podas intensas produce una reducción en la tasa de crecimiento de los árboles (fundamentalmente en diámetro), principalmente en el primer levante.

En este caso, era de esperarse que el esquema F experimentara una disminución en su crecimiento en *AB/ha* en comparación con los demás

esquemas, debido a que este esquema implica una extracción más severa de copa verde en cada uno de sus levantes (60%) para lograr la altura final de poda. A pesar de que el esquema F requiere solo dos intervenciones (ver figura 21), esta mayor severidad de extracción no causó un efecto negativo en esta variable. De manera que, el esquema F presentó resultados similares a los demás esquemas en términos de *AB/ha*. Esto sugiere que la mayor proporción de extracción de copa verde no tuvo un impacto significativo en los resultados finales.

Los resultados sugieren que los diferentes esquemas de poda aplicados no influyeron de forma significativa en el crecimiento en área basal. Era esperable obtener mejores resultados en aquellos esquemas de poda que lograran un mayor *Dap*, tras una menor reducción de su copa viva, permitiendo que los árboles sean más competitivos y que su crecimiento no se vea afectado, logrando mayor producción de madera. Estos resultados no se observaron, debido a que la variable *Dap*, tampoco presentó diferencias significativas, de igual modo que *Ht*.

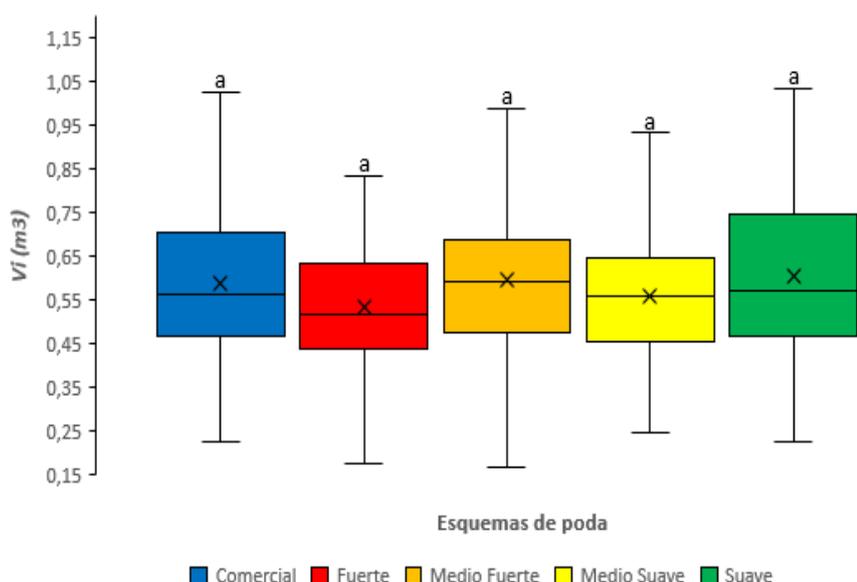
Este resultado de cierta forma está en concordancia con lo sugerido por Hawley y Smith (1982), quienes sugieren que, si se extraen demasiadas ramas vivas al mismo tiempo, la superficie de copa disponible para la actividad fotosintética puede quedar tan reducida que ocasione un serio retraso de crecimiento en *Ht* y *Dap*, como consecuencia en *AB/ha*. Por otro lado, Amateis y Burkhart (2011), mencionan que, los pinos sometidos a poda artificial responderán favoreciendo el crecimiento en *Ht* a expensas del crecimiento en *Dap*, presumiblemente para mantener la dominancia y la posición de la copa en el rodal mientras se reconstruye la capacidad fotosintética.

4.1.4 Crecimiento en volumen individual (V_i)

Al igual que en las variables descritas anteriormente (Dap y Ht y AB), no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos para la variable V_i promedio (Anexo D) (Figura 34), por lo que las diferencias observadas después pueden ser atribuidas, al menos en parte, al efecto de los tratamientos de poda (sin considerar el análisis estadístico, dado que no hay diferencias significativas para la variable).

Figura 34

$V_i(m^3)$ de los diferentes esquemas de poda evaluados.



Por lo tanto, al observar estos resultados nos brinda la información que sería lo mismo aplicar cualquier tratamiento de poda, inclinándose por aquellos tratamientos que logren una altura efectiva mayor, dado el beneficio que esto implica en la obtención de madera libre de nudos si se espera el correcto momento de cosecha.

Si se compara estos resultados con los de las dos variables principales que lo determinan (AB y Ht), se puede observar que el comportamiento del V_i muestra concordancia con ambas variables, ya que tanto en Ht como en AB el tratamiento de poda más severo (fuerte) presentó una tendencia a valores más bajos.

Sin embargo, si no tomamos en cuenta el análisis estadístico y nos centramos solamente en el valor de V_i obtenido para cada esquema de poda, se logra apreciar claramente que el esquema que presentó mayor detrimento en el conjunto de sus datos fue el más intenso, es decir, el esquema F.

Dicho detrimento lo podemos observar de forma más acentuada a través de las medianas (Q_2) de las cajas, donde los esquemas de poda C, S y F presentan distribución asimétrica de sus datos, con sesgo positivo (mediana más

cerca al Q1), donde la mayoría de los valores se concentran en la parte menor de la escala, mientras que los valores más altos se encuentran en la parte mayor de la escala, pero con una existencia de observaciones menor y más dispersos. En una distribución con sesgo positivo, la media es mayor que la mediana y que la moda. Esto ocurre porque los valores extremadamente altos, empujan a la media hacia arriba, mientras que la mediana y la moda se mantienen en la parte izquierda de la distribución.

En cambio, los esquemas de poda MF y MS presentan distribución normal, es decir, la distribución es simétrica, dando como resultado que la media, mediana y moda son iguales. Esto nos dice que el 50% de los valores superiores para la variable en estudio coinciden con el promedio de observaciones, $0,55 \text{ m}^3$ aproximadamente.

En cuanto a los valores extremos mínimos, es decir, bigote inferior (X_{\min} , Q1), los esquemas de poda F y MF presentaron los valores más bajos, los cuales se encuentran en torno a los $0,20 \text{ m}^3$, seguidamente los esquemas de poda C y S presentaron valores intermedios aproximándose a los $0,25 \text{ m}^3$, mientras que el esquema de poda MS presentó un valor de $0,30 \text{ m}^3$ aproximadamente, siendo el valor mínimo de su esquema de poda, pero el mayor entre los esquemas de podas evaluados.

Cuando comparamos los diferentes esquemas de poda según los valores extremos máximos, bigote superior (X_{\max} , Q3), respecto a la variable en estudio, obtenemos que los esquemas C, MF y S sobresalen presentando valores que rondan los $1,05 \text{ m}^3$, con una leve inferioridad del esquema de poda MF, mientras que los demás esquemas presentan valores inferiores al mencionado (MS= $0,95$, F= $0,85 \text{ m}^3$) respectivamente.

Amateis y Burkhart (2010) señalan que quitar el 25 % de la longitud de la copa viva redujo la masa de la copa, o el volumen, en aproximadamente un 30 % en cada árbol individual, quitando el 50 % de la longitud de la copa viva se redujo la masa de la copa considerablemente más, dejando abierto el dosel de la parcela, resultando en la reducción en el incremento volumétrico individual.

Seitz (1995) destaca que los incrementos en diámetro muestran una tendencia parabólica, cuya mayor inclinación se encuentra cuando se realiza la remoción del 0% al 40% de la altura total del árbol; por lo tanto, podas con mayor intensidad no permiten ganancias importantes en el crecimiento del diámetro y, como consecuencia se obtiene un menor V_i .

Los resultados no coinciden con los observados por los autores mencionados, dado que los diferentes esquemas de poda, sin importar el número de levantes y su intensidad, no presentaron diferencias respecto al V_i

4.1.5 Crecimiento en volumen total/ha

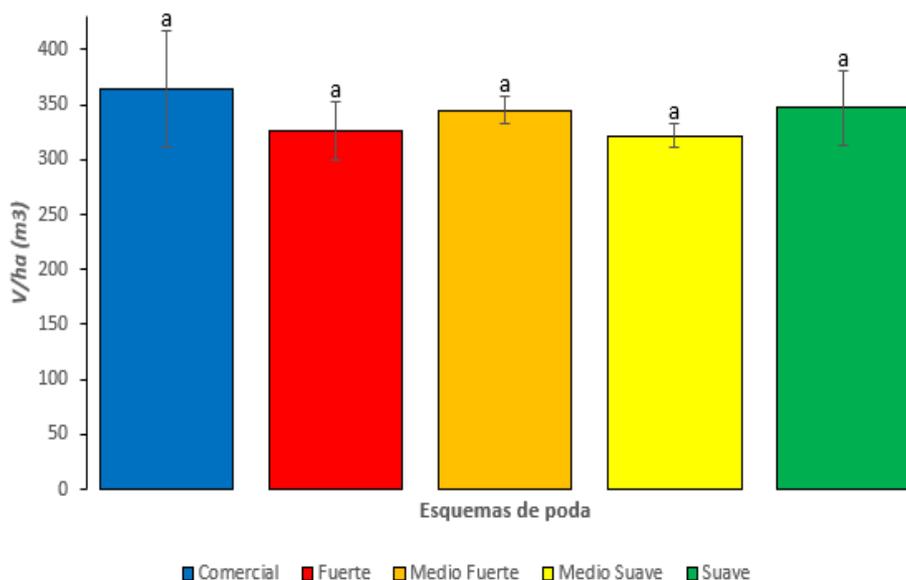
El análisis de varianza de los datos obtenidos indica que no existen diferencias significativas entre los esquemas de poda (Anexo E). Por lo tanto, esta variable no muestra ninguna respuesta frente a los distintos esquemas de poda evaluados.

