



MAESTRIA EN CIENCIAS FORESTALES
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES

**“CRECIMIENTO DE *Prosopis alba* Griseb SOMETIDO A
DIFERENTES INTENSIDADES DE PODA”**

MARCOS ANTONIO ATANASIO
Ingeniero Forestal

Tesis presentada a la Universidad
Nacional de Misiones como
exigencia parcial de la Maestría en
Ciencias Forestales – Orientación
en Silvicultura y Manejo Forestal

Director: Ing. Ftal. Msc. **ERNESTO HÉCTOR CRECHI**

Co-Director: Ing. Ftal. **PEDRO DELVALLE**

Mayo, 2012


MAESTRIA EN CIENCIAS FORESTALES

 Orientaciones: Silvicultura y Manejo Forestal y Economía y Administración Forestal
 FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES - UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES

DEFENSA DE TESIS
FORMULARIO DE EVALUACION

TESISISTA (Apellido y Nombre)

ATANASIO, Marcos Antonio

TITULO DE LA TESIS:

"CRECIMIENTO DE Prosopis alba Griseb SOMETIDO A DIFERENTES INTENSIDADES DE PODA"

DIRECTOR/ ES DE LA TESIS (Apellido y Nombre)

Mgter. Ing. CRECHI, Ernesto Héctor

EVALUADORES de la TESIS (Apellido y Nombre)

Mgter. Ing. Ftal. Rios Norfol. Aristides

Mgter. Ing. Ftal. Friedl Ramón Alejandro

Mgter. Ing. Ftal. Crechi Ernesto Héctor

CALIFICACION (en número y letras)

9 (nueve)

Régimen de Calificaciones:

A: Excelente A: 9,0 a 10,0

B: Bueno B: 8,0 a 8,9

C: Regular C: 6,0 a 7,9

D: Insuficiente D: 0 a 5,9

OBSERVACIONES:

Leer las sugerencias entregadas y comunicadas como una propuesta para enriquecer el trabajo. Se requiere la elabore el mismo un artículo científico para su publicación.

Lugar y Fecha: Eldorado, Misiones, 17 de mayo de 2012

Firma y aclaración de los Evaluadores:



Mgter. Ing. Crechi Ernesto H.

Mgter. Ing. Friedl Ramón A.

Mgter. Ing. Rios Norfol A.

BERTONI 124 - KM 2 - C.P.Nº 3382-GB - EL DORADO, MISIONES - ARGENTINA - TEL: (0375) 503126/431100/431176 - FAX: (0375) 503126/431100/431176

e-mail: progrado@fcf.unm.edu.ar

web: www.fcfc.unm.edu.ar

ES COPIA FIEL DEL ORIGINAL

 Viviana Pinkaf
 asistente
 de la
 Defensora
 de los
 Consumidores

DEDICATORIA

Este trabajo le dedico a mi esposa Aurelia Lorena Soledad Pernochi por el cariño, el apoyo y la comprensión constantes a pesar de que este trabajo le ha quitado tiempo a la familia.

A mis padres Teresa García (Quien ya no está físicamente, pero siempre me acompaña) y Tomás Atanasio, también a todos mis hermanos, por motivarme al estudio y superación personal, por enseñarme que con dedicación y trabajo se pueden alcanzar las metas propuestas. Por entender que la búsqueda del progreso personal a veces demanda estar lejos de los seres queridos por largo tiempo.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a las personas que de alguna manera hicieron posible de llevar a cabo este trabajo:

Ing. Ftal. Pedro Delvalle de la Estación Experimental Agropecuaria – INTA, Colonia Benítez por permitirme la participación en este ensayo y la colaboración brindada para que este trabajo sea posible.

Ing. Ftal. Msc. Ernesto H. Crechi, de la EEA – INTA Montecarlo, por brindarme la orientación necesaria para llevar a cabo este trabajo.

A la institución en la cual desempeño mi trabajo (INTA - Colonia Benítez, Chaco), por brindarme la posibilidad de realizar el postgrado

SUMARIO

	Página
INDICE DE TABLAS.....	vii
INDICE DE FIGURAS.....	ix
GLOSARIO.....	x
LISTA DE ANEXOS	xi
RESUMEN.....	xii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo general.....	4
1.2 Objetivos específicos.....	4
CAPÍTULO 2. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA.....	5
2.1. Poda forestal.....	5
2.2. Modelos de crecimiento.....	11
CAPÍTULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
3.1. Ubicación geográfica y características de la forestación.....	12
3.2. Descripción del suelo.....	13
3.3. Caracterización climática.....	14
3.4. Diseño del experimento.....	15
3.4.1. Diseño experimental.....	15
3.4.2. Descripción de los tratamientos.....	16
3.4.3. Esquema de la unidad experimental (parcela).....	17
3.5. Variables.....	17
3.5.1. Variables provenientes de medición.....	17
3.5.2. Variables calculadas y analizadas.....	18
3.6. Hipótesis de investigación.....	19
3.7. Procesamiento y análisis de datos.....	19
3.7.1. Análisis de varianza y comparación de medias.....	19
3.7.2. Test de normalidad.....	20
3.7.3. Test de homogeneidad de varianza.....	20
3.7.4. Ajuste de funciones de crecimiento.....	20
CAPÍTULO 4. RESULTADOS.....	22
4.1. Diámetro a la altura del pecho.....	22

4.2. Ajuste de funciones de crecimiento del diámetro.....	27
4.3. Incremento anual e incremento periódico del DAP.....	29
4.4. Altura total.....	31
4.5. Ajuste de funciones de crecimiento de la altura total.....	35
4.6. Incremento anual e incremento periódico de la altura total.....	37
4.7. Brotes epicórmicos.....	38
4.8. Área basal	40
CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN.....	42
CAPITULO 6. CONCLUSIONES.....	48
CAPÍTULO 7. RECOMENDACIONES.....	49
CAPÍTULO 8. BIBLIOGRAFÍA CITADA.....	49
ANEXO 1.....	58
ANEXO 2.....	62
ANEXO 3.....	63
ANEXO 4.....	65
ANEXO 5.....	66
ANEXO 6.....	67
ANEXO 7.....	68

LISTA DE TABLAS

	Página
TABLA 3.1: Modelo de planilla utilizado para el relevamiento de datos.....	18
TABLA 3.2: Modelos de funciones de crecimiento de los árboles de <i>P. alba</i> en Sáenz Peña, Chaco.....	22
TABLA 4.1: Resultado del test de Shapiro-Wilks (modificado) sobre el DAP de los árboles a los 9 años.....	23
TABLA 4.2: Análisis de varianza de residuos absolutos del DAP (al año 6 después de la 1 ^{ra} poda) para testear homogeneidad de varianza.....	24
TABLA 4.3: Test de Homogeneidad de Varianzas Efecto: Tratamiento Año-6.....	23
TABLA 4.4: Síntesis del análisis de varianza y prueba de medias del diámetro para la fuente de variación tratamiento. Periodo de observación: años después de la 1 ^{ra} poda.....	25
TABLA 4.5: Distribución diamétrica en percentiles a los 9 años, de árboles de <i>Prosopis alba</i> sometidos a la primera poda a los 3 años y segunda poda a los 6 años.....	27
TABLA 4.6: Test de ecuaciones de crecimiento en DAP, de forma general.....	27
TABLA 4.7: Estadísticos de ajuste y coeficiente obtenidos, por tratamiento, del modelo seleccionado ($\ln \text{DAP} = b_0 - b_1 \cdot (1/t)$).....	28
TABLA 4.8: Análisis de varianza y prueba de medias del IA-DAP y IP-DAP en cm/año, para la fuente de variación tratamiento.....	29
TABLA 4.9: Resultado del test de Shapiro-Wilks (modificado) sobre la altura total de los árboles a los 9 años (6 ^{to} año después de la 1 ^{ra} poda).....	32
TABLA 4.10: Análisis de varianza de residuos absolutos de la altura total (a los 9 años de edad) para testear homogeneidad de varianza.....	32
TABLA 4.11: Síntesis del análisis de varianza y prueba de medias de altura total para la fuente de variación tratamiento. Periodo de observación: 6 años después de la primera poda.....	33
TABLA 4.12: Distribución de altura total en percentiles a los 9 años, de árboles de <i>Prosopis alba</i> sometidos a la primera poda a los 3 años y segunda poda a los 6 años.....	34
TABLA 4.13: Test de Ecuaciones de crecimiento en altura de forma general.....	35

TABLA 4.14: Test estadísticos y parámetros obtenidos con el modelo logístico para describir el crecimiento de la altura según tratamientos.....	36
TABLA 4.15: Incremento anual de la altura total en m/año, por tratamiento y periodo medición a partir de la instalación del ensayo.....	37
TABLA 4.16: Análisis de varianza y prueba de medias del número de brotes para la fuente de variación tratamiento.....	39
TABLA 4.17: Evolución del stock en área basal por hectárea (m ² /ha) por tratamiento con la edad y pruebas estadísticas, para <i>Prosopis alba</i>	41
TABLA 4.18: Incremento anual del área basal por hectárea (m ² /ha/año) por tratamiento y pruebas estadísticas de <i>Prosopis alba</i>	42

LISTA DE FIGURAS

	Página
Imagen 3.1: Mapa de Ubicación del ensayo en la Provincia del Chaco.....	12
Gráfico 3.1: Precipitación media mensual en la zona de Pcia. Roque Sáenz Peña (Fuente: Área de Meteorología EEA-INTA S. Peña).....	15
Gráfico 3.2 y 3.3: Altura de poda y copa remanente: primera y segunda poda.....	22
Gráfico 4.1 y 4.2: Q-Q plot normal; Predichos & residuos del DAP al 6 ^{to} año después de la poda.....	23
Gráfico 4.3 y 4.4: Diámetro medio por tratamiento posterior a la primera poda y segunda poda.....	25
Gráfico 4.5: Influencia de la intensidad de poda en el crecimiento del diámetro después de la 1 ^{ra} y 2 ^{da} poda.....	26
Gráfico 4.6: Evolución del DAP medio con la edad por tratamientos de intensidad de poda.....	28
Gráfico 4.7: Incremento periódico del DAP desde el inicio al 6 ^{to} año; promedios y error estándar por tratamiento.....	30
Gráfico 4.8: Líneas de Crecimiento anual del DAP, por tratamiento de poda.....	31
Gráfico 4.9 y 4.10: Q-Q plot normal; Predichos & residuos del DAP al 6 ^{to} año de control.....	34
Gráfico 4.11 y 4.12: Altura media por tratamiento posterior a la primera poda y segunda poda.....	34
Gráfico 4.13: Altura estimada según la edad con ecuación obtenida para cada tratamiento.....	36
Gráfico 4.14: Incremento periódico de la altura total por tratamiento, “letras distintas indican diferencias significativas”.....	38
Gráfico 4.15 y 4.16: número de brotes por tratamiento después de la primera poda y segunda poda.....	40
Imagen 4.1: Detalle ampliado de brotes epicórmicos posterior a la poda en tratamiento de 70% de intensidad de poda.....	40
Gráfico 4.17: Evolución del área basal (m ² /ha) por tratamiento con la edad.....	41

GLOSARIO

ANDEVA – análisis de varianza.

cm – centímetro.

CM – cuadrado medio.

CMError – cuadrado medio de los residuos.

CV% - coeficiente de variación en porcentaje.

DAP – diámetro del tronco a la altura del pecho (1,3 m de altura), llamado también diámetro normal.

EEA – estación experimental agropecuaria

IA – incremento anual.

INTA – Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

IIFA – Instituto de Investigaciones Forestales y Agropecuarias.

IP – incremento periódico.

F – estadística F.

gl – grados de libertad.

g – área basal individual.

\bar{g}_i – área basal media individual de la parcela *i*.

G_i – área basal.

ha - hectárea.

Km – kilómetro.

Kg – kilogramo.

Kcal – kilocaloría.

m – metro.

mm – milímetro.

m² – metro cuadrado.

m³ – metro cúbico.

$R^2_{ajust.}$ – coeficiente de determinación ajustado.

Syx% - coeficiente de variación de los residuos.

SC – sumatoria de cuadrados.

LISTA DE ANEXOS

	Pagina
ANEXO 1: INTA-EEA Sáenz Peña – Inventario y evaluación de tierras; resultados analíticos de los laboratorios de física y química – suelos.....	58
ANEXO 2: Imágenes que ilustran los tratamientos T1 y T4.....	62
ANEXO 3: Pruebas de normalidad y homogeneidad de varianza.....	63
ANEXO 4: Estadísticos de ajuste y parámetros por tratamiento y modelo (descripción del crecimiento del DAP en función de la edad).....	65
ANEXO 5: Test de normalidad: altura total.....	66
ANEXO 6: Test de homogeneidad de varianza del IA altura: año1 (transformados) y test de normalidad IA altura: año2 (transformados).....	67
ANEXO 7: Gráfico de Relación entre precipitación anual e incremento anual del DAP. Gráfico de precipitación en mm por año a partir de registros de un productor de la zona.....	68

RESUMEN

El algarrobo blanco "*Prosopis alba*" constituye una de las especies nativas de mayor importancia económica en la Región Chaqueña, en los últimos años se aprovecharon entre 70 y 90 mil toneladas de rollos de esta especie en la provincia del Chaco. Esta especie es promocionada para forestaciones comerciales en las provincias de Formosa y Chaco. El principal destino de su madera es para la fabricación de muebles y carpintería de obra, la práctica de poda en las forestaciones contribuye a mejorar la calidad de fuste de los ejemplares permitiendo obtener trozas más largas y producir madera libre de nudos. Con el objeto de determinar la influencia de la intensidad de poda sobre el crecimiento de *Prosopis alba* se analizaron datos provenientes de un ensayo instalado en una forestación de 3 años, en la Localidad de Presidencia Roque Sáenz Peña, Chaco, empleando un diseño de bloques al azar con cinco repeticiones y cuatro tratamientos de intensidades de poda expresados en porcentajes de la altura total de cada árbol (T1: testigo 0%, sin poda; T2, T3 y T4: poda al 30%, 50% y 70% de la altura total de los árboles, respectivamente). La poda se realizó una segunda poda repitiendo la misma intensidad en cada tratamiento a 6 años de plantación, la evaluación final que se realizó a los 9 años edad mostró que hubo influencia significativa de la intensidad de poda sobre el diámetro, la altura total, el número de rebrotes y el área basal. Coincidiendo con la bibliografía citada la variable más afectada por la poda fue el diámetro normal. El efecto de la intensidad de poda con respecto al testigo (sin poda) produjo una reducción de: 2,9% del diámetro y 6% del área basal, en el tratamiento de 30% de intensidad de poda; 16,9% del diámetro y 30,7% del área basal, en el tratamiento de 50% de intensidad de poda; 30,4% del diámetro y 51,7% del área basal, en el tratamiento de 70% de intensidad de poda. La emisión de brotes epicórmicos posterior a la poda fue muy importante en los árboles del tratamiento de mayor intensidad T4, no se encontraron árboles libres de brotes. La emisión de brotes fue menor después de la segunda poda.

Palabras claves: *Prosopis alba*, intensidad de poda, crecimiento, Chaco

CAPÍTULO 1. INTRODUCCION

El algarrobo blanco "*Prosopis alba* Griseb." es una de las mimosáceas argentinas de mayor importancia económica, es un árbol medianamente grande y muy coposo, caduco de hasta 18 m de altura en la madurez. Su tronco llega a medir de 25 a 150 cm de diámetro, generalmente torcido produciendo rollizos de escasa longitud, con frecuencia se ramifica a baja altura formando ramas gruesas. La corteza es pardo grisácea con fisuras oblicuas, pocos pronunciadas al ser raspada tiene un color castaño rojizo. La copa es amplia, redondeada, globosa de hasta 15 m de diámetro, con ramas delgadas largas, péndulas y tortuosas, con follaje fino y posee espinas pares en las axilas de las hojas. Las flores, dispuestas en racimos cilíndricos, amarillo-verdosos, péndulos, con 20 o más flores hermafroditas. El fruto es una vaina o chaucha chata, recta o curvada, de 12 a 15 cm de longitud, 1 a 2 cm de ancho y 5 mm de espesor, color amarillento, carnoso y dulce. Florece de septiembre a noviembre y fructifica de diciembre a febrero, se regenera por vía sexual y también rebrota de cepas (1). Su madera es dura semipesada (relativamente densa de 700 a 800 Kg/m³), de buena calidad, con albura blanca-amarillenta y duramen castaño violáceo, la textura y el grano medio le dan una apariencia muy decorativa. Tiene un alto poder calórico (5000 kcal/kg) produce buena leña y carbón. Es de fácil secado, tiene poco movimiento, lo que permite el trabajo en verde, dura para clavar y permeable a tratamientos de impregnación, buena respuesta al cepillado y con posibilidades de debobinar (2).

Se distribuye en gran parte del centro y norte del país (abarca todo el Parque Chaqueño, parte del Pampeano Puntano, El Espinal, Monte Occidental y Tucumano-boliviana) (1). También se encuentra en otros países como Paraguay, Uruguay, Brasil, Chile y Perú (3). En el Chaco semiárido y sub-húmedo es un componente normal del segundo estrato, además se lo encuentra en comunidades puras (algarrobales) en los bordes de cañadas, esteros o ciénagas. Es pionera en suelos degradados libres de pastoreo (4).

Es una especie heliófila y muy plástica, se adapta a diversos sitios, resiste condiciones de sequía comportándose como freatófilo, en estado adulto soporta bien

las heladas y puede soportar 1 a 2 meses de anegamiento. Tolera niveles bajos de salinidad (PH 6 a 8,5), se encuentran en distintos tipos de suelo pero se desarrolla mejor en franco-arenosos, suelto, bien drenado y profundo con precipitaciones de 200 a 1500 mm. En zonas secas se lo encuentra preferentemente a la orilla de cursos o espejos de agua, o en sitios con napa freática entre 10 y 15 m de profundidad (5). Es muy útil para constituir sistemas agroforestales, en masas puras o asociada a otros *Prosopis* y quebrachos, se adapta perfectamente en sistemas de producción silvopastoriles, su sistema radicular no es competitivo con gramíneas, permite que pasturas y cultivos prosperen bajo su dosel, además aporta nitrógeno y materia orgánica al suelo. Aparte de producir madera para diversos usos, es una especie melífera, el follaje y los frutos son forrajeros, el fruto se puede almacenar para épocas críticas, siendo también apto para consumo humano (6).

En la región semiárida argentina constituye uno de los más valiosos recursos naturales ya que es una de las especies nativas de mayor valor comercial en el mercado de la madera aserrada (7). En el Chaco su madera se usa principalmente en la mueblería debido a sus excelentes características físico-mecánicas y organolépticas, en carpintería de obra: como la construcción de marcos, puertas, ventanas, parquets, revestimientos y tirantes. Productos para carpintería rural: fabricación de mangas, bretes, casillas de operar y construcciones y viviendas rurales, son usos muy frecuentes. Por su resistencia a la intemperie también fue utilizada junto al vinal para rodrigones y varillones, productos destinados al sostén de los viñedos (8). En Argentina más del 60% de los muebles de algarrobo son elaborados con madera de *Prosopis alba*. También se usa para elaboración de barriles de vino, hormas de zapatos y para la elaboración de artesanías (2). Por sus múltiples usos esta especie es una de las maderas nativas más explotadas en nuestra región, solo en el Chaco en los últimos años se aprovecharon entre 70 y 90 mil toneladas anuales de rollos de algarrobo según estadísticas de la Dirección de Bosques (9), esto provoca un fuerte deterioro de la misma en sus diferentes ambientes y que se torne escasa para la demanda industrial existente.

Dada su importancia económica, su gran rusticidad, plasticidad y buen comportamiento en la forestación con crecimientos promisorios para la región (10), esta especie es promocionada para la forestación por los gobiernos provinciales de

Chaco y Formosa estando incluida en el marco de la ley 26.432 (antes 25.080), además se producen plantines a precios promocionales para tales efectos. La superficie forestada en el Chaco supera las 4.000 has según datos del IIFA en Series Estadísticas de la Dirección de Bosques (9). Ante este panorama promisorio del creciente avance de la forestación con algarrobo blanco en la región es importante llevar a cabo estudios silvícolas que contribuyan al desarrollo de adecuadas prácticas de manejo, apuntando a la producción de madera de calidad. Al ser el algarrobo una especie heliófila que tiende a bifurcarse rápidamente a baja altura y teniendo en cuenta que su principal uso y más importante económicamente es la madera para la industria (muebles, pisos y molduras) se hace indispensable la práctica de poda en las forestaciones para mejorar la calidad de fuste de los ejemplares permitiendo obtener trozas más largas y producir madera libre de nudos.

El campo científico avanzó en diversas áreas del conocimiento sobre el algarrobo de las cuales se citan algunas experiencias: en reproducción de la especie Meyer et al., evaluaron tratamientos pregerminativos en semillas de *Prosopis alba* encontrando los mejores resultados con escarificado mecánico e inmersión en ácido sulfúrico (11), Pece et al., encontraron una relación lineal entre el número de semillas y la longitud de vaina de *Prosopis alba* (12); en genética, Ledesma et al., estudiando la productividad en Santiago del Estero de dos orígenes de algarrobo provenientes de Chaco y Santiago del Estero, encontraron que el origen de Chaco tuvo mejor desempeño en el crecimiento (13), López et al., estudiaron la variación genética de esta especie en Santiago del Estero sobre 57 familias de polinización abierta de 8 orígenes diferentes y encontraron comportamiento diferenciado de los orígenes y familias ensayadas (14); en biotecnología Vega et al., efecto de diferentes auxinas en la propagación agámica de individuos adultos del género *Prosopis*, mediante la técnica de acodos aéreos, logrando inducir la rizogénesis entre un 18 y 30% usando distintas concentraciones de reguladores de crecimiento (15); en tecnologías de la madera procesos de industrialización y secado: D'Augero et al., ejecutaron un programa de secado para tablas de la especie Algarrobo blanco de 1" de espesor, con temperatura no superiores a 70°, en tiempo de 10 días para alcanzar un contenido de humedad de 10% (16), entre otros, pero existe una carencia acerca de la conducción silvícola en forestaciones con esta especie en nuestra región. Se pretende aportar al conocimiento del manejo de la especie y brindar una herramienta necesaria a

productores, técnicos, profesionales e instituciones vinculadas al sector, a la hora de tomar decisiones en cuanto a la poda en forestaciones con esta especie. Además aportar para la conformación de programas de conducción que permitan planificar y optimizar las intervenciones en masa regulares de algarrobo blanco.

