



**UNSE**

Universidad Nacional  
de Santiago del Estero

# Evaluación de la estructura y manejo de la densidad de tres plantaciones mixtas de *Melia azedarach* y *Grevillea robusta* en Misiones (Argentina)



**Victor Ramón Pérez**

TESIS DOCTORAL

Facultad de Ciencias Forestales

Santiago del Estero, Argentina  
2021



ISBN 978-987-8922-00-3



Pérez, Víctor Ramón

Evaluación de la estructura y manejo de la densidad de tres plantaciones mixtas de Melia azedarach y Grevillea robusta en Misiones : Argentina : Tesis doctoral : Facultad de Ciencias Forestales : Universidad Nacional de Santiago del Estero / Víctor Ramón Pérez. - 1a ed. - Santiago del Estero : Universidad Nacional de Santiago del Estero - UNSE. Facultad de Ciencias Forestales, 2021.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-8922-00-3

1. Plantaciones. 2. Recursos Forestales. 3. Misiones . I. Título.  
CDD 634.9



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SANTIAGO DEL ESTERO  
Facultad de Ciencias Forestales



# **Evaluación de la estructura y manejo de la densidad de tres plantaciones mixtas de *Melia azedarach* y *Grevillea robusta* en Misiones (Argentina)**

TESIS  
PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE  
DOCTOR EN CIENCIAS FORESTALES

POR

**Victor Ramón Pérez**

Ingeniero Forestal - Universidad Nacional del Nordeste - 1979

Director de tesis: **Dr. Publio A. Araujo**  
Codirector: **Dr. Hermann Hampel**

Santiago del Estero, Argentina.  
Año 2021



**TÉRMINO DE APROBACIÓN**

**TESIS DOCTORAL**

En la ciudad de Santiago de Estero, a los 20 días de agosto de 2021, siendo las 10:00 horas, se reúne el Tribunal de Tesis, constituido por los profesores Dra. Claudia Luna (Universidad Nacional del Nordeste – UNNE), Dr. Héctor Gonda (Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico – CIEFAP) y Dr. Miguel Brassiolo (Facultad de Ciencias Forestales-UNSE), según Resolución CD FCF N°051/21, para evaluar la Tesis Doctoral del Ing. Víctor Ramón Pérez, DNI 11.887.721, en la Defensa de Tesis Doctoral, convocada mediante Resolución CD FCF N°089/2021.

La Tesis se titula “Evaluación de la estructura y manejo de la densidad de tres plantaciones mixtas de *Melia azedarach* y *Grevillea robusta* en Misiones (Argentina)”, y fue dirigida por el Dr. Publio Araujo (Universidad Nacional de Santiago del Estero) y codirigida por el Dr. Hermann Hampel (Danzer Veneer Américas - EEUU).

Después de evaluar la Tesis e interrogar al doctorando, el Jurado deliberó por la APROBACIÓN, con la calificación SOBRESALIENTE-DIEZ (10), “Cum Lauden”.

**JURADO DE TESIS**

  
Firma  
Dra. Claudia Luna

  
Firma  
Dr. Héctor Gonda

  
Firma  
Dr. Miguel Brassiolo



## Dedicatoria

*A mi familia, fuente inagotable de afectos, y especialmente a mi mujer Celia, por su infinita comprensión e incondicional apoyo para que siempre pueda cumplir mis objetivos de capacitación y actualización académica y profesional. En mi ausencia física y lejos de casa, ella sostuvo el hogar de manera firme y eficientemente a pesar de las no pocas dificultades; sin su cariño y generosidad no hubiera podido transitar este camino de perfeccionamiento. Gracias totales!!*

## Agradecimientos

En esta instancia de mi vida profesional quiero recordar especialmente al Ing. José A. Valentini, pionero silvicultor de la Región del Parque Chaqueño, quién en el inicio de mis estudios en la Carrera de Ingeniería Forestal (UNNE), tuvo la inteligencia y habilidad para generar en mí, en ese momento un ignorante absoluto de las ciencias forestales, el interés y la pasión inquebrantable por la silvicultura.

A la Universidad Nacional de Formosa a través de la Facultad de Recursos Naturales y la Secretaría General de Ciencia y Tecnología por apoyar mi capacitación y actualización profesional.

Cordiales agradecimientos a mis orientadores académicos quienes con buena predisposición acompañaron en forma permanente el progreso del proyecto. Al director Dr. P.A. Araujo (Q.E.P.D.) por su amabilidad y generoso asesoramiento y guía, importante en esta última instancia del desarrollo de la tesis. Al codirector Dr. H. Hampel por inducirme a incursionar en esta investigación, ocuparse personalmente que pueda disponer la totalidad de los recursos para ejecutar el estudio y sus valiosas contribuciones en la lectura crítica del informe de tesis.

Particular agradecimiento a dos empresas forestales de la provincia de Misiones: a Danzer Forestación S.A. (DanFor), que brindó amplio y permanente apoyo logístico durante varios años y aprobó de manera irrestricta la ejecución de todas las actividades experimentales en los rodales mixtos de *M. azedarach* y *G. robusta* de su propiedad. Especial gratitud a los trabajadores de esta empresa (por limitación de espacio no los cito a cada uno de ellos, aunque los llevaré eternamente en mi memoria afectiva), quienes brindaron contención y calificado trabajo de apoyo a las diversas delegaciones de la UNaF que realizaron las tareas de campo de esta tesis; y al Grupo Insud a través de Pomera Maderas, que en el año 2011 adquirió la totalidad del paquete accionario de DanFor, por acceder a que se realicen los últimos controles de las plantaciones mixtas referidas en este estudio. Sin el apoyo de estas empresas hubiera sido improbable que se pudiera desarrollar esta investigación.

Para que esta aventura personal de capacitación en la cálida y respetada Universidad Nacional de Santiago del Estero, haya tenido un final feliz fue necesaria la intervención de diversas personas a quienes expreso mi agradecimiento sincero:

- ✓ A los diferentes responsables y colaboradores de la Dirección de Posgrado de la Facultad de Ciencias Forestales (UNSE) por la cordialidad permanente, tolerancia y paciencia.
- ✓ A los profesores del Doctorado por la labor docente y el acompañamiento en mi formación académica.
- ✓ A los miembros del jurado y comité de tesis por sus minuciosas correcciones y observaciones y apreciables aportes.
- ✓ A los profesionales que me brindaron asesoramiento y ayuda oportuna en cuestiones estadísticas: Diego López Lauenstein e Ingrid Teich del Instituto de Fisiología y Recursos Genéticos Vegetales (INTA), María F. Barrios de la EEA INTA Concordia (Entre Ríos) y a los docentes del Doctorado en Ciencias Forestales (UNSE) Carlos López (Q.E.P.D.) y Mónica G. Balzarini.
- ✓ A los colegas, compañeros y amigos del Doctorado, por la amistad, afecto y apoyo brindado, haciendo que la estadía en la ciudad de Santiago del Estero fuera cordial, agradable y rica en emociones positivas.

Mi gratitud y cariño particular a los queridos estudiantes de la Cátedra de Silvicultura, Carrera de Ingeniería Forestal, Facultad de Recursos Naturales (Universidad Nacional de Formosa), quienes brindaron valiosa colaboración en las observaciones, mediciones y registros dasométricos y silvícolas durante siete años. Con su juventud, vitalidad, curiosidad y motivación dieron la indispensable dosis de color y alegría al trabajo.

## ÍNDICE GENERAL

	<u>Pág.</u>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1 Hipótesis	4
1.2 Objetivos	5
1.2.1 Objetivo general	5
1.2.2 Objetivos específicos	6
<b>2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>7</b>
2.1 Características Silviculturales de las Especies	7
2.2 Silvicultura de Plantaciones Mixtas	11
2.3 Estructura de las Plantaciones Forestales	13
2.4 Manejo de la Densidad	14
2.5 Funciones de Volumen de Árboles Individuales	17
2.6 Sanidad y Mortalidad de Plantaciones de <i>M. azedarach</i> y <i>G. robusta</i>	20
<b>3. MATERIAL Y MÉTODO</b>	<b>21</b>
3.1 Características Generales del Área de Estudio	21
3.1.1 Caracterización climática y edáfica	24
3.2 Características de las Plantaciones Mixtas	26
3.3 Descripción de los Ensayos de Raleos	29
3.3.1 Ensayos de Cardenal	32
3.3.2 Ensayos de Blanco	33
3.3.3 Ensayos de Nofal	34
3.4 Determinación de las Funciones de Volumen	35

3.5	Estudio de las Distribuciones Diamétricas	38
3.6	Evaluación del Crecimiento Diamétrico	39
3.7	Análisis Estadístico de los Ensayos	40
3.8	Sanidad y Mortalidad de <i>M. azedarach</i> y <i>G. robusta</i>	45
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>47</b>
4.1	Funciones de Volumen para Árboles Individuales	47
4.2	Distribuciones Diamétricas	55
4.2.1	Análisis de la plantación mixta de Blanco	55
4.2.2	Análisis de la plantación mixta de Nofal	65
4.3	Crecimiento Diamétrico	75
4.3.1	Ensayos de Cardenal	76
4.3.2	Ensayos de Blanco	81
4.3.3	Ensayos de Nofal	86
4.4	Incremento del Diámetro y Área Basal	93
4.5	Efectos de los Raleos	98
4.5.1	Análisis exploratorio de los modelos de estructura de covarianza	98
4.5.2	Análisis estadístico de los resultados de los ensayos de raleos	99
4.5.2.1	Ensayos de Cardenal	100
4.5.2.2	Ensayos de Blanco	109
4.5.2.3	Ensayos de Nofal	123
4.5.2.4	Análisis estadístico de parcelas con igual densidad	138
4.5.2.5	Análisis estadístico del desempeño de las especies en cada tratamiento	141
4.5.2.6	Evaluación del área basal y volumen acumulado	146
4.5.3	Análisis estadístico de plantaciones con diferentes diseños	151
4.5.4	Productividad de rodales puros y mixtos de <i>M. azedarach</i> y <i>G. robusta</i>	156
4.6	Referencias Silviculturales, Especialmente sobre la Sanidad y la Mortalidad	162

<b>5. CONCLUSIONES</b>	<b>169</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>177</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>191</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1.</b> Detalles de la densidad (plantas.ha <sup>-1</sup> ) en los ensayos de la plantación mixta de Cardenal. Densidad de cada especie (N a R) y del rodal en su conjunto (NT a R) antes del raleo; densidad de cada especie (N d R) y del rodal en su conjunto (NT d R) después del raleo; y densidad de plantas raleadas de cada especie (N R) y del rodal en su conjunto (NT R).	33
<b>Tabla 2.</b> Detalles de la densidad (plantas.ha <sup>-1</sup> ) en los ensayos de la plantación mixta de Blanco. Densidad de cada especie (N a R) y del rodal en su conjunto (NT a R) antes del raleo; densidad de cada especie (N d R) y del rodal en su conjunto (NT d R) después del raleo; y densidad de plantas raleadas de cada especie (N R) y del rodal en su conjunto (NT R).	34
<b>Tabla 3.</b> Detalles de la densidad (plantas.ha <sup>-1</sup> ) en los ensayos de la plantación mixta de Nofal. Densidad de cada especie (N a R) y del rodal en su conjunto (NT a R) antes del raleo; densidad de cada especie (N d R) y del rodal en su conjunto (NT d R) después del raleo; y densidad de plantas raleadas de cada especie (N R) y del rodal en su conjunto (NT R).	34
<b>Tabla 4.</b> Modelos de regresión utilizados para determinar funciones de volumen de árboles individuales de <i>Melia azedarach</i> y <i>Grevillea robusta</i> en plantaciones mixtas	37
<b>Tabla 5.</b> Clases de sanidad aparente de árboles de <i>M. azedarach</i> según la intensidad de la enfermedad “amarillamiento del follaje”	46
<b>Tabla 6.</b> Coeficientes de determinación ajustado (R <sup>2</sup> aj) y estimador estadístico Durbin - Watson (D-W) para las ecuaciones que estiman el volumen de fuste individual de <i>Melia azedarach</i> en plantación mixta	47
<b>Tabla 7.</b> Coeficientes de determinación ajustado (R <sup>2</sup> aj) y estimador estadístico Durbin - Watson (D-W) para las ecuaciones que estiman el volumen total individual de <i>Grevillea robusta</i> en plantación mixta	48
<b>Tabla 8.</b> Coeficientes de determinación ajustado (R <sup>2</sup> aj) y estimador estadístico Durbin - Watson (D-W) para las ecuaciones que estiman el volumen de fuste individual de <i>Grevillea robusta</i> en plantación mixta	48
<b>Tabla 9.</b> Valores de Error Cuadrático Medio (ECM), Raíz Cuadrada del Error Medio Cuadrático (REMC) y Diferencia Agregada (DA) de los mejores modelos para la estimación del volumen de fuste de <i>M. azedarach</i> y del volumen total y de fuste de <i>G. robusta</i>	49
<b>Tabla 10.</b> Tres mejores ecuaciones para <i>M. azedarach</i> y <i>G. robusta</i> con sus respectivos coeficientes de determinación ajustado (R <sup>2</sup> aj), error de estimación relativo / Índice de Furnival (S <sub>yx</sub> - IF %) y estimador estadístico Durbin – Watson (D-W)	51
<b>Tabla 11.</b> Estadísticos descriptivos del volumen de fuste (sección efectivamente podada) – VF y del volumen total – VT de <i>G. robusta</i> . Plantaciones mixtas de Cardenal, Blanco y Nofal	54

<b>Tabla 12.</b> Parámetros de la distribución Weibull y valor “p” de Kolmogorov – Smirnov. Variable diámetro. Periodo 5 a 11 años de edad. Tratamientos T0 y T3 de los ensayos de Blanco	56
<b>Tabla 13.</b> Estadísticos descriptivos del diámetro durante el periodo de 5 a 11 años de edad para árboles de <i>M. azedarach</i> y <i>G. robusta</i> del tratamiento T0 del ensayo de Blanco	57
<b>Tabla 14.</b> Estadísticos descriptivos del diámetro durante el periodo de 5 a 11 años de edad para árboles de <i>M. azedarach</i> y <i>G. robusta</i> del tratamiento T3 del ensayo de Blanco	62
<b>Tabla 15.</b> Parámetros de la distribución Weibull y valor “p” de la prueba de Kolmogorov – Smirnov. Variable diámetro, periodo de control de 6 a 11 años de edad, <i>M. azedarach</i> y <i>G. robusta</i> , tratamientos T0 y T3 de los ensayos de Nofal	66
<b>Tabla 16.</b> Estadísticos descriptivos del diámetro, periodo de control de 6 a 11 años de edad, <i>M. azedarach</i> y <i>G. robusta</i> , tratamiento T0 de los ensayos de Nofal	67
<b>Tabla 17.</b> Estadísticos descriptivos del diámetro, periodo de control de 6 a 11 años de edad, <i>M. azedarach</i> y <i>G. robusta</i> , tratamiento T3 de los ensayos de Nofal	71
<b>Tabla 18.</b> Parámetros del modelo logístico. Relación entre el DAP y la Edad para diferentes tratamientos de <i>M. azedarach</i> . Variable regresora: Edad <sup>2</sup> . Ensayos de Cardenal	77
<b>Tabla 19.</b> Parámetros del modelo logístico. Relación entre el DAP y la Edad para diferentes tratamientos de <i>G. robusta</i> . Variable regresora: Edad <sup>2</sup> . Ensayos de Cardenal	79
<b>Tabla 20.</b> Parámetros del modelo logístico. Relación entre el DAP y la Edad para diferentes tratamientos de <i>M. azedarach</i> . Variable regresora: Edad <sup>2</sup> . Ensayos de Blanco	82
<b>Tabla 21.</b> Parámetros del modelo logístico. Relación entre el DAP y la Edad para diferentes tratamientos de <i>G. robusta</i> . Variable regresora: Edad <sup>2</sup> . Ensayos de Blanco	85
<b>Tabla 22.</b> Parámetros del modelo logístico. Relación entre el DAP y la Edad para diferentes tratamientos de <i>M. azedarach</i> . Variable regresora: Edad <sup>2</sup> . Ensayos de Nofal	87
<b>Tabla 23.</b> Parámetros del modelo logístico. Relación entre el DAP y la Edad para diferentes tratamientos de <i>G. robusta</i> . Variable regresora: Edad <sup>2</sup> . Ensayos de Nofal	90
<b>Tabla 24.</b> Valores de criterios de verosimilitud penalizada para cada especie de la plantación mixta de Blanco	98
<b>Tabla 25.</b> Valores de criterios de verosimilitud penalizada para la plantación mixta ( <i>Melia azedarach</i> + <i>Grevillea robusta</i> ) de Blanco	99
<b>Tabla 26.</b> Valores de criterios de verosimilitud penalizada. Especie: <i>Melia azedarach</i> de la plantación mixta de Cardenal	100
<b>Tabla 27.</b> Valores de criterios de verosimilitud penalizada. Especie: <i>Grevillea robusta</i> de la plantación mixta de Cardenal	100
<b>Tabla 28.</b> Resultados de las pruebas de hipótesis para <i>Melia azedarach</i> . Plantación mixta de Cardenal	101
<b>Tabla 29.</b> Prueba de contrastes ortogonales, factor “tratamiento*edad”, variable área basal-AB, componente <i>Melia azedarach</i> de la plantación mixta de Cardenal. Periodo de control 6 – 10 años.	102

<b>Tabla 30.</b> Prueba de contrastes ortogonales, factor “tratamiento*edad”, variable volumen de fuste-VF, componente <i>Melia azedarach</i> de la plantación mixta de Cardenal. Periodo de control 6 – 10 años.	103
<b>Tabla 31.</b> Prueba de contrastes ortogonales, factor “tratamiento*edad”, variable diámetro-DAP, componente <i>Melia azedarach</i> de la plantación mixta de Cardenal. Periodo de control 10 – 12 años.	104
<b>Tabla 32.</b> Prueba de contrastes ortogonales, factor “tratamiento*edad”, variable área basal-AB, componente <i>Melia azedarach</i> de la plantación mixta de Cardenal. Periodo de control 10 – 12 años.	104
<b>Tabla 33.</b> Resultados de las pruebas de hipótesis para <i>Grevillea robusta</i> . Plantación mixta de Cardenal	106
<b>Tabla 34.</b> Valores de criterios de verosimilitud penalizada. Especie: <i>Melia azedarach</i> de la plantación mixta de Blanco	109
<b>Tabla 35.</b> Valores de criterios de verosimilitud penalizada. Especie: <i>Grevillea robusta</i> de la plantación mixta de Blanco	109
<b>Tabla 36.</b> Resultados de las pruebas de hipótesis para <i>Melia azedarach</i> . Plantación mixta de Blanco	110
<b>Tabla 37.</b> Prueba de contrastes ortogonales, factor “tratamiento*edad”, variable diámetro-DAP, componente <i>Melia azedarach</i> de la plantación mixta de Blanco. Periodo de control 5 – 9 años.	111
<b>Tabla 38.</b> Prueba de contrastes ortogonales, factor “tratamiento*edad”, variable área basal-AB, componente <i>Melia azedarach</i> de la plantación mixta de Blanco. Periodo de control 5 – 9 años.	113
<b>Tabla 39.</b> Prueba de contrastes ortogonales, factor “tratamiento*edad”, variable volumen de fuste-VF, componente <i>Melia azedarach</i> de la plantación mixta de Blanco. Periodo de control 5 – 9 años.	114
<b>Tabla 40.</b> Prueba de contrastes ortogonales, factor “tratamiento*edad”, variable diámetro-DAP, componente <i>Melia azedarach</i> de la plantación mixta de Blanco. Periodo de control 9 – 11 años.	115
<b>Tabla 41.</b> Prueba de contrastes ortogonales, factor “tratamiento*edad”, variable volumen de fuste-VF, componente <i>Melia azedarach</i> de la plantación mixta de Blanco. Periodo de control 9 – 11 años.	116
<b>Tabla 42.</b> Resultados de las pruebas de hipótesis para <i>Grevillea robusta</i> . Plantación mixta de Blanco	117
<b>Tabla 43.</b> Prueba de contrastes ortogonales, factor “tratamiento*edad”, variable diámetro-DAP, componente <i>Grevillea robusta</i> de la plantación mixta de Blanco. Periodo de control 5 – 9 años.	118
<b>Tabla 44.</b> Prueba de contrastes ortogonales, factor “tratamiento*edad”, variable área basal-AB, componente <i>Grevillea robusta</i> de la plantación mixta de Blanco. Periodo de control 5 – 9 años.	119

<b>Tabla 45.</b> Prueba de contrastes ortogonales, factor “tratamiento*edad”, variable diámetro-DAP, componente <i>Grevillea robusta</i> de la plantación mixta de Blanco. Periodo de control 9 – 11 años.	121
<b>Tabla 46.</b> Prueba de contrastes ortogonales, factor “tratamiento*edad”, variable área basal-AB, componente <i>Grevillea robusta</i> de la plantación mixta de Blanco. Periodo de control 9 – 11 años.	122
<b>Tabla 47.</b> Valores de criterios de verosimilitud penalizada. Especie: <i>Melia azedarach</i> de la plantación mixta de Nofal.	123
<b>Tabla 48.</b> Valores de criterios de verosimilitud penalizada. Especie: <i>Grevillea robusta</i> de la plantación mixta de Nofal.	124
<b>Tabla 49.</b> Resultados de las pruebas de hipótesis para <i>Melia azedarach</i> . Plantación mixta de Nofal.	124
<b>Tabla 50.</b> Prueba de contrastes ortogonales, factor “tratamiento*edad”, variable diámetro-DAP, componente <i>Melia azedarach</i> de la plantación mixta de Nofal. Periodo de control 6 – 9 años.	125
<b>Tabla 51.</b> Prueba de contrastes ortogonales, factor “tratamiento*edad”, variable área basal-AB, componente <i>Melia azedarach</i> de la plantación mixta de Nofal. Periodo de control 6 – 9 años.	126
<b>Tabla 52.</b> Prueba de contrastes ortogonales, factor “tratamiento*edad”, variable volumen de fuste-VF, componente <i>Melia azedarach</i> de la plantación mixta de Nofal. Periodo de control 6 – 9 años.	127
<b>Tabla 53.</b> Prueba de contrastes ortogonales, factor “tratamiento*edad”, variable diámetro-DAP, componente <i>Melia azedarach</i> de la plantación mixta de Nofal. Periodo de control 9 – 11 años.	128
<b>Tabla 54.</b> Resultados de las pruebas de hipótesis para <i>Grevillea robusta</i> . Plantación mixta de Nofal.	130
<b>Tabla 55.</b> Prueba de contrastes ortogonales, factor “tratamiento*edad”, variable diámetro-DAP, componente <i>Grevillea robusta</i> de la plantación mixta de Nofal. Periodo de control 6 – 9 años.	131
<b>Tabla 56.</b> Prueba de contrastes ortogonales, factor “tratamiento*edad”, variable área basal-AB, componente <i>Grevillea robusta</i> de la plantación mixta de Nofal. Periodo de control 6 – 9 años.	132
<b>Tabla 57.</b> Prueba de contrastes ortogonales, factor “tratamiento*edad”, variable volumen de fuste-VF, componente <i>Grevillea robusta</i> de la plantación mixta de Nofal. Periodo de control 6 – 9 años.	133
<b>Tabla 58.</b> Prueba de contrastes ortogonales, factor “tratamiento*edad”, variable diámetro-DAP, componente <i>Grevillea robusta</i> de la plantación mixta de Nofal. Periodo de control 9 – 11 años.	134

<b>Tabla 59.</b> Prueba de contrastes ortogonales, factor “tratamiento*edad”, variable área basal-AB, componente <i>Grevillea robusta</i> de la plantación mixta de Nofal. Periodo de control 9 – 11 años.	135
<b>Tabla 60.</b> Resultados estadísticos de la comparación de rodales mixtos conformados por plantas de <i>Melia azedarach</i> y <i>Grevillea robusta</i> , durante los cuatro años de control del primer ensayo de raleo en la plantación mixta de Blanco	139
<b>Tabla 61.</b> Resultados estadísticos de la comparación de rodales mixtos conformados por plantas de <i>Melia azedarach</i> y <i>Grevillea robusta</i> , durante los cuatro años de control del primer ensayo de raleo en la plantación mixta de Cardenal	139
<b>Tabla 62.</b> Resultados estadísticos de la comparación de rodales mixtos conformados por plantas de <i>Melia azedarach</i> y <i>Grevillea robusta</i> , durante los tres años de control del primer ensayo de raleo en la plantación mixta de Nofal	140
<b>Tabla 63.</b> Resultados estadísticos de la comparación directa de especies ( <i>Melia azedarach</i> y <i>Grevillea robusta</i> ) en cada tratamiento, en el año de inicio y finalización del primer ensayo de raleo de la plantación mixta de Blanco	142
<b>Tabla 64.</b> Resultados estadísticos de la comparación directa de especies ( <i>Melia azedarach</i> y <i>Grevillea robusta</i> ) en cada tratamiento, en el año de inicio y finalización del primer ensayo de raleo de la plantación mixta de Cardenal	143
<b>Tabla 65.</b> Resultados estadísticos de la comparación directa de especies ( <i>Melia azedarach</i> y <i>Grevillea robusta</i> ) en cada tratamiento, en el año de inicio y finalización del primer ensayo de raleo de la plantación mixta de Nofal	144
<b>Tabla 66.</b> Evaluación estadística de parámetros dasométricos a los 11 años de edad ( <b>N11</b> : densidad al año 11. <b>ABa</b> : área basal acumulada del rodal. Existencia al año 11 más cortas intermedias. <b>VFa</b> : volumen de fuste acumulado del rodal. Existencia al año 11 más cortas intermedias). Plantación mixta de Blanco.	147
<b>Tabla 67.</b> Evaluación estadística de parámetros dasométricos a los 11 años de edad ( <b>N11</b> : densidad al año 11. <b>ABa</b> : área basal acumulada del rodal. Existencia al año 11 más cortas intermedias. <b>VFa</b> : volumen de fuste acumulado del rodal. Existencia al año 11 más cortas intermedias). Plantación mixta de Nofal.	147
<b>Tabla 68.</b> Variación de la densidad total y específica (plantas.ha <sup>-1</sup> ). Tratamiento T0, ensayos de Blanco	162
<b>Tabla 69.</b> Variación de la densidad total y específica (plantas plantas.ha <sup>-1</sup> ). Tratamiento T0, ensayos de Nofal	163

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Localización del área de ensayos: jurisdicción de Posadas, en el contexto geográfico de la provincia de Misiones, República Argentina.	21
<b>Figura 2.</b> Vista panorámica de la ubicación de las tres plantaciones mixtas, Cardenal, Blanco y Nofal. Arriba: en el contexto del departamento Capital. Abajo: localización con referencias geográficas.	22
<b>Figura 3.</b> Vista aérea de las tres plantaciones mixtas donde se instalaron los ensayos de raleos. a) Cardenal. b) Blanco. c) Nofal.	23
<b>Figura 4.</b> Esquema del diseño de plantación de líneas puras de una especie y alternadas con líneas puras de la otra (PLP). Plantación de Cardenal	27
<b>Figura 5.</b> Vista interior de la plantación de Cardenal. Filas alternadas (PLP) de cada especie	27
<b>Figura 6.</b> Diseño de plantación en forma alternada en la línea de plantación (PA). Izq. Plantación mixta de Blanco. Der. Plantación mixta de Nofal.	28
<b>Figura 7.</b> Vista interior de la plantación de Blanco. Plantas de cada especie alternadas en cada fila	29
<b>Figura 8.</b> Representación esquemática de la estructura de la unidad experimental utilizada en todos los ensayos de raleos	31
<b>Figura 9.</b> Medición de árboles de <i>Melia azedarach</i> y <i>Grevillea robusta</i> .	36
<b>Figura 10.</b> Izq. Gráficos de las curvas ajustadas por la ecuación 8 frente a los datos observados. Der. Gráficos de la distribución aleatoria de los residuos estudentizados frente a los valores predichos del Ln V. a) Corresponde a la estimación del Ln VF según la ecuación 8 de <i>Melia azedarach</i> . b) Corresponde a la estimación del Ln VT según la ecuación 8 de <i>Grevillea robusta</i> . c) Corresponde a la estimación del Ln VF según la ecuación 8 de <i>Grevillea robusta</i>	50
<b>Figura 11.</b> Volumen de fuste estimado (VF est) por la mejor función (ecuación 8) y volumen de fuste real (VF real) obtenido por cubicación. Especie <i>Melia azedarach</i> de plantaciones mixtas (combinación con <i>Grevillea robusta</i> )	51
<b>Figura 12.</b> Volumen total estimado (VT est) por la mejor función (ecuación 8) y volumen total (VT real) obtenido por cubicación. Especie <i>Grevillea robusta</i> de plantaciones mixtas (combinación con <i>Melia azedarach</i> )	51
<b>Figura 13.</b> Volúmenes totales con corteza, observados y estimados. Plantaciones puras de <i>Grevillea robusta</i>	53
<b>Figura 14.</b> Volumen de fuste estimado (VF est) por la mejor función (ecuación 8) y volumen de fuste real (VF real) obtenido por cubicación. Especie <i>Grevillea robusta</i> de plantaciones mixtas (combinación con <i>Melia azedarach</i> )	53
<b>Figura 15.</b> Histograma de frecuencias absolutas y curva de distribución Weibull de <i>Melia azedarach</i> (izq.) y <i>Grevillea robusta</i> (der.) para el tratamiento T0, período de 5 a 9 años, ensayos de Blanco	59

<b>Figura 16.</b> Histograma de frecuencias absolutas y curva de distribución Weibull de <i>Melia azedarach</i> (izq.) y <i>Grevillea robusta</i> (der.) para el tratamiento T0, período de 9 a 11 años, ensayos de Blanco	60
<b>Figura 17.</b> Distribución de frecuencias teórica absoluta según el ajuste de la función Weibull realizado con base a los histogramas de frecuencia absoluta de <i>M. azedarach</i> del tratamiento T0 de los ensayos de Blanco	61
<b>Figura 18.</b> Distribución de frecuencias teórica absoluta según el ajuste de la función Weibull realizado con base a los histogramas de frecuencia absoluta de <i>G. robusta</i> del tratamiento T0 de los ensayos de Blanco	61
<b>Figura 19.</b> Histograma de frecuencias absolutas y curva de distribución Weibull de <i>Melia azedarach</i> (izq.) y <i>Grevillea robusta</i> (der.) para el tratamiento T3, período de 5 a 9 años, ensayos de Blanco	63
<b>Figura 20.</b> Histograma de frecuencias absolutas y curva de distribución Weibull de <i>Melia azedarach</i> (izq.) y <i>Grevillea robusta</i> (der.) para el tratamiento T3, período de 9 a 11 años, ensayos de Blanco	64
<b>Figura 21.</b> Distribución de frecuencias teórica absoluta según el ajuste de la función Weibull realizado con base a histogramas de frecuencia absoluta de <i>M. azedarach</i> del tratamiento T3 de los ensayos de Blanco	65
<b>Figura 22.</b> Distribución de frecuencias teórica absoluta según el ajuste de la función Weibull realizado con base a histogramas de frecuencia absoluta de <i>G. robusta</i> del tratamiento T3 de los ensayos de Blanco	66
<b>Figura 23.</b> Histograma de frecuencias absolutas y curva de distribución Weibull de <i>Melia azedarach</i> (izq.) y <i>Grevillea robusta</i> (der.) para el tratamiento T0, período de 6 a 9 años, ensayos de Nofal	68
<b>Figura 24.</b> Histograma de frecuencias absolutas y curva de distribución Weibull de <i>Melia azedarach</i> (izq.) y <i>Grevillea robusta</i> (der.) para el tratamiento T0, período de 9 a 11 años, ensayos de Nofal	69
<b>Figura 25.</b> Distribución de frecuencia teórica absoluta según el ajuste de la función Weibull realizado con base a histogramas de frecuencia absoluta de <i>M. azedarach</i> del tratamiento T0 de los ensayos de Nofal	70
<b>Figura 26.</b> Distribución de frecuencia teórica absoluta según el ajuste de la función Weibull realizado con base a histogramas de frecuencia absoluta de <i>G. robusta</i> M. del tratamiento T0 de los ensayos de Nofal	70
<b>Figura 27.</b> Histograma de frecuencias absolutas y curva de distribución Weibull de <i>Melia azedarach</i> (izq.) y <i>Grevillea robusta</i> (der.) para el Tratamiento T3, periodo de 6 a 9 años, ensayos de Nofal	72
<b>Figura 28.</b> Histograma de frecuencias absolutas y curva de distribución Weibull de <i>Melia azedarach</i> (izq.) y <i>Grevillea robusta</i> (der.) para el Tratamiento T3, periodo de 9 a 11 años, ensayos de Nofal	73
<b>Figura 29.</b> Distribución de frecuencia teórica absoluta según el ajuste de la función Weibull realizado con base a histogramas de frecuencia absoluta de <i>M. azedarach</i> del tratamiento T3 de los ensayos de Nofal	74

<b>Figura 30.</b> Distribución de frecuencia teórica absoluta según el ajuste de la función Weibull realizado con base a histogramas de frecuencia absoluta de <i>G. robusta</i> del tratamiento T3 de los ensayos de Nofal	74
<b>Figura 31.</b> Diagrama de dispersión de valores medios de diámetro de <i>Melia azedarach</i> , periodo de observación 6 a 12 años, tratamientos de raleos de Cardenal	76
<b>Figura 32.</b> Curvas de la relación DAP – Edad <sup>2</sup> (arriba) y DAP – Edad (abajo) para los tratamientos de raleo de los ensayos de Cardenal, obtenidas mediante técnicas de regresión logística. Especie <i>Melia azedarach</i> , periodo 6 a 12 años	78
<b>Figura 33.</b> Diagrama de dispersión de valores medios de diámetro de <i>Grevillea robusta</i> , periodo de observación 6 a 12 años, tratamientos de raleos de Cardenal	79
<b>Figura 34.</b> Curvas de la relación DAP – Edad <sup>2</sup> (arriba) y DAP – Edad (abajo) para los tratamientos de raleo de los ensayos de Cardenal, obtenidas mediante técnicas de regresión logística. Especie <i>Grevillea robusta</i> , periodo 6 a 12 años	80
<b>Figura 35.</b> Diagrama de dispersión de valores medios de diámetro de <i>Melia azedarach</i> , periodo de observación 5 a 11 años, tratamientos de raleos de Blanco	81
<b>Figura 36.</b> Curvas de la relación DAP – Edad <sup>2</sup> (arriba) y DAP – Edad (abajo) para los tratamientos de raleo de los ensayos de Blanco, obtenidas mediante técnicas de regresión logística. Especie <i>Melia azedarach</i> , periodo 5 a 11 años	83
<b>Figura 37.</b> Diagrama dispersión de valores medios de diámetro de <i>Grevillea robusta</i> , periodo de observación 5 a 11 años, tratamientos de raleos de Blanco	84
<b>Figura 38.</b> Curvas de la relación DAP – Edad <sup>2</sup> (arriba) y DAP – Edad (abajo) para los tratamientos de raleo de los ensayos de Blanco, obtenidas mediante técnicas de regresión logística. Especie <i>Grevillea robusta</i> , periodo 5 a 11 años	86
<b>Figura 39.</b> Diagrama de dispersión de valores medios de diámetro de <i>Melia azedarach</i> , periodo de observación 6 a 11 años, tratamientos de raleos de Nofal	87
<b>Figura 40.</b> Curvas de la relación DAP – Edad <sup>2</sup> (arriba) y DAP – Edad (abajo) para los tratamientos de raleo de los ensayos de Nofal, obtenidas mediante técnicas de regresión logística. Especie <i>Melia azedarach</i> , periodo 6 a 11 años	89
<b>Figura 41.</b> Diagrama de dispersión de valores medios de diámetro de <i>Grevillea robusta</i> , periodo de observación 6 a 11 años, tratamientos de raleos de Nofal	90
<b>Figura 42.</b> Curvas de la relación DAP – Edad <sup>2</sup> (arriba) y DAP – Edad (abajo) para los tratamientos de raleo de los ensayos de Nofal, obtenidas mediante técnicas de regresión logística. Especie <i>Grevillea robusta</i> , periodo 6 a 11 años	91
<b>Figura 43.</b> Ensayos de raleos de Cardenal. Incremento periódico anual del diámetro medio (IP DAP) y del área basal (IPA AB) de <i>Melia azedarach</i> (M dap, M ab), <i>Grevillea robusta</i> (G dap, G ab) y del rodal mixto (RM dap, RM ab). <i>Izquierda, arriba y abajo.</i> Periodo 6 a 10 años de edad, primer ensayo de raleo. <i>Derecha, arriba y abajo.</i> Periodo 10 a 12 años de edad, segundo ensayo de raleo	94
<b>Figura 44.</b> Ensayos de raleos de Blanco. Incremento periódico anual del diámetro medio (IP DAP) y del área basal (IPA AB) de <i>Melia azedarach</i> (M dap, M ab), <i>Grevillea robusta</i> (G dap, G ab) y del rodal mixto (RM dap, RM ab). <i>Izquierda, arriba y abajo.</i> Periodo 6 a 10	95

años de edad, primer ensayo de raleo. Derecha, arriba y abajo. Periodo 10 a 12 años de edad, segundo ensayo de raleo

- Figura 45.** Ensayos de raleos de Nofal. Incremento periódico anual del diámetro medio (IP DAP) y del área basal (IPA AB) de *Melia azedarach* (M dap, M ab), *Grevillea robusta* (G dap, G ab) y del rodal mixto (RM dap, RM ab). Izquierda, arriba y abajo. Periodo 6 a 10 años de edad, primer ensayo de raleo. Derecha, arriba y abajo. Periodo 10 a 12 años de edad, segundo ensayo de raleo 96
- Figura 46.** Comparaciones de medias por tratamiento y edad, variable área basal-AB de la componente *Melia azedarach*. Plantación mixta de Cardenal. Periodo de control 6 – 10 años. 102
- Figura 47.** Comparaciones de medias por tratamiento y edad, variable área basal-AB de la componente *Melia azedarach*. Plantación mixta de Cardenal. Periodo de control 10 – 12 años. 105
- Figura 48.** Comparaciones de medias por tratamiento, variable volumen de fuste-VF de la componente *Melia azedarach*. Plantación mixta de Cardenal. Periodo de control 10 – 12 años. 106
- Figura 49.** Comparaciones de medias por tratamiento, variable diámetro-DAP de la componente *Grevillea robusta*. Plantación mixta de Cardenal. Periodo de control 10 – 12 años. 107
- Figura 50.** Comparaciones de medias por tratamiento, variable área basal-AB de la componente *Grevillea robusta*. Plantación mixta de Cardenal. Periodo de control 10 – 12 años. 108
- Figura 51.** Comparaciones de medias por tratamiento y edad, variable diámetro – DAP de la componente *Melia azedarach*. Plantación mixta de Blanco. Periodo de control 5 – 9 años. 112
- Figura 52.** Comparaciones de medias por tratamiento según el área basal (AB) de *Melia azedarach*. Plantación mixta de Blanco. Periodo de control 9 – 11 años. 116
- Figura 53.** Comparaciones de medias por tratamiento y edad, variable área basal-AB de la componente *Grevillea robusta*. Plantación mixta de Blanco. Periodo de control 5 – 9 años. 120
- Figura 54.** Comparaciones de medias por tratamiento y edad, variable diámetro-DAP de la componente *Grevillea robusta*. Plantación mixta de Blanco. Periodo de control 9 – 11 años. 121
- Figura 55.** Comparaciones de medias por tratamiento y edad, variable área basal-AB de la componente *Grevillea robusta*. Plantación mixta de Blanco. Periodo de control 9 – 11 años. 122
- Figura 56.** Comparaciones de medias por tratamiento para la variable área basal-AB de la componente *Melia azedarach*. Plantación mixta de Nofal. Periodo de control 9 – 11 años. 129

- Figura 57.** Comparaciones de medias por tratamiento para la variable volumen de fuste-VF, de la componente *Melia azedarach*. Plantación mixta de Nofal. Periodo de control 9 – 11 años. 130
- Figura 58.** Comparaciones de medias por tratamiento, variable volumen de fuste-VF, componente *Grevillea robusta*. Plantación mixta de Nofal. Periodo de control 9 – 11 años 136
- Figura 59.** Diámetro medio (DAP) de *M. azedarach*, *G. robusta* y del rodal correspondiente a las plantaciones mixtas de Cardenal y Blanco. Arriba: resultados a la edad de 6 años. Abajo: resultados a la edad de 9 años. 152
- Figura 60.** Área basal (AB) de *M. azedarach*, *G. robusta* y del rodal correspondiente a las plantaciones mixtas de Cardenal y Blanco. Arriba: resultados a la edad de 6 años. Abajo: resultados a la edad de 9 años. 154
- Figura 61.** Comparaciones de diámetro medio (DAP) por tratamiento. Datos dasométricos de *Melia azedarach* registrados a los 9 años de edad, procedentes de plantaciones puras o monocultivos (Mmo) y de tres plantaciones mixtas (Mmx) de similar densidad 157
- Figura 62.** Comparaciones de diámetro medio (DAP) por tratamiento. Datos dasométricos de *Grevillea robusta* registrados a los 9 años de edad, procedentes de plantaciones puras o monocultivos (Gmo) y de tres plantaciones mixtas (Gmx) de similar densidad 158
- Figura 63.** Comparaciones de área basal por tratamiento. Datos dasométricos de *M. azedarach* y *G. robusta* registrados a los 9 años de edad, procedentes de plantaciones puras o monocultivo (Mmo-Gmo) y de tres plantaciones mixtas (MGmx) de similar densidad 159
- Figura 64.** Comparaciones de volumen de fuste (VF) por tratamiento de *M. azedarach* y *G. robusta*. Datos dasométricos registrados a los 9 años de edad, procedentes de plantaciones puras o monocultivos (Mmo-Gmo) y de tres plantaciones mixtas (MGmx) de similar densidad 160
- Figura 65.** Imágenes de la enfermedad denominada “gomosis” en un ejemplar joven de grevillea 163
- Figura 66.** Izquierda: fuste normal correspondiente a *M. azedarach* con clase de sanidad 2. Derecha: fuste con deformaciones longitudinales moderadas en el fuste. Planta gravemente afectada (clase 3) por la enfermedad amarillamiento del follaje 165
- Figura 67.** Distribución de la frecuencia relativa por clase de sanidad de plantas de *M. azedarach* correspondiente a plantaciones que han tenido manejo de densidad. Arriba: monocultivo en campo Rincón (referido por Pérez *et al.*, 2007 y 2008), con datos a las edades de 7 y 10 años. Izquierda (a): datos del tratamiento T1. Derecha (b): datos del tratamiento T5. Abajo: plantación mixta en campo Cardenal, analizada en esta tesis, con datos a las edades de 6 y 9 años. Izquierda (c): datos del tratamiento control Tc. Derecha (d): datos del tratamiento T2 166

## ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
<b>ANEXO A1. Parámetros dasométricos de la masa cortada en los ensayos de raleos. Plantaciones mixtas de Cardenal, Blanco y Nofal.</b>	
<b>Tabla A1.1.</b> Parámetros dasométricos correspondientes a poblaciones de árboles raleados de <i>Melia azedarach</i> , en cada tratamiento. Plantación mixta de Cardenal.	192
<b>Tabla A1.2.</b> Parámetros dasométricos correspondientes a poblaciones de árboles raleados de <i>Grevillea robusta</i> , en cada tratamiento. Plantación mixta de Cardenal.	192
<b>Tabla A1.3.</b> Parámetros dasométricos correspondientes a poblaciones de árboles raleados de <i>Melia azedarach</i> y <i>Grevillea robusta</i> , en cada tratamiento. Plantación mixta de Cardenal.	192
<b>Tabla A1.4.</b> Parámetros dasométricos correspondientes a poblaciones de árboles raleados de <i>Melia azedarach</i> , en cada tratamiento. Plantación mixta de Blanco.	193
<b>Tabla A1.5.</b> Parámetros dasométricos correspondientes a poblaciones de árboles raleados de <i>Grevillea robusta</i> , en cada tratamiento. Plantación mixta de Blanco.	193
<b>Tabla A1.6.</b> Parámetros dasométricos correspondientes a poblaciones de árboles raleados de <i>Melia azedarach</i> y <i>Grevillea robusta</i> , en cada tratamiento. Plantación mixta de Blanco.	194
<b>Tabla A1.7.</b> Parámetros dasométricos correspondientes a poblaciones de árboles raleados de <i>Melia azedarach</i> , en cada tratamiento. Plantación mixta de Nofal.	194
<b>Tabla A1.8.</b> Parámetros dasométricos correspondientes a poblaciones de árboles raleados de <i>Grevillea robusta</i> , en cada tratamiento. Plantación mixta de Nofal.	194
<b>Tabla A1.9.</b> Parámetros dasométricos correspondientes a poblaciones de árboles raleados de <i>Melia azedarach</i> y <i>Grevillea robusta</i> , en cada tratamiento. Plantación mixta de Nofal.	195
 <b>ANEXO A2. Parámetros dasométricos de la masa remanente de los ensayos de raleos. Plantación mixta de Cardenal.</b>	
<b>Tabla A2.1.</b> Parámetros dasométricos de la masa remanente de <i>Melia azedarach</i> de la plantación mixta de Cardenal. Tratamiento: Tc, control comercial, raleo tipo Danzer.	196
<b>Tabla A2.2.</b> Parámetros dasométricos de la masa remanente de <i>Melia azedarach</i> de la plantación mixta de Cardenal. Tratamiento: T1.	196
<b>Tabla A2.3.</b> Parámetros dasométricos de la masa remanente de <i>Melia azedarach</i> de la plantación mixta de Cardenal. Tratamiento: T2.	197
<b>Tabla A2.4.</b> Parámetros dasométricos de la masa remanente de <i>Melia azedarach</i> de la plantación mixta de Cardenal. Tratamiento: T3.	197
<b>Tabla A2.5.</b> Parámetros dasométricos de la masa remanente de <i>Melia azedarach</i> de la plantación mixta de Cardenal. Tratamiento: T4.	197

<b>Tabla A2.6.</b> Parámetros dasométricos de la masa remanente de <i>Grevillea robusta</i> de la plantación mixta de Cardenal. Tratamiento: Tc, control comercial, raleo tipo Danzer.	198
<b>Tabla A2.7.</b> Parámetros dasométricos de la masa remanente de <i>Grevillea robusta</i> de la plantación mixta de Cardenal. Tratamiento: T1.	198
<b>Tabla A2.8.</b> Parámetros dasométricos de la masa remanente de <i>Grevillea robusta</i> de la plantación mixta de Cardenal. Tratamiento: T2.	198
<b>Tabla A2.9.</b> Parámetros dasométricos de la masa remanente de <i>Grevillea robusta</i> de la plantación mixta de Cardenal. Tratamiento: T3.	199
<b>Tabla A2.10.</b> Parámetros dasométricos de la masa remanente de <i>Grevillea robusta</i> de la plantación mixta de Cardenal. Tratamiento: T4.	199
<b>Tabla A2.11.</b> Parámetros dasométricos de la masa remanente de ( <i>Melia azedarach</i> + <i>Grevillea robusta</i> ) de la plantación mixta de Cardenal. Tratamiento: Tc, control comercial, raleo tipo Danzer.	199
<b>Tabla A2.12.</b> Parámetros dasométricos de la masa remanente ( <i>Melia azedarach</i> + <i>Grevillea robusta</i> ) de la plantación mixta de Cardenal. Tratamiento: T1.	200
<b>Tabla A2.13.</b> Parámetros dasométricos de la masa remanente ( <i>Melia azedarach</i> + <i>Grevillea robusta</i> ) de la plantación mixta de Cardenal. Tratamiento: T2.	200
<b>Tabla A2.14.</b> Parámetros dasométricos de la masa remanente de ( <i>Melia azedarach</i> + <i>Grevillea robusta</i> ) de la plantación mixta de Cardenal. Tratamiento: T3.	201
<b>Tabla A2.15.</b> Parámetros dasométricos de la masa remanente de ( <i>Melia azedarach</i> + <i>Grevillea robusta</i> ) de la plantación mixta de Cardenal. Tratamiento: T4.	201
<b>ANEXO A3. Parámetros dasométricos de la masa remanente en los ensayos de raleos. Plantación mixta de Blanco.</b>	
<b>Tabla A3.1.</b> Parámetros dasométricos de <i>Melia azedarach</i> de plantación mixta de Blanco. Tratamiento: T0, Testigo, sin raleo.	202
<b>Tabla A3.2.</b> Parámetros dasométricos de la masa remanente de <i>Melia azedarach</i> de la plantación mixta de Blanco. Tratamiento: T1.	202
<b>Tabla A3.3.</b> Parámetros dasométricos de la masa remanente de <i>Melia azedarach</i> de plantación mixta de Blanco. Tratamiento: T2.	202
<b>Tabla A3.4.</b> Parámetros dasométricos de la masa remanente de <i>Melia azedarach</i> de la plantación mixta de Blanco. Tratamiento: T3.	203
<b>Tabla A3.5.</b> Parámetros dasométricos de la masa remanente de <i>Melia azedarach</i> de la plantación mixta de Blanco. Tratamiento: T4.	203
<b>Tabla A3.6.</b> Parámetros dasométricos de la masa remanente de <i>Melia azedarach</i> de la plantación mixta de Blanco. Tratamiento: T5.	203
<b>Tabla A3.7.</b> Parámetros dasométricos de la masa remanente de <i>Melia azedarach</i> de la plantación mixta de Blanco. Tratamiento: T6.	204

<b>Tabla A3.8.</b> Parámetros dasométricos de <i>Grevillea robusta</i> de la plantación mixta de Blanco. Tratamiento: T0, Testigo, sin raleo.	204
<b>Tabla A3.9.</b> Parámetros dasométricos de la masa remanente de <i>Grevillea robusta</i> de la plantación mixta de Blanco. Tratamiento: T1.	204
<b>Tabla A3.10.</b> Parámetros dasométricos de la masa remanente de <i>Grevillea robusta</i> de la plantación mixta de Blanco. Tratamiento: T2.	205
<b>Tabla A3.11.</b> Parámetros dasométricos de la masa remanente de <i>Grevillea robusta</i> de la plantación mixta de Blanco. Tratamiento: T3.	205
<b>Tabla A3.12.</b> Parámetros dasométricos de la masa remanente de <i>Grevillea robusta</i> de la plantación mixta de Blanco. Tratamiento: T4.	205
<b>Tabla A3.13.</b> Parámetros dasométricos de la masa remanente de <i>Grevillea robusta</i> de la plantación mixta de Blanco. Tratamiento: T5.	206
<b>Tabla A3.14.</b> Parámetros dasométricos de la masa remanente de <i>Grevillea robusta</i> de la plantación mixta de Blanco. Tratamiento: T6.	206
<b>Tabla A3.15.</b> Parámetros dasométricos de ( <i>Melia azedarach</i> + <i>Grevillea robusta</i> ), de la plantación mixta de Blanco. Tratamiento: T0, Testigo, sin raleo.	206
<b>Tabla A3.16.</b> Parámetros dasométricos de la masa remanente de ( <i>Melia azedarach</i> + <i>Grevillea robusta</i> ) de la plantación mixta de Blanco. Tratamiento: T1.	207
<b>Tabla A3.17.</b> Parámetros dasométricos de la masa remanente de ( <i>Melia azedarach</i> + <i>Grevillea robusta</i> ) de la plantación mixta de Blanco. Tratamiento: T2.	207
<b>Tabla A3.18.</b> Parámetros dasométricos de la masa remanente de ( <i>Melia azedarach</i> + <i>Grevillea robusta</i> ) de la plantación mixta de Blanco. Tratamiento: T3.	207
<b>Tabla A3.19.</b> Parámetros dasométricos de la masa remanente de ( <i>Melia azedarach</i> + <i>Grevillea robusta</i> ) de la plantación mixta de Blanco. Tratamiento: T4.	208
<b>Tabla A3.20.</b> Parámetros dasométricos de la masa remanente de ( <i>Melia azedarach</i> + <i>Grevillea robusta</i> ) de la plantación mixta de Blanco. Tratamiento: T5.	208
<b>Tabla A3.21.</b> Parámetros dasométricos de la masa remanente de ( <i>Melia azedarach</i> + <i>Grevillea robusta</i> ) de la plantación mixta de Blanco. Tratamiento: T6.	208
<b>ANEXO A4. Parámetros dasométricos de la masa remanente de los ensayos de raleos. Plantación mixta de Nofal.</b>	
<b>Tabla A4.1.</b> Parámetros dasométricos de <i>Melia azedarach</i> de la plantación mixta de Nofal. Tratamiento: T0, Testigo, sin raleo.	209
<b>Tabla A4.2.</b> Parámetros dasométricos de la masa remanente de <i>Melia azedarach</i> de la plantación mixta de Nofal. Tratamiento: T1.	209
<b>Tabla A4.3.</b> Parámetros dasométricos de la masa remanente de <i>Melia azedarach</i> de la plantación mixta de Nofal. Tratamiento: T2.	209

<b>Tabla A4.4.</b> Parámetros dasométricos de la masa remanente de <i>Melia azedarach</i> de la plantación mixta de Nofal. Tratamiento: T3.	210
<b>Tabla A4.5.</b> Parámetros dasométricos de la masa remanente de <i>Melia azedarach</i> de la plantación mixta de Nofal. Tratamiento: T4.	210
<b>Tabla A4.6.</b> Parámetros dasométricos de la masa remanente de <i>Melia azedarach</i> de la plantación mixta de Nofal. Tratamiento T5.	210
<b>Tabla A4.7.</b> Parámetros dasométricos de la masa remanente de <i>Grevillea robusta</i> de la plantación mixta de Nofal. Tratamiento: T0, Testigo, sin raleo.	211
<b>Tabla A4.8.</b> Parámetros dasométricos de la masa remanente de <i>Grevillea robusta</i> de la plantación mixta de Nofal. Tratamiento: T1.	211
<b>Tabla A4.9.</b> Parámetros dasométricos de la masa remanente de <i>Grevillea robusta</i> de la plantación mixta de Nofal. Tratamiento: T2.	211
<b>Tabla A4.10.</b> Parámetros dasométricos de la masa remanente de <i>Grevillea robusta</i> de la plantación mixta de Nofal. Tratamiento: T3.	212
<b>Tabla A4.11.</b> Parámetros dasométricos de la masa remanente de <i>Grevillea robusta</i> de la plantación mixta de Nofal. Tratamiento: T4.	212
<b>Tabla A4.12.</b> Parámetros dasométricos de la masa remanente de <i>Grevillea robusta</i> de la plantación mixta de Nofal. Tratamiento: T5.	212
<b>Tabla A4.13.</b> Parámetros dasométricos de ( <i>Melia azedarach</i> + <i>Grevillea robusta</i> ) de la plantación mixta de Nofal. Tratamiento: T0, Testigo, sin raleo.	213
<b>Tabla A4.14.</b> Parámetros dasométricos de la masa remanente de ( <i>Melia azedarach</i> + <i>Grevillea robusta</i> ) de la plantación mixta de Nofal. Tratamiento: T1.	213
<b>Tabla A4.15.</b> Parámetros dasométricos de la masa remanente de ( <i>Melia azedarach</i> + <i>Grevillea robusta</i> ) de la plantación mixta de Nofal. Tratamiento: T2.	213
<b>Tabla A4.16.</b> Parámetros dasométricos de la masa remanente de ( <i>Melia azedarach</i> + <i>Grevillea robusta</i> ) de la plantación mixta de Nofal. Tratamiento: T3.	214
<b>Tabla A4.17.</b> Parámetros dasométricos de la masa remanente de ( <i>Melia azedarach</i> + <i>Grevillea robusta</i> ) de la plantación mixta de Nofal. Tratamiento: T4.	214
<b>Tabla A4.18.</b> Parámetros dasométricos de la masa remanente de ( <i>Melia azedarach</i> + <i>Grevillea robusta</i> ), de la plantación mixta de Nofal. Tratamiento: T5.	214

#### **ANEXO A5. Incremento del diámetro y área basal de las plantaciones mixtas de Cardenal, Blanco y Nofal.**

<b>Tabla A5.1.</b> Crecimiento periódico absoluto y relativo del diámetro - DAP y área basal – AB. Periodos 6–10, 10–12 y 6–12 años de edad. <i>Melia azedarach</i> , ensayos de Cardenal	215
<b>Tabla A5.2.</b> Incremento periódico anual del diámetro - DAP y área basal – AB. Periodos 6–10, 10–12 y 6–12 años de edad. <i>Melia azedarach</i> , ensayos de Cardenal.	215
<b>Tabla A5.3.</b> Crecimiento periódico absoluto y relativo del diámetro - DAP y área basal – AB. Periodos 6–10, 10–12 y 6–12 años de edad. <i>Grevillea robusta</i> , ensayos de Cardenal.	215

<b>Tabla A5.4.</b> Incremento periódico anual del diámetro - DAP y área basal – AB. Periodos 6–10, 10–12 y 6–12 años de edad. <i>Grevillea robusta</i> , ensayos de Cardenal.	216
<b>Tabla A5.5.</b> Crecimiento periódico absoluto y relativo del diámetro - DAP y área basal – AB. Periodos 6–10, 10–12 y 6–12 años de edad. Plantación mixta de Cardenal, ambas componentes en conjunto	216
<b>Tabla A5.6.</b> Incremento periódico anual del diámetro - DAP y área basal – AB. Periodos 6–10, 10–12 y 6–12 años de edad. Plantación mixta de Cardenal, ambas componentes en conjunto	216
<b>Tabla A5.7.</b> Crecimiento periódico absoluto y relativo del diámetro - DAP y área basal – AB. Periodos 5–9, 9–11 y 5–11 años de edad. <i>Melia azedarach</i> , ensayos de Blanco	217
<b>Tabla A5.8.</b> Incremento periódico anual del diámetro - DAP y área basal – AB. Periodos 5–9, 9–11 y 5–11 años de edad. <i>Melia azedarach</i> , ensayos de Blanco	217
<b>Tabla A5.9.</b> Crecimiento periódico absoluto y relativo del diámetro - DAP y área basal – AB. Periodos 5–9, 9–11 y 5–11 años de edad. <i>Grevillea robusta</i> , ensayos de Blanco	218
<b>Tabla A5.10.</b> Incremento periódico anual del diámetro - DAP y área basal – AB. Periodos 5–9, 9–11 y 5–11 años de edad. <i>Grevillea robusta</i> , ensayos de Blanco	218
<b>Tabla A5.11.</b> Crecimiento periódico absoluto y relativo del diámetro - DAP y área basal – AB. Periodos 5–9, 9–11 y 5–11 años de edad. Plantación mixta de Blanco, ambas componentes en conjunto	219
<b>Tabla A5.12.</b> Incremento periódico anual del diámetro - DAP y área basal – AB. Periodos 5–9, 9–11 y 5–11 años de edad. Plantación mixta de Blanco, ambas componentes en conjunto	219
<b>Tabla A5.13.</b> Crecimiento periódico absoluto y relativo del diámetro - DAP y área basal – AB. Periodos 6–9, 9–11 y 6–11 años de edad. <i>Melia azedarach</i> , ensayos de Nofal	220
<b>Tabla A5.14.</b> Incremento periódico anual del diámetro - DAP y área basal – AB. Periodos 6–9, 9–11 y 6–11 años de edad. <i>Melia azedarach</i> , ensayos de Nofal	220
<b>Tabla A5.15.</b> Crecimiento periódico absoluto y relativo del diámetro - DAP y área basal – AB. Periodos 6–9, 9–11 y 6–11 años de edad. <i>Grevillea robusta</i> , ensayos de Nofal	221
<b>Tabla A5.16.</b> Incremento periódico anual del diámetro - DAP y área basal – AB. Periodos 6–9, 9–11 y 6–11 años de edad. <i>Grevillea robusta</i> , ensayos de Nofal	221
<b>Tabla A5.17.</b> Crecimiento periódico absoluto y relativo del diámetro - DAP y área basal – AB. Periodos 6–9, 9–11 y 6–11 años de edad. Plantación mixta de Nofal, ambas componentes en conjunto	222
<b>Tabla A5.18.</b> Incremento periódico anual del diámetro - DAP y área basal – AB. Periodos 6–9, 9–11 y 6–11 años de edad. Plantación mixta de Nofal, ambas componentes en conjunto	222
<b>ANEXO A6. Análisis del Índice de Densidad del Rodal en el contexto de los datos de densidad de la plantación mixta de Nofal.</b>	223

## DECLARACIÓN

“Declaro que el material incluido en esta tesis es, a mi mejor saber y entender, original producto de mi propio trabajo (salvo en la medida en que se identifique explícitamente las contribuciones de otros), y que este material no lo he presentado, en forma parcial o total, como una tesis en ésta u otra institución”.

Víctor Ramón Pérez

## RESUMEN

La silvicultura de plantaciones forestales se ha orientado a la máxima producción de madera, centrada en la técnica de monocultivos de pocas especies de rápido crecimiento. Una alternativa a este tipo de forestaciones son las plantaciones mixtas, cuyos ensayos y práctica de cultivo a nivel mundial han originado gran variedad de resultados, algunos contradictorios. En el presente estudio se informan resultados del manejo de la densidad efectuado a través de la aplicación a temprana edad de diversas intensidades de raleos, en tres plantaciones mixtas de *Melia azedarach* y *Grevillea robusta*. La experiencia fue realizada en tres campos de Danzer Forestación S.A. (Misiones, Argentina), con el objetivo general de evaluar la estructura y dinámica de estas plantaciones mixtas, con y sin la aplicación de raleos. En los ensayos se utilizó diseño de bloques completos al azar con diversos tratamientos y tres réplicas. Se aplicaron diferentes intensidades de raleos, desde muy leves (< 20% de la densidad) hasta muy fuertes (> 50% de la densidad). Resultados: Satisfactorio comportamiento y crecimiento de ambas especies. Las ecuaciones de volumen para ambas especies fueron validadas. Distintas proporciones de las especies en rodales mixtos que tienen igual densidad post raleo no se diferencian estadísticamente en cuanto a su producción. El diámetro fue la variable más afectada por el raleo. Los mayores crecimientos post-raleo se dieron en las intensidades de raleos moderados a fuertes. Mayor sensibilidad a los cambios de densidad se observó en plantas de *M. azedarach*. Los mayores incrementos relativos de área basal y volumen en el rodal mixto se dieron en las intensidades de raleos moderados a fuertes y la mejor combinación de crecimiento en diámetro con área basal se logra con esas intensidades.

**Palabras clave:** competencia – espaciamiento – densidad – crecimiento

## ABSTRACT

Forest plantation forestry has focused on maximum wood production, focused on the monoculture technique of few fast growing species. An alternative to this type of forestation is mixed plantations, whose trials and practice of cultivation worldwide have given rise to a variety of results, some contradictory. In the present study, results are reported on density management carried out at the early age of various thinning intensities in three mixed plantations of *Melia azedarach* and *Grevillea robusta*. The experiment was carried out in three fields of Danzer Forestation S.A. (Misiones, Argentina), with the general objective of evaluating the structure and dynamics of these mixed plantations, with and without the application of thinning. Randomized complete blocks design with various treatments and three replicates were used in the trials. Several thinning intensities were applied, from very light (< 20% of density) to very strong (> 50% of density). Results: Satisfactory behavior and growth of both species. The volume equations for both species were validated. Different proportions of the species in mixed stands with equal post-thin density do not differ statistically in their production. The diameter was the variable most affected by thinning. The highest post-thin growth occurred in moderate to strong thinning intensities. Greater sensitivity to density changes was observed in *M. azedarach* plants. The highest relative increases of basal area and volume in the mixed stand occurred in the moderate to strong thinning intensities. The best combination of diameter growth with basal area is achieved with these intensities.

**Keywords:** competence - spacing - density – growth

## 1. INTRODUCCIÓN

La silvicultura tradicional de plantaciones forestales se ha orientado a la máxima producción de madera, centrada en la técnica de monocultivos de pocas especies de rápido crecimiento, especialmente de los Géneros *Eucalyptus* y *Pinus*. De acuerdo con Wadsworth (2000), el término monocultivo ha adquirido una connotación negativa, entre otras, por las siguientes razones: reducción de fertilidad del suelo; disminución de reservas de agua; aumento de hongos e insectos; disminución de la protección al suelo; disminución de la biodiversidad animal; y aumento del riesgo de incendios.

En el contexto de las repoblaciones forestales, mayoritariamente monocultivos de un grupo reducido de especies, y ante la presión creciente de la sociedad para que se incorpore la dimensión ambiental (especialmente la biodiversidad) a todos los procesos productivos, desde la Silvicultura se plantean alternativas a dichos modelos tradicionales de producción, como ser los sistemas agroforestales, las *plantaciones mixtas* (Loewe y González, 2007).

Las plantaciones mixtas incluyen dos o más especies combinadas en un mismo espacio geográfico, con el objetivo de proveer diferentes productos e ingresos escalonados en el tiempo. Los ensayos a nivel mundial de esta clase de plantaciones han originado gran variedad de resultados, según sea la combinación de especies, el esquema de plantación y manejo y la zona donde se hayan realizado dichas repoblaciones (Wormald, 1995; Siebert *et al.*, 2003; Wienstroer *et al.*, 2003; Uteau, 2004; Wachrinrat *et al.*, 2010; Loewe *et al.*, 2013).

Si a la idea de propiciar plantaciones forestales diferentes a los monocultivos se le adiciona que las mismas se realicen con especies no tradicionales, la propuesta de las plantaciones mixtas como una alternativa real a las actuales prácticas forestales, no resulta un desafío sencillo. Al respecto, conviene subrayar que son mayores las exigencias ecológicas, silviculturales y de gestión en las plantaciones de latifoliadas que en las de pinos.

El cultivo de especies no tradicionales puede ser una opción interesante para pequeños forestadores, quienes podrían utilizar la mano de obra familiar en los cuidados culturales. También para los forestadores medianos que tienen la capacidad operativa y logística para ser proveedores confiables de la industria de transformación de madera (Hampel, 2005).

Uno de los factores críticos y deficitarios del sector forestal de la Argentina es la escasa oferta de madera de calidad de especies latifoliadas. Por ejemplo, en Misiones las especies del Género *Pinus* contribuyen con más del 90 % de la madera proveniente de bosques implantados de dicha provincia (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Argentina, 2019). Si bien la sumatoria de las forestaciones con especies latifoliadas no tradicionales (*Melia azedarach* L., *Grevillea robusta* A.Cunn., *Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steud., *Toona ciliata* M.Roem.) representa una ínfima parte del área forestal de Misiones, se destaca que los precios de sus maderas y productos derivados son muy superiores a los de pinos (Hampel, 2005).

Entre las latifoliadas valiosas se encuentran *Melia azedarach* var. *gigantea* y *Grevillea robusta*, especies exóticas de rápido crecimiento, siempre y cuando dispongan de suelos sueltos, profundos y ricos, y abundante iluminación. Mientras que la grevillea es un árbol perennifolio de gran porte y copa pequeña y de forma elipsoidal, el paraíso es claramente caducifolio, de menor porte y copa grande y globosa. Los informes silviculturales y dasométricos de rodales puros manejados en Misiones muestran que el paraíso tiene un mayor crecimiento en diámetro, turno más corto, y corta longitud de fuste (de tronco delicuescente y ramificación simpódica) cuando se encuentran localizados sobre sitios de buena calidad (Cozzo, 1976; López *et al.*, 2004).

Apreciadas por sus cualidades silvícolas y múltiples aptitudes tecnológicas – industriales, ambas especies han sido utilizadas en plantaciones puras en varias provincias de la Argentina, existiendo algunas experiencias de forestaciones industriales mixtas o en sistemas agroforestales.

Con relación a las prácticas de manejo en bosques puros implantados con estas dos especies, existen comunicaciones técnicas y/o científicas que hacen referencia en forma específica a experiencias de manejo, especialmente de raleos (Fassola *et al.*, 2003 y 2004; Martiarena *et al.*, 2003; Crechi *et al.*, 2004a, 2004b y 2008; Hampel, 2005; Perez *et al.*, 2004a, 2004b, 2005, 2006, 2007, 2008 y 2011; Keller *et al.*, 2006; Moscovich *et al.*, 2006; Colcombet *et al.*, 2009). Es importante señalar que el equipo de investigación de la Universidad Nacional de Formosa bajo la dirección del autor del presente estudio, realizó durante varios años diversos experimentos sobre manejo de plantaciones forestales puras, tanto de paraíso como de grevillea (Pérez *et al.*, 2006; Pérez *et al.*, 2007; Pérez *et al.*, 2008; Pérez *et al.*, 2011).

A pesar de la existencia de antecedentes de estudios en la Argentina sobre la silvicultura del paraíso y de la grevillea aún resta mucho por investigar con el propósito de ofrecer mayor confiabilidad y seguridad a las inversiones en plantaciones realizadas con dichas especies. En este contexto, si bien para Misiones resulta interesante la propuesta de plantaciones mixtas con estas especies no tradicionales, también es reconocida la deficiencia de conocimientos científicos y técnicos sobre el comportamiento y crecimiento de este tipo de plantaciones (Hampel, 2005).

Entre las deficiencias de conocimientos que limitan la posibilidad de aplicación a escala comercial de las plantaciones mixtas se puede citar: el desconocimiento parcial o total de los procesos dinámicos de competencia interespecífica originados en el rodal mixto; la estructura, crecimiento y productividad en diversos escenarios (densidad, arreglo espacial, distintas proporciones de mezcla de las especies, edad); las mejores prácticas de manejo de densidades a través de los raleos (tipo, oportunidad e intensidad) y los efectos que el manejo genera en las plantaciones mixtas, tanto a nivel de rodal como en árboles individuales.