Las evaluaciones para esta variable se hicieron usando las densidades actuales, o sea, los volúmenes por hectárea están calculados a partir de la sumatoria de los volúmenes individuales en cada parcela y extrapolados luego a la hectárea.

En la figura 35, puede observarse que los esquemas de poda C, S y MF son los que presentan tendencia a mayores incrementos para la variable V/ha , mientras que los esquemas F y MF son los que presentan los menores crecimientos para la variable en cuestión a los 19 años del rodal.

Figura 35

V/ha acumulados de los diferentes esquemas de podas evaluados



Sin embargo, las diferencias en crecimiento volumétrico entre esquemas tampoco son marcadas, pero podríamos decir que se observa una tendencia a mayores crecimientos en el esquema C con 365 m³/ha.

En cambio, el valor más bajo obtenido entre esquemas de poda lo presentó el más severo (F).

Por otro lado, el segundo esquema más severo (MF), no compromete de forma importante el crecimiento en *Dap* y logrando una misma altura de poda, alcanza uno de los mayores volúmenes por hectárea en comparación con los demás esquemas.

Consecuentemente, dado que no existe diferencias significativas entre ellos, pero los esquemas más severos F y MF tienden a equipararse volumétricamente con los demás, se asume que una de las razones está dada por los años sin poda durante el periodo 2010 y 2013 para el esquema F y 2013 para el MF, que influyeron en la recuperación volumétrica.

Por último, si se observa las desviaciones estándar de los esquemas de podas, nos encontramos con que los esquemas MF y MS presentan las menores desviaciones, indicando mayor concentración de sus datos alrededor de la media, es decir, son menos dispersos. En contraposición se encuentra el esquema de poda C con una desviación estándar muy grande, mientras que el esquema F y S asumen valores intermedios de desviación.

Fassola, Moscovich et al. (2002) mencionan en una investigación que el volumen cilíndrico de los árboles, alcanzado entre los tres y siete años, fue afectado por raleos y podas, pudiendo establecerse que niveles de poda del 50 % o superiores no son recomendables, ni aun aplicando raleos.

Costas et al. (2004) mencionan que encontraron diferencias de V_i debido al efecto de la poda. Observaron que los tratamientos de menor altura final de poda produjeron V_i estadísticamente mayores que los tratamientos de mayor altura de poda.

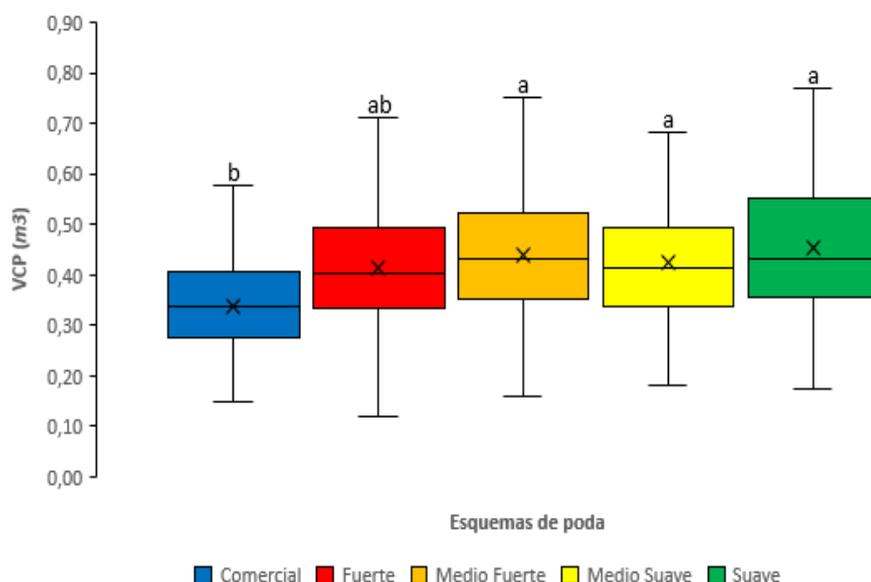
Los resultados de la presente investigación difieren de los estudios previos mencionados, ya que no se encontraron diferencias significativas en el efecto acumulado de los esquemas de podas evaluados.

4.1.6 Volumen individual del cilindro podado (Vcp)

Se considera en este análisis la altura total efectiva de poda medida a la base del primer verticilo luego de la última poda y la troza con corteza. Puede observarse en este caso, que los esquemas de poda presentan diferencias estadísticamente significativa entre ellos para dicha variable (Figura 36) (Anexo F).

Figura 36

Valores promedios de volumen de cilindros podados de los diferentes esquemas de podas evaluados



El análisis de varianza detecta dos grupos con diferencias estadísticamente significativas entre sí. Los esquemas de poda S, MF y MS, presentan una acumulación de Vcp significativamente superior respecto al esquema C, mientras que el esquema de poda F no presentó diferencias estadísticamente significativas entre las medias de ambos grupos.

Las diferencias en Vcp entre los árboles de los distintos esquemas de poda son muy importantes, siendo el crecimiento de los esquemas MF, MS y S de un 25 % mayor respecto al esquema C. Este mayor crecimiento individual se debe principalmente a las diferencias en altura de poda aplicada en cada esquema, que está incidiendo de forma significativa, ya que para las variables de crecimiento no se establecieron diferencias significativas.

El esquema de poda C, obtuvo el valor más bajo para esta variable, porque la altura de poda fue menor, 6 metros aproximadamente, mientras que los demás esquemas alcanzaron los 9 metros. Por este motivo, se logra apreciar que el esquema de poda C presentó mayor detrimento en el conjunto de sus datos, dado a la menor severidad de poda.

En cuanto a los valores extremos mínimos (Xmin, Q1), los esquemas de poda C y F presentaron valores más bajos, alrededor de 0,15 m³, mientras que los

esquemas de poda MS y S presentaron valores superiores, cercanos a $0,20 \text{ m}^3$. En términos de valores extremos máximos (X_{\max} , Q3), los esquemas MF y S tuvieron los valores más altos, alrededor de $0,80 \text{ m}^3$ mientras que los demás esquemas presentaron valores inferiores.

Cuando comparamos los diferentes esquemas de poda según los valores extremos máximos y mínimos, se aprecia la mayor variabilidad en sus datos de los esquemas F, MF y S respectivamente.

Por lo tanto, si solo se considera la variable V_{cp} los resultados promedio de los esquemas de poda S, MS y MF son similares, por lo que se podría utilizar cualquiera de ellos (no existe diferencias significativas).

Consecuentemente, dado que no existen diferencias entre ellos, será imprescindible para la selección del mejor esquema de poda tener en cuenta el costo, rendimiento y eficiencia de los diferentes esquemas de poda para esta especie, según el número de intervenciones y la severidad de poda (altura) empleada en cada levante.

La literatura consultada es coincidente en señalar que, la poda debe iniciarse precozmente, mientras las ramas son todavía pequeñas y pueden ser extraídas sin grandes costos, pero sin superar el 50% de extracción de copa verde, dado que el efecto más importante que causa es la reducción del crecimiento posterior del árbol, al reducir su área foliar y teniendo en cuenta el escaso raleo realizado en la masa forestal, se asume que los individuos quedaron bajo competencia con los árboles vecinos sin tratar.

Costas et al. (2004) mencionan que se debe destacar la importancia de manejar la masa forestal desde edades tempranas para lograr los objetivos de producción. Como el manejo de la densidad y la realización de podas son complementarios y producen resultados independientes, es necesario prestar atención oportuna sobre ambos a la vez para obtener una producción que cuantitativa y cualitativamente optimice la rentabilidad al momento de la cosecha (Costas et al., 2004).

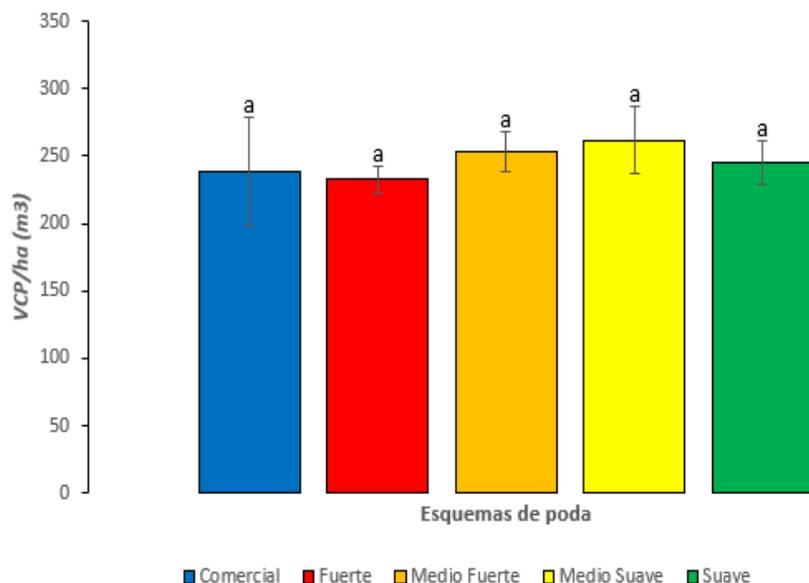
Hawley y Smith (1982) mencionan que, la poda al ser extendida hacia las partes más altas del árbol resulta cada vez más costosa y por lo tanto se reduce el número de árboles que reciben el tratamiento, podándose únicamente los árboles dominantes, vigorosos, de buena forma y sin problemas sanitarios ya que son los que mejor aprovechan los beneficios de esta práctica.