Cuando se practican podas, estas afectan el crecimiento en volumen y diámetro en proporción a su intensidad. La presencia de nudos vivos o muertos, además de dañar la calidad de la madera (modificando sus propiedades físicas y mecánicas), reduce su resistencia y hace disminuir su precio. La poda se realiza con el fin de obtener madera libre de nudos, aumentando la calidad del producto final, que de lo contrario, sólo producirían materiales de calidad inferior. La obtención de madera libre de nudos, así como el tamaño de los mismos, puede ser controlado por la intensidad, la edad de inicio y la frecuencia de la poda. Hay que considerar que la poda es una inversión hecha al principio de la rotación, mientras que los beneficios se lograrán en el futuro a través de precios diferenciales de la madera libre de nudos. Es importante al decidir podar, definir la intensidad y momento oportuno, según especie y sitio, para que no haya pérdida significativa de crecimiento de los árboles y con ello pérdida económica.

1.1 Objetivo general

El objetivo general de este estudio consiste en evaluar los efectos de diferentes intensidades de poda, efectuadas en dos oportunidades, sobre el crecimiento de plantas de *Prosopis alba* Griseb en forestación.

1.2 Objetivos específicos

- a) Evaluar el crecimiento en diámetro, altura y área basal de los árboles sometidos a diferentes tratamientos de intensidades de poda en la primera y segunda intervención aplicada a los 3 y 6 años de edad;
- b) Evaluar la emisión de brotes epicórmicos de las plantas sometidas a diferentes intensidades de poda, después de efectuada cada una de las intervenciones;
- c) Definir la intensidad adecuada de la poda en árboles de *Prosopis alba* con dos intervenciones efectuadas a los 3 y 6 años de edad.

CAPÍTULO 2. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 Poda forestal

La poda forestal también conocida como escamondo consiste en eliminar totalmente las ramas desde su nivel de exteriorización fuera de la corteza (17). Conforme a Hawley y Smith (18) la poda artificial se realiza con el objeto de aumentar la calidad del producto final, obteniéndose madera limpia en partes del tronco, que de otra forma se produciría material de calidad inferior.

Según Cozzo (17) la poda forestal puede clasificarse de acuerdo a los objetivos en: a) Poda sistemática o total, que consiste en suprimir las ramas que al no desprenderse solas rápidamente, van dejando en el interior de la madera el rastro de su base, que consiste en una marca estelar anatómica que se transforma en los nudos; estos aumentan de tamaño a medida que crece el diámetro de las ramas y el tronco. b) poda selectiva o de corrección del crecimiento, que consiste en suprimir algunas ramas vivas que están compitiendo con el eje central, y pueden dividirlo en dos, tres o más ejes secundarios, y de este modo impiden la formación de fuste largo, único, recto y maderable. Kurtz et al., (19) consideran que la poda consiste en la eliminación o supresión de las ramas del fuste, mediante un corte neto y limpio, por medio del empleo de herramientas adecuadas y a partir de un determinado diámetro y altura total de la plantación.

Muchas especies de rápido crecimiento, se desraman naturalmente antes de alcanzar gran diámetro, pero no siempre lo hacen de forma total y con la suficiente rapidez, como por ejemplo la *Araucaria angustifolia* y algunas especies de *Pinus*. La poda selectiva es más común aplicarla en las latifoliadas debido a que las bifurcaciones son comunes y atentan contra la rectitud y uniformidad del fuste. La poda sistemática o total es más común en coníferas pero también se aplica a latifoliadas (17). Además en el caso de las frondosas el hecho de podar es de gran importancia debido a que el volumen comercial y el valor de cada árbol son en gran parte controlados por la longitud del fuste (17)

Los nudos afectan la calidad de las maderas, en cuanto a su aspecto y presentación estética, disminuyen sus condiciones de trabajo y sus valores tecnológicos físico-mecánicos al perjudicar la homogeneidad anatómica de su estructura interna (17). Las podas tempranas hacen que el defecto de los nudos sea mínimo y localizado en el menor sector interior. Así cuanto antes se inicia la poda, menor será el volumen interior con huellas de nudos (17). Los nudos producidos mientras las ramas todavía viven se denominan *nudos vivos*, y se consideran como defectos menos graves en la madera que los nudos *muertos o negros* formados después de que las ramas mueren, estos últimos pueden romperse generando perforaciones (18). Según Larocca et al., (21) en “manejo intensivo de forestaciones de eucaliptos”, considerando los tipos de nudos mencionados, además de la necesidad de minimizar el diámetro del cilindro con defectos en la porción de fuste podado, lleva a que las podas deban realizarse a temprana edad e impliquen la remoción de ramas verdes. Clark (20) afirma que con el desarrollo alcanzado por los árboles al llegar al turno de corta, ese cilindro será de menor proporción en el volumen total de madera.

Cuando se efectúan podas tempranas el crecimiento puede resultar afectado, debido a la pérdida de superficie foliar, y por ende, capacidad de fotosintetizar (18). Generalmente la reducción del crecimiento se relaciona con la intensidad de poda pero la respuesta también depende de la calidad de sitio y del material genético (17).

La oportunidad e intensidad de la poda total depende de la especie, de su vigor vegetativo, de la calidad de sitio y de la densidad de la masa, cuanto más rápido se cierra el vuelo más temprano se puede proceder a podar, se podrán cortar ramas delgadas todavía verdes, aspecto importante para la economía de la operación (17). En Eucaliptus y pinos se recomiendan podas leves a edades tempranas si se busca producir madera de mejor calidad para aserrío, así se eliminan ramas vivas de escaso diámetro (Polli en 22 y 23). La intensidad de la poda es un compromiso entre el volumen del follaje que permanece y el que se retira; en general el tercio superior, a plena luz, es el que más participa de la elaboración de materia orgánica, el tercio intermedio lo hace con menos intensidad y el inferior (bajo sombreado) fotosintetiza en mínima proporción, pero su función respiratoria es de igual intensidad que los otros tercios de copa; de aquí que el follaje basal es menos productivo (17).

La intensidad ideal de poda, es aquella que no altere significativamente la tasa de crecimiento de la plantación, ni estimule el desarrollo de yemas epicórmicas (24). Según Finger et al. (25) la ejecución de podas intensas en árboles jóvenes, permite dejar libre de nudos una gran porción de tronco con diámetro menor a 8 cm, otra ventaja es el mayor rendimiento en el trabajo de campo por el reducido diámetro de ramas y que también podrá deducirse en ventaja económica.

Sobre tratamientos de poda en esta especie, Navall y Senilliani (26) estudiando el crecimiento y calidad maderera en plantaciones de algarrobo blanco en el área de riego del Rio Dulce, Santiago del Estero; observan que la calidad de madera aumenta con la correcta aplicación de podas. Delvalle (27) estudió el comportamiento de un rodal natural de algarrobo blanco sometido a distintas intensidades de raleo y poda fija al 50% de la altura total, hallando que los raleos intensos mejoran el crecimiento en diámetro, y que la poda mejora la calidad del fuste sin afectar el crecimiento del árbol.

Hay una gran diversidad de antecedentes de poda sobre diferentes especies entre los que se citan algunos; Larocca et al., (21) ensayaron podas en árboles de eucaliptos de 5 m de altura total, encontraron que se podía podar hasta un 50% de la altura total sin afectar significativamente el crecimiento, pero si se supera esta proporción, además de afectar el crecimiento las plantas presentan brotes epicórmicos y quebraduras del fuste. Pinkard (28) estudió el efecto de 4 intensidades de poda (20, 40, 60 y 80% de remoción de copa) en *Eucalyptus nitens* en diferentes sitios, hallando que en el mejor sitio el incremento en diámetro fue más afectado que el de la altura en un corto periodo de tiempo después de la poda, en sitios menos productivos el crecimiento en diámetro y altura fue afectado de forma similar en un periodo de tiempo más extenso, esto puede ser por el grado de cierre que alcanza la canopia del rodal.

Muñoz et al., (29) estudiando el efecto de tratamientos de poda y raleo en *Eucalyptus nitens*, después de los 8 años de control hallaron que la poda no tuvo efecto significativo sobre el crecimiento de los árboles, independientemente del nivel de raleo. En cambio el raleo si influye significativamente sobre el crecimiento. En este estudio el tratamiento de poda más intenso es de 7 m (38% de la altura total),

otros sostienen que podas hasta el 50% de la altura total no afecta el crecimiento, Pulpolnik et al., (30) tampoco encontraron influencia significativa sobre el crecimiento en DAP, altura y volumen ensayando diferentes niveles de podas leves (hasta 3 metros de altura) en clones de *Eucalyptus grandis* podando a los 28 meses de edad, además observa una rápida recuperación de copa. Recomienda podar a edades tempranas si se busca producir madera de mejor calidad para aserrío, así se eliminan ramas vivas de escaso diámetro.

Pérez et al., (31) al estudiar los efectos de diferentes intensidades de poda en *Grevillea robusta*, hallaron que el crecimiento fue afectado significativamente al quitar ramas hasta el 70% de la altura total, además presentó importante emisión de brotes, las intensidades bajas de poda no afectaron el crecimiento en diámetro, el crecimiento en altura no se vio afectado por la intensidad de poda. Recomiendan podar hasta el 30% cada año o a una intensidad cercana al 50% de la altura media de cada rodal para intervalos de dos años, combinando así eficiencia silvícola y eficacia económica.

Keller et al., (32), estudiaron el efecto de la poda y el raleo en *Pinus taeda* de 11 años de edad, hallaron que para la densidad de 245 plantas por hectárea, tratamientos de poda con 50 % de remoción de la copa viva en 3 realces producen una disminución de la producción en área basal del 23 % frente al testigo sin poda, en tanto que para una remoción del 70 %, la disminución de la producción en área basal alcanzó un 32 %. La producción en volumen disminuyó un 22% y 31% comparando podas del 50 y 70%, respectivamente, frente al testigo sin poda. La eliminación del tercio inferior de la copa tiene menor repercusión en el crecimiento que podas más intensas. Analizando la influencia de la densidad y podas sobre la producción de *Pinus taeda* a los 7 años de edad, se encontró que los niveles altos de poda afectaron significativamente el crecimiento en diámetro, en área basal y el volumen individual fue significativamente mayor en los tratamientos de baja altura de poda, la altura media de los árboles no se vio afectada por la poda (33).

Amateis et al., (34) estudiando un tratamiento de poda con eliminación del 50 % de la longitud de copa viva contra testigo sin poda en *Pinus taeda*, observó que la disminución de volumen de copa pareció mayor a 50% en algunos árboles, esta grave

reducción en la capacidad fotosintética ha dado lugar a una descenso significativo del crecimiento en DAP y altura total a los 2 años después del tratamiento. También hubo diferencia significativa en la media del incremento periódico anual de anchura de la copa para la primera temporada de cultivo después del tratamiento. Los efectos de la poda fueron menos significativos en DAP y altura total el segundo año después del tratamiento, y no hubo diferencia en la expansión de la anchura de copa media. Esto sugiere que los árboles jóvenes inicialmente responden a la poda por la reconstrucción de la copa antes de la asignación de recursos para crecimiento en altura y diámetro. El efecto del tratamiento de poda en la forma del tallo y la conicidad parece ser insignificante para los árboles jóvenes. Ensayando esquemas de podas en plantaciones de Pino Oregón, Davel et al., (35) observaron que a medida que se incrementa la intensidad de poda se produce una disminución del crecimiento en diámetro y no se observó ningún efecto de la intensidad de poda sobre el crecimiento en altura.

Gibson et al., (36) evaluaron la influencia del raleo y la poda en la calidad de chapa de *Pinus taeda*, comparando tratamientos de raleo pre-comercial; poda; raleo con poda y control sin tratamiento. Encontraron que se obtiene un mayor rendimiento en volumen (pié cúbico) en el tratamiento “raleo con poda” en un 57% más que el control; a su vez el rendimiento en chapas secas fue mayor en tratamientos con raleo pre-comercial (69%) que el control (58%); el rendimiento en grado visual de chapa del tratamiento de poda fue un 236% mayor que el control. Mayores grados de calificaciones en chapas secas se dan en el tratamiento podado.

Desde el punto de vista económico la poda debe ser evaluada como una inversión, ya que se vuelve imprescindible a primera vista para producir madera con determinadas características cualitativas, el productor deberá decidir la aplicación o no de la poda en función de los costos de producción y del precio del producto final que obtenga. Considerando esto:

- los costos de la poda tienden a aumentar en el futuro, debido a una mejor remuneración de los trabajadores forestales;
- la madera de buena calidad, si extraemos de bosques nativos es cada vez más escasa. (Prácticamente ya no se consigue);

- como inversión la poda tiene un valor excepcional ya que es una actividad muy simple, puede ser realizado por personas con poca formación capacitándolas, no requiere de alta tecnología y dentro de ciertos límites de tiempo, puede ser considerado como muy flexible en su aplicación (24).

Las podas severas pueden ocasionar efectos adversos, tales como emisión de brotes epicórmicos y reducción del crecimiento: cuando la pérdida de ramas vitales es muy grande en relación a la copa viva, desequilibrando el balance entre absorción de agua por las raíces y necesidad de agua en las hojas, o cuando la parte inferior del tronco recibe súbitamente más luz, puede ocurrir un estímulo de yemas durmientes debajo de la corteza del tronco. Estas yemas son denominadas yemas epicórmicas, que originarán ramas o gajos epicórmicos, cuyos vasos no tienen conexión con la parte central del tronco. En la actividad forestal el principal problema de estos gajos es la depreciación de la madera, disminuyendo el valor futuro (24). Podas severas afectan significativamente el crecimiento en DAP, altura y volumen de los árboles llegando a ocasionar la muerte de individuos, señalado por Pires et al., (37) quienes ensayaron tratamientos de podas (0%, 12,5%, 25%, 50% y 75% de la copa viva) en *E. grandis* de 11 meses de edad. Observaron que después de 10 meses de aplicados los tratamientos, se redujo el crecimiento en DAP, altura y volumen en 26,8%, 28% y 45% respectivamente, comparando el tratamiento de mayor intensidad contra el testigo.

En distintas partes del mundo se ha estudiado la poda, hay una gran diversidad de experimentos de la comunidad científica, además de los citados en párrafos anteriores, otros autores como; Schmidt et al., (38), Hoppe et al., (39), Schneider et al., (40), De Montigny et al., (41), Montagna et al., (42), Grisez (43) y O'Hara et al., (44); Alcorn et al., (45), Floriano (46) en los cuales las conclusiones a las que arriban los autores coinciden en los siguientes puntos:

- a) Las podas intensas afectan significativamente el crecimiento en diámetro y estimulan la emisión de brotes epicórmicos.
- b) La altura total es poco afectada (con poda muy intensas), en muchos de los casos no se ve afectada. Una explicación de esto puede ser que el crecimiento en altura se soporta, principalmente, por la acción de reguladores de crecimiento e hidratos de carbono producidos en la copa del árbol, en las proximidades del ápice. Asimismo,

cuando hay una poda, parte de la copa localizada en estratos inferiores, sobre todo eliminando hojas en senescencia de la copa de los árboles, puede no comprometer sustancialmente la producción de hidratos de carbono, que son utilizados para el alargamiento del árbol (Kramer en 21).

c) Se recomiendan podas con intensidades no mayor al 50% de la altura del árbol para no afectar el crecimiento.

2.2. Modelos de crecimiento

Para describir el crecimiento de los árboles en función de la edad muchos investigadores recurren a modelos matemáticos que permiten luego realizar predicciones del crecimiento de las variables estudiadas. Polli (22), utilizó para evaluar el crecimiento de las plantas de *Eucalyptus grandis* sometidas a diferentes intensidades de poda artificial, el modelo $\ln x = b_0 + b_1 (1/I) + \varepsilon$ para las variables; diámetro normal (DAP), altura total (h) y volumen total (v). Juárez et al., (47) estudiaron el crecimiento de *Prosopis alba* sobre series dendro-cronológicas del leño en 10 ejemplares del Chaco Semiárido, comparando los ajustes logrados por los modelos Chapman-Richards y Logístico, obtuvieron errores estándares relativos menores para el modelo Logístico en árboles individuales y en el conjunto, la varianza de las áreas bajo las curvas de crecimiento ajustadas fue menor para el modelo Logístico, concluyendo que de acuerdo a los criterios de bondad de ajuste no era necesario trabajar con un modelo parametrizado como el Chapman-Richards, además esto dificulta las interpretaciones de los parámetros que tienen un sentido desde el punto de vista práctico.

Giménez et al., (48) ajustó la función polinómica de segundo grado para describir el crecimiento del algarrobo blanco en función de la edad. La función polinómica de segundo grado también fue utilizada para estudiar el crecimiento en función de la edad de *Prosopis nigra* por Gimenez et al., (49). Varios modelos fueron probados por Finger et al., (25) para describir el crecimiento de *Eucalyptus saligna* Smith: $y=b_0+b_1.t$; $y=b_0+b_1.lnt$; $\ln y=\ln b_0+b_1.lnt$; $y=b_0+b_1/t$; $y=b_0+b_1.t+b_2.t^2$; $y=b_0+b_1.t+b_2.t^2+b_3.t^3$; $y=b_0.b_1t$; $y=e(b_0+b_1.t)$; y $(y=b_0.exp(b_1.t))$, obteniendo el mejor ajuste con el modelo logarítmico para las variables diámetro y altura y con el

modelo exponencial para la variable volumen. Tonini (50) utilizó la función de Richards para describir el crecimiento de altura dominante en función de la edad.

CAPÍTULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación geográfica y características de la forestación

Este experimento se instaló en una forestación privada de algarrobo blanco de 40 hectáreas de superficie y 3 años de edad, con un distanciamiento inicial de la plantación de 3,5 m x 5 m (571 plantas/ha), con plantines producidos en el vivero provincial, semillas origen Villa Río Bermejito (Chaco), el año de plantación fue 1995, el periodo de duración del ensayo fue de 1998 al 2004, la instalación del mismo y recolección de datos lo llevaron a cabo técnicos de la Estación Experimental del INTA – Colonia Benítez con la colaboración de estudiantes de la carrera Ingeniería Forestal de la Universidad Nacional de Formosa. La ubicación geográfica del lugar de estudio es de $26^{\circ} 45' 5,8''$ de latitud Sur y $60^{\circ} 23' 49,9''$ de longitud Oeste; a 10 km de la ciudad de Presidencia Roque Sáenz Peña, sobre Ruta 95, Departamento Comandante Fernández, Provincia del Chaco.

Ubicación del Ensayo



Imagen N° 3.1: Mapa de Ubicación del ensayo en la Provincia del Chaco

3.2. Descripción del suelo

El área de estudio comprende dos series de suelo; denominadas Matanza e Independencia:

- La serie Matanza, que abarca los primeros bloques, es un argiustol údico que se encuentra en lomas medias tendidas, poco evolucionadas, de relieve normal. Tiene un horizonte superficial color pardo amarillento grisáceo, de textura pesada; un subsuelo pardo claro, textura pesada, que descansa sobre un material anaranjado claro, textura media, moderadamente salino. Medianamente provisto de materia orgánica; mediana a alta capacidad de retención de agua hasta los 180 cm de profundidad estudiados; neutro en superficie, débilmente ácido en subsuelo y ligeramente alcalino en el C; muy rico en calcio, magnesio y potasio; moderadamente alta capacidad de intercambio de cationes; bajo porcentaje de saturación de bases. Suelo moderadamente profundo con penetración efectiva de raíces hasta 1 m. Sus problemas principales son erosión hídrica moderada y perfil moderadamente salino. Suelo forestal apto para agricultura, Capacidades de Uso Clases II y III. El horizonte A varía entre 20 a 45 cm de espesor, textura media; el B entre 30 a 70 cm, textura pesada; el C se presenta a partir de los 55 a 100 cm de profundidad, con concentraciones de calcio a partir de los 80 a 130 cm, textura pesada, con 5 a 30% de durinódulos medianos y finos.