Las circunstancias y debilidades técnicas antes señaladas han motivado el presente estudio, que constituye una continuidad y ampliación de las investigaciones realizadas por el suscripto en plantaciones puras de paraíso y grevillea. En esta investigación de carácter experimental efectuada con el propósito de contribuir al mayor conocimiento sobre la silvicultura de las plantaciones mixtas, se focalizó en la estructura y crecimiento de varias plantaciones mixtas de "grevillea + paraíso", a partir del manejo de la densidad de las mismas.

La base teórica del estudio fue el control experimental del espaciamiento y la competencia biológica entre los árboles del rodal mixto, cuestiones sobre los que el

estudio a través de varios tipos e intensidades de raleos generó diversas circunstancias de competencia que permitió discernir los efectos sobre el comportamiento y crecimiento de cada componente del sistema y del rodal en su conjunto.

La intervención del silvicultor busca controlar esa competencia (base ecológica del raleo) con el propósito de mantener aceptables tasas de crecimiento. En este sentido el nivel de ocupación del sitio para un tipo de bosque en particular depende fundamentalmente del número de árboles, de su distribución y categoría de tamaño y de su organización espacial, aspectos que pueden ser controlados por el silvicultor mediante la adopción de una estrategia de manejo (Cozzo, 1976; Curtis, 1982; Daniels *et al.*, 1986; Espinosa *et al.*, 1990; Prodan *et al.*, 1997; Smith *et al.*, 1997).

La expectativa del estudio se centraliza en que las respuestas de las variables dasométricas y las relaciones entre ellas, puedan servir de base en el futuro para construir diagramas de manejo de densidad, los cuales permitirían al silvicultor estimar rendimientos futuros para diversas condiciones de manejo de densidades, y también, determinar las intensidades de corta intermedia para alcanzar los objetivos de producción.

## 1.1 Hipótesis

De las combinaciones de determinados niveles de intensidad de raleo y en consecuencia, de las densidades post-raleo, sumadas a los caracteres silviculturales de las especies y sus proporciones de participación en la mezcla del rodal, se logran mejoras en el crecimiento y el rendimiento de las plantaciones mixtas de *M. azedarach* y *G. robusta* debido a un mejor uso de los recursos y a una mayor complementación de las especies componentes. En este contexto se aportará evidencias para demostrar:

1. Que por medio de modelos matemáticos cuyas variables independientes son diámetro (diámetro a la altura del pecho) y altura (altura del fuste y altura total) y/o sus transformaciones, se logran predicciones precisas y confiables del volumen (volumen de fuste y volumen total) de árboles individuales de *M. azedarach* y *G. robusta* componentes de plantaciones mixtas manejadas, aplicables a la región de donde proceden las muestras.
2. Que las especies componentes de parcelas de rodal mixto que han recibido distintos tratamientos de raleo se diferencian significativamente en sus parámetros

dasométricos según la intensidad de corta y el momento biológico en que se practique la corta.

3. Que en un rodal mixto los tratamientos con igual densidad post-raleo y cantidades de individuos por especie en diferentes proporciones, difieren significativamente en relación a sus parámetros dasométricos.
4. Que las especies componentes de un rodal mixto que han recibido el mismo tratamiento muestran diferencias significativas en sus resultados dasométricos.
5. Que rodales mixtos que han tenido distintas intensidades de raleo registran diferencias estadísticas significativas en sus valores de área basal y volumen acumulados.
6. Que el arreglo espacial de los componentes de la plantación mixta influye en las respuestas del diámetro y área basal de las especies, en función de la existencia o no de complementación entre ellas.
7. Que las respuestas dasométricas de las plantaciones mixtas evaluadas difieren significativamente de las plantaciones puras con las mismas especies.

En todos los casos la hipótesis nula planteada es de igualdad en las respuestas dasométricas entre los diversos tratamientos de cada ensayo de raleo ( $\alpha = 0,05$ ).

Las hipótesis 2, 3, 4 y 5 están relacionados con el objetivo específico 4.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

Evaluar la estructura de plantaciones mixtas de *M. azedarach* y *G. robusta* y los efectos dasométricos de diversas intervenciones de raleos.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

1. Generar ecuaciones de volumen para árboles individuales de *M. azedarach* y *G. robusta* componentes de plantaciones mixtas.
2. Caracterizar las distribuciones diamétricas de rodales de *M. azedarach* y *G. robusta* componentes de plantaciones mixtas.
3. Analizar la dinámica del crecimiento e incremento diamétrico y de área basal de rodales mixtos raleados de *M. azedarach* y *G. robusta*.

4. Determinar los efectos de la intensidad de raleo sobre diversos parámetros dasométricos (diámetro, área basal y volumen de fuste) de rodales mixtos de *M. azedarach* y *G. robusta*.
5. Evaluar si el arreglo espacial de las especies tiene efectos sobre el crecimiento diamétrico y del área basal.
6. Determinar si los parámetros dasométricos de rodales mixtos raleados de *M. azedarach* y *G. robusta* son superiores al de rodales puros de las mismas especies.
7. Evaluar si la disposición de las especies en una estructura de plantación mixta influye sobre la sanidad y mortalidad de los árboles.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Características Silviculturales de las Especies

Con relación a los tratamientos silvícolas intermedios practicados en plantaciones puras de *M. azedarach* y *G. robusta* existe disponibilidad de comunicaciones técnicas y/o científicas que hacen referencia en forma específica a las experiencias de manejo realizadas en la Argentina, especialmente de raleos (Fassola *et al.*, 2003 y 2004; Martiarena *et al.*, 2003; Crechi *et al.*, 2004a, 2004b y 2008; Hampel, 2005; Perez *et al.*, 2004a, 2004b, 2005, 2006, 2007, 2008 y 2011; Keller *et al.*, 2006; Moscovich *et al.*, 2006; Colcombet *et al.*, 2009).

Resulta evidente que aún resta mucho por investigar en relación a la silvicultura de estas especies. Según Hampel (2005) no son pocos los fracasos de plantaciones realizadas con especies no tradicionales, entre las que se cuentan paraíso y grevillea. En este contexto es rarísimo encontrar referencias relacionadas sobre el uso de las mismas en plantaciones mixtas.

Hennig *et al.*, (2010) realizaron un estudio con el objetivo de determinar el efecto del diseño de plantación sobre la sobrevivencia y crecimiento de rodales mixtos de *G. robusta* y *M. azedarach*. A tal fin examinaron dos alternativas: plantación mixta de ambas especies en forma alternada en la línea y plantación mixta con las plantas de cada especie en líneas puras alternadas. En la evaluación parcial de la experiencia observaron un comportamiento diferente de *M. azedarach*, beneficiada por el diseño de plantación alternada en la línea respecto de la plantación en líneas puras alternadas. En la

evaluación a los 4 años de edad informan la existencia de interacción entre ambas especies para el diseño de plantación empleado, lográndose que el rodal mixto tenga más productividad, beneficiándose particularmente *M. azedarach*.

Pérez y Hampel (2010) señalan los crecimientos acumulados durante tres años después de la aplicación de raleos experimentales (entre 35 y 42% de intensidad) en una plantación mixta de *M. azedarach* y *G. robusta* de 6,5 años de edad. El rango de crecimiento periódico en diámetro del rodal mixto fue de 3,69 a 5,91 cm en 3 años y de 5,32 a 7,44 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> de área basal en ese mismo período.

Pérez y Hampel (2011), experimentaron con raleo selectivo en un rodal mixto de *M. azedarach* y *G. robusta* a los 6 años de edad. El ensayo se realizó con el objetivo de evaluar los efectos del raleo sobre el crecimiento en diámetro y área basal. Los resultados preliminares indican que la mayor eficiencia en la combinación del crecimiento en diámetro y del área basal estaría entre 35 y 45% de intensidad de raleo. En un periodo de control de dos años los valores de incremento periódico anual variaron entre 1,24 y 2,63 cm.año<sup>-1</sup> para la variable diámetro y de 2,61 a 5,41 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> para el área basal.

- ***Melia azedarach***

*Melia azedarach* L. var. *gigantea* paraíso, es considerada en los últimos 30 años como una especie muy importante para ser utilizada en plantaciones comerciales debido a su excelente comportamiento en suelos sueltos, profundos y ricos y sitios preferentemente húmedos, donde alcanza crecimientos extraordinarios (Rey, 1976; Rey, 2006).

En bosques cultivados requiere raleos precoces pues necesita abundante iluminación para su rápido crecimiento. La forma incorrecta de realizar las podas y los raleos son algunos de los factores que en cierta medida limitaron la expansión de la especie en su utilización en los proyectos de forestación de Misiones (Cozzo, 1976; Larguía, 1971; Ragonese, 1981).

Su madera es de buena calidad y muy apreciada, de vistoso diseño, moderadamente liviana (595 kg.m<sup>-3</sup> con 12% de humedad), quebradiza, blanda a semidura, de color rosado o rosado-amarillento, con floreado muy vistoso. Tiene uso similar a las maderas de los cedros indígenas (*Cedrela*), siendo poco durable expuesta al aire. En el comercio de madera de la provincia de Misiones, el paraíso junto a otras especies no tradicionales comparte el pequeño nicho del 1% del volumen aprovechado en esta provincia, estando el 99% representado por pinos, eucaliptos y araucaria

(Brandan *et al.*, 2017). En el año 2016 el paraíso aportó 12.184 tn, mientras que en 1994 se habrían aprovechado 25.610 tn (Pece *et al.*, 1996). Si bien su participación en el comercio maderero en términos de volumen es muy bajo, se destaca la diferencia significativa del valor de su madera respecto de las otras especies cultivadas. En Misiones el valor de la madera de paraíso con destino a debobinado, con diámetro mayor a 30 cm en punta fina, superaba entre 100% y 240% al precio de similar producto de pino o eucalipto (Irigoin, 2013). En ese mismo sentido Hampel (2005) señala que en 1991 en Misiones la madera de pino aserrable (25 a 30 cm) alcanzaba a 25-27 \$.tn<sup>-1</sup> mientras que la de paraíso duplicaba ese valor (50-55 \$.tn<sup>-1</sup>).

La madera es apropiada para las industrias de aserrado y faqueado. Se debobina fácilmente y admite muy bien las colas y por eso se la utiliza en la elaboración de laminados para revestimientos interiores, enchapados y terciados, de excelente calidad, que se lustran y barnizan sin inconvenientes. Es muy utilizada para la fabricación de muebles, escritorios, parquets, puertas, ventanas, etc. Además, se la usa en machimbres destinado a cielorrasos y revestimiento de paredes y pisos.

De acuerdo con Rey (1976), al turno de 12 años de una plantación con el objetivo de producción de madera para aserrar tendría los siguientes parámetros dasométricos de referencia: 140 plantas.ha<sup>-1</sup> de densidad final; 45 cm de DAP medio; 6 m de fuste y 106,7 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> de volumen.

Larguía (1971) propone que en Misiones se utilicen los suelos de buena calidad como son los del complejo 9 y 6A y algunas fases del 6B de la clasificación C.A.R.T.A. Según este autor partiendo de 730 plantas.ha<sup>-1</sup> podría lograrse 50 cm de DAP medio y 18,5 m de altura total a los 10 años de edad. Estima que al final del turno debería haber menos de 250 pl.ha<sup>-1</sup>.

Según Volkart (1980) en una plantación sin raleo de 12 años de edad de la provincia de Misiones se registraron los siguientes valores: 456 plantas.ha<sup>-1</sup>; 31,5 cm de diámetro medio; 17,5 m de altura total; 7 m de altura de fuste y 18,9 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> de incremento medio en volumen.

Pece *et al.* (1996) informan los incrementos medios anuales de una plantación de paraíso de 8 años sin raleo, efectuada en la provincia de Santiago del Estero, con 625 plantas.ha<sup>-1</sup> iniciales: diámetro 2,17 cm.año<sup>-1</sup>; altura total 1,15 m.año<sup>-1</sup>; área basal 1,40 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> y volumen 5,49 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>.

Pérez *et al.* (2007, 2008) realizaron dos ensayos de raleos aplicados de manera consecutiva a una misma plantación de *M. azedarach* a las edades de 7,5 y 10 años. Analizaron cinco intensidades de raleo, lográndose la mejor respuesta con un raleo moderado, dejando una densidad de 290 plantas.ha<sup>-1</sup> a la edad de 7,5 años. Se hallaron diferencias estadísticas significativas en el incremento en diámetro y área basal. Al final de los tres años de control se obtuvieron los siguientes valores de rangos de incrementos: diámetro de 1,35 a 2,42 cm.año<sup>-1</sup> y área basal de 1,94 a 2,46 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>.

- ***Grevillea robusta***

*Grevillea robusta* A. Cunn. es una especie originaria de Australia, perteneciente a la Familia Proteaceae, donde crece desde el nivel del mar hasta los 1.120 m, la temperatura media anual oscila entre 13,3 y 20,1°C, con precipitaciones que van de 720 a 1.710 mm. Resulta muy sensible a las heladas. Si bien se desempeña bien en diversas calidades de sitios, los mejores crecimientos se logran en suelos sueltos o franco-arcillosos, de origen basalto y en suelos aluvionales (Martiarena *et al.*, 2003; López *et al.*, 2004).

En su ambiente natural alcanza 20–30 metros de altura y 80–100 cm de diámetro, de fuste recto. Es de fácil adaptación y rápido crecimiento. Su cultivo, a pesar de no ser tradicional en Argentina, presenta interesantes potencialidades de mercado. Es relativamente plástica en cuanto a condiciones de sitio, de rápido crecimiento y apta para múltiples objetivos. Se estima la existencia de 3.000 hectáreas cultivadas mayormente en suelos rojos de la provincia de Misiones. Existen superficies más reducidas en otras provincias del norte argentino. En el nordeste argentino se informan incrementos medios de entre 10 y 19 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> (Martiarena *et al.*, 2003; López *et al.*, 2004; Moscovich *et al.*, 2004; Keller *et al.*, 2006).

En la madera de brillo mediano, se destaca su jaspeado, altamente vistoso y similar al roble. El duramen es color castaño rosado claro. Su densidad es de 600 kg/m<sup>3</sup>. Se seca con relativa rapidez pero tiene tendencia al rajado y abarquillado. Es madera aserrable sin dificultad, fácil de trabajar, tanto en los procesos manuales como mecánicos. Se debobina fácilmente y toma bien los adhesivos, tintes, lustres y barnices. Apropia para la fabricación de muebles finos, tornería, carpintería en general, piezas curvas, zócalos, molduras, revestimientos, mangos de herramientas, paneles (Celulosa Argentina, 1977; López *et al.*, 2004).

Según Hampel (2005) a pesar de los esfuerzos y recursos asignados a las investigaciones de las especies no tradicionales (entre ellas paraíso y grevillea), “siguen

existiendo varias incógnitas acerca de su aptitud y manejo silvícola y hay muchas plantaciones fracasadas, con árboles de muy mala calidad o mortandad elevada por distintas causas". Igualmente señala que la principal preocupación y obstáculo para la incorporación definitiva de estas especies en el sector de plantaciones forestales de la provincia de Misiones, es la incertidumbre respecto a la comercialización. Para *Grevillea* directamente no existía mercado.

En los últimos 20 años se han realizado múltiples investigaciones con esta especie promisoría en la Argentina, y especialmente en la provincia de Misiones, con el objetivo de profundizar y mejorar el conocimiento sobre su silvicultura de establecimiento y manejo (Martiarena *et al.*, 2003; Fassola *et al.*, 2003; Fassola *et al.*, 2004; Crechi *et al.*, 2003, 2004c; Pérez *et al.*, 2004a; Keller *et al.*, 2006; Moscovich *et al.*, 2006; Pérez *et al.*, 2006; Colcombet *et al.*, 2009; Hennig *et al.*, 2010; Pérez *et al.*, 2011; Barth *et al.*, 2015).

## **2.2 Silvicultura de Plantaciones Mixtas**

En el campo de la silvicultura existen autores que están a favor del cultivo de las especies arbóreas en forma de plantaciones mixtas. Para sustentar sus posiciones utilizan diversos argumentos tendientes a resaltar las fortalezas de la combinación de especies, a saber: salvaguarda la productividad mejorando también la calidad de los productos e incrementa los recursos en vez de disiparlos; provee un ecosistema forestal más equilibrado que permite disminuir los riesgos por incertidumbres económicas, así como por riesgos bióticos o abióticos; diversifica la producción y mejora el paisaje y el ambiente (Siebert, *et al.*, 2003; Alice, *et al.*, 2004; González, 2004; González, 2005; Loewe y González, 2007; Wachrinrat *et al.*, 2009; Huang *et al.*, 2018) .

Por otra parte, en diversas publicaciones (Siebert y Bauerle, 1995; Wormald, 1995; Chaverri *et al.*, 1996; Wadsworth, 2000; Weinstroer *et al.*, 2003; Alice *et al.*, 2004; Uteau, 2004) se pone el acento en que las plantaciones mixtas también presentan algunas desventajas, entre las cuales se pueden citar: costos de plantación más elevados que las plantaciones puras; mayor dificultad en su mantenimiento; escaso conocimiento respecto de cuáles especies utilizar en las combinaciones y de las interacciones que pueden existir entre ellas; necesidad de dedicar más atención a la evolución de las plantas y disponer de recursos humanos calificados en este tipo de silvicultura y experimentación escasa reciente.

Una manera frecuente de presentar los resultados de plantaciones mixtas es a través del comportamiento, crecimiento y productividad de cada especie, cuando las dos

son de igual importancia, o al menos de una de ellas cuando una especie es relevante y la otra acompaña o facilita el desarrollo de la primera (Siebert y Bauerle, 1995; Chaverri *et al.*, 1996; Uteau, 2004; González, 2005; Hernández *et al.*, 2011). Al respecto, Loewe *et al.*, 2013 señalan que en cultivos mixtos donde participa el cerezo (*Prunus avium*), resulta importante la especie acompañante, ya que la componente valiosa del sistema presenta un mayor crecimiento y mejor sanidad, que los registrados en los monocultivos.

Difícilmente se encuentren antecedentes sobre plantaciones mixtas en los que se haya analizado el conjunto de especies como una unidad indivisible. Una excepción constituye el documento técnico (Pretzsch *et al.*, 2015) elaborado en Europa por profesionales de once países (Alemania, Austria, España, Francia, Italia, Bosnia-Herzegovina, Lituania, Polonia, República Checa, Serbia, Suecia). En el mismo se pone el énfasis en la comparación de los rodales puros de *Pinus sylvestris* y *Fagus sylvatica* respecto de los rodales mixtos de estas mismas especies, incluyendo el análisis de las respuestas individuales de cada especie componente y también del conjunto indivisible del rodal mixto.

Fassola *et al.* (2010) en una importante revisión sobre bosques mixtos resaltan las ventajas y desventajas potenciales de las combinaciones de especies en los diseños de plantaciones forestales con relación a los cultivos monoespecíficos. Exponen que si bien hay experiencias en diversos lugares del mundo, la investigación forestal es aún incipiente, con resultados parciales o acotados, sin suficiente validación.

### **2.3 Estructura de las Plantaciones Forestales**

Según Gadow *et al.* (2007) la estructura de los rodales es el resultado de los hábitos de crecimiento de las especies, las condiciones ambientales y las prácticas de manejo. De acuerdo a Prodan *et al.*, (1997), Imaña (1998) y Aguirre (2013), en el caso de las plantaciones la estructura hace referencia a la distribución de las principales características arbóreas en el espacio. Tratándose de plantaciones mixtas se presta especial importancia a la distribución de especies forestales componentes del sistema productivo y a la distribución de las mismas por clases de tamaño.

En la estructura de las plantaciones forestales se pueden distinguir tres niveles:

- ✓ A la estructura de especies o diversidad de especies. Puede referirse al número de especies como también al número de individuos por unidad de superficie de cada especie. Tratándose de plantaciones forestales mixtas cuanto mayor sea el número

de especies y la abundancia de cada una, sin dominancia de ninguna de ellas, el indicador de biodiversidad también será mayor;

- ✓ A la estructura espacial o estructura horizontal. Se refiere a la cobertura del estrato leñoso sobre el suelo, que puede ser cuantificada por la distribución de la densidad por clases diamétricas. Esta referencia del ecosistema con frecuencia es utilizada en el estudio de la estructura de las plantaciones forestales; y
- ✓ A la estructura dimensional o estructura vertical. Esta es generada como consecuencia de la competencia biológica en general, y forestal en particular, intra e interespecífica. La posición sociológica de los árboles de las plantaciones forestales es vital en el estudio de la estructura y dinámica, como también en el diseño de los tratamientos silviculturales intermedios.

Los indicadores que permiten caracterizar la estructura de las plantaciones expresan la condición de las mismas en un momento determinado y de su evolución en el tiempo. Para una adecuada caracterización de los rodales de las plantaciones es conveniente considerar tanto los indicadores como también las clásicas variables (diámetro y altura media, área basal, volumen, densidad, etc.).

Conocer y evaluar las características ecológicas y estructurales de las plantaciones forestales, constituyen aspectos técnicos muy importantes para orientar la formulación de un plan de manejo eficiente y determinar las posibilidades de uso de las forestaciones, ya sea desde la perspectiva de producción o conservación.

En el contexto de los estudios de la estructura horizontal de las plantaciones forestales la distribución de frecuencia se concibe como la representación tabular de los datos dasométricos acotados a un intervalo de clase. Las frecuencias de cada clase, de la variable dasométrica escogida, se pueden representar en valores absolutos o relativos. La frecuencia absoluta constituye el número de observaciones contenidas en una clase característica. La frecuencia relativa se expresa como porcentaje de frecuencia de una población o muestra. Otra forma de representar los datos de frecuencias es a través del uso de histogramas (Prodan *et al.*, 1997).

De acuerdo con Finger (1992) con base en la distribución de frecuencias empírica discreta se puede representar una curva continua, que es el producto de la aplicación de funciones continuas denominadas funciones de densidad. Disponiéndose de la información recogida a campo, ya sea de una muestra o población, se puede obtener la descripción de la distribución de una variable dendrométrica, por ejemplo el diámetro, a

través de una distribución teórica y del conocimiento de la desviación estándar de la media o percentil.

A cualquier plantación forestal convencional le corresponde la clase de estructura regular, donde los árboles son de la misma edad, la forestación tiene una duración específica, cortándose todos los árboles al final del turno y al final del ciclo se cortan todos los árboles remanentes (Iturre y Araujo, 2006).

En las plantaciones forestales la estructura cambia con la edad como consecuencia de la fuerte competencia entre los árboles, intra e interespecífica en los rodales mixtos, provocando una estratificación vertical de los ejemplares y en casos extremos, a la mortalidad de los árboles más débiles o menos vigorosos, y consecuentemente se produce una reducción del número de individuos por unidad de superficie (Prodan *et al.*, 1997; Iturre y Araujo, 2006).

En las plantaciones forestales la mayor frecuencia se ubica en torno a la media y decrecen hacia las colas de la curva de frecuencias. De manera general, en plantaciones forestales con alta densidad, donde aún no se registró la mortalidad natural producida por la competencia biológica todavía no son elevadas o en rodales en los que todavía no se realizó el raleo por lo bajo, es posible encontrar una distribución asimétrica a la derecha. Luego, en los próximos años, una vez que haya ocurrido la mortalidad natural y/o el raleo por lo bajo, la distribución diamétrica presenta una clara asimetría a la izquierda (Finger, 1992).

Entre las funciones de densidad, la función Weibull ha demostrado ser eficiente para modelizar variables dasométricas, por ello es muy citada en la bibliografía forestal, particularmente en estudios de descripción de las distribuciones diamétricas de bosques naturales o implantados (Álvarez y Ruiz, 1998; Pece *et al.*, 2000. Zhang *et al.*, 2001; Maldonado y Návar, 2002; Gorgoso *et al.*, 2007; Lei, 2008; Quiñones *et al.*, 2015). Las curvas de las funciones de densidad para cada rodal se obtienen mediante la estimación de los parámetros que definen la expresión matemática de la curva a partir de los datos reales (Shiver, 1988; Finger, 1992; Prodan *et al.*, 1997; Návar y Contreras, 2000; Torres *et al.*, 2000; Chauchard, 2000; Maldonado y Návar, 2002; García *et al.*, 2002; Quiñones *et al.*, 2015).

## **2.4 Manejo de la Densidad**

Los tratamientos silviculturales intermedios utilizados en el manejo de la densidad de plantaciones coetáneas y puras, aplicados en gran diversidad de especies importantes

para la producción de madera (Cozzo, 1976; Daniel *et al.*, 1979; Vázquez, 1986; Piedrahita, 1990; Chaves y Araya, 1992; Espinosa *et al.*, 1994; Chaves y Rodríguez, 1995; Prodan *et al.*, 1997; Chaves, 2000; Crechi *et al.*, 2004a, 2004b; Fassola *et al.*, 2004; Montagnini y Montero, 2004; Keller *et al.*, 2006), permiten identificar ciertas tendencias generalizadas que pueden resumirse en:

- ✓ experimentos de espaciamiento y aclareo muestran consistentemente incrementos en las tasas de crecimiento en diámetro de los árboles individuales al disminuir la densidad del rodal. El efecto de la disminución de la densidad varía con las especies, la edad y la calidad de sitio, no siendo posible maximizar la producción por hectárea y el crecimiento individual de los árboles simultáneamente, porque van en sentidos opuestos. Los estudios del efecto de la densidad sobre el crecimiento buscan cuantificar la disminución de uno con el aumento del otro para que los productores y las empresas puedan tomar decisiones en base a información cuantitativa.
- ✓ Los resultados de aprovechamientos parciales con raleos suaves o muy suaves muestran que no se afecta significativamente el crecimiento por unidad de superficie (área basal o volumen), pero sí el de los árboles individuales. En general, se puede afirmar que el raleo comercial disminuye la producción por unidad de superficie pero aumenta el volumen de materia prima comercial y por lo tanto el valor del bosque.

En la silvicultura un objetivo central es el manejo de la densidad de un rodal, para lo cual el silvicultor a partir de observaciones y análisis de la estructura y dinámica del crecimiento, planifica rigurosamente las cortas intermedias. Se interviene en la plantación para ejercer control sobre la estructura, la productividad, el tamaño de los árboles y el turno. Este manejo de la densidad depende los objetivos de producción, de la calidad del sitio y de la especie (Cozzo, 1976; Prodan *et al.*, 1997).

El análisis de las relaciones de tamaño y densidad se ha tomado como base para comprender la dinámica de la densidad y calcular los índices de densidad del rodal, que fueron usados para la caracterización de diversos estados de desarrollo del bosque, como ser crecimiento libre, crecimiento con competencia y mortalidad debido a la competencia (Penner *et al.*, 2006 citado por Zárate, 2017).

En este contexto se han desarrollado diversos métodos que permiten la evaluación de la densidad del rodal, como: el área basal, el índice de espaciamiento relativo, el índice de densidad del rodal y el factor de competición de copas. El Índice de Densidad

del Rodal (IDR) o Índice de Reineke (IDR), ha sido muy utilizado (Prodan *et al.*, 1997; Fassola *et al.*, 2004; Tamarit-Urias *et al.*, 2020).

El IDR es el número de árboles de 25 cm de centímetros de diámetro por hectárea de espesura equivalente. Su expresión matemática relaciona la densidad (número de plantas por hectárea) y el tamaño de los árboles (diámetro promedio del rodal):

$$\text{IDR} = N * (\text{Dg}/25)^{-b}$$

En esta expresión se tiene:

N = número de árboles por hectárea.

Dg = diámetro cuadrático medio en cm de los rodales controlados.

b = constante dependiente de la especie considerada o en ausencia de información específica. Es igual a - 1,605, valor definido por Reineke (1933). Hoy en la literatura forestal existe bastante evidencia que señala que el valor “b”, pendiente de la curva, puede variar entre especies (Zeide, 1987 y Williams, 1996, citados de Zárata, 2017).

Para determinar los valores de este índice se requiere modelar el logaritmo de la densidad (N) en función del logaritmo del diámetro cuadrático medio (Dg). De este modo se pueden calcular los parámetros del modelo lineal (ordenada al origen y pendiente), permitiendo construir la recta que refiere el máximo de la densidad en función del tamaño de los árboles. La expresión matemática es:

$$\text{Log}_{10} N = \alpha - (\beta * \text{Log}_{10} \text{Dg})$$

En el modelo  $\text{Log}_{10} N$  = es el logaritmo base 10 de la densidad (cantidad de árboles por hectárea);  $\text{Log}_{10} \text{Dg}$  = es el logaritmo base 10 del diámetro cuadrático medio;  $\alpha$  = intercepto del modelo; y  $\beta$  = pendiente de la recta.

Al conocer el valor de “b” (es el valor calculado de la pendiente de la ecuación de la recta) y utilizando la información proveniente de rodales bajo condiciones extremas de competencia, se llega a establecer el IDR máximo para la especie.

Este valor límite indica el punto en el cual la única manera de que los árboles incrementen sus dimensiones es a través de la reducción natural del número de individuos (mortalidad o autorraleo). Una vez determinado el IDR máximo para la especie resulta posible e interesante diagramar diferentes alternativas de manejo de la densidad del rodal (a través de raleos), que se ajustan a los objetivos de producción (máxima producción por unidad de superficie, máxima producción por unidad de árbol selecto, producción de postes especiales, etc.).

El valor de IDR obtenido puede compararse con el máximo de la especie para calcular la espesura del bosque respecto a la máxima biológicamente posible. El uso del índice de Reineke tiene algunas limitaciones, entre los que se pueden señalar la dificultad para definir el máximo (se aplica a masas regulares), y, esencialmente, que no sean aditivas, es decir no había manera de determinar la contribución parcial de árboles individuales o especies (en masas mixtas) o estratos al IDR total.

Estas restricciones han sido superadas a través del tiempo a partir de diversas contribuciones empíricas e innovaciones metodológicas. En este contexto, en la actualidad se puede decir que el IDR tiene la ventaja de ser aditivo, o sea que sumando el valor de la densidad relativa de los individuos de distintas especies por separado, se puede obtener la densidad relativa total del rodal (Long y Daniel, 1990). Según Oliver (1997) el IDR resultó útil para expresar la dinámica de ocupación del sitio en plantaciones de pino ponderosa raleadas varias veces durante un periodo prolongado.

El IDR ha sido utilizado en la evaluación de la densidad del rodal en inventarios forestales a gran escala, de ecosistemas compuestos por diversas especies arbóreas y de diferentes edades (Woodall *et al.*, 2005).

Torres Rojo y Velázquez Martínez (2000) proponen un modelo de densidad relativa de rodales para bosques mixtos de edad uniforme, que permite la evaluación de la densidad de rodales compuestos por especies con diferentes niveles de tolerancia.

## **2.5 Funciones de Volumen de Árboles Individuales**

En las funciones volumétricas se relaciona matemáticamente al volumen como variable dependiente con otras variables dasométricas, por ejemplo diámetro, altura de fuste, altura total, forma del fuste. A partir de la función de volumen que se aplica a nivel de árboles individuales, es posible realizar estimaciones de volumen a escala del rodal (Finger, 1992).

Según Prodan, *et al.* (1997), cuando el objetivo es determinar la función de volumen para una especie, una cuestión a resolver es la cantidad de árboles que se usarán en la construcción y validación del modelo. Al respecto señalan que en la decisión sobre el tamaño de la muestra deben considerarse tanto los recursos (humanos, materiales, económicos) como el tiempo disponibles.

Las premisas básicas sobre las que se sustenta la construcción de funciones de volumen son: el volumen del árbol depende del diámetro, la altura y de la forma del fuste;

y la función que estima el volumen de un árbol también es válida para otros árboles de igual diámetro, altura y forma.

Dependiendo de la estructura del modelo usado para ajustar la relación entre el volumen del árbol y otras variables de más fácil medición, las funciones obtenidas pueden clasificarse en:

- funciones de volumen local, relacionan el volumen del árbol con solo una variable dependiente, generalmente el DAP.
- funciones de volumen general, son las que estiman el volumen considerando dos o más variables independientes, o transformaciones de éstas. Generalmente se utiliza el diámetro (DAP) y la altura total (HT) o la altura de fuste (HF) o la altura comercial (HC).
- funciones de volumen que incorporan tres o más variables independientes, como el DAP, altura, coeficiente de forma, espesor de la corteza, punto de inicio de la copa (Finger, 1992).

Los modelos de volumen individual incluyen funciones lineales y no lineales. Entre estos últimos algunos modelos pueden linealizarse mediante logaritmos para facilitar el ajuste y/o para homogeneizar la varianza. En ese caso, la función resultante puede subestimar el volumen real del árbol.

Dada la existencia de una variedad importante de modelos alternativos, en la selección de los más apropiados deben considerarse criterios de simplicidad, objetividad y precisión. Cancino (2006) expresa que la selección del mejor modelo debe efectuarse lo más objetivamente posible, para lo cual pueden usarse varios criterios, por ejemplo: la bondad del ajuste de la ecuación medida por el coeficiente de determinación ajustado; el error estándar de la media; el cuadrado medio del error y el Índice de Furnival, entre otros.

Al utilizarse como marco de referencia el índice de Furnival, el error estándar de la media o el cuadrado medio del error, debe seleccionarse aquel modelo que tenga el valor más bajo. Por el contrario, si para la selección se recurre al coeficiente de correlación simple, el coeficiente de correlación ajustado o el coeficiente de determinación, se debe preferir aquel modelo que tenga el valor más alto.

El coeficiente de determinación se utiliza si la ecuación describe un proceso. En cambio si la ecuación estima o predice valores, se emplea el CME. Se utiliza el índice de Furnival para comparar las ecuaciones que no tienen idéntica variable explicada ya que

las variancias de ellas no se expresan en las mismas unidades (Furnival 1961 citado por Cancino 2006).

La forma de evaluar la precisión del modelo seleccionado consiste en realizar la validación de la función de volumen. El proceso de validación debe determinar si la realidad está bien representada por el modelo formulado. Lo más recomendable es realizar la validación independiente, es decir, validar utilizando información que no fue utilizada en el proceso de construcción del modelo (Prodan, *et al.*, 1997; Imaña, 1998; Piñones, 2002).

Según Hernández (2013) es muy variado el número de árboles que se utilizan para validar las ecuaciones de volumen. Moret *et al.* (1998) utilizaron 39 árboles cubriendo tres árboles por categoría diamétrica para *Tectona grandis*. En tanto Rangel (2007) utilizó 11 árboles en la validación de la tabla de volumen para *Pinus patula*. Pece *et al.* (2002) utilizaron 50 árboles para la validación de la tabla de volumen de *Populus euroamericana* y *Populus deltoides*.

En la región mesopotámica de la Argentina son escasas y recientes las referencias bibliográficas sobre ecuaciones y tablas de volumen total en términos absolutos y relativos, con y sin corteza, construidas con información dasométrica de árboles de *Grevillea robusta*. En este contexto se destaca el aporte del grupo técnico de la Estación Experimental Agropecuaria del Instituto de Tecnología Agropecuaria de Montecarlo, Misiones (Crechi *et al.*, 2003, 2004c, 2008a, 2008b; Moscovich *et al.*, 2006). No se encontraron publicaciones sobre funciones de volumen para *Melia azedarach*.

Crechi *et al.*, (2004c, 2008a, 2008b) realizaron estudios en base a muestras de plantaciones de grevillea en la provincia de Misiones, evaluándose diversas funciones de volumen. La evaluación se realizó a través de las estadísticas de ajuste, coeficiente de determinación ajustado ( $R^2$  aj), coeficientes de variación de los residuos, valor F de Snedecor, evaluación gráfica de las curvas ajustadas frente a los datos observados, análisis gráfico de los residuos expresados en porcentaje y coeficiente de Durbin-Watson (D-W). También utilizaron el Índice de Furnival que permite comparar ecuaciones en que la variable dependiente de una es logaritmo respecto de otra dependiente sin logaritmo, o al comparar ecuaciones con diferente número de parámetros. Para estimar los valores a partir de los modelos logarítmicos aplicaron el factor de corrección de la discrepancia logarítmica propuesto por Meyer (1941) citado por Crechi *et al.*, (2003).

## 2.6 Sanidad y Mortalidad de Plantaciones de *M. azedarach* y *G. robusta*

Entre los argumentos que esgrimen los profesionales e investigadores que están a favor del cultivo de árboles en forma de plantaciones mixtas, es que la combinación complementaria de las especies forestales en un mismo espacio resultaría en efectos beneficiosos, como ejercer protección al ataque de plagas e insectos (Wadsworth, 2000; Loewe y González, 2007; Wachrinrat *et al.*, 2009; Olgún *et al.*, 2019).

Entre las anomalías en la sanidad observada en las plantaciones puras de *M. azedarach* y *G. robusta* se encuentran las enfermedades conocidas como “mal del amarillamiento de las hojas de paraíso” y “gomosis en plantas de grevillea”.

Fassola *et al.*, (2004) refieren la gomosis en plantaciones de *G. robusta*. Esta enfermedad que fue observada en diversas especies forestales, podría ser provocada por la presencia de hongos, bacterias e incluso insectos (Jones y Smith, 1949; Anderson y León de Pinto, 1982; León de Pinto *et al.*, 1989). La alteración de carácter fisiológico se manifiesta a través de una exudación de goma, viscosa de color ámbar que al principio es blanda y frecuentemente se endurece con el contacto del aire, por acción del sol y el viento. Los árboles afectados presentan secreciones en el tronco y hojas exhiben un color verde más claro con nervaduras amarillentas.

En el caso de los árboles de *M. azedarach* la enfermedad conocida como mal del amarillamiento del follaje es provocada por un micoplasma. La misma genera un declinamiento en el vigor de las plantas, y en condiciones muy extremas puede provocar la muerte de las mismas (Debona y Junquera, 1982; Vázquez *et al.*, 1983; Becker *et al.*, 2008). Dado que el vector (chicharrita) se encuentra natural y abundantemente en Misiones y otras provincias del norte argentino, las forestaciones de esta especie están afectados en mayor o menor grado por la enfermedad.

El mal del amarillamiento del follaje junto a la enfermedad fúngica descrita por Vizcarra Sánchez y Deschamps (1983), constituyen dos factores importantes que limitan severamente la obtención de madera de fuste de calidad de paraíso. Señalan que la enfermedad se caracteriza por la existencia de grave daño (pudrición) en el duramen ocasionado por el hongo *Laetiporus sulphureus* (Bull. ex Fr.) Murill, alcanzando en ciertos rodales al 60% de las plantas. Se asocia que la práctica de poda tardía e ineficiente propicia la presencia del agente patógeno y su expansión en la plantación.

### 3. MATERIAL Y MÉTODO

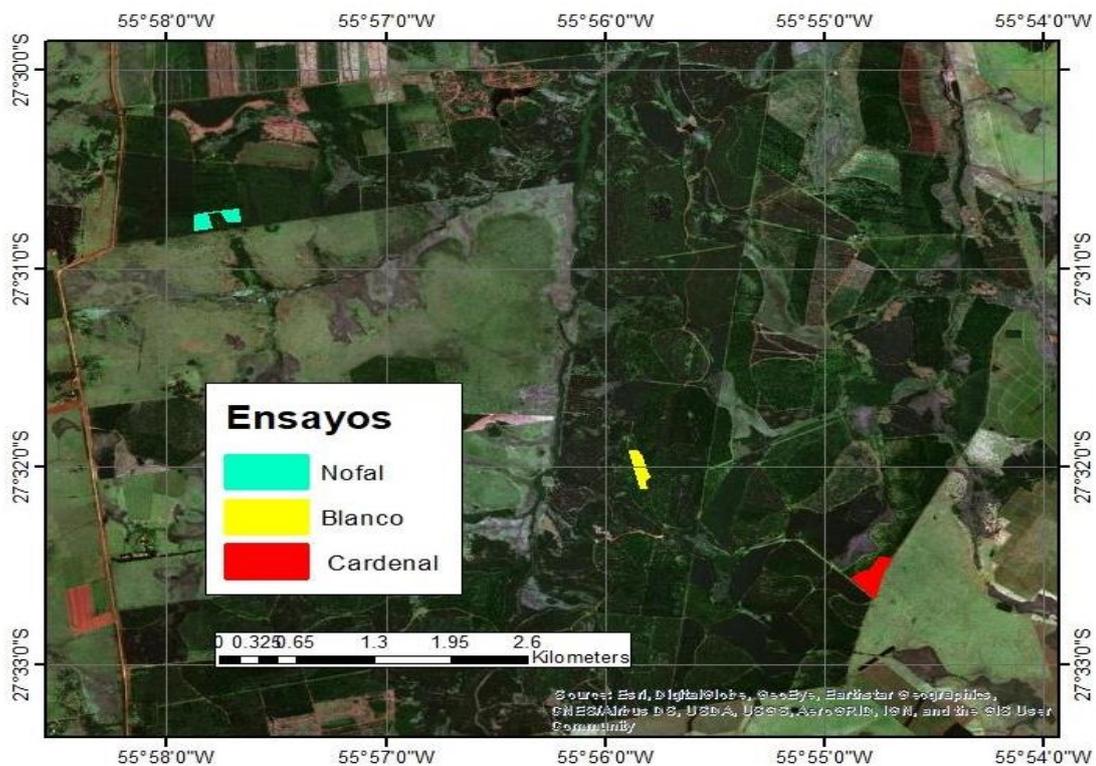
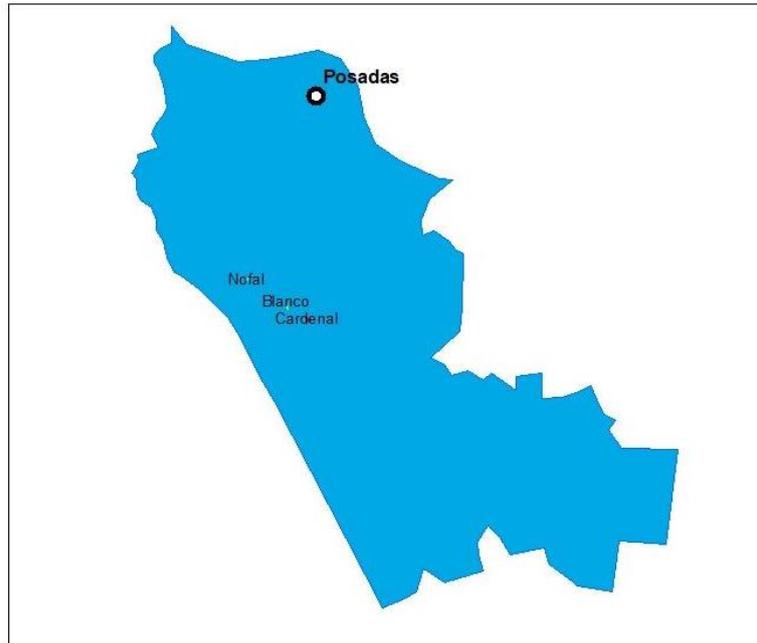
#### 3.1 Características Generales del Área de Estudio

La fase de campo del estudio se realizó en predio de una empresa privada ubicada en las cercanías de Posadas, provincia de Misiones, República Argentina (Figura 1). Al momento de los ensayos ejecutados durante el desarrollo de la presente tesis, las plantaciones mixtas correspondían a Danzer Forestación S.A. En la actualidad pertenecen a Pomera.

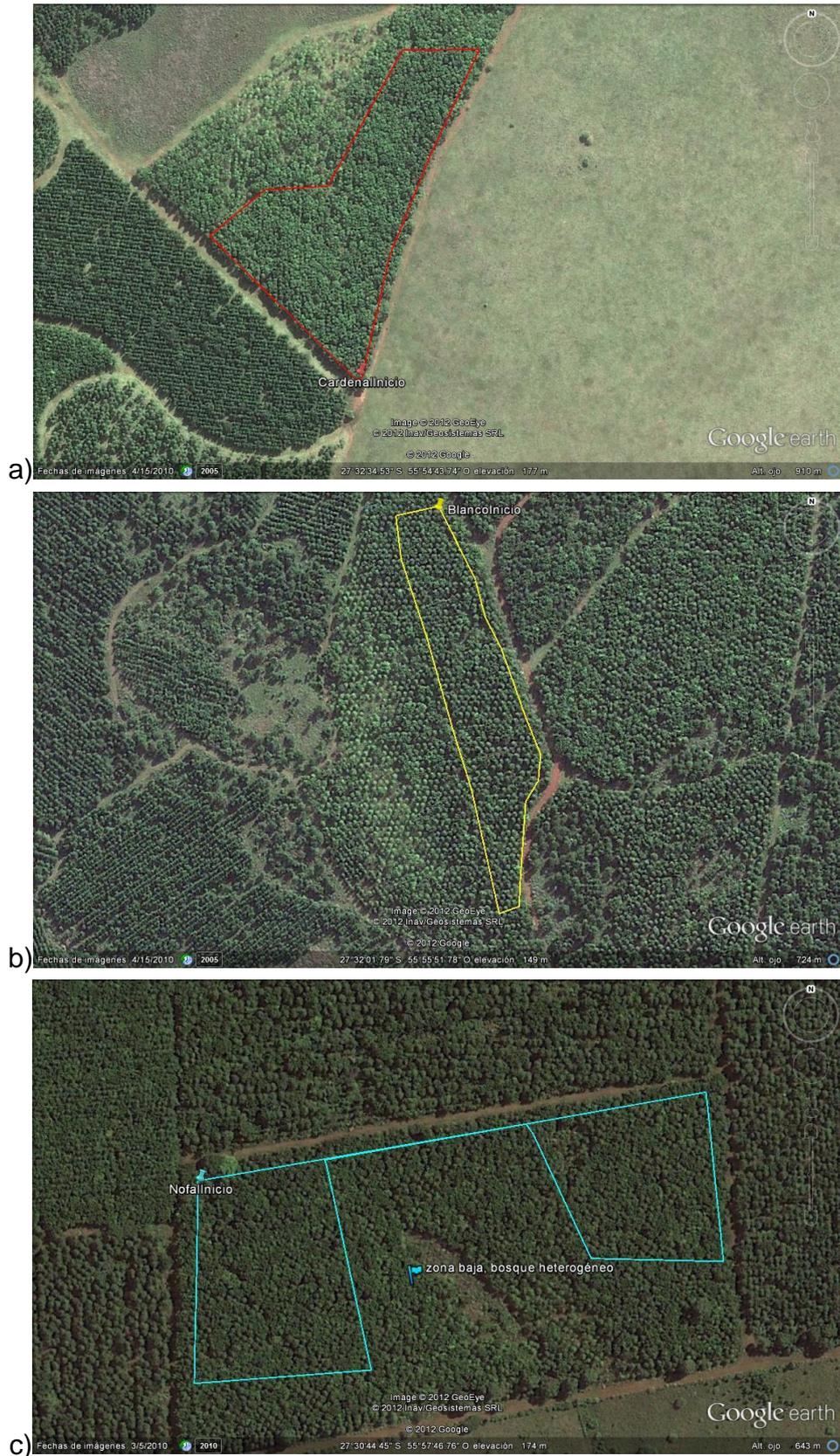


**Figura 1.** Localización del área de ensayos: jurisdicción de Posadas, en el contexto geográfico de la provincia de Misiones, República Argentina. Fuente: <https://www.google.com.ar/>

En las Figuras 2 y 3 se exponen imágenes con la ubicación relativa de las plantaciones mixtas estudiadas.



**Figura 2.** Vista panorámica de la ubicación de las tres plantaciones mixtas, Cardenal, Blanco y Nofal. Arriba: en el contexto del departamento Capital. Abajo: localización con referencias geográficas.



**Figura 3.** Vista aérea de las tres plantaciones mixtas donde se instalaron los ensayos de raleos. a) Cardenal. b) Blanco. c) Nofal. Fuente: Google Earth.

Seguidamente se detalla la posición de georreferencia del punto de partida de cada plantación mixta estudiada.

	<b>Cardenal</b>	<b>Blanco</b>	<b>Nofal</b>
<b>Latitud Sur</b>	27° 32' 34,98"	27° 31' 59,56"	27° 30' 45,95"
<b>Longitud Oeste</b>	55° 54' 46,99"	55° 55' 50,87"	27° 30' 45,95"

Los estudios se llevaron a cabo en tres plantaciones mixtas de *M. azedarach* y *G. robusta* de edades diferentes. En cada plantación se realizó un manejo particular de la densidad, aplicando diferentes tratamientos de raleos.

**3.1.1 Caracterización climática y edáfica.** El clima es subtropical, con temperatura media anual de 21°C, lluvias abundantes, con distribución uniforme. La humedad ambiente oscila entre 70% y 80%. La precipitación media anual considerando los periodos 1908-1920, 1928-1937, 1942-1979 (Fuente: INTA) y 1971-1980 (Fuente: Fuerza Aérea Argentina – Servicio Meteorológico Nacional), fue ligeramente superior a los 1.600 mm de media histórica. En el período 1994 – 2003 el promedio anual de lluvias llegó a 1.960 mm, en tanto el rango osciló entre 1.280 y 2.546 mm (Fuente: Danzer Forestación SA). La frecuencia media de heladas es de 2 por año, aunque en algunos años no se registran y otros la cantidad es superior a 10.

La caracterización edáfica se basa en la información aportada por la Ing Ftal Gladys Vicentini, docente de la Cátedra de Edafología Forestal, Carrera de Ingeniería Forestal, Facultad Recursos Naturales (UNaF), quien realizó parte de los estudios de suelo de las plantaciones mixtas aquí evaluadas. Asimismo la empresa Pomera, actual propietaria de las plantaciones mixtas, proveyó la información edafológica complementaria de los sitios de estudio.

Según la Carta de Suelos, los sitios donde se realizaron las plantaciones corresponden a la unidad Cartográfica 9. De acuerdo Mancini *et al.*, (1964) esta unidad cartográfica procedente de una Asociación tiene como limitante principal la erosión hídrica y como limitante secundaria el drenaje deficiente.

- ✓ En loma forman al orden Alfisoles, grupo Kandiudalfes subgrupo Kandiudalfes rodico, de textura arcillosa, bien drenado.
- ✓ En valle aluvial forman al orden Inceptisoles, grupo Halacueptes subgrupo Halacueptes húmico.

- ✓ En media loma forman al orden Inceptisoles, grupo Distrocreptes subgrupo Distrocreptes lítico.

**Unidad Cartográfica 9:** son suelos rojos profundos muy evolucionados, lixiviados, permeables, ácidos o ligeramente ácidos, medianamente fértiles derivados de melafiro. Incluye las fases erosionadas. Pueden encontrarse asociadas pequeñas superficies de las unidades cartográficas 3 y 6.

**Unidad cartográfica 3:** suelos variadamente evolucionados, generalmente hidromórficos, medianamente profundos a profundos, ácidos, de baja fertilidad, derivados de depósitos aluvionales de los arroyos principales. Están asociados a suelos hidromórficos, arcillosos, de medianamente profundos a profundos, ligeramente ácidos, medianamente fértiles.

**Unidad cartográfica 6:**

- 6 A-** Relieve plano o poco inclinado. Escaso riesgo de erosión, perfil más profundo.
- 6 B-** Relieve fuertemente inclinado. Fuerte riesgo de erosión, perfil superficial.

Los lotes con las plantaciones están ubicados en lomas donde tiene predominancia el subgrupo Kandiudalfes rodico. La característica principal es la de presentar un horizonte kándico de color rojo oscuro y con muy poco contraste de color entre los estados húmedo y seco. Son bien drenados, sumamente profundos, ácidos, con buenas condiciones físicas para el desarrollo radicular, de mediana a alta fertilidad química.

La secuencia de horizontes más común es: A1, B1t, B2t, B3t, Cr y R. El horizonte A1 es arcilloso, ócrico, debido a que frecuentemente no cumple los requisitos de color para un epepedón móico, con un espesor que varía – de acuerdo a su grado de erosión hídrica actual - entre los 10 a 25 cm. En el caso de perfiles con un A1 somero le continúa frecuentemente un horizonte A3 más estructurado y compacto. A continuación del A1 se presenta un B1t levemente textural, con signo de iluviación en la matriz; el B2t arcilloso, kándico refleja con exactitud las características de este horizonte rico en arcillas de baja actividad, con un CIC menor a 16 Cmol (+) kg-1 arcilla y un CIC efectivo menor a 12 Cmol (+) kg-1 arcilla (suma de bases más aluminio intercambiable). Presenta barnices de iluviación, estructuras bloquiformes, moderadas a fuertes y escasas concreciones de hierro; los límites con los subhorizontes son graduales y su permeabilidad es moderada. Su geomorfología es la de lomas con pendientes medias del 3 al 8%, y son muy susceptibles a la erosión hídrica.

Los Kandiuðalfes rodicos son dominantes en la unidad cartográfica AXrd-1 y se asocian en las unidades UTrd-3, Utrd-5, y UGtc-1, en todos los casos como componente subordinado.

Además, se han caracterizado suelos moderadamente profundos con la misma secuencia de horizontes. El B2t puede presentar escasos fragmentos de basalto en descomposición y/o cristalino. El B3, arcilloso, moderadamente estructurado, presenta fragmentos de basalto que aumentan su proporción en el horizonte Cr, también arcilloso y con una cantidad de gravas gruesas, guijarros y piedras que alcanzan a ocupar el 50% de la matriz; frecuentemente el basalto está en descomposición, es poroso, quebradizo de color rojo amarillento y con arcilla pelicular roja oscura. El horizonte R presenta dominancia de piedras y guijarros sobre las gravas.

La característica distintiva es que el techo del horizonte Cr está entre 150 y 200 cm, constituyendo así la fase moderadamente profunda de los kandiuðalfes rodicos del pediplano del Paraná que tiene un espesor de solum muy superior a los 2,5. Son bien drenados, fuertemente ácidos, de moderada permeabilidad y bien provistos de nutrientes.

En general, el contenido de materia orgánica en los sitios estudiados es valorado como fuertemente humoso MO = 4-5%, pero presentan bajos pH. El pH influye en la movilización, disponibilidad de elementos, por lo que se considera como un valor guía para los aspectos de nutrición. En todos los sitios el pH es ácido en superficie (pH=4,7-4,9) calificado como regular, en profundidad se torna fuertemente ácido (pH=4,4-4,6) calificado como desfavorable, con limitaciones. El contenido de fósforo en todos los sitios es muy bajo P=1,5-2,96 [g/kg] o ppm.

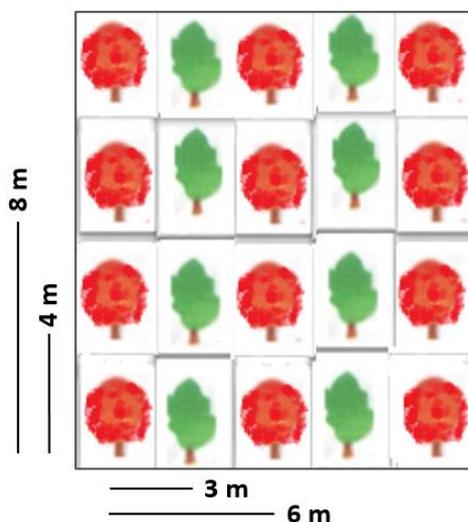
Resumiendo, de acuerdo a las características edafológicas antes referidas y a las exigencias ecológicas de las dos especies forestales analizadas, los sitios donde se establecieron y crecieron las tres plantaciones mixtas estudiadas, son considerados moderadamente favorables a favorables para el cultivo forestal. Esta apreciación técnica de la calidad de los sitios es especialmente válida para *M. azedarach*, especie más exigente que *G. robusta*.

### **3.2 Características de las Plantaciones Mixtas**

Las plantaciones mixtas evaluadas fueron instaladas utilizando dos diseños de arreglo espacial de las especies componentes del sistema. En las Figuras 4 y 6 donde se representaron esquemáticamente ambos diseños, se usó la siguiente referencia en relación a las especies:

– Paraíso:  – Grevillea: .

- Diseño de plantación de líneas puras de una especie y alternadas con líneas puras de la otra (PLP), utilizada en la plantación de Cardenal.



**Figura 4.** Esquema del diseño de plantación de líneas puras de una especie y alternadas con líneas puras de la otra (PLP). Plantación de Cardenal

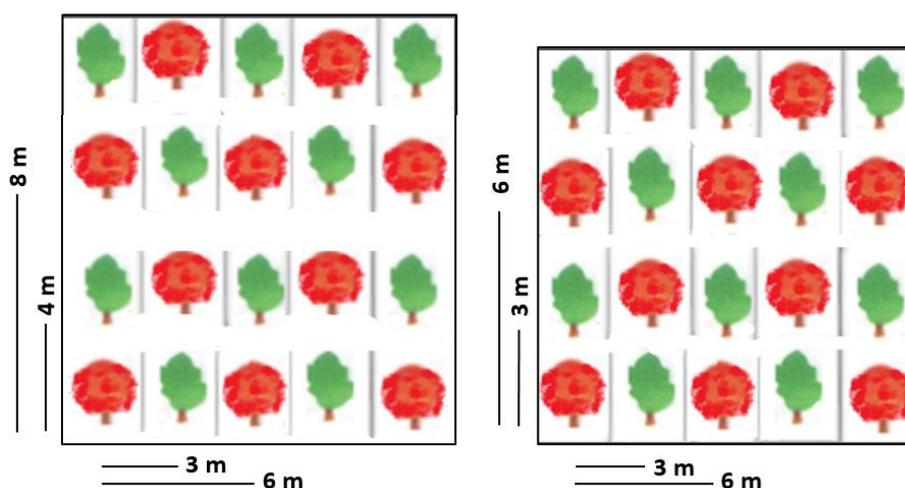
La disposición alternada de líneas del diseño PLP se da solamente en una sola dirección. En las líneas de plantación perpendiculares a estas filas alternas, se observa un arreglo espacial de ambas especies en forma alternada en la misma línea de plantación. En la imagen fotográfica de la Figura 5 se observa claramente la línea pura de plantas de paraíso alternada con una línea de grevillea.



**Figura 5.** Vista interior de la plantación de Cardenal. Filas alternadas (PLP) de cada especie.

La plantación mixta en macizo de Cardenal se efectuó en julio de 2000, en una superficie de 9,4 ha. Identificado como Lote 40229. La densidad inicial fue de 834 plantas.ha<sup>-1</sup>, correspondiendo a cada especie 417 plantas.ha<sup>-1</sup>. La distancia original de plantación fue de 4,0 x 3,0 m. Considerando la distribución espacial de las plantas de las dos especies y las separaciones iniciales, la distancia entre plantas de la misma especie quedó en 4,0 x 6,0 m, como se muestra en Figura 6.

- ✓ Diseño con disposición de los árboles de ambas especies en forma alternada (PA) en la línea de plantación. Este diseño se utilizó en las plantaciones mixtas de Blanco (Figura 6, izquierda) y Nofal (Figura 6, derecha). Si bien es coincidente el diseño, estas plantaciones difieren en el distanciamiento entre los árboles. Este diseño tiene la peculiaridad que cada árbol de una especie se encuentra totalmente rodeado por árboles de la otra especie y que la alternancia de especies se da en todas las direcciones.



**Figura 6.** Diseño de plantación en forma alternada en la línea de plantación (PA). Izq. Plantación mixta de Blanco. Der. Plantación mixta de Nofal.

La plantación mixta en macizo de Blanco se instaló en junio de 2002, en una superficie de 15,6 ha. Identificado como Lote 60631. La densidad inicial fue de 834 plantas.ha<sup>-1</sup>, correspondiendo a cada especie el 50% de dicho valor. La distancia original de plantación de 4,0 x 3,0 m. Considerando la distribución espacial de las plantas de las dos especies y las separaciones iniciales, la distancia entre plantas de la misma especie quedó en 8,0 x 6,0 m (Figura 6, izquierda).

La plantación mixta en macizo de Nofal se ejecutó en agosto de 2001 en una superficie de 7,4 ha. Identificado como Lote 80308. La densidad inicial fue de 1.111

plantas.ha<sup>-1</sup>. La distancia original de plantación fue de 3,0 x 3,0 m. Considerando la distribución espacial de las plantas de las dos especies y las separaciones iniciales, la distancia entre plantas de la misma especie quedó en 6,0 x 6,0 m (Figura 6, derecha).

En la imagen fotográfica de la Figura 7 se pueden apreciar diversos detalles del interior de la plantación mixta de Blanco, y particularmente, lo concerniente a la distribución espacial de los árboles de ambas especies.



**Figura 7.** Vista interior de la plantación de Blanco. Plantas de cada especie alternadas en cada fila.

### 3.3 Descripción de los Ensayos de Raleos

Una de las características ambientales de los terrenos en que se hallan localizadas las plantaciones estudiadas es la pendiente pronunciada, constituyendo un patrón de variación sistemática. En el contexto de las parcelas experimentales la variación se registró básicamente en una única dirección. Entonces, con el propósito de absorber dicha fuente de variación que no era objeto de estudio, se decidió utilizar el diseño estadístico de bloques. Estos se colocaron de manera perpendicular a la dirección de variación de la pendiente, lográndose de esta forma que las condiciones ambientales dentro de cada bloque fueran homogéneas (Pereira *et al.*, 1998).

En las tres plantaciones mixtas se ejecutaron dos ensayos, denominados primer y segundo ensayo de raleo. En cada ensayo se experimentaron diversas intensidades y combinaciones de raleo. El segundo ensayo se realizó sobre las mismas unidades

experimentales usadas durante el primer ensayo, modificándose solo los tratamientos, que son diferentes en los dos ensayos.

A fin de contextualizar los indicadores cuantitativos de las intensidades de raleos practicadas seguidamente se brinda el marco de referencia utilizado en este estudio. Los raleos se efectuaron en función de la densidad existente en la parcela antes de la corta intermedia.

- ✓ Intensidad de raleo muy leve. Corta inferior al 20% de la densidad.
- ✓ Intensidad de raleo leve. Corta superior al 20% e inferior del 30% de la densidad.
- ✓ Intensidad de raleo moderada. Corta superior al 30% e inferior del 40% de la densidad.
- ✓ Intensidad de raleo fuerte. Corta superior al 40% e inferior del 50% de la densidad.
- ✓ Intensidad de raleo muy fuerte. Corta superior al 50% de la densidad.

En las plantaciones de Blanco y Nofal se establecieron diversos tratamientos, entre los cuales se fijaron tres categorías de densidad post raleo:

- ✓ En las parcelas con altas intensidades de raleo ( $\geq 40\%$ ) se establecieron densidades post raleo muy bajas. Es decir, se generaron condiciones para que los árboles de la masa remanente crezcan libre de competencia, a fin de favorecer el máximo crecimiento en diámetro.
- ✓ En las parcelas con baja intensidad de raleo ( $\leq 30\%$ ) se generaron altas densidades post raleo. Teóricamente estas condiciones favorecerían el máximo crecimiento en volumen del rodal.
- ✓ En las parcelas con intensidades medias de raleo ( $>30\%$  y  $<40\%$ ) se generaron densidades medias post raleo. Supuestamente estas condiciones permitirían que la respuesta dasométrica se ubique en un punto intermedio entre los resultados obtenidos en los rodales con densidades baja y alta.

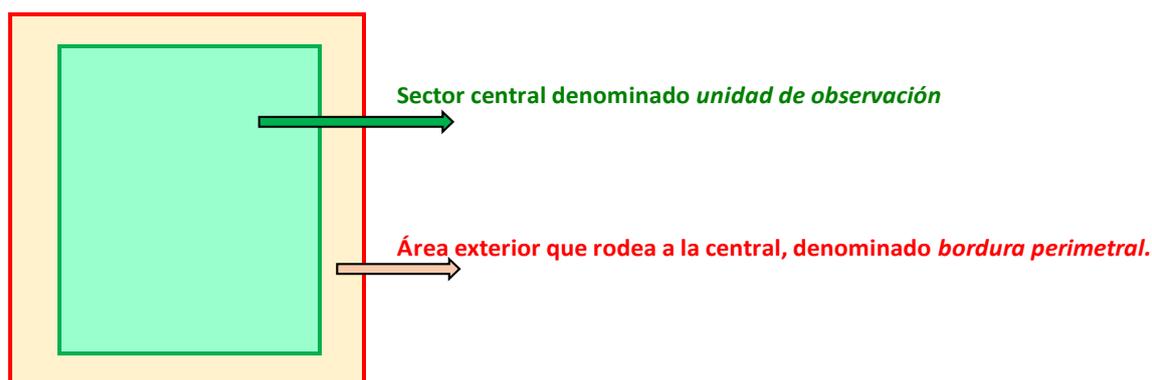
En los ensayos se denomina método de raleo libre al ejecutado considerando a la plantación como si estuviera conformada por una sola especie. Es decir, no se realizó ninguna diferenciación por especie ni tampoco se priorizó alguna en especial. Los árboles escogidos para apea cualquiera fuera la especie, han sido aquellos ejemplares menos vigorosos, de peores formas, los que poseían menor longitud de fuste y los de condición deficiente de sanidad.

Los tratamientos se refieren a condiciones particulares establecidas en las plantaciones como estrategia de manejo experimental de la densidad. En los mismos se reconocen dos componentes: una de acción, que se constata y expresa como intensidad de raleo y otra, consecuencia de la primera, que se manifiesta como la densidad de la población de árboles remanentes (los que quedan después del raleo). La única excepción a esta referencia sucede en el denominado tratamiento testigo, donde no se ejecuta ninguna corta intermedia.

Las parcelas testigo, sin intervención de raleo, con la máxima densidad de árboles durante todo el ensayo, se las incluyó en el manejo experimental de la densidad porque en las mismas se registran los niveles más altos de competencia intra e interespecífica, y por ello, son muy relevantes ya que informan cuándo y cuántas muertes se producen como consecuencia de la densidad excesiva.

En la fase práctica en cada parcela (unidad experimental) primeramente se efectuó un censo para determinar la existencia de ejemplares por especie. Luego, en función al tratamiento que correspondía aplicar según la aleatorización del diseño experimental, se determinó la cantidad específica de ejemplares post raleo y a ralear. Posteriormente se identificó y seleccionó de forma cuidadosa los mejores árboles por especie, bien distribuidos, para dejarlos en pie, en una cantidad acorde al tratamiento que correspondiere. Al resto de los árboles de la unidad se los raleó en su totalidad.

Para la aplicación de cada tratamiento se utilizó una unidad experimental de forma rectangular, distinguiéndose en ella dos áreas como lo muestra la Figura 8.



**Unidad experimental donde se aplicó un tratamiento de raleo**

**Figura 8.** Representación esquemática de la estructura de la unidad experimental utilizada en todos los ensayos de raleos.

Si bien a todos los árboles existentes en la unidad experimental se aplica el tratamiento que corresponda según el resultado de la aleatorización, la medición y control de los efectos de los raleos sólo se realizó a los árboles ubicados en el sector central, denominado unidad de observación.

En todos los tratamientos de cada plantación se utilizó una unidad experimental de igual tamaño (superficie en m<sup>2</sup>). Por ello, cada tratamiento está representado por una cantidad diferente de árboles en la unidad de observación.

En el contexto experimental la densidad del rodal se definió como variable independiente producto de las diversas intensidades de raleo. Consecuentemente se originaron distintos valores de densidad de rodal (plantas/ha en la masa remanente) en las unidades experimentales según el tratamiento aplicado en ellas.

Como variables dependientes de medición directa en los árboles fueron utilizadas: el diámetro a la altura del pecho (DAP) medido con cinta dendrométrica a la altura de 1,30 m sobre el nivel del suelo, en centímetro con precisión al milímetro; la altura total (HT) medida con hipsómetro Vertex®, en metro con precisión al decímetro; y la altura de fuste (HF) medida con vara telescópica graduada, en metro con precisión al centímetro.

Como variables dependientes, de la unidad espacial de análisis (parcela) y del ensayo experimental se definieron al promedio del DAP en cm; área basal (AB) expresado en m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> y volumen del fuste (VF) referido en m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.

En la fase operativa de los ensayos en el terreno cada árbol fue codificado según el número que le correspondía de acuerdo a su posición en el núcleo experimental. Asimismo, en la corteza del tronco de cada especie codificada se realizó una marca con pintura, en forma de anillo, a 1.30 m de altura. Los valores de las variables medidas se registraron en planillas de campo específicamente elaboradas.

La fase de procesamiento y análisis de los datos se efectuó en el Laboratorio de Silvicultura de la Facultad de Recursos Naturales (UNaF).

**3.3.1 Ensayos de Cardenal.** Las características principales de los ensayos y tratamientos de raleos instalados en esta plantación se exponen en la Tabla 1.

En la plantación mixta de Cardenal el primer ensayo de raleo se estableció a la edad de 6 años y los controles anuales se efectuaron hasta los 10 años. Después se continuó con el segundo ensayo de raleo que se controló anualmente hasta los 12 años. Se establecieron cinco tratamientos y tres réplicas en un diseño de bloques completos al

azar. Cada repetición de tratamiento ocupa una parcela rectangular 1.200 m<sup>2</sup> y el área neta del ensayo fue de 18.000 m<sup>2</sup>.

**Tabla 1.** Detalles de la densidad (plantas.ha<sup>-1</sup>) en los ensayos de la plantación mixta de Cardenal. Densidad de cada especie (N a R) y del rodal en su conjunto (NT a R) antes del raleo; densidad de cada especie (N d R) y del rodal en su conjunto (NT d R) después del raleo; y densidad de plantas raleadas de cada especie (N R) y del rodal en su conjunto (NT R).