4.1.7 Volumen del cilindro podado por hectárea (V_{cp}/ha)

De los resultados del análisis de varianza se observa que no se detectan diferencias estadísticamente significativas entre los esquemas de poda (figura 37), (anexo G).

Figura 37

Valores medios de V_{cp}/ha acumulados de los diferentes esquemas de podas evaluados



Los esquemas de poda MS, MF y S son los que muestran tendencia hacia mayores incrementos para la variable, mientras que los esquemas F y C son los que presentan los menores crecimientos, a los 19 años del rodal. Este resultado obtenido es el mismo que se logró para la variable V_{cp} individual, pero que presento diferencias estadísticamente significativas (p -valor $<0,05$).

Sin embargo, las diferencias en crecimiento volumétrico entre esquemas tampoco son bastante marcadas, pero podríamos decir que, si miramos de forma minuciosa el esquema de poda que presentó mayores crecimientos fue el MS con $250 \text{ m}^3/ha$.

En cambio, el valor más bajo obtenido entre esquemas de poda lo presentó el menos severo (C), esto está explicado por la menor altura final de poda lograda, ya que los demás esquemas de poda logran una altura de poda final superior de 9 metros (así mismo no hubo efectos significativos en el rendimiento de V_{cp}/ha).

Por último, si se observa la desviación estándar de los esquemas de podas, nos encontramos con que los esquemas F y MF presentan las menores desviaciones, lo cual indica una mayor concentración de los datos alrededor de la media. En contraposición se encuentra el esquema de poda C con una desviación estándar muy amplia, mientras que el esquema S y MS asumen valores intermedios de desviación.

Consecuentemente, dado que no existe diferencias significativas entre ellos, los esquemas más severos F y MF tienden a equipararse volumétricamente con los demás, se asume que una de las razones, al igual que ocurre en la variable V/ha está dada por los años sin intervenciones de poda que influyeron en la recuperación volumétrica. En cambio, aquellos esquemas de poda que mantuvieron una mayor proporción de copa remanente a lo largo del esquema de poda, podrían generar ventaja competitiva. De acuerdo con Fassola et al. (1999), para una misma densidad los diámetros disminuyen con el aumento del porcentaje de remoción de copa verde, por lo tanto, una menor proporción de copa extraída, resultaría en mayores Incrementos en Dap , dado una mayor capacidad fotosintética, aumentando la tasa de crecimiento y, por lo tanto, mayor tasa de deposición de volumen de madera.

Sin embargo, no se lograron mejores resultados, excepto el esquema C, que pese a su menor altura de poda final, logro obtener un resultado similar, asumiendo que este rendimiento compensatorio (menos 3 metros de fuste podado), se logró dado que los árboles a la fecha de hoy se encuentran bajo dominio de árboles dominantes de menor calidad (no podados, debido a la falta de raleo). Como consecuencia, crecen con mayor velocidad debido a que sus copas son más grandes, enmascarando los posibles efectos que podrían generar los diferentes esquemas de poda.

Amateis y Burkhart (2011) señalan que los pinos sometidos a poda artificial responderán favoreciendo el crecimiento en altura a expensas del crecimiento en diámetro, presumiblemente para mantener la dominancia y la posición de la copa en el rodal mientras se reconstruye la capacidad fotosintética.

4.2 CALIDAD MADERA

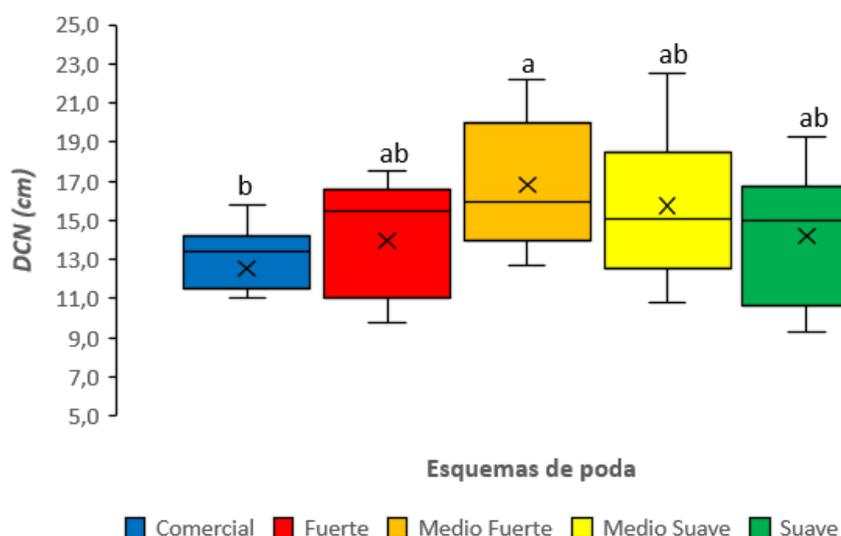
4.2.1 Diámetro cilindro nudoso

Los resultados indican que existen diferencias significativas en el diámetro del cilindro nudoso (anexo H), en los primeros tres metros del fuste, al comparar los distintos esquemas de podas evaluados.

En la Figura 38 se muestran los diámetros máximos promedios del cilindro nudoso los cuales corresponden a los primeros 3 metros de la troza basal.

Figura 38

Diámetros de cilindro nudoso de los distintos esquemas de poda evaluados.



Se aprecia que el *DCN* en los distintos esquemas de poda fue variable entre y dentro de los esquemas de poda. Dicha variación se puede observar a través de la amplitud de las cajas, es decir, el rango intercuartílico ($RI = Q3 - Q1$) de los distintos esquemas de poda, que representa la variabilidad del conjunto de datos para cada esquema de poda.

El esquema de poda que logró concentrar la mayor cantidad de datos de forma acotada en un rango mínimo fue el C ($RI = 2\text{ cm}$), seguido por los esquemas F y S ($RI = 4\text{ cm}$), mientras que los esquemas de poda MF y MS presentaron valores superiores ($RI = 5\text{ cm}$) aproximadamente, con la diferencia que el esquema de poda MF concentró el 50% de sus datos en valores superiores para la variable *DCN*, lo cual no es lo deseado.

En cuanto a los valores extremos mínimos, es decir, bigote inferior (X_{\min} , $Q1$), los esquemas de poda F y S presentaron los valores más bajos, los cuales se encuentran en torno a los 10 cm, seguidamente los esquemas de poda C y MS

presentaron valores intermedios aproximándose a los 11 cm, mientras que el esquema de poda MF presentó un valor de 13 cm aproximadamente, siendo el valor mínimo de su esquema de poda, pero el mayor entre los esquemas de podas evaluados.

Cuando comparamos los diferentes esquemas de poda según los valores extremos máximos, bigote superior ($X_{\text{máx}}$, Q3), los esquemas MF y MS sobresalen presentando valores que rondan los 22 cm, con una leve superioridad del esquema de poda MS, mientras que los demás esquemas presentan valores inferiores al mencionado (S= 19, F= 18 y C= 16 cm) respectivamente.

No obstante, se puede decir que el esquema de poda que presentó mejores resultados en cuanto *DCN* fue el C, los cuales se encuentran dentro del rango expuesto por Kurtz y Ferruchi (2000), quienes concluyeron que podando en tiempo y forma se obtiene, en esta especie, un cilindro defectuoso de 16 cm, que es lo deseado.

Seguidamente, los esquemas F y S fueron los que presentaron mejor respuesta para dicha variable, siendo esta comprendida entre 12-16 cm aproximadamente para ambos esquemas, pese a la diferencia de intervenciones e intensidad de podas.

Los valores obtenidos en los demás esquemas de podas están por encima de lo deseado y no coinciden con lo mencionado por Shepherd (1986), el cual señala que hay que mantener el *DCN* tan pequeño como sea posible mientras el árbol crece a una alta tasa, de modo de depositar la mayor cantidad posible de madera libre de nudos.

4.2.2 Proporción de madera libre de defectos.

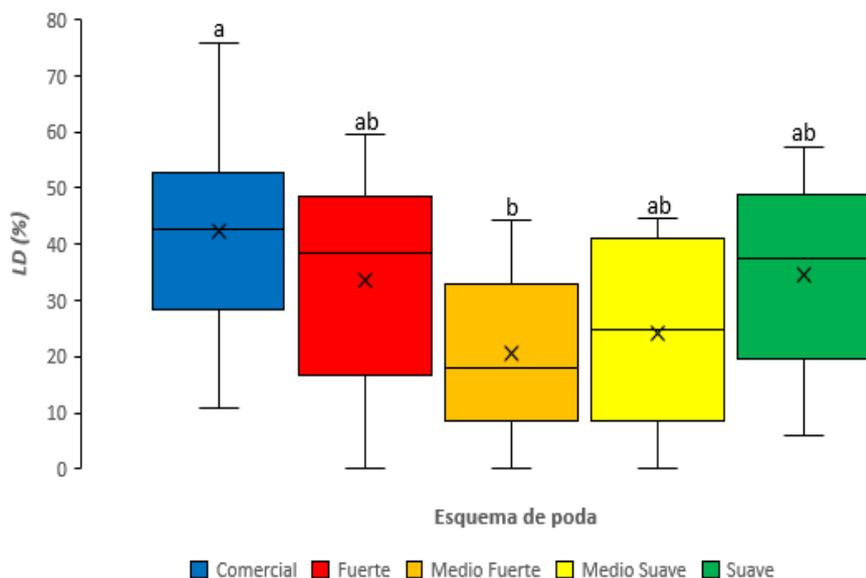
Con respecto a la proporción de madera libre de defectos, se observaron diferencias significativas entre los esquemas de poda, considerando los primeros tres metros del fuste (Anexo I).