- La serie Independencia es un haplustol óxico que se encuentra en lomas tendidas que pertenecen a albardones fósiles sin evolucionar, de relieve normal. Perfil de textura media, con un horizonte superficial color pardo amarillento a grisáceo, que descansa directamente (no tiene subsuelo) sobre un material color anaranjado, cálcico. Moderadamente provisto de materia orgánica; mediana capacidad de retención de agua hasta los 175 cm de profundidad estudiados; medianamente ácido hasta los 45 cm, débilmente ácido hasta los 90 cm, neutro hasta los 120 cm y ligeramente alcalino hasta los 175 cm de profundidad; rico en calcio; bueno en magnesio; rico en potasio; medianamente alta capacidad de intercambio de cationes; alto porcentaje de saturación de bases. Suelo moderadamente profundo, la penetración efectiva de raíces de las plantas cultivadas puede llegar hasta alrededor de los 90 cm, a partir de cuya profundidad hay un ambiente tóxico producido por altas concentraciones de sodio intercambiable. Sus problemas principales son el

riesgo de erosión hídrica por pendientes de poco gradiente pero largas y el horizonte C sodificado. Suelo forestal que puede ser tratado como suelo agrícola con posibilidades de rendimientos comerciales, Capacidades de Uso Clases II y III según sus grados de erosión. Necesita control del escurrimiento superficial, mediante cultivos en líneas en contorno o bandas en contorno. El horizonte A varía entre 45 a 65 cm de espesor, textura media; el C se presenta a partir de dichas profundidades, con concentraciones de calcio a partir de los 85 a 120 cm de profundidad, textura media. Hay observaciones de campaña que señalan que en los primeros 30 cm del horizonte C hay entre 5 y 30% de durinódulos (Fuente: Carta de Suelos del Departamento Comandante Fernández, Chaco, (51)). Anexo 1: resultados analíticos de laboratorio de física y química de suelos. En general el suelo donde se halla la forestación tiene un alto grado de deterioro ocasionado por muchos años de monocultivo, sobre todo de algodón, según lo manifestado por los propietarios de la misma.

3.3. Caracterización climática

El clima de la región es Subtropical, intermedia entre marítima sub-húmeda y continental seca, con un régimen de lluvias asimétrica. Con alrededor de 70 lluvias concentradas entre octubre y abril, meses críticos con escasas precipitaciones (junio a agosto). Promedios anuales la serie 1924/07 son de 998,9 mm. La temperatura media anual es de 22,5 °C, Máxima 28,2 °C y Mínima 14,8 °C, con extremas de -8,7 °C en agosto y 44,2 °C en diciembre. Los días con peligro de Heladas Meteorológicas, van desde el 12 de mayo hasta el 26 de setiembre y de 174 días promedio/año en las Heladas Agro-meteorológicas, registradas a 0,05m sobre el nivel del suelo. En casi toda la región considerada la velocidad del viento es más elevada durante la primavera, más reducida en el otoño. Los vientos prevalentes son de los sectores NE y SE Los vientos del Sur son portadores de las bajas temperaturas en la masa de aire, eventualmente pueden producir lluvias ó lloviznas. Los vientos del Norte y Noreste son cálidos y húmedos ó secos, muchas veces, con el acompañamiento de temperaturas elevadas en el período Julio-Agosto-Setiembre. La humedad relativa media es de 72%. El mes más seco (menor humedad) es Septiembre (65 %). Los mayores promedios están en Abril-Mayo (79-78 %).

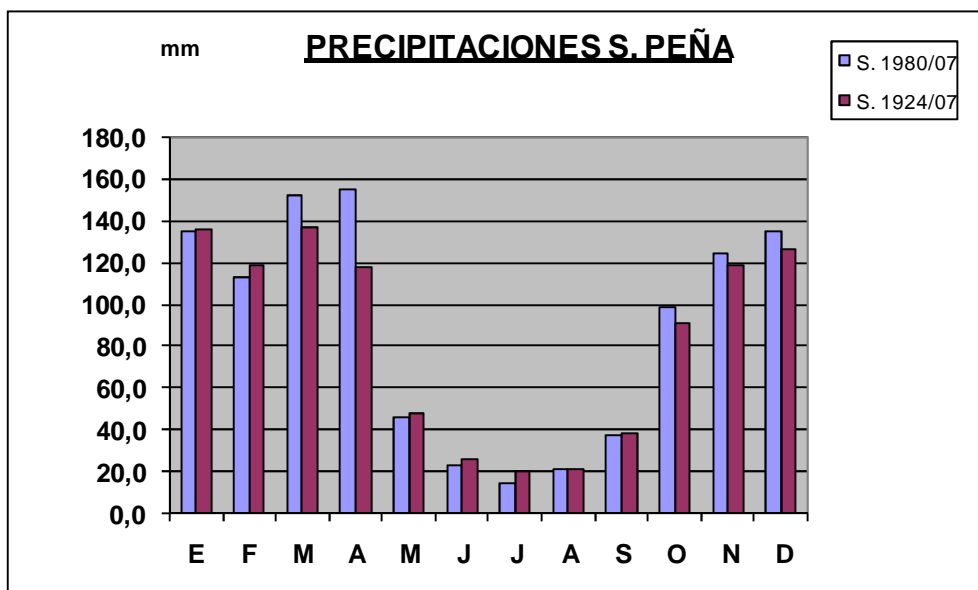


Gráfico 3.1: Precipitación media mensual en la zona de Pcia. Roque Sáenz Peña
(Fuente: Área de Meteorología EEA-INTA S. Peña)

3.4. Diseño del experimento

3.4.1. Diseño experimental

El diseño utilizado en el ensayo es de bloques completos al azar, con cuatro tratamientos y cinco repeticiones, el modelo estadístico utilizado es el siguiente:

$$\gamma_{ij} = \mu + t_i + \beta_j + e_{ij}$$

Donde:

γ_{ij} = valor observado de la variable respuesta correspondiente al nivel (i) del factor intensidad de poda y al nivel (j) del factor bloque.

μ = media general.

t = efecto producido por el nivel i -ésimo de la intensidad de poda.

β = efecto producido por el nivel j -ésimo del bloque.

e_{ij} = error aleatorio con distribución $N(0; \sigma^2)$.

i = niveles de intensidad de poda (sin poda, 30% de la altura total, 50% de la altura total y 70% de la altura total).

j = numero de bloques (1, 2, 3, 4 y 5).

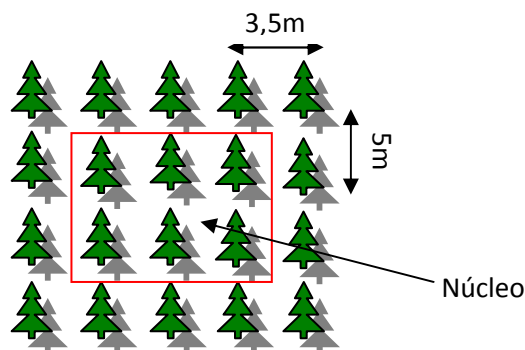
3.4.2. Descripción de los tratamientos

Para fijar la altura de poda se tomó el criterio de alturas variables (dada por el porcentaje de la altura de cada árbol), los tratamientos aplicados fueron los siguientes: T1-Testigo (sin poda); T2-poda al 30 % de la altura total, (se removió todas las ramas vivas hasta un 30 % de la altura total de los árboles); T3-poda al 50 % de la altura total, (se removió todas las ramas vivas hasta un 50 % de la altura total de los árboles) y T4-poda al 70 % de la altura total, (se removió todas las ramas vivas hasta un 70 % de la altura total de los árboles). La poda se efectuó en dos oportunidades; a los 3 años de la plantación la primera poda, a los 6 años la segunda poda. Anexo 2: Imágenes que ilustran tratamientos.

Se incluyó el factor bloque ante la posible variación de la masa debido a cambios en el medio, el terreno presenta una leve variación en sentido Este-Oeste. En todos los tratamientos y repeticiones se utilizó como unidad experimental una parcela de 20 árboles a los que se aplicó el tratamiento de poda que le correspondía por azar, en esta unidad experimental se diferenció el núcleo conformado por los 6 árboles centrales (donde se efectuaron las mediciones) y la bordura consiste en una fila de árboles alrededor del núcleo (constituida por los 14 árboles restantes). Los árboles del núcleo fueron enumerados correlativamente según la posición en que se ubican en la parcela del 1 al 6, además a los efectos de medir inequívocamente todos los años sobre la misma posición, cada árbol posee una marca con pintura aerosol (en forma de anillo) sobre la cual se midió el diámetro a la altura del pecho (DAP) a 1,30 metros del suelo. Después de la marcación de las parcelas y antes de efectuar la poda se efectuaron las mediciones del DAP y la altura total.

Las herramientas que se utilizaron para quitar las ramas fueron serrucho de podar y motosierra liviana para ramas gruesas, cortando al ras de la corteza, a los tres años de efectuada la poda se realizó un levante de poda siguiendo la intensidad de los distintos tratamientos y dejando el testigo sin poda, para ello se utilizó serrucho de podar.

3.4.3. Esquema de la unidad experimental (parcela)



Superficie de parcela: 350 m^2

Superficie de bloque: 1400 m^2

Superficie total del ensayo: 0,7 has.

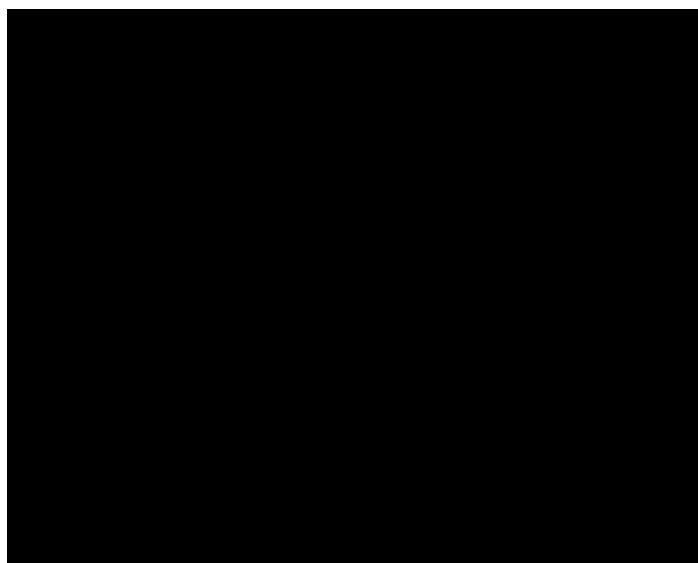
3.5. Variables

3.5.1. Variables provenientes de medición

Las variables respuestas de medición anual son: el diámetro a la altura del pecho (DAP) en centímetros medido a 1,30 m de altura sobre el nivel del suelo, utilizando cinta forestal (cinta diamétrica), de fibra de vidrio revestida con PVC, con una precisión al centímetro, y altura total en metros utilizando vara telescópica de fibra de vidrio con precisión al centímetro hasta los 7,10 m, y con clinómetro (Suunto) con precisión al decímetro para alturas mayores de 7,10 m. Para la variable brotes epicórmicos (expresada en número de brotes epicórmicos) se contabilizó en cada árbol los brotes secos y verdes presentes en la porción de fuste podado, tarea que se realizó a los 12 meses de efectuada cada poda y posteriormente se eliminó dichos brotes.

Para el registro de mediciones dasométricas en terreno se utilizaron planillas confeccionadas al efecto (tabla 3.6.1.) Una vez sorteados los tratamientos por bloque, se efectuó la medición de cada árbol, se determinó la altura a podar, se procedió a la poda, extrayéndose todas las ramas hasta la altura determinada.

Tabla 3.6.1: Modelo de planilla utilizado para el relevamiento de datos



3.5.2. Variables calculadas y analizadas

El incremento anual (IA) = $Y_2 - Y_1$; siendo $t_2 - t_1 = 1$ año;

$Y = \text{DAP (cm) o Altura total (m)}$.

Incremento periódico (IP) = $Y_2 - Y_1$; siendo $t_2 - t_1 = 6$ años;

$Y = \text{DAP (cm) o Altura total (m)}$.

El área basal individual (g) en m^2 de cada árbol se calculó mediante la expresión:

$$g = \pi \times d^2/4$$

Donde: $g = \text{área basal individual (m}^2\text{)}$; $\pi = 3,141593$ y $d = \text{diámetro (m)}$.

El área basal por hectárea (G_i) fue determinado multiplicando el área basal media individual (\bar{g}_i) por el número de plantas por hectárea de la parcela i ;

$G_i = \bar{g}_i \times N$.

Donde:

$$\bar{g}_t = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n g_t = \frac{g_1 + g_2 + \dots + g_n}{n}$$

Número promedio de brotes (verdes, secos y total) por árbol;

$$\bar{N}_t = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n N_t = \frac{N_1 + N_2 + \dots + N_n}{n}$$

Donde N es el número de brotes, (verdes, secos y total), por árbol.

3.6. Hipótesis de investigación.

Enunciado: “Como consecuencia de las distintas intensidades de remoción de copa viva de los árboles que constituyen las parcelas experimentales, es posible hallar efectos diferentes en el crecimiento de las unidades experimentales, verificables en el crecimiento del diámetro, en la altura total, en el área basal y en la emisión de brotes epicórmicos”.

Hipótesis nula.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$$

Hipótesis alternativa.

$$H_A: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4$$

(μ = media de la variable dependiente).

3.7. Procesamiento y análisis de datos.

Se procesaron los datos en planilla electrónica de cálculo, para las variables diámetro y altura total se analizaron los datos por año y para el periodo completo de medición, para la variable brotes epicórmicos se evaluaron los datos relevados al año de cada poda. Para cada análisis estadístico se utilizó el software Infostat (52).

3.7.1. Análisis de varianza y comparación de medias.

Se efectuó un análisis de varianza (para el nivel de significancia del 0,05 y 0,01) y la prueba de Fisher “F” para determinar la aceptación o rechazo de la hipótesis nula. Luego se evaluó la diferencia de medias entre grupos mediante la aplicación de la prueba de Tukey con nivel de significancia de 0,05. El análisis se efectuó para cada año de medición desde el inicio (3 años de edad) hasta el sexto año de medición (9 años de edad) para las variables diámetro, altura total, área basal y para el incremento anual de las mismas, luego para el incremento periódico (todo el periodo de tiempo estudiado). También se evaluó la distribución del DAP y la altura total en forma de percentiles a los efectos de mostrar la influencia de la poda sobre la misma.

3.7.2. Test de normalidad.

Una de las suposiciones para la aplicación de los test de F y de medias en el análisis de varianza es que los datos posean una distribución normal, de esta manera se verificó el cumplimiento del supuesto de normalidad mediante: 1) análisis gráficos Q-Q plot normal (diagrama de dispersión de residuos del modelo versus cuantiles teóricos de una distribución normal), 2) test de Shapiro-Wilks modificado, la estadística W de Shapiro-Wilks modificado presenta valores positivos y menores que 1, siendo más próximo a la normalidad cuanto es más próximo a 1, valores significativos en la prueba de W indican falta de normalidad, (53).

3.7.3. Test de homogeneidad de varianza.

Para verificar el cumplimiento de este supuesto se analizó gráficos de dispersión de residuos versus predichos, en los cuales indica que los errores son homocedásticos cuando se observa una nube de puntos sin patrón de distribución alguno, además se verificó este supuesto mediante la prueba de Levene si bien fue desarrollada para diseños completamente aleatorizados, según Balzarini et. al., (53) puede extenderse su uso a modelos más complejos, realizando el análisis de varianza usando como variable dependiente el valor absoluto de los residuos con una sola vía de clasificación (tratamientos). Las hipótesis que se someten a prueba son $H_0 = \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_a^2$ versus H_1 : al menos dos varianzas son distintas, donde σ_i^2 : es la varianza del tratamiento i , $i = 1, \dots, a$. Si el valor p del factor tratamiento de este ANDEVA es menor que el valor de significancia nominal se rechaza la hipótesis de homogeneidad de varianza. Los datos del número de brotes, por tratarse una variable de conteo cuya distribución puede asemejarse a una distribución de Poisson se realizó la transformación: $x = \sqrt{y + 3/8}$ por presentar una media pequeña $u_y < 3$, recomendada por Anscombe, 1948 (citado en 54). Para las variables que presentaron faltas graves a los supuestos del ANDEVA se utilizó transformaciones de datos a los efectos de estabilizar las varianzas principalmente (54).

3.7.4. Ajuste de funciones de crecimiento.

Para describir el crecimiento de los árboles en función de la edad se testearon diversos modelos lineales y no-lineales ampliamente utilizados por la bibliografía, el ajuste de funciones lineales se realizó mediante el método de los mínimos cuadrados,

y en funciones no-lineales con el algoritmo para el ajuste de estas funciones que utiliza el software estadístico InfoStat (InfoStat, 2011) a partir de valores iniciales seleccionados *ad hoc*. Los modelos evaluados se presentan en la tabla 3.2. Para la evaluación de los ajustes lineales se tuvo en cuenta el coeficiente de determinación ajustado ($R^2_{\text{ajust.}}$), que mide la proporción de la variación en Y que es explicada por la relación con X . cuanto más próximo a 1 mejor es el ajuste, el cuadrado medio de los residuos (CMError) y el coeficiente de variación de los residuos (Syx%), buscando que estos últimos sea lo más bajo posible. En el caso de los modelos no lineales se evaluó de acuerdo al CMError, el Syx%, y que el número de parámetros sea el menor posible (principio de simplicidad), que los coeficientes estimados no estén altamente correlacionados, también se utilizó el gráfico de dispersión de los residuos versus los valores predichos.

El valor de los residuos es calculado de la siguiente manera: $\hat{\epsilon}_i = Y_i - \hat{Y}_i$

Donde $\hat{\epsilon}_i$: residuo de la observación i ; Y_i : valor observado; \hat{Y}_i : valor estimado.

El $R^2_{\text{ajust.}}$ se obtiene a partir de la expresión: $R^2_{\text{ajust.}} = 1 - (1 - R^2) * [(n - 1)/(n - p)]$

Donde R^2 es el cociente entre la suma de cuadrados del modelo y la suma de cuadrados total, n es el total de observaciones y p el número de parámetros del modelo ajustado.

$$\text{CMError} = [\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2] / (n - p)$$

Donde n es el número de observaciones y p el número de parámetros del modelo.

El coeficiente de variación de los residuos (Syx%) es representado por el error estándar de la media (Syx) en relación a la media de las observaciones de la variable dependiente (\bar{y}) siendo:

$$Syx = \sqrt{\text{CMError}}$$

$$Syx\% = 100 * (Syx/\bar{y})$$

Tabla 3.2: Modelos de funciones de crecimiento de los árboles de *P. alba* en Sáenz Peña, Chaco

N°	Ecuación	Tipo
1	$Y = b_0 + b_1 \cdot t$	Lineal ^a
2	$Y = b_0 + b_1 \cdot \ln t$	Logarítmico ^a
3	$Y = b_0 + b_1 \cdot t + b_2 \cdot t^2$	Cuadrático ^a
4	$Y = b_0 + b_1 \cdot t + b_2 \cdot t^2 + b_3 \cdot t^3$	Cúbico ^a
5	$\ln y = b_0 + b_1 \cdot (1/t)$	Schumacher ^a
6	$Y = b_0 \cdot t^{b_1}$	Potencial ^a
7	$Y = b_0 \cdot e^{(b_1 \cdot t)}$	Exponencial ^a
8	$Y = b_0 \cdot e^{(-b_1 \cdot e^{(-b_2 \cdot t)})}$	Gompertz ^a
9	$Y = b_0 / (1 + b_1 \cdot e^{(-b_2 \cdot t)})$	Logístico ^a
10	$Y = b_0 \cdot (1 + b_1 \cdot e^{(-b_2 \cdot t)})^{-b_3}$	Richards ^b

Donde: y = variable dependiente (diámetro y altura); t = tiempo en años; \ln = logaritmo neperiano; e = base de logaritmo neperiano; b_0, b_1, b_2, b_3 = parámetros de las ecuaciones.

Fuentes: ^(a) (55); ^(b) (50).

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

En los gráficos siguientes se muestra las alturas media de poda alcanzada en las dos intervenciones para los distintos tratamientos, además de la altura de copa remanente después de las podas.

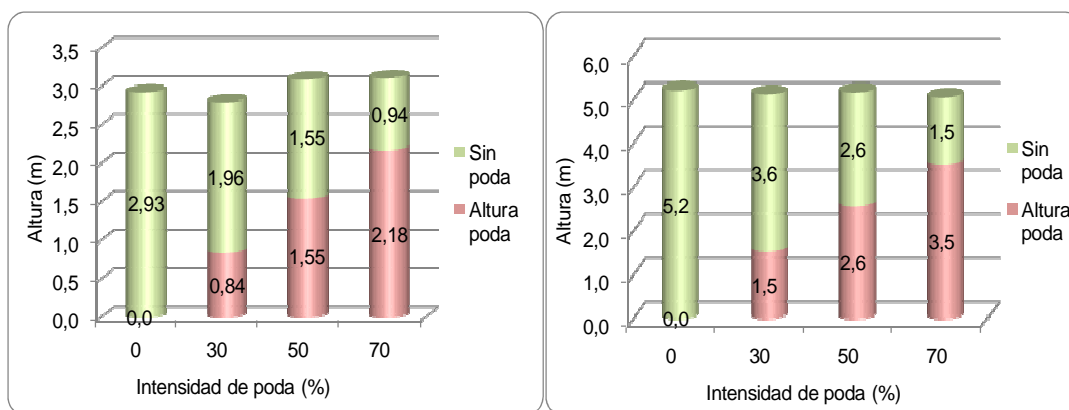


Gráfico 3.2 y 3.3: Alturas de poda y copa remanente: primera y segunda poda

4.1. Diámetro a la altura del pecho

El análisis de normalidad fue realizado sobre esta variable para cada año de control, en todos los casos la distribución de frecuencias del DAP se aproxima a la distribución normal (anexo 3). A continuación se presenta el análisis efectuado al

sexto año desde la primera poda (9 años de edad) en los cuales se ve reflejado el efecto acumulado de las dos operaciones de poda.

Tabla 4.1: Resultado del test de Shapiro-Wilks (modificado) sobre el DAP de los árboles a los 9 años.

Tratamiento	General	0 %	30 %	50 %	70 %
n	120	30	30	30	30
W: normal	0,9701	0,9244	0,9439	0,9466	0,9374
Pr <W	0,0961ns	0,1199ns	0,3441ns	0,3800ns	0,2486ns

Siendo: Pr <W: probabilidad de significancia de W.; ns: no significativo al nivel de 5 % de probabilidad.