Ensayo	Tratamiento	Tipo de Raleo	Grevillea			Paraíso			Plantación Mixta			
			N a R	N d R	N R	N a R	N d R	N R	NT a R	NT d R	NT R	% Raleo
Primer Ensayo de Raleo	T0	42%, Tipo Danzer	299	176	123	351	199	152	650	375	275	42,3
	T1	34,5%, 1.5P:1G	317	182	135	364	265	99	681	447	234	34,4
	T2	39%, 2P:1G	356	143	213	369	300	69	725	443	282	38,9
	T3	32%, 1P:1G	326	221	105	325	221	104	651	442	209	32,1
	T4	35%, libre	330	217	113	360	230	130	690	447	243	35,2
Segundo Ensayo de Raleo	T0	39%, tipo Danzer	176	107	69	193	119	74	369	226	143	38,8
	T1	24,5%, 1.5P:1G	182	147	35	265	191	74	447	338	109	24,4
	T2	47%, 2P:1G	143	108	35	278	117	161	421	225	196	46,6
	T3	47%, 1P:1G	221	126	95	221	108	113	442	234	208	47,1
	T4	59%, libre	217	87	130	230	95	135	447	182	265	59,3

El primer manejo experimental de la densidad de las plantaciones mixtas se realizó en Cardenal. En este primer ensayo de raleo se establecieron dos características relevantes: 1) Se utilizó un tratamiento de control (T0), que consistía en una intervención de raleo comercial estándar, aplicada normalmente por Danzer Forestación S.A. 2) Se estableció una intensidad moderada de raleo similar en el resto de los tratamientos, entre 32 y 39%. En Cardenal el interés experimental estaba focalizado en evaluar el comportamiento y crecimiento de las especies del rodal intervenido, dejándose diversas proporciones en la mezcla de las especies, aunque privilegiándose al paraíso (especie principal) por sobre la grevillea (especie acompañante).

**3.3.2 Ensayos de Blanco.** En esta plantación el primer ensayo de raleo se instaló a los 5 años y los controles anuales se realizaron hasta los 9 años. Con posterioridad se estableció el segundo ensayo de raleo, que fue controlado de manera anual hasta los 11 años. Se utilizó diseño de bloques completos al azar con siete tratamientos y tres réplicas. Cada réplica de tratamiento ocupa una parcela rectangular 1.200 m<sup>2</sup> y el área neta del ensayo fue de 25.200 m<sup>2</sup>. Las cuestiones más importantes relacionadas a la densidad, antes y después de instalado los ensayos, y los respectivos tratamientos se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Detalles de la densidad (plantas.ha<sup>-1</sup>) en los ensayos de la plantación mixta de Blanco. Densidad de cada especie (N a R) y del rodal en su conjunto (NT a R) antes del raleo; densidad de cada especie (N d R) y del rodal en su conjunto (NT d R) después del raleo; y densidad de plantas raleadas de cada especie (N R) y del rodal en su conjunto (NT R).

Ensayo	Tratamiento	Intensidad Raleo	Grevillea			Paraíso			Plantación Mixta			
			N a R	N d R	N R	N a R	N d R	N R	NT a R	NT d R	NT R	% Raleo
Primer Ensayo de Raleo	T0	testigo, sin raleo	396	396	0	303	303	0	699	699	0	0,0
	T1	25%, libre	404	308	96	290	212	78	694	521	174	25,0
	T2	25%, 2G:1P	395	348	48	299	173	126	694	521	173	25,0
	T3	54%, 2G:1P	413	222	191	295	104	191	707	326	381	53,9
	T4	38%, libre	395	226	169	273	191	82	668	417	251	37,6
	T5	38%, 2G:1P	395	274	121	273	143	130	668	417	251	37,6
Segundo Ensayo de Raleo	T0	testigo, sin raleo	396	396	0	284	284	0	680	680	0	0,0
	T1	19%, libre	300	235	65	212	182	30	512	417	95	18,6
	T2	29%, 2G:1P	344	196	148	169	169	0	513	365	148	28,8
	T3	36%, 2G:1P	222	143	79	104	65	39	326	208	118	36,2
	T4	25%, libre	226	179	47	191	134	57	417	313	104	24,9
	T5	38%, 2G:1P	274	152	122	143	108	35	417	260	157	37,6
T6	52%, libre	200	91	109	126	65	61	326	156	170	52,1	

**3.3.3 Ensayos de Nofal.** Los aspectos relevantes relacionados a la densidad, antes y después de instalado los ensayos, y los respectivos tratamientos se muestran en Tabla 3.

**Tabla 3.** Detalles de la densidad (plantas.ha<sup>-1</sup>) en los ensayos de la plantación mixta de Nofal. Densidad de cada especie (N a R) y del rodal en su conjunto (NT a R) antes del raleo; densidad de cada especie (N d R) y del rodal en su conjunto (NT d R) después del raleo; y densidad de plantas raleadas de cada especie (N R) y del rodal en su conjunto (NT R).

Ensayo	Tratamiento	Tipo de Raleo	Grevillea			Paraíso			Plantación Mixta			
			N a R	N d R	N R	N a R	N d R	N R	NT a R	N d R	NT R	% Raleo
Primer Ensayo de Raleo	T0	Testigo, sin raleo	527	527	0	480	480	0	1007	1007	0	0
	T1	45%, tipo Danzer	498	214	284	428	295	133	926	509	417	45,0
	T2	36% 1G:1P	498	313	185	486	313	173	984	626	358	36,4
	T3	54% 1G:1P	527	226	301	463	226	237	990	452	538	54,3
	T4	35% libre	521	354	167	434	272	162	955	626	329	34,5
T5	52% libre	480	221	259	469	231	238	949	452	497	52,4	
Segundo Ensayo de Raleo	T0	Testigo, sin raleo	521	521	0	342	342	0	863	863	0	0,0
	T1	15%, tipo Danzer	209	162	47	266	243	23	475	405	70	14,7
	T2	35% 2G:1P	313	243	70	273	139	134	586	382	204	34,8
	T3	30% libre	226	174	52	220	139	81	446	313	133	29,8
	T4	26% 2G:1P	354	301	53	255	151	104	609	452	157	25,8
T5	45% libre	221	122	99	226	122	104	447	244	203	45,4	

El primer ensayo de raleo se instaló a los 6 años y los controles anuales se efectuaron hasta los 9 años. Luego, se ejecutó el segundo ensayo de raleo, cuyo control anual se realizó hasta los 11 años. La organización experimental se basó en un diseño de bloques completos al azar con seis tratamientos y tres réplicas. Cada réplica de tratamiento ocupó una parcela rectangular de 900 m<sup>2</sup> y el área neta del ensayo fue de 16.200 m<sup>2</sup>.

### **3.4 Determinación de las Funciones de Volumen**

A continuación se describen los aspectos metodológicos relacionados con el objetivo específico 1.

Para determinar las funciones de volumen de árbol individual para las dos especies que componen las plantaciones mixtas estudiadas se utilizaron datos dasométricos obtenidos de árboles de dichas plantaciones.

Los datos se obtuvieron de 68 árboles de paraíso y de 66 ejemplares de grevillea con un rango de diámetro normal entre 10 cm y 45 cm. El 73% de los datos se utilizó en la prueba inicial de todos los modelos. La base remanente se aplicó para la validación de los mejores modelos (Prodan, *et al.*, 1997; Imaña, 1998; Piñones, 2002; REED/CCAD – GIZ, 2014).

En ambas especies los datos fueron agrupados en clases diamétricas, representadas cada una por 5 árboles de cada especie. Los árboles fueron elegidos al azar dentro de cada clase diamétrica (Moret *et al.*, 1998; Rangel, 2007; Hernández, 2013; Maggio y Cellini, 2016).

En las mediciones se utilizaron técnicas no destructivas, haciendo uso de cinta dendrométrica, vara telescópica graduada, escalera articulada de aluminio y el hipsómetro Vertex<sup>®</sup>.

En los árboles seleccionados se midieron los diámetros con corteza, a las alturas de 0,10 m; 0,30 m; 1,30 m; 2,0 m y luego cada 2 m. El límite superior del fuste en el caso del paraíso se fijó a 25 cm aproximadamente por debajo del punto en que se inserta la copa en el tallo. En grevillea la medición se realizó hasta el extremo superior de la copa. Se utilizó la fórmula de Smalian para calcular el volumen de cada sección desde el tocón hasta el diámetro en punta fina predeterminado. Para el cálculo del volumen de la porción terminal del tronco de grevillea se aplicó la fórmula volumétrica del cono (Prodan, *et al.*, 1997; Cancino, 2006; Crechi *et al.*, 2003, 2004c, 2008a, 2008b).

Los volúmenes estimados para las diversas secciones fueron acumulados para cada árbol a fin de obtener el volumen parcial del fuste (para el caso solo se consideró el sector podado del fuste) y total con corteza.

En las fotografías de la Figura 9 se pueden observar parte de las actividades de mediciones en estas plantaciones mixtas.



**Figura 9.** Medición de árboles de *Melia azedarach* (izq.) y *Grevillea robusta* (der.)

Teniendo en cuenta que el desrame y poda de los ejemplares de paraíso se hace a edad temprana definiendo el fuste, toda la porción por debajo del punto de inicio de la copa (el fuste) es considerada como longitud potencialmente comercial.

En el caso de grevillea, de ramificación monopódica, la longitud de fuste con potencial comercial depende de la altura de la última poda sistemática. El tratamiento de podas sistemáticas que realizaba la empresa se basaba en:

- todas las plantas se podan hasta 1,50 – 2,00 m de altura, aproximadamente;
- el levante de poda se realiza atendiendo a las características de vigor y forma de los árboles. En general, gran parte de los árboles (alrededor del 75%), tenían una segunda poda hasta los 3,50 m a 4,00 m de altura;
- la tercera poda se reserva solo a los árboles que se supone quedarán para el último raleo o corta final. Es decir, la última poda alcanza hasta los 5,00 m – 5,50 m de altura, aplicándose a los mejores árboles del rodal (alrededor de 200 plantas.ha<sup>-1</sup>).

Resumiendo, en el caso de grevillea la longitud de fuste potencialmente comercial está directamente relacionada con la longitud de fuste efectivamente podada.

La segunda variable de los modelos evaluados fue justamente la altura del fuste potencialmente comercial.

Diferentes modelos matemáticos fueron examinados y analizados a través de la técnica estadística de regresión (Tabla 4).

**Tabla 4.** Modelos de regresión utilizados para determinar funciones de volumen de árboles individuales de *Melia azedarach* y *Grevillea robusta* en plantaciones mixtas.

Nº de Modelo	Variables Regresoras	Modelos	Autor (denominación)
1	dap	$v = b_0 + b_1 * \text{dap}$	Modelo lineal
2	dap <sup>2</sup>	$v = b_0 + b_1 * \text{dap}^2$	Dissescu-Stanescu (1956)
3	dap <sup>2</sup> *h	$v = b_0 + b_1 * \text{dap}^2 * h$	Spurr (1952)
4	ln dap	$v = b_0 + b_1 * \ln \text{dap}$	Husch (1952)
5	dap, h	$v = b_0 + b_1 * \text{dap} + b_2 * h$	Polinómica
6	dap <sup>2</sup> , h	$v = b_0 + b_1 * \text{dap}^2 + b_2 * h$	Polinónica
7	ln (dap*h)	$\ln v = b_0 + b_1 * \ln (\text{dap} * h)$	Logarítmica
8	ln dap, ln h	$\ln v = b_0 + b_1 \ln \text{dap} + b_2 \ln h$	Schumacher – Hall (1933)
9	ln (dap <sup>2</sup> *h)	$\ln v = b_0 + b_1 * \ln (\text{dap}^2 * h)$	Kawas (1978)

En el caso del paraíso se definió como variable dependiente al volumen del fuste (vf) y como variables regresoras, el diámetro a 1,30 m (dap) y la altura del fuste (hf), o transformaciones de éstas. Para la grevillea, las variables dependientes fueron volumen total (vt) y volumen de fuste (vf) y las variables independientes, el “dap”, la altura total (ht) y la altura de fuste (hf) o transformaciones de éstas. Respecto a “hf” se reitera que en esta especie se refiere a la parte del fuste que fue efectivamente manejada con podas oportunas y eficientes. Por lo tanto, el volumen de fuste hace referencia solo al volumen potencialmente comercial.

La evaluación de los modelos se realizó a través de las diferentes medidas de precisión estadística de la regresión: coeficiente de determinación ajustado ( $R^2$  aj), error estándar del estimado en valores absolutos y relativos ( $S_{yx}$ ,  $S_{yx\%}$ ), valor F de Snedecor, estadístico de Durbin-Watson (D-W), y evaluación gráfica de las curvas ajustadas frente a los datos observados y de los residuos frente a los predichos.

Con la finalidad de comparar ecuaciones cuando la variable dependiente esta expresada como logaritmo respecto de otra dependiente sin logaritmo, o cuando se

comparan ecuaciones con diferente número de parámetros, se utilizó el Índice de Furnival. Para estimar los valores con modelos logarítmicos, se aplicó el factor de corrección de la discrepancia logarítmica propuesto por Meyer (1941) citado por Crechi *et al.* (2003). Ese factor de corrección se utilizó en el cálculo de los volúmenes estimados con ecuaciones logarítmicas.

Una vez realizada la preselección de los mejores modelos para cada forma funcional de la variable dependiente, se efectuó la selección definitiva del mejor modelo ajustado. El criterio estadístico utilizado fue el Error Cuadrático medio - ECM (Prodan *et al.*, 1997). En la comparación siempre se prefiere al que presente el menor valor de este estimador.

Asimismo, para validar los modelos se utilizaron dos estimadores estadísticos: el propuesto por Cao *et al.*, (1980) para evaluar la exactitud que usa la Raíz Cuadrada del Error Medio Cuadrático (REMC); y para el sesgo se recurrió al estimador de la Diferencia Agregada (DA). Es sabido que los valores que se asignan como máximos permisibles para cada estadístico dependen de la exigencia que imponga el investigador a la exactitud y sesgo de las estimaciones o predicciones. Para este estudio se establecieron como máximos el 10% para el error y 5% para el sesgo.

### **3.5 Estudio de las Distribuciones Diamétricas**

Se describen aquí los materiales y metodologías utilizadas para cumplir el objetivo específico 2.

En el análisis de la dinámica de la estructura diamétrica de las plantaciones mixtas fueron consideradas solo algunas de las parcelas instaladas. Es así que con el propósito de comprender de manera más fácil y nítida los cambios relevantes en las estructuras de cada una de las especies componentes de las plantaciones mixtas, solo se analizaron dos situaciones extremas de densidad correspondientes a dos tratamientos de las plantaciones de Blanco y Nofal.

Uno de los tratamientos correspondió a la parcela testigo sin raleo, que disponía la máxima densidad generándose condiciones extremas de competencia intra e interespecífica, restrictivas para el adecuado crecimiento diamétrico. En el otro extremo se ubicó el tratamiento con la intensidad de raleo más alta y con la consecuente menor densidad post-raleo, donde se alcanzó la máxima disminución de la competencia y donde se supuso se generarían las mejores condiciones ecológicas para el mayor crecimiento diamétrico de la masa remanente.

La plantación de Cardenal no fue incluida en el análisis de la estructura dado que en la misma no se estableció ninguna parcela testigo sin raleo.

Para el estudio de las distribuciones diamétricas se siguieron los siguientes pasos (Álvarez y Ruiz, 1998; Ajbilou *et al.*, 2003; Quiñones *et al.*, 2015):

- construcción de histogramas de frecuencia absoluta por clase diamétrica;
- determinación de los parámetros de forma y de escala de la función Weibull, usando máxima verosimilitud;
- ajuste de los valores de frecuencia mediante la función Weibull;
- aplicación de la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov - Smirnov - K-S ( $\alpha = 0,05$ ); y
- análisis de la distribución diamétrica real y teórica de cada especie.

### 3.6 Evaluación del Crecimiento Diamétrico

Aquí se referencian las metodologías utilizadas y actividades ejecutadas a fin de concretar el objetivo específico 3.

Para cada especie componente de las plantaciones forestales (Cardenal, Blanco y Nofal) se construyó el diagrama de dispersión correspondiente a la variable DAP durante todo el período de control de los ensayos. Para ello se utilizaron los valores promedios de diámetro de los tratamientos de cada ensayo de raleo.

Para el estudio del crecimiento diamétrico se utilizó el modelo de crecimiento logístico, caracterizado por tener la forma de “S” en su representación gráfica. Dicho modelo tiene como expresión algebraica a:

$$y = \frac{\alpha}{1 + \beta * e^{(-\gamma * x)}} + \varepsilon$$

Para que el modelo se pueda interpretar es requisito que los parámetros  $\beta$  y  $\gamma$  estén representados por valores positivos. Es importante señalar que cuando el valor de  $x$  es muy grande, entonces sucede que  $\gamma$  se aproxima a  $\alpha$ . Debido a este hecho  $\alpha$  es conocida como el límite del crecimiento (Pereyra *et al.*, 1998).

En las tres plantaciones mixtas se determinó la ecuación de mejor ajuste DAP-Edad<sup>2</sup> para los tratamientos de cada componente (*M. azedarach* y *G. robusta*), con sus parámetros estadísticos que refieren la calidad del ajuste, a saber:

- $R^2$  aj. = cuadrado del coeficiente de determinación ajustado por grado de libertad;
- $S_{yx}$  = error estándar del estimado en valores absolutos;
- E.A.M. = error absoluto medio;
- D-W = estadístico Durbín – Watson.

Una vez determinadas las ecuaciones por regresión logística, se utilizaron para la construcción de las curvas que representan la dinámica del diámetro medio durante el periodo de observación.

### 3.7 Análisis Estadístico de los Ensayos

Los análisis estadísticos de los ensayos de raleos fueron efectuados para discernir y precisar objetivamente los cambios sobre parámetros dasométricos de plantaciones mixtas bajo condiciones de manejo de la densidad (objetivo específico 4).

La información obtenida en campo y luego procesada en gabinete, permitió la determinación de estimadores estadísticos descriptivos y la construcción de diversos gráficos. Para el procesamiento informático de los datos se empleó hoja de cálculo electrónica y el programa InfoStat/Profesional 2017p. Los valores de las variables de control individual (medidas en los árboles) se adecuaron para su posterior uso en pruebas estadísticas de construcción de datos a fin de evaluar las hipótesis formuladas. Así, el conjunto de valores individuales de diámetro y altura fueron promediados para obtener la media por parcela y tratamiento. En tanto el área transversal individual se utilizó para el cálculo del área basal ( $m^2 \cdot ha^{-1}$ ). Para el cálculo del VF y VT por unidad de superficie ( $m^3 \cdot ha^{-1}$ ), se utilizaron las ecuaciones de volumen para árboles individuales previamente determinadas.

Para evaluar el efecto de los tratamientos sobre el diámetro, el área basal y el volumen del fuste se ajustaron Modelos Lineales Mixtos – MLM para medidas repetidas. Estos modelos permiten examinar estructuras de correlación entre datos medidos en distintos momentos sobre las mismas parcelas (Searle *et al.*, 1992; Demidenko, 2004). Por otra parte, los MLM constituyen la herramienta de análisis que actualmente se utiliza en estudios forestales que disponen una serie longitudinal de datos, tal los ensayos de raleo de Ferrere *et al.* (2015) y Torres *et al.* (2017).

Se ajustaron modelos para cada una de las especies y para la mezcla en cada sitio de plantación y para cada ensayo de raleo practicado (dos ensayos sucesivos aplicados en cada plantación).

El Modelo utilizado tiene la siguiente expresión:

$$y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \delta_k + \beta\delta_{jk} + X_l + \mathcal{E}_{ijk}$$

Donde:

$y_{ijkl}$  = DAP, Área Basal ó Volumen medios de la i-ésima parcela del j-ésimo

Tratamiento del i-ésimo Bloque en la k-ésima Edad;

$\mu$  = la media general de rendimiento según DAP, Área Basal o Volumen;

$\alpha_i$  = efecto fijo del i-ésimo Bloque;

$\beta_j$  = efecto fijo del i-ésimo Tratamiento;

$\delta_k$  = efecto fijo del i-ésimo Edad;

$\beta\delta_{jk}$  = efecto fijo de interacción entre i-ésimo Tratamiento e i-ésima Edad;

$X_l$  = efecto aleatorio de la i-ésima parcela;

$\mathcal{E}_{ijk}$  = error (efecto aleatorio de la i-ésima Parcela del i-ésimo Tratamiento en el i-ésimo Bloque en la i-ésima Edad).

Para determinar la estructura de la matriz de covarianza como estrategia general para el análisis de los datos de los ensayos de raleos, inicialmente se realizó un examen exploratorio consistente en ajustar modelos con distintas estructuras de covarianza, combinando apropiadamente estructuras de correlación residual, heteroscedasticidad residual y efectos aleatorios. Luego, mediante criterios de verosimilitud penalizada (AIC y BIC) se eligió el modelo con mejor capacidad descriptiva de los datos. Posteriormente usando este modelo se realizaron las inferencias acerca de las medias (comparación de tratamientos, efecto de la edad de la plantación) y se analizó si los perfiles promedio varían en el tiempo, si son paralelos, etc.

En el presente estudio se usaron las siguientes estructuras de covarianza (covarianza marginal):

- Modelo 1. Efectos aleatorios de bloque y parcela dentro de cada bloque, errores independientes y heteroscedásticos;
- Modelo 2. Efectos aleatorios de bloque, simetría compuesta entre errores de la misma parcela y varianza residual constante en el tiempo;
- Modelo 3. Efectos aleatorios de bloque, simetría compuesta entre errores de la misma parcela y varianza residual diferente en el tiempo.

- Modelo 4. Efectos aleatorios de bloque y parcela dentro de cada bloque, estructura autorregresiva de orden 1 entre los errores de la misma parcela y varianza residual constante en el tiempo;
- Modelo 5. Efectos aleatorios de bloque y parcela dentro de cada bloque, estructura autorregresiva de orden 1 entre los errores de la misma parcela y varianza residual diferente en el tiempo.

En los casos comprobados de existencia de interacción significativa en el factor “tratamiento \* edad”, se efectuó un análisis *a posteriori* para establecer entre que medias existían diferencias estadísticas (Duran *et al.*, 2005). A tal fin se recurrió a la prueba de contrastes ortogonales del programa InfoStat, aplicado en el contexto de los modelos lineales mixtos para identificar diferencias significativas entre los tratamientos en cada edad, probándose dentro de cada edad la hipótesis sobre igualdad de medias entre tratamientos. Y en algunas situaciones esta interacción se representó a través de gráficos de barras y a la prueba de Di Rienzo, Guzmán y Casanoves-DGC (Di Rienzo, *et al.*, 2002).

Los resultados dasométricos procedentes de los ensayos de las tres plantaciones mixtas se utilizaron para:

- El análisis estadístico de cada plantación mixta y de las especies en forma independiente (ver Resultados y Discusión, ítems 4.5.2.1, 4.5.2.2 y 4.5.2.3).

Para estas comparaciones se utilizaron los valores de diámetro medio (DAP), área basal (AB) y volumen de fuste (VF), registrados en todos los tratamientos de cada ensayo de raleo (dos ensayos por cada sitio) en las tres plantaciones mixtas.

- El análisis estadístico de parcelas con igual densidad (ver Resultados y Discusión, ítem 4.5.2.4).

Las evaluaciones se hicieron entre tratamientos de la misma plantación mixta que tenían la misma densidad (cantidad de plantas por hectárea) pero diferente participación de las especies componentes. En esta evaluación las especies no son consideradas por separado como se realizó anteriormente, sino que se analiza el conjunto de *M. azedarach* + *G. robusta*.

En estas comparaciones solo se utilizaron los resultados registrados durante el primer ensayo de raleo, en relación a los parámetros dasométricos de control (DAP, AB y VF).

En el caso de la plantación mixta de Blanco, la comparación se realizó entre los tratamientos T4 = 417 plantas.ha<sup>-1</sup> [(226 plantas.ha<sup>-1</sup> de grevillea, 54%) + (191 plantas.ha<sup>-1</sup> de paraíso, 46%)] y T5 = 417 plantas.ha<sup>-1</sup> [(274 plantas.ha<sup>-1</sup> de grevillea, 66%) + (143 plantas.ha<sup>-1</sup> de paraíso, 34% plantas)].

En la plantación mixta de Cardenal, se escogieron los tratamientos T2 = 443 plantas.ha<sup>-1</sup> [(143 plantas.ha<sup>-1</sup> de grevillea, 32,3%) + (300 plantas.ha<sup>-1</sup> de paraíso, 67,7%)] y T3 = 443 plantas.ha<sup>-1</sup> [(221 plantas.ha<sup>-1</sup> de grevillea, 49,9%) + (222 plantas.ha<sup>-1</sup> de paraíso, 50,1% plantas)].

En la plantación mixta de Nofal, se utilizan en la comparación directa a los tratamientos T2 = 626 plantas.ha<sup>-1</sup> [(313 plantas.ha<sup>-1</sup> de grevillea, 50%) + 313 plantas.ha<sup>-1</sup> de paraíso, 50%)] y T4 = 626 plantas.ha<sup>-1</sup> [(353 plantas.ha<sup>-1</sup> de grevillea, 56%) + (273 plantas.ha<sup>-1</sup> de paraíso, 44%)].

- El análisis estadístico de la evaluación comparativa del desempeño de las especies dentro cada tratamiento (ver Resultados y Discusión, ítem 4.5.2.5).

Se analiza el desempeño de cada especie en el marco de los diversos tratamientos implementados en las tres plantaciones mixtas estudiadas. Para estos análisis solo se utilizaron los resultados registrados durante el primer ensayo de raleo, a las edades de inicio y finalización del mismo. Con estas pruebas se buscó aportar evidencia técnica desde una perspectiva estadística, que esclarezca si hay diferencias en el crecimiento y productividad de cada especie al realizarse la comparación dentro del mismo tratamiento experimental. Los parámetros dasométricos evaluados fueron DAP, AB y VF.

- El análisis estadístico del área basal y volumen acumulado (ver Resultados y Discusión, ítem 4.5.2.6).

El área basal y el volumen de fuste por unidad de superficie fueron utilizados para verificar el grado de cumplimiento de la Teoría de Möller, referenciada por Ahrens (1992). En esta teoría se afirma que a largo plazo, en un rodal forestal sin raleo la producción bruta por unidad de área es aproximadamente igual a la producción total que sería obtenido por el valor acumulado de las producciones intermedias (raleos) sumado a la producción obtenida en la corta final, si el mismo hubiera sido sometido a un régimen de raleos.

A tal fin se utilizaron datos dasométricos obtenidos de los ensayos de raleos de las plantaciones mixtas de Blanco y Nofal (Anexos A1, A2, A3 y A4). En concreto, en el análisis comparativo se utilizó el área basal y volumen de fuste acumulados durante 11 años de *M. azedarach* y *G. robusta*, procedentes de parcelas que han tenido diversas intensidades de raleos (tratamientos) y también se incluyeron parcelas testigo que no han tenido manejo de la densidad. El análisis estadístico se realizó por especie en forma individual y a nivel de rodal mixto, es decir considerando ambas especies en forma conjunta.

- El análisis estadístico de plantaciones mixtas con diferentes diseños (relacionado con el objetivo específico 5; ver Resultados y Discusión, ítem 4.5.3).

Se utilizó información dendrométrica de Blanco y Cardenal, correspondiente a las edades de 6 y 9 años. En el caso de la forestación de Blanco, Lote 60631, con 834 plantas.ha<sup>-1</sup> de densidad inicial, las dos especies (paraíso y grevillea) se plantaron en forma simultánea, disponiéndola en forma alterna (PA) en la línea de plantación.

En la comparación se utilizaron los datos de diámetro (DAP) y área basal (AB) de los tratamientos T3, T4, T5 y T6 designados en los gráficos como T3 Bla (222 plantas.ha<sup>-1</sup> de grevillea + 104 plantas.ha<sup>-1</sup> de paraíso), T4 Bla (226 plantas.ha<sup>-1</sup> de grevillea + 191 plantas.ha<sup>-1</sup> de paraíso), T5 Bla (274 plantas.ha<sup>-1</sup> de grevillea + 143 plantas.ha<sup>-1</sup> de paraíso) y T6 Bla (200 plantas.ha<sup>-1</sup> de grevillea + 126 plantas.ha<sup>-1</sup> de paraíso).

Respecto de la plantación mixta de Cardenal, Lote 40229, 834 plantas.ha<sup>-1</sup> de densidad inicial, las plantas de las dos especies se instalaron en forma simultánea, disponiéndolas en líneas puras de una especie y alternándola con filas de la otra (PLP). En la comparación se utilizaron los datos dasométricos de los tratamientos T0, T1, T2, T3 y T4 de Cardenal, designados en los gráficos como T0 Car (176 plantas.ha<sup>-1</sup> de grevillea + 199 plantas.ha<sup>-1</sup> de paraíso), T1 Car (182 plantas.ha<sup>-1</sup> de grevillea + 265 plantas.ha<sup>-1</sup> de paraíso), T2 Car (143 plantas.ha<sup>-1</sup> de grevillea + 300 plantas.ha<sup>-1</sup> de paraíso), T3 Car (221 plantas.ha<sup>-1</sup> de grevillea + 221 plantas.ha<sup>-1</sup> de paraíso) y T4 Car (217 plantas.ha<sup>-1</sup> de grevillea + 230 plantas.ha<sup>-1</sup> de paraíso).

- El análisis estadístico de la productividad de rodales puros y mixtos de *M. azedarach* y *G. robusta* (relacionado con el objetivo específico 6; ver Resultados y Discusión, ítem 4.5.4).

La comparación de los parámetros dasométricos se realizó a la edad de 9 años, con datos procedentes de plantaciones puras o monocultivos de *M. azedarach* y *G. robusta*, respecto de los resultados registrados en las tres plantaciones mixtas de las mismas especies examinadas en el presente estudio.

La totalidad de las plantaciones comparadas han tenido raleos experimentales y se sitúan en la misma zona (adyacencia geográfica de la localidad de Posadas, Misiones, Argentina). De hecho, todas estas plantaciones fueron realizadas por la empresa Danzer Forestación S.A. en predios de su propiedad.

Para la comparación se han elegido los tratamientos de diversas plantaciones que tenían cierta similitud en sus densidades y calidades de sitios. Las fuentes consultadas para realizar las comparaciones fueron: Danzer Forestación S.A. (datos de sus propios inventarios realizados en plantaciones puras de paraíso y grevillea y mixtas de ambas especies) y Pérez *et al.* (2007 y 2008) en el caso del monocultivo de paraíso, y Pérez *et al.* (2004a, 2006 y 2011) para las plantaciones puras de grevillea.

Es importante señalar que las parcelas utilizadas en esta comparación no proceden de algún ensayo forestal planificado con el propósito deliberado de contrastar respuestas de plantaciones puras y mixtas de *M. azedarach* y *G. robusta*. De hecho ninguna de estas plantaciones fue instalada con el carácter experimental sino que se transformaron en ensayos de manejo con posterioridad. En este contexto, dado que en algunas de ellas se realizaron diversas prácticas de manejo de la densidad, estos resultados fueron usados en las comparaciones.

### **3.8 Sanidad y Mortalidad de *M. azedarach* y *G. robusta***

Aquí se referencian la metodología utilizada y tareas ejecutadas a fin de concretar el objetivo específico 7.

Se realizó un estudio exploratorio sobre estos temas. Respecto a la sanidad de los árboles de las dos especies, concretamente las manifestaciones de las enfermedades conocidas como mal del amarillamiento de las hojas de paraíso y gomosis en plantas de grevillea, se realizaron observaciones en la plantación mixta de Cardenal. En el caso de *M. azedarach* la información procedente del rodal mixto se comparó con los datos sobre

sanidad procedentes de un monocultivo de dicha especie en Rincón, manejado años antes por el mismo grupo de investigación (Perez *et al.*, 2007 y 2008) en predio de la empresa Danzer.

Para la evaluación de la mortalidad se realizaron observaciones en las parcelas testigos (T0, sin raleo) de la plantaciones mixtas de Blanco y Nofal, registrándose la máxima densidad y espesura, donde la alta competencia forestal generaba condiciones de estrés prolongadas a los árboles, estado ideal para observar el decaimiento y posterior mortalidad natural. Considerando que en la plantación mixta de Cardenal todas las parcelas tuvieron raleos, la misma no fue incorporada en el análisis de la mortalidad.

Conviene aclarar que durante el relevamiento del monocultivo de paraíso (año 2002) la empresa Danzer disponía de cuatro clases de sanidad (CS0, CS1, CS2 y CS3) y una categoría para árboles muertos. Luego durante el estudio de las plantaciones mixtas aquí referidas, la estructura de clasificación incorporó una clase más de sanidad. En la Tabla 5 se exponen estas clases.

**Tabla 5.** Clases de sanidad aparente de árboles de *M. azedarach* según la intensidad de la enfermedad “amarillamiento del follaje”.

<b>Clase de Sanidad</b>	<b>Condición de Sanidad de la Clase</b>	<b>Follaje de Copa Afectada (%)</b>
CS0	Plantas sanas.	0%. Sin evidencia de la enfermedad.
CS1	Plantas levemente enfermas. Amarillamiento incipiente en los extremos de algunas ramas bajas.	Hasta el 25% del follaje.
CS2	Plantas moderadamente enfermas. Progreso del amarillamiento hacia ramas superiores. Alteración en el tamaño de la hoja.	Más del 25% y hasta el 50%.
CS3	Gravemente enfermas. Reducción en tamaño de la hoja. Amarillamiento avanzado. Síntomas en el fuste.	Más del 50% y hasta el 75%.
CS4	Muy gravemente enfermas. Amarillamiento muy avanzado, clorosis internerval, entrenudos muy cortos. Fuertes deformaciones en el fuste.	Más del 75% y hasta el 100%.
CS5	Plantas muertas en pie.	Follaje sin vida.

La clase expresa la estimación de área de copa que ha sido afectada por la enfermedad (extensión de la enfermedad), como también la intensidad de la misma. En

los casos muy avanzados (clases 3 y 4), los síntomas también se manifiestan en el fuste de las plantas en forma de deformaciones longitudinales, evidenciado exteriormente a través de engrosamiento y hendidura. Las clases 3 y 4 fueron consideradas prioritarias para eliminarlas durante los raleos.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**En relación al objetivo específico 1:** “Generar ecuaciones de volumen para árboles individuales de *M. azedarach* y *G. robusta* componentes de plantaciones mixtas”

### 4.1 Funciones de Volumen para Árboles Individuales

En las Tablas 6, 7 y 8 se exponen los principales resultados analíticos obtenidos durante la evaluación preliminar de los modelos.

**Tabla 6.** Coeficientes de determinación ajustado ( $R^2$  aj) y estimador estadístico Durbin - Watson (D-W) para las ecuaciones que estiman el volumen de fuste individual de *Melia azedarach* en plantación mixta.

Mod.	Ecuaciones	$R^2$ aj	D-W	n
1	$vf = - 0,21801 + 0,01831 * dap$	0,8988	1,80	50
2	$vf = 0,00626 + 3,27676 * dap^2$	0,9047	1,88	50
3	$vf = 0,00798 + 0,73802 * (dap^2 * hf)$	0,9812	2,34	50
4	$vf = - 1,16100 + 0,44597 * \ln dap$	0,8421	(1,17)	50
5	$vf = - 0,33558 + 0,01772 * dap + 0,03092 * hf$	0,9316	(1,12)	50
6	$vf = - 0,15632 + 3,18624 * dap^2 + 0,03930 * hf$	0,9600	(1,56)	50
7	$\ln vf = - 8,78991 + 1,54808 * \ln (dap * hf)$	0,9190	(1,14)	50
8	$\ln vf = - 9,01797 + 1,97161 * \ln dap + 0,75132 * \ln hf$	0,9893	2,15	50
9	$\ln vf = - 0,32305 + 0,94858 * \ln (dap^2 * hf)$	0,9859	1,75	50

En las ecuaciones el diámetro normal se designa como “dap” y la altura del fuste por “hf”. Ambas variables intervienen en la determinación del volumen del fuste con

corteza (vf) de paraíso. Para los cálculos dasométricos de grevillea se agrega la altura total “ht” que se utiliza en el cálculo del volumen total con corteza (vt).

Cuando el valor DW aparece colocado entre paréntesis significa que el valor “p” es menor que 0,05, indicando una posible correlación serial con un nivel de confianza del 95,0%. A partir de la evaluación de los residuos este estadístico revela si existe una correlación significativa basada en el orden en el que se presentan en la base de datos.

Las Tablas 7 y 8 contienen los resultados de la estimación del volumen con corteza total y del fuste de árboles de grevillea.

**Tabla 7.** Coeficientes de determinación ajustado ( $R^2$  aj) y estimador estadístico Durbin-Watson (D-W) para las ecuaciones que estiman el volumen total individual de *Grevillea robusta* en plantación mixta.

Mod.	Ecuaciones	$R^2$ aj	D-W	n
1	$vt = -0,34174 + 0,02932 * dap$	0,9128	1,71	48
2	$vt = -0,02043 + 5,92035 * dap^2$	0,9189	1,81	48
3	$vt = 0,02582 + 0,29864 * (dap^2 * ht)$	0,9379	1,94	48
4	$vt = -1,59849 + 0,63103 * \ln dap$	0,8500	(1,03)	48
5	$vt = -0,39254 + 0,02744 * dap + 0,00606 * ht$	0,9135	(1,56)	48
6	$vt = -0,17709 + 5,16932 * dap^2 + 0,01294 * ht$	0,9315	1,76	48
7	$\ln vt = -9,99547 + 1,48010 * \ln (dap * ht)$	0,9624	(1,37)	48
8	$\ln vt = -9,32177 + 1,99313 * \ln dap + 0,64818 * \ln ht$	0,9823	1,92	48
9	$\ln vt = -1,11435 + 0,91851 * \ln (dap^2 * ht)$	0,9806	1,71	48

**Tabla 8.** Coeficientes de determinación ajustado ( $R^2$  aj) y estimador estadístico Durbin-Watson (D-W) para las ecuaciones que estiman el volumen de fuste individual de *Grevillea robusta* en plantación mixta.

Mod.	Ecuaciones	$R^2$ aj	D-W	n
1	$vf = -0,27840 + 0,02286 * dap$	0,9241	1,65	48
2	$vf = -0,03286 + 4,70374 * dap^2$	0,9459	2,28	48
3	$vf = 0,01597 + 0,62122 * (dap^2 * hf)$	0,9811	2,09	48
4	$vf = 0,99449 + 0,48411 * \ln dap$	0,8494	(0,86)	48
5	$vf = -0,31427 + 2,04209 * dap + 0,016693 * hf$	0,9370	(0,81)	48
6	$vf = -0,12114 + 4,08915 * dap^2 + 0,022591 * hf$	0,9746	(1,43)	48
7	$\ln vf = -1,90059 + 1,34282 * \ln (dap * hf)$	0,9541	2,09	48
8	$\ln vf = 0,30240 + 2,03377 * \ln dap + 0,636435 * \ln hf$	0,9954	2,22	48
9	$\ln vf = -0,48391 + 0,90056 * \ln (dap^2 * hf)$	0,9901	2,13	48

Considerando los resultados precedentes para ambas especies, complementando con el análisis gráfico de las curvas ajustadas frente a los datos observados y la distribución aleatoria de los residuos, se deduce que las mejores respuestas preliminares se obtuvieron con los modelos 3, 8 y 9.

Posteriormente se realizó el proceso de validación de las ecuaciones obtenidas inicialmente. En esta instancia se excluyeron 6 datos de paraíso y 3 de grevillea por su condición de valores “outliers”. De acuerdo a lo planteado por Ditlevsen (1980) fueron eliminados estos datos dudosos, que estaban fuera del intervalo “promedio  $\pm$  3 desvío estándar”. Con el conjunto total de datos depurados se efectuó un nuevo ajuste.

En la Tabla 9 se presentan los valores de Error Cuadrático Medio, uno los criterios de selección del modelo, de la Raíz Cuadrada del Error Medio Cuadrático como estimador de la exactitud y de la Diferencia Agregada como medida del sesgo, para los tres mejores modelos preseleccionados.

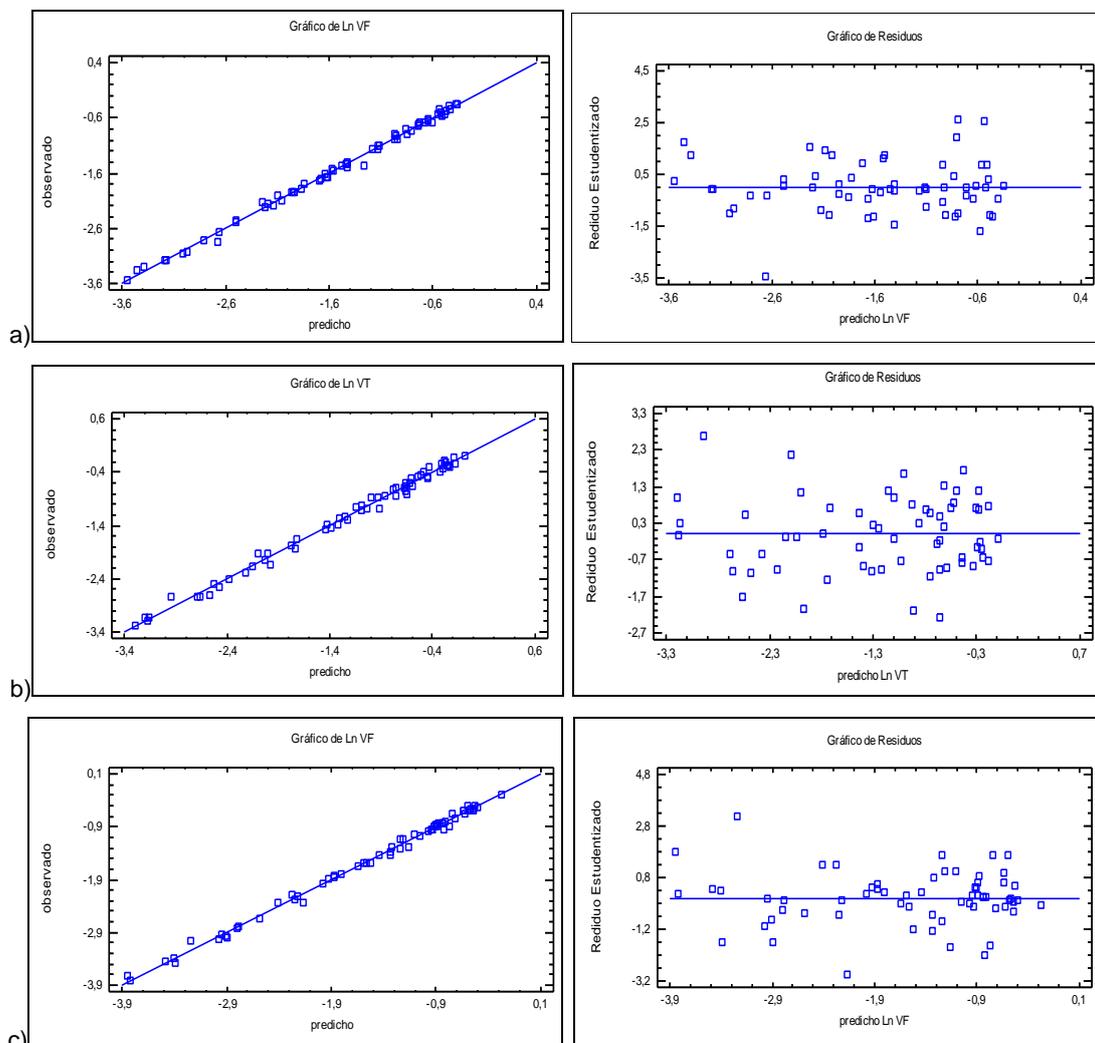
**Tabla 9.** Valores de Error Cuadrático Medio (ECM), Raíz Cuadrada del Error Medio Cuadrático (REMC) y Diferencia Agregada (DA) de los mejores modelos para la estimación del volumen de fuste de *M. azedarach* y del volumen total y de fuste de *G. robusta*.

		ECM	REMC (%)	DA (%)
<i>M. azedarach</i> Vol. Fuste	Ecuación 3	0,00058	8,32	0,000
	Ecuación 9	0,00057	8,25	0,448
	Ecuación 8	0,00050	7,70	0,263
<i>G. robusta</i> Vol. Total	Ecuación 3	0,00110	8,41	0,000
	Ecuación 9	0,00107	8,79	0,980
	Ecuación 8	0,00120	8,29	0,430
<i>G. robusta</i> Vol. Fuste	Ecuación 3	0,00080	9,66	-1,010
	Ecuación 9	0,00080	9,67	-0,070
	Ecuación 8	0,00034	6,30	-0,440

En la Tabla 10 se han incluido las expresiones matemáticas definitivas de los tres mejores modelos para cada especie (par = *Melia azedarach*; gre = *Grevillea robusta*).

En todas las ecuaciones ajustadas el estadístico razón-F fue altamente significativo, registrándose errores típicos relativos ( $S_{yx}$  o IF, %) pequeños (< 10%) a muy pequeño (< 8%), especialmente en los modelos logarítmicos. Los valores de  $R^2$  aj resultaron  $\geq$  0.98, por lo que se infiere que el 98% de la variación del volumen (fuste/total) es explicada por la variación del diámetro y de la altura (fuste/total).

En todos los ajustes el estadístico de Durbin-Watson (D-W) tuvo un valor “p” mayor que 0,05, indicando que no existe autocorrelación serial en los residuos con un nivel de confianza del 95%. El examen analítico fue complementado con el análisis gráfico de las curvas ajustadas frente a los datos observados y distribución aleatoria de los residuos sin presencia de tendencias (Figura 10).



**Figura 10.** Izq. Gráficos de las curvas ajustadas por la ecuación 8 frente a los datos observados. Der. Gráficos de la distribución aleatoria de los residuos estudentizados frente a los valores predichos del In V. a) Corresponde a la estimación del In VF según la ecuación 8 de *Melia azedarach*. b) Corresponde a la estimación del In VT según la ecuación 8 de *Grevillea robusta*. c) Corresponde a la estimación del In VF según la ecuación 8 de *Grevillea robusta*.

Las ecuaciones de la Tabla 10 que estiman el volumen de fuste con corteza de paraíso y grevillea ajustaron bien a los datos de las plantaciones mixtas de Cardenal, Blanco y Nofal. Por ello fueron seleccionadas para realizar las estimaciones de los

volúmenes de los árboles individuales de ambas especies en las plantaciones mixtas experimentadas. Posteriormente se aplicaron para las estimaciones de volúmenes por unidad de superficie.

**Tabla 10.** Tres mejores ecuaciones para *M. azedarach* y *G. robusta* con sus respectivos coeficientes de determinación ajustado ( $R^2$  aj), error de estimación estándar relativo / Índice de Furnival ( $S_{yx}$ -IF %) y estimador estadístico Durbin-Watson (D-W).

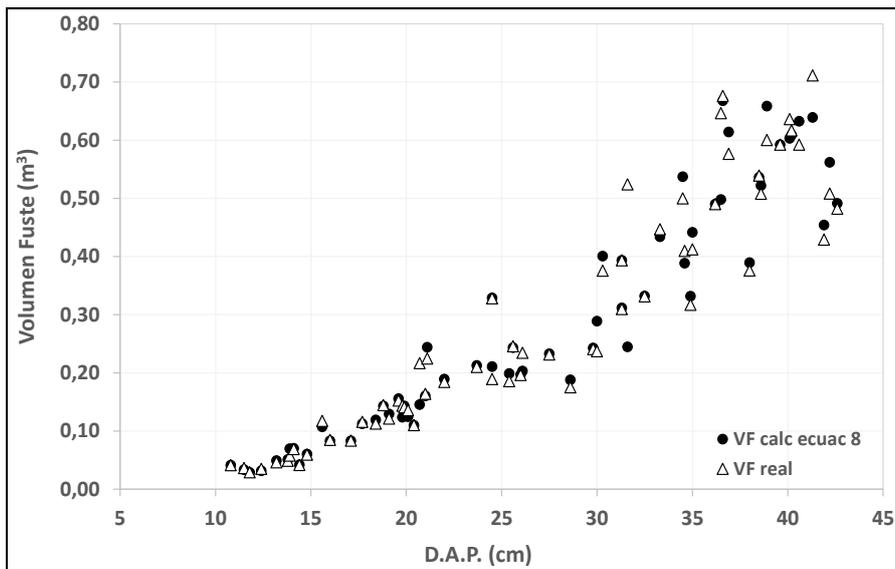
Mod – Sp	Ecuaciones	F	$R^2$ aj	$S_{yx}$ -IF %	D-W	n
3 par	$vf = 0,00743 + 0,76099 * (d^2 * hf)$	4108	0,9854	8,46	2,15	62
9 par	$\ln vf = -0,27746 + 0,96501 * \ln (d^2 * hf)$	8436	0,9928	1,63	1,63	62
8 par	$\ln vf = 0,04678 + 1,99344 * \ln d + 0,80116 * \ln hf$	6425	0,9953	1,32	1,69	62
3 gre	$vt = 0,00949 + 0,31823 * (d^2 * ht)$	3686	0,9835	8,54	1,90	63
9 gre	$\ln vt = -1,10225 + 0,93404 * \ln (d^2 * ht)$	5644	0,9891	2,74	1,66	63
8 gre	$\ln vt = -9,39920 + 2,06422 * \ln d + 0,59776 * \ln ht$	4013	0,9923	2,30	1,93	63
3 gre	$vf = 0,01487 + 0,61708 * (dap^2 * hf)$	2893	0,9790	9,75	1,74	63
9 gre	$\ln vf = -0,49593 + 0,89708 * \ln (dap^2 * hf)$	6464	0,9905	1,95	1,86	63
8 gre	$\ln vf = 0,31994 + 2,03302 * \ln dap + 0,62250 * \ln hf$	7031	0,9956	1,33	2,08	63

La información relacionada a las múltiples estimaciones se encuentra condensada en las tablas de los Anexos A1, A2, A3 y A4 sobre parámetros dasométricos de las masas cortadas y remanente en los ensayos de raleos de las tres plantaciones mixtas.

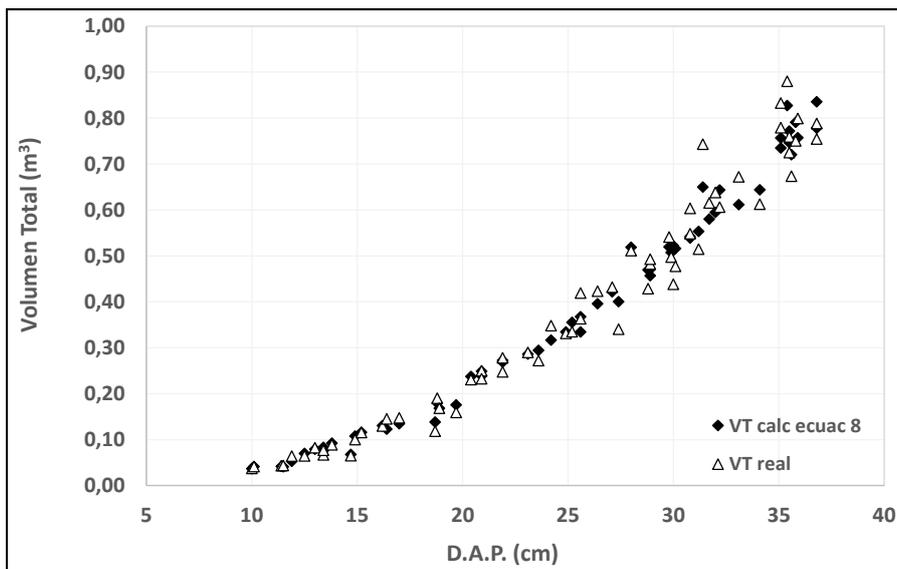
En los gráficos de las Figuras 11, 12 y 14 se han representado los volúmenes con corteza calculados a partir de datos obtenidos por medición directa en los árboles (V real) respecto de los estimados por la mejor ecuación (VF est ecuac 8).

En la Figura 11 se observa que la nube de puntos correspondientes a datos de volumen de fuste (*M. azedarach*), a partir de la clase diamétrica de 20 – 25 cm, comienza con una pronunciada dispersión y los valores se encuentran más aislados. Los valores estimados y reales tienen similar distribución espacial.

La ecuación 8 (logarítmica) usada para la construcción de la Figura 12, es similar a la referida por Crechi *et al.*, (2004b) y usada para la construcción de la Figura 13, quienes determinaron la función adecuada para estimar el volumen total con corteza de árboles individuales de *Grevillea robusta*, procedentes de plantaciones puras. Si bien en ambos casos la estructura algebraica de los modelos es similar, en el caso de la referencia citada es ligeramente más compleja ya que las variables independientes ( $\ln dap$  y  $\ln ht$ ) tienen exponentes 1 y 2.

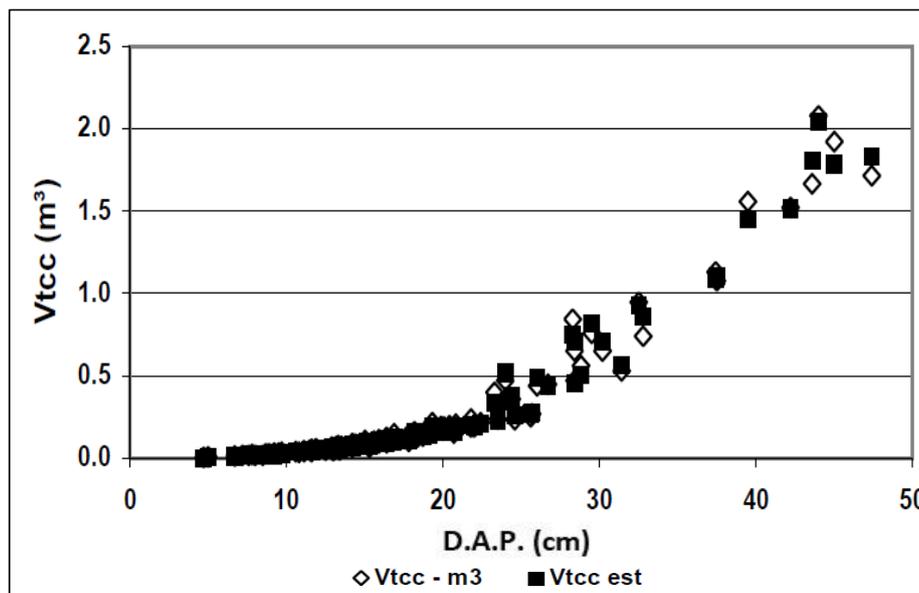


**Figura 11.** Volumen de fuste estimado (VF est) por la mejor función (ecuación 8) y volumen de fuste real (VF real) obtenido por cubicación. Especie *Melia azedarach* de plantaciones mixtas (combinación con *Grevillea robusta*).



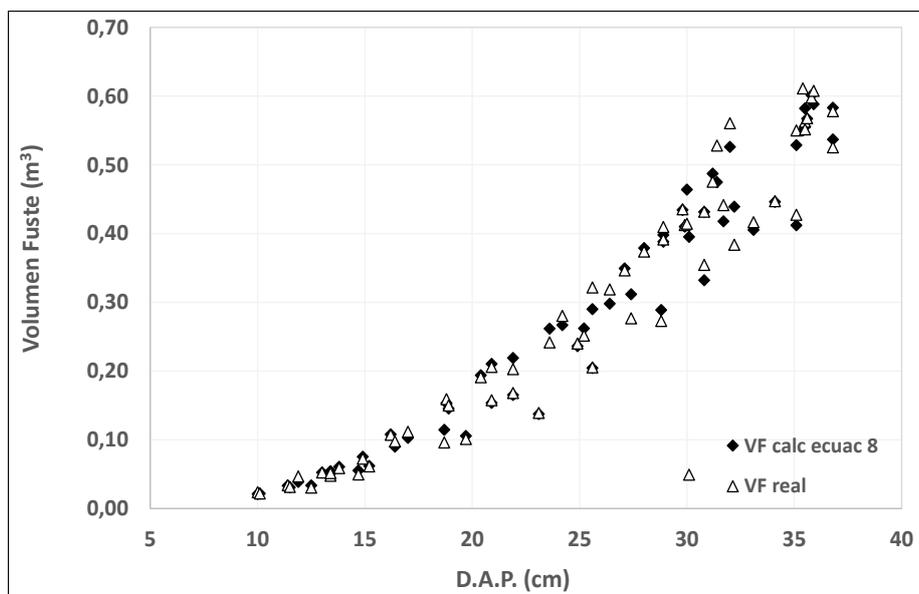
**Figura 12.** Volumen total estimado (VT est) por la mejor función (ecuación 8) y volumen total (VT real) obtenido por cubicación. Especie *Grevillea robusta* de plantaciones mixtas (combinación con *Melia azedarach*).

En la Figura 13 se representa el volumen total con corteza observado y estimado por la ecuación logarítmica para plantaciones puras de *G. robusta*. La tendencia es similar a la observada en la Figura 12 para diámetros inferiores a 40 cm; se aclara que en este gráfico no se incorporaron árboles mayores a 37 cm de DAP porque no existían ejemplares con esos tamaños en las plantaciones mixtas estudiadas.



**Figura 13.** Volúmenes totales con corteza, observados y estimados. Plantaciones puras de *Grevillea robusta*. Fuente: Crechi *et al.*, 2004b.

Las funciones de volumen individual determinadas para grevillea están referidas al volumen total y volumen de fuste potencialmente comercial (Figura 14), ambos con corteza. Obviamente lo que interesa desde el punto de vista económico es solo la parte potencialmente comercial (sector del fuste consignado como VF, que tuvo podas sistemáticas) de los árboles remanentes de los raleos.



**Figura 14.** Volumen de fuste estimado (VF est) por la mejor función (ecuación 8) y volumen de fuste real (VF real) obtenido por cubicación. Especie *Grevillea robusta* de plantaciones mixtas (combinación con *Melia azedarach*).

En la Tabla 11 se presentan los resultados de volúmenes con corteza por clases diamétricas para la especie grevillea.

**Tabla 11.** Estadísticos descriptivos del volumen de fuste (sección efectivamente podada) – VF y del volumen total – VT de *G. robusta*. Plantaciones mixtas de Cardenal, Blanco y Nofal.

Clase Diam. cm	Volumen de Fuste Podado-VF					Volumen Total – VT					Rel.% VF - VT
	Media m <sup>3</sup>	Mín m <sup>3</sup>	Máx m <sup>3</sup>	D.E. m <sup>3</sup>	C.V. %	Media m <sup>3</sup>	Mín m <sup>3</sup>	Máx m <sup>3</sup>	D.E. m <sup>3</sup>	C.V. %	
> 10 - 20	0,0704	0,0221	0,1592	0,0404	57,4	0,0976	0,0375	0,1905	0,0467	47,8	72,1
> 20 - 30	0,2844	0,1391	0,4355	0,0929	32,7	0,3722	0,2309	0,5412	0,0992	26,7	76,4
> 30 - 40	0,4993	0,3544	0,6144	0,1254	25,1	0,6800	0,4777	0,8801	0,1140	16,8	73,4

El volumen de fuste con corteza potencialmente comercial considerado como tal desde el nivel del suelo hasta la altura libre de brotes y ramas como consecuencia del manejo silvícola, representa aproximadamente el 74% del volumen total estimado para el árbol individual. Es decir, que esta porción inferior del fuste proporcionalmente de menor longitud respecto de la porción superior que constituye la parte residual no comercial (alrededor del 26% del volumen total), es la porción con mayor volumen, y la más valiosa por disponer madera de calidad, con máxima presencia de madera libre de nudos. Entre los valores de las clases diamétricas de la relación del VF y el VT se observa muy poca variación.

A partir de los resultados logrados se acepta la hipótesis formulada que establece que por medio de modelos matemáticos cuyas variables independientes son DAP, HF, y HT y/o sus transformaciones, se logran predicciones precisas y confiables del volumen (volumen de fuste y volumen total) de árboles individuales de *M. azedarach* y de *G. robusta* componentes de plantaciones mixtas manejadas, aplicables a la región adyacente a la localidad de Posadas (Misiones) de donde proceden las muestras.

Los resultados logrados en la Tabla 10 evidencian que los modelos logarítmicos de función de volumen para árboles individuales resultaron ser los más eficientes para la estimación de volúmenes de árboles de estas especies cuando forman parte de rodales mixtos.

Las respuestas aquí referidas para rodales mixtos de Misiones van en la misma dirección que los resultados comunicados por Crechi *et al.* (2004b) para monocultivo de *G. robusta*, aunque cabe aclarar que la ecuación logarítmica determinada por estos

autores para estimar el volumen tiene una estructura algebraica diferente a la aquí obtenida.

Cabe destacar que los resultados logrados son coincidentes con las respuestas obtenidas en otros estudios forestales, respecto de la bondad del uso de funciones logarítmicas para la estimación de volumen, debido a su versatilidad y capacidad predictiva (Kawas, 1978; Prodan *et al.*, 1997; Tapia Barrera, 1998; Oyarzún Lillo, 2008).

Para las dos especies estudiadas, *M. azedarach* y *G. robusta*, el modelo logarítmico de Schumacher–Hall (1933) resaltó como el más conveniente permitiendo obtener estimaciones confiables del volumen con corteza.

Debido a la versatilidad y probada capacidad predictiva del modelo logarítmico de Schumacher–Hall (1933) es muy utilizado en las ciencias forestales. Tapia Barrera (1998) en *Pinus teocote*, Tapia y Nívar (2011) en *Pinus pseudostrobus* y Ramos Uvilla *et al.*, (2014) en *Pinus lawsonii* y *P. oocarpa*, quienes comunicaron que dicho modelo fue el de mejor ajuste entre diversos examinados.

**En relación al objetivo específico 2:** “Caracterizar las distribuciones diamétricas de rodales de *M. azedarach* y *G. robusta* componentes de plantaciones mixtas”

## 4.2 Distribuciones Diamétricas

**4.2.1 Análisis de la plantación mixta de Blanco.** En la Tabla 12 se indican resultados obtenidos al ajustar la distribución Weibull a los valores de diámetro (DAP) correspondientes a los árboles de los tratamientos extremos T0 y T3 de los ensayos de raleos efectuados en la plantación mixta de Blanco.

Los parámetros de forma y de escala fueron estimados mediante el método de máxima verosimilitud, asumiéndose que el valor máximo de la distribución se localiza en el origen.

Considerando que en la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov - Smirnov (K-S) el valor “p” más pequeño es  $\geq 0,05$ , no existen razones para rechazar la hipótesis de que los valores del DAP proceden de una distribución Weibull con 95% de confianza.

**Tabla 12.** Parámetros de la distribución Weibull y valor “p” de Kolmogorov – Smirnov. Variable diámetro. Periodo 5 a 11 años de edad. Tratamientos T0 y T3 de los ensayos de Blanco.

<b>Especie</b>	<b>Tra</b>	<b>Edad (años) - Variable</b>	<b>Forma Estimada = <math>\alpha</math></b>	<b>Escala Estimada = <math>\beta</math></b>	<b>Prueba K-S Valor “p”</b>
<i>M. azedarach</i>	0	5 – DAP5	3,554	10,624	0,2416
<i>M. azedarach</i>	0	6 – DAP6	4,297	12,573	0,4361
<i>M. azedarach</i>	0	7 – DAP7	4,879	14,428	0,4460
<i>M. azedarach</i>	0	8 – DAP8	5,319	17,240	0,5609
<i>M. azedarach</i>	0	9 – DAP9	5,539	19,014	0,5373
<i>M. azedarach</i>	0	10 – DAP10	5,446	20,543	0,7224
<i>M. azedarach</i>	0	11 – DAP11	5,379	21,747	0,5806
<i>G. robusta</i>	0	5 – DAP5	7,201	14,346	0,4286
<i>G. robusta</i>	0	6 – DAP6	7,783	16,008	0,6066
<i>G. robusta</i>	0	7 – DAP7	8,302	18,276	0,3459
<i>G. robusta</i>	0	8 – DAP8	8,122	20,523	0,4986
<i>G. robusta</i>	0	9 – DAP9	8,188	21,921	0,3898
<i>G. robusta</i>	0	10 – DAP10	8,077	23,180	0,3723
<i>G. robusta</i>	0	11 – DAP11	7,915	24,282	0,5557
<i>M. azedarach</i>	3	5 – DAP5	3,912	13,751	0,2040
<i>M. azedarach</i>	3	6 – DAP6	4,470	16,519	0,7841
<i>M. azedarach</i>	3	7 – DAP7	5,157	19,022	0,8700
<i>M. azedarach</i>	3	8 – DAP8	5,669	22,097	0,8616
<i>M. azedarach</i>	3	9 – DAP9 ar	5,967	24,153	0,9917
<i>M. azedarach</i>	3	9 – DAP9 dr	7,543	25,363	0,9208
<i>M. azedarach</i>	3	10 – DAP10	7,837	27,346	0,6096
<i>M. azedarach</i>	3	11 – DAP11	7,600	29,262	0,7767
<i>G. robusta</i>	3	5 – DAP5	9,656	14,770	0,5251
<i>G. robusta</i>	3	6 – DAP6	10,288	16,952	0,4721
<i>G. robusta</i>	3	7 – DAP7	10,271	19,586	0,3636
<i>G. robusta</i>	3	8 – DAP8	10,737	22,237	0,9944
<i>G. robusta</i>	3	9 – DAP9 ar	10,154	24,084	0,8644
<i>G. robusta</i>	3	9 – DAP9 dr	13,215	24,733	0,9110
<i>G. robusta</i>	3	10 – DAP10	12,457	26,518	0,7380
<i>G. robusta</i>	3	11 – DAP11	12,097	28,407	0,9882

En Tabla 13 se presentan los resultados de los estadísticos de cada componente específica de la plantacion mixta de Blanco.

**Tabla 13.** Estadísticos descriptivos del diámetro durante el periodo de 5 a 11 años de edad para árboles de *M. azedarach* y *G. robusta* del tratamiento T0 del ensayo de Blanco.

Tra	Var	Media (cm)	Mediana (cm)	D.E. (cm)	E.E. (cm)	C.V. (%)	Mín (cm)	Máx (cm)	Asim	Kurt
<b>Paraíso</b>										
T0	DAP5	9,63	9,25	2,69	0,32	27,89	5,50	19,50	1,20	3,21
T0	DAP 6	11,50	11,50	2,78	0,33	24,18	6,10	20,20	0,46	1,28
T0	DAP7	13,23	13,75	3,08	0,37	23,26	6,80	20,50	-0,13	-0,22
T0	DAP8	15,86	16,45	3,54	0,43	22,30	8,10	22,00	-0,36	-0,50
T0	DAP9	17,53	18,35	3,81	0,47	21,71	8,20	23,70	-0,47	-0,31
T0	DAP10	18,94	19,45	4,10	0,52	21,66	10,30	26,70	-0,34	-0,39
T0	DAP11	20,04	20,20	4,37	0,56	21,81	10,30	28,50	-0,36	-0,16
<b>Grevillea</b>										
T0	DAP5	13,42	13,60	2,36	0,25	17,59	5,30	16,80	-0,95	1,34
T0	DAP 6	15,04	15,00	2,40	0,25	15,95	6,80	18,60	-0,84	1,28
T0	DAP7	17,23	17,10	2,55	0,27	14,80	8,40	21,00	-0,79	1,31
T0	DAP8	19,34	19,50	2,87	0,30	14,82	9,80	24,00	-0,65	0,94
T0	DAP9	20,68	21,00	2,99	0,31	14,47	10,70	25,70	-0,60	1,04
T0	DAP10	21,86	21,90	3,20	0,34	14,63	11,10	27,50	-0,63	1,24
T0	DAP11	22,87	23,10	3,43	0,36	14,99	11,50	29,00	-0,65	1,16

Del análisis de los estadísticos de cada componente específica presentada en la Tabla 13, respecto del tratamiento T0 de los ensayos de Blanco, los aspectos más relevantes son:

**Paraíso.**

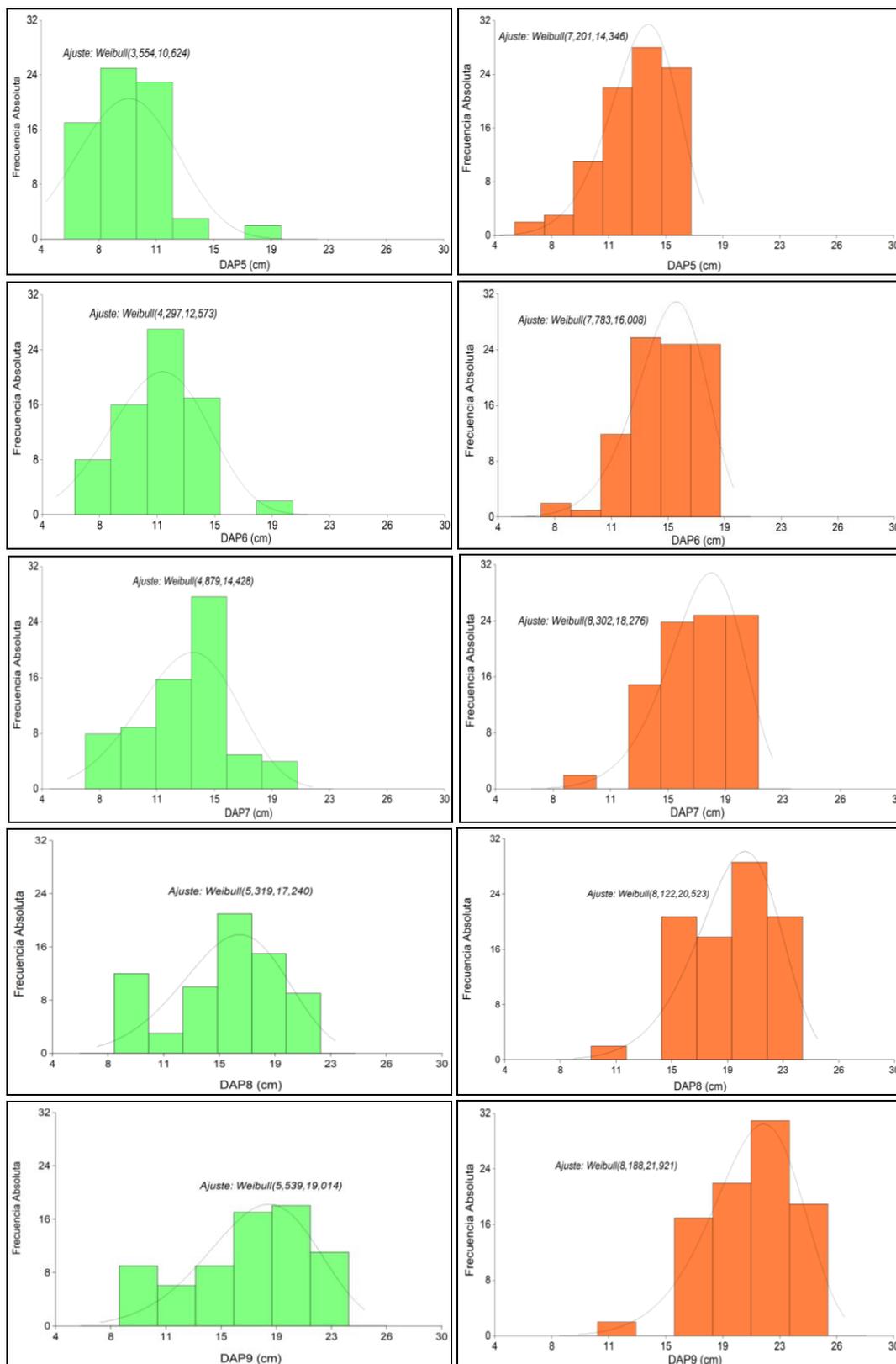
- ✓ En cada año de control los valores de media diamétrica de los árboles resultan inferiores a los de grevillea.
- ✓ Si bien los niveles de dispersión relativa son más bien bajos, se destaca que son bastante más elevados que los registrados en la componente grevillea.
- ✓ La distribución es asimétrica positiva durante los dos primeros años de control para luego pasar a una situación de asimetría negativa leve durante los años siguientes años.
- ✓ Respecto de la medida de apuntamiento de la distribución, salvo en los dos primeros en que los valores de curtosis son positivos (más concentración de los valores en torno a la media, característica de la distribución leptocúrtica), en los restantes años los valores son negativos (característicos de distribución platicúrtica).