El análisis estadístico para la variable *%LD* indica que existen diferencias entre los esquemas de podas estudiados (p -valor < 0,05). La prueba de Tukey mostró diferencias significativas entre los esquemas de podas C y MF precisamente.

En la figura 39 se muestra un gráfico de cajas y bigotes, el cual nos permite observar la variación entre esquemas de poda y dentro de cada uno. Se observa, que la mayor variación lo presenta el esquema MS y una menor variación el esquema F, siendo los esquemas de poda C, S y MF intermedio entre ambos.

Figura 39

Proporción libre de defectos de los distintos esquemas de poda evaluados.



La madera libre de defectos está expresada en porcentaje, notándose el menor valor 0 % en el extremo inferior de los esquemas F, MF y MS. Luego con un valor menor, pero superior a los esquemas anteriores, lo sigue el esquema S (9%), mientras que el esquema C presenta un valor extremo inferior que ronda entre 10-12%.

Respecto a los valores extremos superiores, se puede observar que el esquema de poda C fue el que presentó mayor valor (75% aproximadamente) y el menor valor (45%) lo comparten los esquemas de poda MS y MF, mientras que los esquemas F y S presentaron valores intermedios similares (60%) aproximadamente.

Por otro lado, entre los esquemas de podas el que logró concentrar el mayor %LD fue el C, ya que el 50 % de sus observaciones se encuentran entre 35 y 55 %, mientras que el esquema de poda MF presentó el menor %LD que ronda entre 15 y 35%. Los esquemas de poda S y F presentaron RI alrededor de 20%, concentrando el 50% de sus observaciones entre 25 y 40 %, mientras que el esquema de poda MS fue el de mayor dispersión, con un RI de 30%.

Por último, al observar las medias de los esquemas de podas, nos encontramos con que el esquema C y MS coinciden, dando la idea de que el 50 % de los valores superiores coinciden con el promedio de las observaciones, mientras que el esquema de poda MF presenta una media levemente superior a la mediana, siendo este el esquema con menor media (20%). Los esquemas restantes F y S presentan medias por debajo de la mediana, pero con un valor que ronda el 30%.

En cuanto al bajo %LD obtenido en los diferentes esquemas de poda puede estar atribuido a lo mencionado por Shepherd (1986), el cual dice que la producción de madera libre de defectos depende de la tasa de crecimiento de los árboles en el sitio en cuestión y la edad de dicho rodal. Cuanto mayor sea el periodo de tiempo entre la poda y la cosecha final, mayor será el %LD producido. Por otro lado, la realización de raleos es una operación esencial para la obtención de mayores rendimientos de madera clear, dado que se libera a los árboles seleccionados de competencia.

Cabe destacar que, independiente de la combinación de frecuencia e intensidades de poda de los diferentes esquemas, no se realizó raleos luego de implementar el ensayo de poda, asumiendo que en gran medida los bajos resultados obtenidos para la variable %LD son debido a la pérdida de crecimiento por competencia hasta turno final al omitir dicha práctica.

4.3 Deformaciones

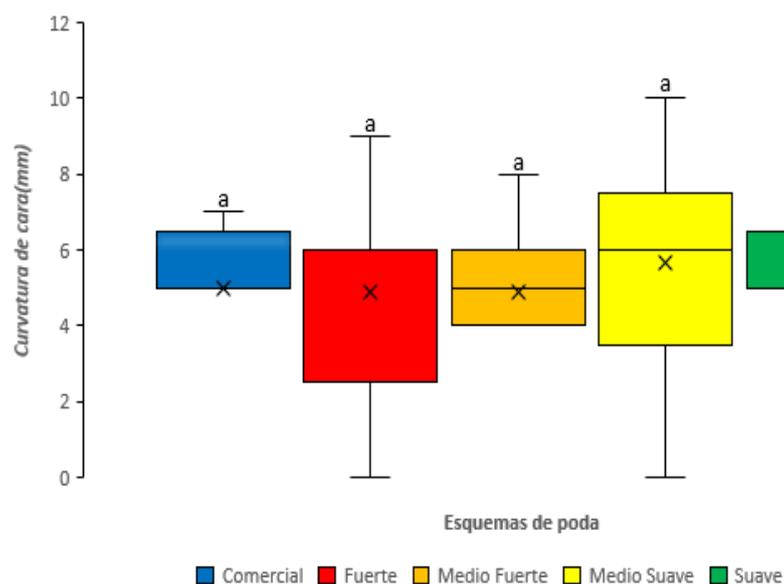
No se observaron diferencias estadísticamente significativas para las tres variables de deformación (curvatura de cara, torcedura y abarquillado) en relación a los esquemas de poda, según la prueba de Tukey (Anexos J, K, L). De todos modos, se observaron las posibles tendencias de variación para cada una de las variables que se describen a continuación.

4.3.1 Curvatura de cara

En la figura 40 es posible observar la variable curvatura de cara en relación con los diferentes esquemas de poda. Esta gráfica es muy útil para la comparación de los diferentes esquemas de poda, dado que nos permite tener una idea visual de la distribución de los datos.

Figura 40

Curvatura de cara con relación a los diferentes esquemas de poda.



Se observa que el esquema de poda C presenta un rango intercuartil (RI= cuartil 3-cuartil 1) similar al esquema de poda S, existiendo cierta tendencia que los esquemas de poda más leves concentran el 50% (Q1 a Q3) de su curvatura de cara en un rango menor en comparación con los demás esquemas de poda. Siendo el esquema de poda MF no tan contrastante con los mismos. Sin embargo, podemos contemplar que el esquema de poda S presenta un rango de distribución mayor de sus datos, presentando un valor extremo mínimo por debajo de 4 mm en relación al C y al MF. En cambio, el esquema de poda MF presenta un valor extremo superior de 8 mm en comparación con los demás esquemas mencionados, que rondan por debajo de ese valor.

Si comparamos los esquemas de poda F y MS, dado que son los dos esquemas que presentan mayor variabilidad de sus datos, es decir, mayor dispersión en la distribución de los mismos, podemos observar que el esquema de poda MS presenta un rango RI mayor que el esquema de poda F, donde los valores de Q1 y Q3 son 3 mm y 7 mm respectivamente, siendo el RI la diferencia entre ambos, con un valor 4 mm para el esquema MS y un valor de 3 mm para el F. Del mismo modo, presenta un valor máximo superior (10 mm) en comparación con el esquema de poda F (9 mm). Esto permite observar que el esquema de poda MS brinda datos de curvatura de cara más heterogéneos en comparación con el esquema de poda F.

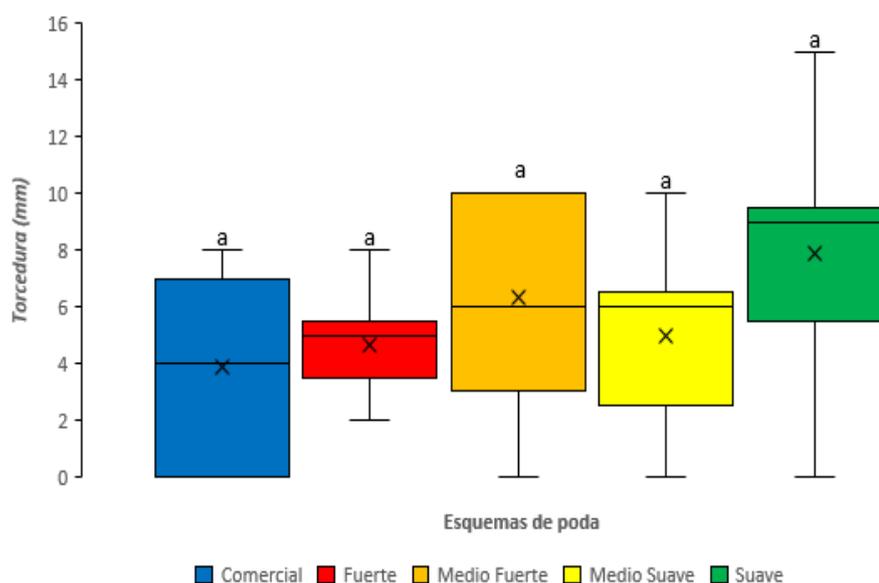
Respecto a la mediana de dichos esquemas de podas, tanto el esquema de poda MS como S presentaron asimetría negativa, dado que la mediana se acerca al Q3 y los datos se encuentran sesgados a la izquierda, esto indica que los datos se concentran en la parte superior de la distribución, presentando valores mayores de curvatura de cara.

4.3.2 Torcedura

En la figura 41 se presentan los resultados de torcedura según los esquemas de poda estudiados. De acuerdo a los resultados obtenidos, se observó que para todos los esquemas de poda la parte izquierda de la caja es mayor que la derecha, esto quiere decir que las torceduras comprendidas entre el (Q1) 25% y el (Q2) 50% de los datos están más dispersas que el (Q2) 50% y el (Q3) 75%, excepto el esquema de poda MF que presenta una leve tendencia de estar sesgado positivamente, concentrando la mayoría de sus datos de torcedura entre el (Q1) 25% y el (Q2) 50% a diferencia de los demás esquemas.

Figura 41

Torcedura con relación a los diferentes esquemas de poda.



En cambio, el esquema de poda C presentó una distribución con una tendencia próxima a la simetría, donde estuvo cerca que la media se igualara con la mediana, por lo tanto, existe el mismo número de datos a la derecha que a la izquierda aproximadamente con un rango RI de 7 mm.