El análisis de normalidad a través del test de Shapiro-Wilks (modificado) mostró diferencias estadísticas no significativas al nivel de 5% de probabilidad, indicando que la distribución de frecuencias se aproxima a una distribución normal (tabla 4.1), en el gráfico (4.1) se aprecia la dispersión de los residuos versus los cuantiles teóricos de la distribución normal, estos se alinean sobre una recta a 45° indicando normalidad de residuos. Con la comprobación de normalidad de los datos se garantiza entonces la aplicabilidad de los test de significancia en que se basa esta distribución.

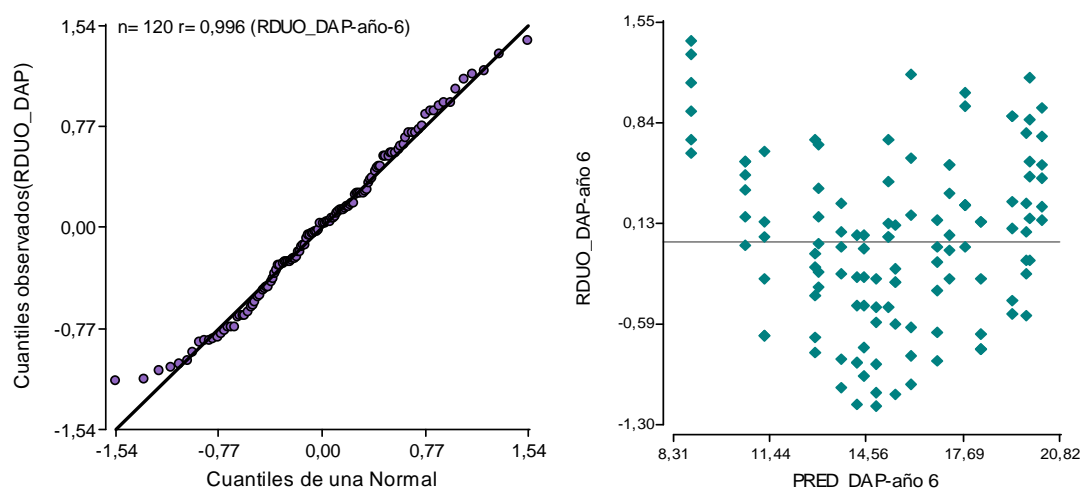


Gráfico 4.1 y 4.2: Q-Q plot normal; Predichos & residuos del DAP al 6^{to} año de control

Cuando se analiza la homocedasticidad para cada año de control del DAP se observa que la homogeneidad de los residuos disminuye a edades más altas según los

análisis gráficos (anexo 3) y las pruebas realizadas con los residuos absolutos, pero la falta de homogeneidad no llega a ser significativa. Analizando los datos a los 9 años de edad por medio del análisis de varianza usando como variable dependiente el valor absoluto de los residuos con una sola vía de clasificación (tratamientos) indica un leve falta de homocedasticidad (tabla 4.2) por esta sospecha de incumplimiento del supuesto se recurre a pruebas más específicas para corroborar este supuesto mediante las cuales se verifica el cumplimiento del mismo, el valor de significancia es mayor que 0,05 para los test realizados es decir que las varianzas son homogéneas (tabla 4.3). En el análisis gráfico de dispersión de predichos versus residuos se observa que la nube de puntos no presenta una tendencia marcada como para descartar el supuesto de homocedasticidad (gráfico 4.2).

Tabla 4.2: Análisis de varianza de residuos absolutos del DAP (al año 6 después de la 1^{er} poda) para testear homogeneidad de varianza.

Fuente de variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamiento	1,45	3	0,48	4,25	0,0069
Error	13,17	116	0,11		
Total	14,62	119			

Tabla 4.3: Test de Homogeneidad de Varianzas Efecto: Tratamiento Año-6

Hartley F-max.	Cochran C.	Bartlett Chi-Sqr.	gl	p
2,5314	0,3323	6,4835	3	0,0903

Analizando el DAP al momento que se realizó la poda (inicio), no se registraron diferencias significativas, el ANDEVA del diámetro presentó diferencias altamente significativas entre tratamientos para las plantas sometidas a primera poda y la prueba de Tukey indicó que todos los tratamientos se diferencian entre sí estadísticamente. Lo mismo ocurre después de la segunda poda (a los 4, 5 y 6 años después de la primera poda), los tratamientos de mayor intensidad afectaron significativamente el diámetro, a medida que aumentó la intensidad de poda disminuyó el diámetro de las plantas, también se encontró diferencias significativas entre bloques es decir que el bloqueo fue necesario. La prueba de Tukey encontró diferencias entre todos los tratamientos, el testigo sin poda presentó el mayor diámetro y el tratamiento de poda más intensa (70%) el menor diámetro (tabla 4.4).

Tabla 4.4: Síntesis del análisis de varianza y prueba de medias del DAP para la fuente de variación tratamiento. Periodo de observación: años después de la 1^{ra} poda.

	Año de observación	ANDEVA	CV	Tukey ($\alpha = 0,05$)			
				0%	30%	50%	70%
1° poda	Inicio	ns	10,12	4,81 a	4,58 a	4,54 a	4,79 a
	1	**	6,46	7,61 d	7,26 c	6,56 b	6,23 a
	2	**	5,77	9,16 d	8,77 c	7,74 b	7,07 a
2° poda	3	**	5,14	11,95 d	11,53 c	9,77 b	8,44 a
	4	**	4,97	14,33 d	13,87 c	11,51 b	9,65 a
	5	**	4,40	16,35 d	15,82 c	13,17 b	10,99 a
	6	**	3,99	17,72 d	17,20 c	14,73 b	12,34 a

** Altamente significativo; ns: no significativo (prueba de F). Letras distintas indican diferencias significativas (Prueba de Tukey)

En los gráficos 4.3 y 4.4 se indican los promedios de los diámetros por tratamientos para los tres años posteriores a la primera poda y los tres años posteriores a la segunda poda (los bigotes por encima de la barra indican los errores estándares), se observa que los diámetros son mayores para el tratamiento sin poda y cada vez menor a medida que se intensifica la poda, esta influencia de la poda se aprecia durante los 6 años de observación. La disminución en el crecimiento del diámetro es pequeña podando al 30% de la altura, sin embargo es importante cuando la intensidad es 50% o más.

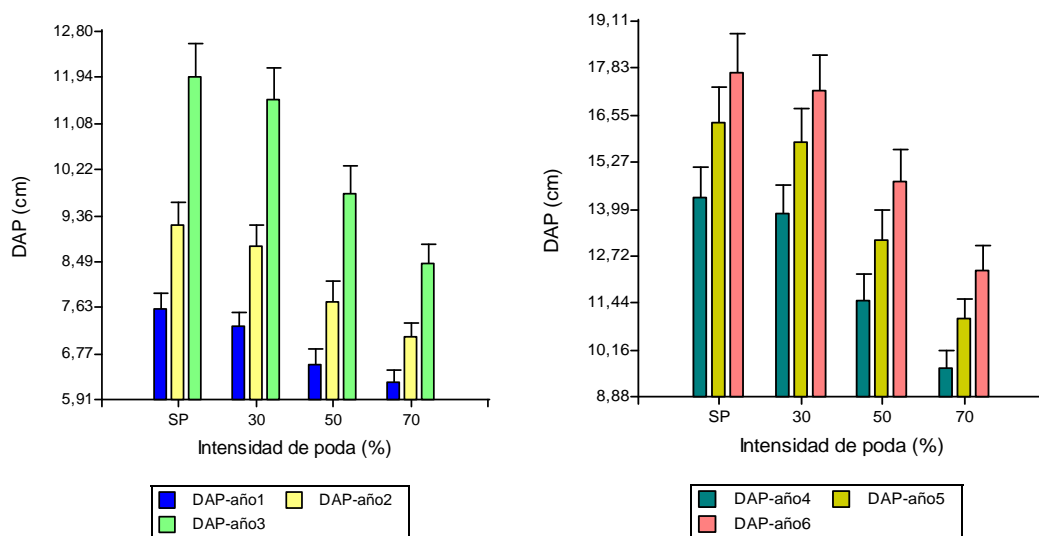


Gráfico 4.3 y 4.4: Diámetro medio por tratamiento posterior a la primera poda y segunda poda

La relación entre el DAP y la intensidad de poda presenta una dispersión con una tendencia que se ajusta a un modelo de regresión cuadrática, como se muestra en el gráfico 4.5 para el DAP a los 3 y 6 años después de la primera poda, hasta el nivel de intensidad de poda 30% hay una pequeña disminución en crecimiento del diámetro, con podas más intensas esta disminución del crecimiento se acentúa considerablemente. Se constató una disminución del 2% cuando se comparó árboles sin podar contra árboles podados con una intensidad del 30%; del 21% cuando se comparó árboles podados al 50% de intensidad y pérdida del 41% cuando la poda alcanzó el 70% de la altura de los árboles.

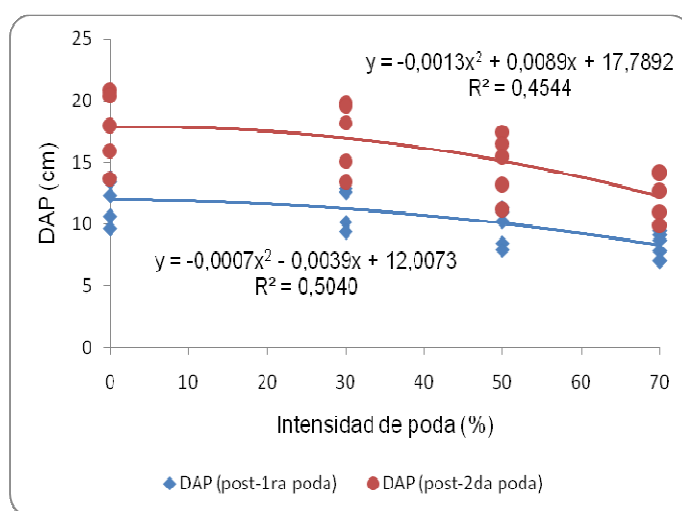


Gráfico 4.5: Influencia de la intensidad de poda en el crecimiento del diámetro después de la 1^{ra} y 2^{da} poda.

Considerando la distribución de los diámetros, en forma de percentiles, 6 años después de la primera intervención de poda (tabla 4.5), se aprecia que la distribución de los mayores diámetros disminuye con el aumento de la intensidad de poda. No se observan prácticamente diferencias entre el testigo y el tratamiento de 30% de intensidad de poda, pero si con respecto a los tratamientos más intensos. Teniendo en cuenta los árboles con diámetros mayores a 15 cm, en el tratamiento sin poda el porcentual de árboles llega al 75%. En cambio para el tratamiento de 50% de intensidad de poda el porcentual de árboles mayores a 15 cm de DAP es de 55%, y cuando se podó al 70% ningún árbol llegó a los 15 cm de DAP a esta edad, de esta manera se comprueba un efecto negativo de las podas muy severas sobre el DAP.

Tabla 4.5: Distribución diamétrica en percentiles a los 9 años, de árboles de *Prosopis alba* sometidos a la primera poda a los 3 años y segunda poda a los 6 años.

Intensidad de Poda (%)	Percentil										
	0,05	0,15	0,25	0,35	0,45	0,50	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95
0	13,40	14,11	15,25	16,69	17,51	17,80	18,38	19,96	20,40	20,70	21,00
30	13,17	13,87	14,98	15,35	18,00	18,00	18,67	18,89	19,48	19,73	20,20
50	10,78	11,58	12,85	13,45	15,30	15,35	15,69	16,17	16,78	17,13	17,71
70	9,69	10,24	10,85	11,20	12,22	12,60	12,80	13,69	13,95	14,27	14,46

4.2. Ajuste de funciones de crecimiento del Diámetro.

De los modelos testeados para describir el crecimiento del diámetro a la altura del pecho en función de la edad se obtuvo un mejor ajuste con el modelo de Schumacher (5) en su forma linealizada, se escogió esta función por que presentó mayor coeficiente de determinación ($R^2_{ajust.}$), valor más bajo del cuadrado medio de los residuos, menor error estándar porcentual (Syx %) y en el análisis gráfico mostró una mejor distribución de residuos. Los indicadores de precisión fueron calculados con los valores obtenidos de elevar a la base de logaritmo neperiano usando como potencia el valor de la variable dependiente (y) debido a que en el ajuste del modelo se utiliza ($\ln y$) como variable dependiente. También se destaca por ser un modelo sencillo, con dos parámetros, puede expresarse en forma lineal, además cumple con las dos condiciones fundamentales de la curva sigmoidea: la existencia de un punto de inflexión y de una asíntota horizontal, según la clasificación presentada por Kiviste et al. (56). Estadísticos de ajuste y coeficientes se presentan en las tablas 4.6 y 4.7.

Tabla 4.6: Test de ecuaciones de crecimiento en DAP, de forma general.

Modelo	Estadísticos			Parámetros			
	$R^2_{ajust.}$	CMEror	Syx%	b_0	b_1	b_2	b_3
1	0,7331	4,8278	21,33	-0,6160	1,8199		
2	0,7331	4,8278	21,33	-0,6160	1,8199		
3	0,7333	4,8241	21,32	-1,5125	2,1561	-0,0280	
4	0,7333	4,8239	21,32	0,9082	0,7511	0,2224	-0,0139
5	0,8022	1,0372	9,88	3,2436	-5,2665		
6	0,7326	4,8353	21,35	1,5434	1,0580		
7	0,7109	5,2289	22,20	3,4921	0,1712		
8	0,7335	4,8198	21,30	23,8481	3,1142	0,2208	
9	0,7334	4,8213	21,31	19,3829	10,2612	0,4127	
10	0,7101	4,8264	21,33	27,1959	-0,6825	0,1610	3,1847

Tabla 4.7: Estadísticos de ajuste y coeficiente obtenidos, por tratamiento, del modelo seleccionado ($\ln \text{DAP} = b_0 + b_1 \cdot (1/t)$)

Tratamiento Poda (%)	Estadísticos			Parámetros	
	R ² ajust.	CMError	Syx %	b ₀	b ₁
0	0,8947	1,0218	8,64	3,4762	-5,8492
30	0,9007	1,0211	8,95	3,4545	-5,9339
50	0,8525	1,0252	10,42	3,1773	-5,1798
70	0,8299	1,0188	11,87	2,8671	-4,1074
General	0,8030	1,0372	9,88	3,2436	-5,2665

Las regresiones fueron calculadas con una ecuación general para todos los tratamientos e individualmente por tratamientos dado que difieren estadísticamente entre sí. En el anexo 4 se muestra la tabla con los indicadores de ajuste obtenidos para los distintos modelos en cada uno de los tratamientos, además se presenta el gráfico de residuos del modelo seleccionado.

La evolución del diámetro medio en función de la edad, estimada por la ecuación obtenida para uno de los tratamientos es representada en el gráfico 4.6, en el cual se observa que la intensidad de poda del 30 % de la altura de los árboles afecta levemente el crecimiento del DAP pero cuando las podas son mas severas, se observa pérdidas significativas en el crecimiento del diámetro.

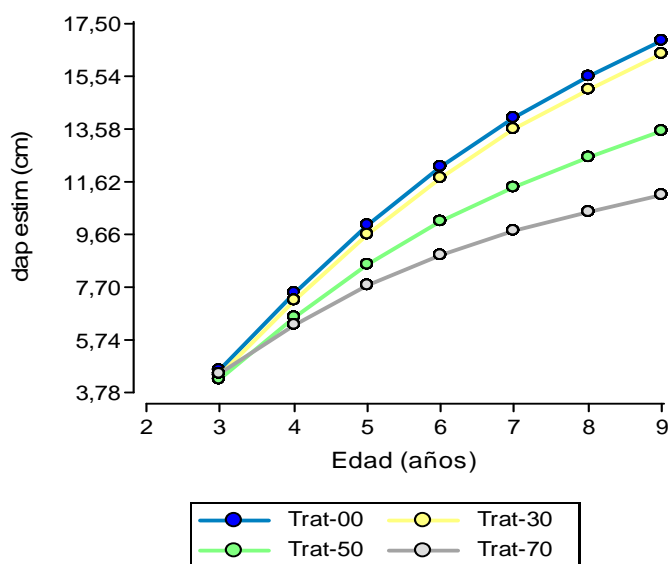


Gráfico 4.6: Evolución del DAP medio con la edad, por tratamientos de poda.

4.3. Incremento anual e incremento periódico del DAP

Al verificar el cumplimiento de los supuestos de homogeneidad de varianza y normalidad, los datos correspondientes al IA-DAP del año 1 y 3 fueron transformados con $\logaritmo(x+1/2)$, y el IP-DAP (inicio-año 6) con $\logaritmo(x)$, por presentar falta de homogeneidad de varianza y el IA-DAP del año 6 por falta de normalidad.

Analizando el incremento anual del DAP el ANDEVA (tabla: 4.8) muestra que no hay diferencias significativas en todos los periodos analizados, entre los tratamientos sin poda y con poda al 30% de la altura del árbol (T1 y T2). En el último año de evaluación no se registraron diferencias significativas entre los tratamientos T1, T2 y T4, si se diferencian del T3 mostrando que este último ha crecido más que el testigo incluso. En todos los periodos anteriores el tratamiento de poda más intensa (70%) fue el que menos creció, seguido del tratamiento de poda al 50% que a su vez creció menos que el tratamiento de poda al 30% (hallándose diferencias estadísticas significativas entre los tres tratamientos mencionados).

Tabla 4.8: Análisis de varianza y prueba de medias del IA-DAP y IP-DAP en cm/año, para la fuente de variación tratamiento.

Periodo de observación	ANDEVA	CV	Tukey ($\alpha = 0,05$)			
			0%	30%	50%	70%
Inicio – año 1	**	7,1	2,80 c	2,68 c	2,02 b	1,44 a
Año 1-2	**	14,1	1,55 c	1,51 c	1,17 b	0,85 a
Año 2-3	**	6,1	2,79 c	2,76 c	2,03 b	1,37 a
Año 3-4	**	11,1	2,38 c	2,35 c	1,74 b	1,20 a
Año 4-5	**	6,5	2,02 c	1,95 c	1,66 b	1,35 a
Año 5-6	**	13,6	1,37 a	1,38 a	1,56 b	1,35 a
IP (inicio-año 6)	**	1,6	12,92 c	12,62 c	10,19 b	7,56 a

** Altamente significativo; IA: incremento anual; IP: Incremento periódico

Considerando el incremento periódico del DAP desde la aplicación de la primera poda hasta el sexto año de observación no hubo diferencias significativas entre el testigo y el tratamiento de poda al 30%, en cambio si hubo diferencias significativas entre los tratamientos de poda al 30, 50 y 70%, notándose una

reducción importante en el crecimiento del DAP (41,5%) cuando la poda es muy intensa (70%). En el primer año después de la poda las tasas de crecimiento fueron mayores en todos los tratamientos con respecto al periodo siguiente contrariamente a lo que podría esperarse suponiendo una recuperación de los árboles del efecto de la poda, sin embargo esta baja también ocurre en el tratamiento sin poda, situación similar ocurre en el último año de crecimiento evaluado.

En el gráfico 4.7 se presenta el incremento periódico del DAP desde el inicio hasta el año 6, con promedios por tratamientos y con indicadores del error estándar de la media, las letras distintas en cada barra indican diferencias estadísticas significativas, en el mismo se aprecia claramente la reducción significativa del crecimiento en diámetro cuando las podas son muy intensas (70%).

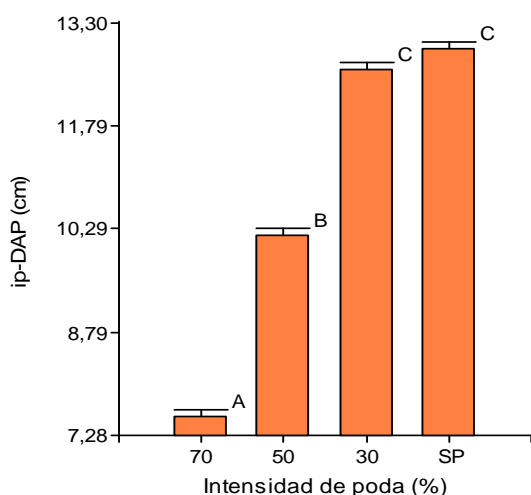


Gráfico 4.7: Incremento periódico del DAP (desde el inicio al 6^{to} año).

En el gráfico 4.8 se observa que hay una superposición de líneas entre el primer año (inicio-año1) con el tercer año de control (año 2-3) es decir que los incrementos fueron muy similares, las líneas correspondientes al segundo año de observación después de la primera poda (año 2-3) y primer año de observación después de la segunda poda (año 3-4) son prácticamente paralelas y equidistantes, es decir que si bien hubo una reducción en el crecimiento del periodo del tercer al cuarto año el comportamiento para los distintos tratamiento fue similar al periodo del segundo al tercer año. Hay un cruzamiento en las líneas del periodo (año 3-4) con (año 4-5) y (año 5-6) del T3 al T4 o sea que hay un mejoramiento en el crecimiento

del T4 en los dos últimos periodos mostrando una recuperación de los árboles que fueron podados severamente.