### **Grevillea.**

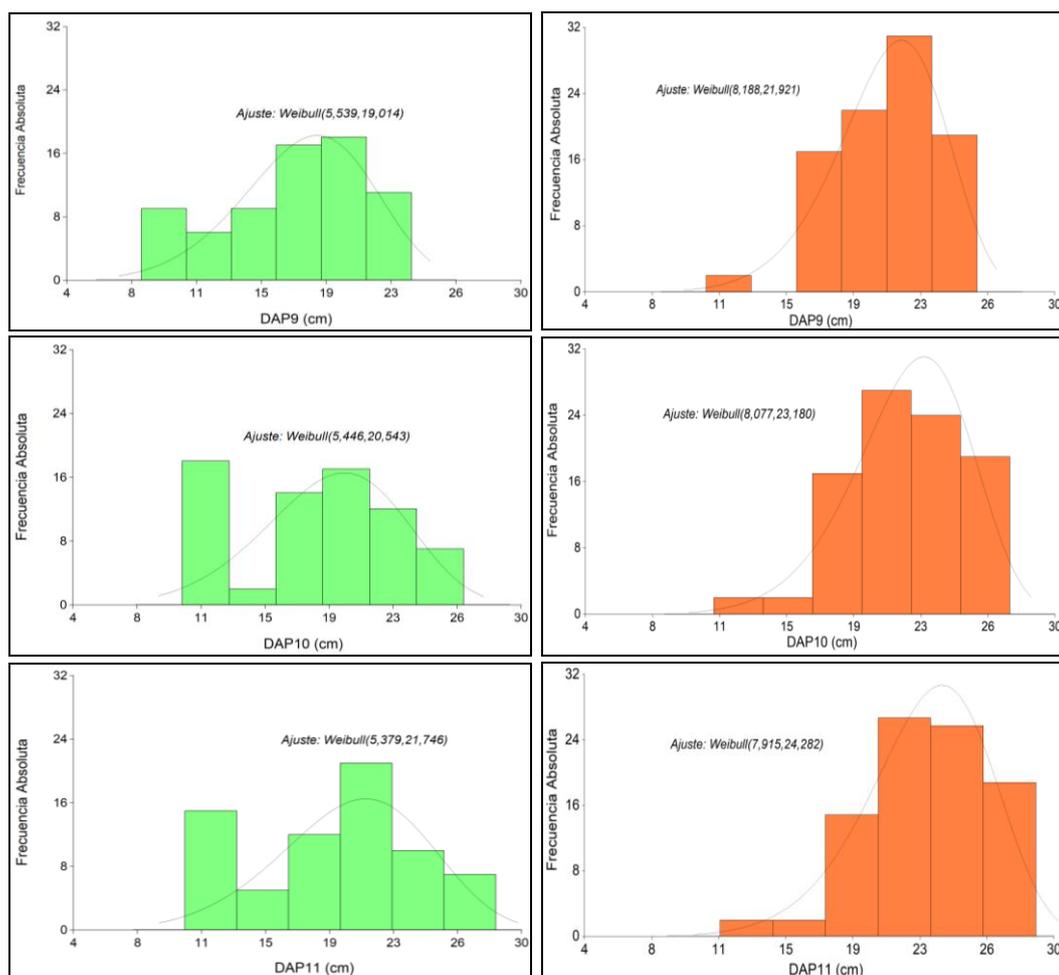
- ✓ Los valores promedios de grevillea del rodal mixto de Blanco son superiores a los de paraíso del mismo rodal y a los de grevillea de la plantación mixta de Nofal, ambas para rodales sin ningún tratamiento de raleo.
- ✓ Los valores de la dispersión relativa son muy inferiores a los registros de paraíso del mismo ensayo de Blanco y a los correspondientes a grevillea del ensayo de Nofal (rodales T0).
- ✓ En todos los años de control la distribución resulta asimétrica negativa, es decir la cola que está a la izquierda de la media es más larga.
- ✓ Son todos positivos los valores de curtosis, característicos de la distribución leptocúrtica.

La situación analítica antes descrita se puede verificar fácilmente en las representaciones gráficas de las Figuras 15 y 16.

Con los valores de frecuencia absoluta correspondientes al tratamiento T0 de los periodos de 5 a 9 años y 9 a 11 años de edad de las especies de la plantación mixta de Blanco, se construyeron los histogramas y ajustes respectivos por la función Weibull (Figuras 15 y 16).



**Figura 15.** Histograma de frecuencias absolutas y curva de distribución Weibull de *Melia azedarach* (izq.) y *Grevillea robusta* (der.) para el tratamiento T0, período de 5 a 9 años, ensayos de Blanco.

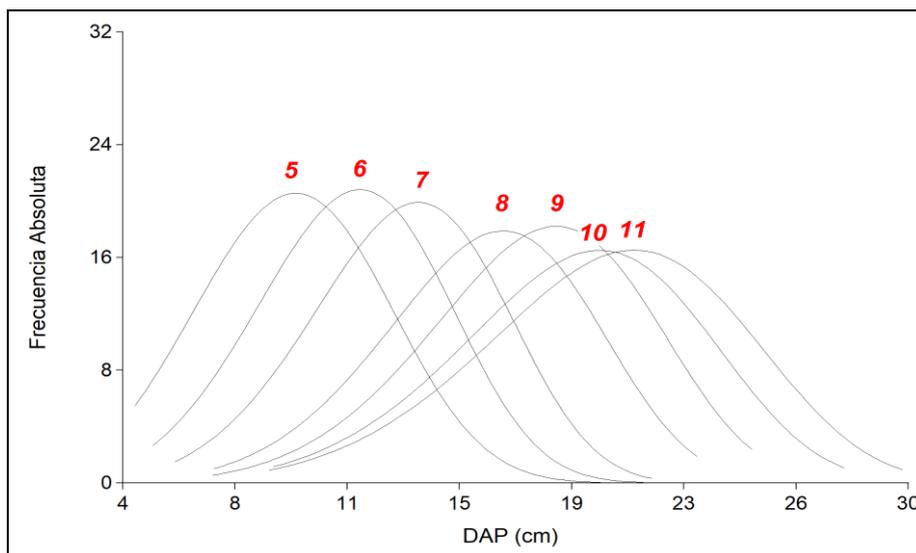


**Figura 16.** Histograma de frecuencias absolutas y curva de distribución Weibull de *Melia azedarach* (izq.) y *Grevillea robusta* (der.) para el tratamiento T0, período de 9 a 11 años, ensayos de Blanco.

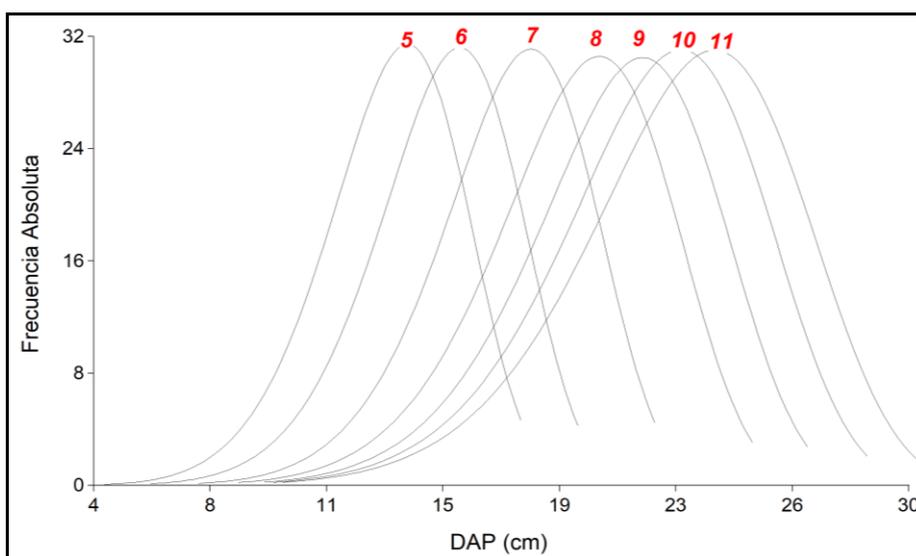
Con base a los histogramas de la real distribución de la frecuencia absoluta correspondientes a *M. azedarach* y *G. robusta* durante los periodos 5 – 9 y 9 – 11 años de edad, tratamiento T0, se construyeron los gráficos para cada edad de la distribución teórica de frecuencias absoluta según el ajuste de la función Weibull (Figuras 17 y 18).

En el caso de los gráficos referidos al paraíso se observa en los primeros años formas propias de la distribución levemente leptocúrtica, mientras que en los últimos años la forma es la expresión característica de la distribución platicúrtica.

Respecto a la situación de grevillea sobresale primeramente porque los valores de frecuencia son superiores a los de paraíso. Por la forma de los gráficos se infiere que la dispersión relativa es inferior al de paraíso. Es característica la distribución leptocúrtica.



**Figura 17.** Distribución de frecuencias teórica absoluta según el ajuste de la función Weibull realizado con base a los histogramas de frecuencia absoluta de *M. azedarach* del tratamiento T0 de los ensayos de Blanco.



**Figura 18.** Distribución de frecuencias teórica absoluta según el ajuste de la función Weibull realizado con base a los histogramas de frecuencia absoluta de *G. robusta* del tratamiento T0 de los ensayos de Blanco.

Del análisis de los estadísticos de cada componente específica presentada en la Tabla 14, respecto de T3 de los ensayos de Blanco, se destacan los siguientes detalles:

**Paraíso:** la dispersión de los datos en general es bajo a muy bajo. Desde los 5 años de edad se observa una reducción anual progresiva del coeficiente de variación; la distribución comienza con asimetría positiva con un decrecimiento anual gradual hacia una distribución mesocúrtica en el año 8. Luego se observa asimetría negativa en el año

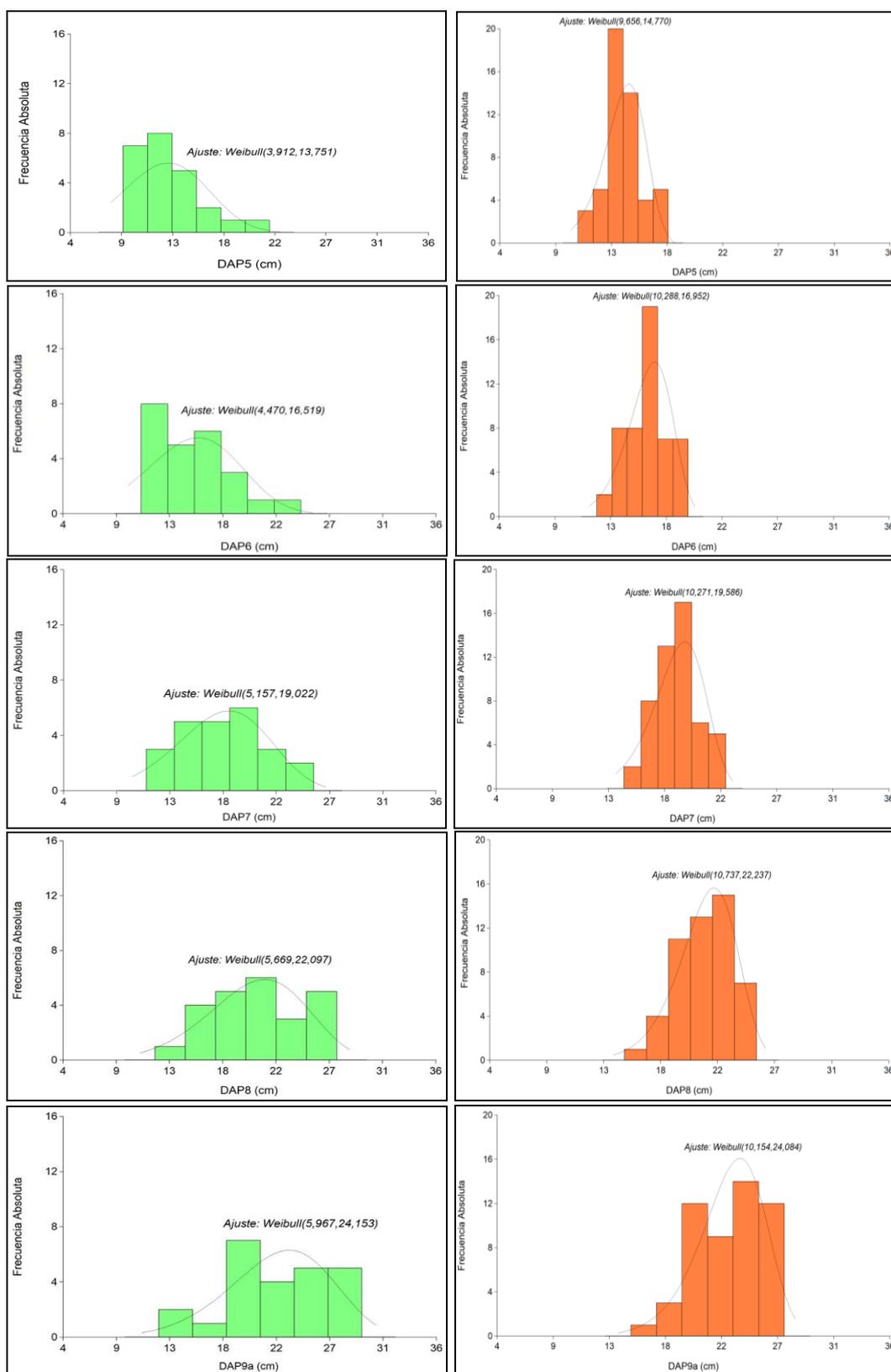
9 años antes del raleo, y finalmente en el periodo de 9 a 11 años de edad la distribución es asimétrica positiva; el estadístico curtosis exhibe valores positivos durante los dos primeros años referenciando una distribución leptocúrtica. A partir de los 7 años de edad los valores de curtosis son negativos correspondientes a una distribución platicúrtica; los resultados analíticos de asimetría y curtosis son fácilmente verificables en los gráficos respectivos (Figuras 19 y 20).

**Grevillea:** durante el periodo de 5 a 9 años antes del raleo sus valores promedios de diámetro resultan ligeramente superiores a los registros medios correspondientes a paraíso. En tanto en el segundo periodo, los valores de ambas especies son técnicamente no diferentes; los valores bajos de coeficiente de variación señalan la baja dispersión de los datos; salvo en la observación realizada a los 7 años de edad en que la distribución resulta asimétrica ligeramente positiva, en el resto de los años se registra una ligera asimetría negativa; los valores del estadístico curtosis muestran una alternancia de valores positivos que corresponden a distribución leptocúrtica y negativos característicos de la distribución platicúrtica.

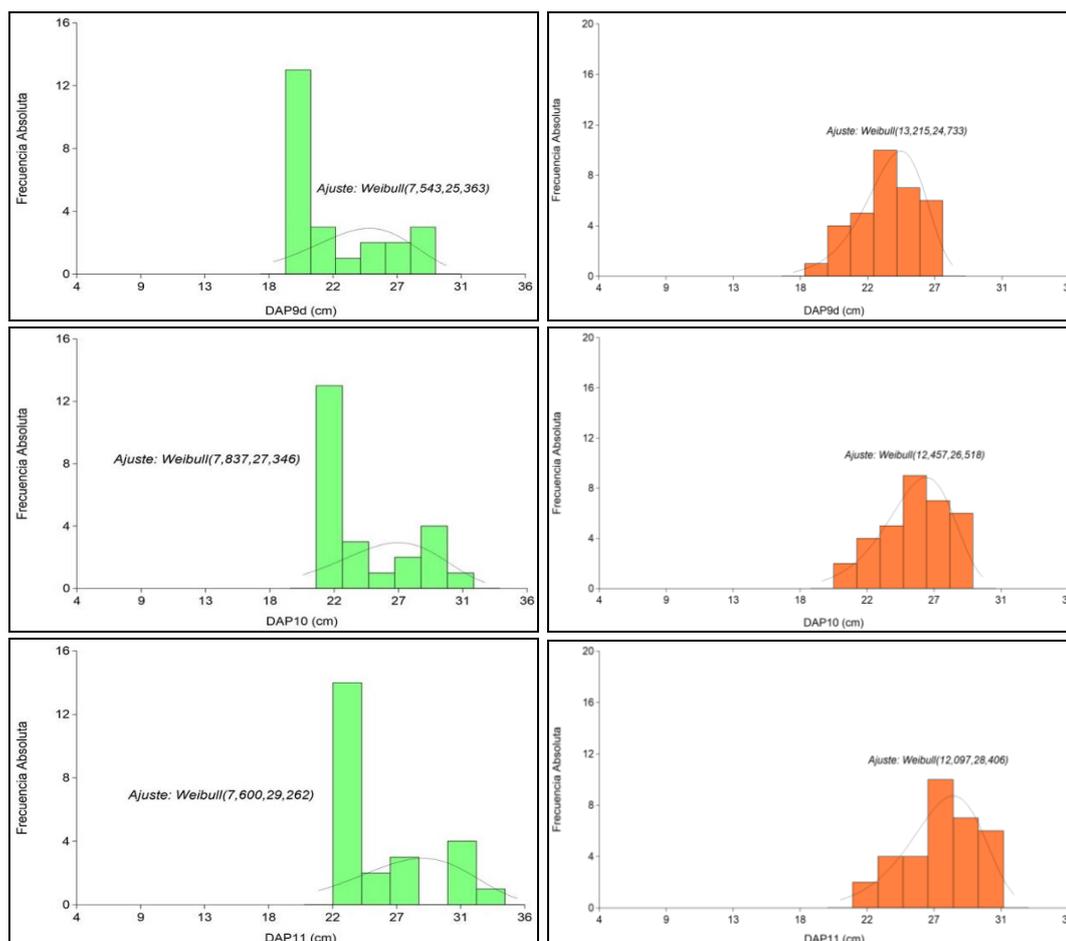
**Tabla 14.** Estadísticos descriptivos del diámetro durante el periodo de 5 a 11 años de edad para árboles de *M. azedarach* y *G. robusta* del tratamiento T3 del ensayo de Blanco.

Tra	Var	Media (cm)	Mediana (cm)	D.E. (cm)	E.E. (cm)	C.V. (%)	Mín (cm)	Máx (cm)	Asim	Kurt
<b>Paraíso</b>										
T3	DAP5	12,52	12,05	3,20	0,65	25,56	8,70	21,80	1,38	1,43
T3	DAP 6	15,14	14,70	3,47	0,71	22,95	10,70	24,40	0,95	0,45
T3	DAP7	17,53	17,50	3,72	0,76	21,21	11,10	25,50	0,38	-0,62
T3	DAP8	20,43	20,15	4,13	0,84	20,23	11,90	27,50	0,02	-0,75
T3	DAP9ar	22,38	22,10	4,48	0,91	20,03	12,20	29,60	-0,30	-0,50
T3	DAP9dr	23,82	23,20	3,64	0,94	15,28	18,90	29,60	0,19	-1,33
T3	DAP10	25,73	25,00	3,78	0,98	14,71	21,00	32,20	0,19	-1,39
T3	DAP11	27,51	27,50	4,11	1,06	14,93	22,30	34,60	0,29	-1,33
<b>Grevillea</b>										
T3	DAP5	14,07	14,00	1,58	0,22	11,20	10,40	17,80	-0,02	0,05
T3	DAP 6	16,18	16,00	1,73	0,24	10,70	12,00	19,50	-0,04	-0,26
T3	DAP7	18,70	18,70	1,97	0,28	10,53	14,40	22,70	0,07	-0,30
T3	DAP8	21,23	21,40	2,33	0,33	10,97	14,80	25,40	-0,38	-0,19
T3	DAP9ar	22,92	23,30	2,73	0,38	11,92	14,90	27,40	-0,53	0,07
T3	DAP9dr	23,79	23,80	2,14	0,37	9,01	18,00	27,40	-0,45	0,02
T3	DAP10	25,46	25,10	2,40	0,42	9,44	20,00	29,50	-0,29	-0,53
T3	DAP11	27,22	27,40	2,74	0,48	10,08	21,30	31,60	-0,46	-0,49

Con los valores de frecuencia absoluta del tratamiento T3 de los periodos de 5 a 9 y 9 a 11 años de edad, de las especies de los ensayos de Blanco, se construyeron los histogramas y ajustes respectivos con la función Weibull.



**Figura 19.** Histograma de frecuencias absolutas y curva de distribución Weibull de *Melia azedarach* (izq.) y *Grevillea robusta* (der.) para el tratamiento T3, período de 5 a 9 años, ensayos de Blanco.

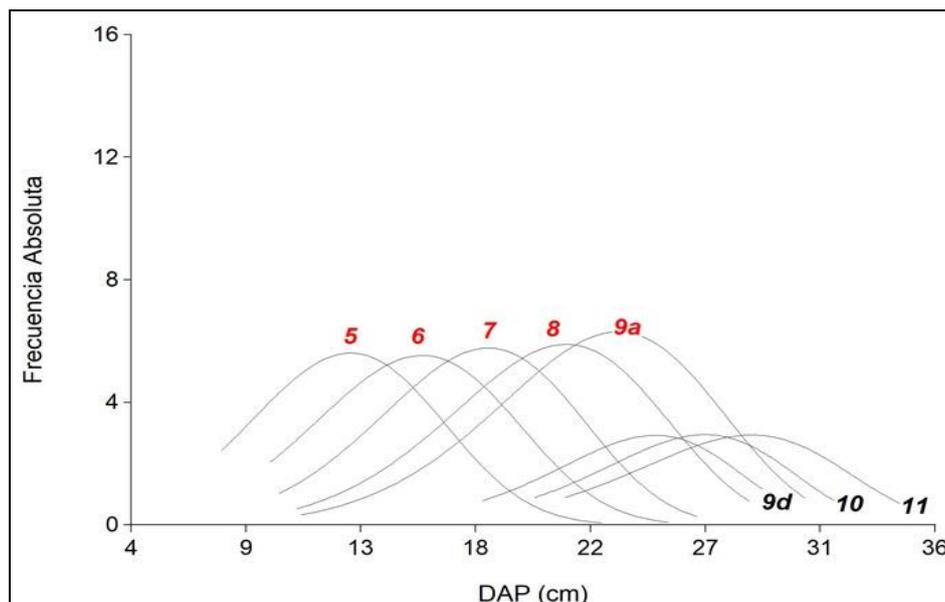


**Figura 20.** Histograma de frecuencias absolutas y curva de distribución Weibull de *Melia azedarach* (izq.) y *Grevillea robusta* (der.) para el tratamiento T3, período de 9 a 11 años, ensayos de Blanco.

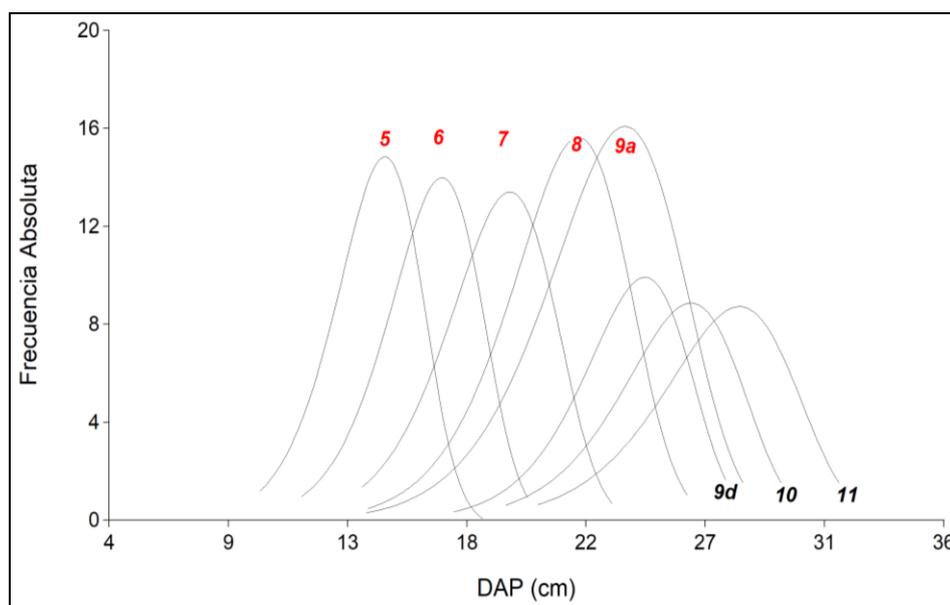
Con base a los histogramas de la distribución diamétrica real de frecuencia absoluta de *M. azedarach* y *G. robusta* correspondiente e los periodos 5 a 9 y 9 a 11 años de edad del tratamiento T3, se construyeron los gráficos para cada edad de la distribución de frecuencias teórica absoluta según el ajuste de la función Weibull (Figuras 21 y 22).

En los gráficos de paraíso destaca los bajos valores de frecuencia, con formas de curvas en los primeros años que corresponden a la distribución leptocúrtica, mientras que en los últimos años es claramente platicúrtica.

En el caso de la grevillea se destaca la alta concentración de datos alrededor de la media, con valores más altos de frecuencia que los registros de paraíso. Por otra parte, considerando la distribución espacial de las curvas en relación a la abscisa (diámetro), queda clara la existencia de árboles de menores dimensiones en esta especie respecto del desempeño observado en paraíso.



**Figura 21.** Distribución de frecuencias teórica absoluta según el ajuste de la función Weibull realizado con base a los histogramas de frecuencia absoluta de *M. azedarach* del tratamiento T3 de los ensayos de Blanco.



**Figura 22.** Distribución de frecuencias teórica absoluta según el ajuste de la función Weibull realizado con base a los histogramas de frecuencia absoluta de *G. robusta* del tratamiento T3 de los ensayos de Blanco.

**4.2.2 Análisis de la plantación mixta de Nofal.** En la Tabla 15 se exponen los resultados obtenidos al ajustar la distribución Weibull a los valores de diámetro correspondiente a los árboles de los tratamientos extremos T0 y T3 de los ensayos de

raleos implementados en la plantación mixta de Nofal. Los datos de diámetro utilizados corresponden al periodo de 6 a 11 años de edad.

**Tabla 15.** Parámetros de la distribución Weibull y valor “p” de la prueba de Kolmogorov – Smirnov. Variable diámetro, periodo de control de 6 a 11 años de edad, *M. azedarach* y *G. robusta*, tratamientos T0 y T3 de los ensayos de Nofal.

<b>Especie</b>	<b>Tra</b>	<b>Edad (años) - Variable</b>	<b>Forma Estimada = <math>\alpha</math></b>	<b>Escala Estimada = <math>\beta</math></b>	<b>Prueba K – S Valor “p”</b>
<i>M. azedarach</i>	0	6 - DAP6	3,596	14,745	0,2250
<i>M. azedarach</i>	0	7 – DAP7	3,375	16,443	0,2069
<i>M. azedarach</i>	0	8 – DAP8	5,095	19,409	0,5540
<i>M. azedarach</i>	0	9 – DAP9	5,091	20,887	0,6907
<i>M. azedarach</i>	0	10 – DAP10	4,358	22,475	0,6135
<i>M. azedarach</i>	0	11 – DAP11	4,292	23,685	0,7347
<i>G. robusta</i>	0	6 - DAP6	5,125	14,267	0,6459
<i>G. robusta</i>	0	7 – DAP7	4,971	16,142	0,8097
<i>G. robusta</i>	0	8 – DAP8	4,964	17,746	0,6741
<i>G. robusta</i>	0	9 – DAP9	4,814	18,978	0,4128
<i>G. robusta</i>	0	10 – DAP10	4,950	20,811	0,3400
<i>G. robusta</i>	0	11 – DAP11	4,811	21,851	0,2343
<i>M. azedarach</i>	3	6 - DAP6	7,041	16,659	0,1014
<i>M. azedarach</i>	3	7 – DAP7	7,377	19,444	0,5365
<i>M. azedarach</i>	3	8 – DAP8	7,274	21,553	0,7457
<i>M. azedarach</i>	3	9 – DAP9 ar	6,883	23,396	0,9755
<i>M. azedarach</i>	3	9 – DAP9 dr	9,560	24,734	0,5233
<i>M. azedarach</i>	3	10 – DAP10	9,210	27,664	0,7161
<i>M. azedarach</i>	3	11 – DAP11	8,897	29,130	0,4383
<i>G. robusta</i>	3	6 - DAP6	8,075	15,891	0,4896
<i>G. robusta</i>	3	7 – DAP7	8,425	18,083	0,4296
<i>G. robusta</i>	3	8 – DAP8	8,355	20,197	0,4178
<i>G. robusta</i>	3	9 – DAP9 ar	8,114	21,905	0,1247
<i>G. robusta</i>	3	9 – DAP9 dr	8,758	22,453	0,1672
<i>G. robusta</i>	3	10 – DAP10	9,176	24,685	0,2605
<i>G. robusta</i>	3	11 – DAP11	9,273	26,262	0,2374

Los parámetros de forma y de escala fueron estimados utilizando el método de usando máxima verosimilitud, asumiéndose que el valor máximo de la distribución estaba localizado en el origen. En la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov - Smirnov (K-S) el valor “p” más pequeño es  $\geq 0,05$ ; consecuentemente, no se rechaza la hipótesis de que el DAP proviene de una distribución Weibull con 95% de confianza.

En la Tabla 16 se presentan los resultados estadísticos correspondientes al tratamiento T0.

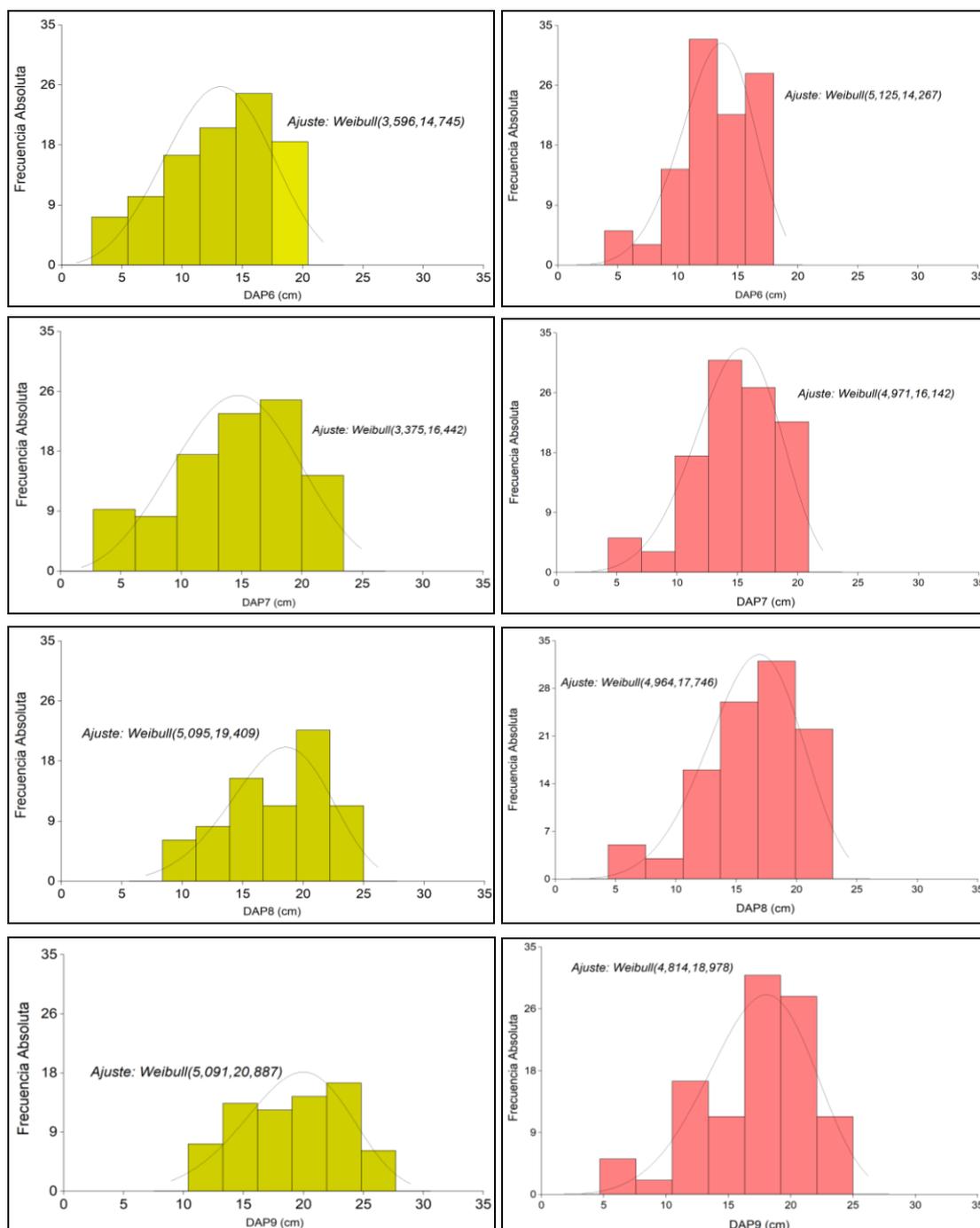
**Tabla 16.** Estadísticos descriptivos del diámetro, periodo de control de 6 a 11 años de edad, *M. azedarach* y *G. robusta*, tratamiento T0 de los ensayos de Nofal.

Tra	Var	Media (cm)	Mediana (cm)	D.E. (cm)	E.E. (cm)	C.V. (%)	Mín (cm)	Máx (cm)	Asim	Kurt
<b>Paraíso</b>										
T0	DAP6	13,27	14,15	4,36	0,44	32,84	2,90	20,60	-0,57	-0,52
T0	DAP7	14,76	16,00	5,10	0,52	34,58	2,90	23,50	-0,55	-0,59
T0	DAP8	17,80	17,60	4,15	0,49	23,31	8,40	25,00	-0,31	-0,72
T0	DAP9	19,17	19,90	4,38	0,53	22,85	10,40	27,70	-0,14	-0,88
T0	DAP10	20,46	20,70	5,28	0,66	25,80	10,50	31,60	0,09	-0,74
T0	DAP11	21,58	21,80	5,45	0,71	25,28	11,50	33,70	0,35	-0,33
<b>Grevillea</b>										
T0	DAP6	13,10	13,20	3,13	0,31	23,87	3,90	18,00	-0,71	0,28
T0	DAP7	14,80	15,20	3,64	0,36	24,63	4,30	20,90	-0,74	0,31
T0	DAP8	16,27	17,00	4,05	0,40	24,91	4,40	23,00	-0,84	0,48
T0	DAP9	17,37	18,30	4,45	0,44	25,61	4,70	25,00	-0,83	0,43
T0	DAP10	19,08	19,85	4,76	0,48	24,95	5,00	27,20	-0,86	0,60
T0	DAP11	20,00	20,75	5,12	0,52	25,62	5,10	28,70	-0,85	0,52

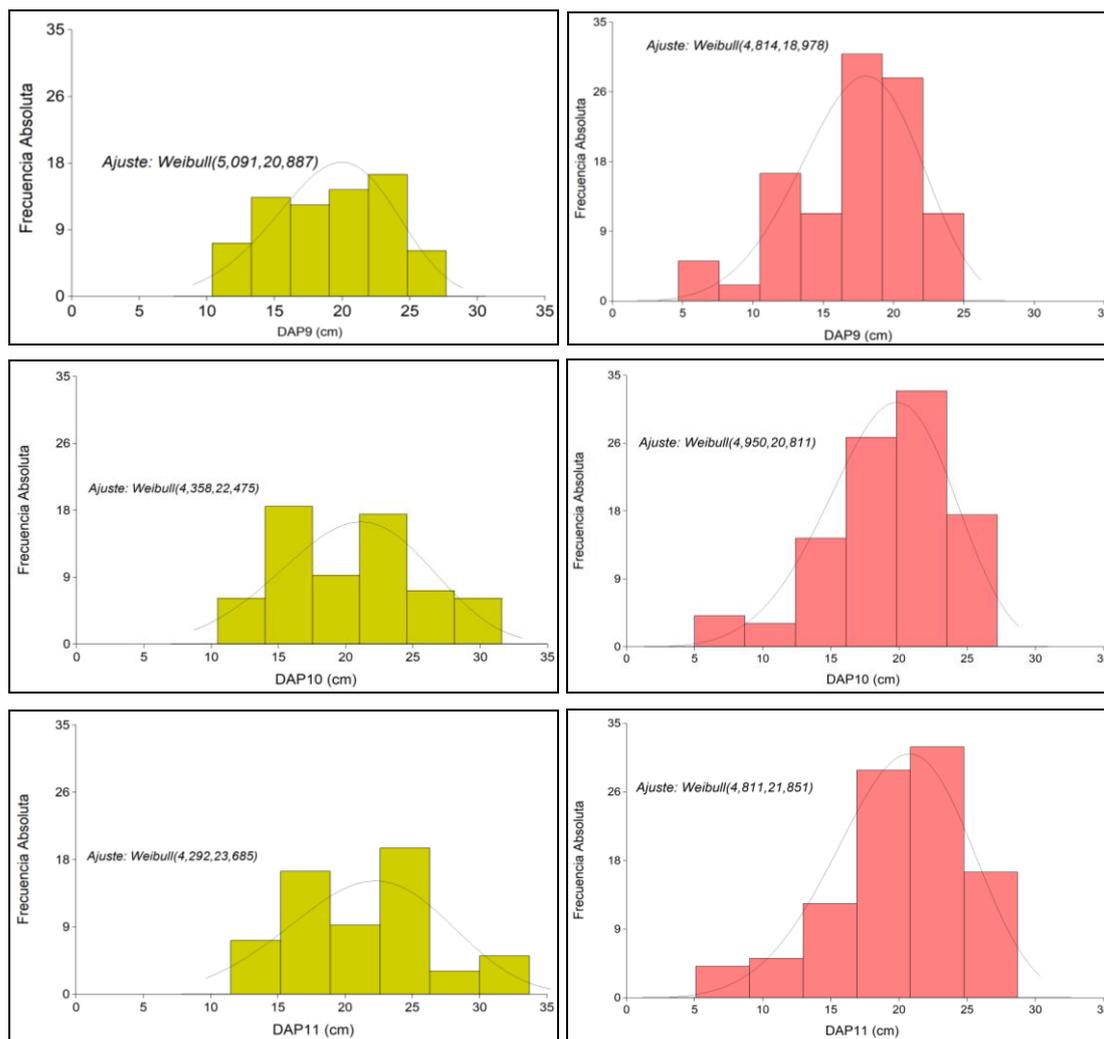
Con los valores de frecuencia absoluta correspondientes al tratamiento T0 de los periodos de 6 a 9 y 9 a 11 años de edad, de las especies componentes de los ensayos de Nofal, se construyeron los histogramas y ajustes respectivos por la función Weibull (Figuras 23 y 24). A continuación se realiza un breve análisis de los resultados por especie:

**Paraíso:** durante los dos primeros de observación resulta que los valores promedios de diámetro son similares a los de grevillea, y después la supera levemente en los restantes años; los valores de dispersión relativa son más altos que los registrados para la misma especie en la plantación de Blanco, para la situación de rodal sin raleo; la distribución diamétrica es asimétrica durante los primeros cuatro años de observación, para luego pasar a una ligeramente asimétrica positiva en el año 10 y más pronunciada con el mismo signo en el último año; los valores de curtosis son todos negativos haciendo referencia que se trata de distribución platicúrtica. Estos resultados analíticos son coherentes con los resultados gráficos (Figuras 23 y 24), donde se evidencia la baja concentración de los datos alrededor de la media aritmética.

**Grevillea:** en los dos primeros años la dispersión relativa es menor en grevillea, y luego en los años siguientes, los valores son muy parecidos a los de paraíso; en todos los años de observación la distribución diamétrica es asimétrica; debido a que a la izquierda hay presencia de valores más separados de la media, la cola en ese sector de la distribución es más larga que la de la derecha; en relación a la curtosis todos los valores del estadístico son positivos, que caracterizan a la distribución leptocúrtica.



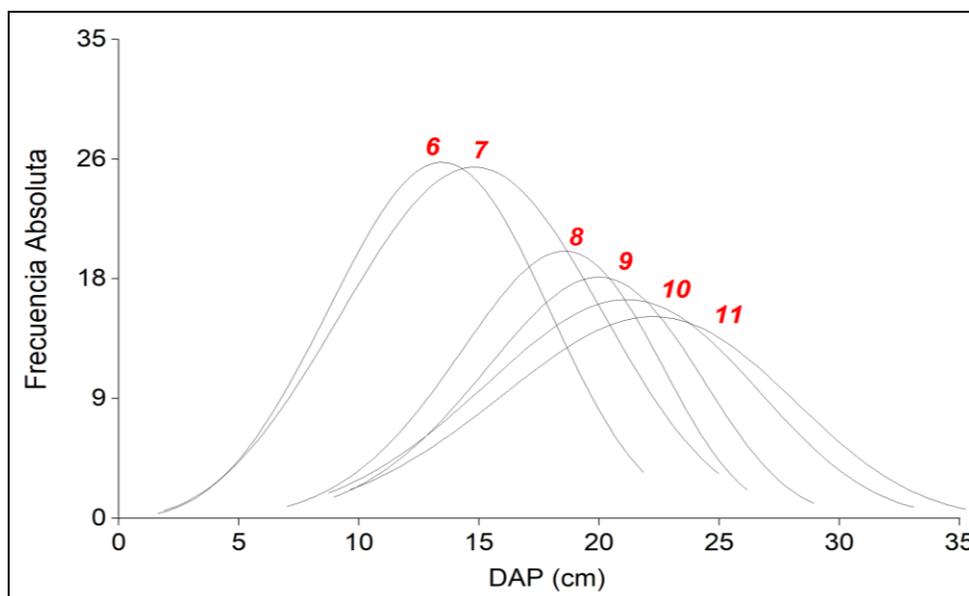
**Figura 23.** Histograma de frecuencias absolutas y curva de distribución Weibull de *Melia azedarach* (izq.) y *Grevillea robusta* (der.) para el tratamiento T0, período de 6 a 9 años, ensayos de Nofal.



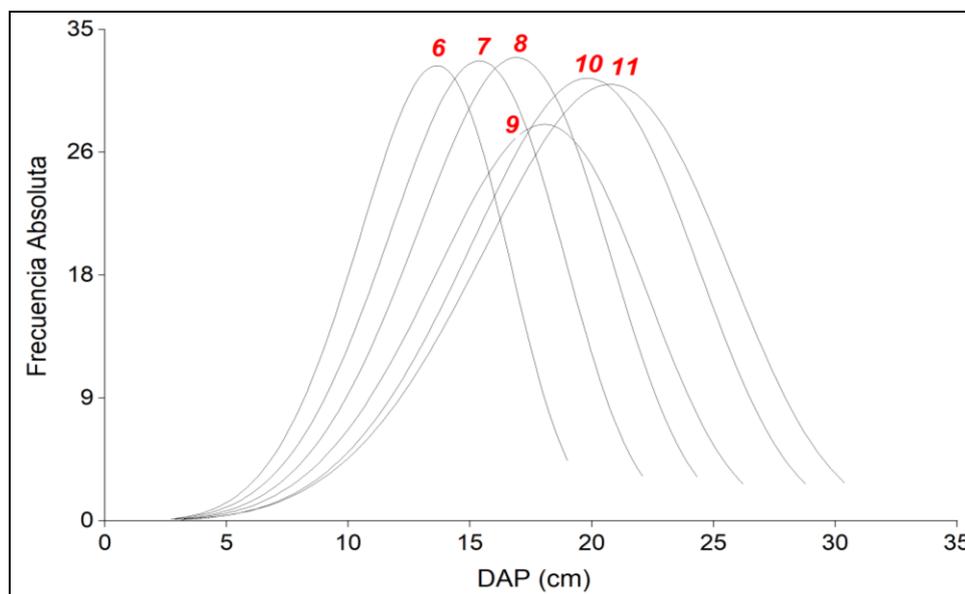
**Figura 24.** Histograma de frecuencias absolutas y curva de distribución Weibull de *Melia azedarach* (izq.) y *Grevillea robusta* (der.) para el tratamiento T0, período de 9 a 11 años, ensayos de Nofal.

Respecto del comportamiento de paraíso y grevillea a la estratificación interna del rodal producto de la competencia biológica, se puede señalar un contraste notable entre ambas vinculada esencialmente con el diferente grado de tolerancia a la sombra. Durante los controles periódicos realizados en los rodales de los ensayos se pudo observar la notable capacidad de la grevillea para sobrevivir (tiene mayor tolerancia), aun cuando se encontrara totalmente oprimida y cubierta por vecinas competidoras, es decir, a pesar que su posición sociológica resultara absolutamente insostenible por varios años. Esta misma condición de extrema competencia intra o interespecifica no pueden tolerar las plantas de paraíso (poca tolerante a la sombra); estas cuando se encuentran en posición de dominadas, de manera absoluta e irreversible ingresan en una condición de estrés profunda y al poco tiempo mueren.

A partir de los histogramas originados en la distribución diamétrica real de frecuencia absoluta de *M. azedarach* y *G. robusta*, del tratamiento T0 en los periodos 6 a 9 y 9 a 11 años de edad, se construyeron los gráficos de distribución de frecuencia teórica para cada edad según el ajuste de la función Weibull (Figuras 25 y 26).



**Figura 25.** Distribución de frecuencia teórica absoluta según el ajuste de la función Weibull realizado con base a histogramas de frecuencia absoluta de *M. azedarach* del tratamiento T0 de los ensayos de Nofal.



**Figura 26.** Distribución de frecuencia teórica absoluta según el ajuste de la función Weibull realizado con base a histogramas de frecuencia absoluta de *G. robusta* M. del tratamiento T0 de los ensayos de Nofal.

En Tabla 17 se presentan los estadísticos descriptivos correspondientes al tratamiento T3 de los ensayos de Nofal.

**Tabla 17.** Estadísticos descriptivos del diámetro, periodo de control de 6 a 11 años de edad, *M. azedarach* y *G. robusta*, tratamiento T3 de los ensayos de Nofal.

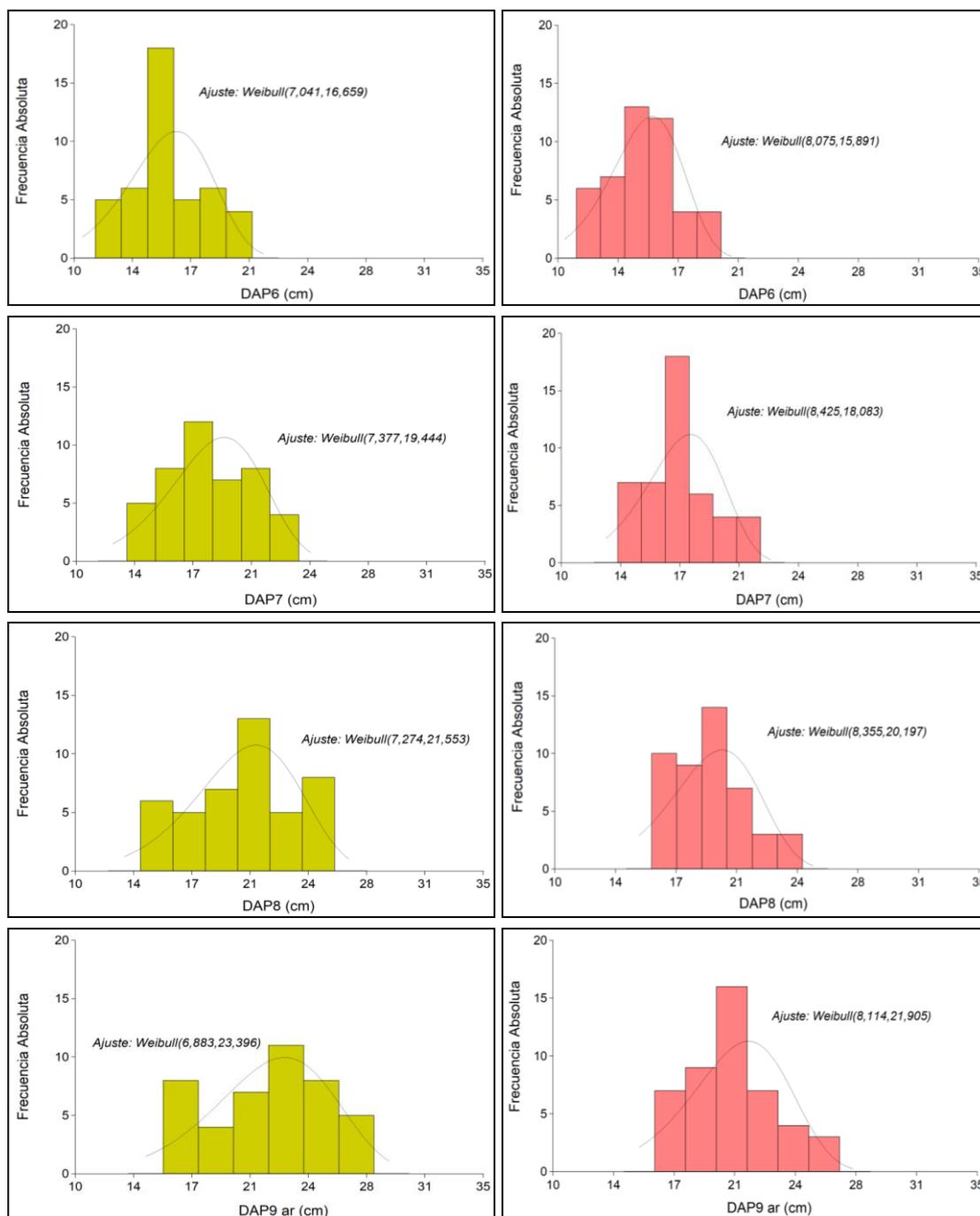
Tra	Var	Media (cm)	Mediana (cm)	D.E. (cm)	E.E. (cm)	C.V. (%)	Mín (cm)	Máx (cm)	Asim	Kurt
<b>Paraíso</b>										
T3	DAP6	15,65	15,30	2,33	0,35	14,86	11,30	20,90	0,42	-0,26
T3	DAP7	18,27	18,10	2,72	0,41	14,86	13,10	23,60	0,18	-0,73
T3	DAP8	20,19	20,40	3,23	0,49	16,02	14,00	25,90	-0,12	-0,95
T3	DAP9ar	21,85	22,30	3,71	0,57	17,00	15,40	28,30	-0,14	-0,98
T3	DAP9dr	23,49	22,90	2,86	0,54	12,17	17,30	28,30	-0,14	-0,71
T3	DAP10	26,24	25,80	3,27	0,62	12,48	19,00	31,70	-0,07	-0,73
T3	DAP11	27,58	27,15	3,58	0,68	13,00	19,30	33,30	-0,09	-0,72
<b>Grevillea</b>										
T3	DAP6	15,01	15,10	2,04	0,30	13,56	11,10	19,70	0,03	-0,29
T3	DAP7	17,13	17,00	2,12	0,31	12,39	13,40	22,00	0,36	-0,26
T3	DAP8	19,14	18,85	2,33	0,34	12,19	15,70	24,60	0,53	-0,25
T3	DAP9ar	20,75	20,40	2,54	0,37	12,24	16,00	26,90	0,65	0,17
T3	DAP9dr	21,35	20,90	2,40	0,40	11,22	17,30	26,90	0,73	0,29
T3	DAP10	23,53	22,60	2,52	0,43	10,71	18,70	29,30	0,69	0,35
T3	DAP11	25,04	24,20	2,66	0,45	10,62	19,40	31,20	0,66	0,36

Con los valores de frecuencia absoluta de las dos especies correspondientes al tratamiento T3 de los ensayos de Nofal, periodos de observación 6-9 y 9-11 años de edad, se construyeron los histogramas y ajustes respectivos por la función Weibull (Figuras 27 y 28). A continuación se realiza un breve análisis de los resultados:

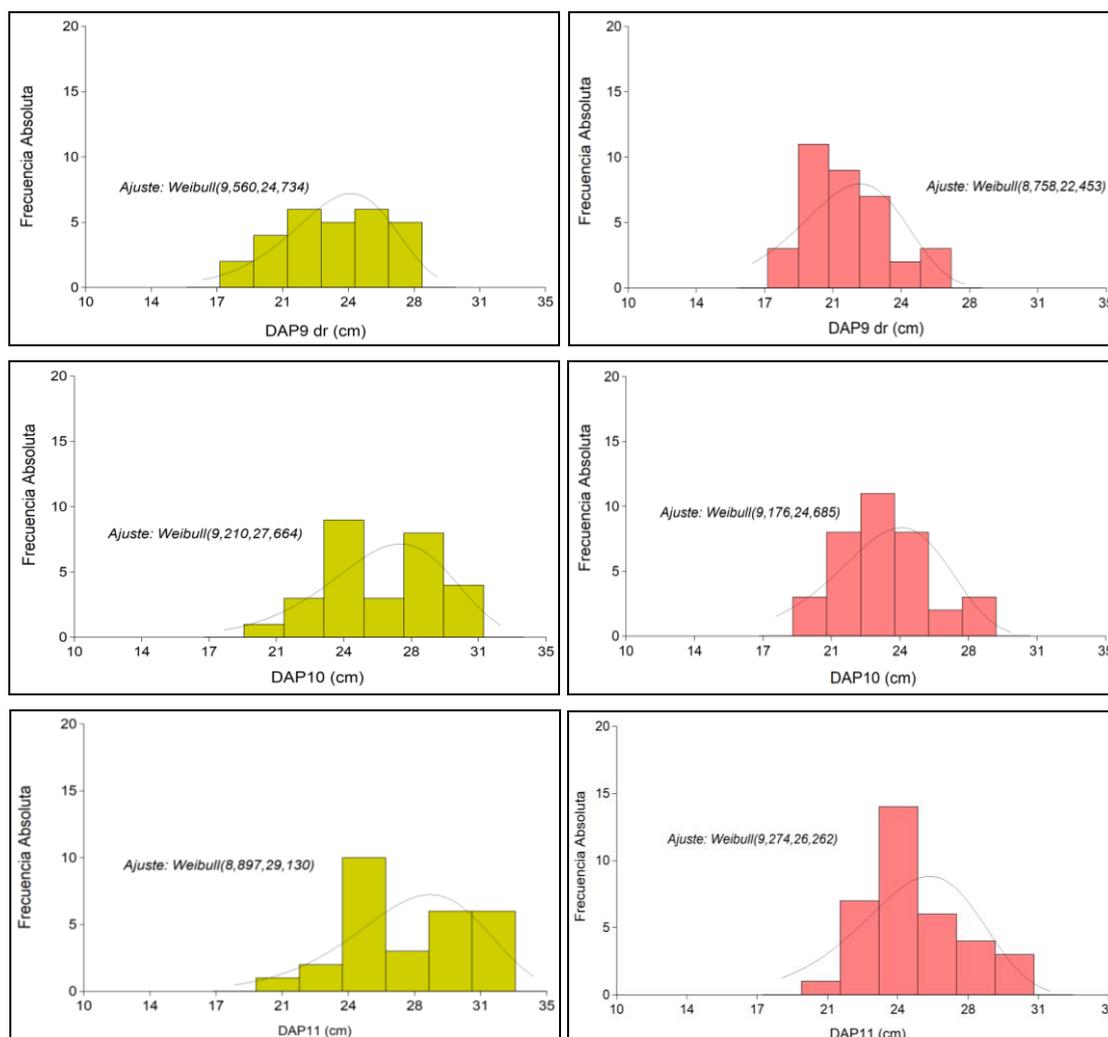
**Paraíso:** los valores de la media de cada año de control son superiores a los de la componente grevillea; los valores de coeficiente de variación son muy bajos, lo que evidencia la escasa dispersión de los mismos; salvo los dos primeros años de control en que la distribución es asimétrica positiva, es decir con cola más larga a la derecha de la media, en el resto de los años de control la asimetría es a la izquierda, negativa; todos los valores del estadístico curtosis son negativos, que caracterizan a la distribución platicúrtica.

**Grevillea:** los valores de la media de cada año de control son algo inferior a los de la componente paraíso; la dispersión relativa de los valores es menor en esta especie respecto de lo acontecido en paraíso de la misma plantación mixta; son similares los valores extremos (mínimos y máximos) de ambas especies; durante todos los años de control la distribución de es asimétrica positiva. Es decir, se registra una asimetría hacia

la derecha, con una cola más pronunciada o larga a la derecha de la media; en los tres primeros años de control (6, 7 y 8 años de edad) el estadístico curtosis tiene valores levemente negativos (propios de la distribución platicúrtica), en los restantes años los valores son positivos (corresponden a la distribución leptocúrtica).

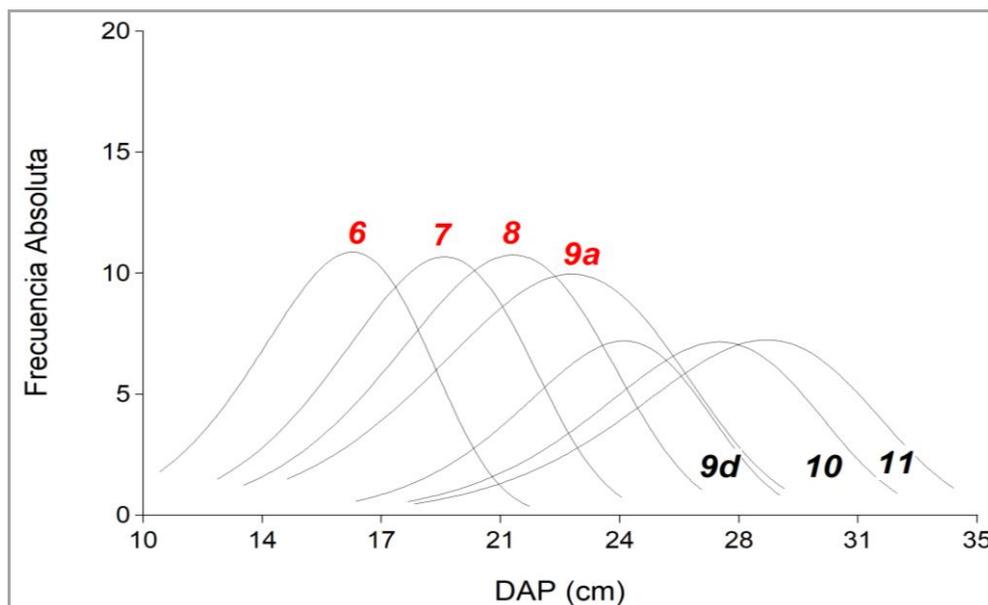


**Figura 27.** Histograma de frecuencias absolutas y curva de distribución Weibull de *Melia azedarach* (izq.) y *Grevillea robusta* (der.) para el Tratamiento T3, periodo de 6 a 9 años, ensayos de Nofal.

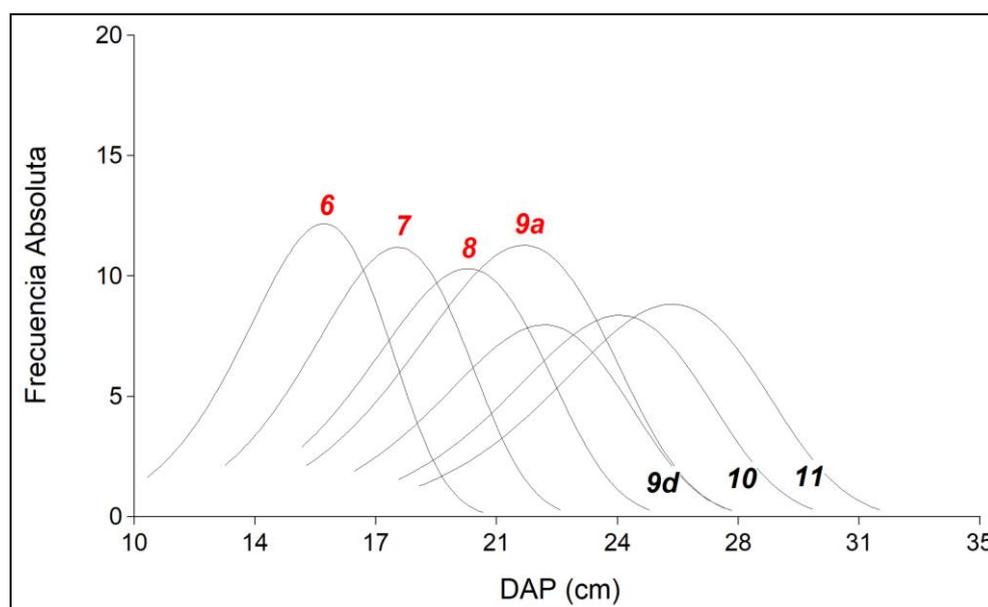


**Figura 28.** Histograma de frecuencias absolutas y curva de distribución Weibull de *Melia azedarach* (izq.) y *Grevillea robusta* (der.) para el Tratamiento T3, periodo de 9 a 11 años, ensayos de Nofal.

Con base a histogramas originados en la distribución diamétrica real de la frecuencia absoluta de *M. azedarach* y *G. robusta*, del tratamiento T3 en los periodos 6 a 9 y 9 a 11 años, se elaboraron gráficos de distribución de frecuencia teórica para cada edad según el ajuste de la función Weibull (Figuras 29 y 30).



**Figura 29.** Distribución de frecuencia teórica absoluta según el ajuste de la función Weibull realizado con base a histogramas de frecuencia absoluta de *M. azedarach* del tratamiento T3 de los ensayos de Nofal.



**Figura 30.** Distribución de frecuencia teórica absoluta según el ajuste de la función Weibull realizado con base a histogramas de frecuencia absoluta de *G. robusta* del tratamiento T3 de los ensayos de Nofal.

Según el objetivo, caracterizar las distribuciones diamétricas de rodales de *M. azedarach* y *G. robusta* componentes de plantaciones mixtas, en este estudio se observó que más allá de los matices particulares de la situación de cada año y si el rodal tuvo o no raleos, se puede expresar que la distribución diamétrica predominante en paraíso responde al patrón platicúrtico, con valores negativos de curtosis. En el caso de la grevillea prevalecen los valores de curtosis positivos, propios de la distribución leptocúrtica.

Lo observado en el estudio es en parte acorde con lo planteado por Finger (1992), respecto a que en rodales no intervenidos o con importante cantidad de ejemplares pequeños la distribución diamétrica tiene asimetría negativa. En los rodales raleados con mayor intensidad sobre la clase de individuos pequeños es frecuente la asimetría positiva.

En consonancia con lo planteado por Gadow *et al.* (2007) y Quiñones Barraza *et al.* (2015) las características que adquieren las distribuciones diamétricas dependen de las condiciones estructurales del rodal, de los caracteres culturales de las especies y las prácticas de manejo. De allí que las poblaciones de *M. azedarach* y *G. robusta* componentes de plantaciones mixtas tengan esas particularidades que las diferencian.

En este estudio se ajustaron y predijeron los parámetros de la distribución Weibull con atributos del rodal, utilizándose el método de máxima verosimilitud de dos parámetros, resultando adecuado para modelar la distribución diamétrica de *M. azedarach* y *G. robusta*. Esta alternativa metodológica caracterizada por su eficiencia, consistencia y facilidad de implementación, ha sido frecuentemente usado para modelar las estructuras diamétricas de rodales discetáneos (Zhang *et al.*, 2001), de plantaciones de *Pinus* (Maldonado y Nívar, 2002), de *Pinus kesiya* (Eerikainen y Maltamo, 2003), de *Betula alba* (Gorgoso *et al.*, 2007), de *Pinus tabulaeformis* (Lei, 2008), de bosques mixtos (Quiñones Barraza *et al.*, 2015).

**En relación al objetivo específico 3:** “Analizar la dinámica del crecimiento e incremento diamétrico y de área basal de rodales mixtos raleados de *M. azedarach* y *G. robusta*”

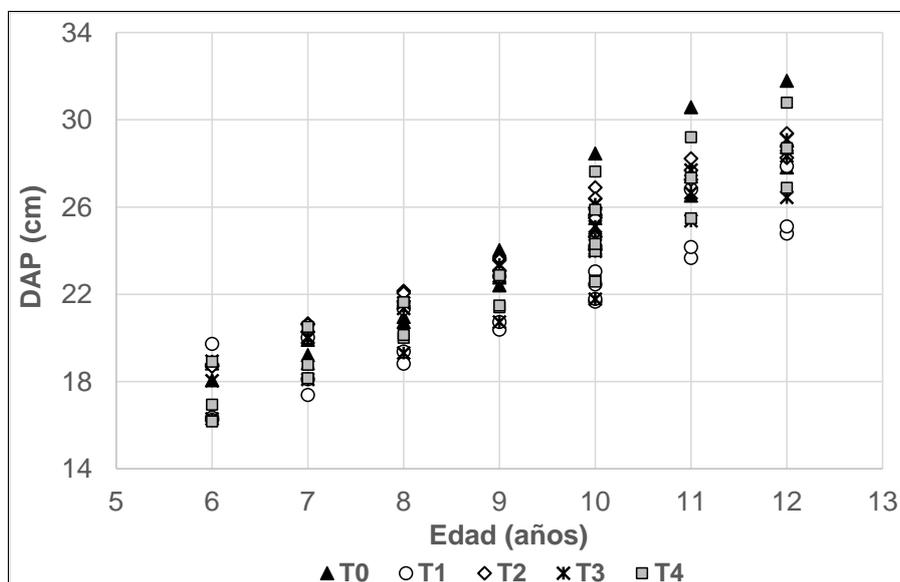
#### **4.3 Crecimiento Diamétrico**

A continuación se presentan los resultados gráficos y analíticos obtenidos de la aplicación de la regresión no lineal (modelo logístico), para describir la relación entre el DAP medio y la edad de los tratamientos de cada rodal.

### 4.3.1 Ensayos de Cardenal

➤ **Componente: *Melia azedarach*.**

Si bien el diagrama de dispersión correspondiente a *M. azedarach* (Figura 31) de los ensayos de Cardenal se asemeja al gráfico respectivo de la misma especie de los ensayos de Blanco, también presenta particularidades que las distinguen. Una característica del diagrama es que el conjunto de puntos tiene menor dispersión, estando el límite inferior en cada año de control por encima del valor obtenido en la misma edad en los ensayos de Blanco. Probablemente esta situación sea en gran medida adjudicable al hecho que en Cardenal no existe ningún tratamiento sin raleo, ya que todas las parcelas de observación fueron intervenidas con diferentes intensidades de raleos.



**Figura 31.** Diagrama de dispersión de valores medios de diámetro de *Melia azedarach*, periodo de observación 6 a 12 años, tratamientos de raleos de Cardenal.