Cuando comparamos todos los esquemas de poda según los valores de extremos mínimos, podemos observar que todos presentaron valor mínimo de 0 mm, excepto el esquema F= 2mm. En cambio, cuando comparamos los valores extremos máximos (bigote superior), los resultados fueron distintos, presentando el esquema de poda S el valor superior de 15 mm, seguidamente se encuentran los esquemas de poda MS y MF con un valor de 10 mm.

Se pudo, además, contemplar que los esquemas de poda C y F fueron los que presentaron valores extremos máximos inferiores con un valor de 8 mm en comparación con los demás esquemas de poda.

Por otro lado, si tomamos como referencia el RI (Q3-Q1) de cada uno de los esquemas de poda, obtenemos que el esquema de poda F fue de= 2 mm, es decir, el 50% de sus datos está comprendido en una diferencia de 2 mm.

Esto lo torna más admisible en término de deformación para torcedura en comparación con los demás esquemas, dado que este tipo de deformación en la clasificación de madera aserrada de uso estructural según la norma UNIT 1261:2018 nos dice que: ≤ 1 mm por cada 25 mm de ancho (EC1) y ≤ 2 mm por cada 25 mm de ancho (EC2) (UNIT, 2018). Sumando la ventaja de poder clasificar todas las tablas de dicho esquema de poda como de primera calidad.

Seguidamente, los esquemas de poda que presentan menores rangos RI son el S y MS, S= 4 mm y MS= 4 mm, con la diferencia que el esquema de poda S presenta mayor dispersión (variabilidad). Esto es, entre el intervalo (Q2) 50% y el (Q3) 75% de los datos que se encuentran concentrados los valores de deformación para dicho esquema.

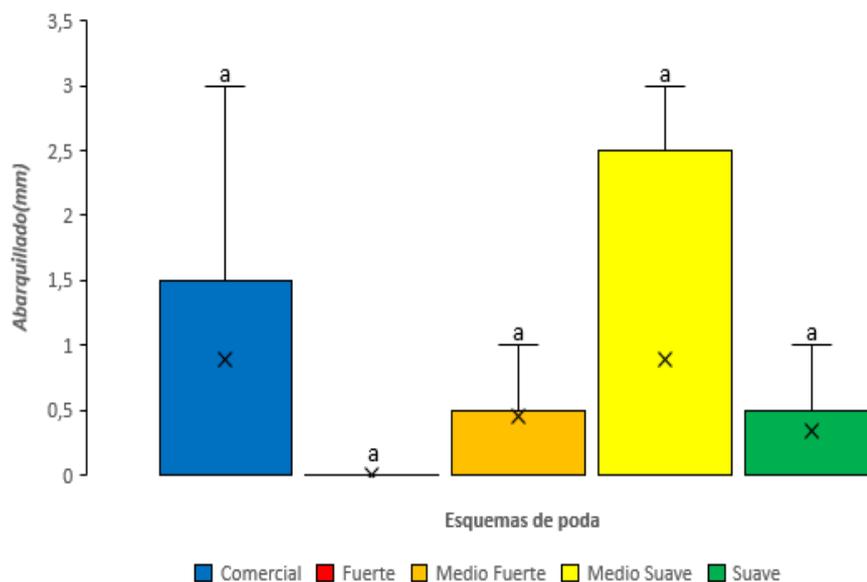
No obstante, hay que destacar que el esquema de poda MS se comporta de igual forma, pero con la concentración de sus datos en valores inferiores de torcedura, como también el rango entre bigotes es inferior (0 mm a 10mm).

4.3.3 Abarquillado

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para el abarquillado en relación a los diferentes esquemas de podas aplicados (Figura 42). Cabe resaltar, que de las tres deformaciones evaluadas fue la que se presentó en menor frecuencia del total de tablas seleccionadas para el estudio, por lo que la gran mayoría de las tablas presentó valor 0 mm.

Figura 42

Abarquillado con relación a los diferentes esquemas de poda



Tomando como referencia el RI de los diferentes esquemas de poda, podemos observar que todos parten de 0 mm, no presentando valores extremos mínimos significativos, debido a lo mencionado anteriormente.

El esquema de poda MS fue el que presentó mayor RI= 2,5 mm, siguiéndolo el C= 1,5 y tanto el esquema de poda MF como S presentaron el mismo RI= 0,5. Sin embargo, el esquema de poda fuerte no expresó valores de deformación para el abarquillado para realizar la comparación con los demás esquemas.

Tomando como referencia los valores máximos superiores, podemos observar que los esquemas de poda C y MS son los que asumen los mayores valores (3 mm). En contraposición se encuentran los esquemas de poda MF y S los cuales asumen valores de (1 mm) y por último se encuentra el esquema de poda F el que no expresa resultados.

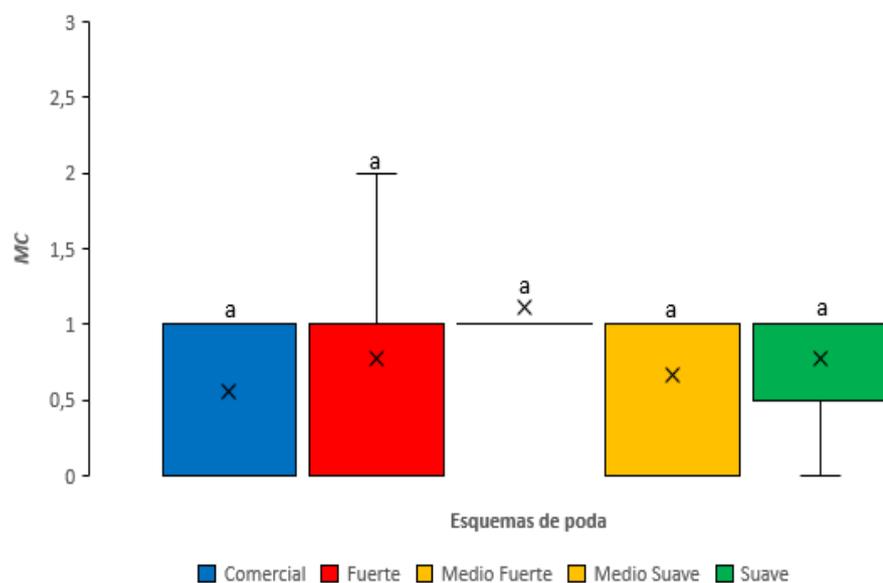
4.4 MC

No se observaron diferencias significativas entre medias de *MC*, según la prueba de Tukey, para los diferentes esquemas de podas evaluados (Anexo M).

Como se observa en la figura 43, los esquemas de poda C, F y MS presentaron igual RI para la variable *MC* que va de 0 a 1. Logrando diferenciarlos según la tendencia de sus medias, donde el esquema de poda F presenta mayor media, como también el mayor valor extremo superior (2) con relación a los demás. Luego lo sigue el esquema de poda MS y por último el C con su respectiva media.

Figura 43

Clasificación de tablas para madera de compresión, según categorías del 1 al 4 en los diferentes esquemas de poda.



En cambio, el esquema de poda S presenta una distribución de sus datos más acotada, concentrándose en un rango de 0,5 a 1, dejando en evidencia un valor extremo inferior de 0. Esto permite apreciar que la mayoría de los individuos de dicho esquema de poda presentaron *MC*, con excepción de una tabla que categorizó como 0.

En cuanto al esquema de poda MF que es el más contrastante visualmente, se observó que la totalidad de los datos obtenidos para la variable *MC* se encuentran dentro de la categoría 1, con excepción de un dato, el cual entró dentro de una categoría mayor y con eso hizo variar la media hacia arriba.

Por último, al observar estos resultados, se puede asumir que el esquema de poda que sufrió mayor impacto negativo por causa de la *MC* fue MF, dado que

la totalidad de sus individuos seleccionados y evaluados presentaron *MC*. A este último esquema de poda lo sigue el *S* a efectos negativos causados por la *MC*.

4.5 Correlación *MC* y deformaciones

Las variables bajo estudio de correlación no presentan distribución normal, por ese motivo se procedió a realizar el coeficiente de correlación de orden de rangos de Spearman (*Rho*). (Tabla 6).

Tabla 6

Correlación de MC con cada deformación (Spearman)

Variable 1	Variable 2	Coeficiente Spearman (ρ)	de p-valor
MC	Curvatura de cara	0.29	0.0577
MC	Torcedura	0.26	0.0822
MC	Abarquillado	0.13	0.4022

Los resultados de la investigación revelan que ninguna de las variables de deformación (variable 2) presentan asociación con la variable *MC*.

Al interpretar los datos de las muestras de tablas seleccionadas, se observó que las tres variables de deformación (curvatura de cara, torcedura y abarquillado) presentan un p-valor mayor a 0,05 con lo cual se rechaza la hipótesis alterna y se acepta la hipótesis nula, que dice que la variable *MC* no presenta asociación (correlación) con las tres variables mencionadas.

No obstante, si se observa solamente el *Rho* de Spearman, se puede asumir ciertas tendencias en algunos casos. Se tiene que la curvatura de cara presenta una asociación positiva y significativamente débil ($\rho = 0,29$) con respecto a la variable *MC*, la cual es levemente superior a la deformación de torcedura ($\rho = 0,26$).

Con respecto a la deformación de abarquillado, esta presentó un valor inferior ($\rho = 0,13$), con una probabilidad de error del 40% (p-valor 0,4022) en comparación con las demás variables.

Por este motivo, se podría asumir que la curvatura de cara se encuentra relacionada con la *MC* en mayor medida que las demás variables.