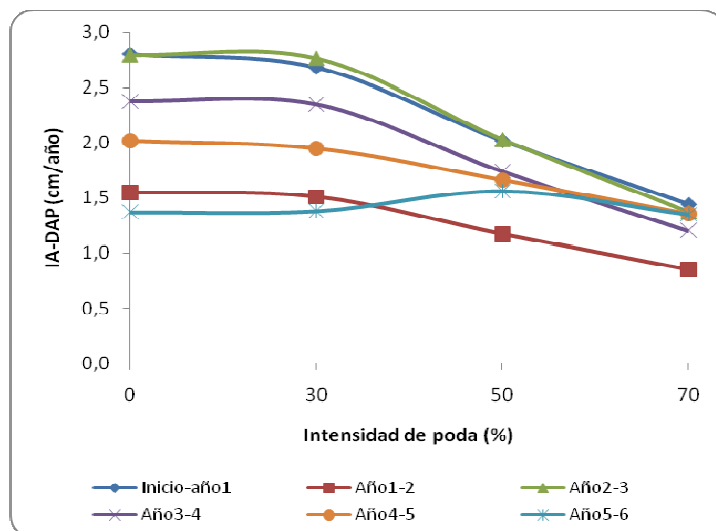


Gráfico 4.8: Líneas de Crecimiento anual del DAP, por tratamiento de poda.

4.4. Altura total.

El análisis de normalidad fue realizado de forma analítica y gráfica, sobre la altura total (HT) para cada año de control, en todos los casos la distribución de frecuencias de la altura total se aproxima a la distribución normal (ver anexo 5). A continuación se presenta el análisis efectuado al sexto año desde la primera poda (9 años de edad).

El análisis de normalidad a través del test de Shapiro-Wilks modificado indicó no haber diferencias estadísticas significativas al nivel de significancia del 5%, indicando que la distribución de frecuencias se aproxima a una distribución normal (tabla 4.9). En el gráfico (4.9) se aprecia la dispersión de los residuos versus los cuantiles teóricos de la distribución normal, estos se alinean sobre una recta a 45° indicando normalidad de residuos. Con la comprobación de normalidad de los datos se garantiza entonces la aplicabilidad de los test de significancia que se basan en esta distribución. En el análisis gráfico de dispersión de predichos versus residuos se observa una nube de puntos dispersos distribuidos a ambos lados de la línea que indica el cero en el eje y, no presenta tendencia alguna (gráfico 4.11).

Tabla 4.9: Resultado del test de Shapiro-Wilks (modificado) sobre la altura total de los árboles a los 9 años (6^{to} año después de la 1^{ra} poda).

Tratamiento	General	0 %	30 %	50 %	70 %
n	120	30	30	30	30
W: normal	0,9726	0,9461	0,9584	0,9187	0,9630
Pr <W	0,1523ns	0,3812ns	0,6025ns	0,0851ns	0,7057ns

Siendo: Pr <W: probabilidad de significancia de W.; ns: no significativo al nivel de 5 % de significancia.

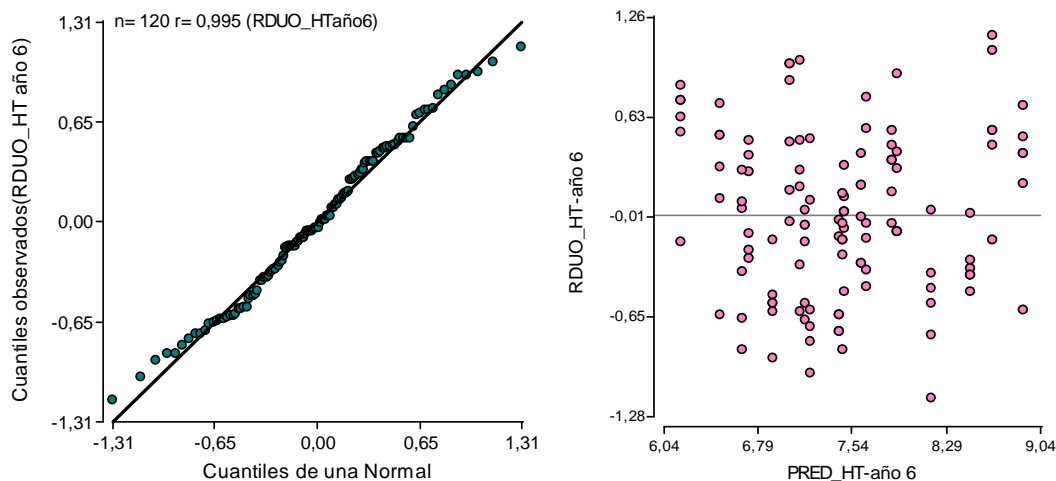


Gráfico 4.9, 4.10: Q-Q plot normal; Predichos & residuos, altura total al 6^{to} año de control

El supuesto de homogeneidad de varianzas se cumple para cada año de control de la altura total de acuerdo a los análisis gráficos y las pruebas realizadas. Analizando los datos a los 9 años de edad por medio del análisis de varianza usando como variable dependiente el valor absoluto de los residuos con una sola vía de clasificación (tratamientos) indica que no hay diferencias significativas al nivel del 5 % es decir que las varianzas son homogéneas (tabla 4.10).

Tabla 4.10: Análisis de varianza de residuos absolutos de la altura total (a los 9 años de edad) para testear homogeneidad de varianza.

Fuente de variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamiento	0,0929	3	0,0310	0,3689	0,7756
Error	9,7328	116	0,0839		
Total	9,8257	119			

Para esta variable el análisis estadístico ANDEVA encontró diferencias estadísticas significativas al nivel de $\alpha = 0,05$ al inicio (antes de efectuada la poda),

el tratamiento 2 presentó altura media menor que los demás tratamientos aunque con diferencias pequeñas, como puede verse en la tabla 4.11 no hubo diferencias significativas entre los tratamientos 1, 3 y 4. En los 3 tres años de observación siguientes a la primera poda no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos aunque puede observarse que el testigo ya presenta un valor medio de altura superior a los otros tratamientos al segundo y tercer año de observación. Al año de efectuado la segunda poda (cuarto año de observación) se encontraron diferencias estadísticas significativas entre el testigo (sin poda) y el tratamiento 4 (poda al 70% de altura de los árboles) presentando valores medios 6,18 m y 5,69 m respectivamente. Al quinto año de observación el ANDEVA mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos, la altura media superior corresponde al testigo y va disminuyendo a medida que aumenta la intensidad de poda, la prueba de Tukey (α 0,05) encontró diferencias en el tratamiento T4 con respecto al T1 y T2 pero no en relación a T3, los tres primeros tratamientos no se diferencian entre sí. Al sexto año de observación (3 años después del levante de poda) hay diferencias estadísticas altamente significativas entre tratamientos, en este periodo la altura media también disminuye a medida que aumenta la intensidad de poda, el testigo T1 se diferencia del T3 y T4 pero no del T2, el tratamiento T4 se diferencia del testigo y del T2 pero no se diferencia del T3. Los dos tratamientos intermedios (T2 y T3) no se diferencian entre sí.

Tabla 4.11: Síntesis del análisis de varianza y prueba de medias de altura total para la fuente de variación tratamiento. Periodo: 6 años después de la primera poda.

Podas	Año de observación	ANDEVA	CV	Tukey ($\alpha = 0,05$)			
				T1 (0%)	T2 (30%)	T3 (50%)	T4(70%)
1° poda	Inicio	*	13,2	2,93 ab	2,80 a	3,10 b	3,12 b
	1	ns	11,7	3,70 a	3,46 a	3,71 a	3,74 a
	2	ns	10,4	4,55 a	4,49 a	4,53 a	4,48 a
2° poda	3	ns	9,1	5,21 a	5,12 a	5,17 a	5,05 a
	4	*	8,2	6,18 b	5,97 ba	5,90 ba	5,69 a
	5	**	7,7	7,04 b	6,84 b	6,71 ba	6,40 a
	6	**	7,0	7,81 c	7,56 cb	7,39 ba	7,07 a

*Significativo al α 0,05; ** Altamente significativo; ns: no significativo

Analizando en forma gráfica se observa claramente que la altura media disminuye a medida que se hace más intensa la poda en el periodo siguiente a la segunda poda, la poda al 70% de la altura total tuvo un efecto negativo considerable sobre la altura de los árboles, (gráficos 4.11 y 4.12).

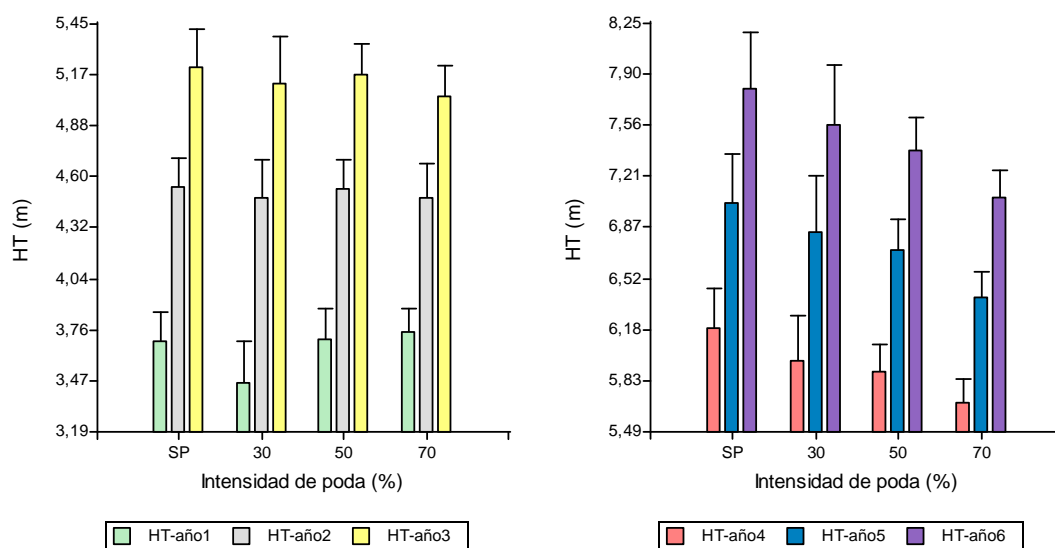


Gráfico 4.11 y 4.12: Altura media por tratamiento posterior a la primera poda y segunda poda

Examinando la distribución de los árboles según la altura expresado en percentiles (tabla 4.12), a los 9 años de edad se observa que la intensidad de poda influye sobre la distribución de la altura total, considerando los árboles mayores de 7,5 m de altura, el 60% de los árboles la superan en el testigo, el 45% en los tratamientos T2 y T3 (30 y 50 % intensidades de poda), y en el tratamiento con poda al 70% de la altura total solo el 15% de los árboles son mayores de 7,5 m de altura.

Tabla 4.12: Distribución de altura total en percentiles a los 9 años, de árboles de *Prosopis alba* sometidos a la primera poda a los 3 años y segunda poda a los 6 años.

Intensidad de poda (%)	Percentil										
	P(05)	P(15)	P(25)	P(35)	P(45)	P(50)	P(55)	P(65)	P(75)	P(85)	P(95)
0	6,32	6,47	7,23	7,43	7,80	7,80	7,99	8,20	8,30	9,00	9,36
30	6,09	6,44	6,71	7,22	7,30	7,40	7,60	7,79	8,15	8,89	9,48
50	6,65	6,80	7,00	7,03	7,31	7,40	7,50	7,59	7,98	8,07	8,18
70	6,47	6,54	6,73	6,90	7,00	7,00	7,10	7,19	7,38	7,60	7,97

4.5. Ajuste de funciones de crecimiento de la altura total

Los parámetros obtenidos y estadísticos de ajuste con los distintos modelos probados se presentan en la siguiente tabla (4.13).

Tabla 4.13: Test de Ecuaciones de crecimiento en altura de forma general

Función	Estadísticas			Parámetros			
	$R^2_{ajust.}$	Syx %	\bar{y}	b_0	b_1	b_2	b_3
1	0,8528	12,00	5,20	0,6979	0,7508		
2	0,8297	12,91	5,20	-1,8622	4,0804		
3	0,8527	12,00	5,20	0,8179	0,7058	0,0037	
4	0,8525	12,01	5,20	1,0527	0,5695	0,0280	-0,0013
5	0,8351	19,39	5,20	2,3786	-4,1154		
6	0,8663	12,03	5,20	1,1250	0,8584		
7	0,8539	12,45	5,20	0,0353	0,1425		
8	0,8526	12,00	5,20	14,9948	2,4532	0,1396	
9	0,8525	12,01	5,20	10,8961	6,2494	0,2892	
10	0,8412	12,01	5,20	18,0396	-0,5158	0,0995	3,7320

Se aprecia que la función de la recta es una de las que presenta un mejor ajuste además es una de las funciones más sencillas y de fácil aplicación pero no es la más adecuada para representar el crecimiento de los árboles ya que solo puede adaptarse a intervalos cortos de edad en los que se puede considerar que la curva tiene forma lineal, además no cumple ninguna de las dos condiciones fundamentales de la curva sigmoidea. La ecuación escogida para describir el crecimiento en altura en función de la edad es la obtenida con el modelo logístico (9 en la tabla 4.13) por presentar valores bajos del cuadrado medio del error y coeficiente de variación de los residuos, comparado con el modelo de Richards (10 en la tabla 4.13) tienen el mismo coeficiente de variación de residuos pero el Logístico tiene menos parámetros en la ecuación, la distribución de los residuos es adecuada analizando de forma gráfica (predichos & residuos), además por que el modelo pertenece a la familia de ecuaciones de crecimiento asintótico no lineales ampliamente utilizado para modelar el crecimiento de especies forestales (Alder 1980 citado en 47), en este caso se utiliza su forma integrada por que se está modelando una tendencia acumulada. Este modelo fue escogido por Juárez et al., (47) por presentar mejor ajuste y ser más simple que el modelo de Chapman-Richards para describir el crecimiento de *Prosopis alba*.

En la tabla 4.14 se presenta los coeficientes de regresión y estadísticos obtenidos por tratamiento con el modelo seleccionado.

Tabla 4.14: Estadísticos y parámetros obtenidos con el modelo logístico para describir el crecimiento de la altura según tratamientos.

Estadísticos y parámetros	Tratamiento (poda %)				
	0	30	50	70	General
CMError	0,4453	0,6044	0,2312	0,1892	0,3902
Syx %	12,49	15,02	9,22	8,57	12,01
b₀	11,5297	10,3651	11,1311	10,6930	10,8961
b₁	7,1109	7,2297	5,85011	5,1418	6,2494
b₂	0,3004	0,3293	0,2718	0,2550	0,2892

Los valores del CMError y coeficiente de variación de los residuos son aceptables, los tratamientos 30% y testigo presentaron mayores errores en el ajuste Syx%: 15,02 y 12,49 respectivamente. El valor de los parámetros tiende a disminuir con el aumento de la intensidad de la poda, excepto el parámetro b₀ en el tratamiento 50% el cual es mayor que en 30% y el parámetro b₁ en 30% es mayor que en el testigo. En el gráfico 4.13 se aprecia la evolución de la altura estimada con la ecuación seleccionada según la edad. Se observa que hasta los 6 años prácticamente no hay influencia o esta es muy leve (curvas se superponen) pero de allí en adelante las curvas se separan mostrando un mayor efecto de la intensidad de poda; presentando una relación inversa de la altura con la intensidad de poda.

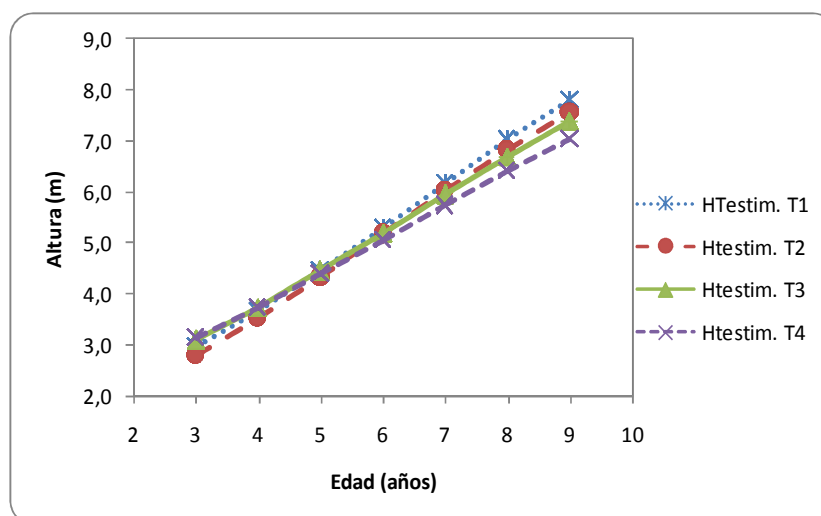


Gráfico 4.13: Altura estimada según la edad con ecuación obtenida para cada tratamiento.

4.6. Incremento anual e incremento periódico de la altura total

El cumplimiento de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza fue analizado para cada periodo de IA y para el IP de la altura total, encontrándose que las varianzas no son homogéneas para el IA de altura (inicio - año 1) y que los datos IA de altura (año 1 - 2) no se distribuyen de manera normal, recurriéndose a transformaciones en estos dos casos (anexo 6).

El análisis de varianza (tabla 4.15) mostró diferencias estadísticas significativas al nivel de significancia del 5 % entre tratamientos para el incremento anual de los dos años posteriores a la primera poda y no se encontró diferencias significativas al tercer año posterior a la primera poda, la prueba de comparaciones múltiples muestra que en el primer año posterior a la poda el testigo (con un IA mayor) se diferencia estadísticamente de los tratamientos de 50 y 70% pero no del 30%, los tratamientos T2, T3 y T4 no difieren entre sí. En el segundo año después de la poda, el IA en los tres primeros tratamientos no difiere, pero el T2 se diferencia del T4, mostrando para estos dos periodos que la poda más intensa (70%) influye negativamente sobre el Incremento anual de la altura total.

Tabla 4.15: Incremento anual de la altura total en m/año, por tratamiento y periodo medición a partir de la instalación del ensayo

Periodo de observación	ANDEVA	CV	Tukey ($\alpha = 0,05$)			
			T1 (0%)	T2 (30%)	T3 (50%)	T4 (70%)
Inicio – año 1	*	22,1	0,77 b	0,66 ba	0,61 a	0,62 a
Año 1-2	*	27,4	0,85 ba	1,03 b	0,83 ba	0,74 a
Año 2-3	ns	43,9	0,66 a	0,63 a	0,63 a	0,57 a
Año 3-4	**	16,45	0,98 c	0,85 b	0,73 a	0,64 a
Año 4-5	**	18,6	0,86 b	0,87 b	0,82 b	0,71 a
Año 5-6	**	14,9	0,77 b	0,72 ba	0,68 a	0,67 a
IP (inicio-año 6)	**	9,7	4,88 c	4,76 c	4,29 b	3,95 a

*Significativo al $\alpha 0,05$; ** Altamente significativo; ns: no significativo; IP: Incremento periódico

El ANDEVA del IA para los periodos posteriores a la segunda poda (año 3 – 4, año 4 – 5 y año 5 – 6) y para el incremento periódico desde el inicio al 6^{to} año de control (IP inicio-año 6) mostró diferencias altamente significativa entre

tratamientos. Las pruebas de medias indican que los incrementos mayores de altura se dan en el testigo (sin poda) y luego son menores a medida que se intensifica la poda, para ilustrar estas diferencias se presenta en forma gráfica el incremento periódico de la altura total por tratamientos para todo el periodo estudiado (gráfico 4.14).

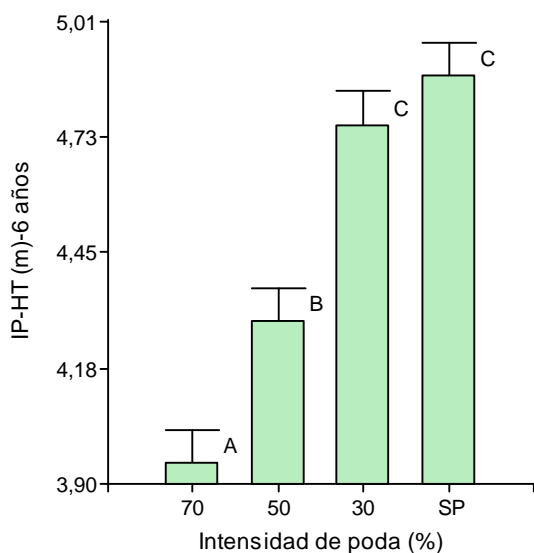


Gráfico 4.14: Incremento periódico de la altura total por tratamiento, “letras distintas indican diferencias significativas”

4.7. Brotes epicórmicos

El análisis de varianza para el control de la primera y segunda poda mostró que hay diferencias estadísticas altamente significativas en el número de brotes totales y discriminando en brotes verdes y secos, se observa que el número promedio de brotes disminuye después de la segunda poda con respecto de la primera (tabla 4.16). Analizando la prueba de medias de Tukey se aprecia que el tratamiento T2 (baja intensidad de poda, “30% de la altura total”) se comporta de buena manera presentando un bajo número de brotes epicórmicos, tanto en la primera como segunda poda (1,1 y 1 cantidad de brotes en promedio respectivamente), la frecuencia de plantas libre de brotes fue del 53,3 y 46,7% después de la primera y segunda poda respectivamente, el número de brotes por árbol varió de 1 a 3 y solo un árbol emitió 10 brotes después de la primera poda. El tratamiento T3 con intensidad de poda del 50% de la altura se ubica en una posición intermedia con un mayor número promedio de brotes (6,3 y 3,5 para la primera y segunda poda

respectivamente) en este tratamiento el número de brotes secos fue superior a los demás tratamientos, (hay individuos en los cuales: de 18 brotes 15 estaban secos y de 14 brotes había 11 secos después de la primera poda), el número máximo de brotes registrados por árbol fue 18 y 11 (después de la primera y segunda poda respectivamente), la frecuencia de árboles libres de brotes fue de 3 y 10 % respectivamente después de la primera y segunda poda. En el tratamiento T4 de intensidad de poda del 70% el número de brotes resultó significativamente más alto, no se encontraron árboles sin brotes posteriores a las dos podas, el número de brotes por árbol después de la primera poda varió entre 3 y 23, y posterior a la segunda poda entre 1 y 22, es decir que podas más intensas produjeron condiciones favorables para la emisión de mayor cantidad de brotes.