Respecto de los resultados de la regresión logística (Tabla 18), que describe la relación entre DAP medio y  $Edad^2$  de cada tratamiento, caben las siguientes consideraciones:

- el coeficiente  $R^2$  aj indica que el modelo explica entre 80,21 y 96,58% de la variabilidad del DAP;
- la desviación estándar de los residuos ( $S_{y,x}$ ) varía entre 0,628 y 1,481;
- el error absoluto medio (EAM) fluctúa entre 0,423 y 1,184;

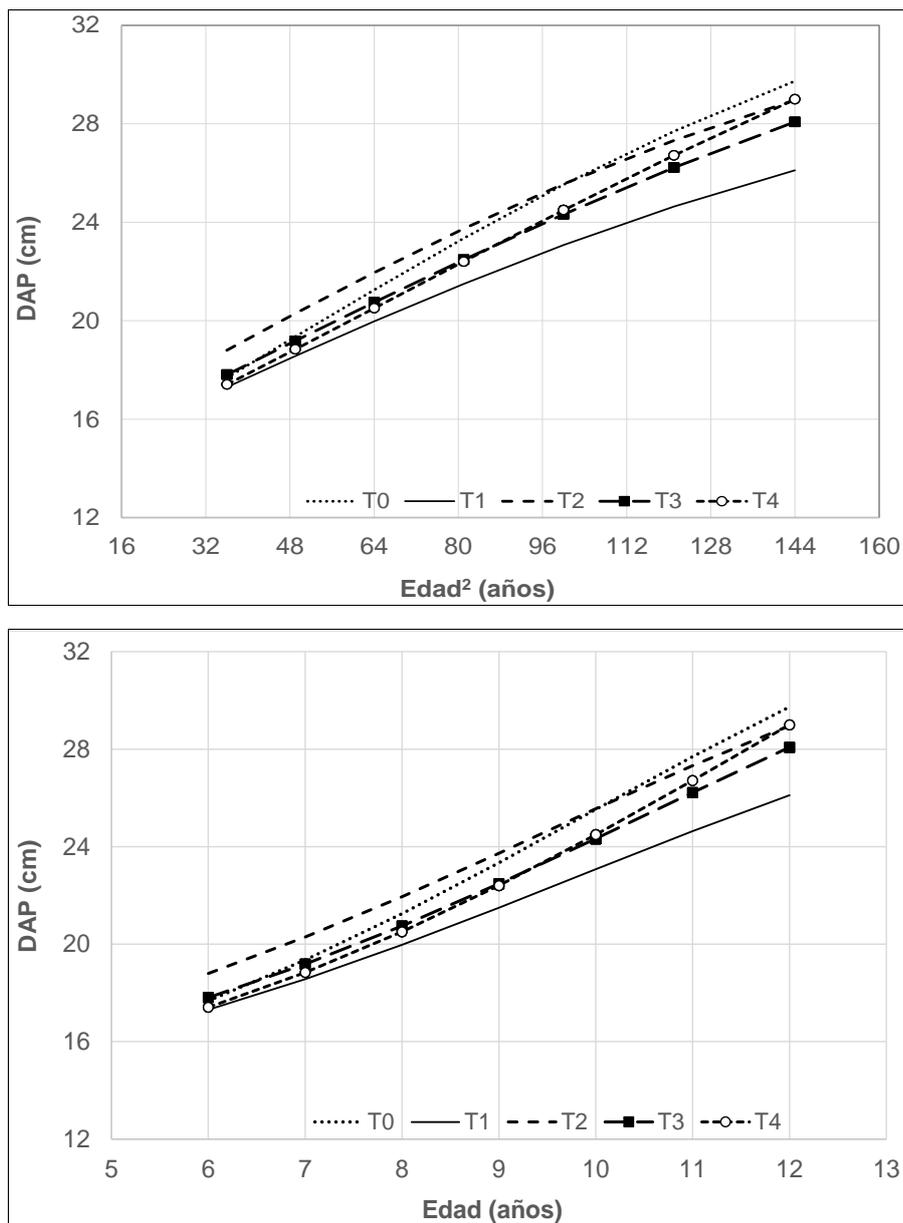
- el estadístico DW en todos los tratamientos es mayor que 1.5 e incluso en los tratamientos Tc, T1 y T3 es superior a 2.5, por lo que se interpreta que no hay evidencia que la correlación serial sea positiva;
- los valores de referencia de  $S_{yx}$  y EAM obtenidos por la aplicación del modelo logístico con base a datos de DAP de los ensayos de Cardenal han sido ligeramente menores que los calculados para los ensayos de Blanco.

**Tabla 18.** Parámetros del modelo logístico. Relación entre el DAP y la Edad para diferentes tratamientos de *M. azedarach*. Variable regresora: Edad<sup>2</sup>. Ensayos de Cardenal.

Trat	Ecuación	R <sup>2</sup> aj.	S <sub>yx</sub>	E.A.M.	D-W
T0	DAP=36,9696/(1+1,7999* exp (- 0,0139*Edad <sup>2</sup> ))	89,68	1,335	0,973	2,538
T1	DAP=31,9757/(1+1,3198* exp (- 0,0123 *Edad <sup>2</sup> ))	80,21	1,417	1,184	2,591
T2	DAP=34,7459/(1+1,3739* exp (- 0,0134 *Edad <sup>2</sup> ))	96,58	0,628	0,423	1,692
T3	DAP=36,6603/(1+1,6014* exp (- 0,0115 *Edad <sup>2</sup> ))	88,44	1,209	0,952	2,546
T4	DAP=41,7718/(1+2,0567* exp (- 0,0107 *Edad <sup>2</sup> ))	86,58	1,481	1,156	1,943

En la Figura 32 se observa la representación gráfica de las curvas de la relación diámetro y edad para diversos tratamientos de manejo de la densidad. Los aspectos relevantes son:

- ✓ La curva de T1, que fue el único tratamiento con intensidad de raleo leve en el segundo ensayo, se ubica en la parte más baja del conjunto de curvas. Como consecuencia del exceso de densidad posee un menor diámetro medio de rodal.
- ✓ La curva del T2 durante el periodo de observación del primer ensayo presenta los mayores DAP. En el periodo del segundo ensayo cede su posición de superioridad a favor del T0, tratamiento de control que consistió en un raleo del 42% y 39% de intensidad durante el primer y segundo ensayo, respectivamente.
- ✓ Las curvas de los tratamientos T3 y T4 se ubican en posiciones intermedias, observándose un cruce entre ambas.



**Figura 32.** Curvas de la relación DAP – Edad<sup>2</sup> (arriba) y DAP – Edad (abajo) para los tratamientos de raleo de los ensayos de Cardenal, obtenidas mediante técnicas de regresión logística. Especie *Melia azedarach*, periodo 6 a 12 años.

➤ **Componente: *Grevillea robusta*.**

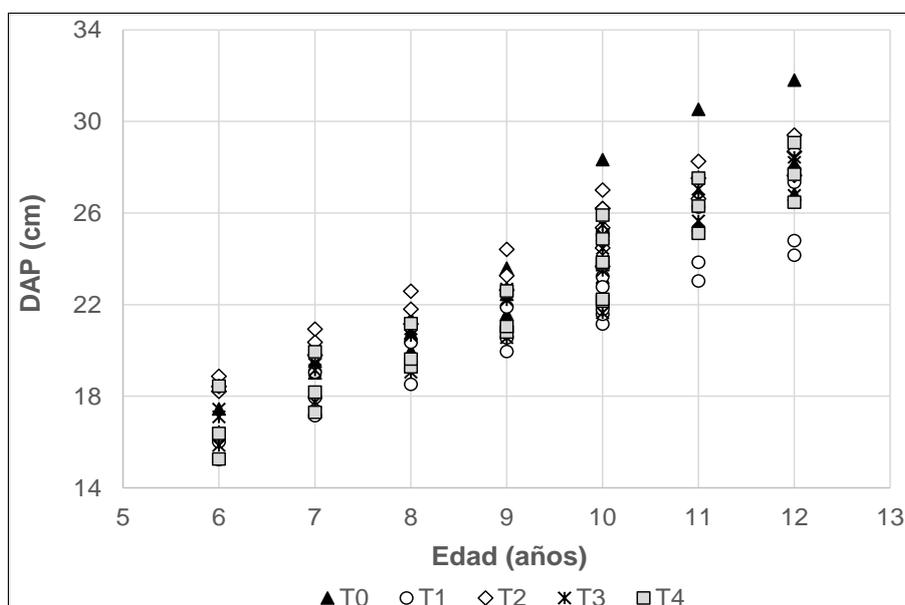
En relación a los resultados de la regresión logística (Tabla 19) que describe la relación entre DAP medio y Edad<sup>2</sup> de cada tratamiento, a continuación se indican los valores extremos de los parámetros:

- coeficiente R<sup>2</sup> aj.= 85,89% en T0 y 94,08% en T2; S<sub>yx</sub> = 0,836 en T2 y 1,568 en T0; EAM = 0,645 y 1,115.
- Estadístico DW > 2 en todos los tratamientos.

**Tabla 19.** Parámetros del modelo logístico. Relación entre el DAP y la Edad para diferentes tratamientos de *G. robusta*. Variable regresora: Edad<sup>2</sup>. Ensayos de Cardenal.

Trat	Ecuación	R <sup>2</sup> aj.	S <sub>yx</sub>	E.A.M.	D-W
T0	DAP=37,0763/(1+1,8443* exp (- 0,0133 *Edad <sup>2</sup> ))	85,89	1,568	1,115	2,692
T1	DAP=28,6924/(1+1,4299* exp (- 0,0169 *Edad <sup>2</sup> ))	87,40	1,170	0,901	2,671
T2	DAP=33,3092/(1+1,3494* exp (- 0,0148 *Edad <sup>2</sup> ))	94,08	0,836	0,645	2,525
T3	DAP=35,1571/(1+1,7282* exp (- 0,0132 *Edad <sup>2</sup> ))	92,99	0,988	0,768	2,154
T4	DAP=36,5637/(1+1,8388* exp (- 0,0124 *Edad <sup>2</sup> ))	89,91	1,215	0,966	2,103

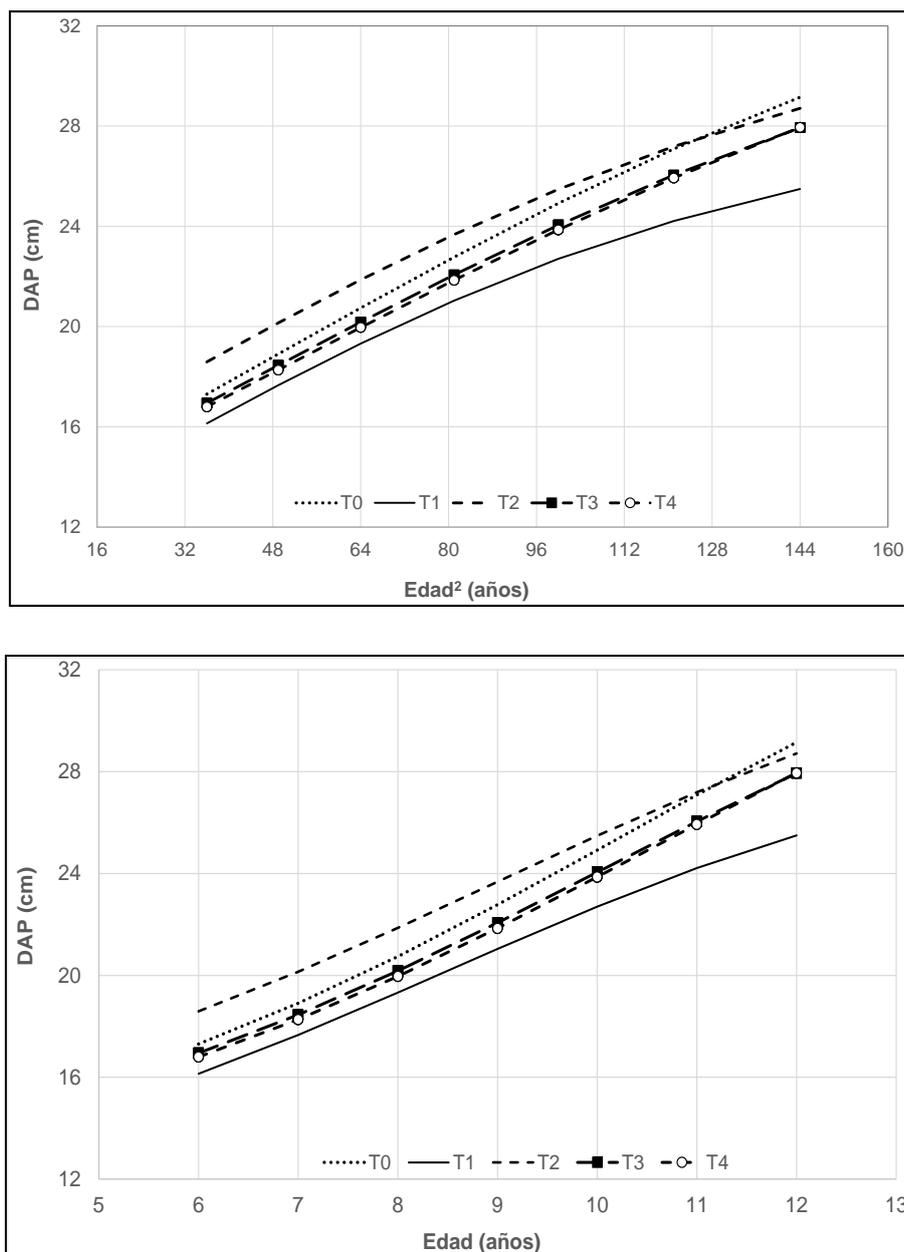
Si bien los resultados tabulados resultan satisfactorios, es conveniente señalar que son de menor calidad que los obtenidos para la misma especie en los ensayos de Blanco. En Figura 33 se presenta el diagrama de dispersión.



**Figura 33.** Diagrama de dispersión de valores medios de diámetro de *Grevillea robusta*, periodo de observación 6 a 12 años, tratamientos de raleos de Cardenal.

En el diagrama se observa que durante el periodo de 6 a 9 años los diámetros promedios de los distintos tratamientos se encuentran más próximos entre sí, presentando menor dispersión. En el segundo periodo que cubre las edades de 10 a 12 años se hace pronunciada la diferencia entre los tratamientos extremos (T0 y T1).

En Figura 34 se presenta el conjunto de curvas de todos los tratamientos.



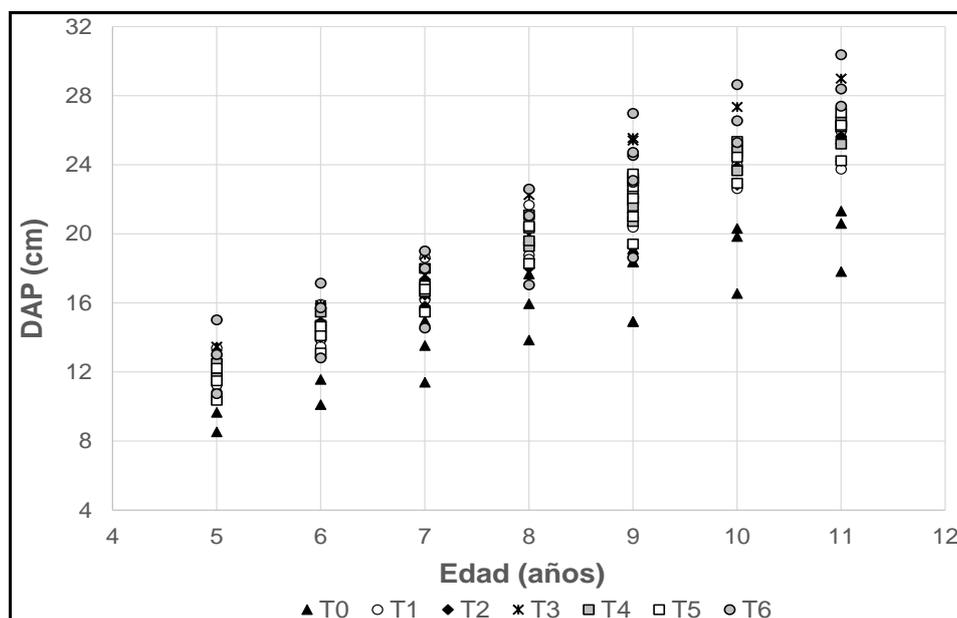
**Figura 34.** Curvas de la relación DAP – Edad<sup>2</sup> (arriba) y DAP – Edad (abajo) para los tratamientos de raleo de los ensayos de Cardenal, obtenidas mediante técnicas de regresión logística. Especie *Grevillea robusta*, periodo 6 a 12 años.

Se destacan el T1 por su condición de tratamiento con espesura excesiva presentando los promedios diamétricos más bajos y el T2 porque pierde la posición de dominancia única luego de la instalación del segundo ensayo de raleo a los 10 años. A la edad de 12 años junto al T0 son los tratamientos con diámetros superiores.

### 4.3.2 Ensayos de Blanco.

➤ **Componente: *Melia azedarach*.**

En el diagrama de dispersión elaborado con datos de *M. azedarach* (Figura 35), se destacan los valores del tratamiento T0 que ocupan la porción inferior del gráfico, debido a que presentan los DAP más pequeños. En el extremo opuesto pueden observarse los valores de diámetro más grandes, correspondientes a los tratamientos con mayor intensidad de raleos (T3 y T6). Entre ambos hay una marcada y confusa superposición de valores correspondientes a diversos tratamientos.



**Figura 35.** Diagrama de dispersión de valores medios de diámetro de *Melia azedarach*, periodo de observación 5 a 11 años, tratamientos de raleos de Blanco.

En la Tabla 20 se presentan los resultados analíticos obtenidos de la aplicación de la regresión no lineal (modelo logístico), que describe la relación entre DAP medio y Edad<sup>2</sup> de cada tratamiento. Los parámetros estadísticos presentan respuestas satisfactorias.

- El coeficiente estadístico R<sup>2</sup> aj indica que el modelo utilizado explica entre 81,17 % (T0) y 97,43% (T4) de la variabilidad en DAP.
- El error estándar (S<sub>yx</sub>) que permite construir límites de predicción para nuevas observaciones, muestra que la desviación estándar de los residuos varía entre 0,745 y 2,145.
- En tanto el error absoluto medio (EAM) oscila entre 0,599 y 1,633, como valor promedio de los residuos.

- El estadístico de Durbin-Watson (DW) en todos los tratamientos es mayor que 2, indicador que los términos de error sucesivos se correlacionan negativamente.

**Tabla 20.** Parámetros del modelo logístico. Relación entre el DAP y la Edad para diferentes tratamientos de *M. azedarach*. Variable regresora: Edad<sup>2</sup>. Ensayos de Blanco.

Tra	Ecuación	R <sup>2</sup> aj.	S <sub>yx</sub>	E.A.M.	D-W
T0	DAP=21,1282/(1+2,5246* exp (- 0,0307 *Edad <sup>2</sup> ))	81,17	1,650	1,353	2,367
T1	DAP=26,6914/(1+2,5618* exp (- 0,0303 *Edad <sup>2</sup> ))	92,70	1,037	1,037	2,600
T2	DAP=27,4544/(1+2,4106* exp (- 0,0268 *Edad <sup>2</sup> ))	95,85	0,896	0,659	2,697
T3	DAP=30,1394/(1+2,7378* exp (- 0,0277 *Edad <sup>2</sup> ))	93,74	1,287	1,044	2,209
T4	DAP=27,8074/(1+2,6177* exp (- 0,0294 *Edad <sup>2</sup> ))	97,43	0,745	0,599	2,424
T5	DAP=27,7574/(1+3,0067* exp (- 0,0302 *Edad <sup>2</sup> ))	95,06	1,102	0,865	2,300
T6	DAP=34,3047/(1+2,9470*exp (- 0,0229 *Edad <sup>2</sup> ))	85,96	2,145	1,633	2,500

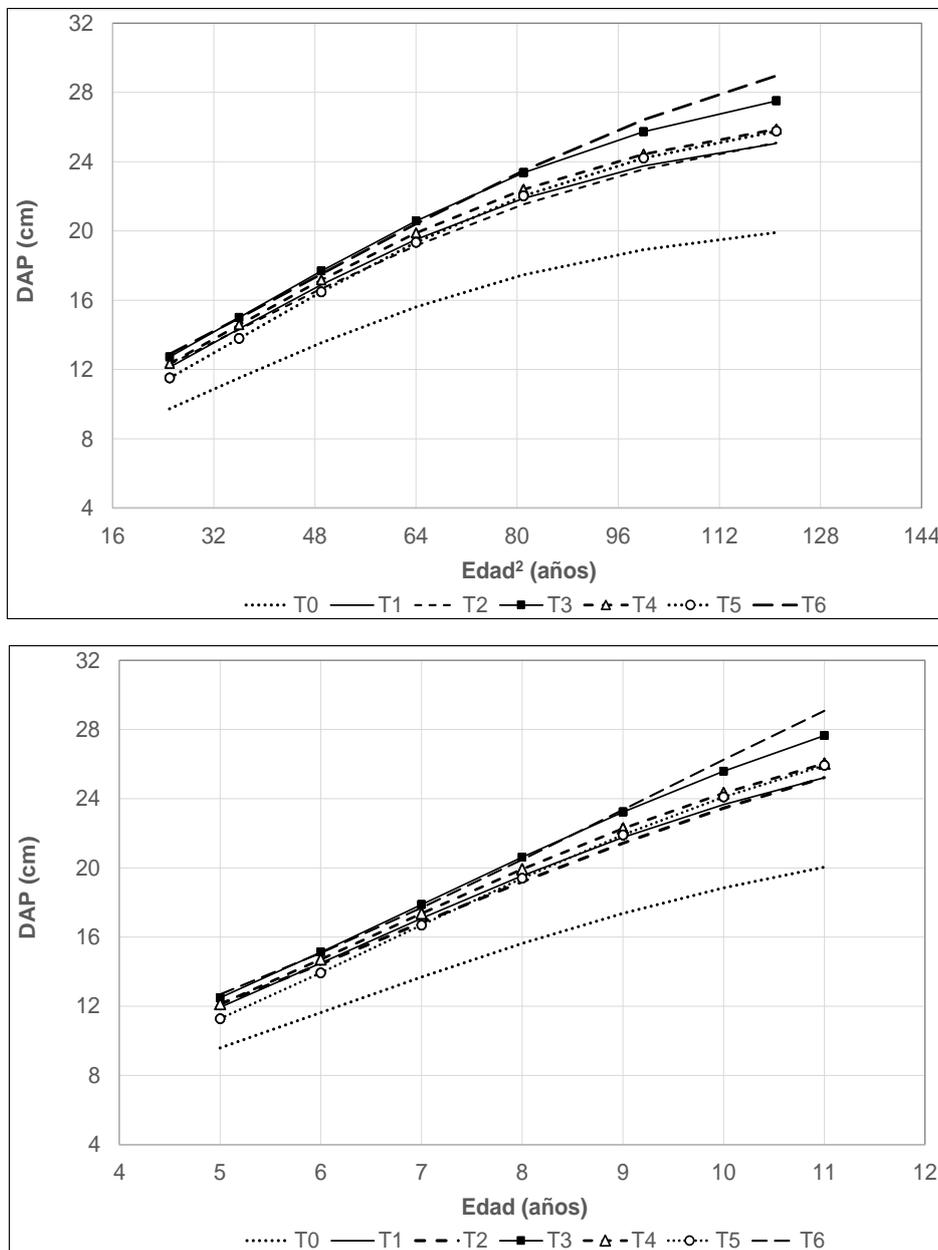
En la Figura 36 se presentan los gráficos de la relación DAP – Edad<sup>2</sup> y DAP – Edad (en esta última es más fácil entender la relación entre las variables porque las mismas no tienen ninguna transformación). Las diferencias entre ambos gráficos son mínimas.

Si bien en el análisis del gráfico de las curvas de la relación DAP – Edad para distintos tratamientos de manejo de la densidad, la tendencia es similar a lo observado en el diagrama de dispersión de la Figura 35, se observa con mayor claridad la relación entre tratamientos y distancias entre éstos. Excepto el T6 que aún mantiene el ritmo crecimiento diamétrico, las curvas de los tratamientos restantes exhiben una ligera y clara disminución del crecimiento del DAP.

Durante el primer ensayo de raleo los tratamientos T3 y T6 fueron los más intensos (50-54%), generando respuestas similares, fácilmente visible porque las curvas son prácticamente coincidentes. La separación entre las curvas recién se percibe después de la aplicación de los tratamiento en el segundo ensayo, en que se registra una caída leve del crecimiento en el T3, posiblemente por la mayor competencia biológica entre los árboles (menor raleo que el T6).

La curva aislada y alejada del T0 de las restantes, sintetiza una de las consecuencias de la situación de máxima competencia biológica. La diferencia entre las densidades extremas (T0-T6) se va haciendo más grande al final del segundo ensayo.

En el sector intermedio se visualiza que T1 y T2 conforman un grupo, y los tratamientos T4 y T5 constituyen otro. Asimismo, ambos grupos se encuentran muy cercanos entre sí.



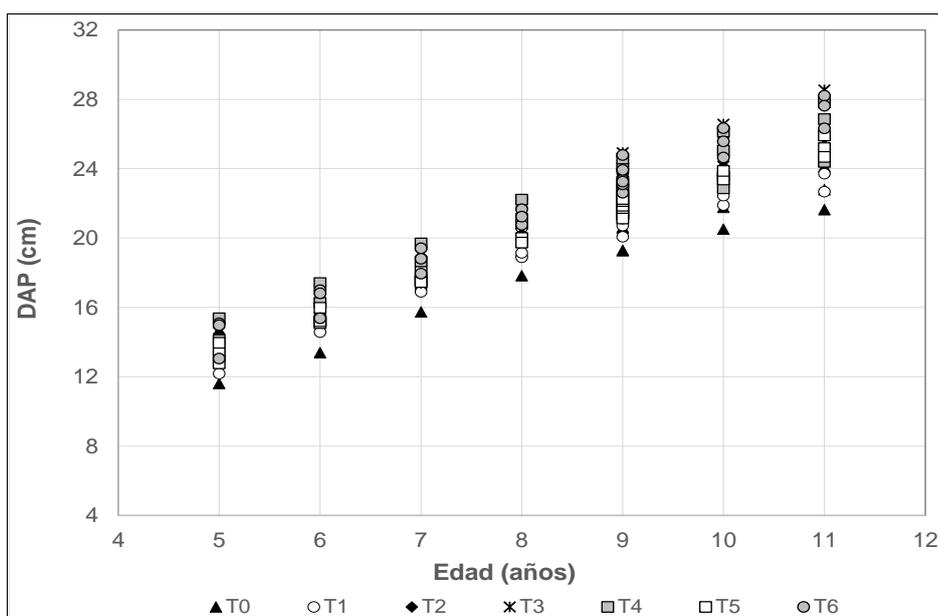
**Figura 36.** Curvas de la relación DAP – Edad<sup>2</sup> (arriba) y DAP – Edad (abajo) para los tratamientos de raleo de los ensayos de Blanco, obtenidas mediante técnicas de regresión logística. Especie *Melia azedarach*, periodo 5 a 11 años.

➤ **Componente: *Grevillea robusta*.**

En el diagrama de dispersión correspondiente a *G. robusta* (Figura 37) es similar al gráfico elaborado con datos de *M. azedarach* (Figura 35). Seguidamente se resaltan

algunas diferencias que reflejan características culturales distintivas de ambas componentes:

- ✓ en cada edad los datos de grevillea se encuentran más concentrados, tienen menor dispersión que los de paraíso;
- ✓ en el periodo de 5 a 8 años resulta similar el límite superior en ambas especies, mientras que en el tramo de 9 a 11 años sobresale paraíso con árboles de mayores diámetros;
- ✓ en todos los años el conjunto de datos de grevillea muestra diámetros inferiores de mayor tamaño que los de paraíso;
- ✓ si bien los valores del tratamiento T0 en las dos especies se distribuyen en la parte inferior de los gráficos, debido a que presentan los diámetros más pequeños, en el caso de grevillea su conjunto de puntos no se encuentra alejada o aislada de los valores correspondientes a los otros tratamientos.



**Figura 37.** Diagrama de dispersión de valores medios de diámetro de *Grevillea robusta*, periodo de observación 5 a 11 años, tratamientos de raleos de Blanco.

La Tabla 21 contiene las ecuaciones de la aplicación de la regresión logística, que relaciona DAP medio y Edad<sup>2</sup> de cada tratamiento de la especie grevillea. Los resultados son mejores que los obtenidos para el paraíso en los ensayos de Blanco.

Según el coeficiente R<sup>2</sup> aj la ecuación lograda explica entre 86,84 (T0) y 98,47% (T5) de la variabilidad en DAP. El error estándar (S<sub>y,x</sub>) varía entre 0,753 y 1,245. El error absoluto medio (EAM) fluctúa entre 0,368 y 0,994. La prueba de Durbin-Watson (DW) en

todos los tratamientos es mayor que 2, por lo tanto los términos de error sucesivos se correlacionan negativamente.

**Tabla 21.** Parámetros del modelo logístico. Relación entre el DAP y la Edad para diferentes tratamientos de *G. robusta*. Variable regresora: Edad<sup>2</sup>. Ensayos de Blanco.

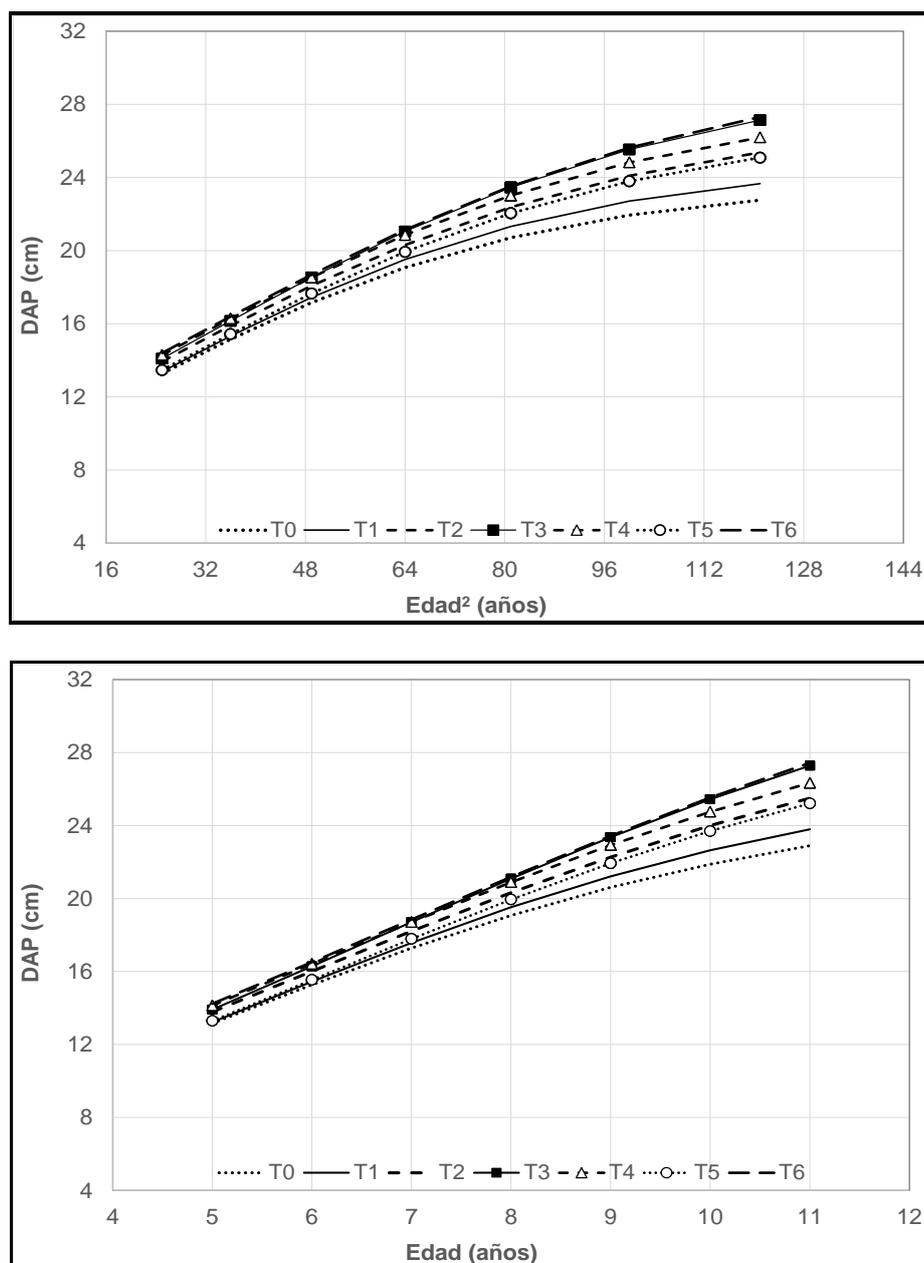
Tra	Ecuación	R <sup>2</sup> aj.	S <sub>yx</sub>	E.A.M.	D-W
T0	DAP=23,7827/(1+1,6705* exp (- 0,0299 *Edad <sup>2</sup> ))	86,84	1,245	0,994	2,523
T1	DAP=24,9039/(1+1,7887* exp (- 0,0292 *Edad <sup>2</sup> ))	94,82	0,814	0,657	2,716
T2	DAP=27,3711/(1+1,8480* exp (- 0,0261 *Edad <sup>2</sup> ))	98,05	0,543	0,435	2,599
T3	DAP=29,8081/(1+2,0999* exp (- 0,0253 *Edad <sup>2</sup> ))	93,14	1,186	0,986	2,645
T4	DAP=28,3552/(1+1,8751* exp (- 0,0258 *Edad <sup>2</sup> ))	91,69	1,202	0,961	2,284
T5	DAP=27,0623/(1+1,9626* exp (- 0,0266 *Edad <sup>2</sup> ))	98,47	0,488	0,368	2,168
T6	DAP=30,3584/(1+2,0144* exp (- 0,0239 *Edad <sup>2</sup> ))	97,05	0,753	0,608	2,575

En la Figura 38 se representaron las curvas de la relación DAP – Edad<sup>2</sup> y DAP – Edad para los distintos tratamientos.

Se destaca la escasa separación entre las curvas, consecuencia de la reducida dispersión de los valores. La ligera estratificación espacial de las curvas según la densidad post raleo se explica porque son similares los valores de diámetro promedio de los rodales tratados con distintos tratamientos de raleo.

Considerando la existencia de una relación directa entre intensidad de raleo, espaciamiento entre árboles remanentes y crecimiento diamétrico, lo expresado anteriormente se podría interpretar de dos maneras: como la capacidad de los ejemplares de grevillea de crecer satisfactoriamente en diferentes distanciamientos, aún en espacios reducidos; o que asignar a los árboles remanentes un gradual mayor espacio libre de competencia no se corresponde con un aumento proporcional de crecimiento.

En el contexto antes referido las curvas de los tratamientos T0 y T1 que tienen las densidades más altas, ocupan la parte inferior del gráfico. En la porción superior con altísima coincidencia espacial se ubican las curvas de T3 y T6, tratamientos con las menores densidades y con los diámetros mayores. En el sector intermedio se localizan las curvas correspondientes a los tratamientos de raleos leves a moderados, T2, T4 y T5.



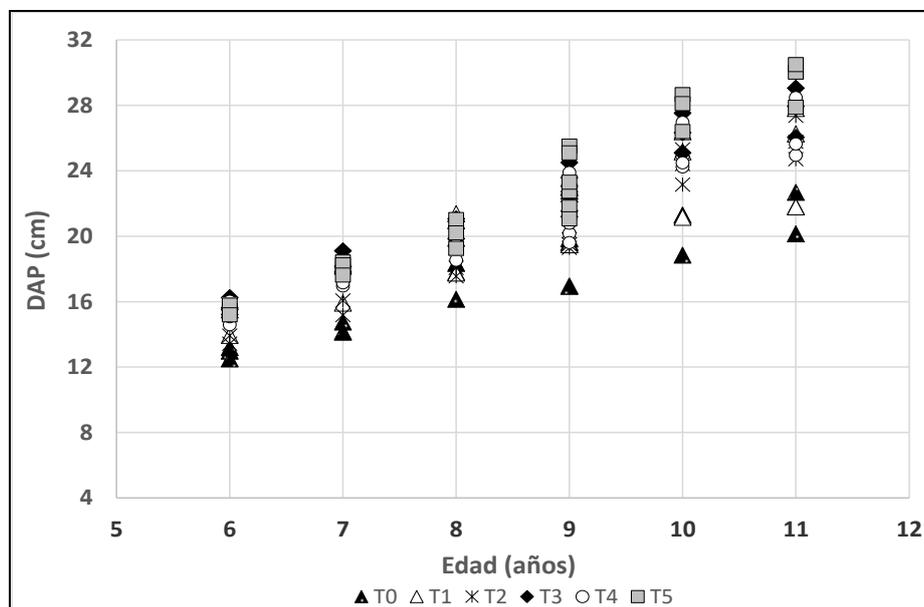
**Figura 38.** Curvas de la relación DAP – Edad<sup>2</sup> (arriba) y DAP – Edad (abajo) para los tratamientos de raleo de los ensayos de Blanco, obtenidas mediante técnicas de regresión logística. Especie *Grevillea robusta*, periodo 5 a 11 años.

#### 4.3.3 Ensayos de Nofal

➤ **Componente: *Melia azedarach*.**

En la Figura 39 en que se representa el diagrama de dispersión, importante cantidad de puntos de los diversos tratamientos aparecen superpuestos o muy contiguos, lo que está evidenciando valores muy similares de diámetro. En este contexto se distinguen los

tratamientos: T5 por ser la que registra los mayores DAP y en consecuencia sus valores ocupan la parte superior del gráfico; T0 que debido a la máxima densidad de rodal presenta los menores diámetros, ocupando la parte inferior del diagrama.



**Figura 39.** Diagrama de dispersión de valores medios de diámetro de *Melia azedarach*, periodo de observación 6 a 11 años, tratamientos de raleos de Nofal.

En Tabla 22 se presentan los resultados de la regresión logística que describe la relación entre DAP medio y Edad<sup>2</sup> de cada tratamiento.

**Tabla 22.** Parámetros del modelo logístico. Relación entre el DAP y la Edad para diferentes tratamientos de *M. azedarach*. Variable regresora: Edad<sup>2</sup>. Ensayos de Nofal.

Tra	Ecuación	R <sup>2</sup> aj.	S <sub>yx</sub>	E.A.M.	D-W
T0	DAP=22,9838/(1+2,3182* exp (- 0,0293 *Edad <sup>2</sup> ))	87,57	1,111	0,890	1,938
T1	DAP=24,9039/(1+1,7887* exp (- 0,0292 *Edad <sup>2</sup> ))	75,02	1,922	1,559	2,253
T2	DAP=36,5352/(1+2,7496* exp (- 0,0161 *Edad <sup>2</sup> ))	91,56	1,176	0,960	2,673
T3	DAP=34,4491/(1+2,3803* exp (- 0,0192 *Edad <sup>2</sup> ))	93,19	1,089	0,810	2,447
T4	DAP=35,7571/(1+2,4327* exp (- 0,0163 *Edad <sup>2</sup> ))	89,62	1,282	0,863	2,801
T5	DAP=39,4659/(1+3,0183* exp (- 0,0185 *Edad <sup>2</sup> ))	93,28	1,267	0,912	2,520

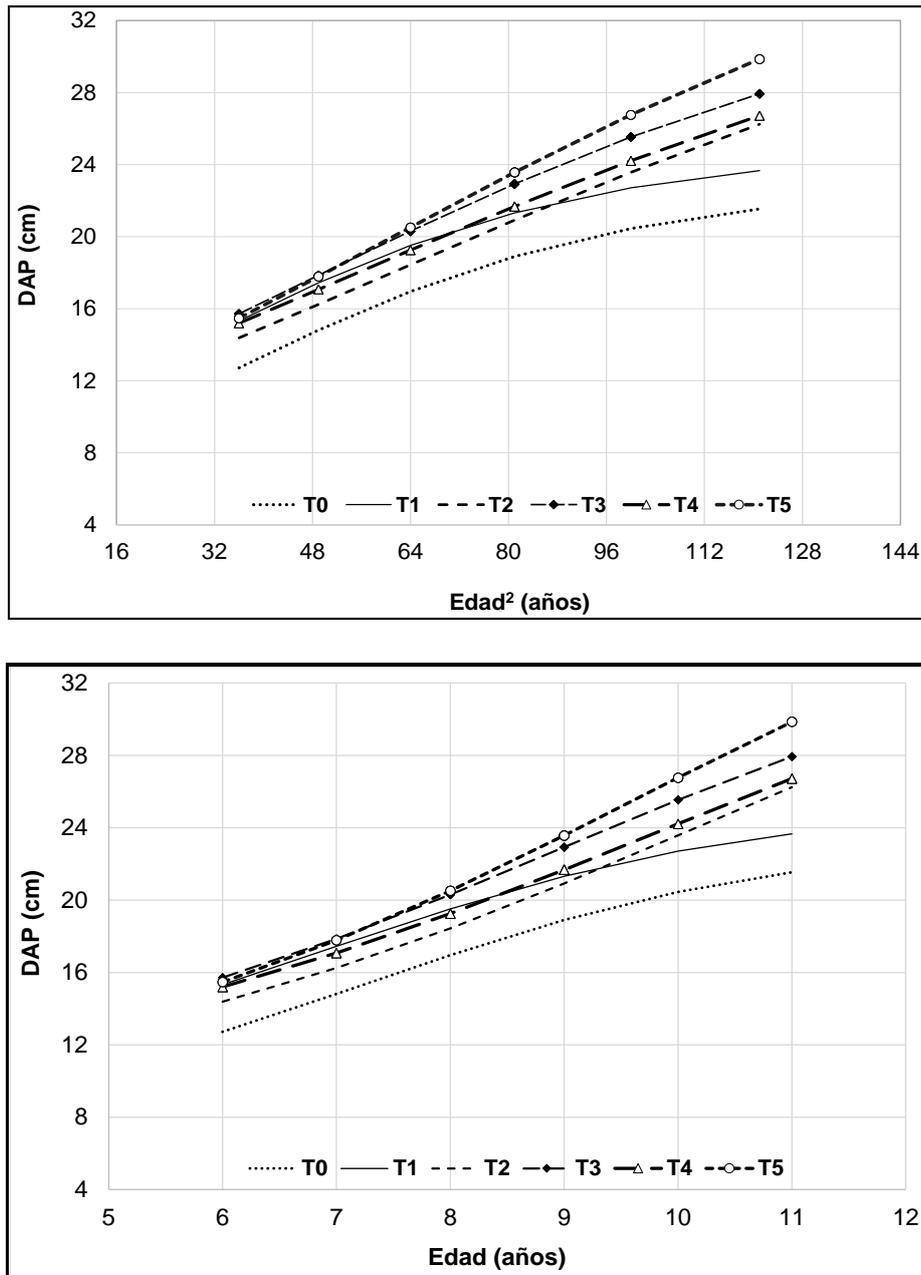
A continuación se hacen algunas consideraciones sobre dichos resultados:

- el coeficiente R<sup>2</sup> aj tiene como valores extremos 75,02 y 93,28%;

- el error estándar ( $S_{yx}$ ) varía entre 1,089 y 1,922; valores extremos de EAM son 0,810 y 1,559;
- en la prueba de D-W se obtuvieron valores mayores a 1,93 que expresa que los términos de error sucesivos están correlacionados negativamente;
- el rango de los valores de referencia de  $R^2$  aj.,  $S_{yx}$  y EAM obtenidos por la aplicación del modelo logístico con base a datos de DAP de los ensayos de Nofal es ligeramente inferior a los calculados para los ensayos de Blanco.

En la Figura 40 están representadas las curvas de la relación diámetro y edad para diversos tratamientos de raleos. Algunos aspectos relevantes de las mismas son:

- ✓ la curva del T0 se ubica en la porción inferior del gráfico, por tener los valores menores de diámetro durante todo el periodo de observación;
- ✓ El T5 raleado con la máxima intensidad durante los dos ensayos registra las densidades más bajas y consecuentemente, los mayores diámetros. Por ello, la curva que lo representa se encuentra en la parte superior del conjunto.
- ✓ El tratamiento T3 que tuvo alta intensidad en el primer ensayo (54%) y moderada en el segundo (30%) se ubica inmediatamente por debajo de la curva del T5. La mayor diferenciación entre ambas curvas se produce justamente a partir del segundo ensayo donde aparentemente la intensidad de raleo practicado en el T3 no fue suficiente para estimular y sostener el alto ritmo de crecimiento diamétrico de años anteriores.
- ✓ Gráficamente los tratamientos T2 y T4 forman un mismo grupo de curvas, manteniéndose casi paralelas durante todo el periodo de observación. Se ubican en posición intermedia en el gráfico.
- ✓ La curva del T1 merece una lectura especial. En este tratamiento que expresa el modo operativo que Danzer Forestación S.A. haría el raleo de esta plantación mixta, tuvo una alta intensidad de corta durante el primer ensayo (45%) por lo que su reacción no sorprende al tener valores altos de diámetro.
- ✓ Cabe aclarar que en el segundo ensayo se le aplicó un raleo muy leve (15%) lo que provocó una fuerte declinación del crecimiento diamétrico. Es por eso que al final del segundo periodo la curva presenta una pronunciada caída en dirección hacia la curva del T0.



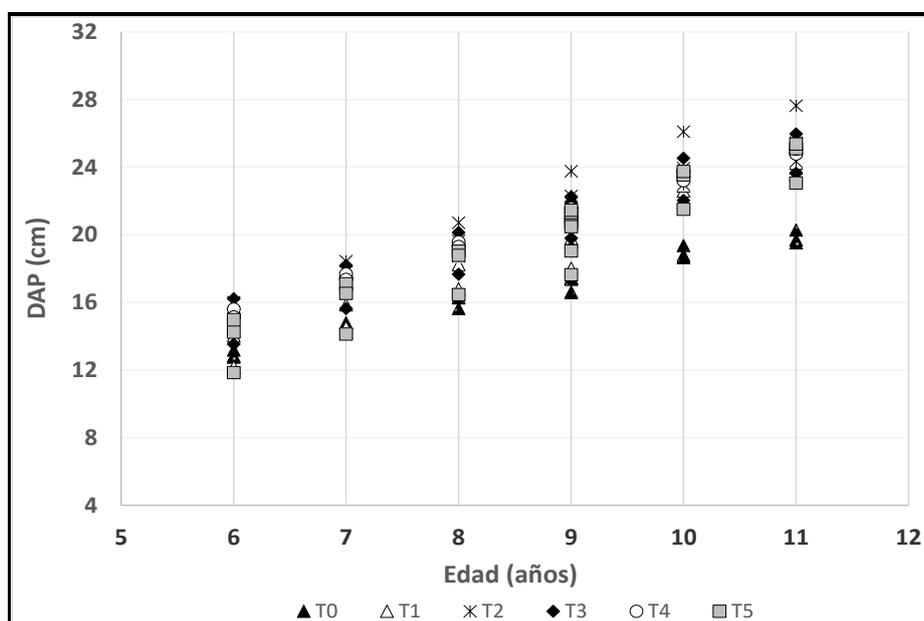
**Figura 40.** Curvas de la relación DAP – Edad<sup>2</sup> (arriba) y DAP – Edad (abajo) para los tratamientos de raleo de los ensayos de Nofal, obtenidas mediante técnicas de regresión logística. Especie *Melia azedarach*, periodo 6 a 11 años.

➤ **Componente: *Grevillea robusta*.**

La Figura 41 contiene el diagrama de dispersión correspondiente a los tratamientos de raleos aplicados a los árboles de *G. robusta* en los ensayos de Nofal.

La tendencia de distribución espacial de los puntos y estratificación de los mismos según los tratamientos, tiene alta similitud con los resultados referidos para la misma especie al analizar oportunamente los ensayos de Blanco y Cardenal. En este contexto

se destaca el tratamiento T2 ya que tiene los valores más grandes de diámetro y el tratamiento T0 por presentar los diámetros más pequeños.



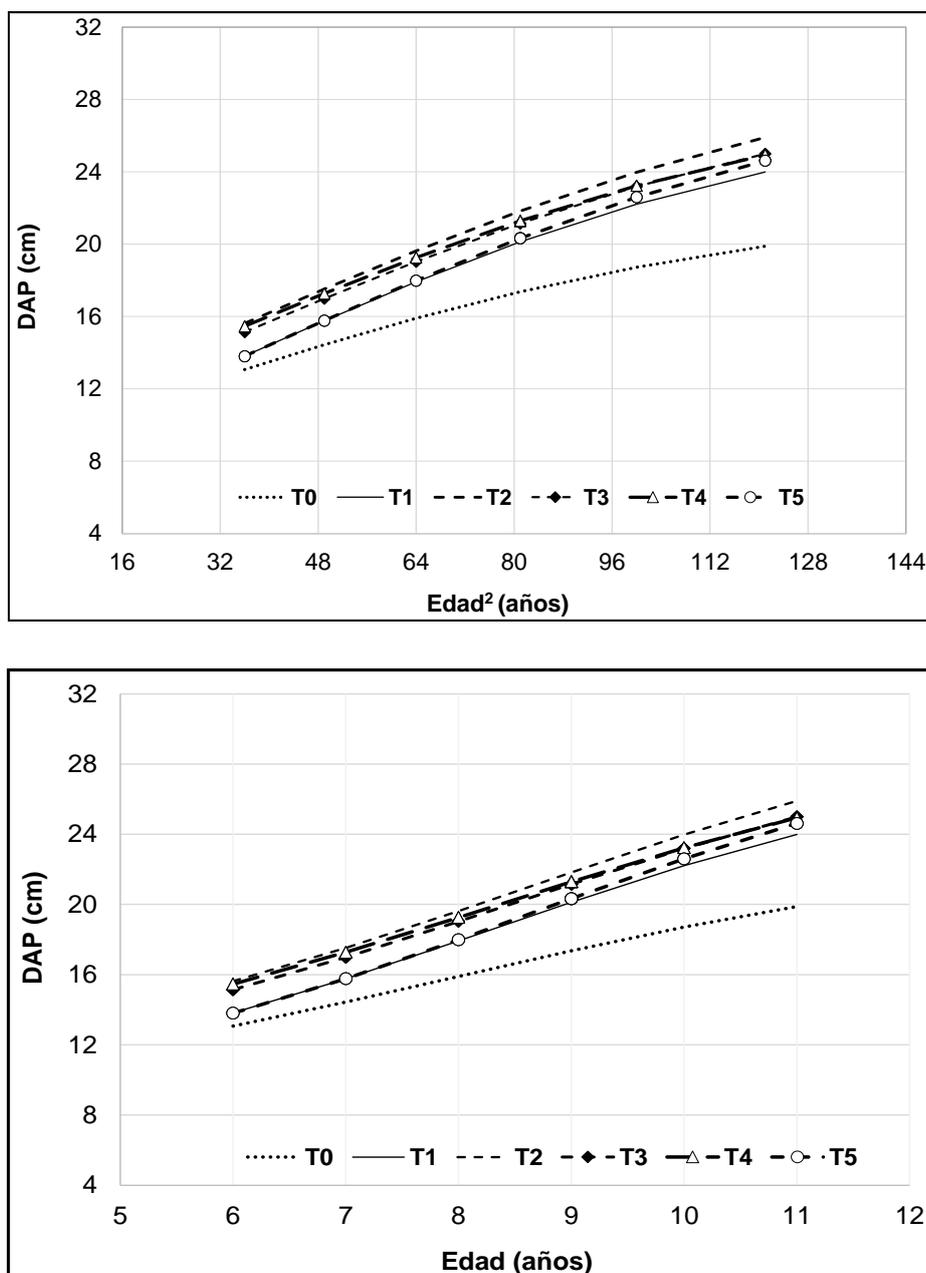
**Figura 41.** Diagrama de dispersión de valores medios de diámetro de *Grevillea robusta*, periodo de observación 6 a 11 años, tratamientos de raleos de Nofal.

En Tabla 23 se exponen resultados de la regresión logística utilizada para describir la relación entre DAP medio y Edad<sup>2</sup> de cada tratamiento. De la información tabulada los aspectos más destacables son: de acuerdo a los valores de R<sup>2</sup> aj las ecuaciones explican entre 87,56 y 99,08% de la variabilidad en DAP; el rango de variación del error estándar es 0,302 a 1,341; EAM fluctúa entre 0,233 y 1,110; no se registró evidencia de correlación positiva en los términos de error sucesivos; y en todos los tratamientos se registraron los valores DW > 1,83.

**Tabla 23.** Parámetros del modelo logístico. Relación entre el DAP y la Edad para diferentes tratamientos de *G. robusta*. Variable regresora: Edad<sup>2</sup>. Ensayos de Nofal.

Tra	Ecuación	R <sup>2</sup> aj.	S <sub>yx</sub>	E.A.M.	D-W
T0	DAP=22,6627/(1+1,4815* exp (- 0,0195 *Edad <sup>2</sup> ))	97,14	0,387	0,286	1,833
T1	DAP=27,8861/(1+2,2161* exp (- 0,0216 *Edad <sup>2</sup> ))	92,09	0,986	0,727	2,330
T2	DAP=31,0226/(1+1,9463* exp (- 0,0189 *Edad <sup>2</sup> ))	89,62	1,152	0,870	2,300
T3	DAP=29,5803/(1+1,9185* exp (- 0,0194 *Edad <sup>2</sup> ))	88,55	1,166	0,965	2,425
T4	DAP=29,1896/(1+1,7851* exp (- 0,0194 *Edad <sup>2</sup> ))	99,08	0,302	0,233	1,880
T5	DAP=29,5295/(1+2,3831* exp (- 0,0205 *Edad <sup>2</sup> ))	87,56	1,341	1,110	2,323

En la Figura 42 se representa la relación DAP – Edad<sup>2</sup> para diversos tratamientos.



**Figura 42.** Curvas de la relación DAP – Edad<sup>2</sup> (arriba) y DAP – Edad (abajo) para los tratamientos de raleo de los ensayos de Nofal, obtenidas mediante técnicas de regresión logística. Especie *Grevillea robusta*, periodo 6 a 11 años.

Se destacan dos grupos: a) En el grupo uno, el que corresponde a los rodales con diámetros superiores conformado por las curvas de los tratamientos T1, T2, T3, T4 y T5. Entre ellas se observa una cierta estratificación, ocupando la porción superior los datos correspondientes al T2. b) El segundo grupo está representado solo por la curva del

tratamiento T0, donde los diámetros pequeños resultan tan distintos al de los otros tratamientos que hace que la curva se encuentre totalmente aislada.

De acuerdo al objetivo específico, analizar la dinámica del crecimiento diamétrico de rodales mixtos raleados, los resultados consignados en Tablas 18 al 23, especialmente los estimadores estadísticos de bondad de ajuste, y representados gráficamente en Figuras 31 al 42, se evidencia que por medio de la técnica de regresión no lineal y concretamente del modelo logístico que se fundamenta en las leyes de crecimiento de la población, se logra describir la variación del diámetro (DAP) a través del tiempo (edad de la plantación) de las especies componentes de los rodales mixtos para un periodo de vida breve y de edad temprana. Esta variación temporal de la variable poblacional es una condición del modelo logístico (Quiñonez y Lecompte, 2007 citado por Lozano *et al.*, 2012).

Utilizando las ecuaciones para estimar los diámetros medios que las especies tendrían en los tratamientos extremos de los ensayos de Blanco y Nofal a la edad de 15 años, se determinaron los valores que se dan a continuación. En estos valores pronosticados se expresan ciertas características específicas: el mayor crecimiento diamétrico de *M. azedarach* cuando la densidad es menor, alcanzando mejor respuesta en Nofal; el rango entre diámetros de los rodales extremos de cada sitio (Blanco, Nofal) es más grande en *M. azedarach*; en altas densidades el valor de diámetro de *G. robusta* se aproxima más al valor de *M. azedarach*; en los tratamientos aquí examinados de ambos sitios las respuestas de *G. robusta* ha sido similar.

Ensayo	Especie	Trat	DAP est
Blanco	<i>M. azedarach</i>	T0	21,1 cm
Blanco	<i>G. robusta</i>	T0	23,7 cm
Blanco	<i>M. azedarach</i>	T6	33,7 cm
Blanco	<i>G. robusta</i>	T6	30,1 cm
Nofal	<i>M. azedarach</i>	T0	22,9 cm
Nofal	<i>G. robusta</i>	T0	22,3 cm
Nofal	<i>M. azedarach</i>	T5	37,7 cm
Nofal	<i>G. robusta</i>	T2	30,2 cm

En relación a las particularidades del uso del modelo se observó que en todas las ecuaciones determinadas el valor de  $x$  ( $edad^2$ ) resultó grande. En consecuencia, el valor de  $y$  (DAP) se aproximó a  $\alpha$  (*alfa, constante del modelo*). Esto es lo que Pereyra *et al.* (1998) denominaron límite del crecimiento (así designan a la constante  $\alpha$ ).

En las curvas resultantes del ajuste del modelo se observan las variaciones del diámetro medio según la calidad de cada sitio y esencialmente, se expresan lo que Imaña (1998) reconoce como las consecuencias de las diferencias de crecimiento diamétrico según el nivel de densidad y consecuente competencia biológica existente en el rodal.

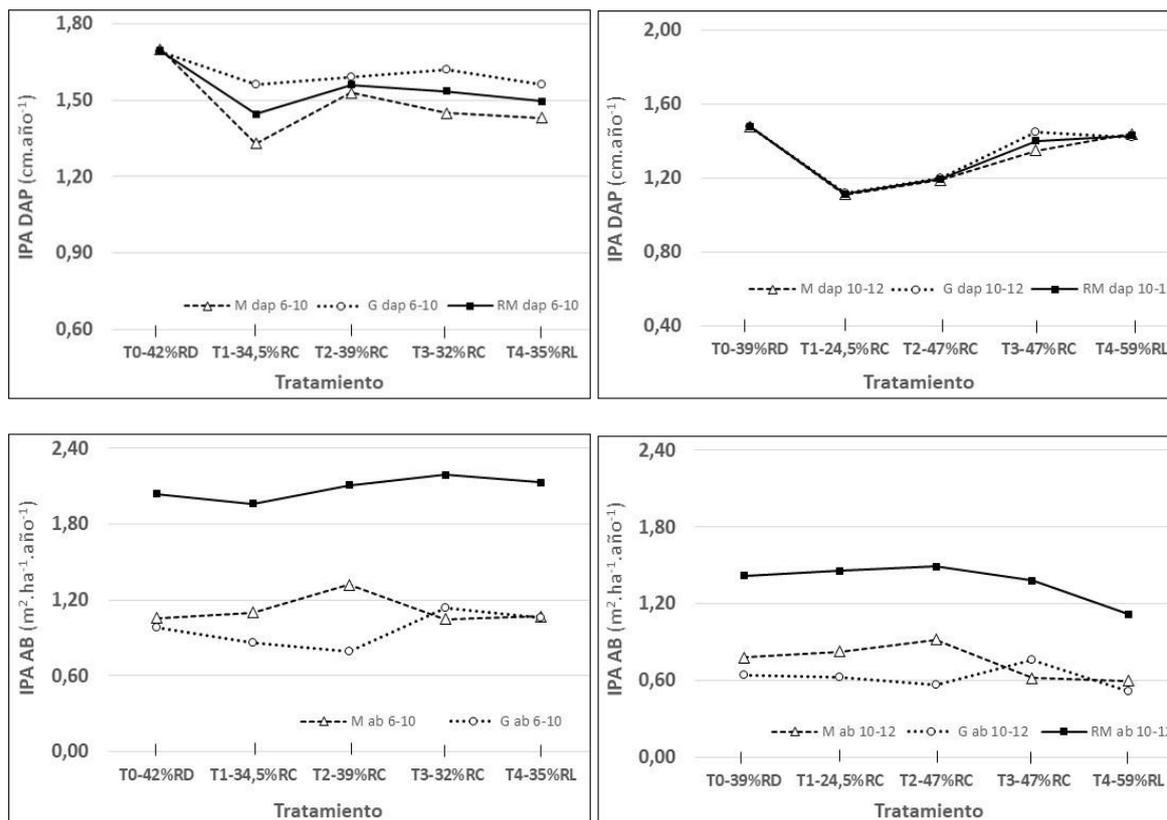
En este contexto, en las plantaciones de Blanco y Nofal donde se dispuso de parcelas sin raleo, la curva de crecimiento diamétrico de éstas se diferencia nítidamente de las curvas correspondientes a parcelas con diversas intensidades de raleos, presentando los menores valores y una tendencia de disminución progresiva de la tasa de crecimiento. Es decir, en las diversas curvas resultantes del modelado del crecimiento diamétrico están implícitos los caracteres culturales específicos y la densidad post-raleo, aspectos ya planteados por Gadow *et al.* (2007).

Es reconocida la importancia y utilidad en la silvicultura de los modelos determinísticos, entre ellos el logístico, debido a que modelan satisfactoriamente la dinámica del diámetro, permitiendo describir y estimar el crecimiento diamétrico de distintas especies forestales (García, 2009 en *Pinus patula*; Lozano *et al.*, 2012 en *Anacardium excelsum*; Domínguez *et al.*, 2017 en diversas especies como ser *Liquidambar styraciflua*, *Quercus germana*, *Bursera simaruba*, *Tabebuia donnell-smithii* y *Cordia elaeagnoides*).

#### 4.4 Incremento del Diámetro y Área Basal

Seguidamente se exponen y analizan diversos gráficos (Figuras 43 al 45) que refieren las curvas de crecimiento del diámetro (DAP) y área basal (AB) durante el periodo de control de cada ensayo de raleo (dos ensayos por rodal mixto) de las tres plantaciones mixtas estudiadas. En la construcción de las mencionadas Figuras se utilizó la información consignada en las Tablas A4 que figuran en Anexos.

En la Figura 43 se presentan los resultados que corresponden a los ensayos de Cardenal. En relación al comportamiento del diámetro se registró una marcada diferencia entre especies durante el primer ensayo y también se observó una manifiesta homogeneidad entre los tratamientos de cada especie. Por otro lado, en todos los casos el incremento periódico anual de *G. robusta* resultó superior a los crecimientos de *M. azedarach*. Durante el segundo ensayo las respuestas resultaron muy similares entre ambas especies. En el T0, utilizado como tratamiento control ya que contenía el tipo de raleo ejecutado por la empresa Danzer, es donde se registraron los valores levemente superiores de incremento diamétrico.

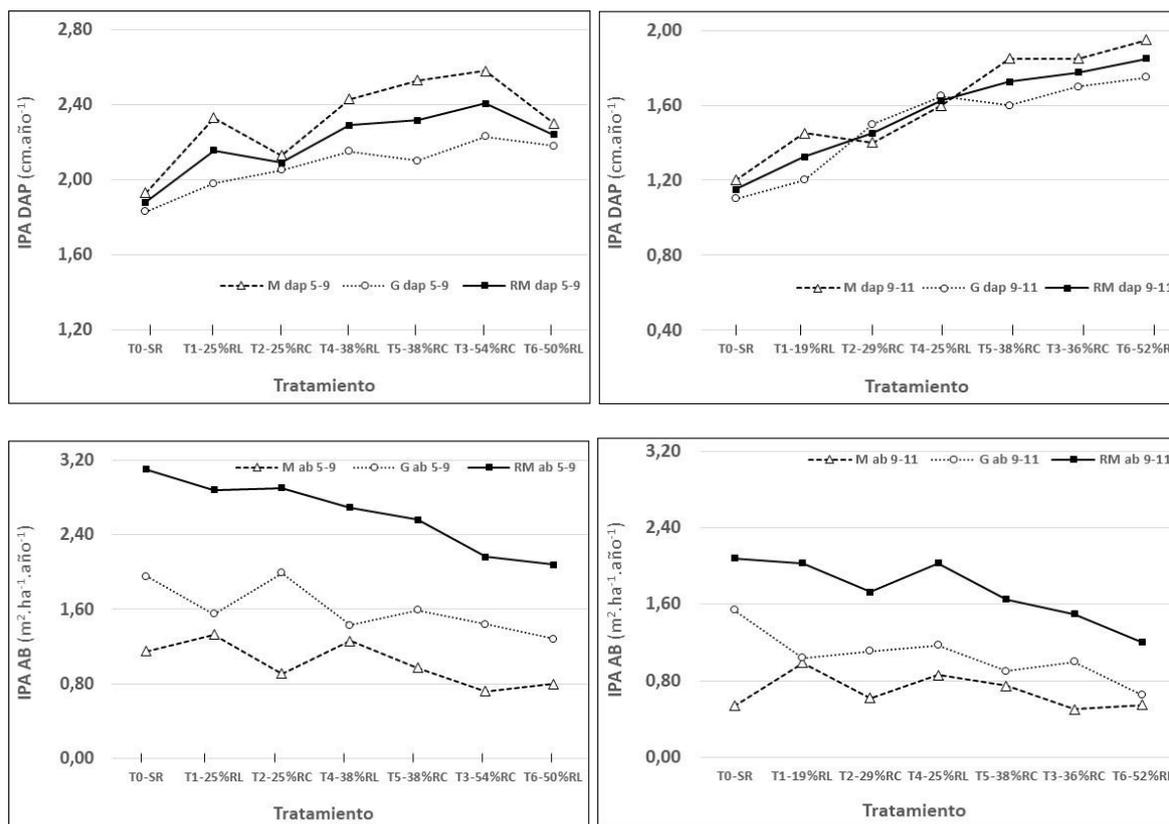


**Figura 43.** Ensayos de raleos de Cardenal. Incremento periódico anual del diámetro medio (IP DAP) y del área basal (IPA AB) de *Melia azedarach* (M dap, M ab), *Grevillea robusta* (G dap, G ab) y del rodal mixto (RM dap, RM ab). *Izquierda, arriba y abajo.* Periodo 6 a 10 años de edad, primer ensayo de raleo. *Derecha, arriba y abajo.* Periodo 10 a 12 años de edad, segundo ensayo de raleo.

En las representaciones gráficas del incremento de área basal (Figura 43, abajo), en general sobresale que las plantas de *M. azedarach* son las que han tenido mayor crecimiento periódico.

Los valores medios por tratamiento del incremento periódico anual de las dos variables analizadas fueron superiores en el primer ensayo.

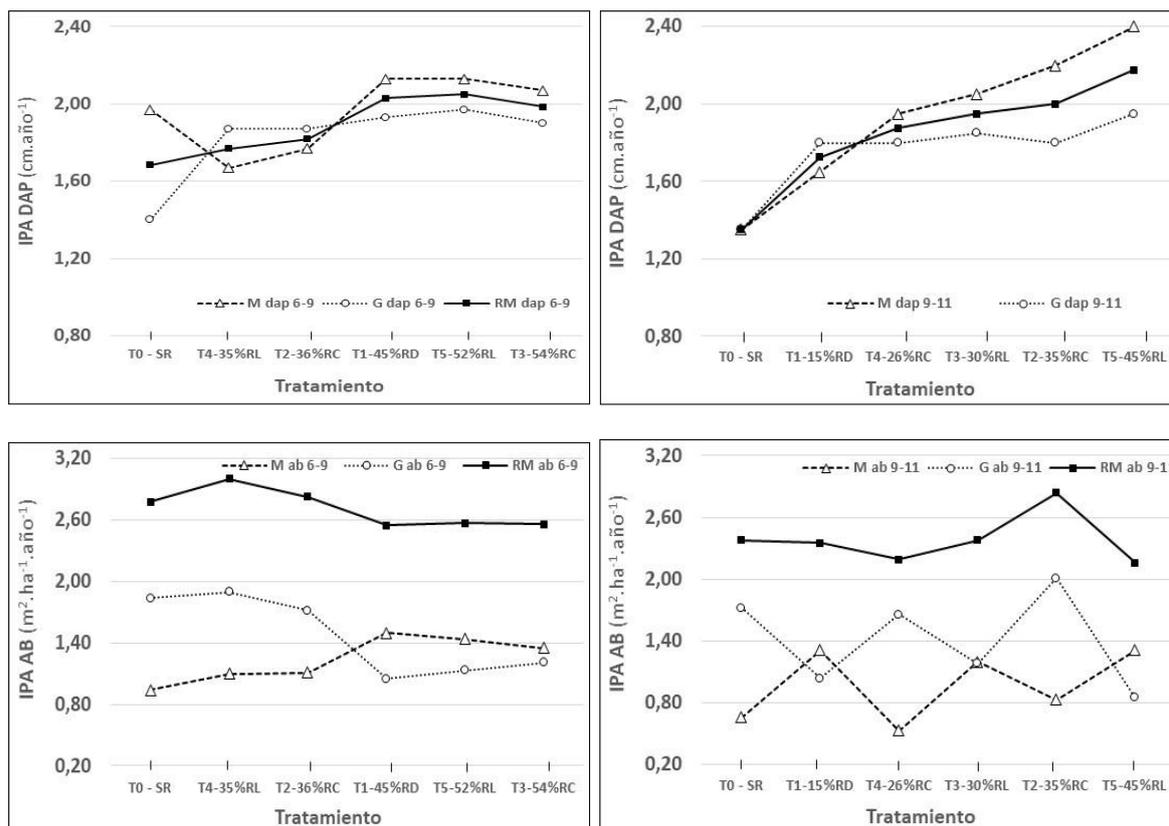
En la Figura 44 se exponen las respuestas correspondientes a los ensayos de Blanco. En ambos ensayos el incremento periódico anual del diámetro resultó superior en *M. azedarach*. Como era de esperar en ambas especies fue en el T0, tratamiento sin raleo, donde se registraron los valores medios más bajos de crecimiento. En el conjunto de puntos se observa una ligera tendencia de relación inversamente proporcional entre el crecimiento diamétrico y la espesura del rodal; mayor crecimiento en rodales intervenidos con intensidades de raleo moderado-fuerte (implicó una reducción significativa de la densidad).



**Figura 44.** Ensayos de raleos de Blanco. Incremento periódico anual del diámetro medio (IP DAP) y del área basal (IPA AB) de *Melia azedarach* (M dap, M ab), *Grevillea robusta* (G dap, G ab) y del rodal mixto (RM dap, RM ab). *Izquierda, arriba y abajo.* Periodo 5 a 9 años de edad, primer ensayo de raleo. *Derecha, arriba y abajo.* Periodo 9 a 11 años de edad, segundo ensayo de raleo.

Respecto al incremento periódico anual del área basal se observa una clara tendencia en ambas especies, y consecuentemente en el rodal mixto en su conjunto, a ser más alto en tratamientos con mayores densidades (menos intensamente raleados) y registrar los valores más bajos en tratamientos con menores densidades (más intensamente raleados). En este contexto, *G. robusta* registró los mayores crecimientos en todos los tratamientos. En las dos especies los incrementos fueron superiores del primer ensayo.

En la Figura 45 se presentan los resultados que corresponden a los ensayos de Nofal. Respecto al crecimiento diamétrico de *G. robusta*, en los dos ensayos presenta resultados similares en las diversas intensidades de raleos practicadas. Donde se observa un comportamiento particular de esta especie es cuando el rodal tiene densidad excesiva, como sucedió en el T0. En este tratamiento sin raleo, tuvo altísima sobrevivencia (solo en una réplica se registró mortalidad natural que alcanzó el 3,5%), registrando el menor incremento en diámetro.