La no significancia de la relación entre *MC* y las deformaciones, puede estar explicado por, la poca ocurrencia de *MC* en el ensayo de estudio, donde la mayoría de las trozas muestreadas que presentaron *MC*, se encuentran como máximo en la categoría de manchas hasta 1/3 de la cara y las deformaciones entraron en su totalidad en la clase de calidad visual EC1, con cero rechazos.

Generalmente este tipo de madera se relaciona con árboles inclinados y curvos, que son ocasionados en gran medida por terrenos inclinados y su propio peso. En este caso el área de estudio no presentaba pendiente, reduciendo esta posible causa.

Sin embargo, en rodales con árboles que crecen sin inclinación o con inclinaciones menores, también se puede encontrar *MC*. Por ese motivo, se buscó otra posible causa en el ensayo que minimice la ocurrencia de *MC* y que explique esta nula asociación con las variables de deformación, dado que algunos autores relacionan que este factor se asocia con deformaciones a nivel industrial (Pillow & Luxford, 1937).

Por esta razón, al hecho podría estar explicado por el poco o casi nulo raleo realizado en el ensayo. Dicha práctica silvícola se realizó solamente antes de instalar el ensayo de poda, llevando la densidad de 850 árboles/ha a 650 árboles/ ha aproximadamente.

Timell (1986) expresa que el raleo causa un aumento en la tasa de crecimiento, y las prácticas que sirven para acelerar la tasa de crecimiento al mismo tiempo dan como resultado un aumento indeseable en la incidencia *MC*. Al mismo tiempo menciona que los rodales de coníferas recientemente raleados han demostrado ser extremadamente susceptibles al daño por viento. Otros autores como Bamber y Burley (1983) también sostienen que la ocurrencia de *MC* es favorecida por los raleos debido al cambio de los fustes de su posición de equilibrio en el plano vertical.

Por lo anterior, se podría asumir que el factor ambiente y silvicultural redujeron en gran medida la ocurrencia de *MC* y por ese motivo no se encontró correlación con cada una de las variables de deformación.

5. CONCLUSIONES

La intensidad y frecuencia de podas ensayadas no tuvieron efectos significativos en la mayoría de las variables de crecimiento individual, en la calidad de la madera y en las posibles deformaciones en el aserradero, analizando el efecto acumulado de sucesivas podas a los 19,2 años del ensayo.

La falta de diferencias estadísticas entre medias puede deberse a una combinación de factores, como la densidad del rodal (escaso raleo), la capacidad de los árboles para compensar la pérdida de copa verde, interacción entre individuos (clases de copa) y las condiciones ambientales.

Los esquemas de poda tuvieron efecto sobre el V_{cp} individual, DCN y $\%LD$, encontrándose diferencias significativas entre los esquemas de poda.

Los tratamientos con mayor altura de poda (9 m) S, MF y MS, mostraron una acumulación significativamente mayor de volumen podado (V_{cp}) en comparación con el esquema C (6 m). Los resultados sugieren que estos esquemas de mayor rendimiento podrían ser más efectivos si se mejoran las condiciones de crecimiento y desarrollo de los árboles a través de raleos, lo que resultaría en una mayor producción de madera de calidad en el futuro.

Estos resultados resaltan la importancia de considerar cuidadosamente el esquema de poda utilizado en la gestión de los árboles, especialmente en términos de la producción y acumulación de V_{cp} , como también sobre la calidad y valor comercial de la madera obtenida.

En relación a la variable DCN , se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los distintos esquemas de poda evaluados en los primeros tres metros del fuste. El esquema de poda C demostró ser el más apropiado debido a que presentó el menor DCN . Cabe mencionar, que es deseable minimizar el DCN , ya que esto permitirá maximizar la cantidad de madera libre de nudos.

En cuanto al potencial de producción de madera libre de defectos ($\%LD$), se encontró que el esquema de poda C podría ser el más adecuado si se consideran trozas basales podadas de 3 m, porque presenta un menor DCN , el mismo está inversamente relacionado con el $\%LD$, lo que significa que cuanto menor sea el DCN , mayor será el $\%LD$.

Respecto a la madera de compresión, el esquema de poda que sufrió mayor impacto negativo fue el MF, dado que todos sus individuos presentaron MC . Por otra parte, se puede concluir que los esquemas de poda C y MS presentaron resultados similares, pero a su vez fueron los mejores resultados en comparación con los demás esquemas de poda.

Es importante tener en cuenta que la formación MC puede ser un problema significativo en la producción de madera, y que los esquemas de poda que reduzcan la incidencia de MC pueden ser beneficiosos para la industria maderera.

Por lo tanto, la selección de esquemas de poda dependerá de las necesidades y objetivos específicos de cada caso y será importante considerarla en futuros análisis y evaluaciones.

En síntesis, a partir de las variables estudiadas se observa que el esquema de poda MS se considera una alternativa interesante al haber obtenido mayor producción en V_{cp} individual y un resultado satisfactorio en la formación de MC en comparación con los demás esquemas. Otro esquema de poda que obtuvo efectos interesantes a ser considerado, aunque la altura de poda es menor y por lo tanto guarda menor V_{cp} , es el esquema C.

Como recomendación a futuro, se puede buscar identificar la correlación de manchas en las caras, con MC en tablas. Como también sumarle a la investigación regímenes de raleos comerciales que nos permitan conocer la influencia de los mismos en cantidades de MC .

Finalmente, los resultados obtenidos de esta investigación indican que no hay una asociación significativa entre la variable MC y las variables de deformación evaluadas. Se especula que la falta de conexión puede deberse a factores ambientales y silviculturales, en particular la falta de raleo en el ensayo, lo que pudo haber reducido la incidencia de MC en las muestras evaluadas.

Se recomienda la realización de investigaciones adicionales para determinar si estos hallazgos se mantienen en otros contextos y si hay otros factores que influyen en la asociación entre la MC y las variables de deformación en la madera de pino.

Los resultados de este trabajo aportan información para la toma de decisiones silviculturales orientadas a la industria maderera, ya que proporciona información útil para la selección de esquemas de poda que permitan maximizar la producción de madera de calidad y minimizar las posibles deformaciones en el aserradero. Además, la información generada puede servir como referencia para futuras investigaciones en condiciones similares, del mismo modo complementar bases de datos existentes para nuevos estudios.

6. REFERENCIAS

- Amateis, R., & Burkhart, H. (2010). Impact of pruning intensity on growth of young loblolly pine trees: Some early results. En John A. Stanturf (Ed.), *Proceedings of the fourteenth biennial southern silvicultural research conference* (pp. 51-54).
<https://www.researchgate.net/publication/302557945>
- Amateis, R. L., & Burkhart, H. E. (2011). Growth of young loblolly pine trees following pruning. *Forest Ecology and Management*, 262(12), 2338-2343.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.08.029>
- Baker, J. B., & Langdon, O. G. (1990). *Pinus taeda L. Silvics of North America* (Vol. 1). U.S. Department of Agriculture, Forest Service.
- Bamber, R. K. (2001). A general theory for the origin of growth stresses in reaction wood: How trees stay upright. *IAWA Journal*, 22(3), 205-212.
- Bamber, R. K., & Burley, J. (1983). *The Wood Properties of Radiata Pine*. Commonwealth Agricultural Bureaux.
- Banks, P. F., & Prev, M. J. (1976). Sawlog pruning regimes for *Pinus patula*, *P. elliotii* and *P. taeda* in Rhodesia. *South African Forestry Journal*, 99(1), 44-48. <https://doi.org/10.1080/00382167.1976.9630109>
- Barbour, R. J., Marshall, D. D., & Lowell, E. C. (2003). Managing for Wood Quality. En R. A. Monserud, R. W. Haynes, & A. C. Johnson (Eds.), *Compatible Forest Management* (pp. 299-336). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-94-017-0309-3_11
- Barnett, J. R., Gril, J., & Saranpää, P. (2014). Introduction. En B. Gardiner, J. Barnett, P. Saranpää, & J. Gril (Eds.), *The Biology of Reaction Wood* (pp. 1-11). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-10814-3_1
- Barnett, J. R., & Jeronimidis, G. (2009). *Wood quality and its biological basis*. Wiley-Blackwell.
- Bowyer, J. L., Haygreen, J. G., & Shmulsky, R. (2003). *Forest products and wood science: An introduction* (4th ed.). Blackwell.
- Brazier, J. D. (1977). The Effect of Forest Practices on Quality of the Harvested Crop. *Forestry*, 50(1), 49-66. <https://doi.org/10.1093/forestry/50.1.49>
- Bussoni, A., & Cabris, J. (2006). Regímenes silvícolas y retorno financiero para *pinus taeda* en las zonas litoral oeste y noreste de Uruguay. *Agrociencia (Uruguay)*, 10(2), 125-135.
- Bussoni, A., & Cabris, J. (2010). A financial evaluation of two contrasting silvicultural systems applicable to *Pinus taeda* grown in north-east Uruguay. *Southern Forests*, 72(3-4), 163-171.
<https://doi.org/10.2989/20702620.2010.547268>
- Castaño, J. P., Giménez, A., Ceroni, M., Furest, J., & Aunchayna, R. (2011). *Caracterización agroclimatológica del Uruguay 1980-2009*. INIA.