Tabla 4.16: Análisis de varianza y prueba de medias del número de brotes epicórmicos para la fuente de variación tratamiento.

Periodo	VARIABLE	ANDEVA	Tukey $\alpha=0,05$			
			T1	T2	T3	T4
1° Poda	N° Brotes secos	**	A (0)	A (0)	C (4)	B (2,8)
	N° Brotes verdes	**	A (0)	B (1,1)	B (2,3)	C (8,5)
	N° Brotes total	**	A (0)	A (1,1)	B (6,3)	C (10,7)
2° Poda	N° Brotes secos	**	A (0)	BC (0,7)	C (1)	AB (0,3)
	N° Brotes verdes	**	A (0)	A (0,3)	B (2,5)	C (9)
	N° Brotes total	**	A (0)	B (1)	C (3,5)	D (9,3)

** Altamente significativo; Letras distintas indican diferencias significativas, entre paréntesis (promedio de número de brotes)

En los gráficos 4.15 y 4.16 se representa la cantidad media de brotes por tratamiento posterior a la primera y segunda poda en los cuales se aprecia claramente la diferencia de la cantidad de brotes entre los tratamientos, además se observa una menor cantidad de brotes después de la segunda poda, principalmente en el tratamiento de 50% de intensidad.

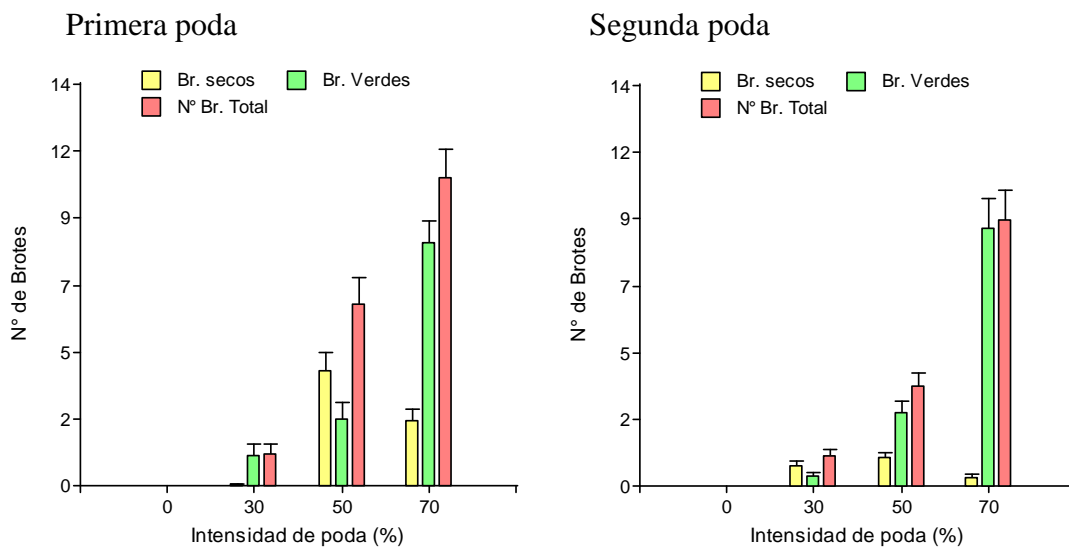


Gráfico 4.15 y 4.16: número de brotes epicórmicos por tratamiento después de la primera poda y segunda poda.



Imagen 4.1: Detalle ampliado de brotes epicórmicos posterior a la poda en tratamiento de 70% de intensidad de poda.

4.8. Área basal por hectárea

El stock del área basal resultó afectado significativamente por los tratamientos de poda, durante los tres años posteriores a la primera poda y los tres siguientes a la segunda poda el área basal por hectárea fue influenciada negativamente por esta práctica (tabla 4.17). Las pruebas de Tukey efectuadas mostraron que para todos los años analizados, a los tratamientos testigo y poda al 30

% presentando los valores medios más altos, pero sin diferenciarse estadísticamente entre sí. Para los años 4 y 5, a través de la prueba de Tukey, se presentaron dos grupos; el testigo y el de poda al 30% en uno y los tratamientos de poda al 50 y 70 % en otro grupo, para años posteriores los dos tratamientos de mayor intensidad también se diferenciaron entre sí, esta situación se observa claramente en el gráfico 4.17 donde las curvas de los tratamientos 1 y 2 se mantienen prácticamente próximas y paralelas, en cambio las curvas de los tratamientos 3 y 4 están distanciadas.

Tabla 4.17: Evolución del stock en área basal por hectárea (m^2/ha) por tratamiento con la edad y pruebas estadísticas, para *Prosopis alba*.

	Edad	ANDEVA	CV	Tukey ($\alpha = 0,05$)			
				T1 (0%)	T2 (30%)	T3 (50%)	T4 (70%)
1° poda	3	ns	9,9	1,04 a	0,95 a	0,93 a	1,03 a
	4	**	5,7	2,63 b	2,40 b	1,95 a	1,76 a
	5	**	8,2	3,83 b	3,51 b	2,73 a	2,26 a
2° poda	6	**	10,5	6,54 c	6,08 c	4,37 b	3,25 a
	7	**	12,2	9,42 c	8,82 c	6,10 b	4,25 a
	8	**	11,8	12,27 c	11,48 c	7,99 b	5,52 a
	9	**	10,8	14,43 c	13,56 c	10,00 b	6,97 a

** Altamente significativo; ns: no significativo; letras distintas indican diferencias estadísticas significativa (test de Tukey)

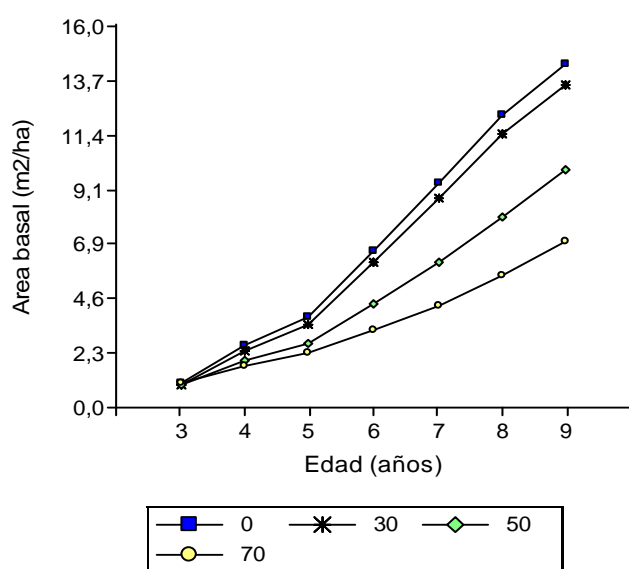


Gráfico 4.17: Evolución del área basal (m^2/ha) por tratamiento con la edad

La influencia de las podas sobre el crecimiento hicieron que el incremento anual del área basal disminuya significativamente para los tratamientos de intensidades de poda del 50 y 70% de la altura, sin embargo la poda al 30% de la altura no tuvo efecto significativo sobre esta variable, los valores se mantuvieron casi constantes con el testigo (sin poda) en todos los periodos analizados. Los dos tratamientos de mayor intensidad de poda también se diferencian estadísticamente entre sí en todos los periodos excepto en el de 4 a 5 años (tabla 4.18).

Tabla 4.18: Incremento anual del área basal por hectárea ($m^2/ha/año$) por tratamiento y pruebas estadísticas de *Prosopis alba*.

	Periodo Edad	ANDEVA	CV	Tukey ($\alpha = 0,05$)			
				T1 (0%)	T2 (30%)	T3 (50%)	T4 (70%)
1° poda	3-4	**	11,02	1,59 a	1,45 a	1,03 b	0,73 c
	4-5	**	18,15	1,20 a	1,11 a	0,78 b	0,50 b
	5-6	**	15,03	2,71 a	2,57 a	1,63 b	0,98 c
2° poda	6-7	**	17,53	2,88 a	2,74 a	1,74 b	1,01 c
	7-8	**	11,32	2,86 a	2,66 a	1,89 b	1,27 c
	8-9	**	11,37	2,16 a	2,08 a	2,01 a	1,45 b

** Altamente significativo; letras distintas indican diferencias estadísticas significativa (test de Tukey)

CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN

Diámetro a la altura del pecho

De acuerdo al capítulo 1 analizando la respuesta del DAP a la intensidad de poda se observa un efecto negativo de la poda sobre el crecimiento del diámetro, quedando en evidencia una alta sensibilidad de esta especie a la disminución de su copa, a medida que aumenta la intensidad de poda hay una disminución del crecimiento en el DAP medio. Todos los tratamientos se diferenciaron estadísticamente entre sí para los tres años posteriores a la primera poda y los tres años siguientes al levante de poda. Estos resultados concuerdan con aquellos obtenidos por diversos autores en ensayos de poda sobre otras especies. Según Pérez et al., (31) al estudiar los efectos de diferentes intensidades de poda en *Grevillea robusta* realizadas a los 3 y 5 años, el diámetro normal es la variable más sensible a

la poda de ramas verdes siempre y cuando las plantas se hallen en pleno vigor y sin influencia fuerte por competencia, la intensidad de poda del 70% de la altura total tuvo mayor influencia. Efectos negativos sobre el crecimiento del diámetro y volumen de la población de *Pinus elliottii* Engelm., a medida que aumentó la intensidad de poda, fueron observados por Hoppe et al., (39) ensayando intensidades de poda de 40%, 60% y 80% de la altura total de los árboles.

La relación entre el diámetro y la intensidad de poda a los 3 y 6 años desde la primera poda, es explicada de manera satisfactoria por el modelo de regresión cuadrática, este modelo permitiría estimar el diámetro que se obtendrá de acuerdo a la intensidad de poda en algarrobo en condiciones similares a este ensayo. Montagna et al., (42) indicaron un mejor ajuste con este modelo para datos de *Pinus elliottii* var. *elliottii*.

La disminución en DAP medio fue del 2%, 21% y 41% cuando se comparó árboles sin podar contra árboles podados con intensidad de poda del 30%, del 50% y del 70% de la altura de los árboles, respectivamente. Costas, et al., (33) encontraron influencia negativa sobre los DAP medios producidos en niveles de poda más altos, en ejemplares de *Pinus taeda* a los 7 años de edad, ensayando 4 tratamientos de alturas finales de poda y 3 tratamientos de levantes de poda. Pires et al., (37) encontraron que podas severas influyen significativamente, afectando el crecimiento y la distribución del diámetro de árboles de *Eucalyptus grandis* sometidos a distintas intensidades de extracción de copa viva a los 11 meses de edad, observaron que después de 10 meses de aplicados los tratamientos se redujo el crecimiento en DAP en 26,8%, comparando el tratamiento de mayor intensidad (poda del 75% de copa viva) contra el testigo (sin poda). Resultados similares fueron obtenidos por Hoppe et al., (39) sobre *Pinus elliottii*, quién observó que hasta el nivel de 40% intensidad de poda, hubo un pequeño atraso en el crecimiento del diámetro y una considerable reducción en esa variable a medida que se aumenta la intensidad de poda por encima de este valor.

Analizando la distribución de los diámetros en forma de percentiles, pasado 6 años de la primera intervención de poda, hay una relación inversamente proporcional entre la intensidad de poda y el porcentual de árboles de diámetros mayores,

coincidiendo con resultados obtenidos por Polli (22) y Pires (37) con *Eucalyptus grandis*. Considerando los árboles mayores a 15 cm de DAP, el porcentual de árboles llega al 75% en el tratamiento sin poda, a 55% en el tratamiento de 50% de intensidad de poda y en el tratamiento de 70% de intensidad de poda ningún árbol llegó a los 15cm de DAP a la edad de 9 años, de esta manera se comprueba un efecto negativo significativo de las podas muy severas sobre el DAP en algarrobo blanco. Schneider (citado en 39), afirma que los árboles no toleran una reducción exagerada de su copa viva cuando están en pleno estadio de crecimiento.

La descripción del crecimiento del diámetro a la altura del pecho en función de la edad para *Prosopis alba* en este ensayo es explicada por el modelo de Schumacher, el cual también fue seleccionado por otros autores, Pulrolnik K. et al., (30) y Polli, H. (22), para describir el crecimiento del DAP y la altura total de *Eucalyptus grandis*.

El incremento anual del DAP analizado hasta los 6 posteriores a la primera poda, no mostró diferencias significativas entre los tratamientos sin poda y poda al 30% de la altura del árbol (T1 y T2), es decir que la poda leve no influye significativamente en el crecimiento del DAP. En el primer año de crecimiento post-poda las tasas de crecimiento fueron mayores en todos los tratamientos con respecto al periodo siguiente contrariamente a lo que podría esperarse suponiendo una recuperación de los árboles del efecto de la poda, sin embargo esta baja también ocurre en el tratamiento sin poda lo cual da lugar a suponer que esto podría obedecer a que coincide con un periodo de escasas de precipitaciones (gráfico en anexo 7), situación similar ocurre en el último año de crecimiento evaluado, además puede ser que haya influido la competencia (necesidad de raleo). Analizando la correlación entre el incremento anual del DAP y la precipitación anual se encuentra una relación lineal positiva, si bien hay que considerar un año atípico (en 2002 la precipitación anual duplicó la media, provocando inundaciones en la zona), el coeficiente de correlación de Pearson es de 0,5 con un valor de significancia (p) de 0,3 (no significativo). Si se quita el valor atípico el coeficiente de correlación de Pearson es de 0,7 con un valor de significancia (p) de 0,19 este último sigue siendo no significativo pero hay que tener en cuenta que son pocos datos (anexo 7: Relación entre precipitación anual e incremento anual del DAP).

El incremento del DAP fue menor cuanto mayor fue la intensidad de poda, hallándose diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos 30, 50 y 70% de intensidad de poda. Resultados similares en incremento del DAP fueron obtenidos en *Grevillea robusta* por Pérez et al., (31); en *E. pilularis* y *E. cloeziana* por Alcorn et al., (45) quienes no detectaron reducciones en el incremento del diámetro podando el 20% de la copa verde, reducciones leves podando el 50% y fuerte disminución podando el 70%; Pinkart (28) encontró influencia severa sobre el incremento de DAP podando el 80% de copa en árboles de *E. nitens*. Al tercer año después de la segunda poda recién se evidencia una recuperación del incremento en los tratamientos podados intensamente, no se registraron diferencias significativas entre los tratamientos T1, T2 y T4, sí se diferencian del T3 mostrando que este último ha crecido más que el testigo incluso, esta recuperación ocurre en menor tiempo en especies de *Eucalyptus* y *Grevillea* según la bibliografía citada (55, 30, 28, 31).

Altura total

La altura total media no presentó diferencias estadísticas significativas entre tratamientos para los tres años posteriores a la primera poda, sin embargo, el testigo presentó un valor medio de altura superior a los demás tratamientos al segundo y tercer año de observación. Para los tres años posteriores a la segunda poda si hubo diferencias estadísticas significativas entre tratamientos acentuándose la misma hasta el tercer año después de la segunda poda, el tratamiento de poda leve (intensidad 30%) no se diferenció del testigo.

El incremento anual de la altura fue afectado significativamente los dos primeros años después de la poda, al cabo del tercer año de transcurrida la poda no se observó efectos significativos. Luego de la segunda poda practicado al sexto año, también se observó efectos negativos sobre el IA de la altura total los tres años posteriores, hasta el noveno año.

Estos resultados concuerdan con aquellos obtenidos en otras especies con investigaciones de estas características; Trabajando con distintas intensidades de poda en clones de *Eucalyptus grandis*, Vantuil (57) encontró diferencias estadísticas significativas a partir de intensidades de 75%, considerando las medias cuadráticas de altura para el efecto clon/tratamiento con el clon *Urocram*. Montagna et. al., (42),

trabajando con poda artificial en *Pinus elliottii*, también encontró leve interferencia del nivel de poda sobre el crecimiento en altura de los árboles en los niveles de 60 a 75% de poda. Según Pires et. al., (37), basado en observaciones realizadas sobre *Eucalyptus saligna* sometido a diferentes intensidades de extracción de copa viva, las podas severas afectan significativamente la altura después de los 10 meses de aplicadas las mismas, cuando se extrae el 75% de la copa viva se compromete significativamente el crecimiento en altura, además del diámetro y del volumen. Amateis et al., (34) evaluando un tratamiento de poda con eliminación del 50 % de la longitud de copa viva contra testigo sin poda en *Pinus taeda*, observó un descenso significativo del crecimiento en DAP y altura total a los 2 años después del tratamiento. Esto pone de manifiesto que así como en algarrobo, en otras especies también es afectado el crecimiento en altura como consecuencia de la reducción drástica de la superficie fotosintéticamente activa. Esto sugiere que los árboles jóvenes inicialmente responden a la poda, asignando recursos para la reconstrucción de la copa antes que destinarlos para el crecimiento en altura y diámetro.

Otros investigadores discrepan de que haya influencia significativa de la poda sobre la altura de acuerdo a lo observado en sus investigaciones; en *Grevillea* (31), en *Eucalytus* (30, 25); *Pinus taeda* (33); *Pino Oregón* (35). Esto puede deberse a que cuando hay una poda, parte de la copa localizada en estratos inferiores, sobre todo eliminando hojas en senescencia de la copa de los árboles, puede no comprometer sustancialmente la producción de hidratos de carbono, que son utilizados para el alargamiento del árbol.

Brotos epicórmicos

Es evidente para esta especie que cuando la pérdida de ramas vitales es muy grande en relación a la copa viva, estimula fuertemente las yemas durmientes debajo de la corteza del tronco, al recibir de manera súbita más luz en esa porción del fuste, emitiendo de esta manera una gran cantidad de brotes epicórmicos. En el tratamiento de mayor intensidad de poda (70% de la altura) todos los árboles emitieron brotes llegando a encontrarse casos de 22 y 23 brotes por árbol, siendo alta la persistencia de brotes verdes al año de efectuada la poda. En el tratamiento de poda al 50% se encontró la mayor proporción de brotes secos, esto puede deberse a que después de la poda una porción importante del fuste queda expuesta a la luz solar lo que estimula la

emisión de numerosos rebrotes, luego cuando el árbol recupera parte de la copa ciertos brotes quedan sombreados y terminan secándose, (hay individuos que: de 18 brotes 15 estaban secos y de 14 brotes había 11 secos después de la primera poda), este comportamiento también fue observado por O'Hara (44) estudiando el desarrollo de brotes epicórmicos según la severidad de la poda en *Sequoia sempervirens*. Con la poda de baja intensidad (30%) la frecuencia de árboles sin brotes fue alrededor del 50% y el número de brotes por árbol varió de 1 a 3. Lo cual indica que con podas leves se evita la excesiva emisión de brotes epicórmicos.

Resultados similares fueron encontrados por Pérez et al. (31) en ensayos de diferentes intensidades de poda en *Grevillea robusta* donde encontró que podando al 70% de la altura total, los árboles emitieron un gran número de rebrotes llegándose a contabilizar más de 20 por árbol en algunos casos. O'Hara (44) encontró que el número de brotes por metro de fuste aumentó cuando la poda fue más severa en *Sequoia sempervirens*.

Área basal

El stock del área basal resultó afectada significativamente por la poda con intensidades del 50% o mayores, el stock del área basal a los 9 años de edad alcanzó valores superiores a 13,5 m²/ha para el testigo y el tratamiento de poda al 30% de la altura total, en cambio llegó a 10 y 7 m²/ha para los tratamientos de poda al 50 y 70 % de la altura total respectivamente. Debido a la influencia de la poda sobre el crecimiento del DAP, el incremento anual del área basal disminuyó significativamente para los tratamientos de intensidades de poda del 50 y 70% de la altura total, sin embargo la poda al 30% de la altura total no tuvo efecto significativo sobre esta variable. Coincidiendo con estos resultados, Floriano (46), encontró influencia de la intensidad de poda sobre el stock y el incremento anual del área basal, ensayando intensidades de poda de 40, 60 y 80% de la altura total en *Pinus elliottii*. Efectos de la poda sobre la producción de área basal también fueron descritos por Keller et al. (32) quienes evaluaron ensayos de poda y raleo en *Pinus taeda*, encontrando una disminución del 32% en la producción de área basal con intensidades de poda del 70% y 3 realces.

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES.

1. La mayor influencia de la extracción sistemática de ramas verdes, fue sobre el crecimiento del DAP (tanto el crecimiento acumulado como el incremento anual) y sobre el área basal (stock e incremento anual), hay una correlación negativa entre intensidad de poda y crecimiento del DAP (a medida que aumentó la intensidad de poda disminuyó el crecimiento del DAP).

La reducción de las medias de los tratamientos de intensidades de poda con respecto al testigo (sin poda) a los 9 años de edad fue:

- 2,9% del DAP y 6% del área basal, en el tratamiento de 30% de intensidad de poda.
- 16,9% del DAP y 30,7% del área basal, en el tratamiento de 50% de intensidad de poda.
- 30,4% del DAP y 51,7% del área basal, en el tratamiento de 70% de intensidad de poda.

2. La influencia de la reducción de copa sobre la altura total fue leve. El efecto negativo pronunciado se presentó en el tratamiento de mayor intensidad. Para el incremento periódico de la altura desde los 3 a 9 años de edad, la reducción del crecimiento fue de 12% y 19% para los tratamientos con intensidad de poda del 50% y 70% respectivamente en relación al testigo.