**Figura 45.** Ensayos de raleos de Nofal. Incremento periódico anual del diámetro medio (IP DAP) y del área basal (IPA AB) de *Melia azedarach* (M dap, M ab), *Grevillea robusta* (G dap, G ab) y del rodal mixto (RM dap, RM ab). *Izquierda, arriba y abajo.* Periodo 6 a 9 años de edad, primer ensayo de raleo. *Derecha, arriba y abajo.* Periodo 9 a 11 años de edad, segundo ensayo de raleo.

En tanto, la respuesta de crecimiento diamétrico de *M. azedarach* se caracteriza por tener los valores mas altos en los tratamientos con mayor intensidad de raleo, observándose que cuando la intensidad de raleo es del 45% se produce como un punto de inflexión, a partir de la cual la respuesta incremental comienza a descender lentamente. El destacado incremento medio registrado en el tratamiento sin raleo (T0) tendría su explicación en el raleo natural (mortalidad) observada en las tres réplicas, como consecuencia del exceso de densidad. Se registró un promedio de 29% de muerte de plantas de paraíso en este tratamiento, alcanzando al 43% en una repetición.

En relación al área basal del rodal mixto en su conjunto, durante el primer ensayo los mayores valores de crecimiento se dieron en la parcela testigo (T0) y en los tratamientos con raleos de intensidad moderada (T2 y T4). En los raleos intensos a muy intensos (mayor a 40%) hay una reducción del incremento basimétrico. Similar comportamiento se observa a nivel de especie: en T0, T2 y T4 los mayores valores se

registraron en *G. robusta* y en T1, T3 y T5 los registros superiores se observaron en *M. azedarach*.

Según el objetivo específico, analizar la dinámica del incremento diamétrico y de área basal de rodales mixtos raleados de *M. azedarach* y *G. robusta*, los resultados consignados en Tablas A4 de Anexos y representados en Figuras 43 al 45, aportan evidencias que el incremento diamétrico anual a nivel de rodal mixto en el periodo de estudio fue directamente proporcional a la intensidad de raleo, mientras que el incremento de área basal resultó inversamente proporcional a la intensidad de la corta media. Por esta razón, en los niveles intermedios de intensidad de raleo (correspondería a raleo moderado) se logró un balance y complemento adecuado de incremento anual de ambas variables. En consonancia con lo expresado por Gadow *et al.* (2007), la dinámica del incremento de estas variables está relacionada con la calidad de sitio, los caracteres silviculturales y las prácticas de manejo (en este caso la densidad post-raleo).

En el caso de *G. robusta* mostró menos sensibilidad a los cambios en la densidad, de modo que ante espesura levemente excesiva o defectiva de parcelas raleadas no modificó mayormente su incremento anual diamétrico ni tampoco se registró mortalidad natural. Esta resistencia de la especie a las altas intensidades ya había sido observado por Fassola *et al.* (2004). Los incrementos diamétricos anuales de esta especie en las tres plantaciones resultaron satisfactorios y en la mayoría superiores a los comunicados por Perez *et al.* (2011) quienes informaron valores de 1,08 a 1,56 cm/año, obtenidos en raleos experimentales realizados en Misiones en plantaciones puras de esta especie.

Entre las densidades extremas post-raleo se registró entre un 21% (rodal de Blanco) y 44% (rodal de Nofal) más de crecimiento diamétrico a favor de las parcelas con menores densidades. Estos resultados guardan relación con los comunicados por Barth *et al.* (2015) quienes informan diferencias de crecimiento del 39% entre las densidades extremas de 162 y 1.500 plantas.ha<sup>-1</sup> en un ensayo realizado en Misiones.

En tanto, *M. azedarach* manifestó ser una especie muy sensible a la alta competencia intra e interespecifica, variando de manera significativa su crecimiento diamétrico, al punto que las plantas menos vigorosas pasan progresivamente por las condiciones de dominadas, suprimidas, moribundas y finalmente, muertas. En parcelas no raleadas resultó alta la mortalidad natural. Se obtuvieron adecuados incrementos anuales en diámetro en todos los rodales mixtos, incluso superando los valores referidos por Perez *et al.* (2008) quienes comunicaron rangos de crecimiento entre las densidades extremas (410 a 150 plantas.ha<sup>-1</sup>) de 1,53 a 2,76 cm.año<sup>-1</sup> y de 0,95 a 1,54 cm.año<sup>-1</sup> en

parcelas experimentales de intensidades de raleos efectuados a los 7,5 y 10 años de edad, respectivamente.

Comparando las densidades extremas post-raleo, el rango osciló entre 27% (rodal de Nofal) y 34% (rodal de Blanco) más de crecimiento diamétrico a favor de las parcelas con menores densidades, algo superiores al 24% comunicado por Becker *et al.* (2008) entre las densidades extremas de 400 y 800 plantas.ha<sup>-1</sup> en rodal de 6 años en Misiones.

**En relación al objetivo específico 4:** “Determinar los efectos de la intensidad de raleo sobre diversos parámetros dasométricos (diámetro, área basal y volumen de fuste) de rodales mixtos de *M. azedarach* y *G. robusta*”.

#### 4.5 Efectos de los Raleos

**4.5.1 Análisis exploratorio de los modelos de estructura de covarianza.** Con base a los datos correspondientes al primer ensayo de raleo de cada plantación mixta (Cardenal, Blanco y Nofal) se procedió a realizar un análisis exploratorio a fin de determinar cuál de los cinco modelos diferentes de estructura de covarianza resulta más conveniente para ajustar el modelo lineal mixto. En las Tablas 24 y 25 se presentan los valores de criterios de verosimilitud penalizada para las distintas estructuras de covarianza examinadas (aquí denominadas modelos) para cada especie por separado y en conjunto de la plantación mixta de Blanco, considerando las variables diámetro (DAP) y área basal (AB). Hay ocasiones en que el modelo no pudo estimarse, y en tales casos, fueron expresados en la tabla a través de las siglas N.P.E.

**Tabla 24.** Valores de criterios de verosimilitud penalizada para cada especie de la plantación mixta de Blanco.

Variable	Modelo	N	<i>Grevillea robusta</i>			<i>Melia azedarach</i>		
			AIC	BIC	R <sup>2</sup>	AIC	BIC	R <sup>2</sup>
DAP	1	105	N.P.E.	N.P.E.	N.P.E.	252,7	347,1	0,94
DAP	2	105	198,6	284,1	0,93	274,1	359,5	0,94
DAP	3	105	200,6	295,1	0,93	251,1	345,5	0,89
DAP	4	105	N.P.E.	N.P.E.	N.P.E.	221,0	308,7	0,94
DAP	5	105	113,4	211,7	0,98	174,4	272,7	0,95
AB	1	105	N.P.E.	N.P.E.	N.P.E.	N.P.E.	N.P.E.	N.P.E.
AB	2	105	224,1	309,5	0,90	179,3	264,8	0,90
AB	3	105	161,7	256,2	0,89	112,4	206,8	0,90
AB	4	105	N.P.E.	N.P.E.	N.P.E.	117,2	204,8	0,90
AB	5	105	78,3	176,6	0,96	51,9	150,2	0,95

En este examen exploratorio para determinar cuál es la estructura de covarianza apropiada en el contexto de los modelos lineales mixtos, atendiendo la naturaleza y características de los datos correspondientes al primer ensayo, de cada especie en forma individual y del conjunto de ambas especies (*M. azedarach* y *G. robusta*), de la plantación mixta de Blanco, la mejor respuesta se obtuvo con el Modelo 5. En dicho modelo los criterios de verosimilitud penalizada (Criterio de Información de Akaike - AIC y Criterio de Información Bayesiano - BIC) presentan los menores valores.

**Tabla 25.** Valores de criterios de verosimilitud penalizada para la plantación mixta (*Melia azedarach* + *Grevillea robusta*) de Blanco

Especie	Variable	Modelo	N	AIC	BIC	R <sup>2</sup>
Plantación mixta	DAP	1	105	164,8	259,3	0,96
Plantación mixta	DAP	2	105	179,2	264,6	0,96
Plantación mixta	DAP	3	105	179,3	273,8	0,95
Plantación mixta	DAP	4	105	137,2	224,9	0,96
Plantación mixta	DAP	5	105	133,4	230,1	0,99
Plantación mixta	AB	1	105	308,8	398,7	0,97
Plantación mixta	AB	2	105	199,4	284,8	0,97
Plantación mixta	AB	3	105	179,5	273,9	0,96
Plantación mixta	AB	4	105	N.P.E.	N.P.E.	N.P.E.
Plantación mixta	AB	5	105	135,5	232,1	0,99

Esta tendencia en los resultados, en que el Modelo 5 resulta más adecuado (salvo raras excepciones en que el Modelo 4 se expresa como el más conveniente), también se obtuvieron al realizarse la investigación exploratoria con la información dasométrica pertinente de las plantaciones mixtas de Cardenal y Nofal (ver detalles finales en la sección correspondiente a cada plantación).

Con estos resultados preliminares que han permitido identificar el modelo de covarianza más apropiado para las distintas situaciones de análisis, se procedió a realizar las próximas etapas del análisis estadístico definitivo en el contexto de los modelos lineales mixtos.

**4.5.2 Análisis estadístico de los resultados de los ensayos de raleos.** En el contexto de los modelos lineales mixtos en las secciones 4.5.2.1, 4.5.2.2 y 4.5.2.3 se realizan los análisis estadísticos con base a los resultados dasométricos (variables DAP, AB y VF) correspondientes a las plantaciones mixtas de Cardenal, Blanco y Nofal, respectivamente. En tales secciones los análisis se realizan por especie (*M. azedarach* y

*G. robusta*) de manera independiente. Es decir, se comparan estadísticamente las respuestas de cada especie a los diversos tratamientos.

**4.5.2.1 Ensayos de Cardenal.** En las Tablas 26 y 27 se consignan expresamente los valores de AIC y BIC y del coeficiente de determinación ( $R^2$ ), para el conjunto de datos de cada una de las especies componentes (*M. azedarach* y *G. robusta*) de la plantación mixta de Cardenal. Los valores tabulados corresponden a los modelos estadísticos 5 y 4, que en el examen exploratorio tuvieron los valores más bajos de AIC y BIC y por ello fueron escogidos para el análisis estadístico definitivo con las variables diámetro medio (DAP), área basal (AB) y volumen de fuste (VF).

**Tabla 26.** Valores de criterios de verosimilitud penalizada. Especie: *Melia azedarach* de la plantación mixta de Cardenal.

Ensayo	Edad Control (años)	Variable	Modelo	N	AIC	BIC	R <sup>2</sup>
Primero	6 – 10	DAP	5	75	117,7	182,0	0,97
Primero	6 – 10	AB	5	75	116,2	179,3	0,91
Primero	6 – 10	VF	5	75	269,5	332,5	0,88
Segundo	10 – 12	DAP	5	45	72,5	102,6	0,88
Segundo	10 – 12	AB	4	45	70,7	97,4	0,79
Segundo	10 – 12	VF	4	45	171,3	197,9	0,64

**Tabla 27.** Valores de criterios de verosimilitud penalizada. Especie: *Grevillea robusta* de la plantación mixta de Cardenal.

Ensayo	Edad Control (años)	Variable	Modelo	N	AIC	BIC	R <sup>2</sup>
Primero	6 – 10	DAP	5	75	126,6	189,7	0,90
Primero	6 – 10	AB	5	75	115,3	178,4	0,83
Primero	6 – 10	VF	5	75	252,9	316,0	0,79
Segundo	10 – 12	DAP	5	45	71,0	101,1	0,88
Segundo	10 – 12	AB	5	45	28,6	58,0	0,48
Segundo	10 – 12	VF	5	45	158,3	187,7	0,57

En el contexto de los modelos lineales mixtos, seguidamente en Tabla 28 se exponen de manera resumida los resultados de las pruebas de hipótesis para *M. azedarach*, por aplicación de los modelos 5 y 4. Salvo la consideración VF para el periodo 10 – 12 años de edad, en los restantes casos la interacción entre tratamiento y edad fue estadísticamente significativa (valor  $p < 0,05$ ). Es decir, en la evaluación estadística de

las respuestas de *M. azedarach* resulta que el efecto del tratamiento no es independiente de la edad de la plantación.

**Tabla 28.** Resultados de las pruebas de hipótesis para *Melia azedarach*. Plantación mixta de Cardenal.

Variable Dependiente	Primer Ensayo		Segundo Ensayo	
	Factor	p – valor	Factor	p – valor
DAP	Tra	0,5347	Tra	0,0075
	Edad	< 0,0001	Edad	< 0,0001
	DAP ar1	0,0007	DAP ar2	0,0009
	Tra*Edad	0,0044	Tra*Edad	0,0176
AB	Tra	0,0020	Tra	0,0091
	Edad	< 0,0001	Edad	< 0,0001
	N ar1	0,9399	N ar2	0,5333
	Tra*Edad	0,0038	Tra*Edad	0,0177
VF	Tra	0,0150	Tra	0,0458
	Edad	< 0,0001	Edad	< 0,0001
	Tra*Edad	0,0005	Tra*Edad	0,0739

Según el análisis de varianza realizado con la variable diámetro (Tabla 28) en que se registró un p-valor = 0,5347, superior al nivel de significancia ( $\alpha = 0,05$ ), no existen diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Esto se visualiza claramente en la similitud de los valores al finalizar el ensayo: mayor diámetro en T0 = 24,49 cm (raleo tipo Danzer); un valor intermedio en T1 = 23,32 cm y el menor valor en T3 = 23,27 cm.

En los análisis efectuados con los datos de los ensayos, las covariables DAP ar1 y DAP ar2 (diámetro medio de las parcelas inmediatamente antes de la instalación de los dos raleos), presentan valores muy bajos de “p” (< 0,0001), lo que constituye una clara evidencia de la influencia de las mismas en las respuestas de la variable dependiente. Resultados diferentes se obtienen al analizarse el peso en el modelo de las covariables N ar1 y Nar2 (densidad de las parcelas antes de los dos raleos). En ninguno de los periodos de control se detectaron diferencias estadísticas significativas.

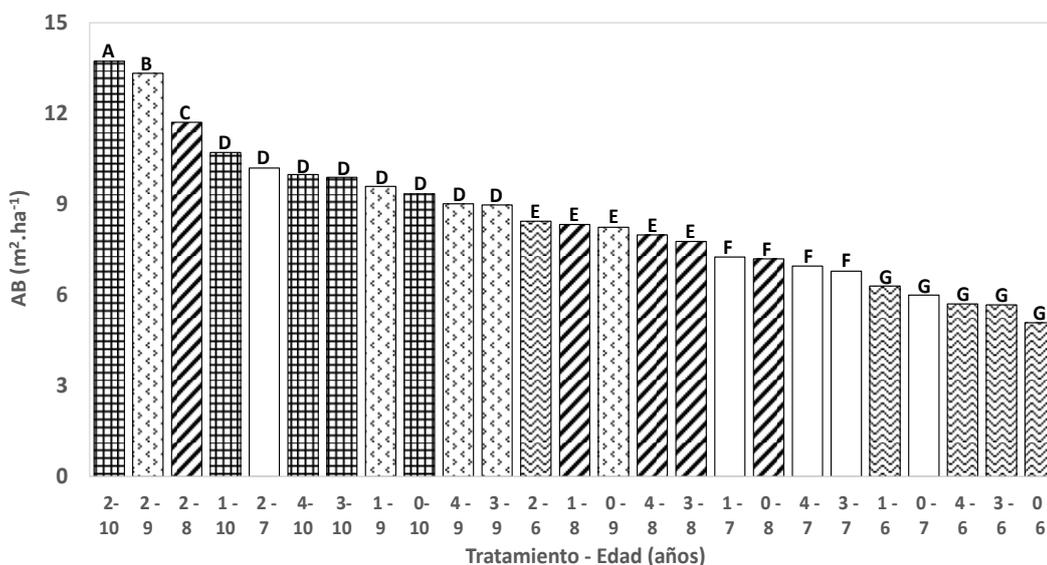
En Tabla 29 se presentan respuestas del área basal-AB. Al efectuarse la prueba de contrastes excluyendo al T0 (raleo tipo Danzer) y al ejecutarse la comparación solo entre tratamientos con raleos condicionados (T1, T2 y T3), los resultados aportaron evidencias suficientes para rechazar la hipótesis de igualdad entre las medias de los tratamientos. Al final del ensayo los valores de AB fueron: mejor grupo T2 = 13,73 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, diferenciado

estadísticamente del resto de los tratamientos; menor valor T0 = 9,35 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> y restantes tratamientos T1-T4-T3 distribuidos entre estos extremos, en ese orden decreciente.

**Tabla 29.** Prueba de contrastes ortogonales, factor “tratamiento\*edad”, variable área basal-AB, componente *Melia azedarach* de la plantación mixta de Cardenal. Periodo de control 6–10 años.

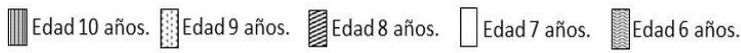
Contraste	Edad	E.E.	F	p-valor	Contrastes Realizados
Ct.1	6	2,57	2,15	0,1492	
Ct.2	7	2,49	1,15	0,2877	Entre todos los tratamientos incluido el T0 (raleo tipo Danzer)
Ct.3	8	2,22	1,16	0,2858	
Ct.4	9	2,24	1,87	0,1781	
Ct.5	10	2,36	2,96	0,0915	
Ct.6	6	1,99	4,88	0,0317	
Ct.7	7	1,93	2,92	0,0939	Entre todos los tratamientos de raleos, excluyendo al T0 (raleo tipo Danzer)
Ct.8	8	1,72	3,81	0,0565	
Ct.9	9	1,74	4,92	0,0311	
Ct.10	10	1,83	7,01	0,0108	
Ct.11	6	1,41	11,01	0,0017	Entre tratamientos con raleos condicionados: T1 (34,5%, 1.5P:1G), T2 (39% , 2P:1G) y T3 (32% 1P:1G)
Ct.12	7	1,36	6,15	0,0165	
Ct.13	8	1,22	10,17	0,0025	
Ct.14	9	1,23	13,38	0,0006	
Ct.15	10	1,29	14,78	0,0003	

En la Figura 46 se hace referencia a la respuesta en área basal de *M. azedarach*.



**Figura 46.** Comparaciones de medias por tratamiento y edad, variable área basal-AB de la componente *Melia azedarach*. Plantación mixta de Cardenal. Periodo de control 6 – 10 años.

*Medias con letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas (p<0.05)*

Referencias gráficas:  Edad 10 años. Edad 9 años. Edad 8 años. Edad 7 años. Edad 6 años.

En relación al área basal de *M. azedarach* durante el período 6 – 10 años de edad, una vez instalado el ensayo de raleo (edad 6 años), en la plantación quedaron conformados 2 grupos distintos. El tratamiento T2 con la mayor AB y los restantes tratamientos en otro grupo de menor área basal. Como se observa en el gráfico esta situación no se modificó al finalizar el ensayo (10 años de edad).

En Tabla 30 se presentan resultados del volumen de fuste. Si bien en el análisis de varianza para el factor “tratamiento\*edad” se determinaron diferencias significativas ( $p=0,0005$ ), en la prueba de contrastes en ningún caso se rechazó la hipótesis de igualdad entre las medias de los tratamientos. En este contexto, al concluir el ensayo los valores de VF fueron: valor más alto T2 =  $45,05 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ , valor más bajo T4 =  $31,45 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  y restantes tratamientos T0-T1-T3 distribuidos entre estos extremos, en ese orden decreciente. Esta condición del T2 de disponer un valor superior de volumen de fuste ya se observó al inicio del ensayo.

**Tabla 30.** Prueba de contrastes ortogonales, factor “tratamiento\*edad”, variable volumen de fuste-VF, componente *Melia azedarach* de la plantación mixta de Cardenal. Periodo de control 6 – 10 años.

Contraste	Edad	E.E.	F	p-valor	Contrastes Realizados
Ct.1	6	16,4	1,79	0,1864	Entre todos los tratamientos incluido el T0 (raleo tipo Danzer)
Ct.2	7	13,5	1,25	0,2691	
Ct.3	8	12,5	1,21	0,2769	
Ct.4	9	12,7	1,87	0,1776	
Ct.5	10	14,9	2,24	0,1412	
Ct.6	6	12,7	2,03	0,1607	Entre todos los tratamientos de raleos, excluyendo al T0 (raleo tipo Danzer)
Ct.7	7	10,5	1,69	0,1994	
Ct.8	8	9,65	1,85	0,1800	
Ct.9	9	9,86	2,27	0,1381	
Ct.10	10	11,5	2,92	0,0936	
Ct.11	6	8,96	2,28	0,1374	Entre tratamientos con raleos condicionados: T1 (34,5%, 1.5P:1G), T2 (39% , 2P:1G) y T3 (32% 1P:1G)
Ct.12	7	7,41	2,43	0,1257	
Ct.13	8	6,82	3,24	0,0777	
Ct.14	9	6,97	4,05	0,0495	
Ct.15	10	8,14	3,48	0,0679	

En Tabla 31 se presentan resultados de diámetro medio-DAP, correspondiente al segundo ensayo en Cardenal.

**Tabla 31.** Prueba de contrastes ortogonales, factor “tratamiento\*edad”, variable diámetro-DAP, componente *Melia azedarach* de la plantación mixta de Cardenal. Periodo de control 10 – 12 años.

Contraste	Edad	E.E.	F	p-valor	Contrastes Realizados
Ct.1	10	2,49	5,89	0,0217	Entre todos los tratamientos incluido el T0 (raleo tipo Danzer)
Ct.2	11	2,37	6,51	0,0163	
Ct.3	12	2,29	9,40	0,0047	
Ct.4	10	1,88	5,83	0,0223	Entre todos los tratamientos de raleos, excluyendo al T0 (raleo tipo Danzer)
Ct.5	11	1,78	7,41	0,0108	
Ct.6	12	1,72	10,86	0,0026	
Ct.7	10	1,31	0,31	0,5809	Entre tratamientos con raleos condicionados: T1 (1.5P:1G), T2 (2P:1G) y T3 (1P:1G)
Ct.8	11	1,23	0,76	0,3907	
Ct.9	12	1,19	2,10	0,1583	

En las pruebas de contrastes realizadas con y sin T0 (raleo tipo Danzer), los resultados evidencian diferencias estadísticas significativas ( $\alpha = 0,05$ ). Al finalizar el ensayo los valores de DAP fueron: mejor grupo T4 = 29,59 cm, diferenciado estadísticamente del resto de los tratamientos; menor valor T2 = 27,37 cm y restantes tratamientos T3-T0-T1 distribuidos entre estos extremos, en ese orden decreciente.

En los resultados obtenidos con área basal correspondiente al segundo ensayo en Cardenal, según siguiente Tabla 32, se destaca que en todas las pruebas de contrastes realizadas se identificaron diferencias estadísticas significativas ( $\alpha = 0,05$ ).

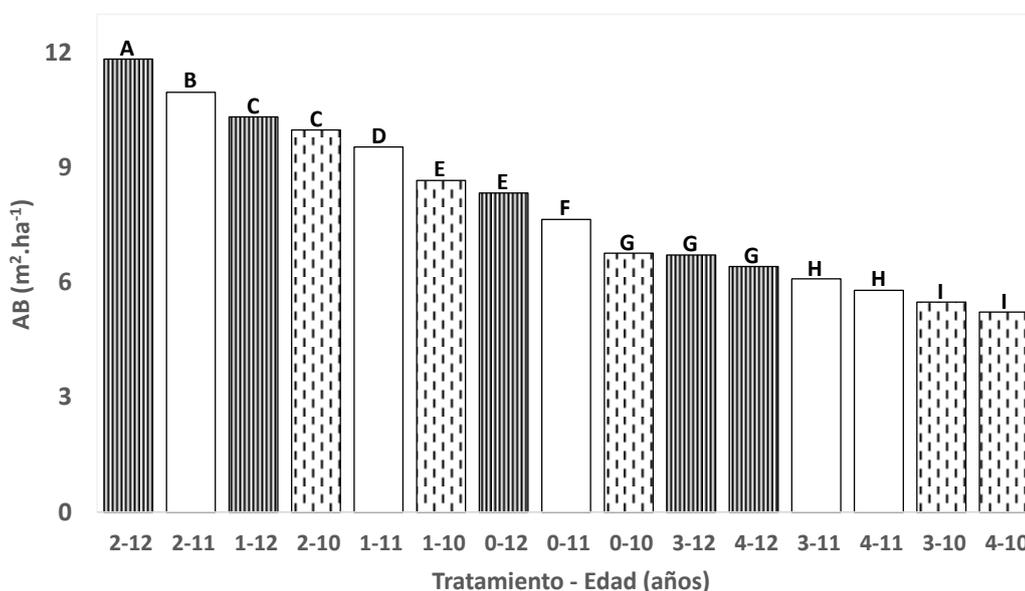
**Tabla 32.** Prueba de contrastes ortogonales, factor “tratamiento\*edad”, variable área basal-AB, componente *Melia azedarach* de la plantación mixta de Cardenal. Periodo de control 10 – 12 años.

Contraste	Edad	E.E.	F	p-valor	Contrastes Realizados
Ct.1	10	3,66	7,47	0,0104	Entre todos los tratamientos incluido el T0 (raleo tipo Danzer)
Ct.2	11	3,66	9,12	0,0051	
Ct.3	12	3,66	9,94	0,0037	
Ct.4	10	2,84	8,91	0,0056	Entre todos los tratamientos de raleos, excluyendo al T0 (raleo tipo Danzer)
Ct.5	11	2,84	10,54	0,0029	
Ct.6	12	2,84	11,52	0,0020	
Ct.7	10	2,00	14,69	0,0006	Entre tratamientos con raleos condicionados: T1 (1.5P:1G), T2 (2P:1G) y T3 (1P:1G)
Ct.8	11	2,00	17,17	0,0003	
Ct.9	12	2,00	18,98	0,0001	

Al finalizar el ensayo los valores de AB fueron: mejor grupo T2 = 11,83 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, diferenciado estadísticamente del resto de los tratamientos; menor valor T4 = 6,41 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> y restantes tratamientos T1-T0-T3 distribuidos entre estos extremos, en ese orden decreciente.

En Figura 47 se observa la fuerte diferenciación entre tratamientos respecto al área basal-AB registrada en el inicio del ensayo (10 años de edad). Esta condición no se modificó durante el control del ensayo.

Se diferencian cuatro grupos: tratamiento T2, único en el grupo, con el mayor valor; tratamiento T1 único en su grupo, como el siguiente en orden descendente; el tratamiento T0 en el tercer grupo, cuya área basal se ubica en posición intermedia; y el cuarto grupo conformado por los tratamientos 3 y 4 con la menor cantidad de área basal.



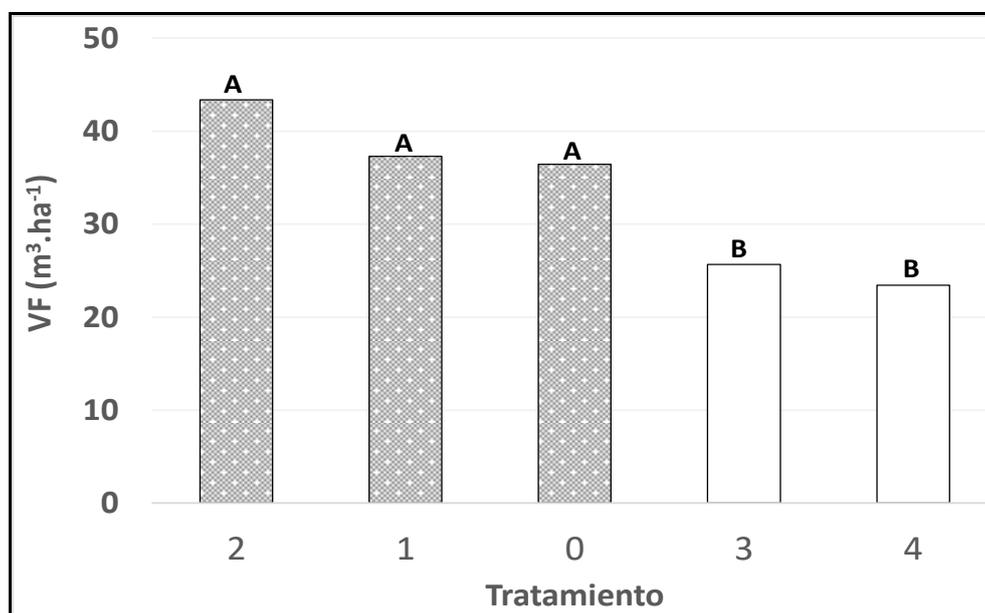
**Figura 47.** Comparaciones de medias por tratamiento y edad, variable área basal-AB de la componente *Melia azedarach*. Plantación mixta de Cardenal. Periodo de control 10 – 12 años.

**Medias con letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ )**

Referencias gráficas:  Edad 12 años.  Edad 11 años.  Edad 10 años.

En Figura 48 se observan las diferencias entre tratamientos al considerarse la variable volumen de fuste de *M. azedarach* por unidad de superficie. Dado que la interacción entre tratamiento y edad fue no significativa se muestran sólo los efectos de tratamiento. Existen dos grupos diferentes: la mayor volumetría se registran en las unidades experimentales de T2, T1 y T0 (grupo A); y los tratamientos T3 y T4 conforman

el grupo con menor volumen. Es importante señalar que esta estratificación entre tratamientos ya se observó al inicio de este segundo ensayo (edad 9 años).



**Figura 48.** Comparaciones de medias por tratamiento, variable volumen de fuste-VF de la componente *Melia azedarach*. Plantación mixta de Cardenal. Periodo de control 10 – 12 años.

*Medias con letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas (p<0.05)*

En la Tabla 33 se expresan los resultados de las pruebas de hipótesis obtenidos de la aplicación de los modelos antes consignados en Tabla 27 para *G. robusta*.

**Tabla 33.** Resultados de las pruebas de hipótesis para *Grevillea robusta*. Plantación mixta de Cardenal.

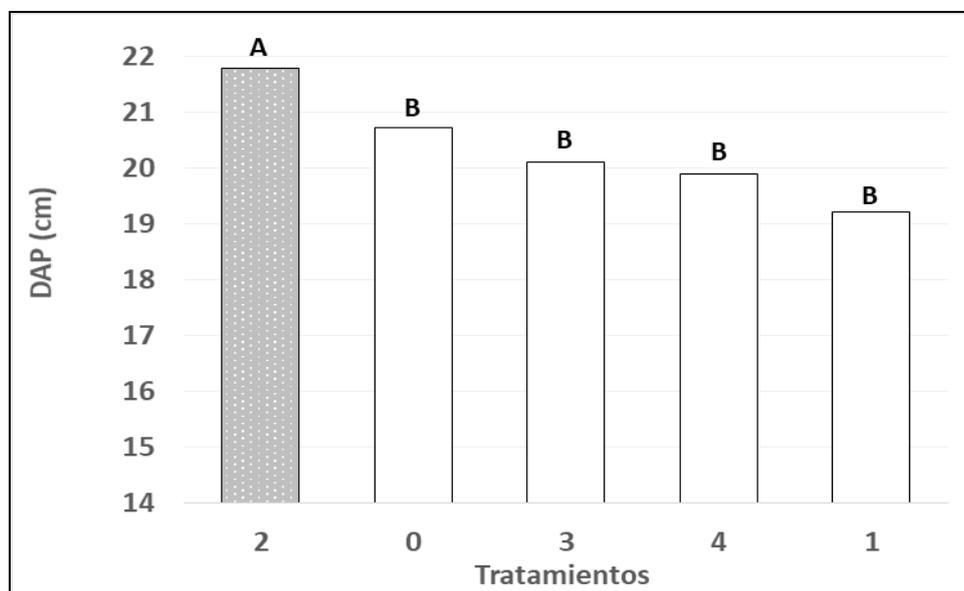
Variable	Primer Ensayo		Segundo Ensayo	
	Factor	p – valor	Factor	p – valor
DAP	Periodo 6 – 10 años		Periodo 10 - 12 años	
	Tra	0,0049	Tra	0,3771
	Edad	< 0,0001	Edad	< 0,0001
	DAP ar1	0,4251	DAP ar2	0,0016
	Tra*Edad	0,4623	Tra*Edad	0,0142
AB	Tra	0,0847	Tra	0,0311
	Edad	< 0,0001	Edad	< 0,0001
	N ar1	0,1360	N ar2	0,1612
	Tra*Edad	0,0671	Tra*Edad	0,0829
VF	Tra	0,1232	Tra	0,1173
	Edad	< 0,0001	Edad	< 0,0001
	Tra*Edad	0,0194	Tra*Edad	0,0006

Salvo con el diámetro en el período 6 – 10 años y área basal en el período 10 – 12 años, en el resto de las pruebas realizadas en los dos ensayos con las tres variables dasométricas (DAP, AB y VF), no se registraron diferencias significativas entre tratamientos.

En el análisis efectuado con la covariable DAP ar1 (diámetro medio de las parcelas inmediatamente antes de la instalación del primer raleo), presenta un valor  $p = 0,4251$ , lo que constituye una clara evidencia que dicha covariable no ejerce influencia en la respuesta de la variable dependiente.

Por otro lado, en el análisis de varianza del DAP durante el primer ensayo, en relación al factor “tratamiento \* edad” se obtuvo un valor  $p = 4623$ . Es decir, en la evaluación estadística de esta respuesta de *G. robusta* resulta que el efecto del tratamiento es independiente de la edad de la plantación.

En la Figura 49 donde se representó gráficamente las diferencias entre tratamientos durante el primer ensayo en relación al DAP, se destaca el T2 por tener el diámetro medio más alto. El resto de los tratamientos forman parte del grupo con menor diámetro. Es importante señalar que al dejarse instalado el ensayo (6 años de edad) ya se había constatado esa diferencia entre el T2 y los otros tratamientos.



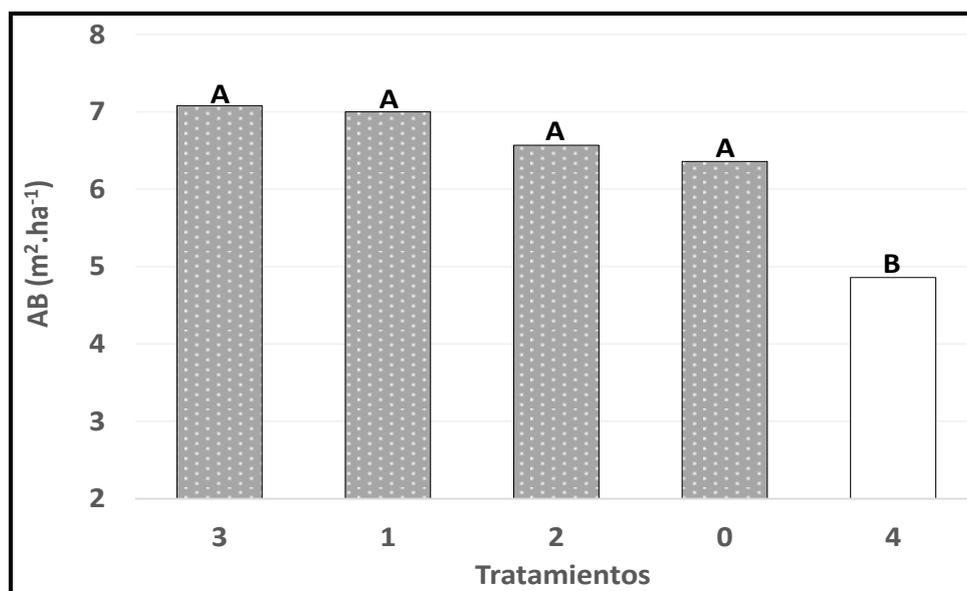
**Figura 49.** Comparaciones de medias por tratamiento, variable diámetro-DAP de la componente *Grevillea robusta*. Plantación mixta de Cardenal. Periodo de control 10 – 12 años.

**Medias con letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ )**

Al finalizar el segundo ensayo de raleo, periodo 10 – 12 años de edad, en que respecto del DAP no se registraron diferencias estadísticas significativas, el diámetro medio más alto correspondió al T4 = 28,47 cm, el diámetro menor se registró en T2 = 26,73 cm y los otros tratamientos se ordenaron así T3-T0-T1.

Respecto del área basal no se registraron diferencias estadísticas significativas durante el primer ensayo de raleo. A la edad de 10 años el valor más alto se registró en T3 = 9,56 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, el más bajo en T1 = 7,10 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> y el ordenamiento de los tratamientos con base a los valores registrados fue T4-T0-T2.

En la Figura 50 se destaca el tratamiento T4 por tener el área basal más baja y diferente estadísticamente del resto de los tratamientos. Al finalizar el ensayo, a los 12 años de edad, los valores fueron: T3 = 7,85 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, T0 = 6,99 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> y T4 5,38 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>. Al inicio del segundo ensayo de raleo (10 años de edad) ya se había observado esta diferencia.



**Figura 50.** Comparaciones de medias por tratamiento, variable área basal-AB de la componente *Grevillea robusta*. Plantación mixta de Cardenal. Periodo de control 10 – 12 años.

**Medias con letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ )**

Si bien en relación al volumen de fuste no se registraron diferencias estadísticas significativas, a continuación se brindan algunos valores de referencia registrados al finalizar cada ensayo. Después del primer ensayo el volumen mayor se registró en T3 = 29,93 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, el volumen menor en T1 = 21,04 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> y entre ambos tratamientos el ordenamiento de los restantes fue T0-T4-T1. Al finalizar el segundo ensayo el valor más

alto en T0 = 26,93 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, el valor más bajo en T4 = 16,85 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> y entre los tratamientos extremos los restantes se ubicaron así T1-T3-T2.

**4.5.2.2 Ensayos de Blanco.** En las Tablas 34 y 35 se consignan expresamente los valores de AIC y BIC (complementan la información de la Tabla 24) y del coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>), para el conjunto de datos de cada una de las especies componentes (*M. azedarach* y *G. robusta*) de la plantación mixta de Blanco.

**Tabla 34.** Valores de criterios de verosimilitud penalizada. Especie: *Melia azedarach* de la plantación mixta de Blanco.

Ensayo	Edad Control (años)	Variable	Modelo	N	AIC	BIC	R <sup>2</sup>
Primero	5 – 9	DAP	5	105	174,4	272,7	0,95
Primero	5 – 9	AB	5	105	51,9	150,2	0,95
Primero	5 – 9	VF	5	105	268,4	365,1	0,87
Segundo	9 – 11	DAP	4	63	113,6	158,1	0,95
Segundo	9 – 11	AB	5	63	110,6	158,6	0,91
Segundo	9 – 11	VF	5	63	241,5	288,4	0,63

Con base a los resultados precedentes se avanzó en el análisis estadístico definitivo de los datos de la plantación mixta de Blanco, utilizándose los modelos 5 y 4, a fin de realizar las pruebas de hipótesis correspondientes y las pertinentes inferencias estadísticas acerca de las medias (comparación de tratamientos, evaluar el efecto de la edad de la plantación, etc.).

**Tabla 35.** Valores de criterios de verosimilitud penalizada. Especie: *Grevillea robusta* de la plantación mixta de Blanco.

Ensayo	Edad Control (años)	Variable	Modelo	N	AIC	BIC	R <sup>2</sup>
Primero	5 – 9	DAP	5	105	113,4	211,7	0,98
Primero	5 – 9	AB	5	105	78,3	176,6	0,96
Primero	5 – 9	VF	5	105	318,6	415,2	0,69
Segundo	9 – 11	DAP	4	63	80,4	125,0	0,98
Segundo	9 – 11	AB	5	63	75,3	122,2	0,88
Segundo	9 – 11	VF	5	63	236,7	283,6	0,53

La información tabulada corresponde a los modelos estadísticos 5 y 4, que como ya se expresó fueron seleccionados para las pruebas estadísticas definitivas (en estos

modelos se obtuvieron los valores más bajos de AIC y BIC). Se consideran los valores de las variables diámetro medio (DAP), área basal (AB) y volumen de fuste (VF) correspondientes al primer y segundo ensayo (periodos 5–9 y 9–11 años, respectivamente).

Con base a los resultados precedentes se avanza en el análisis estadístico definitivo de los datos de la plantación mixta de Blanco, utilizándose los modelos 5 y 4, a fin de realizar las pruebas de hipótesis correspondientes y las pertinentes inferencias estadísticas acerca de las medias (comparación de tratamientos, evaluar el efecto de la edad de la plantación, etc.).

A continuación en la Tabla 36 se expresan de manera resumida los resultados estadísticos de las pruebas de hipótesis del análisis del modelo lineal mixto (según el modelo correspondiente señalado en Tabla 24), para la especie *M. azedarach*.

**Tabla 36.** Resultados de las pruebas de hipótesis para *Melia azedarach*. Plantación mixta de Blanco.

Dependiente	Primer Ensayo		Segundo Ensayo	
	Factor	p – valor	Factor	p – valor
DAP	Tra	0,0236	Tra	0,0001
	Edad	< 0,0001	Edad	< 0,0001
	DAP ar1	0,0001	DAP ar2	0,0003
	Tra*Edad	0,0472	Tra*Edad	0,0017
AB	Tra	0,0356	Tra	0,0012
	Edad	< 0,0001	Edad	< 0,0001
	N ar1	0,8691	N ar2	0,4326
	Tra*Edad	0,0002	Tra*Edad	0,0561
VF	Tra	0,0227	Tra	0,0310
	Edad	< 0,0001	Edad	< 0,0001
	Tra*Edad	0,0036	Tra*Edad	0,0146

En los análisis estadísticos efectuados con la inclusión de la covariable diámetro antes de cada raleo (DAP ar1 y DAPar2) se presentaron valores de  $p < 0,0004$ , evidenciándose así que dicha covariable ejerce influencia estadística en la respuesta de la variable dependiente DAP. En tanto al incluirse en el modelo la covariable densidad antes de cada raleo (N ar1 y N ar2) se determinaron valores de  $p > 0,05$ , por lo que se deduce confiablemente que tal covariable no tiene efectos estadísticos en la respuesta de la respectiva AB.

En el análisis estadístico de DAP y AB, mayoritariamente la interacción entre tratamiento y edad fue estadísticamente significativa (valor  $p < 0,05$ ), indicando que el efecto del tratamiento no es independiente de la edad de la plantación en los ensayos con *M. azedarach*. La respuesta de excepción se observó para el área basal en el segundo ensayo, en el que el valor  $p = 0,0561$ .

En circunstancias de la existencia de interacción en el factor “tratamiento \* edad” se aplicó la prueba de contrastes ortogonales. En Tabla 37 se exponen resultados para la variable DAP buscando identificar en cada edad las diferencias significativas entre tratamientos, probándose la hipótesis sobre igualdad de medias entre tratamientos.

**Tabla 37.** Prueba de contrastes ortogonales, factor “tratamiento\*edad”, variable diámetro-DAP, componente *Melia azedarach* de la plantación mixta de Blanco. Periodo de control 5 – 9 años.

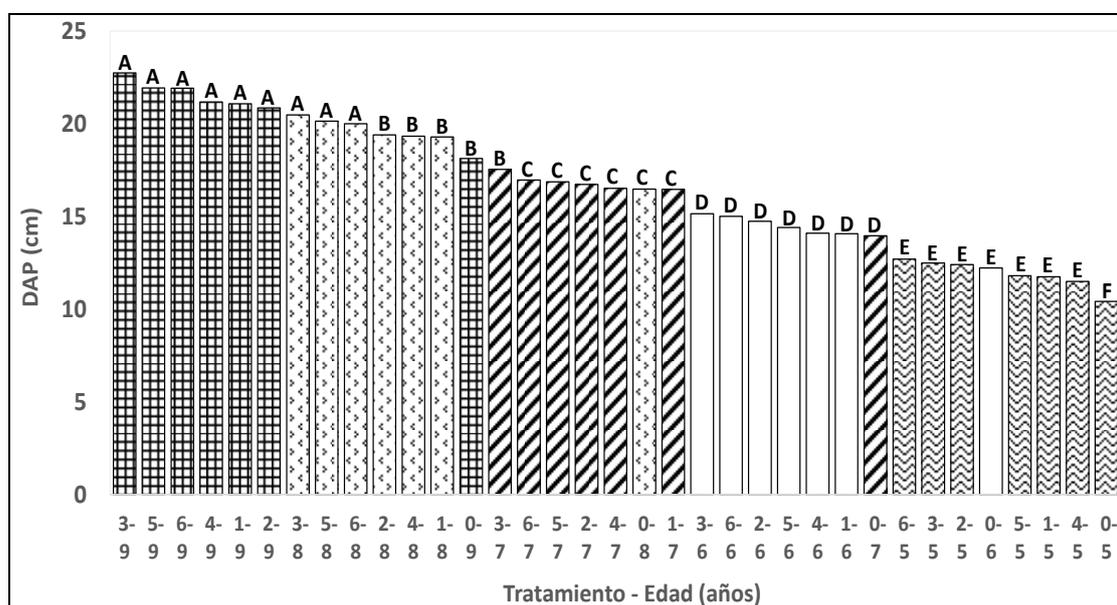
<b>Contraste</b>	<b>Edad</b>	<b>E.E.</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>	<b>Contrastes Realizados</b>
Ct.1	5	2,39	17,73	0,0001	Entre todos los tratamientos incluido el T0 (sin raleo)
Ct.2	6	2,89	23,88	<0,0001	
Ct.3	7	3,73	21,75	<0,0001	
Ct.4	8	4,57	18,82	<0,0001	
Ct.5	9	5,90	12,66	0,0007	
Ct.6	5	1,93	3,43	0,0683	Entre todos los tratamientos de raleos. Excluye al T0 (sin raleo)
Ct.7	6	2,37	1,19	0,2795	
Ct.8	7	3,10	0,04	0,8340	
Ct.9	8	3,81	0,13	0,7201	
Ct.10	9	4,95	0,13	0,7152	
Ct.11	5	0,87	6,25	0,0148	Entre todos los tratamientos de raleos libres. Se excluyen el T0, T2, T3 y T5
Ct.12	6	1,06	3,01	0,0871	
Ct.13	7	1,39	0,45	0,5046	
Ct.14	8	1,71	0,66	0,4202	
Ct.15	9	2,22	0,51	0,4781	
Ct.16	5	0,87	2,13	0,1489	Entre todos los tratamientos de raleos condicionados. Se excluyen el T0, T1, T4 y T6
Ct.17	6	1,06	1,01	0,3195	
Ct.18	7	1,39	0,15	0,7023	
Ct.19	8	1,71	0,06	0,8054	
Ct.20	9	2,22	0,02	0,9001	
Ct.21	5	0,50	0,18	0,6708	Entre todos los tratamientos con raleos fuertes. Se excluyen el T0, T1, T2, T4 y T5
Ct.22	6	0,61	0,05	0,8233	
Ct.23	7	0,80	0,54	0,4657	
Ct.24	8	0,98	0,23	0,6320	
Ct.25	9	1,28	0,41	0,5252	

De todas las comparaciones realizadas las diferencias resultan significativas en todas las edades solo cuando en las pruebas es incluida el tratamiento testigo sin raleo T0. En las pruebas ejecutadas con exclusión de T0 las diferencias fueron estadísticamente no significativas ( $\alpha = 0,05$ ) en todas las edades. Al ultimar el ensayo, T0 fue el único integrante del grupo con menor diámetro (18,12 cm), en tanto los restantes tratamientos formaron parte del mejor grupo encabezado por T3 con 22,74 cm.

En Figura 51 se expresa gráficamente la respuesta del diámetro por tratamiento – DAP durante el período 5 – 9 años de edad.

En general, se observa que las parcelas no raleadas exhiben valores medios de DAP similares a los registrados en parcelas con raleo pero cuando éstas tenían un año menos. Esta diferencia puede deberse a las condiciones iniciales del ensayo (edad 5 después de instalarse el ensayo), en las cuales la parcela sin raleo ya presentaba un DAP medio estadísticamente menor al resto.

Por otra parte, se destaca que parcelas que han tenido distintas intensidades de raleo, los diámetros medio de las mismas exhiben similar reacción a la intervención silvícola.



**Figura 51.** Comparaciones de medias por tratamiento y edad, variable diámetro-DAP de la componente *Melia azedarach*. Plantación mixta de Blanco. Periodo de control 5 – 9 años.

**Medias con letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ )**

Referencias gráficas: Edad 9 años. Edad 8 años. Edad 7 años. Edad 6 años. Edad 5 años.

En la Tabla 38 se exponen resultados de la aplicación de la prueba de contrastes ortogonales para la variable área basal-AB del factor de interacción “tratamiento \* edad”.

De las diversas comparaciones realizadas las diferencias resultaron significativas, en un caso, al compararse solo los tratamientos con raleos (excluido el tratamiento sin raleo, T0), y en otro, de la comparación entre los tratamientos con raleos libres (T1 con 25% de intensidad de raleo; T4 con 38% de intensidad de raleo; T6 con 50% de intensidad de raleo). Al finalizar el ensayo el mejor grupo se conformó con T1 y T4 (7,95 y 7,41 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, respectivamente), el T0 en posición intermedia con 6,94 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> y la menor área basal se registró en T3 con 4,25 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>.

**Tabla 38.** Prueba de contrastes ortogonales, factor “tratamiento\*edad”, variable área basal-AB, componente *Melia azedarach* de la plantación mixta de Blanco. Periodo de control 5 – 9 años.

<b>Contraste</b>	<b>Edad</b>	<b>E.E.</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>	<b>Contrastes Realizados</b>
Ct.1	5	1,62	1,98	0,1636	Entre todos los tratamientos incluido el T0 (sin raleo)
Ct.2	6	1,98	1,91	0,1711	
Ct.3	7	2,40	2,07	0,1550	
Ct.4	8	3,21	2,69	0,1053	
Ct.5	9	3,69	2,50	0,1183	
Ct.6	5	1,37	1,05	0,3080	Entre todos los tratamientos de raleos. Excluye al T0 (sin raleo)
Ct.7	6	1,67	2,44	0,1232	
Ct.8	7	2,03	4,41	0,0394	
Ct.9	8	2,71	4,05	0,0480	
Ct.10	9	3,12	4,08	0,0473	
Ct.11	5	0,61	6,16	0,0155	Entre todos los tratamientos de raleos libres. Se excluyen el T0, T2, T3 y T5
Ct.12	6	0,75	10,32	0,0020	
Ct.13	7	0,91	15,49	0,0002	
Ct.14	8	1,21	14,84	0,0003	
Ct.15	9	1,39	15,69	0,0002	
Ct.16	5	0,61	0,36	0,5505	Entre todos los tratamientos de raleos condicionados. Se excluyen el T0, T1, T4 y T6
Ct.17	6	0,75	0,17	0,6827	
Ct.18	7	0,91	0,02	0,8892	
Ct.19	8	1,21	0,15	0,6974	
Ct.20	9	1,39	0,37	0,5438	
Ct.21	5	0,35	1,12	0,2937	Entre todos los tratamientos con raleos fuertes. Se excluyen el T0, T1, T2, T4 y T5
Ct.22	6	0,43	0,82	0,3690	
Ct.23	7	0,52	0,48	0,4897	
Ct.24	8	0,70	0,63	0,4318	
Ct.25	9	0,80	0,68	0,4124	

En la prueba de contrastes de la Tabla 39 realizada con el factor de interacción “tratamiento \* edad” se observan los resultados para la variable volumen de fuste. La hipótesis sobre igualdad de medias entre tratamientos solo se rechazó al realizarse la comparación exclusivamente entre los tratamientos T1, T4 y T6 que tuvieron raleos libres. En las pruebas ejecutadas con exclusión de T0, T2, T3 y T5 las diferencias fueron estadísticamente significativas ( $\alpha = 0,05$ ) en todas las edades, destacándose los tratamientos T1 y T4 como los de mayor volumen de fuste por unidad de superficie. Al finalizar el ensayo estos dos tratamientos conformaron el mejor grupo con 34,37 y 32,14  $m^3 \cdot ha^{-1}$ , respectivamente. El tratamiento sin raleo T0 se ubicó en una posición intermedia con 27,79  $m^3 \cdot ha^{-1}$  y el menor volumen se registró en T3 con 19,44  $m^3 \cdot ha^{-1}$ .

**Tabla 39.** Prueba de contrastes ortogonales, factor “tratamiento\*edad”, variable volumen de fuste-VF, componente *Melia azedarach* de la plantación mixta de Blanco. Periodo de control 5 – 9 años.

Contraste	Edad	E.E.	F	p-valor	Contrastes Realizados
Ct.1	5	6,78	0,88	0,3517	Entre todos los tratamientos incluido el T0 (sin raleo)
Ct.2	6	8,73	0,58	0,4505	
Ct.3	7	11,48	0,40	0,5297	
Ct.4	8	15,68	0,51	0,4779	
Ct.5	9	18,87	0,32	0,5757	
Ct.6	5	5,73	0,69	0,4081	Entre todos los tratamientos de raleos. Excluye al T0 (sin raleo)
Ct.7	6	7,38	1,68	0,1994	
Ct.8	7	9,70	2,94	0,0909	
Ct.9	8	13,25	2,48	0,1200	
Ct.10	9	15,95	2,27	0,1360	
Ct.11	5	2,56	5,73	0,0193	Entre todos los tratamientos de raleos libres. Se excluyen el T0, T2, T3 y T5
Ct.12	6	3,30	8,75	0,0042	
Ct.13	7	4,34	11,72	0,0010	
Ct.14	8	5,93	10,50	0,0018	
Ct.15	9	7,13	9,94	0,0024	
Ct.16	5	2,56	0,52	0,4717	Entre todos los tratamientos de raleos condicionados. Se excluyen el T0, T1, T4 y T6
Ct.17	6	3,30	0,26	0,6150	
Ct.18	7	4,34	0,03	0,8578	
Ct.19	8	5,93	0,09	0,7661	
Ct.20	9	7,13	0,09	0,7689	
Ct.21	5	1,48	1,36	0,2469	Entre todos los tratamientos con raleos fuertes. Se excluyen el T0, T1, T2, T4 y T5
Ct.22	6	1,90	0,95	0,3330	
Ct.23	7	2,50	0,47	0,4937	
Ct.24	8	3,42	0,59	0,4452	
Ct.25	9	4,12	0,39	0,5340	

Seguidamente se analiza el comportamiento de *M. azedarach* en el segundo ensayo, período de 9 – 11 años de edad.

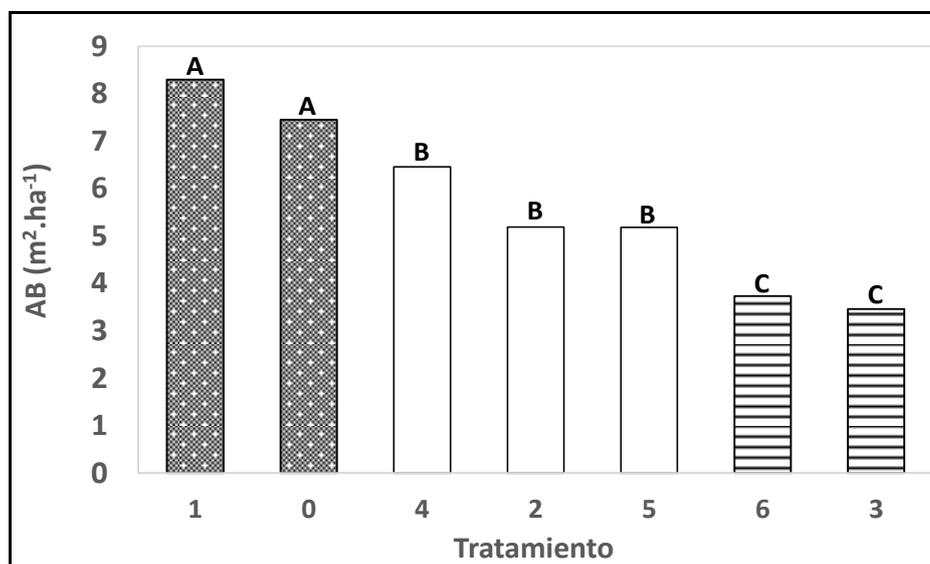
En la prueba de contrastes de la Tabla 40 realizada con el factor de interacción “tratamiento \* edad” se observan los resultados para la variable diámetro - DAP. De todas las comparaciones efectuadas el único caso en que no se rechazó la hipótesis de igualdad de medias entre tratamientos ( $\alpha = 0,05$ ), fue al contrastarse únicamente T2, T3 y T5 que tuvieron raleos condicionados (29, 36 y 38% de intensidad de raleo, todas con relación 2G:1P, respectivamente). Al concluir el ensayo la peor respuesta se obtuvo en el tratamiento sin raleo, T0 (21,94 cm). El diámetro medio mayor se registró en T6 (28,14 cm). El resto de los tratamientos (T3, T5, T4, T2 y T1) se distribuyeron en grupos intermedios, en ese orden decreciente.

**Tabla 40.** Prueba de contrastes ortogonales, factor “tratamiento \* edad”, variable diámetro-DAP, componente *Melia azedarach* de la plantación mixta de Blanco. Periodo de control 9 – 11 años.

Contraste	Edad	E.E.	F	p-valor	Contrastes Realizados
Ct.1	9	3,21	25,17	<0,0001	Entre todos los tratamientos incluido el T0 (sin raleo)
Ct.2	10	3,21	34,93	<0,0001	
Ct.3	11	3,21	19,94	0,0001	
Ct.4	9	2,65	16,58	0,0002	Entre todos los tratamientos de raleos. Excluye al T0 (sin raleo)
Ct.5	10	2,65	23,23	<0,0001	
Ct.6	11	2,65	13,06	0,0008	
Ct.7	9	1,18	17,00	0,0002	Entre todos los tratamientos de raleos libres. Se excluyen el T0, T2, T3 y T5
Ct.8	10	1,18	24,29	<0,0001	
Ct.9	11	1,18	12,39	0,0011	
Ct.10	9	1,18	0,37	0,5484	Entre todos los tratamientos de raleos condicionados (2G:1P). Se excluyen el T0, T1, T4 y T6
Ct.11	10	1,18	0,22	0,6411	
Ct.12	11	1,18	1,54	0,2218	

En Figura 52 se observan las diferencias entre tratamientos al considerarse la variable área basal – AB de *M. azedarach* en el ensayo de Blanco durante el período 9 – 11 años de edad. Dado que la interacción entre tratamiento y edad fue no significativa se muestran sólo los efectos de tratamiento. En relación al área basal existen tres grupos bien diferentes: los mayores valores se registran en las unidades experimentales T1 y T0 (grupo A); los tratamientos T6 y T3 conforman el grupo con menor área basal; y los valores intermedios de cobertura se logran en T4, T2 y T5. Es importante señalar que estos grupos ya quedaron constituidos en el inicio del ensayo (a la edad de 9 años). Es

decir, pasaron dos años y ningún tratamiento logró modificar la situación establecida experimentalmente.



**Figura 52.** Comparaciones de medias por tratamiento según el área basal (AB) de *Melia azedarach*. Plantación mixta de Blanco. Periodo de control 9 – 11 años.  
*Medias con letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ )*

En la Tabla 41 se presentan los resultados de la prueba de contraste el volumen de fuste.

**Tabla 41.** Prueba de contrastes ortogonales, factor "tratamiento\*edad", variable volumen de fuste-VF, componente *Melia azedarach* de la plantación mixta de Blanco. Periodo de control 9 – 11 años

Contraste	Edad	E.E.	F	p-valor	Contrastes Realizados
Ct.1	9	25,77	5,44	0,0246	Entre todos los tratamientos incluido el T0 (sin raleo)
Ct.2	10	25,94	6,04	0,0182	
Ct.3	11	26,00	4,45	0,0408	
Ct.4	9	21,78	4,82	0,0337	Entre todos los tratamientos de raleos. Excluye al T0 (sin raleo)
Ct.5	10	21,92	5,56	0,0231	
Ct.6	11	21,97	3,67	0,0622	
Ct.7	9	9,74	9,15	0,0042	Entre todos los tratamientos de raleos libres. Se excluyen el T0, T2, T3 y T5
Ct.8	10	9,80	10,69	0,0022	
Ct.9	11	9,83	7,08	0,0110	
Ct.10	9	9,74	0,09	0,7617	Entre todos los tratamientos de raleos condicionados (2G:1P). Se excluyen el T0, T1, T4 y T6
Ct.11	10	9,80	0,07	0,7968	
Ct.12	11	9,83	0,18	0,6769	

Las únicas comparaciones en las que no se identificaron diferencias significativas fueron al comparar los tratamientos de raleos condicionados (T2, T3 y T5). Al final del ensayo los mayores volúmenes por unidad de superficie se lograron en los tratamientos T1 y T2 (37,41 y 35,67 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, respectivamente), formando un único grupo. El tratamiento testigo T0 ocupó una posición intermedia con 31,68 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>. La menor volumetría se registró en el T3 (17,55 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>), tratamiento donde se practicó la mayor intensidad de raleo (54%) y se dejaron proporcionalmente 2 plantas de grevillea por cada 1 de paraíso.

En la Tabla 42 se expresan los resultados de las pruebas de hipótesis para *G. robusta*, obtenidos por aplicación de los modelos consignados en Tabla 24.

**Tabla 42.** Resultados de las pruebas de hipótesis para *Grevillea robusta*. Plantación mixta de Blanco.

Variable Dependiente	Primer Ensayo Periodo 5 - 9 años		Segundo Ensayo Periodo 9 – 11 años	
	Factor	p – valor	Factor	p – valor
DAP	Tra	0,0071	Tra	0,0001
	Edad	< 0,0001	Edad	< 0,0001
	DAP ar1	< 0,0001	DAP ar2	< 0,0001
	Tra*Edad	0,0065	Tra*Edad	0,0001
AB	Tra	0,0168	Tra	0,0001
	Edad	< 0,0001	Edad	< 0,0001
	N ar1	0,0084	N ar2	0,1765
	Tra*Edad	< 0,0001	Tra*Edad	< 0,0001
VF	Tra	0,6428	Tra	0,1142
	Edad	< 0,0001	Edad	< 0,0001
	Tra*Edad	0,0544	Tra*Edad	0,0069

En las pruebas estadísticas realizadas con la inclusión de las covariables “DAP ar1, DAP ar2 y N ar1” se obtuvieron diferencias altamente significativas ( $p < 0,0001$ ). La covariable densidad antes del raleo del segundo ensayo (N ar2) no ejerció ninguna influencia en la variable respuesta área basal ( $p = 0,1765$ ).

En general, al igual que con *M. azedarach* se observa que hay interacción entre tratamientos y edad, salvo para la variable VF en el período entre 5 y 9 años.

La Tabla 43 contiene los resultados de la prueba de contrastes efectuada con el factor de interacción “tratamiento \* edad” de la variable diámetro - DAP.

En general, no se encontraron evidencias para rechazar la hipótesis de igualdad de medias entre tratamientos ( $\alpha = 0,05$ ). En otras palabras, cuatro años después de la

aplicación del ensayo de raleo, las plantas de esta especie en el contexto de parcelas de plantación mixta con distintos grados de liberación de competencia, mostraron una dinámica de crecimiento bastante similar.

Puede observarse que solo en pocas comparaciones, en ciertas edades, las diferencias entre tratamientos fueron estadísticamente significativas. Al concluir el ensayo el menor diámetro se registró en el tratamiento testigo, sin raleo, T0 (20,65 cm), conformando el grupo junto a T1 (21,56 cm). Los restantes tratamientos sin diferencias significativas entre si, conformaron el mejor grupo, encabezado por el T3 (23,02 cm).

**Tabla 43.** Prueba de contrastes ortogonales, factor “tratamiento\*edad”, variable diámetro-DAP, componente *Grevillea robusta* de la plantación mixta de Blanco. Periodo de control 5 – 9 años

Contraste	Edad	E.E.	F	p-valor	Contrastes Realizados
Ct.1	5	1,35	2,87	0,0946	Entre todos los tratamientos incluido el T0 (sin raleo)
Ct.2	6	1,66	1,50	0,2243	
Ct.3	7	2,11	0,63	0,4306	
Ct.4	8	2,51	0,11	0,7413	
Ct.5	9	3,02	0,07	0,7894	
Ct.6	5	1,15	4,41	0,0394	Entre todos los tratamientos de raleos. Excluye al T0 (sin raleo)
Ct.7	6	1,40	3,27	0,0750	
Ct.8	7	1,79	1,67	0,2001	
Ct.9	8	2,12	0,77	0,3848	
Ct.10	9	2,55	0,08	0,7780	
Ct.11	5	0,50	2,74	0,1027	Entre todos los tratamientos de raleos libres. Se excluyen el T0, T2, T3 y T5
Ct.12	6	0,62	2,48	0,1200	
Ct.13	7	0,79	1,01	0,3184	
Ct.14	8	0,94	0,07	0,7868	
Ct.15	9	1,14	0,02	0,8924	
Ct.16	5	0,49	0,31	0,5777	Entre todos los tratamientos de raleos condicionados. Se excluyen el T0, T1, T4 y T6
Ct.17	6	0,60	0,33	0,5667	
Ct.18	7	0,78	0,05	0,8238	
Ct.19	8	0,93	0,03	0,8633	
Ct.20	9	1,13	0,00	0,9470	
Ct.21	5	0,28	5,87	0,0180	Entre todos los tratamientos con raleos fuertes. Se excluyen el T0, T1, T2, T4 y T5
Ct.22	6	0,35	3,34	0,0720	
Ct.23	7	0,45	2,88	0,0944	
Ct.24	8	0,54	3,41	0,0691	
Ct.25	9	0,65	1,68	0,1997	

De acuerdo a los resultados consignados en la Tabla 44 para la variable área basal-AB del factor de interacción “tratamiento\*edad”, se rechazó la hipótesis de igualdad entre

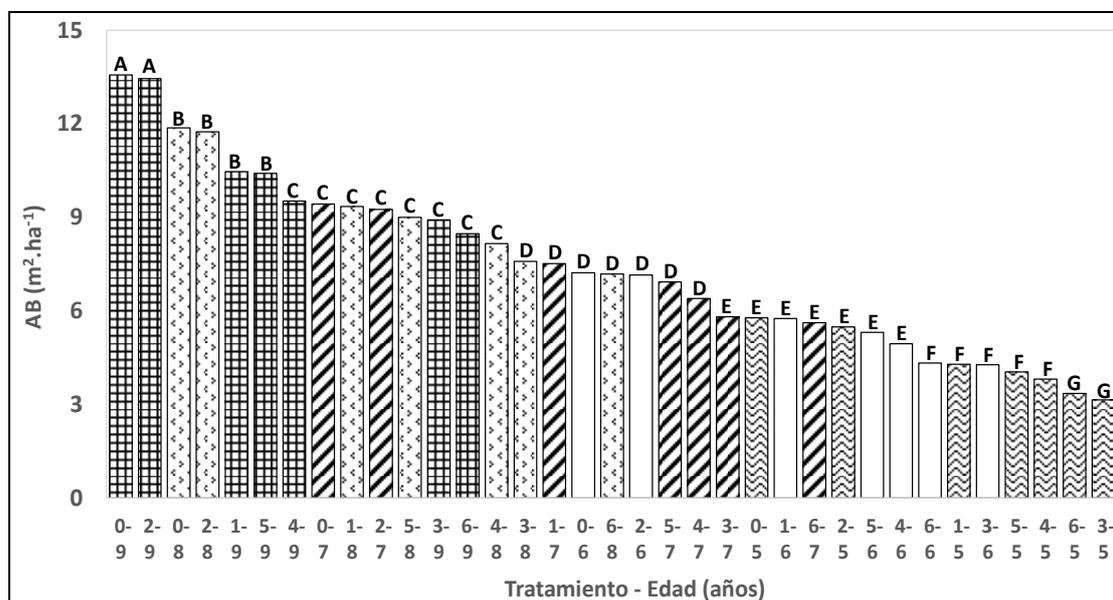
las medias al realizarse la prueba de contrastes entre todos los tratamientos. Similar respuesta se logró al compararse solo los tratamientos con intervención de raleo (es decir, sin T0) y cuando se efectuó la comparación solamente entre los tratamientos de raleo libre (T1 con 25% de intensidad de raleo; T4 con 38% de intensidad de raleo; T6 con 50% de intensidad de raleo). Al finalizar el ensayo la máxima área basal se registró en T0 y T2 (13,57 y 13,45 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, respectivamente) y la menor en T6 (8,48 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>).

**Tabla 44.** Prueba de contrastes ortogonales, factor “tratamiento\*edad”, variable área basal-AB, componente *Grevillea robusta* de la plantación mixta de Blanco. Periodo de control 5 – 9 años

<b>Contraste</b>	<b>Edad</b>	<b>E.E.</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>	<b>Contrastes Realizados</b>
Ct.1	5	2,10	9,38	0,0031	Entre todos los tratamientos incluido el T0 (sin raleo)
Ct.2	6	2,38	13,31	0,0005	
Ct.3	7	2,99	15,18	0,0002	
Ct.4	8	3,59	16,61	0,0001	
Ct.5	9	4,63	11,18	0,0013	
Ct.6	5	1,78	5,10	0,0270	Entre todos los tratamientos de raleos. Excluye al T0 (sin raleo)
Ct.7	6	2,01	8,30	0,0053	
Ct.8	7	2,52	9,60	0,0028	
Ct.9	8	3,03	10,73	0,0016	
Ct.10	9	3,91	7,04	0,0099	Entre todos los tratamientos de raleos libres. Se excluyen el T0, T2, T3 y T5
Ct.11	5	0,79	3,09	0,0833	
Ct.12	6	0,90	5,21	0,0255	
Ct.13	7	1,13	5,65	0,0203	
Ct.14	8	1,36	5,39	0,0232	
Ct.15	9	1,75	3,02	0,0869	Entre todos los tratamientos de raleos condicionados. Se excluyen el T0, T1, T4 y T6
Ct.16	5	0,81	0,47	0,4959	
Ct.17	6	0,91	0,79	0,3778	
Ct.18	7	1,14	1,10	0,2982	
Ct.19	8	1,36	0,95	0,3319	
Ct.20	9	1,76	0,79	0,3767	Entre todos los tratamientos con raleos fuertes. Se excluyen el T0, T1, T2, T4 y T5
Ct.21	5	0,47	0,19	0,6673	
Ct.22	6	0,53	0,01	0,9108	
Ct.23	7	0,66	0,08	0,7738	
Ct.24	8	0,79	0,27	0,6050	
Ct.25	9	1,02	0,19	0,6612	

Una perspectiva gráfica del comportamiento del área basal-AB de *G. robusta* durante el período 5 – 9 años de edad se observa en la Figura 53. La situación registrada entre los diferentes tratamientos inmediatamente de instalado el ensayo de raleo (corresponde al AB del año 5), no se modificó hasta el último año de control (año 9). De este modo, para cada edad el grupo con mayor cobertura leñosa está compuesto por los

tratamientos T0 y T2; el grupo siguiente conformado por tratamientos T1 y T5; el tercer grupo constituido por T3 y T4; y el grupo con menor área basal representado por T6.