- Chan Martín, M. H., Araujo Molina, O., & Azueta García, M. (2002). Los defectos naturales en la madera aserrada. *Ingeniería*, 6(1), 29-38.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46760104>
- Costas, R., Mac Donagh, P., Weber, E., Figueredo, S., & Irschick, P. (2004). Influencias de la densidad y podas sobre la producción de *pinus taeda* l. a los 7 años de edad. *Ciencia Florestal*, 15(3), 275-284.
- Costas, R., Mac Donagh, P., Weber, E., Irschick, P., & Palavecino, J. (2002). Efectos de la densidad de plantación y la altura de poda sobre la producción de *pinus taeda* a los 5 años de edad. *Revista Forestal*, 33(1), 79-87.
- Cown, D. J. (1973). Comparison of the effects of two thinning regimes on some wood properties of *radiata pine*. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 4(3), 540-551.
- Daniel, T. W., Helmis, J. A., Backer, F. S., Elizondo Mata, R., Sierra Pineda, A., & Yáñez Márquez, O. (1982). *Principios de silvicultura*. McGraw-Hill.
- DANK (2022, 14 de febrero). *Propiedades del Pinus taeda*.
<https://dank.uy/forestacion/#propiedades>
- Davel, M., & Sepúlveda, E. (2003). *Poda en Plantaciones de Pino Oregón* (Vol. 1). CIEFAP.
- Davel, M., Tejera, L., & Honorato, M. (2009). Poda y raleo a desecho en plantaciones de pinos. *Ciencia & Investigación Forestal*, 16(1), 73-76.
- Davis, C. P., Carrington, C. G., & Sun, Z. F. (2002). The influence of compression wood on the drying curves of *pinus radiata* dried in dehumidifier conditions. *Drying Technology*, 20(10), 2005-2026.
<https://doi.org/10.1081/DRT-120015581>
- Di Marco, E. (2014). *Pinus taeda* L. (*Pino taeda*, Pinotea, Pino Resinoso, Loblolly Pine) Familia Pinaceae. *Producción forestal*, 4(10), 28-30.
- Diaz-Vaz, J. E., Fernandez, A., Valenzuela, L., & Torres, M. (2007). Madera de compresión en *pinus radiata* d. don: I, características anatómicas. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 9(1), 29-43.
- Dirección General Forestal. (2021). *Cartografía Nacional Forestal 2021*. MGAP.
- Dirección General de Recursos Naturales. (2020, 10 de marzo). *Descripción de Grupos de Suelos*. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/politicas-y-gestion/coneat>
- Donaldson, L. (2008). Microfibril angle: Measurement, variation and relationships-a review. *IAWA Journal*, 29(4), 345-386.
- Donaldson, L. A., & Singh, A. P. (2016). Reaction Wood. En Y. S. Kim, R. Funada, & A. P. Singh (Eds.), *Secondary Xylem Biology* (pp. 93-110). Academic Press.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B978012802185900061>

- Duncker, P. (2014). Detection and Grading of Compression Wood. En B. Gardiner, J. Barnett, P. Saranpää, & J. Gril (Eds.), *The Biology of Reaction Wood* (pp. 201-224). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-10814-3_7
- Duncker, P., & Spiecker, H. (2009). Detection and Classification of Norway Spruce Compression Wood in Reflected Light by Means of Hyperspectral Image Analysis. *IAWA Journal*, 30(1), 59-70. <https://doi.org/10.1163/22941932-90000203>
- Evans, J. (1992). *Plantation forestry in the tropics: Tree planting for industrial, social, environmental, and agroforestry purposes*. Oxford University Press.
- Fassola, H. E., Fahler, J., Ferrere, P., Alegranza, D., & Bernio, J. (2002). Determinación del cilindro con defectos en rollizos podados de pinus taeda l. y su relación con el rendimiento en madera libre de nudos. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 31(1), 121-137.
- Fassola, H. E., Ferrere, P., Rodríguez, A. F., Alegranza, D., Hernández, A., Durán, M., & Reboratti, H. (1999). *Crecimiento de árboles dominantes en fase juvenil de Pinus taeda L en el NE de Corrientes sometidos a distintos tratamientos silvícolas*. INTA.
- 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.
- Hart, J. F. (2010). *A review of the effects of silviculture on wood quality*. University of British Columbia.
- Instituto Uruguayo de Normas Técnicas (2018). *Madera aserrada de uso estructural: clasificación visual: madera de pino taeda y pino ellioti (Pinus taeda y Pinus elliotii)*. (Norma técnica UNIT 1261:2018).
- Gartner, B. L., Robbins, J. M., & Newton, M. (2005). Effects of pruning on wood density and tracheid length in young douglas-fir. *Wood and Fiber Science*, 37(2), 304-313.
- Google. (2022). [Punta de cinco Sauces, Tacuarembó, Uruguay. Mapa]. Recuperado el 5 de marzo de 2022, de <https://goo.gl/maps/xGx95W9ZQ9naLTfG8>
- Gril, J., Jullien, D., Bardet, S., & Yamamoto, H. (2017). Tree growth stress and related problems. *Journal of Wood Science*, 63(5), 411-432. <https://doi.org/10.1007/s10086-017-1639-y>
- Hawley, R., & Smith, D. (1982). *Silvicultura práctica* (6ª ed.). Omega.
- Krall, J. P. (1970). Adaptabilidad de coníferas de Norteamérica plantadas en el Uruguay y su susceptibilidad a insectos y enfermedades. En Facultad de Agronomía (Ed.), *Boletín Departamento Forestal* (pp. 4-13).

- Krall, J. P. (1979). Informe sobre introducción de pinos. En Facultad de Agronomía (Ed.), *Segundas Jornadas Forestales* (pp. 50-54).
- Kretschmann, D. E. (2010). Mechanical Properties of Wood. En U.S. Department of Agriculture, Forest Service (Ed.), *Wood Handbook, Wood as an Engineering Material* (pp. 5-44).
- Kurtz, V. D., & Ferruchi, M. R. (2004). *Poda Forestal*. INTA.
- Kurtz, V. D., & Ferruchi, R. (2000). *La poda como parte de la estrategia para la obtención de madera de calidad*. INTA.
- Llic, J., Northway, R., & Pongracic, S. (2003). *Juvenile Wood Characteristics, Effects and Identification*. Forest & Wood Products Research & Development Corporation.
<https://www.yumpu.com/en/document/read/21011387/juvenile-wood-characteristics-effects-and-identification-literature->
- Maclaren, J. (1993). *Radiata pine growers' manual*. New Zealand Forest Research Institute.
- Maclaren, P. (2002). *Wood quality of radiata pine on farm sites: A review of the issues*. New Zealand Forest Research Institute.
- Malan, F. S., & Kassier, H. W. (2002). Abnormal compression wood in pinus taeda: A review of current knowledge and proposed future strategy. *Southern African Forestry Journal*, 194(1), 43-51.
<https://doi.org/10.1080/20702620.2002.10434590>
- Meneses, M., & Guzmán, S. (2000). Análisis de la eficiencia de la silvicultura destinada a la obtención de madera libre de nudos en plantaciones de pino radiata en Chile. *Bosque*, 21(2), 85-93.
<https://doi.org/10.4206/bosque.2000.v21n2-07>
- Methol, R. (2001). *Ensayo de intensidades de poda en Pinus taeda Y Pinus elliottii*. INIA.
- O'Neill, H., Tarigo, F., Cardoso, A., & Cagno, M. (2013). *Comportamiento mecánico de la madera de Pinus taeda y Pinus elliottii proveniente de plantaciones de rápido crecimiento para uso estructural en la construcción en el Uruguay*. Laboratorio Tecnológico del Uruguay.
- Ottone, J. R. (2005). *Árboles forestales: Prácticas de cultivo*. Orientación Gráfica.
- Pillow, M. Y., & Luxford, R. F. (1937). *Structure, occurrence, and properties of compression wood*. USDA.
- Posse, J. P. (2007). *Ensayo de poda en Pinus taeda en "La Tuna"*. En INIA Tacuarembó (Ed.), *Programa Nacional Producción Forestal: Silvicultura para madera sólida en eucaliptos y pinos* (pp. 7-11).
- Rachid Casnati, C., Mason Euan, G., Woollons, R., & Resquin, F. (2014). Volume and Taper Equations for P. taeda (L.) and E. grandis (Hill ex. Maiden). *Agrociencia (Uruguay)*, 18(2), 47-60.

- Rodríguez, C. A. (2007). *Evaluación de un ensayo de poda en Pinus taeda L. en Rivera: Etapa 1. Crecimiento e incremento en la edad de 6 años* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Schweitzer, V. R. (2016). *Origem do “lenho anormal de compressão” e efeitos sobre a qualidade da madeira de pinus taeda da região serrana desanta catarina* [Tesis de maestría]. Universidad Federal do Paraná.
- Seitz, R. A. (1995). *Manual de Poda de Espécies Arbóreas Florestais*. FUPEF.
- Shepherd, K. R. (1986). *Plantation silviculture*. Springer.
- Tarmian, A., Remond, R., Faezipour, M., Karimi, A., & Perré, P. (2009). Reaction wood drying kinetics: Tension wood in *Fagus sylvatica* and compression wood in *Picea abies*. *Wood Science and Technology*, 43(1-2), 113-130. <https://doi.org/10.1007/s00226-008-0230-5>
- Timell, T. E. (1986). *Compression wood in gymnosperms* (Vol. 1). Springer.
- Tocquard, K., Lopez, D., Decourteix, M., Thibaut, B., Julien, J.-L., Label, P., Leblanc-Fournier, N., & Roedel-Drevet, P. (2014). The Molecular Mechanisms of Reaction Wood Induction. En B. Gardiner, J. Barnett, P. Saranpää, & J. Gril (Eds.), *The Biology of Reaction Wood* (pp. 107-138). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-10814-3_4
- Valenti, M. A., & Cao, Q. V. (1986). A Comparison of the Effects of One-Step and Two-Step Pruning on Loblolly Pine Stem Form. *Southern Journal of Applied Forestry*, 10(4), 251-253. <https://doi.org/10.1093/sjaf/10.4.251>
- Van Der Sijde, H. A., Shaw, M., & Van Wyk, G. (1985). Reaction wood in *Pinus taeda*: A preliminary report. *South African Forestry Journal*, 133(1), 27-32. <https://doi.org/10.1080/00382167.1985.9629570>
- Wernsdörfer, H., Reck, P., Seeling, U., Becker, G., & Seifert, T. (2004). Erkennung und Messung des Reaktionsholzes bei Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.) mittels Verfahren der digitalen Bildanalyse. *Holz als Roh - und Werkstoff*, 62(4), 243-252. <https://doi.org/10.1007/s00107-004-0478-x>
- West, P. W. (2014). Pruning. En P. W. West (Ed.), *Growing Plantation Forests* (pp. 131-146). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-01827-0_9
- Wimmer, R., & Johansson, M. (2014). Effects of Reaction Wood on the Performance of Wood and Wood-Based Products. En B. Gardiner, J. Barnett, P. Saranpää, & J. Gril (Eds.), *The Biology of Reaction Wood* (pp. 225-248). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-10814-3_8