3. La emisión de brotes epicórmicos posterior a la poda fue muy importante en los árboles que recibieron tratamientos de mayor intensidad, lo que implica una necesidad de realizar un repaso de la poda inmediatamente. En el tratamiento de poda al 70% todos los árboles presentaron brotes epicórmicos.

4. Analizando el incremento anual del DAP, de la altura total y del área basal, estos no presentaron diferencias significativas entre el testigo sin poda y el

tratamiento T2 (30% de intensidad de poda), solo hubo diferencias significativas entre T1 (testigo) y T2 analizando la variable diámetro medio.

CAPÍTULO 7. RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en este ensayo se realizan las siguientes recomendaciones;

- Para la poda de plantaciones jóvenes de *Prosopis alba*, podar con intensidades no superiores al 30% de la altura total de los árboles de manera que no se afecte significativamente el crecimiento en diámetro y área basal, además esto limita la emisión de brotes epicórmicos después de la poda.
- Continuar con análisis de podas a edades más avanzadas en combinación con tratamientos de raleo.
- Evaluar tratamientos de poda de baja intensidad y con mayor frecuencia combinados con podas de formación.

8. BIBLIOGRAFÍA CITADA

(1) BURKART, A. 1952. Las Leguminosas Argentinas Silvestres y Cultivadas. Descripción sistemática de la familia, los géneros y las principales especies, de su distribución y utilidad en el país y en las regiones limítrofes. 2da Ed., Buenos Aires. p. 132-141.

(2) TORTORELLI, L.A. 1956. Maderas y bosques argentinos. Editorial Acme, S.A.C.I. Buenos Aires. p. 392- 396.

(3) LOPEZ, J.A.; ELBERT, L.; LITTLE, J.R.; RITZ, G.F.; ROMBOLD, J.S. y HAHN, W.J. 1987 “Arboles comunes del Paraguay” (ñande yvyra mata kuera). Cuerpo de Paz colección intercambio de información. p. 230-232

- (4) DEMAIO, P.; KARLIN, U.O. y MEDINA, M. 2002. “Arboles nativos del centro de Argentina” p. 108-109. Buenos Aires, Agosto de 2002.
- (5) VERZINO, G.E. y JOSEAU, M.J. Edición 2005. “El banco nacional de germoplasma de Prosopis: Conservación de recursos forestales nativos en la Argentina” 1ª ed. Córdoba. p. 28-29.
- (6) KARLIN, U.; COIRINI, R.; CATALAN, L.; ZAPATA, C. 1997. “*Prosopis alba*” Argentina - Fao Rlc Agroforesteria Arboles en Zonas Áridas.
- (7) GIMENEZ, A.M.; RIOS, N.; MOGLIA, G. y LOPEZ, C. 2008. Leño y corteza de *Prosopis alba* Griseb, algarrobo blanco, Mimosácea, en relación con algunas magnitudes dendrométricas. Bosque (Valdivia). Vol.19. N° 2. p. 53-62. <http://mingaonline.uach.cl/gcielo.php!script=sci-arttext&pid=S0717-92001998000200006&ing=es&nim=150>>. ISSN0717-9200.
- (8) CORONEL, E.O. 2006. “Productos forestales argentinos” -1ra edición- Santiago del Estero. Universidad Nacional de Santiago del Estero- UNSE, 2006, p. 51-57 y 99-109.
- (9) GOBIERNO DEL CHACO. Estadística del año 2006. Dirección de Bosques. Subsecretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente.
- (10) DELVALLE, P. 2008. Raleos selectivos en forestación joven de algarrobo blanco *Prosopis* alba. http://www.inta.gov.ar/benitez/info/documentos/forest/art/forest06_1.htm
- (11) VEGA, M. V.; CASTILLO de MEIER, G.; GÓMEZ, M. 2005. “Evaluación de tratamientos pregerminativos en semillas de *Prosopis alba* Griseb”. Revista de Ciencia y Tecnología – Serie Forestal. Volumen 2 Septiembre 2005 N°2, ISSN: 1668-4133. Universidad Nacional de Formosa. p. 33-40.
- (12) PECE, M; JUAREZ de GALINDEZ, M.; ACOSTA, M.; DE BENÍTEZ, C.G.; SAAVEDRA, S.; BRUNO, C. 2008. “Relación entre la longitud de la vaina y el

número de semillas por vaina en algarrobo blanco”. Quebracho, revista de ciencias forestales, ed. Especial, n°15 p. 59-63. Universidad Nacional de Santiago del Estero- UNSE.

(13) LEDESMA, T.; DE BEDIA, G.; C. LÓPEZ 2008. “productividad de *Prosopis alba* Griseb en Santiago del Estero” Quebracho, revista de ciencias forestales, ed. Especial, n°15 p. 5-9. Universidad Nacional de Santiago del Estero- UNSE.

(14) LÓPEZ, C.; MALDONADO A.; SALIM, V. 2001. “Variación genética de *Prosopis alba*”. Investigación agraria: sistemas y recursos forestales. Vol. 10. N°1. ISSN: 1131-7965. p. 59-68.

(15) VEGA, M. V.; CASTILLO de MEIER, G. 2004. “Efecto de diferentes auxinas en la propagación agámica de individuos adultos del género *Prosopis*”. Revista de Ciencia y Tecnología – Serie Forestal. Volumen 1 Julio 2004 N°1, ISSN: 1668-4133. Universidad Nacional de Formosa. p. 7-13.

(16) D’AUGERO, G.; SOSA P., C.; R. ÁVILA 2008. “Secado artificial de maderas nativas del Parque Chaqueño”. Quebracho, revista de ciencias forestales, ed. Especial, n°15 p. 68-70. Universidad Nacional de Santiago del Estero- UNSE.

(17) COZZO, D. 2007. “Silvicultura de plantaciones maderables”. Capítulo XXIV: Conducción y administración silvicultural de una forestación industrial”. 1ra. ed. Buenos Aires: Orientación gráfica editora. Volumen 2. p. 564-592.

(18) HAWLEY, R. C.; SMITH, D. M., 1972. “Silvicultura práctica”. Barcelona: Omega, 1972. 544 p.

(19) KURTZ, V. D.; FERRUCHI, R. 2000. “La poda como parte de la estrategia para la obtención de madera de calidad”. XV Jornadas Forestales de Entre Ríos, p. B2-1:B2-23, Concordia (E.R.), Argentina.

(20) CLARK, A. III; STRUB, M.; ANDERSON, L. R.; LLOYD, H. G.; DANIELS, R. F.; SCARBOROUGH, J. H. 2004. “Impact of Early Pruning and Thinning on

Lumber Grade Yield From Loblolly Pine”. Gen. Tech. Rep. SRS-71. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. p. 199-204.

(21) LAROCCA, F.; APARICIO, J.; DALLA TEA, F. 2005. “Manejo intensivo de forestaciones de Eucaliptos”. IDIA XXI – Revista de información sobre investigación y desarrollo agropecuario – Año V – N° 8 – Julio de 2005. p. 70-73.

(22) POLLI, H. Q. 2005. “Crescimento e qualidade da madeira para serraria em clone de *Eucalyptus grandis* [Hill ex Maiden] submetido á desrama artificial” Tese (Mestrado em Ciência Florestal) Universidade Federal de Viçosa. 117 p. <http://hdl.handle.net/10229/10651>.

(23) POLLI, H. Q.; GONÇALVES DOS REIS, G.; FERREIRA REIS, M.G.; VITAL, B. R.; PEZZOPANE, J. E. M.; ILHÉU FONTAN, I. 2006. “Qualidade da madeira em clone de *Eucalyptus grandis* [Hill ex Maiden] submetido á desrama artificial”. Revista Árvore, Viçosa-MG, vol. 30, núm. 4, p. 557-566.

(24) SEITZ, R. A., 1995. “Manual de poda de espécies arbóreas florestais”. Editado por FUFEP- Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná – Curitiba.

(25) FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R.; BAZZO, J. L.; KLEIN, J. E. M. 2001. “Efeito da intensidade de desrama sobre o crescimento e a produção de *Eucalyptus saligna* Smith”. Cerne, vol. 1, núm. 002. Universidad Federal de Lavras. Brasil, p. 53-64.

(26) NAVALL, M., SENILLIANI, M.G. 2004. “Crecimiento y calidad maderera en plantaciones de *Prosopis alba* (algarrobo blanco) en el Área de riego del Rio Dulce, provincia de Santiago del Estero”. XIX Jornadas Forestales de Entre Ríos, Concordia.

(27) DELVALLE, P. 2005. “Manejo de regeneración natural de *Prosopis alba* Griseb (algarrobo blanco)” Revista de Ciencia y Tecnología – Serie Forestal. Volumen 2,

Septiembre 2005. N°2, ISSN: 1668-4133. Universidad Nacional de Formosa. p. 47-54).

(28) PINKARD, E. A. 2002 “Effect of pattern and severity of pruning on growth and branch development at pre-canopy closure *Eucalyptus nitens*”. *Forest Ecology and Management* 157, p. 217-230. Tasmania, Australia.

(29) MUÑOZ, F.; ESPINOZA, M.; HERRERA, M.A.; CANCINO, J. 2005. “Características del crecimiento en diámetro, altura y volumen de una plantación de *Eucalyptus nitens* sometida a tratamientos silvícolas de poda y raleo”. *Bosque* vol. 26. N° 1, p. 93-99.

(30) PULROLNIK, K.; GONÇALVES DOS REIS, G.; FERREIRA REIS, M. das G.; MONTE, M. A.; ILHÉU FONTAN, I. 2005. “Crecimiento de plantas de clone de *Eucalyptus grandis* [Hill ex Maiden] submetidas a diferentes tratamientos de desrama artificial, na Região de Cerrado”. Sociedade de Investigações Florestais, Revista *Árvore*, Viçosa-MG, vol. 29, N°. 4, p.495-505.

(31) PÉREZ, V.R.; DELVALLE, P.; CAÑETE, M.C.; RHINER, G.R.; HAMPEL, H. y MALETTI, C. 2004. “Efectos de diferentes intensidades de poda en el comportamiento y crecimiento de *Grevillea robusta* A. Cunn”. *Revista de Ciencia y Tecnología – Serie Forestal*. Volumen 1 Julio 2004 N°1, ISSN: 1668-4133. Universidad Nacional de Formosa. p. 50-63.

(32) KELLER, A.; FASSOLA, H. E.; PACHAS, N. 2004. “Efecto de la poda y raleo sobre el crecimiento de *Pinus taeda* L. a los 11 años de edad en el departamento de Iguazú, Misiones”. 11^{as} Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Facultad de Ciencias Forestales-UNaM, EEA Montecarlo, INTA.

(33) COSTAS, R.; MAC DONAGH, P.; WEBER, E.; FIGUEREDO, S.; IRSCHICK, P. 2005. “Influencias de la densidad y podas sobre la producción de *Pinus taeda* L. a los 7 años de edad”. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v.15, n.3, p. 275-284 ISSN 0103-9954.

- (34) AMATEIS, R. L.; BURKHART, H. E. 2006. "Growth following pruning of young loblolly pine trees: some early results". Gen. Tech. Rep. SRS-92. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. pp. 42-44.
- (35) DAVEL, M. M.; SALVADOR, G. 2004. "Evaluación de esquemas de poda en plantaciones de *Pino Oregon* (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) en la Patagonia Andina" Investigación Forestal Al Servicio de la Producción II. Resultados aplicables al cultivo de bosques y la producción de madera en Argentina. SAPyA. Proyecto Forestal de Desarrollo. Buenos Aires, abril de 2004.
- (36) GIBSON, M. D.; CLASON, T. R.; HILL, G. L.; GROZDITS, G. A. 2002. "Influence of Thinning and Pruning on Southern Pine Veneer Quality". In: Gen. Tech. Rep. SRS-48. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. p. 165-169.
- (37) PIRES, M. B.; FERREIRA REIS, M. DAS G.; GONÇALVES DOS REIS, G. 2002. "Crescimento de *Eucalyptus grandis* submetido a diferentes intensidades de desrama artificial na Região de Dionísio, MG." Brasil Florestal, N° 3, Abril 2002.
- (38) SCHMIDT, T.L.; WARDLE, T.D. 2002. Impact of Pruning Eastern Redcedar (*Juniperus virginiana*). Western Journal of Applied Forestry, vol. 17, N° 4: 189-193.
- (39) HOPPE, J. M.; FREDDO, A. R. 2003. "Efeito da intensidade de desrama na produção de *Pinus elliottii* Engelm., no Município de Piratini", RS. Ciência Florestal, Santa Maria, vol. 13, núm. 2, p. 47-56 ISSN 0103-9954. Brasil.
- (40) SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; HOPPE, J. M. 1999. "Efeito da intensidade de desrama na produção de *Pinus elliottii* Engelm., implantado em solo pobre, no estado do Rio Grande do Sul". Ciência Florestal, Santa Maria, vol.9, núm.1, p.35-46. ISSN 0103-9954.

- (41) DE MONTIGNY, L.; STEARNS-SMITH, S. 2001. "Thinning and pruning Coastal Douglas fir near Chilliwack, B. C.: 8-year results". British Columbia, Ministry of Forests Research Program. N° 56 Extension note, 8 págs.
- (42) MONTAGNA, R. G.; FEMANDES, de S. P.; ROCHA, F. T.; FLORSHEIM, S. M. B.; do COUTO, Z. H. T. 1993. "Influência da desrama artificial sobre o crescimento e a densidade básica da madeira de *Pinus elliottii* var. *Elliottii*". Série Técnica IPEF, Piracicaba, vol.9, núm.27, p.35 – 46, Ago.1993
- (43) GRISEZ, T. J. 1978. "Pruning Black Cherry in Understocked Stands" Forest Service Research Paper NE-395.
- (44) O'HARA, K. L.; BERRILL, J. P. 2009. "Epicormic sprout development in pruned coast redwood: pruning severity, genotype, and sprouting characteristics". Annals of Forest Science, n: 66, p.409. INRA, EDP Sciences. www.afs-journal.org
- (45) ALCORN, P. J.; SMITH, R. G. B.; THOMAS, D.; JAMES, R. BAUHUIJUS, J. y NICOTRA, A. 2008. Pruning in young plantation grown *Eucalyptus pilularis* y *E. cloeziana* trees. Canadian journal forest research 38, pp. 770-781.
- (46) FLORIANO, EDUARDO PAGEL 2004. Efeito da desrama sobre o crescimento e a forma de *Pinus elliottii* Engelm. Tese (Mestre em Engenharia Florestal). Santa Maria, RS, Brasil.
- (47) JUÁREZ DE GALINDEZ, M.; GIMENEZ, A.M.; RIOS, N.; BALZARINI, M. 2005. "Modelación de crecimiento de *Prosopis alba* Griseb. empleando dos modelos biológicos". Quebracho, revista de ciencias forestales, n°12 p. 34-42.
- (48) GIMENEZ, A.M.; RIOS, N.; MOGLIA, G. HERNANDEZ, P.; BRAVO, S. 2001. Estudio de magnitudes dendrométricas en función de la edad en *Prosopis alba* Griseb, Mimosácea. Revista Forestal Venezolana, 45 (2). p. 175-183.
- (49) GIMENEZ, A.M.; RIOS, N.; MOGLIA, G. 2003. "Crecimiento de *Prosopis nigra* (Griseb.) Hieron (algarrobo negro) en Santiago del Estero, Argentina". Foresta

veracruzana. Vol, 5. Número 002. Universidad Veracruzana, Xalapa, México. Pp. 17-22.

(50) TONINI, H. 2000. “Crecimiento em altura de *Pinus elliottii* Engelm., em três unidades de mapeamento de solo, nas regiões da serra do sudeste e litoral, no Estado do Rio Grande do Sul. Tese: Mestre em engenharia florestal. Universidad Federal de Santa María.

(51) CARTA DE SUELOS DE LA REPUBLICA ARGENTINA PROV. DEL CHACO. Los suelos del Dpto. Comandante Fernández. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria E.E.A. Sáenz Peña. Edición digital.

(52) DI RIENZO J.A., CASANOVES F., BALZARINI M.G., GONZALEZ L., TABLADA M., ROBLEDO C.W. 2008. *InfoStat, versión 2008*, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

(53) BALZARINI, M.G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; CASANOVES, F.; DI RIENZO, J.A. y ROBLEDO, C.W. 2008. *InfoStat, Manual del Usuario*, Editorial Brujas, Córdoba, Argentina.

(54) KUEHL, O. ROBERT. 2001. Diseño de experimentos. Principios estadísticos de diseño y análisis de investigación. 2ª. Ed. Tompson learning, México.

(55) SIT, V. 1994. “Catalog of curves for curve fitting”. Victoria, Canada, B.C.: Ministry of Forests, Forest Science Research Branch, Biometrics information handbook series, ISSN 1183-9759-no.4. 110 p.

(56) KIVISTE, A.; ALVAREZ G., J. G.; ROJO A., A.; RUIZ G., A. D. 2002. “Funciones de crecimiento de aplicación en el ámbito forestal”. Monografías INIA: Forestal N° 4. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, Madrid. Ministerio de Ciencia y Tecnología.

(57) VANTUIL, G. B. 2008. Efeitos da desfolha artificial no crescimento de plantas de *Eucalyptus* spp. em reflorestamento, município de Campo Verde, estado de Mato

Grosso. Tese (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) Faculdade de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Mato Grosso.

(58) AZNAR, CARLOS RAMÓN 2007. Registros de luvias periodo 1960 – 2007. Colonia Rivadavia Lote N° 18. Presidencia Roque Sáenz Peña. Chaco. República Argentina.

ANEXO 1

INTA-EEA SAENZ PEÑA- INVENTARIO Y EVALUACIÓN DE TIERRAS
 RESULTADOS ANALITICOS DE LOS LABORATORIOS DE FISICA Y QUÍMICA -
 SUELOS

Cuadro 1. Datos de un perfil representativo de la Serie Independencia

Perfil N° C 31		A p ₁₂	A	AC	Ck1	Ck2
N° Laboratorio		21779	21780	21781	21782	21783
Profundidad (cm)		0-20	20-45	45-87	87-122	122-175
Factor de humedad		1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
Mat.	C (%)	1.69	0.71	0.30	0.17	
	N (%)	0.180	0.078	0.048		
Org.	C/N	10	9	6		
T	Arcilla (<2 μ)	19.1	20.6	21.4	21.9	20.4
E	Limo (2-20 μ)	18.8	18.3	19.3	25.0	28.1
X	Limo (2-50 μ)	41.0	41.3	40.5	49.0	53.2
T	Arena m. fina 1(50-74 μ)	16.7	16.3	15.7	10.4	9.5
U	Arena m. fina 2(74-100 μ)	18.6	18.4	17.9	12.0	7.2
R	Arena fina (100-250 μ)	4.5	3.3	4.4	4.9	4.9
A	Arena media (250-500 μ)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
E	Arena gruesa (500-1000 μ)					
N	Arena m gruesa (1000-2000 μ)					
%						
Gravilla (>2 mm)						
P (ppm)		171.4	70	42.5	85.7	35
CaCo ₃ (%) V		0	0	0	1.7	4.7
Equivalente de humedad (%)		19.0	18.3	18.6	22.7	25.3
Resistencia de la pasta (Ohms/cm)		1521	3043	1729	426	479
PH en pasta		6.2	6.5	7.1	7.5	7.7
PH en H ₂ O (1: 2.5)		6.6	6.9	7.5	7.8	8.2
PH en 1N KCl (1:2.5)		5.8	5.7	6.1	7.3	7.5
Conductividad (mmhos/cm)		1.64	0.82	1.45	5.87	5.22
Cat. de Cambio. (m.e./ 100 g)	Ca ⁺⁺	11.7	12.5	13.4		
	Mg ⁺⁺	2.4	2.2	2.5		
	Na ⁺	0.4	0.4	0.8	3.4	3.4
	K ⁺	2.4	1.1	0.8	1.2	1.4
% Na ⁺ en cambio de V.T		2.3	2.6	10.8	25	21
% Agua de saturación		37	39	33	43	47
Valor S (m.e./100 g) NH ₄ ⁺ o ⁺		17.9	16.2	17.5		
H cambio (m.e./100g)		4.3	3.9	2.2		
Valor T (m.e./100g) NH ₄ ⁺ o Na ⁺		17.7	15.4	15.9	13.6	16.0
% de saturación de T		100	100	100		
% de saturación de S ₊ H		81	81	88		

OBSERVACIONES: Alto contenido en fósforo.