**Figura 53.** Comparaciones de medias por tratamiento y edad, variable área basal-AB de la componente *Grevillea robusta*. Plantación mixta de Blanco. Periodo de control 5 – 9 años.

**Medias con letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ )**

Referencias gráficas: Edad 9 años. Edad 8 años. Edad 7 años. Edad 6 años. Edad 5 años.

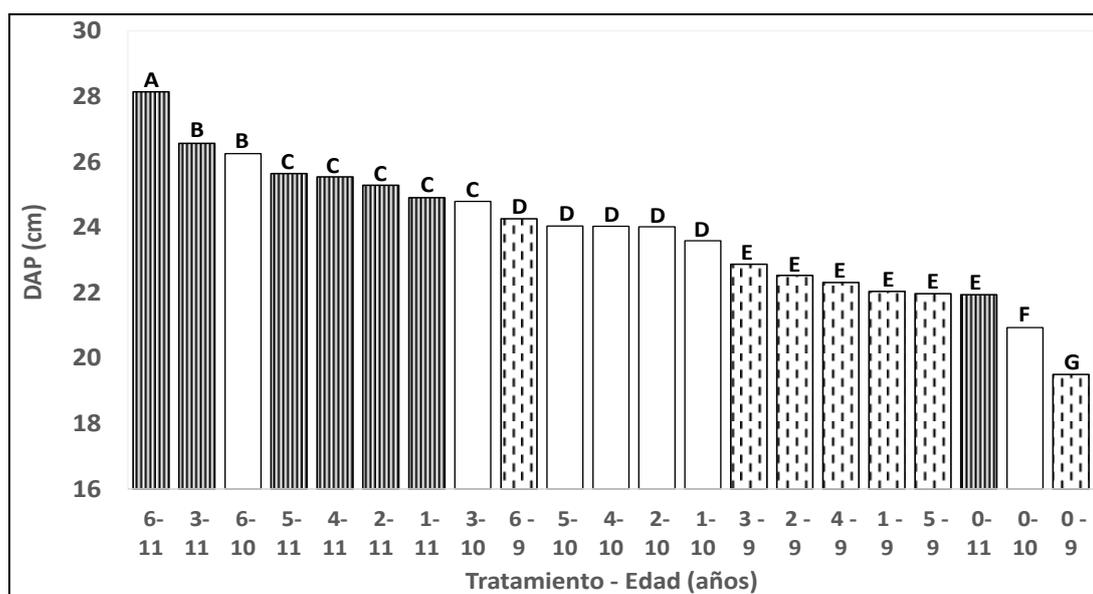
De acuerdo a los resultados referidos en Tabla 42, en el análisis de varianza realizado con la variable volumen de fuste el p-valor (0,6428) resultó superior al nivel de significancia ( $\alpha = 0,05$ ). No se evidenciaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. En este marco de indiferenciación a los 9 años se registró  $48,35 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  en T2, mientras que en T0 se calculó  $38,38 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  y la menor volumetría se observó en el T6 con  $32,45 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ .

La Tabla 45 contiene los resultados de la prueba de contrastes para el diámetro – DAP de *G. robusta*. En el análisis se destaca la edad de 10 años donde se observaron diferencias estadísticas significativas en diversos contrastes efectuados.

Al finalizar el ensayo en ningún caso se encontraron evidencias para rechazar la hipótesis de igualdad de medias entre tratamientos ( $\alpha = 0,05$ ), observándose los mayores diámetros medios en T6 y T3 (26,36 y 26,29 cm, respectivamente) y el menor diámetro en T0 con 24,29 cm. Mayores detalles del ordenamiento anual de los tratamientos se presentan en Figura 54.

**Tabla 45.** Prueba de contrastes ortogonales, factor “tratamiento \* edad”, variable diámetro-DAP, componente *Grevillea robusta* de la plantación mixta de Blanco. Periodo de control 9 – 11 años

Contraste	Edad	E.E.	F	p-valor	Contrastes Realizados
Ct.1	9	1,65	4,99	0,0310	Entre todos los tratamientos incluido el T0 (sin raleo)
Ct.2	10	1,65	13,92	0,0006	
Ct.3	11	1,65	3,26	0,0782	
Ct.4	9	1,35	3,37	0,0737	Entre todos los tratamientos de raleos. Excluye al T0 (sin raleo)
Ct.5	10	1,35	9,22	0,0041	
Ct.6	11	1,35	2,57	0,1165	
Ct.7	9	0,61	5,74	0,0212	Entre todos los tratamientos de raleos libres. Se excluyen el T0, T2, T3 y T5
Ct.8	10	0,61	15,44	0,0003	
Ct.9	11	0,61	3,92	0,0544	
Ct.10	9	0,59	1,31	0,2583	Entre todos los tratamientos de raleos condicionados (2G:1P). Se excluyen el T0, T1, T4 y T6
Ct.11	10	0,59	1,02	0,3181	
Ct.12	11	0,59	0,86	0,3600	



**Figura 54.** Comparaciones de medias por tratamiento y edad, variable diámetro-DAP de la componente *Grevillea robusta*. Plantación mixta de Blanco. Periodo de control 9 – 11 años.

**Medias con letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ )**

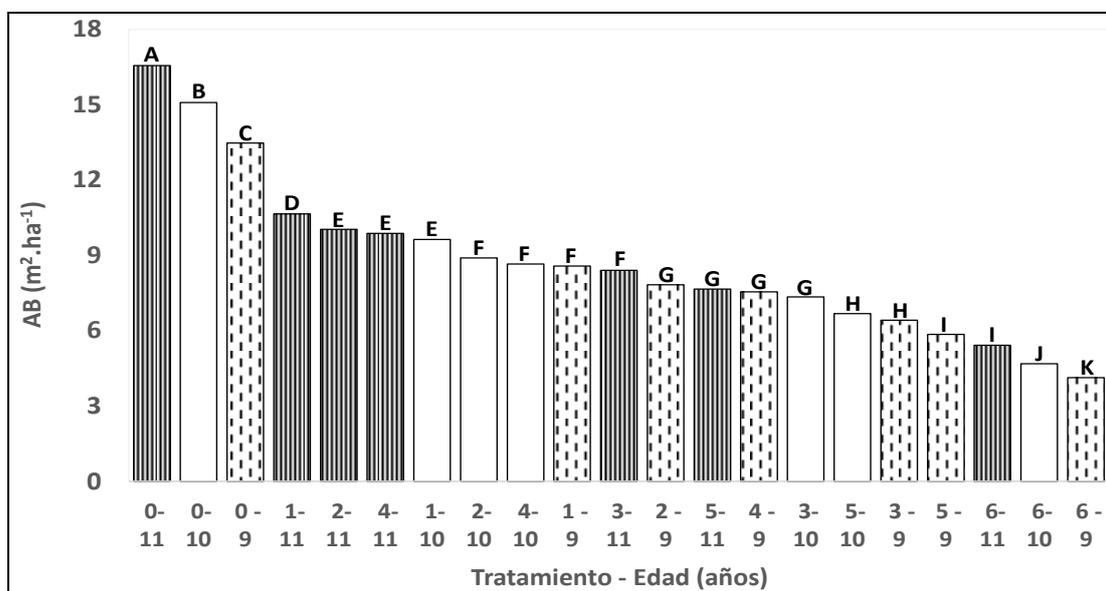
Referencias gráficas: Edad 11 años. Edad 10 años. Edad 9 años.

En Tabla 46 se consignan resultados para la variable área basal-AB. Salvo en la prueba realizada entre los tratamientos con raleos condicionados (T2, T3 y T5), en las restantes comparaciones se rechazó la hipótesis de igualdad entre las medias de los

tratamientos. Al final del ensayo la mayor área basal se observó en el T0 (sin raleo), único en el grupo, con 16,55 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>; el menor valor en T6 (52% intensidad de raleo) con 5,42 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>; restantes tratamientos T1-T2-T4-T3-T5 distribuidos entre estos dos grupos, en ese orden decreciente. Detalles del ordenamiento se observan en Figura 55.

**Tabla 46.** Prueba de contrastes ortogonales, factor “tratamiento\*edad”, variable área basal-AB, componente *Grevillea robusta* de la plantación mixta de Blanco. Periodo de control 9 – 11 años

Contraste	Edad	E.E.	F	p-valor	Contrastes Realizados
Ct.1	9	5,25	28,75	<0,0001	Entre todos los tratamientos incluido el T0 (sin raleo)
Ct.2	10	6,07	25,42	<0,0001	
Ct.3	11	4,74	27,61	<0,0001	
Ct.4	9	4,44	16,02	0,0002	Entre todos los tratamientos de raleos. Excluye al T0 (sin raleo)
Ct.5	10	5,13	14,42	0,0005	
Ct.6	11	4,01	15,09	0,0004	
Ct.7	9	1,98	20,15	0,0001	Entre todos los tratamientos de raleos libres. Se excluyen el T0, T2, T3 y T5
Ct.8	10	2,29	17,78	0,0001	
Ct.9	11	1,79	19,24	0,0001	
Ct.10	9	1,98	2,10	0,1547	Entre todos los tratamientos de raleos condicionados (2G:1P). Se excluyen el T0, T1, T4 y T6
Ct.11	10	2,29	1,87	0,1792	
Ct.12	11	1,79	2,01	0,1631	



**Figura 55.** Comparaciones de medias por tratamiento y edad, variable área basal-AB de la componente *Grevillea robusta*. Plantación mixta de Blanco. Periodo de control 9 – 11 años.

**Medias con letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ )**

Referencias gráficas: Edad 11 años. Edad 10 años. Edad 9 años.

Respecto del área basal, una vez finalizada la instalación del segundo ensayo de raleo (edad 9 años), en la plantación mixta tratada quedaron conformados seis grupos distintos. El tratamiento T0 con la mayor AB y el tratamiento T6 con la menor área basal. Entre esos dos extremos se ubican los restantes tratamientos en cuatro grupos. Esta estratificación y orden de los grupos se repite exactamente dos años después (11 años de edad).

En relación al volumen de fuste cabe aclarar que en el análisis de varianza efectuado (ver Tabla 42) se obtuvo un p-valor = 0,1142, superior al nivel de significancia ( $\alpha = 0,05$ ). Es decir, no existen diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. En este contexto, al finalizar el ensayo el mayor volumen se registró en T0 con 42,41 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>; un valor intermedio de 31,24 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> en T3 y la menor volumetría en T6 con 19,77 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.

**4.5.2.3 Ensayos de Nofal.** En las Tablas 47 y 48 se consignan expresamente los valores de los Criterios de Información de Akaike (AIC) y Bayesiano (BIC) y del coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>), para el conjunto de datos de cada una de las especies *M. azedarach* y *G. robusta* de la plantación mixta de Nofal, correspondientes a los modelos estadísticos 5 y 4 (un único caso), considerando las variables diámetro medio (DAP), área basal (AB) y volumen de fuste (VF).

**Tabla 47.** Valores de criterios de verosimilitud penalizada. Especie: *Melia azedarach* de la plantación mixta de Nofal.

Ensayo	Edad Control (años)	Variable	Modelo	N	AIC	BIC	R <sup>2</sup>
Primero	6 – 9	DAP	5	72	150,1	209,3	0,94
Primero	6 – 9	AB	5	72	107,2	166,4	0,91
Primero	6 – 9	VF	5	72	258,4	316,4	0,83
Segundo	9 – 11	DAP	5	54	110,8	149,7	0,92
Segundo	9 – 11	AB	5	54	128,3	166,3	0,76
Segundo	9 – 11	VF	5	54	231,4	266,2	0,81

Como ya se expresó, en estos dos modelos, y especialmente en el 5, es donde se obtuvieron los valores más bajos de AIC y BIC, y consecuentemente, han sido seleccionados para el análisis estadístico de los datos procedentes de los dos ensayos de raleo efectuado en esta plantación mixta.

**Tabla 48.** Valores de criterios de verosimilitud penalizada. Especie: *Grevillea robusta* de la plantación mixta de Nofal.

Ensayo	Edad Control (años)	Variable	Modelo	N	AIC	BIC	R <sup>2</sup>
Primero	6 – 9	DAP	5	72	84,2	143,5	0,96
Primero	6 – 9	AB	5	72	68,6	126,6	0,96
Primero	6 – 9	VF	5	72	196,5	254,5	0,96
Segundo	9 – 11	DAP	4	54	61,7	97,5	0,98
Segundo	9 – 11	AB	5	54	112,3	150,3	0,91
Segundo	9 – 11	VF	5	54	211,3	249,3	0,88

En la Tabla 49 se expresan de forma resumida los resultados estadísticos de las pruebas de hipótesis del análisis del modelo lineal mixto (modelo 5), para *M. azedarach*.

**Tabla 49.** Resultados de las pruebas de hipótesis para *Melia azedarach*. Plantación mixta de Nofal.

Variable Dependiente	Primer Ensayo		Segundo Ensayo	
	Periodo 6 - 9 años		Periodo 9 - 11 años	
	Factor	p – valor	Factor	p – valor
DAP	Tra	0,0001	Tra	0,0002
	Edad	< 0,0001	Edad	< 0,0001
	DAP ar1	0,0002	DAP ar2	0,0004
	Tra*Edad	0,0001	Tra*Edad	0,0011
AB	Tra	0,0001	Tra	0,0022
	Edad	< 0,0001	Edad	< 0,0001
	N ar1	0,0012	N ar2	0,1819
	Tra*Edad	< 0,0001	Tra*Edad	0,0940
VF	Tra	0,0443	Tra	0,0014
	Edad	< 0,0001	Edad	< 0,0001
	Tra*Edad	0,0496	Tra*Edad	0,0632

En el primer ensayo de raleo, todas las pruebas en que los modelos incluyeron las covariables “DAP ar1” y “N ar1” (diámetro medio y área basal antes del primer ensayo, respectivamente), se registran diferencias estadísticas significativas (valores de  $p < 0,05$ ), lo cual pone en evidencia que las respuestas de la variable dependiente han estado influenciadas por dichas covariables.

Resultado similar se obtiene en el segundo ensayo al utilizarse la covariable “DAP ar2”. En cambio, al incorporarse en el modelo la covariable “N ar2”, el resultado es diferente, registrándose un  $p = 0,1819$ , mayor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0,05$ ).

En la consideración del factor “tratamiento \* edad” se identificaron diferencias estadísticas significativas ( $p < 0,05$ ) en los efectos originados en las variables DAP (en los dos ensayos), AB y VF del primer ensayo. Es decir, en estos casos el efecto del tratamiento no es independiente de la edad de la plantación. En tanto en las respuestas del segundo ensayo del AB y VF, el factor “tratamiento \* edad” no ejerce ningún efecto que sea estadísticamente significativo.

El factor tratamiento tiene un efecto estadísticamente significativo ( $p < 0,05$ ) al considerarse las tres variables dependientes (DAP, AB y VF) en los dos ensayos de raleos (períodos 6–9 y 9–11 años).

En la Tabla 50 se exponen los resultados de la prueba de contrastes realizada con valores de diámetro.

**Tabla 50.** Prueba de contrastes ortogonales, factor “tratamiento\*edad”, variable diámetro-DAP, componente *Melia azedarach* de la plantación mixta de Nofal. Periodo de control 6 – 9 años.

Contraste	Edad	E.E.	F	p-valor	Contrastes Realizados
Ct.1	6	1,31	11,34	0,0015	
Ct.2	7	1,83	14,48	0,0004	Entre todos los tratamientos incluido el T0 (sin raleo)
Ct.3	8	3,30	3,56	0,0655	
Ct.4	9	3,44	4,80	0,0335	
Ct.5	6	1,07	2,26	0,1395	Entre todos los tratamientos de raleos, excluyendo al T0 (sin raleo)
Ct.6	7	1,50	4,06	0,0495	
Ct.7	8	2,69	1,48	0,2297	
Ct.8	9	2,81	2,31	0,1354	
Ct.9	6	0,35	4,36	0,0423	Solo entre T2 (36%) y T3 (54%) con relación de 1G:1P
Ct.10	7	0,48	7,42	0,0090	
Ct.11	8	0,86	2,25	0,1406	
Ct.12	9	0,89	3,25	0,0779	
Ct.13	6	0,34	0,31	0,5774	Solo entre T4 (35%) y T5 (52%), de raleos libres
Ct.14	7	0,47	2,20	0,1444	
Ct.15	8	0,85	1,52	0,2241	
Ct.16	9	0,89	3,26	0,0773	

Se constataron diferencias estadísticas significativas al realizarse la comparación entre todos los tratamientos; el T0 sin raleo resultó diferente de los tratamientos con raleos. También se evidenciaron diferencias en la comparación de los dos tratamientos con raleo condicional de 1G:1P, de intensidad moderada (T2) a fuerte (T3). El mayor diámetro se constató en las parcelas con mayor intensidad de raleo.

Las diferencias aludidas se registraron desde el inicio del ensayo (condición establecida experimentalmente) y permanecieron hasta el último control. Es decir, las diferencias entre las unidades experimentales no están asociadas a diferencias de crecimiento diamétrico derivadas de los tratamientos aplicados. Ejemplo: después de tres años de aplicado el ensayo el crecimiento medio acumulado en los tratamientos extremos T5 y T0 fue 6,38 y 5,92 cm.

A los 9 años de edad al concluir el ensayo el mejor grupo tenía un diámetro medio de T5 = 21,92 cm, el peor grupo registró un valor medio de T0 = 18,65 cm y los otros tratamientos conformando un grupo intermedio quedaron ordenados así T3-T1-T4-T2.

En la Tabla 51 se presentan los resultados de la prueba de contrastes realizada con el área basal.

**Tabla 51.** Prueba de contrastes ortogonales, factor "tratamiento\*edad", variable área basal-AB, componente *Melia azedarach* de la plantación mixta de Nofal. Periodo de control 6 – 9 años.

Contraste	Edad	E.E.	F	p-valor	Contrastes Realizados
Ct.1	6	1,14	26,24	<0,0001	
Ct.2	7	1,37	17,66	0,0001	Entre todos los tratamientos incluido el T0 (sin raleo)
Ct.3	8	2,19	2,35	0,1319	
Ct.4	9	3,08	0,50	0,4846	
Ct.5	6	0,94	13,56	0,0006	
Ct.6	7	1,13	8,41	0,0057	Entre todos los tratamientos de raleos, excluyendo al T0 (sin raleo)
Ct.7	8	1,79	1,27	0,2663	
Ct.8	9	2,52	0,27	0,6041	
Ct.9	6	0,30	5,22	0,0268	
Ct.10	7	0,36	2,40	0,1279	Solo entre T2 (36%) y T3 (54%) con relación de 1G:1P
Ct.11	8	0,57	0,18	0,6752	
Ct.12	9	0,80	0,01	0,9431	
Ct.13	6	0,31	13,08	0,0007	
Ct.14	7	0,37	7,10	0,0105	Solo entre T4 (35%) y T5 (52%), de raleos libres
Ct.15	8	0,57	0,29	0,5910	
Ct.16	9	0,80	0,01	0,9244	

En las pruebas de contrastes se evidenciaron diferencias estadísticas significativas en todas las comparaciones solo a las edades de 6 y 7 años. Las diferencias registradas en el inicio del ensayo obedecen a las condiciones experimentales establecidas por la investigación.

En relación a la dinámica del área basal en el contexto del ensayo de manejo de la densidad se observó que a la edad de 6 años, las unidades experimentales después del raleo quedaron distribuidos en tres grupos. En los años siguientes se produjo una modificación en el ordenamiento de la composición de los grupos, llegándose al final del ensayo con solo dos grupos. En el proceso de diferenciación el T1 se destacó por la mejora progresiva en su posicionamiento ( $5,91 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$  a los 6 años), llegando a los 9 años donde se constituyó en el tratamiento con la máxima área basal. Paralelamente a esta situación se originó una disminución gradual de la condición superior de área basal del T0 sin raleo ( $6,72 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$  a los 6 años), llegando al final del ensayo ubicado en el segundo grupo junto al resto de los tratamientos. Desde el punto de vista silvicultural el retroceso del T0 respecto del T1, se explica por la mortalidad natural registrada en la parcela testigo, debido a la espesura excesiva.

A los 9 años de edad, al finalizar el ensayo, el mejor grupo tenía un área basal de  $T1 = 10,42 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$  y en el segundo grupo ordenado así T0-T4-T5-T3-T2 se registró la menor área basal de  $T2 = 8,40 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ .

En la Tabla 52 se muestran los resultados de la prueba de contrastes realizada con el volumen de fuste.

**Tabla 52.** Prueba de contrastes ortogonales, factor "tratamiento\*edad", variable volumen de fuste-VF, componente *Melia azedarach* de la plantación mixta de Nofal. Periodo de control 6 – 9 años.

Contraste	Edad	E.E.	F	p-valor	Contrastes Realizados
Ct.1	6	10,02	2,68	0,1081	
Ct.2	7	11,50	1,70	0,1988	Entre todos los tratamientos incluido el T0 (sin raleo)
Ct.3	8	13,71	0,29	0,5914	
Ct.4	9	15,98	0,04	0,8477	
Ct.5	6	8,18	1,22	0,2757	
Ct.6	7	9,39	0,78	0,3803	Entre todos los tratamientos de raleos, excluyendo al T0 (sin raleo)
Ct.7	8	11,19	0,11	0,7474	
Ct.8	9	13,05	0,01	0,9261	
Ct.9	6	2,59	0,01	0,9143	
Ct.10	7	2,97	0,20	0,6531	Solo entre T2 (36%) y T3 (54%) con relación de 1G:1P
Ct.11	8	3,54	0,49	0,4887	
Ct.12	9	4,13	0,98	0,3262	
Ct.13	6	2,59	2,57	0,1152	
Ct.14	7	2,97	1,93	0,1708	Solo entre T4 (35%) y T5 (52%), de raleos libres
Ct.15	8	3,54	0,23	0,6359	
Ct.16	9	4,13	0,07	0,7910	

Respecto al volumen de fuste la diferenciación estadística leve entre tratamientos registrada en el análisis de varianza ( $p = 0,0443$  en Tabla 49) no se corroboró en la prueba de contrastes. En ningún caso se registraron diferencias estadísticas significativas por lo que no se rechazó la hipótesis de igualdad de medias entre tratamientos. A los 9 años de edad al finalizar el ensayo, el volumen de fuste más alto se registró en  $T1 = 44,11 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  y el valor más bajo se constató en el  $T2 = 33,00 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ .

A continuación se realiza el análisis del comportamiento de *M. azedarach* en el segundo ensayo (período de 9 – 11 años).

En relación al diámetro medio – DAP se registraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos en el análisis de varianza (Tabla 49) y en la prueba de contrastes (Tabla 53) realizada entre todos los tratamientos y en las comparaciones en las que fue excluido el tratamiento sin raleo (T0).

**Tabla 53.** Prueba de contrastes ortogonales, factor “tratamiento\*edad”, variable diámetro-DAP, componente *Melia azedarach* de la plantación mixta de Nofal. Periodo de control 9 – 11 años.

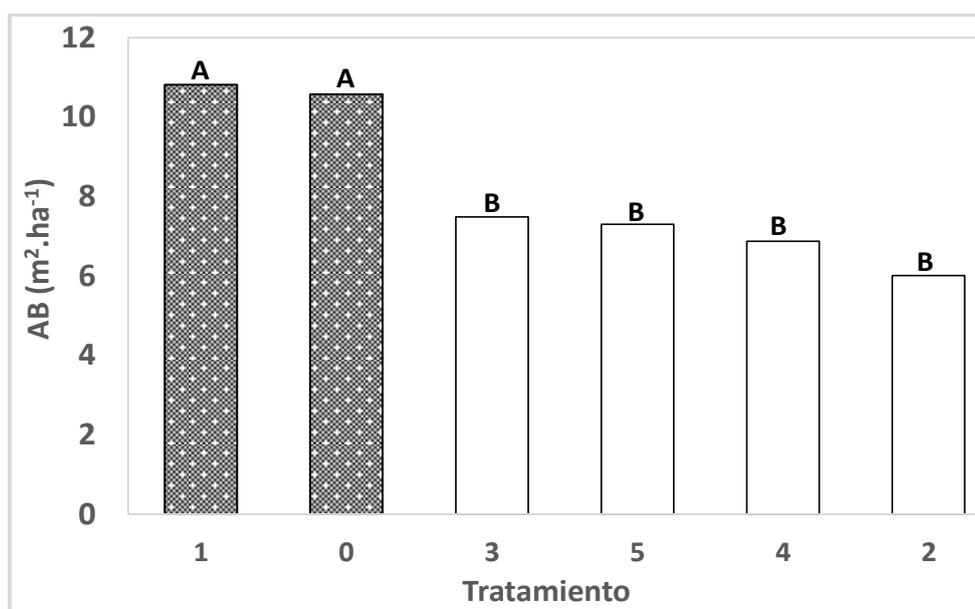
Contraste	Edad	E.E.	F	p-valor	Contrastes Realizados
Ct.1	9	3,39	12,48	0,0012	Entre todos los tratamientos incluido el T0 (sin raleo)
Ct.2	10	4,31	11,27	0,0019	
Ct.3	11	2,74	10,13	0,0031	
Ct.4	9	2,69	7,37	0,0102	Entre todos los tratamientos de raleos, excluyendo al T0 (sin raleo)
Ct.5	10	3,46	6,96	0,0124	
Ct.6	11	2,14	6,55	0,0150	
Ct.7	9	0,83	0,39	0,5362	Solo entre T2 (35%) y T4 (26%) con relación de 2G:1P
Ct.8	10	1,08	0,00	0,9865	
Ct.9	11	0,65	0,61	0,4397	
Ct.10	9	0,83	2,75	0,1061	Solo entre T3 (30%) y T5 (45%), de raleos libres
Ct.11	10	1,07	2,68	0,1106	
Ct.12	11	0,65	2,64	0,1129	

Al comienzo del ensayo (edad 9 años) se observó la existencia de dos grupos distintos. Un grupo constituido por T0 y T1 con los diámetros menores (condición razonable, dado que estos tratamientos tenían las densidades máximas). El segundo grupo principal conformado por los restantes tratamientos que registran los mayores promedios de diámetro. Dos años después (11 años de edad) hubo una marcada diferenciación entre tratamientos, conformándose cuatro grupos. El mejor con un

diámetro medio de T5 = 28,46 cm, el segundo grupo conformado por T2-T4-T3 con el mayor valor medio en T2 = 26,77 cm, En el extremo opuesto se ubicó el T5 (grupo A), el tercer grupo por T1 = 24,50 cm y el peor tratamiento, cuarto grupo, integrado por T0 = 23,11 cm.

Respecto del área basal-AB de *M. azedarach* durante el periodo 9 a 11 años de edad no se evidenció interacción estadística significativa entre tratamientos y edad. Si bien en la comparación de medias quedaron constituidos dos grupos (Figura 56), es conveniente aclarar que dichos grupos ya fueron observados al comienzo del ensayo (9 años de edad).

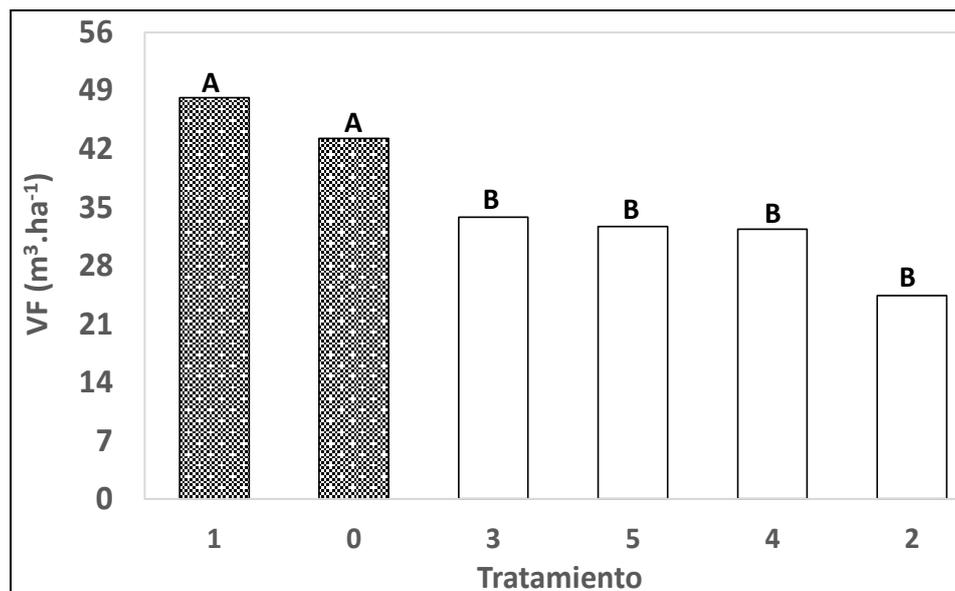
Los tratamientos T0 y T1 con la mayor densidad post-raleo constituyen el grupo con mayor área basal. En tanto, los tratamientos T3-T5-T4-T2 con moderada a fuerte intensidad de raleo conforman el grupo de tratamientos con menor área basal.



**Figura 56.** Comparaciones de medias por tratamiento para la variable área basal-AB, de la componente *Melia azedarach*. Plantación mixta de Nofal. Periodo de control 9 – 11 años.

**Medias con letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ )**

La Figura 57 representa el volumen de fuste-VF por tratamiento de *M. azedarach* durante el periodo de 9 – 11 años de edad. La diferenciación de los grupos al momento de instalación del ensayo y la tendencia de los resultados, son similares a la descrita para la variable área basal-AB, conformándose dos grupos diferentes estadísticamente (Grupo A: T1 y T0. Grupo B: T3, T5, T4 y T2). Es decir, se observa una alta correspondencia entre estas dos variables dasométricas (AB y VF).



**Figura 57.** Comparaciones de medias por tratamiento para la variable volumen de fuste-VF, de la componente *Melia azedarach*. Plantación mixta de Nofal. Periodo de control 9 – 11 años.

**Medias con letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ )**

A continuación en la Tabla 54 se expresan los resultados de las pruebas de hipótesis obtenidos de la aplicación de los modelos antes consignados para *G. robusta*.

**Tabla 54.** Resultados de las pruebas de hipótesis para *Grevillea robusta*. Plantación mixta de Nofal.

Variable Dependiente	Primer Ensayo		Segundo Ensayo	
	Factor	p – valor	Factor	p – valor
DAP	Tra	0,0325	Tra	0,0013
	Edad	< 0,0001	Edad	< 0,0001
	DAP ar1	0,0033	DAP ar2	< 0,0001
	Tra*Edad	< 0,0001	Tra*Edad	0,0001
AB	Tra	< 0,0001	Tra	0,0001
	Edad	< 0,0001	Edad	< 0,0001
	N ar1	0,4674	N ar2	0,6338
	Tra*Edad	< 0,0001	Tra*Edad	< 0,0001
VF	Tra	0,0002	Tra	0,0014
	Edad	< 0,0001	Edad	< 0,0001
	Tra*Edad	< 0,0001	Tra*Edad	0,0632

Al incorporarse una covariable (DAP ar1 y DAP ar2, respectivamente) como factor de análisis en relación a la variable DAP, se observa la existencia de diferencias estadísticas significativas tanto en el primer ensayo como en el segundo. En cambio al

analizarse los resultados referidos a la variable área basal – AB luego de incluirse en el modelo una covariable (N ar1 y N ar2, respectivamente), se logran evidencias claras de inexistencia de diferencias estadísticas significativas en los dos ensayos.

Salvo el examen realizado con el volumen de fuste durante el segundo ensayo, en los restantes análisis se registraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en los efectos originados en el DAP, AB y VF en los dos ensayos de raleos. Es decir, en la evaluación estadística el efecto del tratamiento no ha sido independiente de la edad de la plantación.

Si bien en el análisis de varianza para la variable diámetro se consignan diferencias estadísticas significativas (Tabla 54), en la prueba de contrastes (Tabla 55) efectuada para el factor “tratamiento \* edad” en ningún caso se encontraron evidencias para rechazar la hipótesis de igualdad entre las medias de los tratamientos.

**Tabla 55.** Prueba de contrastes ortogonales, factor “tratamiento\*edad”, variable diámetro-DAP, componente *Grevillea robusta* de la plantación mixta de Nofal. Periodo de control 6 – 9 años.

Contraste	Edad	E.E.	F	p-valor	Contrastes Realizados
Ct.1	6	2,50	0,022	0,8821	Entre todos los tratamientos incluido el T0 (sin raleo)
Ct.2	7	2,31	0,083	0,7749	
Ct.3	8	2,23	0,685	0,4122	
Ct.4	9	2,37	0,920	0,3424	
Ct.5	6	2,10	0,374	0,5436	Entre todos los tratamientos de raleos, excluyendo al T0 (sin raleo)
Ct.6	7	1,94	0,169	0,6826	
Ct.7	8	1,88	0,031	0,8615	
Ct.8	9	1,99	0,026	0,8717	
Ct.9	6	0,63	0,115	0,7361	Solo entre T2 (36%) y T3 (54%) con relación de 1G:1P
Ct.10	7	0,58	0,163	0,6880	
Ct.11	8	0,56	0,097	0,7568	
Ct.12	9	0,59	0,310	0,5806	
Ct.13	6	0,68	0,300	0,5863	Solo entre T4 (35%) y T5 (52%), de raleos libres
Ct.14	7	0,63	0,276	0,6015	
Ct.15	8	0,61	0,017	0,8960	
Ct.16	9	0,64	0,003	0,9548	

Esta llamativa falta de diferenciación estadística entre tratamientos de raleos (no incluye al T0) al considerarse una variable tan sensible al manejo como es el diámetro, es posible que encuentre explicación en dos hechos: una, a que se ingresó a una fase de desarrollo de los árboles de grevillea en que el vigor de crecimiento diamétrico resulta inferior a los máximos crecimientos registrados en años anteriores. Y dos, a una

característica cultural de la especie que se observó en este estudio, que se refiere al hecho que los ejemplares de grevillea requieren poco espacio para expresar su potencial de crecimiento. Entonces, cuando se les brinda o disponen más área que el mínimo vital para crecer adecuadamente, simplemente no la aprovechan. Ese mayor espacio resultaría un recurso en exceso, innecesario para la especie.

En el análisis del diámetro se observó que al inicio del ensayo (6 años de edad) el T0 fue el único diferente estadísticamente del resto de los tratamientos. Esta situación particular se mantuvo inalterable durante el periodo que duró el ensayo. En otras palabras, independientemente del grado de apertura del dosel como consecuencia de las intensidades de raleo practicadas, el crecimiento diamétrico de los árboles de las diferentes unidades experimentales, en ningún caso fue suficientemente pequeño o grande como para superar o romper las diferencias diamétricas intertratamientos establecidas al inicio del ensayo. A los 9 años el mejor grupo estuvo integrado por T3-T2-T4-T5-T1, registrándose el mayor diámetro medio en T3 = 20,68 cm y el segundo grupo representado solo por T0 = 17,62 cm.

En Tabla 56 se presenta resultados de la prueba realizada con área basal.

**Tabla 56.** Prueba de contrastes ortogonales, factor "tratamiento\*edad", variable área basal-AB, componente *Grevillea robusta* de la plantación mixta de Nofal. Periodo de control 6 – 9 años.

Contraste	Edad	E.E.	F	p-valor	Contrastes Realizados
Ct.1	6	1,43	56,57	<0,0001	Entre todos los tratamientos incluido el T0 (sin raleo)
Ct.2	7	1,91	47,46	<0,0001	
Ct.3	8	2,42	38,42	<0,0001	
Ct.4	9	2,73	38,64	<0,0001	
Ct.5	6	1,17	33,64	<0,0001	Entre todos los tratamientos de raleos, excluyendo al T0 (sin raleo)
Ct.6	7	1,56	27,93	<0,0001	
Ct.7	8	1,98	23,11	<0,0001	
Ct.8	9	2,23	23,67	<0,0001	
Ct.9	6	0,37	29,79	<0,0001	Solo entre T2 (36%) y T3 (54%) con relación de 1G:1P
Ct.10	7	0,49	26,93	<0,0001	
Ct.11	8	0,62	25,90	<0,0001	
Ct.12	9	0,70	25,16	<0,0001	
Ct.13	6	0,37	82,69	<0,0001	Solo entre T4 (35%) y T5 (52%), de raleos libres
Ct.14	7	0,49	74,31	<0,0001	
Ct.15	8	0,62	63,26	<0,0001	
Ct.16	9	0,70	64,76	<0,0001	

En todas las pruebas de contrastes efectuadas con el área basal se registraron diferencias estadísticas significativas ( $p < 0,05$ ). Al finalizar el ensayo a los 9 años de edad quedaron constituidos tres grupos (estos mismos ya fueron observados a la edad de 6 años), el mejor integrado por T0-T4 con el mayor valor en T0 = 12,85 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, el segundo grupo representado solo por T2 = 11,24 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> y el tercer grupo conformado por T3-T5-T1 con la menor área basal en T1 = 6,42 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>.

En cuanto al volumen de fuste, de acuerdo a los resultados expuestos en Tabla 57, en todas las pruebas de contrastes se registraron diferencias estadísticas significativas ( $p < 0,05$ ). Es decir, se rechaza la hipótesis de igualdad entre los tratamientos. Tanto en el inicio del ensayo como en su finalización se distinguieron dos grupos de tratamientos. El que registró mejor respuesta integrado por T4-T0-T2 con el mayor volumen en T4 = 44,86 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> y el segundo grupo representado por T3-T5-T1 con el menor volumen en T1 = 22,85 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.

**Tabla 57.** Prueba de contrastes ortogonales, factor "tratamiento\*edad", variable volumen de fuste-VF, componente *Grevillea robusta* de la plantación mixta de Nofal. Periodo de control 6 – 9 años.

Contraste	Edad	E.E.	F	p-valor	Contrastes Realizados
Ct.1	6	5,43	39,02	<0,0001	Entre todos los tratamientos incluido el T0 (sin raleo)
Ct.2	7	7,08	33,81	<0,0001	
Ct.3	8	8,98	30,94	<0,0001	
Ct.4	9	10,21	30,24	<0,0001	
Ct.5	6	4,44	27,16	<0,0001	Entre todos los tratamientos de raleos, excluyendo al T0 (sin raleo)
Ct.6	7	5,78	23,64	<0,0001	
Ct.7	8	7,33	20,87	<0,0001	
Ct.8	9	8,34	20,88	<0,0001	
Ct.9	6	1,40	21,63	<0,0001	Solo entre T2 (36%) y T3 (54%) con relación de 1G:1P
Ct.10	7	1,83	20,68	<0,0001	
Ct.11	8	2,32	18,83	0,0001	
Ct.12	9	2,64	17,70	0,0001	
Ct.13	6	1,40	66,01	<0,0001	Solo entre T4 (35%) y T5 (52%), de raleos libres
Ct.14	7	1,83	63,29	<0,0001	
Ct.15	8	2,32	60,87	<0,0001	
Ct.16	9	2,64	61,17	<0,0001	

En el segundo ensayo que abarcó el periodo de 9 a 11 años de edad de la plantación mixta de Nofal, en relación al análisis de varianza del diámetro de *G. robusta* se observaron diferencias estadísticas significativas (Tabla 54). Por otro lado, únicamente

en la prueba de contrastes para el factor “tratamiento \* edad” (Tabla 58) realizada a la edad de 10 años comparando todos los tratamientos, incluido el T0 sin raleo, se observó una diferencia estadística ( $p < 0,05$ ), rechazándose la hipótesis de igualdad entre medias de tratamientos.

Las diferencias estadísticas básicamente están dadas por el T0 (posee la máxima densidad; 561 plantas.ha<sup>-1</sup>) respecto del resto de los tratamientos. Las condiciones entre tratamientos observadas a la edad de 9 años, se mantuvieron hasta dos años después. Al finalizar el ensayo a los 11 años se distinguieron dos grupos. El mejor integrado por T2-T5-T3-T4-T1 con el mayor diámetro medio en T2 = 24,81 cm y el segundo grupo representado únicamente por T0 = 21,89 cm.

**Tabla 58.** Prueba de contrastes ortogonales, factor “tratamiento\*edad”, variable diámetro-DAP, componente *Grevillea robusta* de la plantación mixta de Nofal. Periodo de control 9 – 11 años.

Contraste	Edad	E.E.	F	p-valor	Contrastes Realizados
Ct.1	9	1,56	3,65	0,0642	Entre todos los tratamientos incluido el T0 (sin raleo)
Ct.2	10	1,60	7,47	0,0098	
Ct.3	11	1,68	1,30	0,2617	
Ct.4	9	1,35	0,46	0,5013	Entre todos los tratamientos de raleos, excluyendo al T0 (sin raleo)
Ct.5	10	1,38	1,25	0,2703	
Ct.6	11	1,44	0,05	0,8261	
Ct.7	9	0,40	2,74	0,1070	Solo entre T2 (35%) y T4 (26%) con relación de 2G:1P
Ct.8	10	0,41	2,61	0,1150	
Ct.9	11	0,43	2,83	0,1011	
Ct.10	9	0,42	0,70	0,4082	Solo entre T3 (30%) y T5 (45%), de raleos libres
Ct.11	10	0,43	1,10	0,3017	
Ct.12	11	0,45	0,24	0,6294	

En la prueba de contrastes realizada con el área basal (Tabla 59) de todos los tratamientos y luego excluyendo solo al T0, los valores “p” fueron menores a 0,05, por lo que se rechazó la hipótesis de igualdad entre medias de tratamientos. En la comparación entre los tratamientos con raleos libres (T3 y T5, 30 y 45% intensidad de raleo respectivamente) también se observaron diferencias estadísticas significativas.

La variabilidad entre tratamientos registrada inmediatamente de instalado el ensayo de raleo (9 años de edad), se mantuvo con leves cambios al final del periodo de control (2 años después). A la edad de 11 años se distinguieron tres grupos. El mejor integrado por T0-T4 con la mayor área basal en T0 = 16,30 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, el segundo grupo representado por

T2 = 12,83 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> y el tercer grupo formado por T3-T1-T5 con la menor área basal en T5 = 5,81 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>.

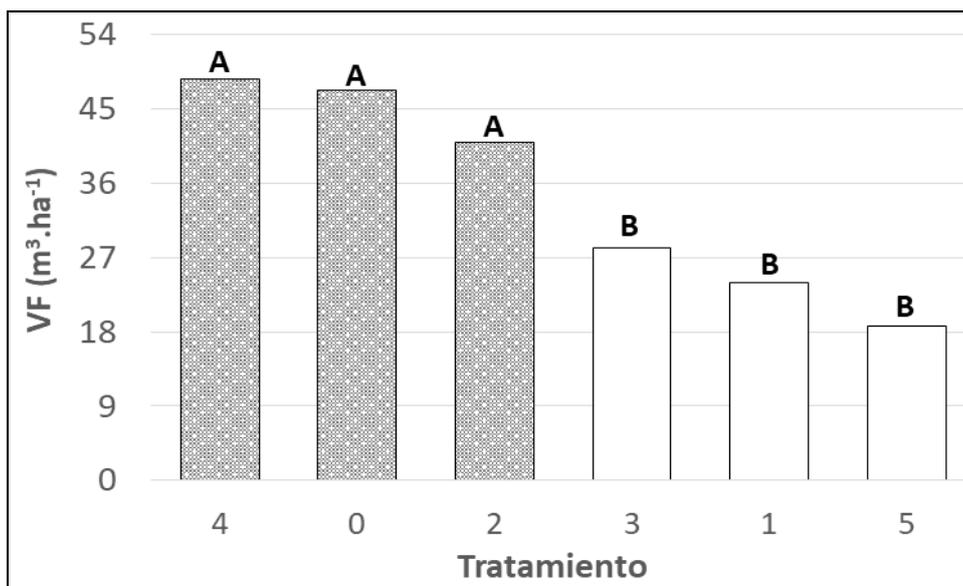
**Tabla 59.** Prueba de contrastes ortogonales, factor “tratamiento\*edad”, variable área basal-AB, componente *Grevillea robusta* de la plantación mixta de Nofal. Periodo de control 9 – 11 años.

Contraste	Edad	E.E.	F	p-valor	Contrastes Realizados
Ct.1	9	4,63	37,40	<0,0001	Entre todos los tratamientos incluido el T0 (sin raleo)
Ct.2	10	4,67	44,40	<0,0001	
Ct.3	11	4,72	26,72	<0,0001	
Ct.4	9	3,78	24,20	<0,0001	Entre todos los tratamientos de raleos, excluyendo al T0 (sin raleo)
Ct.5	10	3,82	29,29	<0,0001	
Ct.6	11	3,86	16,52	0,0002	
Ct.7	9	1,20	2,30	0,1379	Solo entre T2 (35%) y T4 (26%) con relación de 2G:1P
Ct.8	10	1,21	3,07	0,0884	
Ct.9	11	1,22	1,30	0,2618	
Ct.10	9	1,20	4,47	0,0415	Solo entre T3 (30%) y T5 (45%), de raleos libres
Ct.11	10	1,21	5,40	0,0259	
Ct.12	11	1,22	3,10	0,0868	

Según la Tabla 54 en el análisis de varianza del volumen de fuste se detectaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, mientras en el caso del factor “tratamiento \* edad” no se evidenció interacción ( $p > 0,05$ ).

En la representación gráfica del volumen de fuste-VF de *G. robusta* (Figura 58), durante el periodo de 9 – 11 años de edad, se distinguen dos grupos. Los mayores volúmenes se registran en los tratamientos T4 (raleo leve), T0 (sin raleo) y T2 (raleo moderado). Los volúmenes más bajos corresponden a los tratamientos T3-T1-T5.

La tendencia de los resultados de volumen de fuste resulta similar a los referidos en ocasión del análisis del AB. Es importante señalar que las diferencias entre tratamientos fueron observadas al inicio y final del ensayo. Concretamente a los 9 años de edad (después de instalado el segundo ensayo de raleo) se registró un marcado ordenamiento entre tratamientos, destacándose los tratamientos T4 y T0 por ser el grupo con la máxima volumetría; el T5 con la menor volumetría; y entre estos grupos extremos los tratamientos T2-T3-T1 con volúmenes intermedios.



**Figura 58.** Comparaciones de medias por tratamiento, variable volumen de fuste-VF, componente *Grevillea robusta*. Plantación mixta de Nofal. Periodo de control 9 – 11 años.

**Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )**

A partir de los múltiples y diversos resultados obtenidos en dos ensayos de raleos sucesivos en tres plantaciones mixtas de *M. azedarach* y *G. robusta*, evaluándose las especies en forma separada, se acepta la hipótesis que las especies componentes de parcelas de rodal mixto que han recibido distintos tratamientos de raleo se diferencian significativamente en sus parámetros dasométricos según la intensidad de corta y el momento biológico en que se practique la corta. Esta afirmación se sustenta en las siguientes consideraciones.

De manera particular en los resultados se observa:

1. En cinco de las seis pruebas estadísticas realizadas (2 por plantación mixta) con cada una de las especies en forma separada, las diferencias entre tratamientos son significativas, aunque la interacción “tratamiento\*edad” también resulta significativa en todos los casos.
2. En el caso de *M. azedarach* en la totalidad de las pruebas estadísticas realizadas con área basal y volumen de fuste por unidad de superficie, las diferencias entre tratamientos son significativas, y en la mitad de ellas la interacción “tratamiento\*edad” es significativa.

En cinco de las seis pruebas estadísticas efectuadas con el área basal de *G. robusta*, las diferencias entre tratamientos fueron significativas, y solo en una de

ellas la interacción “tratamiento\*edad” no es significativa. En tanto al considerarse el volumen de fuste a nivel del rodal únicamente en dos se observan diferencias significativas y en una de ellas la interacción “tratamiento\*edad” es significativa.

En cinco de las seis pruebas estadísticas ejecutadas (2 por plantación mixta) con *G. robusta*, las diferencias entre tratamientos resultan significativas, y solo en una de ellas la interacción “tratamiento\*edad” no es significativa.

3. En los casos de interacción significativa del factor “tratamiento \* edad”, por medio de la prueba de contrastes ortogonales se logra discernir entre qué tratamientos y en qué edades se registran las diferencias estadísticas.

En el contexto de los resultados particulares antes referidos, la tendencia de los mismos es:

1. Que los valores mayores de diámetro se registran en los tratamientos con mayor intensidad de raleo. La diferencia estadísticamente significativa como mínimo se da al compararse las parcelas con moderada o fuerte intensidad de raleo respecto de las parcelas no raleadas (testigo) o raleadas con una intensidad leve (en éstas el DAP fue significativamente menor). Solo en tales circunstancias se rechaza la hipótesis nula de igualdad entre las respuestas de los tratamientos y se considera como verdadera la hipótesis alternativa formulada ( $\alpha = 0,05$ ).

Estas reacciones del diámetro medio del rodal a las intensidades de los raleos son frecuentemente referidas en los estudios forestales. Hay coincidencias con las tendencias; es decir, que el crecimiento diamétrico es directamente proporcional a la intensidad de raleo e inversa a la densidad post-raleo. Esto es lo que comunican Crechi *et al.* (2004a) en experiencias de raleos con *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*; Crechi *et al.* (2004b) en ensayos con *Pinus taeda*; Keller *et al.* (2006) en estudios de intensidades del primer raleo en *Grevillea robusta*.

2. Que los valores más altos de área basal y volumen de fuste en las diversas edades se identifica en la parcela no raleada (testigo) y/o en el tratamiento con menor intensidad de raleo. Los valores más bajos se registran en los tratamientos con mayor intensidad de raleo. La diferencia estadísticamente significativa como mínimo se observa en la comparación de las parcelas con

densidades extremas. Solamente en dichas comparaciones se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa ( $\alpha = 0,05$ ).

La tendencia de los resultados encontrados en el análisis de las especies de las plantaciones mixtas es coincidente con resultados derivados de investigaciones realizadas en monocultivos forestales. Es decir, que el crecimiento en área basal y volumen del rodal es inversamente proporcional a la intensidad de raleo y directa respecto a la densidad post-raleo. Esto es lo que refieren Chaves (2000) en aclareos realizados con *Bombacopsis quinata*; Keller *et al.* (2016) al evaluar un ensayo de intensidades de raleo de *G. robusta*; Torres *et al.* (2017) al analizar los efectos de raleos en *Pinus elliotii* var. *elliotii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

3. Que al inició la investigación en varias ocasiones se registra, en las dos especies, una relacion entre tratamientos estadísticamente diferente (inmediatamente de instalado el ensayo de raleos), hecho que se mantiene igual o con escasa modificación hasta el final del ensayo. Barth *et al.* (2015) refieren en un estudio realizado en rodales puros de *G. robusta* de distintas densidades (equivalente a las diferentes densidades resultantes por aplicación de diversas intensidades de raleo) que también los resultados de crecimiento en DAP, AB y VF fueron influenciados por la densidad inicial de plantación.

La situacion referida respecto a la particularidad que tienen los ensayos de raleo al iniciarse, en relacion al área basal y volumen del rodal, tambien fueron observadas en otros ensayos de raleos practicados en plantaciones de *Pinus radiata* (Espinosa *et al.*, 1994; Ferrere *et al.*, 2015); Chaves y Mora (2010) en ensayos de raleos con *Pachira quinata*.

**4.5.2.4 Análisis estadístico de parcelas con igual densidad.** Se realizan las comparaciones entre tratamientos de la misma plantación mixta que tienen igual densidad pero diferente participación de las especies (actividad relacionada a la hipótesis 3). En esta evaluación las especies no son consideradas por separado como se realizó anteriormente, sino que se analiza el conjunto de *M. azedarach* + *G. robusta*.

En el caso de la plantación mixta de Blanco, la comparación se realizó entre los tratamientos T4 y T5 con 417 plantas.ha<sup>-1</sup>, cuyos valores fueron resaltados en la Tabla 60. Después de la aplicación del raleo los tratamientos escogidos para realizar la prueba quedaron con espesura defectiva. El tratamiento T5 se destaca por tener alta presencia de *G. robusta* en la mezcla de especies (hay 92% más que la cantidad de árboles de

paraíso). A nivel del rodal mixto solo se registran diferencias estadísticas significativas entre tratamientos en la evaluación del DAP y AB. En este contexto, durante los años de control del primer ensayo de intensidades de raleo no se observaron diferencias estadísticas entre los tratamientos T4 y T5. Es conveniente resaltar que las diferencias en área basal entre dichos tratamientos observada a los 5 años de edad, corresponde a la situación con la que quedaron estos rodales inmediatamente después de realizado el raleo. La reacción al raleo se registra en las edades siguientes (6 a 9 años).

**Tabla 60.** Resultados estadísticos de la comparación de rodales mixtos conformados por plantas de *Melia azedarach* y *Grevillea robusta*, durante los cuatro años de control del primer ensayo de raleo en la plantación mixta de Blanco.

Var	Grupos según Tratamientos							p - valor	
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Tra	Tra*edad
DAP 5	g	f	f	e	f	f	f		
DAP 6	e	d	d	d	d	d	d		
DAP 7	d	c	c	c	c	c	c	0,0003	0,0019
DAP 8	c	b	b	b	b	b	b		
DAP 9	b	a	a	a	a	a	a		
AB 5	f	g	f	h	g	h	h		
AB 6	e	e	e	g	f	f	g		
AB 7	d	d	d	f	e	e	f	0,0003	< 0,0001
AB 8	b	c	c	e	d	d	e		
AB 9	a	b	b	b	c	c	d		
VF 5-9	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0,2309	0,0065

*Tratamientos con una letra diferente son significativamente diferentes (p < 0,05)*

Los resultados de la comparación realizada en la plantación mixta de Cardenal, entre los tratamientos T2 y T3 con 443 plantas.ha<sup>-1</sup>, se presentan en la Tabla 61. En todas las pruebas las diferencias fueron estadísticamente no significativas.

**Tabla 61.** Resultados estadísticos de la comparación de rodales mixtos conformados por plantas de *Melia azedarach* y *Grevillea robusta*, durante los cuatro años de control del primer ensayo de raleo en la plantación mixta de Cardenal.

Var.	Grupos según Tratamientos					p - valor	
	T0	T1	T2	T3	T4	Tra	Tra*edad
DAP 6-10	NS	NS	NS	NS	NS	0,9651	0,5384
AB 6-10	NS	NS	NS	NS	NS	0,0982	0,0773
VF 6-10	NS	NS	NS	NS	NS	0,2883	0,0022

En Tabla 62 se exponen las respuestas del análisis realizado con los tratamientos T2 y T4 de la plantación de Nofal que tienen 626 plantas.ha<sup>-1</sup>.

**Tabla 62.** Resultados estadísticos en la comparación de rodales mixtos conformados por plantas de *Melia azedarach* y *Grevillea robusta*, durante los tres años de control del primer ensayo de raleo en la plantación mixta de Nofal.

Var	Grupos según Tratamientos						p - valor	
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	Tra	Tra*edad
DAP 6	g	f	e	e	e	e	0,0004	0,0002
DAP 7	e	d	d	c	d	c		
DAP 8	d	b	b	b	b	b		
DAP 9	c	a	a	a	a	a		
AB 6	d	f	e	f	e	f	0,0001	0,0002
AB 7	c	e	d	e	d	e		
AB 8	b	d	c	d	c	d		
AB 9	a	c	b	c	b	d		
VF 6	e	f	e	f	e	f	0,0016	0,1560
VF 7	c	e	d	e	c	e		
VF 8	b	d	c	d	b	d		
VF 9	a	c	b	c	a	c		

**Tratamientos con una letra diferente son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ )**

Al considerarse los valores de referencia del diámetro, área basal y volumen de fuste, los dos tratamientos escogidos parten a la edad de 6 años (momento en que se instala el ensayo) sin diferenciarse estadísticamente. En la evaluación de las variables DAP y AB, durante el periodo de control y al finalizar el primer ensayo se detectan diferencias estadísticas a nivel general pero las diferencias no son significativas cuando se comparan entre sí los resultados exclusivamente del T2 y T4.

En cuanto al volumen de fuste - VF los resultados estadísticos son algo diferentes a lo referido respecto a las otras variables dasométricas. Entre los tratamientos T2 y T4 se registran diferencias estadísticas significativas a las edades de 8 y 9 años, obteniéndose la mejor respuesta en el rodal que tiene una ligera mayor presencia de plantas de grevillea en la combinación del rodal mixto (T4).

Las diferencias entre los tratamientos T2 y T4 al considerarse la variable VF posiblemente este asociado a la mayor presencia de ejemplares de grevillea en la mezcla de especies del tratamiento T4 respecto de la combinación del T2. Es factible que esta especie le esté aportando valores significativos de longitud de fuste maderable que hace

que el VF medio estimado para dicho tratamiento (expresado en  $m^3 \cdot ha^{-1}$ ) sea distinto y superior a la respuesta del T2.

A partir de los resultados obtenidos en las tres plantaciones, se rechaza la hipótesis que establece que rodales mixtos evaluados como estructura única (*M. azedarach* + *G. robusta*, en conjunto) que han recibido igual intensidad de raleo originando igual densidad post-raleo pero con cantidades de individuos por especie en diferentes proporciones, difieren significativamente en relación a los parámetros dasométricos (diámetro, área basal y volumen de rodal).

Salvo la respuesta particular observada con el volumen de fuste, en el resto de las situaciones analizadas existe evidencia estadística que determina no rechazar la hipótesis nula de igualdad de las respuestas de los tratamientos ( $\alpha = 0,05$ ). Es decir, las distintas combinaciones de mezcla de *M. azedarach* con *G. robusta* en las proporciones evaluadas, no afectan las respuestas dasométricas del rodal mixto.

Los resultados llevan a pensar que, más allá de ciertas particularidades, sus características culturales son similares, complementándose adecuadamente en una estructura de plantación mixta.

Si la suposición enunciada fuera cierta, ambas especies podrían constituir lo que Wormald (1995) denomina rodal mixto de mezcla permanente con un único estrato. Para ello es requisito que la calidad de sitio sea adecuado para las dos especies (Jonsson, 1961 citado por Wormald, 1995). Otras condiciones que deberían reunir las especies que se utilicen en este diseño son: características silvícolas compatibles, umbral de tolerancia en relación a la competencia y que las edades de rotación sean similares (FAO, 1991 citado por Wormald, 1995). Estas situaciones fueron observadas en las plantaciones aquí estudiadas.

**4.5.2.5 Análisis estadístico del desempeño de las especies en cada tratamiento.** En las Tablas 63, 64 y 65 se exponen los resultados del análisis estadístico entre especies dentro del mismo tratamiento de raleo experimental de las tres plantaciones mixtas (actividad relacionada a la hipótesis 4).

Al evaluarse el DAP a la edad de 5 años (DAP 5) inmediatamente de instalado el primer ensayo de raleo en la plantación mixta de Blanco (Tabla 63), se observa que los diámetros medios de las plantas de grevillea son distintos estadísticamente respecto de los del paraíso. En esta última especie, hay diferencias entre los valores, resaltando los tratamientos T2, T3 y T6, los cuales conforman el grupo con mayores diámetros.

**Tabla 63.** Resultados estadísticos en la comparación directa de especies (*Melia azedarach* y *Grevillea robusta*) en cada tratamiento, en el año de inicio y finalización del primer ensayo de raleo de la plantación mixta de Blanco.

Var	Grupos según Tratamientos														Rango <sup>1</sup>		p - valor
	<i>M. azedarach</i>							<i>G. robusta</i>							mp mg	Mp Mg	
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6			
DAP 5	b	b	a	a	b	b	a	b	b	b	b	b	b	b	11,9	14,2	0,0003
															11,9	12,7	
DAP 9	b	a	a	a	a	a	a	b	b	b	b	b	b	b	19,5	24,2	0,0046
															19,2	21,6	
AB 5	c	c	c	c	c	c	c	a	b	a	b	b	b	b	1,60	2,89	0,0001
															3,06	5,40	
AB 9	b	b	c	c	b	c	c	a	b	a	b	b	b	b	4,82	8,56	<0,0001
															7,78	12,82	
VF 5	b	b	b	b	b	b	b	a	a	a	a	a	a	a	6,18	11,18	0,0003
															14,13	21,30	
VF 9	b	b	b	b	b	b	b	b	b	a	b	b	b	b	19,44	34,37	0,0034
															32,45	48,35	

*Tratamientos con una letra diferente son significativamente diferentes (p < 0,05)*

Al finalizar el primer ensayo de raleo, en el último control realizado a la edad de 9 años (DAP 9) se profundizan las diferencias entre las dos especies. Salvo el testigo de paraíso (T0), en el resto de los tratamientos esta especie tiene mayores diámetros (significativamente diferentes) que los correspondientes a la especie grevillea. Es decir, hay mejor desempeño del paraíso a las condiciones post-raleo de la plantación mixta de Blanco. Considerando que en la densidad de cada tratamiento la cantidad de plantas post-raleo de grevillea ha sido siempre mayor que la de paraíso, es posible que la selección más intensa realizada durante el raleo en el grupo de plantas de esta última especie, dejando las mejores plantas y con un ligero mayor diámetro, sea un factor de peso y determinante en la respuesta observada al final del ensayo.

Al analizarse el área basal (AB en m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>), la situación es absolutamente opuesta a la descripción antes realizada. En este caso, la componente grevillea es la que se diferencia estadísticamente del paraíso, presentando los valores más elevados a la edad de 5 años (AB 5, inicio del ensayo).

Al final del ensayo (AB 9) se mantiene la diferencia estadística pero hay una ligera recuperación del paraíso en ciertos tratamientos, disminuyendo la distancia respecto de

los valores medios de las plantas de grevillea, debido a un mayor crecimiento diamétrico de sus ejemplares.

En cuanto al volumen de fuste al inicio del ensayo (VF 5) en todos los tratamientos la grevillea es superior estadísticamente. Sin embargo, al finalizar el primer ensayo a los 9 años de edad (VF 9) el T2 de grevillea es el único tratamiento distinto del resto, expresando una mayor volumetría. Esta situación describe un mejor reposicionamiento de las plantas de paraíso después del raleo y un ligero estancamiento de la grevillea (también observado en las variables DAP y AB), posiblemente debido a la consecuencia de la competencia biológica intra e interespecífica.

Al evaluarse el DAP y AB de la plantación mixta de Cardenal (Tabla 64) al inicio del ensayo a la edad de 6 años (DAP 6, AB 6) son inequívocamente superiores los valores (verificados estadísticamente) de paraíso en todos los tratamientos.

**Tabla 64.** Resultados estadísticos en la comparación directa de especies (*Melia azedarach* y *Grevillea robusta*) en cada tratamiento, en el año de inicio y finalización del primer ensayo de raleo de la plantación mixta de Cardenal.

Var	Grupos según Tratamientos										Rango		p - valor
	<i>M. azedarach</i>					<i>G. robusta</i>					mp mg	Mp Mg	
	T0	T1	T2	T3	T4	T0	T1	T2	T3	T4			
DAP 6	a	a	a	a	a	b	b	b	b	b	19,5	20,2	0,0014
											14,3	15,9	
DAP 10	a	a	a	a	a	b	b	b	b	b	24,4	26,1	0,0144
											20,9	22,9	
AB 6	a	a	a	a	a	b	b	b	b	b	12,41	12,98	< 0,0001
											3,68	5,01	
AB 10	a	a	a	a	a	b	c	c	b	b	15,68	16,09	< 0,0001
											7,10	9,56	
VF 6	b	b	a	b	b	c	c	c	c	c	22,58	33,07	< 0,0001
											10,48	15,23	
VF 10	b	b	a	b	b	c	c	c	c	c	39,92	54,48	< 0,0001
											21,04	29,93	

**Tratamientos con una letra diferente son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ )**

Al finalizar el ensayo a la edad de 10 años, la relación dasométrica y estadística de las especies entre tratamientos no varía. En todo caso se puede decir que la brecha

<sup>1</sup> En la columna Rango de las Tablas 48, 49 y 50 las abreviaturas "mp" y "mg" refieren al valor mínimo de determinada variable dasométrica de las especies paraíso y grevillea, respectivamente. De modo análogo, "Mp" y "Mg" significan el valor máximo de las mismas especies.

resulta más grande entre las especies al considerarse el área basal al año 10, produciéndose una mayor diferenciación entre las plantas de grevillea.

Respecto del volumen de fuste, la situación es la misma al inicio y final del ensayo, y en el marco de la clara supremacía de paraíso se destaca el T2 por presentar el mayor VF, comprobado estadísticamente. Es decir, que la mayor volumetría en esta plantación mixta se obtiene al tenerse en el rodal dos paraísos por cada una grevillea y 443 plantas.ha<sup>-1</sup> después del raleo efectuado a edad temprana (6 años).

Seguidamente se evalúan los resultados contenidos en Tabla 65 correspondientes a la plantación mixta de Nofal. Al considerarse la variable diámetro, en el marco de la fuerte diferenciación entre tratamientos observada al inicio del ensayo (6 años de edad), se destacan las plantas de paraíso por tener los mayores valores. Luego a la edad de 9 años (fin del primer ensayo), se mantiene la dominancia de dicha especie, verificadas en las densidades más bajas (450 a 510 plantas.ha<sup>-1</sup>, en T1-T3-T5).

**Tabla 65.** Resultados estadísticos en la comparación directa de especies (*Melia azedarach* y *Grevillea robusta*) en cada tratamiento, en el año de inicio y finalización del primer ensayo de raleo de la plantación mixta de Nofal.

Var	Grupos según Tratamientos											Rango		p - valor	
	<i>M. azedarach</i>					<i>G. robusta</i>					mp	Mp			
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T0	T1	T2	T3	T4	T5	mg		Mg
DAP 6	c	b	a	a	a	a	c	b	b	b	b	b	13,1 13,1	16,1 14,6	< 0,0001
DAP 9	b	a	b	a	b	a	c	b	b	b	b	b	19,0 17,3	22,3 20,4	0,0003
AB 6	a	b	b	c	b	c	a	d	b	d	a	d	4,55 3,18	7,01 7,08	< 0,0001
AB 9	b	b	c	c	c	c	a	c	b	c	a	c	8,40 6,42	10,00 12,85	< 0,0001
VF 6	a	b	b	b	b	b	b	c	b	c	b	c	19,54 10,81	26,92 22,61	< 0,0001
VF 9	a	a	a	a	a	a	a	b	a	b	a	b	33,00 22,85	44,11 44,86	< 0,0001

*Tratamientos con una letra diferente son significativamente diferentes (p < 0,05)*

En el análisis del área basal a la edad de 6 años la situación entre especies se encuentra balanceada. En la estratificación de los dos mejores grupos estadísticamente diferentes hay una mezcla de tratamientos, en que la supremacía está compartida entre ambas especies. Al finalizar el control del primer ensayo (9 años de edad), en los tratamientos se posiciona mejor la grevillea, especialmente en el T0 y T4 los cuales

conforman el mejor grupo. Dichos tratamientos con densidades muy disimiles (alta densidad 1.007 plantas.ha<sup>-1</sup> en las parcelas testigos, sin raleo y moderada densidad - 626 plantas.ha<sup>-1</sup> en el tratamiento con raleo), poseen la característica de tener mayor presencia (cantidad de plantas) de grevillea en la composición. Respecto de la variable VF en el inicio del ensayo (VF 6), la mayor volumetría se da en paraíso en el T0. Al final del ensayo (VF 9) continúa la condición superior del paraíso. En el caso de la grevillea, los mejores tratamientos se obtuvieron en T0, T2 y T4. En los tratamientos T1-T3-T5 con menor densidad de rodal (450 a 510 plantas.ha<sup>-1</sup>), es donde se registra la menor volumetría de grevillea.

En la comparación de especies dentro de los tratamientos establecidos en la plantación de Blanco se puede enunciar que si bien las condiciones establecidas en cada parcela al iniciarse el ensayo, inmediatamente de aplicado los raleos, se constituyen frecuentemente en un factor determinante de la respuesta dasométrica de la especie, también se pudo constatar que la capacidad de cada componente específica del sistema silvícola puede ser importante en la respuesta final.

La influencia de estos dos factores queda claramente en evidencia al analizarse las variables DAP y AB. Si bien al efectuar de manera más intensa la selección de plantas de paraíso durante el proceso de raleo, se dejaron en las parcelas menos individuos que grevillea, los árboles remanentes de dicha especie se mostraron suficientemente sensible a la disminución de la competencia y con suficiente vigor para aprovechar los mayores recursos disponibles, reflejado en el mayor crecimiento relativo en diámetro y área basal que la componente grevillea.

En la plantación mixta de Cardenal las diferencias entre tratamientos también fueron estadísticamente significativas en todas las variables. Si bien las respuestas estadísticas son similares a los referidos para la plantación mixta de Blanco, las condiciones experimentales y prioridad de especie fueron totalmente diferentes.

En la de Blanco, la componente grevillea se seleccionó como de primer orden y esa cuestión se refleja en la densidad específica relativa de cada tratamiento. En cambio en la plantación de Cardenal la relación se invirtió. El paraíso fue la especie preferente, y ello también se refleja en los tratamientos al revisarse la participación de cada componente.

Se subraya que la posición de privilegio o dominancia establecida al inicio del ensayo a favor del paraíso, no la relegó o perdió nunca durante el periodo de control.