7. ANEXOS

Anexo A. Análisis de varianza y prueba tukey para la variable *Dap*

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
MODELO	4,24	6	0,71	0,83	0,5755
TRATAMIENTO	3,52	4	0,88	1,04	0,4438
BLOQUE	0,72	2	0,36	0,42	0,6682
ERROR	6,78	8	0,85		
TOTAL	11,02	14			

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	Categoría
FUERTE	29,27	3	0,53	A
MEDIO SUAVE	29,40	3	0,53	A
MEDIO FUERTE	29,98	3	0,53	A
COMERCIAL	30,28	3	0,53	A
SUAVE	30,52	3	0,53	A

Anexo B. Análisis de varianza y prueba tukey para la variable *Ht*

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
MODELO	2,19	6	0,37	0,99	0,4907
TRATAMIENTO	1,74	4	0,44	1,18	0,3890
BLOQUE	0,45	2	0,23	0,61	0,5674
ERROR	2,96	8	0,37		
TOTAL	5,15	14			

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	Categoría
FUERTE	19,92	3	0,35	A
COMERCIAL	20,44	3	0,35	A
MEDIO SUAVE	20,48	3	0,35	A
SUAVE	20,73	3	0,35	A
MEDIO FUERTE	20,93	3	0,35	A

Anexo C. Análisis de varianza y prueba tukey para la variable AB/ha

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
MODELO	0,02	6	3,0E-03	0,53	0,7712
TRATAMIENTO	0,01	4	3,4E-03	0,60	0,6737
BLOQUE	4,5E-03	2	2,2E-03	0,40	0,6847
ERROR	0,05	8	0,01		
TOTAL	0,06	14			
TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	Categoría	
FUERTE	0,77	3	0,04	A	
MEDIO SUAVE	0,79	3	0,04	A	
MEDIO FUERTE	0,82	3	0,04	A	
COMERCIAL	0,84	3	0,04	A	
SUAVE	0,85	3	0,04	A	

Anexo D. Análisis de varianza y prueba tukey para la variable V_i

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
MODELO	0,01	6	2,4E-03	0,97	0,4983
TRATAMIENTO	0,01	4	2,8E-03	1,11	0,4140
BLOQUE	3,5E-03	2	1,7E-03	0,70	0,5259
ERROR	0,02	8	2,5E-03		
TOTAL	0,03	14			
TRATAMIENTO	Medias	N	E.E.	Categoría	
FUERTE	0,54	3	0,03	A	
MEDIO SUAVE	0,56	3	0,03	A	
COMERCIAL	0,59	3	0,03	A	
MEDIO FUERTE	0,60	3	0,03	A	
SUAVE	0,61	3	0,03	A	

Anexo E. Análisis de varianza y prueba tukey para la variable V/ha

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
MODELO	2,21	6	0,37	0,66	0,6822
TRATAMIENTO	1,62	4	0,41	0,73	0,5964
BLOQUE	0,59	2	0,30	0,53	0,6066
ERROR	4,45	8	0,56		
TOTAL	6,66	14			
TRATAMIENTO	Medias	N	E.E.	Categoría	
FUERTE	6,03	3	0,43	A	
MEDIO SUAVE	6,36	3	0,43	A	
COMERCIAL	6,73	3	0,43	A	
MEDIO FUERTE	6,77	3	0,43	A	
SUAVE	6,95	3	0,43	A	

Anexo F. Análisis de varianza y prueba tukey para la variable *Vcp*

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
MODELO	0,03	6	4,3E-03	4,62	0,0255
TRATAMIENTO	0,02	4	0,01	6,70	0,0114
BLOQUE	8,4E-04	2	4,2E-04	0,45	0,6514
ERROR	0,01	8	9,3E-04		
TOTAL	0,03	14			

TRATAMIENTO	Medias	N	E.E.	Categoría
SUAVE	0,45	3	0,02	A
MEDIO FUERTE	0,44	3	0,02	A
MEDIO SUAVE	0,43	3	0,02	A
FUERTE	0,41	3	0,02	AB
COMERCIAL	0,34	3	0,02	B

Anexo G. Análisis de varianza y prueba tukey para la variable *Vcp/ha*

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
MODELO	5182,53	6	863,76	2,39	0,1264
TRATAMIENTO	4119,60	4	1029,90	2,85	0,0968
BLOQUE	1062,93	2	531,47	1,47	0,2857
ERROR	2890,40	8	361,30		
TOTAL	8072,93	14			

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	Categoría
MEDIO SUAVE	267,67	3	10,97	A
SUAVE	251,33	3	10,97	A
MEDIO FUERTE	247,33	3	10,97	A
FUERTE	241,67	3	10,97	A
COMERCIAL	216,67	3	10,97	A

Anexo H. Análisis de varianza y prueba tukey para la variable DCN

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
MODELO	57,87	6	9,64	3,55	0,0511
TRATAMIENTO	38,27	4	9,57	3,52	0,0611
BLOQUE	19,60	2	9,80	3,61	0,0764
ERROR	21,73	8	2,72		
TOTAL	79,60	14			

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	Categoría
MEDIO FUERTE		3	0,95	A
MEDIO SUAVE		3	0,95	AB
SUAVE		3	0,95	AB
FUERTE		3	0,95	AB
COMERCIAL		3	0,95	B

Anexo I. Análisis de varianza y prueba Tukey para la variable %LD

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
MODELO	1127,73	6	187,96	3,27	0,0623
TRATAMIENTO	895,60	4	223,90	3,90	0,0481
BLOQUE	232,13	2	116,07	2,02	0,1947
ERROR	459,20	8	57,40		
TOTAL	1586,93	14			
TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	Categoría	
COMERCIAL	42,33	3	4,37	A	
SUAVE	34,67	3	4,37	AB	
FUERTE	33,33	3	4,37	AB	
MEDIO SUAVE	24,33	3	4,37	AB	
MEDIO FUERTE	20,67	3	4,37	B	

**Anexo J. Análisis de varianza y prueba Tukey para la variable
curvatura de cara**

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
MODELO	15,87	6	2,64	1,80	0,2157
TRATAMIENTO	8,27	4	2,07	1,41	0,3143
BLOQUE	7,60	2	3,80	2,59	0,1357
ERROR	11,73	8	1,47		
TOTAL	27,60	14			
TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	Categoría	
SUAVE	7,00	3	0,70	A	
MEDIO SUAVE	5,67	3	0,70	A	
COMERCIAL	5,33	3	0,70	A	
MEDIO FUERTE	5,00	3	0,70	A	
FUERTE	5,00	3	0,70	A	

Anexo K. Análisis de varianza y prueba Tukey para la variable torcedura

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
MODELO	45,47	6	7,58	1,88	0,2007
TRATAMIENTO	25,73	4	6,43	1,60	0,2658
BLOQUE	19,73	2	9,87	2,45	0,1483
ERROR	32,27	8	4,03		
TOTAL	77,73	14			
TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	Categoría	
SUAVE	7,67	3	1,16	A	
MEDIO FUERTE	6,33	3	1,16	A	
MEDIO SUAVE	5,00	3	1,16	A	
FUERTE	4,67	3	1,16	A	
COMERCIAL	4,00	3	1,16	A	

Anexo L. Análisis de varianza y prueba Tukey para la variable abarquillado

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
MODELO	3,33	6	0,56	1,01	0,4802
TRATAMIENTO	2,40	4	0,60	1,09	0,4228
BLOQUE	0,93	2	0,47	0,85	0,4633
ERROR	4,40	8	0,55		
TOTAL	7,73	14			
TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	Categoría	
COMERCIAL	1,00	3	0,43	A	
MEDIO SUAVE	1,00	3	0,43	A	
MEDIO FUERTE	0,33	3	0,43	A	
SUAVE	0,33	3	0,43	A	
FUERTE	0,00	3	0,43	A	

Anexo M. Análisis de varianza y prueba Tukey para la variable MC

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
MODELO	0,80	6	0,13	0,50	0,7930
TRATAMIENTO	0,27	4	0,07	0,25	0,9018
BLOQUE	0,53	2	0,27	1,00	0,4096
ERROR	2,13	8	0,27		
TOTAL	2,93	14			
TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	Categoría	
COMERCIAL	1,00	3	0,30	A	
SUAVE	0,67	3	0,30	A	
FUERTE	0,67	3	0,30	A	
MEDIO SUAVE	0,67	3	0,30	A	
MEDIO FUERTE	0,67	3	0,30	A	