Cuadro 2. Datos de un perfil representativo de la Serie Independencia

PERFIL N° C 31		C k 1	C k 2			
N° Laboratorio		21782	21783			
Profundidad (cm)		87-122	122-175			
Factor de humedad						
CaCo3 (%V)						
Agua de saturación (%)						
Resistencia de la pasta (ohms/cm)						
PH en pasta						
PH e H2O (1:2.5)						
Extracto de suelo saturado	Cationes	pH	7.1	7.1		
		Conductividad (mmhos/cm)	3.78	2.80		
		Ca + +	12.2	6.5		
	m. e. /l.	Mg + +	9.1	6.9		
		Na +	21.0	21.0		
		K +				
	Aniones m.e./l.	HCO 3 ⁻	3.0	2.0		
		SO 4 ⁻	7.5	5.3		
		CL ⁻	30.0	23.0		
	Valor T (m e /l.) Na NO ₃ cualitativo		30.0	23.0		
Sodio en cambio (m e/l.) NO ₃ cuantitativo		5.6	5.6			
Sodio cambiabile %						

Cuadro 3. Datos de un perfil representativo de la Serie Matanza

Perfil N° C 37		A1 01	A 2	A 3	B t	BC1	BC2	Ck1	Ck2
N° Laboratorio		21812	21813	21814	21815	21816	21817	21818	21819
Profundidad (cm)		0-10	10-23	23-31	31-48	48-68	68-93	93-135	135-180
Factor de humedad		1.03	1.03	1.03	1.03	1.05	1.05	1.03	1.02
Mat.	C (%)	11	10	9	6				
	N (%)	36.6	36.3	39.4	48.3	47.2	49.8	24.2	26.8
Org.	C/N	27.6	28.8	27.0	24.2	24.9	28.3	25.4	21.3
T	Arcilla (<2 μ)	41.5	44.0	42.7	36.6	35.7	37.0	51.0	53.6
E	Limo (2-20 μ)	10.4	8.5	10.6	6.7	11.0	6.9	10.5	8.9
X	Limo (2-50 μ)	7.6	8.4	4.8	6.3	4.8	5.1	3.7	7.1
T	Arena m. fina 1(50-74 μ)	2.8	2.7	2.4	2.0	1.2	1.2	1.3	1.4
U	Arena m. fina 2(74-100 μ)	1.1	0.1	0.1	0.1	0.1		0.6	0.3
R	Arena fina (100-250 μ)								
A	Arena media (250-500 μ)								
E	Arena gruesa (500-1000 μ)								
N	Arena m gruesa (1000-2000 μ)								
%									
Gravilla (>2 mm)									
P (ppm)		164.4	115.4	55.8	139.9	86	46.3	7.9	7.1
CaCo ₃ (%) V		0	0	0	0	0	0	8.7	1.9
Equivalente de humedad (%)		26.5	23.3	23.5	24.6	25.8	27.3	20.8	18.4
Resistencia de la pasta (Ohms/cm)		1314	1245	1245	664	332	256	256	221
PH en pasta		7.6	7.3	7.2	6.5	6.8	6.9	7.5	7.5
PH en H ₂ O (1: 2.5)		7.9	7.7	7.6	7.0	7.0	7.5	7.9	8.1
PH en 1N KCl (1:2.5)		7.2	7.0	6.6	6.0	6.3	6.6	7.4	7.4
Conductividad (mmhos/cm)		1.90	2.01	2.01	3.77	7.53	9.77	9.77	11.31
Cat. de Cambio (m.e./ 100g)	Ca ⁺⁺	26.0	23.8	16.4	16.5				
	Mg ⁺⁺	2.9	4.1	5.0	5.5				
	Na ⁺	0.5	0.4	0.4	0.4				
	K ⁺	3.5	2.3	1.6	1.8				
% Na ⁺ en cambio de V.T		1.9	2.2	2.0	1.6				
% Agua de saturación		45	41	44	41	42	49	38	32
Valor S (m.e/100 g) NH ₄ ⁺ o ⁺		32.9	23.8	23.4	24.2				
H cambio (m.e/100g)		2.7	2.1	2.3	3.1				
Valor T (m.e/100g) NH ₄ ⁺ o Na ⁺		25.8	18.6	19.8	24.4				
% de saturación de T		100	100	100	99				
% de saturación de S ₊ H		92	92	91	89				

OBSERVACIONES: Alto contenido en fósforo.

Cuadro 4. Datos de un perfil representativo de la Serie Matanza

PERFIL N° C 37		BC1	BC2	Ck1	Ck2	
N° Laboratorio		21816	21817	21818	21819	
Profundidad (cm)		48-68	68-93	93-135	135-180	
Factor de humedad						
CaCo3 (%V)						
Agua de saturación (%)						
Resistencia de la pasta (ohms/cm)						
PH en pasta						
PH e H2O (1:2.5)						
Extracto de suelo saturado	Cationes m. e. /l.	pH	7.2	7.2	7.3	7.2
		Conductividad (mmhos/cm)	11.7	15.0	16.5	16.2
		Ca + +	66.5	79.5	77.9	70.7
		Mg + +	31.3	40.7	46.0	48.5
		Na +	19.6	26.8	40.0	52.0
		K +				
	Aniones m.e./l.	HCO ₃ ⁻	3.0	3.0	4.0	3.0
		SO ₄ ⁻	7.0	13.0	17.5	16.0
		CL ⁻	65.0	96.0	126.0	128.0
	Valor T (m e /l.) Na		41.0	30.0	15.0	12.0
Sodio en cambio (m e/l.)						
Sodio cambiabile %						

ANEXO 2

IMÁGENES QUE ILUSTRAN TRATAMIENTOS T1 y T4



Imagen de ejemplar en tratamiento sin poda (T1)

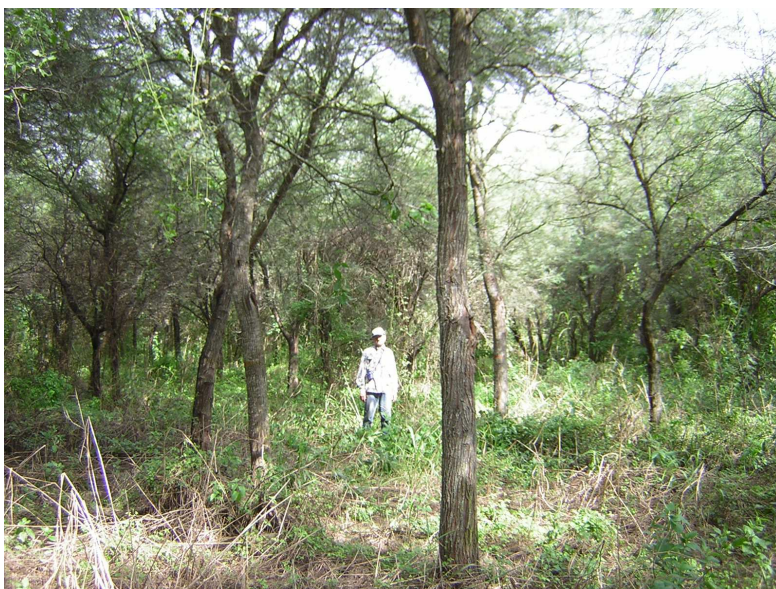


Imagen de tratamiento de intensidad de poda 70% (T4)

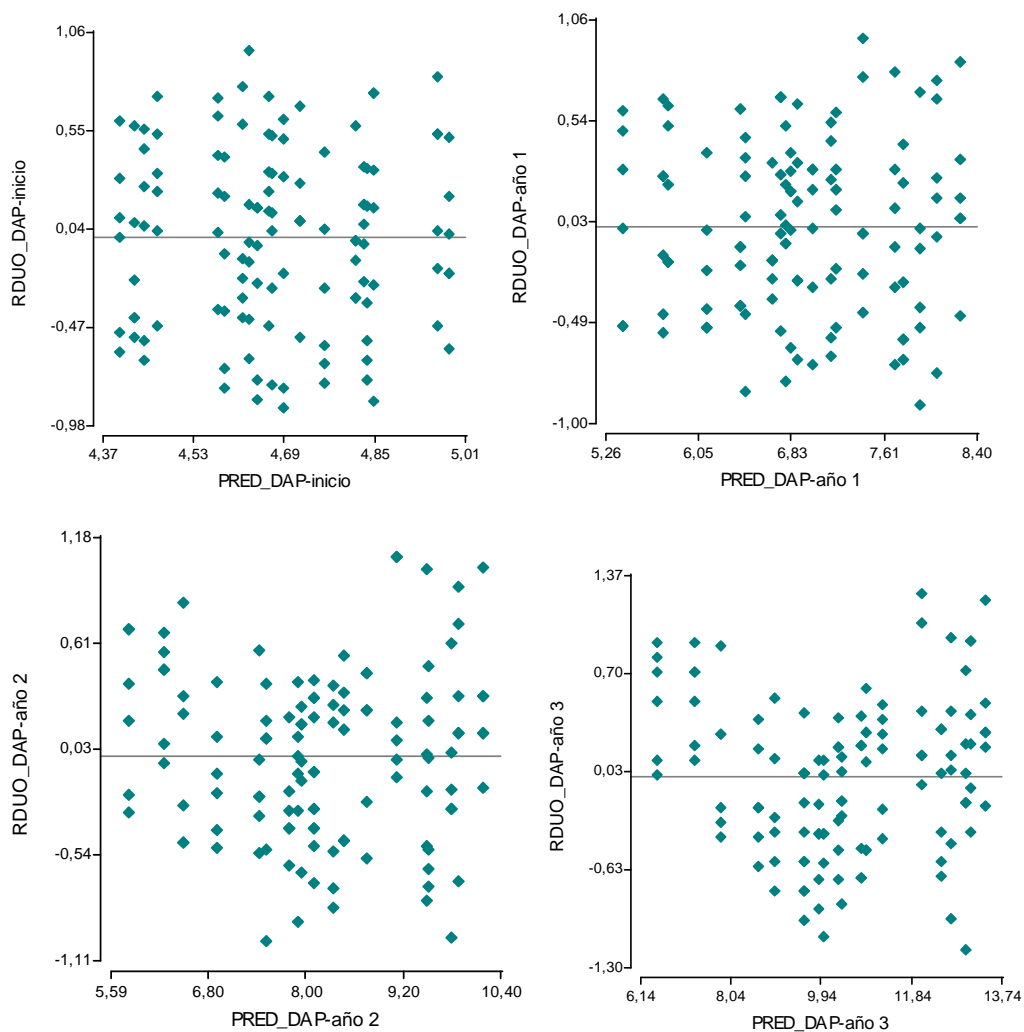
ANEXO 3

PRUEBA DE NORMALIDAD: DAP

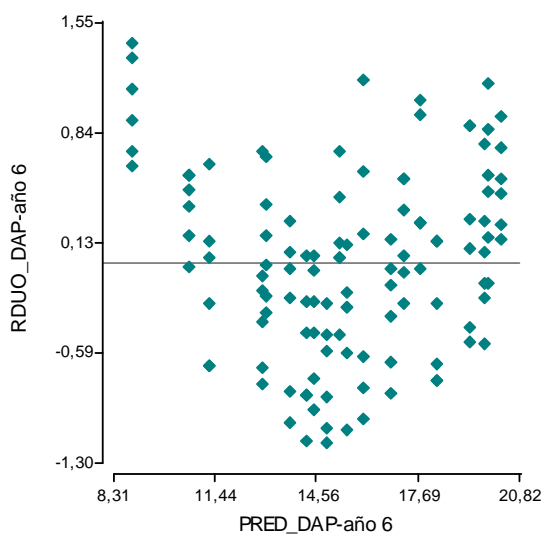
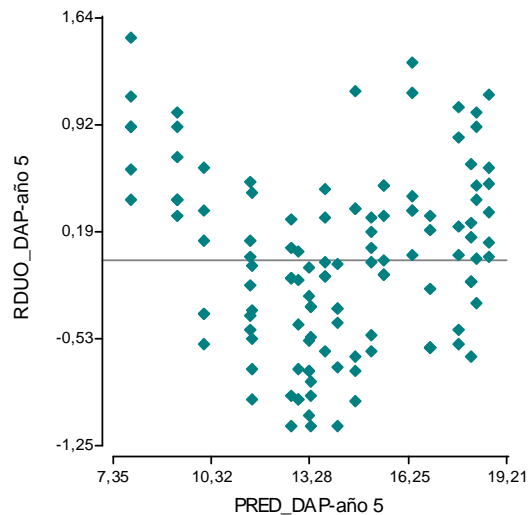
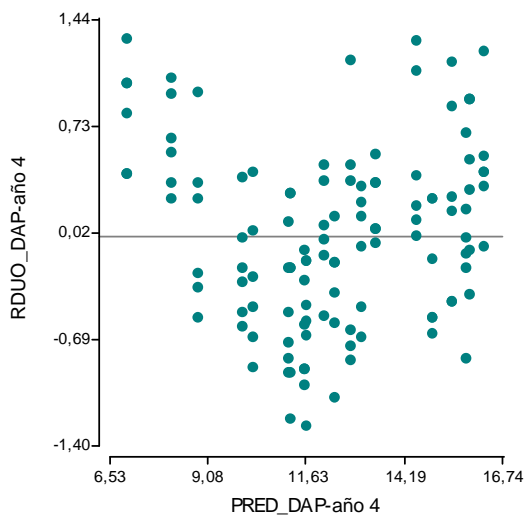
Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p (una cola)
RDUO_DAP-inicio	120	0,00	0,46	0,96	0,0045
RDUO_DAP-año 1	120	0,00	0,43	0,97	0,0459
RDUO_DAP-año 2	120	0,00	0,46	0,97	0,2288
RDUO_DAP-año 3	120	0,00	0,52	0,98	0,2685
RDUO_DAP-año 4	120	0,00	0,59	0,97	0,0531
RDUO_DAP-año 5	120	0,00	0,60	0,97	0,0588
RDUO_DAP-año 6	120	0,00	0,60	0,97	0,0961

HOMOGENEIDAD DE VARIANZA (DISPERSIÓN DE PREDICHOS & RESIDUOS)



Continúa gráficos de dispersión (predichos & residuos)



ANEXO 4

Estadísticos de ajuste y parámetros por tratamiento y modelo (descripción del crecimiento del DAP en función de la edad)

Ec.	Tratamiento 1							Tratamiento 2							Tratamiento 3							Tratamiento 4						
	Estadísticos			Parámetros				Estadísticos			Parámetros				Estadísticos			Parámetros				Estadísticos			Parámetros			
	R ² aj.	CME	Syx %	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	R ² aj.	CME	Syx %	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	R ² aj.	CME	Syx %	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	R ² aj.	CME	Syx %	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃
1	0,847	3,501	16,0	-1,455	2,193			0,820	2,539	16	-0,476	1,699			0,855	3,141	15,7	-1,583	2,146			0,829	1,283	13,3	1,050	1,242		
2	0,838	3,697	16,4	-9,095	12,023			0,801	2,809	17	-6,287	9,252			0,846	3,352	16,2	-9,045	11,757			0,802	1,483	14,3	-3,145	6,733		
3	0,848	3,464	15,9	-3,587	2,993	0,067		0,819	2,551	16	-0,639	1,760	-0,005		0,856	3,111	15,6	-3,527	2,875	-0,061		0,828	1,284	13,3	1,704	0,997	0,020	
4	0,849	3,457	15,9	1,214	0,206	0,430	0,028	0,819	2,562	16	0,247	1,246	0,087	-0,005	0,857	3,100	15,6	1,516	-0,052	0,461	-0,029	0,828	1,289	13,4	0,657	1,605	0,088	0,006
5	0,895	1,022	8,6	3,476	-5,849			0,853	1,025	10	3,177	-5,180			0,901	1,021	9,0	3,455	-5,934			0,830	1,019	11,9	2,867	4,107		
6	0,845	3,546	16,9	1,567	1,119			0,853	2,541	16	1,473	1,051			0,820	3,188	15,8	1,463	1,137			0,827	1,292	13,4	1,793	0,872		
7	0,811	4,301	17,7	3,760	0,179			0,819	2,812	17	3,302	0,171			0,801	3,904	17,5	3,567	0,182			0,821	1,334	13,6	3,420	0,145		
8	0,850	3,449	15,9	24,723	3,601	0,426		0,805	2,920	18	0,044	-4,433	-0,031		0,821	4,197	18,0	0,022	-5,179	-0,029		0,812	1,374	13,8	0,077	3,881	0,031	
9	0,753	3,446	15,9	20,960	13,213	0,478		0,760	3,370	19	-0,952	-1,201	0,014		0,821	5,181	20,2	-0,009	-1,002	0,000		0,794	1,525	14,5	-0,631	1,142	0,009	
10	0,812	3,466	15,9	25,358	-0,293	0,087	0,005	0,820	2,563	17	35,325	-0,858	0,098	1,992	0,802	3,109	15,6	24,613	-0,218	0,253	15,458	0,822	1,292	13,4	31,889	0,075	0,111	33,757

Evaluación (gráfica) de ajuste: modelo seleccionado.

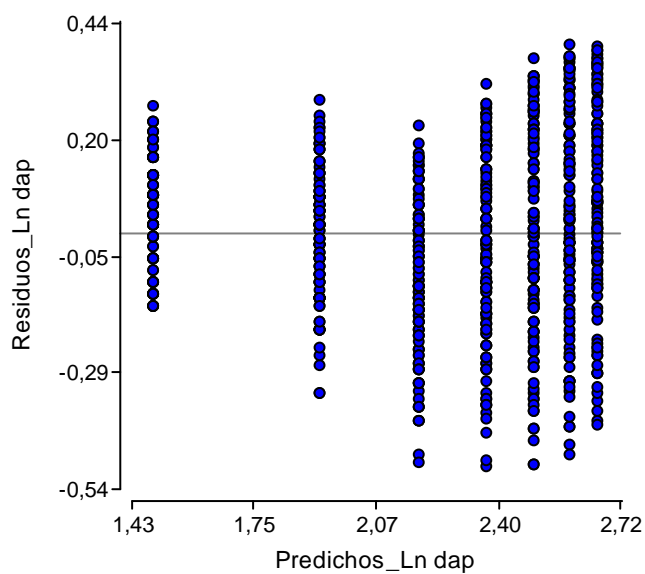


Gráfico de residuos & predichos con el modelo de Schumacher (predicción del DAP según la edad).

ANEXO 5

TEST DE NORMALIDAD: ALTURA TOTAL (HT)

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO_HT-inicio	120	0,0000	0,3816	0,9852	0,7687
RDUO_HT-año1	120	0,0000	0,4154	0,9737	0,1849
RDUO_HT-año2	120	0,0000	0,4568	0,9902	0,9501
RDUO_HT-año3	120	0,0000	0,4599	0,9833	0,6598
RDUO_HT-año4	120	0,0000	0,4727	0,9689	0,0768
RDUO_HT-año5	120	0,0000	0,5049	0,9660	0,0427
RDUO HT-año6	120	0,0000	0,5098	0,9726	0,1523

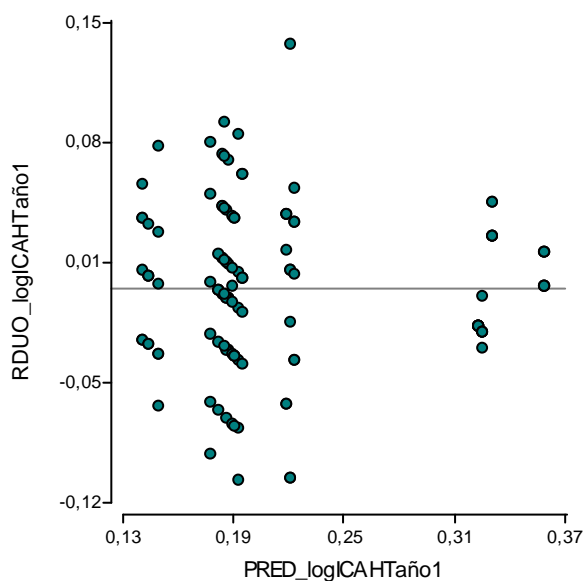
ANEXO 6

Pruebas de homogeneidad de varianza para incremento anual de altura: año1 valores transformados con logaritmo.

Análisis de varianza de residuos absolutos de IA-altura: año1 (transformados con log) para testear homogeneidad de varianza

Fuente de Variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamiento	0,01	3	0,0022	2,75	0,0459
Error	0,09	116	0,00079		
Total	0,10	119			

Gráfico de predichos y residuos de IA altura: año1 (transformados)

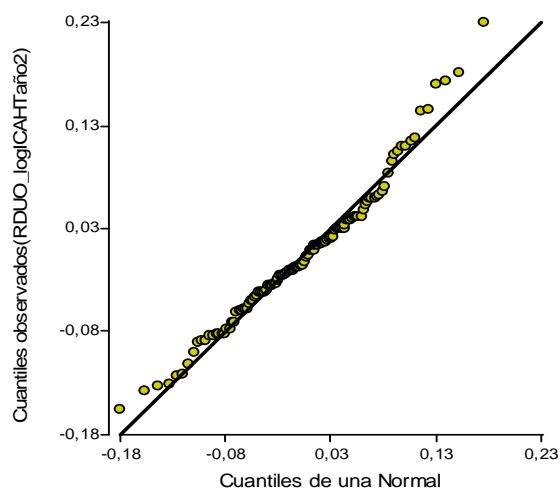


Pruebas de normalidad para incremento anual de altura: año1 valores transformados con logaritmo.

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p (una cola)
RDUO_logIA-HTaño2	120	0,00	0,07	0,97	0,0789

Gráfico Q-Q plot normal: IA altura: año2 (transformado)



ANEXO 7

Gráfico: Relación entre precipitación anual e incremento anual del DAP

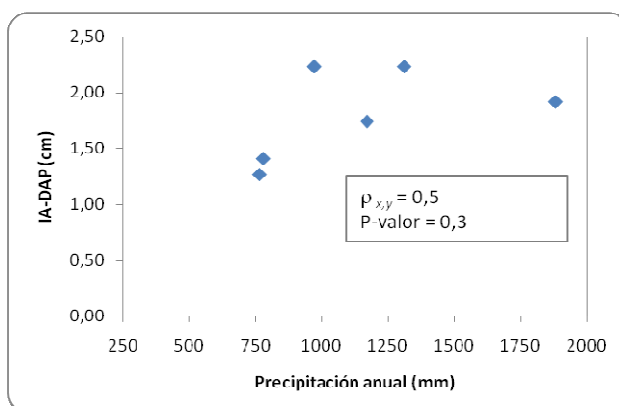


Gráfico: Precipitación en mm por año, elaborado a partir de registros de un productor de la zona (Pedro Aznar),(58).