En la plantación mixta de Nofal los tratamientos difieren estadísticamente de manera significativa. El paraíso muestra mayor fortaleza en los resultados del DAP y VF, y la grevillea una ligera mejoría en la respuesta del AB.

A partir de los resultados logrados, se acepta la hipótesis que establece que las especies componentes de un rodal mixto que han recibido el mismo tratamiento muestran diferencias significativas en sus resultados dasométricos. En otras palabras, en el presente estudio se encontraron evidencias a favor de la hipótesis aquí formulada, y consecuentemente, se rechaza la hipótesis nula de igualdad de las respuestas de los tratamientos.

En la comparación del desempeño silvícola y dasométrico de ambas especies dentro de los tratamientos establecidos en cada plantación mixta, se encontraron evidencias a favor del supuesto de que la capacidad de reacción a la intervención de raleo es diferente para cada especie. En otras palabras, en los resultados están implícitos aspectos vinculados a los caracteres culturales de cada especie que les permite reaccionar de una determinada forma según sean las condiciones ambientales y de espesura de cada parcela.

En este contexto se observó la menor tolerancia del paraíso a las condiciones de sombra y su mayor sensibilidad a las variaciones de densidad: a alta densidad se estresa, se produce una selección natural intraespecífica, luego las plantas menos vigorosas ingresan en un proceso de decaimiento progresivo que finaliza en la muerte. En condiciones de baja densidad crece rápidamente. Lo referido es lo que Assmann según Schneider *et al.*, (1991) denominó efecto de la aceleración del crecimiento. En cambio la grevillea, más tolerante a la sombra, tiene un comportamiento más estable y menos influenciado por los cambios de densidad, incluso en las densidades extremas. Por ejemplo, no se registró ningún caso de mortalidad asociada por exceso de competencia. Esto es coincidente con lo señalado por Fassola *et al.*, (2004) en estudios realizados en rodales puros de grevillea.

**4.5.2.6 Evaluación del área basal y volumen acumulado.** Con el propósito de verificar el grado de cumplimiento de la Teoría de Möller, referenciada por Ahrens (1992), a continuación se analizan los resultados (actividad relacionada a la hipótesis 4.4) expresados en las Tablas 66 y 67, construidas a partir de parámetros dasométricos estimados para las plantaciones mixtas raleadas de Blanco y Nofal (Anexos A1, A2, A3 y A4).

**Tabla 66.** Evaluación estadística de parámetros dasométricos a los 11 años de edad (**N11**: densidad al año 11. **ABa**: área basal acumulada del rodal. Existencia al año 11 más cortas intermedias. **VFa**<sup>2</sup>: volumen de fuste acumulado del rodal. Existencia al año 11 más cortas intermedias). Plantación mixta de Blanco. **Gr**: grupo estadístico

Tr	Bl	Paraíso					Grevillea			Plantación Mixta			
		N11	ABa	Gr	VFa	Gr	N11	ABa	VFa	N11	ABa	Gr	VFa
		pl.ha <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>		m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>		pl.ha <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	pl.ha <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>		m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>
0	3	246	8,04	<i>b</i>	31,68	<i>b</i>	396	16,62	45,78	642	24,66	<i>a</i>	77,46
2	3	117	7,65	<i>b</i>	32,41	<i>b</i>	248	16,68	59,25	365	24,33	<i>a</i>	91,66
1	3	182	10,26	<i>a</i>	41,01	<i>a</i>	235	13,79	48,49	417	24,05	<i>a</i>	89,50
4	3	134	9,58	<i>a</i>	43,91	<i>a</i>	179	13,92	49,69	313	23,50	<i>a</i>	93,60
5	3	108	7,88	<i>b</i>	32,90	<i>b</i>	152	13,25	48,49	260	21,13	<i>b</i>	81,39
3	3	65	6,64	<i>b</i>	29,85	<i>b</i>	143	13,75	52,43	208	20,39	<i>b</i>	82,28
6	3	65	6,75	<i>b</i>	29,54	<i>b</i>	91	13,02	50,19	156	19,77	<i>b</i>	79,73
		<b>S</b>		<b>S</b>		<b>NS</b>		<b>NS</b>		<b>S</b>		<b>NS</b>	

*Medias con una letra distinta son significativamente diferentes (p < 0,05)*

**Tabla 67.** Evaluación estadística de parámetros dasométricos a los 11 años de edad (**N11**: densidad al año 11. **ABa**: área basal acumulada del rodal. Existencia al año 11 más cortas intermedias. **VFa**: volumen de fuste acumulado del rodal. Existencia al año 11 más cortas intermedias). Plantación mixta de Nofal. **Gr**: grupo estadístico

Tr	Bl	Paraíso				Grevillea				Plantación Mixta			
		N11	ABa	VFa	Gr	N11	ABa	Gr	VFa	Gr	N11	ABa	VFa
		pl.ha <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>		pl.ha <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>		pl.ha <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>	
4	3	139	11,06	49,28	<i>b</i>	301	18,36	<i>a</i>	66,24	<i>a</i>	440	29,42	115,52
2	3	116	10,78	39,09	<i>b</i>	243	17,06	<i>a</i>	58,95	<i>a</i>	359	27,84	98,04
0	3	290	11,12	45,79	<i>b</i>	492	16,29	<i>a</i>	54,17	<i>a</i>	782	27,41	99,96
3	3	139	12,85	54,42	<i>a</i>	174	13,93	<i>b</i>	49,27	<i>a</i>	313	26,78	103,69
1	3	232	13,79	59,61	<i>a</i>	162	12,39	<i>b</i>	42,61	<i>b</i>	394	26,18	102,22
5	3	122	13,48	56,33	<i>a</i>	122	11,79	<i>b</i>	40,58	<i>b</i>	244	25,27	96,91
		<b>NS</b>		<b>S</b>		<b>S</b>		<b>S</b>		<b>NS</b>		<b>NS</b>	

*Medias con una letra distinta son significativamente diferentes (p < 0,05)*

El análisis de los resultados se realiza a nivel del rodal mixto (ambas especies en forma conjunta) y en forma individual para cada especie. Seguidamente se exponen los aspectos relevantes del análisis comparativo.

<sup>2</sup> VF: en el caso de los valores de *Melia azedarach* se trata de volumen de fuste-VF. En tanto, tratándose de valores de *Grevillea robusta* se refiere al volumen de fuste comercial.

- **Análisis a nivel del rodal mixto (sumatoria de ambas especies).**

**1. Variable área basal total acumulada durante 11 años.** En el caso de la plantación mixta de Blanco donde la estrategia de manejo consistió en privilegiar siempre a *G. robusta*, la primera evidencia consecuente fue la mayor densidad de esta especie en cada parcela mixta raleada (tratamiento); en el caso del tratamiento T0, testigo sin ralear, la menor presencia de *M. azedarach* en la mezcla obedece a la mortalidad de los ejemplares dominados de esa especie.

En la plantación de Blanco se registraron diferencias estadísticas entre tratamientos. En el agrupamiento de tratamientos se observa que las parcelas más intensamente raleadas (T5, T3 y T6) son las que tienen menor existencia de área basal (grupo **b**). Entre los tratamientos con mayor área basal (grupo **a**) se encuentra el T0 (no raleado), los tratamientos con intensidades de raleos leves (T1 y T2) y el que ha tenido raleo moderado (T4).

Respecto de los resultados registrados en la plantación de Nofal no se encontraron diferencias estadísticamente significativas.

**2. Variable volumen de fuste acumulado durante 11 años.** Al evaluarse resultados de volumen de la plantación mixta de Blanco no existen diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. En este contexto llama la atención que el T0 a pesar de tener la mayor área basal presenta a su vez la menor oferta volumétrica. La explicación a esta circunstancia se la podría encontrar en la práctica diferencial de la poda efectuada por la empresa Danzer, según la calidad de las plantas del rodal. Esta decisión afectó directamente la longitud de poda y consecuentemente, la longitud de fuste y del volumen de fuste.

En la plantación mixta de Nofal no se encontraron diferencias estadísticas.

- **Análisis a nivel de especie: *Melia azedarach*.**

**1. Variable área basal total acumulada durante 11 años.** Respuestas distintas se observan al analizarse el comportamiento y producción de paraíso. En el análisis de varianza realizado con información dasométrica de la plantación de Blanco se hallaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos al nivel de significancia del 5%. Según los resultados de la prueba de DGC de comparación de medias de los tratamientos, se obtuvieron dos grupos distintos en cada variable, designados en la Tabla 66 con las letras “**a**” y “**b**”.

En Nofal no se observaron diferencias estadísticas significativas en las respuestas de los diversos tratamientos de raleo.

Del análisis del comportamiento de los rodales de paraíso se exponen algunos detalles relevantes observados en la plantación de Blanco:

- 1) El tratamiento T0 a pesar de tener la máxima densidad (expresada en cantidad de plantas por unidad de superficie) no se encuentra en el grupo de las parcelas con mayor área basal; integra el grupo **b**. Esto es explicable en el hecho que el tratamiento testigo sin raleo, como consecuencia de la espesura excesiva generó fuerte estrés en los árboles del rodal, que en su estado extremo provocó la mortalidad natural (el T0 a la edad de 5 años había 396 plantas.ha<sup>-1</sup> y al final del estudio solo se registraron 246 plantas.ha<sup>-1</sup> vivas). Por otra parte, entre las plantas sobrevivientes debido a la densidad excesiva disminuyó la tasa de crecimiento diamétrico, y en consecuencia el aporte al incremento de área basal fue reducido.
- 2) Los tratamientos T2, T3, T5 y T6, en los que se efectuaron raleos, que a los 11 años de edad tenían una densidad  $\leq 117$  plantas.ha<sup>-1</sup>, se encuentran en el segundo grupo con menor área basal (grupo **b**), posiblemente porque la densidad de la especie en el rodal fue ligera a fuertemente defectiva, por lo que la productividad del rodal estuvo por debajo del potencial del sitio.
- 3) Los tratamientos T1 y T4 conforman el grupo "a", con los valores más altos de cobertura. A los 11 años de edad tenían una densidad  $\geq 134$  plantas.ha<sup>-1</sup> y adecuado crecimiento diamétrico, lo que les permitió disponer los valores más altos de área basal.

**2. Variable volumen de fuste acumulado durante 11 años.** En la plantación mixta de Blanco las respuestas estadísticas (análisis de varianza y grupos DGC) con datos de volumen de fuste fueron idénticas a las referidas anteriormente en relación al área basal.

En la plantación mixta de Nofal se determinaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Los tratamientos T1, T3 y T5 presentaron los mayores niveles de volúmenes de fuste (grupo **a**). Los restantes tratamientos con valores menores de volumen, conformaron el grupo **b**.

- **Análisis a nivel de especie: *Grevillea robusta*.**

**1. Variable área basal total acumulada durante 11 años.** En el análisis de varianza realizado con datos de la plantación mixta de Blanco no se detectaron diferencias

estadísticas significativas entre tratamientos. Es decir, que rodales que tuvieron diferentes intensidades de raleos respecto de parcelas que no fueron intervenidas, al final del proceso no son diferentes estadísticamente en cuanto al área basal acumulada a la edad de 11 años.

En Nofal los resultados de los tratamientos son distintos estadísticamente ( $\alpha = 0,05$ ). Los tratamientos con mayores intensidades de raleo (T1, T3 y T5) son las que tienen menor área basal (grupo **b**). Entre los tratamientos con mayor área basal (grupo **a**) se encuentra el T0 (no raleado) y los tratamientos con intensidades de raleo leve a moderado (T4 y T2).

**2. Variable volumen de fuste acumulado durante 11 años.** En la plantación de Blanco no se registran diferencias significativas entre tratamientos.

En Nofal existen diferencias significativas entre tratamientos ( $\alpha = 0,05$ ). Los tratamientos con intensidades de raleo fuerte a muy fuerte durante el primer ensayo (T1 y T5) son las que presentan menor volumetría (grupo **b**). El grupo **a** conformado por los restantes tratamientos con mayor oferta de volumen en el rodal, es encabezado por el tratamiento T4 que tuvo un raleo moderado en el primer ensayo y luego raleo de intensidad leve en el segundo ensayo.

Según los resultados obtenidos, respecto de la hipótesis que establece que rodales mixtos que han tenido distintas intensidades de raleo registran diferencias estadísticas significativas en sus valores de área basal y volumen acumulados, se expresa que no existe una respuesta final única. A través del método de evaluación adoptado para discernir objetivamente si lo determinado por la teoría de Möller (Ahrens, 1992) es de aplicación en las plantaciones mixtas inmaduras, se encontraron respuestas contradictorias, aunque considerando los resultados dasométricos más frecuentes debería aceptarse.

Por ejemplo, los resultados obtenidos con grevillea en la plantación mixta de Blanco y en la evaluación conjunta de las especies (*M. azedarach* + *G. robusta*) en la plantación mixta de Nofal, se obtuvieron evidencias confirmando el enunciado de este marco teórico. Es decir, el área basal y volumen de fuste del rodal, acumulado en un periodo corto (6 años en Blanco; 5 años en Nofal; ambas plantaciones evaluadas hasta los 11 años de edad), en parcelas no raleadas y rodales con distintas intensidades de cortas intermedias no se observaron diferencias significativas ( $\alpha = 0,05$ ). Este resultado coincide con lo informado por Crechi *et al.*, (2006b) quienes avalaron el enunciado de esta teoría

considerando los resultados dos años después de los raleos practicados en plantaciones jóvenes de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

En cambio al considerar los valores de área basal y volumen de la componente paraíso de la plantación mixta de Blanco y de grevillea en la plantación mixta de Nofal, en que se observaron diferencias significativas entre tratamientos, lo establecido por la teoría de Möller (Ahrens, 1992) no se cumple.

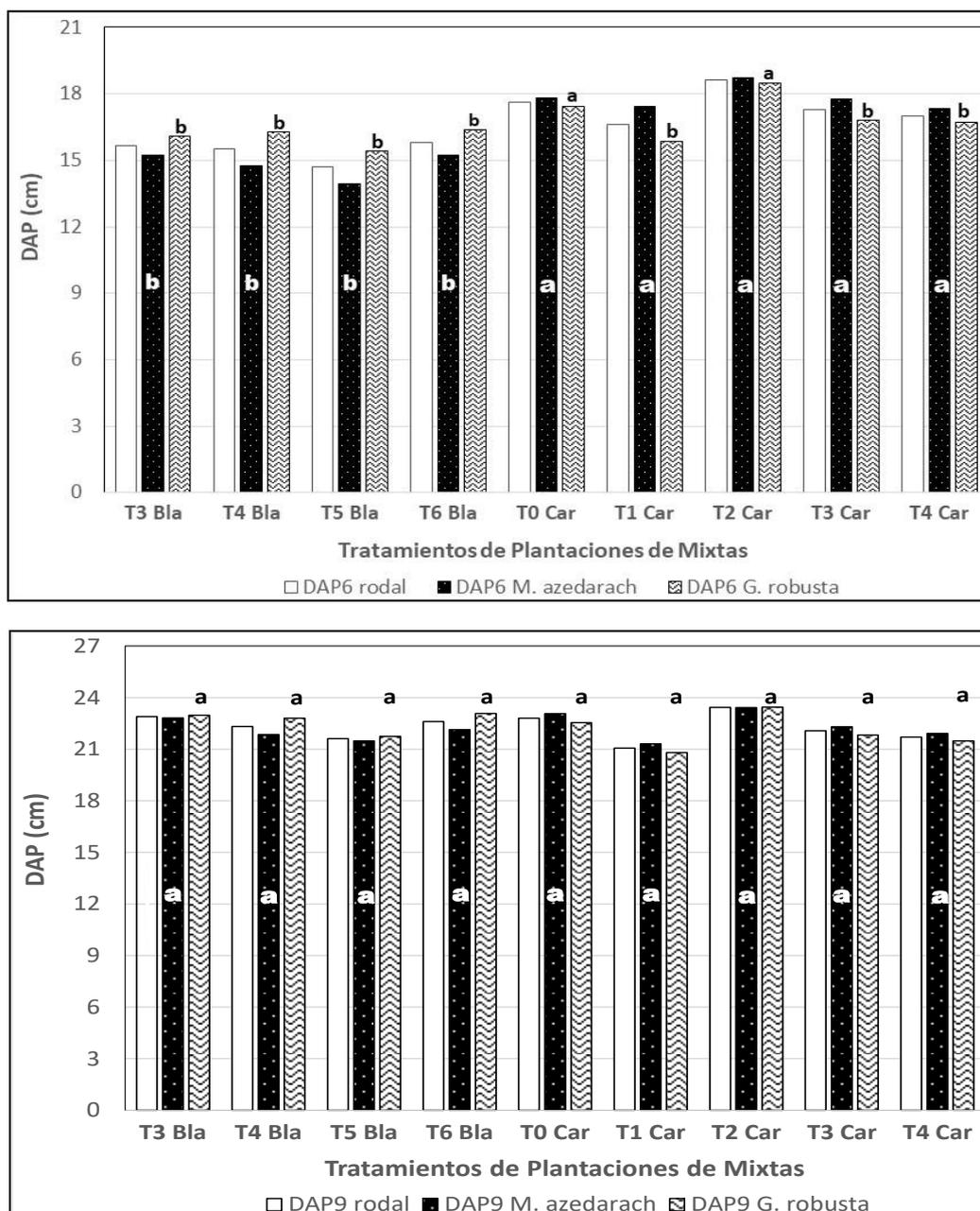
En la literatura forestal existen referencias sobre ensayos de intensidades de raleo que coinciden con este resultado, en el que los valores acumulados de área basal y/o volumen maderable obtenidos en los diversos tratamientos son estadísticamente diferentes. En este contexto Espinosa *et al.* (1994) con *Pinus radiata*, Chaves y Mora, (2010) con *Pachira quinata*, Ferrere *et al.* (2015) con *Pinus radiata*, Keller *et al.* (2016) en *G. robusta* y Torres *et al.* (2017) en *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, coinciden en que el tratamiento testigo junto a los tratamientos con intensidades de raleo suave a moderado son los que expresan y acumulan la mayor cantidad de área basal y volumen maderable (con frecuencia sin diferencias estadísticas entre ellos), diferenciándose de los tratamientos con altas intensidades de raleo (normalmente mayores al 40% de la existencia antes del raleo); en estos últimos hay una pérdida significativa de área basal y volumen por unidad de superficie, aunque hay un mayor volumen por unidad de árbol.

**En relacion al objetivo específico 5:** “Evaluar si el arreglo espacial de las especies tiene efectos sobre el crecimiento diamétrico y del área basal”

**4.5.3 Análisis estadístico de plantaciones con diferentes diseños.** Con el propósito de analizar el efecto del diseño de plantación en las respuestas silvícolas y dasométricas de las especies componentes de las plantaciones mixtas se utilizó información dendrométrica de Blanco (Lote 60631, tratamientos T3, T4, T5 y T6) y Cardenal (Lote 40229, tratamientos T0, T1, T2, T3 y T4), correspondiente a las edades de 6 y 9 años.

En el rodal mixto de Blanco las especies (paraíso y grevillea) se plantaron en forma simultánea, disponiéndola en forma alterna (PA) en la línea de plantación, mientras que en la plantación de Cardenal los árboles están dispuestos en líneas puras de una especie y alternándola con filas de la otra (PLP).

En la Figura 59 se representó el DAP medio de la componente paraíso, grevillea y del rodal (ambas especies en conjunto) en las dos edades de referencia.



**Figura 59.** Diámetro medio (DAP) de *M. azedarach*, *G. robusta* y del rodal correspondiente a las plantaciones mixtas de Cardenal y Blanco. *Arriba:* resultados a la edad de 6 años. *Abajo:* resultados a la edad de 9 años.

*Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (p<0.05).*

A la edad de 6 años, luego de transcurrir un tiempo muy breve después de la aplicación del raleo, se constataron diferencias estadísticas significativas tanto al compararse la especie grevillea (en la parte superior de las barras se colocaron las letras

de los grupos resultantes de la prueba de medias) como paraíso (en la parte media de las barras se colocaron las letras de los grupos).

En el análisis comparativo de los resultados de grevillea se destacan los tratamientos T0 y T2 de la plantación mixta de Cardenal, por tener los diámetros mayores y significativamente diferentes al resto de los tratamientos.

Por otra parte al utilizarse los resultados obtenidos con la componente paraíso, las diferencias están dadas entre plantaciones mixtas, resultando todos los tratamientos de Cardenal superiores respecto a las parcelas de la plantación de Blanco.

Al final del periodo del primer control (9 años de edad) no se constató ninguna diferencia estadística, en ninguna de las fuentes de variación analizadas. En el gráfico se observa mucha similitud en la magnitud de las barras que representan al diámetro medio.

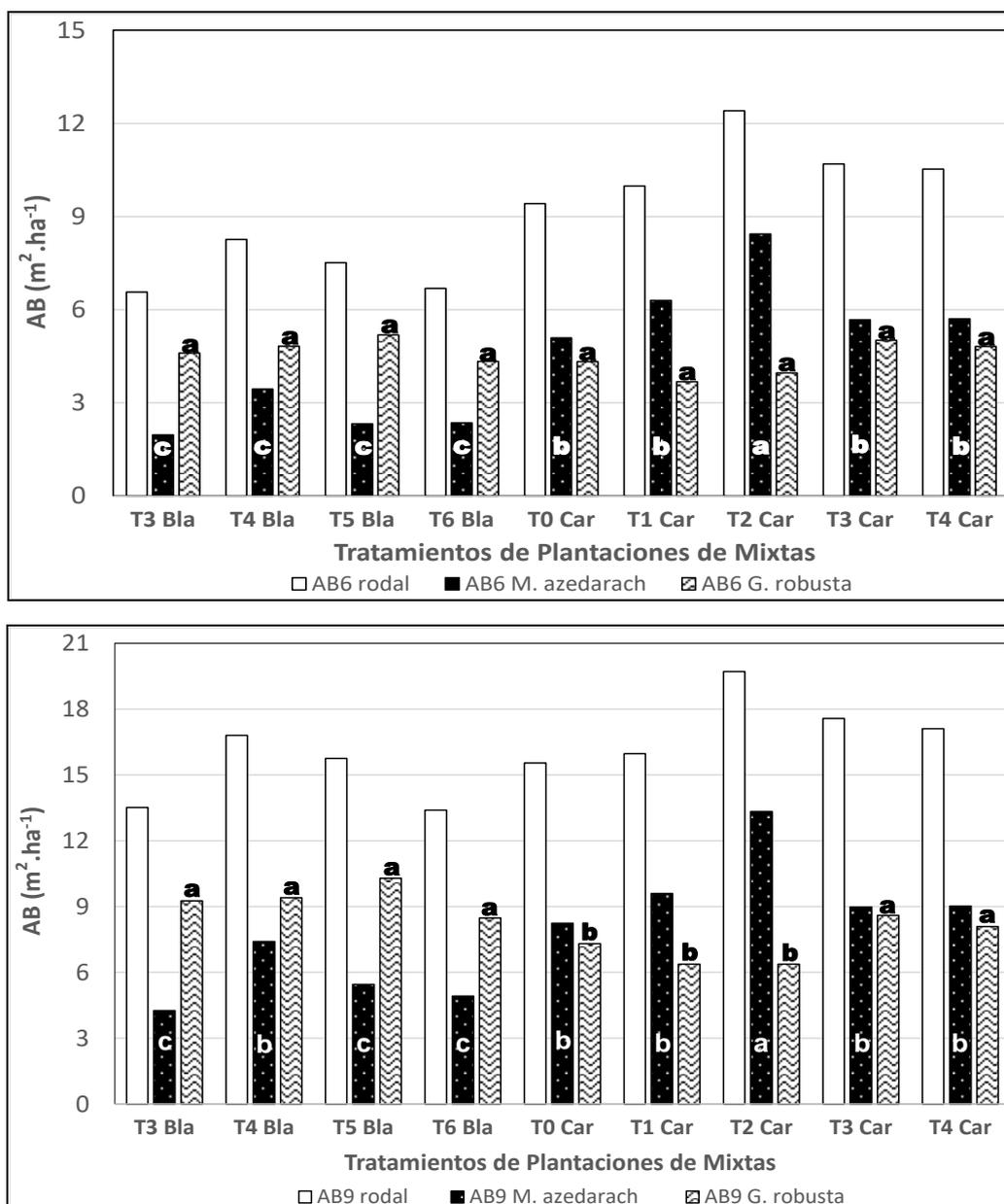
En la Figura 60 se representan los resultados de área basal.

En relación a la componente grevillea no se hallaron diferencias estadísticas a la edad de 6 años. En cambio al considerarse las plantas de paraíso si se detectaron diferencias significativas estadísticamente.

Las mejores respuestas de paraíso se registran en los tratamientos de la plantación de Cardenal (grupos con letras **a** y **b**). Es importante recordar que el rango de densidad de paraíso en Cardenal es de 199 (T0) a 300 (T2) plantas.ha<sup>-1</sup>, mientras que en Blanco varía entre 104 (T3) y 191 (T4) plantas.ha<sup>-1</sup>. Los valores de la plantación de Blanco constituyen el tercer grupo (letra **c**).

A la edad de 9 años, en las dos especies son notorias las diferencias estadísticas entre tratamientos. En relación al área basal de paraíso las diferencias son estadísticamente significativas, registrándose las mejores respuestas en los tratamientos de Cardenal. La mayor área basal corresponde al tratamiento T2. En tanto, los menores valores de área basal se constataron en los tratamientos T3, T5 y T6 de la plantación de Blanco. La mejor respuesta de Blanco se registró en T4 que tiene la mayor densidad de paraíso.

En el caso de la grevillea, en general son mejores las respuestas obtenidas en la plantación mixta de Blanco. En el grupo **a**, que incluye a los rodales con mayores áreas basales, se encuentran todos los tratamientos de Blanco y las parcelas T3 y T4 de Cardenal. Aquí conviene señalar que el rango de densidad de grevillea en la plantación de Blanco es de 200 (T6) a 274 (T5) plantas.ha<sup>-1</sup>, mientras que en Cardenal varía entre 143 (T2) y 221 (T3) plantas.ha<sup>-1</sup>.



**Figura 60.** Área basal (AB) de *M. azedarach*, *G. robusta* y del rodal correspondiente a las plantaciones mixtas de Cardenal y Blanco. Arriba: resultados a la edad de 6 años. Abajo: resultados a la edad de 9 años.

*Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (p<0.05).*

En función de los resultados antes referidos se pueden expresar las siguientes tendencias:

- El hecho que a los 9 años de edad no haya diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos al evaluarse el DAP medio, es un reflejo de la capacidad de las plantas de grevillea y paraíso (particularmente esta última) del rodal de Blanco, para que a partir del mayor crecimiento diamétrico hayan logrado reducir la

diferencia con las parcelas de Cardenal. En otras palabras, el diseño de plantación en forma simultánea en forma alterna en la línea (PA), favorecería a las plantas de paraíso.

- Respecto al área basal a los 9 años también se observa una ligera recuperación de los tratamientos de la plantación de Blanco, especialmente por el aporte de grevilea. Consecuentemente la productividad del rodal (ambas especies en conjunto) en Blanco presenta una mejoría.
- La mayor área basal de *M. azedarach* en cada plantación mixta se da en aquel tratamiento que tiene la máxima densidad. Por ejemplo, en Cardenal el tratamiento T2 con 300 plantas.ha<sup>-1</sup>, presentándose en la comparación múltiple como el de mayor área basal (grupo **a**). Y la mejor respuesta en Blanco estuvo dada por el tratamiento T4 con 191 plantas.ha<sup>-1</sup> de esta especie (grupo **b**).

Considerando los resultados obtenidos, se acepta preventivamente la hipótesis alternativa que establece que el arreglo espacial de los componentes de la plantación mixta influye en las respuestas del diámetro y área basal de las especies, en función de la existencia o no de complementación entre ellas.

En el estudio se observaron indicios de que aparentemente hay una complementación entre las especies cuando se las ubica de una determinada manera dentro de la plantación. Esta situación es más clara con los resultados de diámetro.

Cuando los ejemplares de *M. azedarach* y *G. robusta* son plantados en forma simultánea, disponiéndolas en líneas puras de una especie y alternándola con filas de la otra (PLP, plantación de Cardenal), no se observó ninguna complementación. En cambio los indicios de complementariedad se darían en la distribución alterna de las plantas de cada especie en la línea de plantación (PA, plantación de Blanco), beneficiándose el paraíso ya que crece más y consecuentemente, hay mayor crecimiento de todo el rodal.

La interacción que habría entre esta especies en el tipo de arreglo PA, se condice con lo planteado por Moya y Arce (2003) y Alice *et al.* (2004) respecto a que el arreglo espacial de las especies en una plantación mixta condiciona de manera importante el desarrollo de las mismas, siendo beneficiadas las que presentan rápido crecimiento.

La complementación antes comentada ya fue observada y comunicada por Hennig *et al.* (2010) en plantaciones mixtas jóvenes de *M. azedarach* y *G. robusta*. Según estos autores en el diseño de forma alterna en la línea de plantación se evidenció la existencia de interacción entre ambas especies, y consecuencia de la misma sería el mayor

crecimiento de las plantas de *M. azedarach* y la mayor productividad que el rodal mixto tuvo a los 4 años.

En el contexto del análisis de la complementación de las especies se podría adicionar la referencia señalada en una comunicación personal por el Ingeniero Herman Hampel (ex-responsable ejecutivo de Danzer Forestación S.A.). Este profesional considera que en la plantación mixta paraíso con grevillea se produce una reducción significativa del costo de mantenimiento durante el proceso de obtención de una adecuada longitud de fuste en paraíso, debido al efecto favorable de competencia y sombra del follaje aportada por la grevillea. Y para este propósito el arreglo PA sería más propicio.

Los dos referencias anteriores sobre una posible complementación entre las especies de una plantación mixta de paraíso y grevillea, están en consonancia con lo expresado por Loewe *et al.* (2013), quienes informan que el cerezo (*Prunus avium* L.) tiene mejor comportamiento y mayor crecimiento al estar acompañado en el sistema por diversas especies forestales.

Finalmente, en el contexto de la evaluación de los efectos del arreglo espacial, es conveniente ratificar el carácter condicional o preventivo, basado en indicios, de la afirmación de existencia de complementación entre especies en los casos analizados.

**En relacion al objetivo específico 6:** “Determinar si los parámetros dasométricos de rodales mixtos raleados de *M. azedarach* y *G. robusta* son superiores al de rodales puros de las mismas especies”

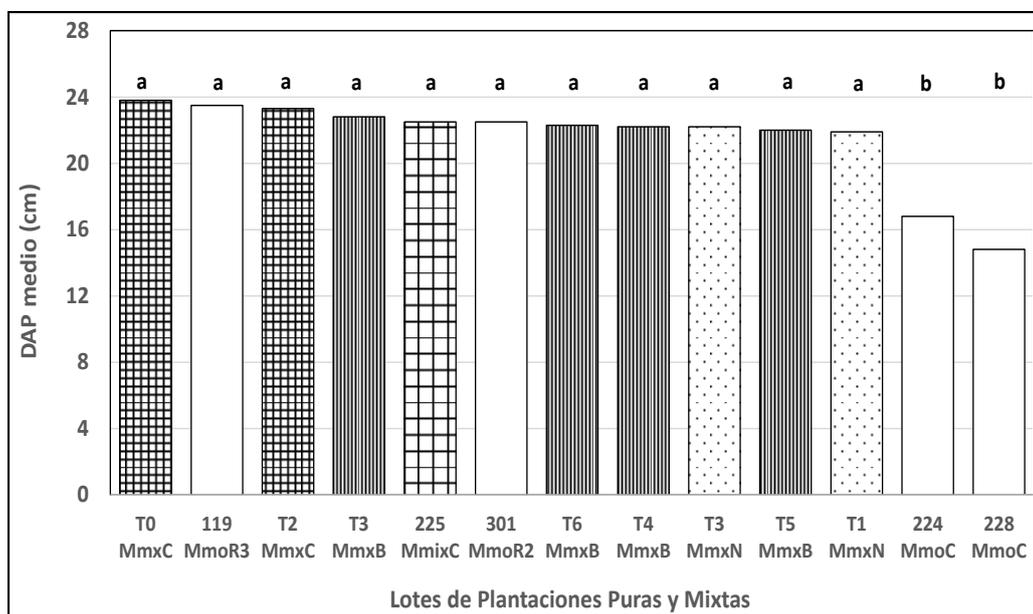
#### **4.5.4 Productividad de rodales puros y mixtos de *M. azedarach* y *G. robusta*.**

En la Figura 61 se presentan los resultados de la comparación de los diámetros de *M. azedarach* correspondientes a monocultivos respecto de los obtenidos en diversas plantaciones mixtas. Los rodales identificados con los códigos 40229, 60631 y 80308 corresponden a las plantaciones mixtas expresamente analizadas en esta tesis.

Principales resultados:

- No se registraron diferencias estadísticas significativas entre los diámetros de los tratamientos T0 y T2 MmxC de plantación mixta de Cardenal; T3, T4, T5 y T6 MmxB de plantación mixta de Blanco; T1 y T3 MmxN de plantación mixta de Nofal; los Lotes 119 y 301 de monocultivos de Rincón; y el Lote 40225 de otra plantación mixta de Cardenal.

- Si se detectaron diferencias respecto de los Lotes 224 y 228 de plantaciones puras de paraíso de Cardenal.



**Figura 61.** Comparaciones de diámetro medio (DAP) por tratamiento. Datos dasométricos de *Melia azedarach* registrados a los 9 años de edad, procedentes de plantaciones puras o monocultivos (Mmo) y de tres plantaciones mixtas (Mmx) de similar densidad.

*Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (p<0.05).*

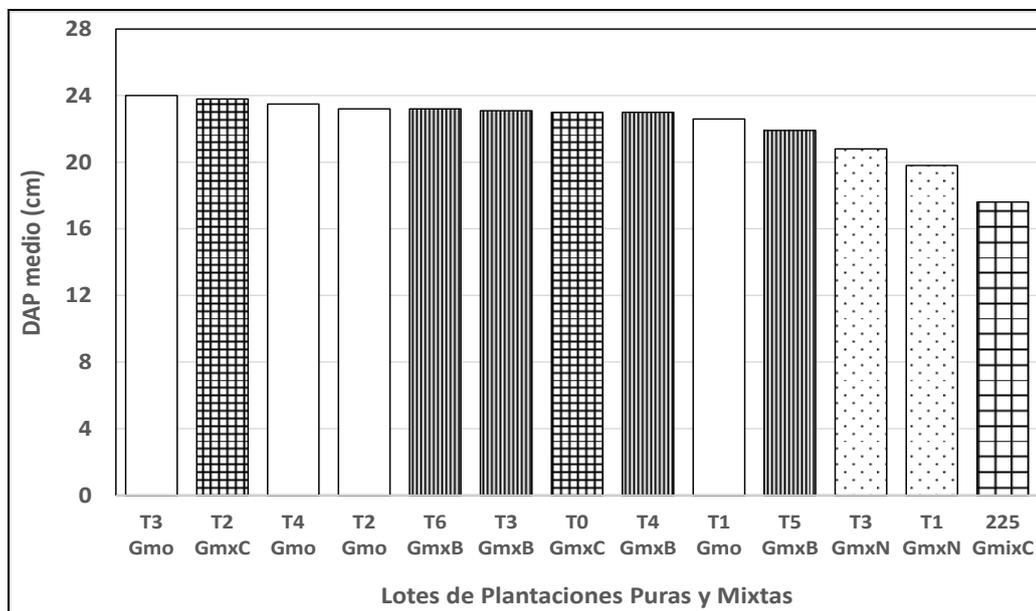
Referencias gráficas:

-  Plantación mixta de Cardenal. Tratamientos T0 y T2 del Lote 40229
-  Plantación mixta de Cardenal, Lote 225
-  Plantación mixta de Blanco. Tratamientos T3, T4, T5 y T6 del Lote 60631
-  Plantación mixta de Nofal. Tratamientos T1 y T3 del Lote 80308
-  Monocultivos de *Melia azedarach*, Lotes 119, 224, 228 y 301

En la Figura 62 se hace la comparación de los diámetros de *G. robusta* correspondientes a monocultivos respecto de los obtenidos en diversas plantaciones mixtas. Los rodales identificados con los códigos 40229, 60631 y 80308 corresponden a las plantaciones mixtas estudiadas en esta tesis.

En los tratamientos T1 y T3 de la plantación mixta de Nofal (Lote 80308, forestación estudiada expresamente en esta tesis), y en el Lote 225 de otra plantación mixta de Cardenal, se obtuvieron los menores valores de diámetro medio, y significativamente diferentes de las respuestas de las otras parcelas.

En el conjunto de tratamientos con mayores diámetros (grupo **a**), las respuestas procedentes de las plantaciones puras y mixtas se encuentran entre mezcladas, sin diferenciarse entre ellas.



**Figura 62.** Comparaciones de diámetro medio (DAP) por tratamiento. Datos dasométricos de *Grevillea robusta* registrados a los 9 años de edad, procedentes de plantaciones puras o monocultivos (Gmo) y de tres plantaciones mixtas (Gmx) de similar densidad.

*Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ).*

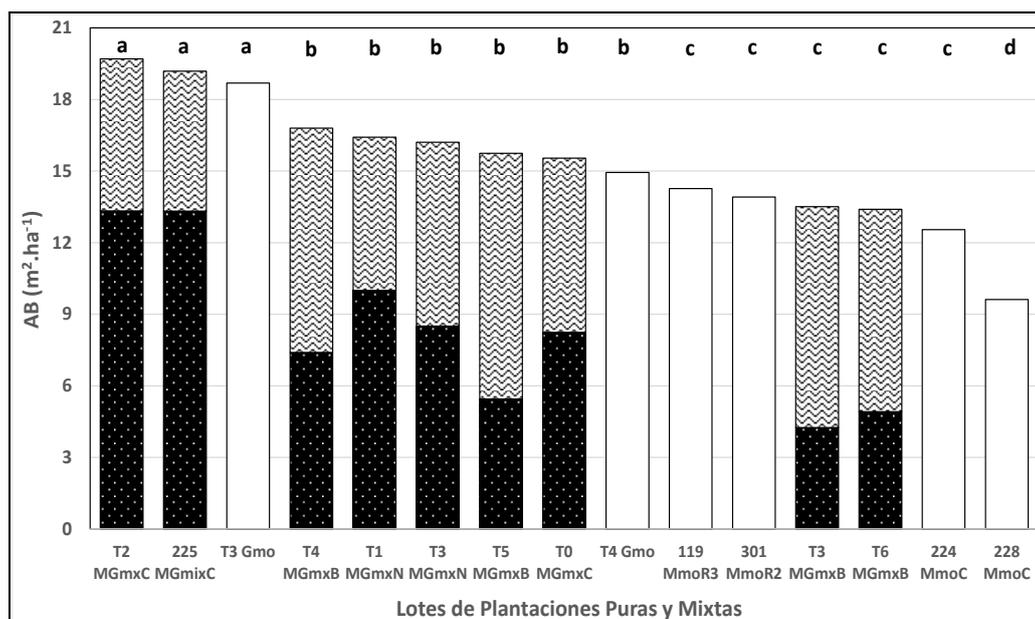
Referencias gráficas:

-  Plantación mixta de Cardenal. Tratamientos T0 y T2 del Lote 40229
-  Plantación mixta de Cardenal, Lote 225
-  Plantación mixta de Blanco. Tratamientos T3, T4, T5 y T6 del Lote 60631
-  Plantación mixta de Nofal. Tratamientos T1 y T3 del Lote 80308
-  Monocultivos de *Grevillea robusta*, Tratamientos T1, T2, T3 y T4

En la Figura 63 se evalúa la cobertura del sitio a través del área basal. Las mejores respuestas se lograron en dos plantaciones mixtas de Cardenal (T2 MGmxC y 225 MGmxC) y un monocultivo de grevillea (T3 Gmo), presentando diferencias estadísticas significativas respecto del resto de los lotes.

Entre las plantaciones mixtas particularmente estudiadas en esta tesis la mayor área basal conjunta (de ambas especies) se registró en el tratamiento T2, que ha tenido un raleo moderado (39% de la densidad del tratamiento), dejándose en la población remanente dos plantas de paraíso por cada una de grevillea.

La menor área basal en las plantaciones mixtas se registró en los tratamientos con alta intensidad de raleo (T3 MGmxB y T6 MGmxB) de Blanco, en que se dejaron tan solo 326 plantas.ha<sup>-1</sup> a muy temprana edad (5 años). Con esas intervenciones de raleos la capacidad productiva del sitio fue subutilizada en términos de producción maderera. En la comparación múltiple, la peor respuesta se registró en el monocultivo de paraíso, código 228 MmoC, con 433 plantas.ha<sup>-1</sup>.



**Figura 63.** Comparaciones de área basal por tratamiento. Datos dasométricos de *M. azedarach* y *G. robusta* registrados a los 9 años de edad, procedentes de plantaciones puras o monocultivos (Mmo-Gmo) y de tres plantaciones mixtas (MGmx) de similar densidad.

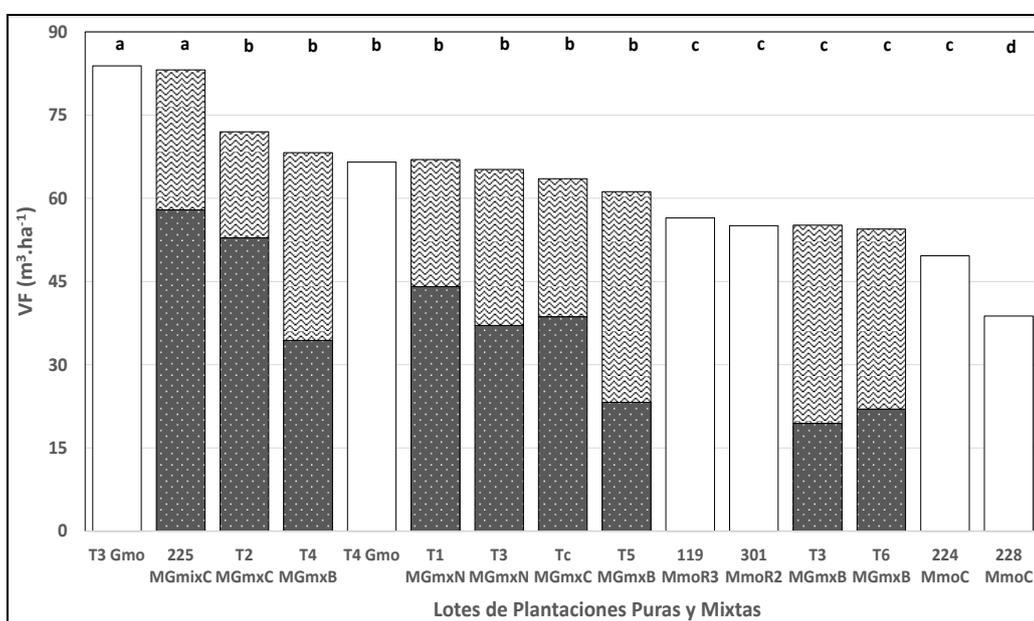
*Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (p<0.05).*

En las Figuras 63 y 64 se utilizaron las siguientes referencias gráficas:

- Plantaciones mixtas de Blanco (Lote 60631), Cardenal (Lote 40229) y Nofal (Lote 80308)
- Componente *Grevillea robusta*
- Componente *Melia azedarach*
- Monocultivos de *G. robusta*, Tratamientos T3 y T4 y monocultivos de *M. azedarach*, Lotes 119, 224, 228 y 301

En la Figura 64 se representó el volumen de fuste a fin de realizar el análisis comparativo de las respuestas de diversas plantaciones puras y mixtas.

La tendencia antes descrita para la variable área basal, en el análisis efectuado con el volumen de fuste se ve acentuada y consolidada, con ligera modificación en la conformación del grupo de tratamientos con la mejor respuesta (grupo **a**). Los mayores volúmenes se obtuvieron en la forestación pura T3 Gmo de grevillea y en la plantación mixta 225 MGmixC de Cardenal. En los grupos **b** y **c** aparecen entremezcladas las respuestas de tratamientos de las plantaciones mixtas de Blanco, Cardenal y Nofal con monocultivos de paraíso y grevillea. La plantación con la menor productividad (grupo **d**) correspondió al monocultivo de paraíso 228 MmoC, cuya posible explicación se encuentre en una deficiencia de la calidad de sitio respecto de la exigencia de la especie para expresar todo su potencial de crecimiento.



**Figura 64.** Comparaciones de volumen de fuste (VF) por tratamiento. Datos dasométricos de *M. azedarach* y *G. robusta* registrados a 9 años de edad, procedentes de plantaciones puras o monocultivos (Mmo-Gmo) y de tres plantaciones mixtas (MGmix) de similar densidad.

**Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ )**

Considerando los resultados logrados, se acepta la hipótesis que determina que las respuestas dasométricas de las plantaciones mixtas evaluadas difieren significativamente de las plantaciones puras con las mismas especies. En otras palabras, se rechaza la hipótesis nula de igualdad de las respuestas de los tratamientos ya que se encontraron evidencias a favor de la hipótesis alternativa formulada.

Resumiendo, en la comparación realizada con los valores de diámetro, área basal y volumen de fuste de las plantaciones mixtas estudiadas y puras de *M. azedarach* y *G.*

*robusta* establecidas en la misma área de estudio y similar ambiente, según diversas fuentes consultadas, se observaron disímiles respuestas.

Hecha esta aclaración y tomando como válido los resultados aquí obtenidos, aún con la salvedad de su alcance limitado, se expresa que ciertas parcelas de plantación mixta fueron significativamente superiores a otras que representaban a monocultivos de paraíso o grevillea. Se puede decir que estos casos ajustan parcialmente (porque solo se constataron en ciertas comparaciones), con las referencias formuladas por Laurie (1941c) y Wakeley (1954) citados por Wadsworth (2000), quienes esgrimen que con las plantaciones mixtas se obtendría un rendimiento mayor, apoyándose en la ventaja comparativa del cultivo de plantaciones mixtas basada en el supuesto que al cultivarse dos o más especies en un mismo espacio se obtendría un rendimiento mayor.

Aportando evidencias a favor de los rodales mixtos, Pretzsch *et al.*, (2015) en un importante y extenso estudio realizado en varios países de Europa, señalan que los indicadores dasométricos fueron superiores en los rodales mixtos de pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) y de la haya europea (*Fagus sylvatica* L.) respecto de rodales puros de las mismas. En esta misma línea de argumentación, Alice *et al.*, (2004) señalan sobre resultados de experimentos efectuados en Costa Rica, obteniéndose los volúmenes más altos en plantación mixta de *Calophyllum brasiliense* Cambess, *Vochysia guatemalensis* Donn. y *Jacaranda copaia* D.Don, como en la plantación pura de *V. guatemalensis*.

El hecho más frecuentemente observado en la prueba múltiple realizada con todas las variables dasométricas (DAP, AB y VF) es que los resultados de las plantaciones puras y mixtas se encuentren entremezclados en cada grupo estadístico, sin diferenciarse. Este detalle fue particularmente notorio al considerarse el diámetro, observándose una altísima homogeneidad en los valores de esta variable, sean éstos de plantaciones puras o mixtas

Solo en algunos casos se registró supremacía de las plantaciones puras respecto de las plantaciones mixtas aquí evaluadas. Esta clase de respuesta es coincidente con la posición sostenida por Wadsworth (2000), quien argumenta que en los sitios de buena calidad es más conveniente el uso de monocultivos forestales. Por otro lado Alice *et al.*, (2004) en estudio realizado con diversas especies, informan que *Calophyllum brasiliense* fue la única especie en donde la plantación pura tuvo mayor diámetro que la obtenida en la plantación mixta.

**En relación al objetivo específico 7:** “Evaluar si la disposición de las especies en una estructura de plantación mixta influye sobre la sanidad y mortalidad de los árboles”

#### 4.6 Referencias Silviculturales, Especialmente sobre la Sanidad y la Mortalidad.

Uno de los supuestos que utilizan los propulsores de las plantaciones mixtas para defenderlas e incentivar su cultivo, es que la combinación complementaria de las especies forestales en un mismo espacio resultaría en efectos beneficiosos, tanto productivo como económico.

En relación a los beneficios de la consociación, el Dr. H. Hampel quien fuera responsable ejecutivo en Misiones de la empresa propietaria de las plantaciones mixtas aquí estudiadas, expresó (comunicación personal al suscripto) haber observado un efecto positivo en la asociación “paraíso + grevillea”, el cual estaba vinculado a la reducción significativa del costo de conducción del fuste del paraíso. La explicación planteada es que cuando los rodales se encuentran en la condición de espesura normal o próximo a dicha estado de competencia, debido al follaje persistente de la grevillea, y consecuente sombreadamiento en su área de influencia, induce a que en el fuste de las plantas circundantes (plantas de paraíso) no emitieran rebrotes o lo hiciera en menor medida, por lo que la obtención de fuste limpio en esta última especie se lograba con la afectación de menos recursos.

En las Tablas 68 y 69 se exponen los cambios en la variación de la densidad (plantas por hectárea) en el período de observación, para las dos especies en el Tratamiento T0, parcela testigo (con máxima cobertura, no tuvo raleos, solo muerte natural), correspondientes a las plantaciones mixtas de Blanco y Nofal. Se escogió dicho tratamiento porque los valores relevantes de mortalidad se dan justamente en estas parcelas sin raleo, donde la competencia forestal es máxima. En estas Tablas la fila superior representa la edad de la plantación (en años). El subíndice “a” y “d” de los años 5, 6 y 9 significan “antes y después del raleo”, respectivamente.

**Tabla 68.** Variación de la densidad total y específica (pl.ha<sup>-1</sup>). Tratamiento T0, ensayos de Blanco

Campo Blanco		5a	5d	6	7	8	9a	9d	10	11
Paraíso	T0	303	303	303	303	293	284	284	256	246
Grevillea	T0	396	396	396	396	396	396	396	396	396
<b>Total</b>		<b>699</b>	<b>699</b>	<b>699</b>	<b>699</b>	<b>689</b>	<b>680</b>	<b>680</b>	<b>652</b>	<b>642</b>

**Tabla 69.** Variación de la densidad total y específica (pl.ha<sup>-1</sup>). Tratamiento T0, ensayos de Nofal<sup>3</sup>

Campo Nofal		6a	6d	7	8	9a	9d	10	11
Paraíso	T0	480	480	480	365	341	341	312	289
Grevillea	T0	527	527	527	521	521	521	492	492
<b>Total</b>		<b>1007</b>	<b>1007</b>	<b>1007</b>	<b>886</b>	<b>862</b>	<b>862</b>	<b>804</b>	<b>781</b>

De la lectura de ambas tablas se deduce que en las dos plantaciones se registró muerte natural de ejemplares, componente esencial de la dinámica de los ecosistemas forestales. En las edades con registro de mortalidad, el valor de la densidad disminuida se resaltó de color castaño rosado.

Vinculado a la información tabulada es pertinente resaltar un carácter específico asociado a la grevillea y que se refiere a la gran capacidad para tolerar altos niveles de densidad a edad avanzada, sin que se produzca la muerte de los ejemplares dominados. Los casos raros de mortalidad en esta especie sucedieron en Nofal (6 y 29 plantas.ha<sup>-1</sup> en el 8º y 10º año, respectivamente), aparentemente como corolario inevitable de un estado muy avanzado de la “gomosis” (imágenes de la Figura 65).



**Figura 65.** Imágenes de la enfermedad denominada “gomosis” en un ejemplar joven de grevillea.

<sup>3</sup> **Índice de Densidad de Rodal:** considerando que únicamente en la plantación mixta de Nofal fue donde se produjo reducción de la densidad por mortalidad natural de plantas de ambas especies, en Anexo A6 se realiza un breve análisis de la espesura del rodal desde la perspectiva de la variación del IDR.

En relación a plantas con gomosis al final del primer ensayo se registró una disminución del 1,14% de la densidad. En tanto, a la edad de 11 años, final del segundo ensayo, la mortalidad por esta causa alcanzó el 5,38% de la densidad existente a los 6 años. En siete años de observación de las parcelas testigo (sin raleo), la mortalidad registrada correspondió al 50% de las pocas plantas con gomosis.

En el caso de la especie paraíso la mortalidad resultó ser un fenómeno frecuente en las parcelas con espesura excesiva, como manifestación extrema de la consecuencia de la competencia intra e interespecífica. Los árboles que son menos vigorosos, tienen menor crecimiento, comienzan a perder espacio y recursos vitales para su subsistencia, y en el proceso de estratificación social los individuos dominados pasan prontamente a la condición de moribundos y luego a muertos.

Si bien se observaron muertes en ambas plantaciones, el mayor número de mortalidad de plantas de paraíso se registró en la plantación mixta de Nofal (191 plantas.ha<sup>-1</sup> muertas en un periodo de 5 años que representa una pérdida de densidad del 39,8%), hecho que posiblemente esté relacionado con la significativa mayor densidad al inicio del ensayo. La mortalidad acumulada en un período de 6 años en el tratamiento T0 de Blanco fue solo del 18,8% (57 plantas.ha<sup>-1</sup>).

Coincidentemente en las dos plantaciones mixtas la competencia biológica importante comienza a partir de los 5 – 6 años, observándose que el momento crítico se produjo alrededor de los 8 años de edad, con registros de mortalidad por autorraleo. A partir de ese año, en los siguientes hasta el final del estudio, se produjeron muertes. En el caso de Nofal se registraron 115 plantas.ha<sup>-1</sup> muertas a los 8 años, y luego se detectaron niveles leves de mortalidad periódica: 24, 29 y 23 plantas.ha<sup>-1</sup> a los 9, 10, y 11, respectivamente. Mientras tanto, en la plantación mixta de Blanco la frecuencia absoluta y relativa de plantas muertas ha sido bastante más baja que la registrada en Nofal.

Las plantas de paraíso de las plantaciones mixtas aquí evaluadas estuvieron afectadas por la mencionada enfermedad “mal de amarillamiento”, aclarándose que en el presente estudio no se realizó ningún tratamiento particular sobre dicha enfermedad. Si bien se hicieron observaciones sobre el estado de avance de la enfermedad, las mismas estuvieron orientadas a servir como dato para la toma de decisión al momento de seleccionar los árboles a ralear.

La presencia o ausencia de esta anomalía fue un factor especialmente considerado en el momento de la selección de árboles a ralear (tratamientos con diversas

intensidades de raleos), especialmente cuando el efecto resultaba notorio a nivel de fuste (Figura 66). De modo que con el raleo efectuado en dicha especie, no solo se obtuvieron los beneficios dasométricos de su práctica, sino que también sirvió para realizar un saneamiento de las parcelas.

En relación a la enfermedad del “mal del amarillamiento”, un argumento técnico suponía que el cultivo mixto en alguna de las modalidades de distribución espacial, podría ser útil para que el impacto de la enfermedad sea más leve, al no exponerse tan fácilmente a los “paraísos” al ataque de los insectos vectores de la enfermedad (Hennig *et al.*, 2010).

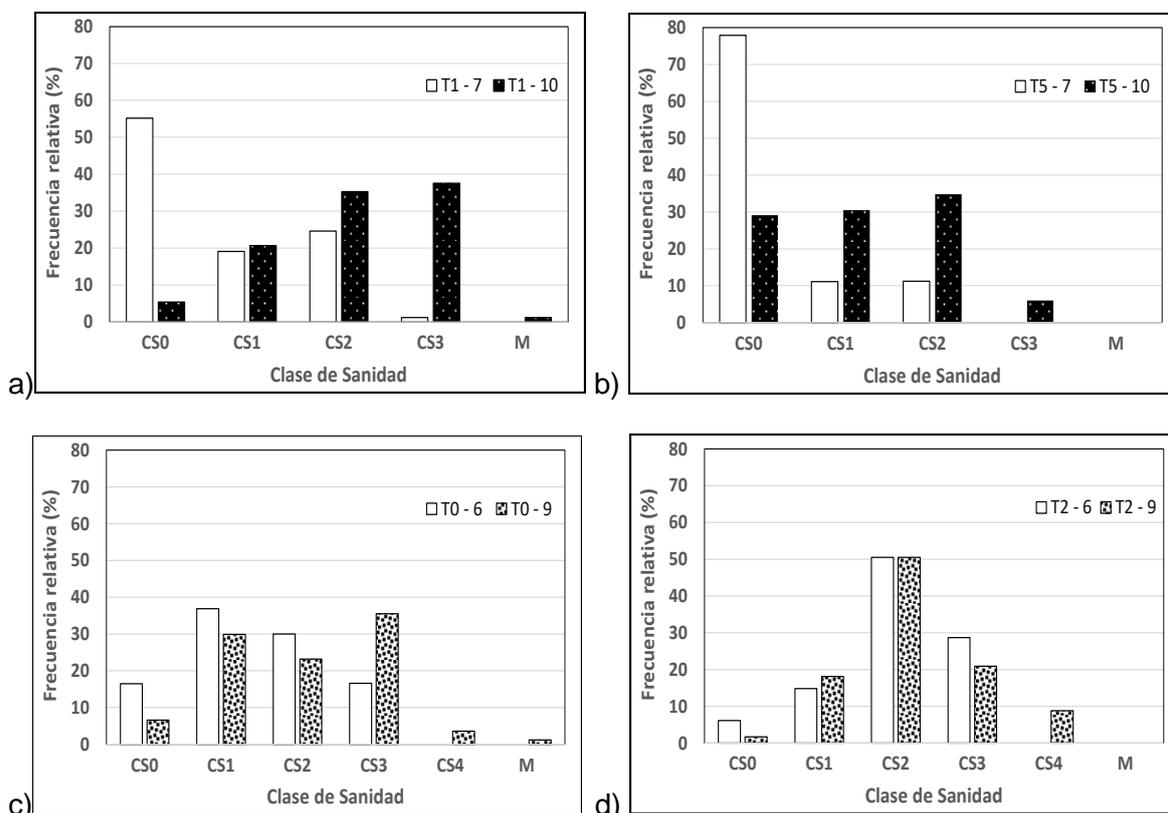


**Figura 66.** Izquierda: fuste normal correspondiente a *M. azedarach* con clase de sanidad 2. Derecha: fuste con deformaciones longitudinales moderadas en el fuste. Planta gravemente afectada (clase 3) por la enfermedad amarillamiento del follaje.

En la Figura 67 se comparan los resultados de la distribución de plantas en clases de sanidad, a los 7 y 10 años de los tratamientos extremos T1 ( $N = 410$  plantas. $ha^{-1}$ ) y T5 ( $N = 170$  plantas. $ha^{-1}$ ) del monocultivo de paraíso de campo Rincón, respecto a los tratamientos T0 ( $N = 199$  plantas. $ha^{-1}$  de paraíso) y T2 ( $N = 300$  plantas. $ha^{-1}$  de paraíso), de 6 y 9 años de la plantación mixta de Cardenal.

Considerando en el monocultivo de paraíso solo las dos mejores clases de sanidad, CS0 y CS1, quedan incluidas en ellas el 74 y 89% de los individuos del T1 y T5, respectivamente, a la edad de 7 años. En tanto que tres años después (10 años), en esas mismas clases solo quedan el 26 y 59% de la población de T1 y T5.

En tres años, entre 48 y 30% de los individuos que fueron registrados en estas clases en el control anterior (7 años) mudaron a la clase 3, debido al avance de la enfermedad. A la edad de 10 años las clases CS2 y CS3 agrupan al 74 y 41% de la población de los tratamientos antes nombrados, lo que evidencia un fuerte a moderado avance de la enfermedad.



**Figura 67.** Distribución de la frecuencia relativa por clase de sanidad de plantas de *M. azedarach* correspondiente a plantaciones que han tenido manejo de densidad. *Arriba:* monocultivo en campo Rincón (referido por Perez *et al.*, 2007 y 2008), con datos a las edades de 7 y 10 años. *Izquierda (a):* datos del tratamiento T1. *Derecha (b):* datos del tratamiento T5. *Abajo:* plantación mixta en campo Cardenal, analizada en esta tesis, con datos a las edades de 6 y 9 años. *Izquierda (c):* datos del tratamiento control Tc. *Derecha (d):* datos del tratamiento T2.

Al realizar un análisis similar con la componente *M. azedarach* de los tratamientos seleccionados de la plantación mixta de Cardenal, en el que se consideren las tres mejores clases de sanidad, CS0-CS1-CS2 (equivalente a las clases CS0-CS1 del monocultivo de Rincón), quedaron incluidos el 83.3 y 71.2% de los árboles de paraíso de los tratamientos Tc y T2, respectivamente, a la edad de 6 años.

En el control siguiente efectuado a los 9 años, dichos tratamientos contenían el 60 y 69.8% de la población en las mismas clases de sanidad. Es decir, a los 9 años de edad

entre 40 y 30.2% de la población de paraíso de los tratamientos antes referidos, formaban parte de las clases CS3 y CS4, lo que podría interpretarse como leve a moderado progreso de la enfermedad.

Con base a los resultados de los cuatro rodales de paraíso se puede expresar lo siguiente:

- En cada rodal se registró la presencia de plantas afectadas por la enfermedad en diferentes intensidades.
- La cantidad de plantas con mejor condición sanitaria en todos los casos se observó a edad temprana. En otras palabras, a mayor edad más plantas enfermas y peor condición de sanidad de las plantas afectadas (mayor frecuencia de plantas clasificadas en alguna de las dos peores clases de sanidad).
- En principio se observa que la condición sanitaria es buena y similar en los cuatro rodales comparados, dos de monocultivo y dos de plantación mixta, a temprana edad (6 – 7 años de edad) y habiendo tenido previamente todos un primer raleo para mejorar la estructura.
- Los números que reflejan el avance de la enfermedad (diferencias entre los dos controles realizados en cada plantación), son más altos en el monocultivo, y por ello es más preocupante, dado que si aumentara la propagación e intensidad de la enfermedad, en situación extrema el daño podría ser muy severo perjudicando seriamente la posibilidad del cultivo de esta especie.

Objetivamente no puede adjudicarse que la mejor condición sanitaria de las plantas de paraíso de la plantación mixta obedezca necesariamente al diseño de mezcla de especies (o al menos difícilmente esta cuestión termine de explicar totalmente esta diferencia).

Se podría decir que las plantas de paraíso de peor sanidad podrían eliminarse a través de próximos raleos, dejando los individuos de mayor crecimiento y mejor sanidad para la corta final. Por otra parte, desde un punto de vista hipotético si la enfermedad avanzara de manera intensa hasta alcanzar valores insostenibles, la pérdida en la forestación será menor que la registrada en el monocultivo de paraíso, ya que se dispone de árboles de la segunda especie en adecuada sanidad y desarrollo.

En función de lo precedentemente analizado y según el objetivo específico, evaluar si la disposición de las especies en una estructura de plantación mixta influye sobre la sanidad y mortalidad de los árboles, los resultados obtenidos evidencian que la

mortalidad natural como impacto negativo extremo del intenso proceso de competencia intra e interespecífica, sólo se registró en *M. azedarach*.

La primera línea de índice de mortalidad por competencia se observó a la edad de 8 años, cuando la densidad del rodal mixto (paraíso + grevillea) estaba en el rango de densidad de 700 a 900 plantas.ha<sup>-1</sup>. Por otra parte, este valor de referencia de la densidad es bastante similar a la que Fassola *et al.*, (2004) señalan para monocultivos de *G. robusta* en Misiones. Estos autores ubican la línea inicial de mortalidad alrededor de los 7 años de edad con 836 plantas.ha<sup>-1</sup>.

Si bien tanto en el monocultivo de paraíso como en plantación mixta se observó la presencia del “mal del amarillamiento del follaje” en diversos estadíos, el progreso de la enfermedad resultó más rápido en plantas localizadas en la plantación pura. De algún modo la expectativa inicial (Hennig *et al.*, 2010) se cumplió, respecto a que la mezcla de especies en un rodal ayudaría a que la incidencia de esta enfermedad sea menor.

La mezcla de especies en la plantación y/o el posterior manejo de la densidad realizado de manera periódica contribuyeron a reducir la velocidad de avance de la enfermedad. Esto último es coincidente con lo planteado por Becker *et al.*, (2008) en cuanto a que el manejo de la densidad de una plantación de paraíso contribuye a disminuir la cantidad de plantas afectadas por el amarillamiento. Señalan que el mayor porcentaje de plantas afectadas se registró en rodales con mayor densidad de plantación respecto de aquellos con menor densidad.

Estas observaciones están en consonancia con lo informado por Lamb y Keenan (2001), que en rodales mixtos de *Grevillea robusta* con *Toona ciliata* la incidencia del ataque de *Hypsiphylia sp.* fue menor que la registrada en plantaciones puras; y Mayhew y Newton (1998), que afirman que las plantaciones mixtas con *Swietenia* combinado con raleos oportunos de plantas afectadas, contribuyen a reducir los ataques de *Hypsiphylia*.

La mortalidad causada por gomosis en grevillea (Anderson y León de Pinto, 1982, 1982) han sido pocos frecuentes y aislados, fáciles de controlar a través de la detección temprana y raleo posterior de las plantas afectadas. Fassola *et al.*, (2004) también encontraron exudaciones gomosas en el fuste de esta especie en plantaciones puras. Si bien no comunican registros de mortalidad señalan haber encontrado pocos casos en los rodales de densidades bajas. Suponen que la acción del viento produciría daños mecánicos en el tallo, generando condiciones para la aparición de las exudaciones.

## 5. CONCLUSIONES

A través del presente estudio se realiza una contribución al conocimiento de la silvicultura de las plantaciones mixtas de *M. azedarach* y *G. robusta*, a partir de la caracterización de la estructura del rodal, la evaluación de los efectos de los raleos sobre el crecimiento e incremento de parámetros dasométricos.

A continuación se explicitan las conclusiones en función de los objetivos planteados.

**Objetivo General:** Evaluar la estructura de plantaciones mixtas de *M. azedarach* y *G. robusta* y los efectos dasométricos de diversas intervenciones de raleos.

En relación al objetivo general de este trabajo final, se concluye que las intervenciones de raleo realizados en plantaciones mixtas de *M. azedarach* y *G. robusta* impactaron en el sistema productivo, de tal forma que se produjeron cambios en la estructura (en el distanciamiento entre plantas, en la densidad, en la participación de cada especie en la mezcla, en la disponibilidad de los recursos), y, en consecuencia, en los parámetros dasométricos (dendrométricos y epidométricos).

En el estudio se evidenció que la reacción (tipo, magnitud, velocidad) de la plantación mixta al estímulo de la intervención silvicultural (corta intermedia) fue función de: 1) Las características técnicas del raleo: cómo, cuánto y cuándo se aplicaron las cortas intermedias (elección de los individuos que se cortaron, prioridad de alguna especie, intensidad de corta, a qué edad natural se realizó la corta). 2) Las características de la forestación y su entorno ambiental: distanciamiento entre plantas, densidad de la

plantación, arreglo espacial de las especies, edad de la plantación, caracteres culturales de las especies, las distribuciones diamétricas de cada especie, calidad de sitio. La dinámica del crecimiento e incremento dasométrico, especialmente del diámetro y del área basal, se mostraron dependiente de la interacción de estos factores.

En este contexto seguidamente se exponen las conclusiones que permiten apoyar lo expuesto, en función de los objetivos específicos planteados para el estudio.

**Objetivo específico 1:** Generar ecuaciones de volumen para árboles individuales de *M. azedarach* y *G. robusta* componentes de plantaciones mixtas.

- De los modelos analizados con *M. azedarach* y *G. robusta* se recomienda el modelo logarítmico de Schumacher–Hall (1933), ya que presentó los mejores estadísticos y el mayor ajuste para los valores observados y estimados del volumen con corteza.
- De la aplicación del modelo logarítmico de Schumacher–Hall (1933) se ratifica que el uso de transformaciones del diámetro a la altura del pecho, la altura del fuste y altura total otorgan predicciones precisas y confiables del volumen de fuste y volumen total de árboles individuales de *M. azedarach* y *G. robusta*, cuando ambas conforman una plantación mixta manejada.
- El uso de las funciones aquí determinadas para la estimación del volumen debe limitarse a plantaciones mixtas establecidas en la provincia de Misiones, con condiciones ecológicas similares donde se realizó el estudio. En este contexto se resalta que las ecuaciones de volumen constituyen una herramienta importante para la estimación de los volúmenes reales de los árboles y de los rodales, información sumamente útil para el adecuado manejo y aprovechamiento de las especies estudiadas.

**Objetivo específico 2:** Caracterizar las distribuciones diamétricas de rodales de *M. azedarach* y *G. robusta* componentes de plantaciones mixtas.

- Se ajustaron y predijeron los parámetros de la distribución Weibull con atributos del rodal, utilizándose el método de máxima verosimilitud de dos parámetros, resultando adecuado para modelar la distribución diamétrica de *M. azedarach* y *G. robusta*. Esta alternativa metodológica se caracteriza por su eficiencia, consistencia y facilidad de implementación.

- En rodales mixtos raleados y sin raleos, la distribución diamétrica predominante en *M. azedarach* respondió al patrón platicúrtico con valores negativos de curtosis y en *G. robusta* prevalecieron los valores de curtosis positivos, propios de la distribución leptocúrtica. En los rodales con mayor intensidad de raleo sobre la clase de árboles pequeños es frecuente la asimetría positiva. Las distribuciones diamétricas de estas especies y su caracterización otorgan información básica sobre la estructura del rodal mixto, útil para la planificación de los tratamientos silvícolas de las plantaciones bajo manejo.

**Objetivo específico 3:** Analizar la dinámica del crecimiento e incremento diamétrico y de área basal de rodales mixtos raleados de *M. azedarach* y *G. robusta*.

- A través de funciones matemáticas sencillas el modelo logístico describió adecuadamente la variación del diámetro en función a la edad de *M. azedarach* y *G. robusta*, contribuyendo al conocimiento de aspectos estructurales y de funcionamiento de plantaciones mixtas de estas especies.
- En las curvas construidas que modelaron la dinámica del diámetro según el potencial de cada sitio y el nivel de densidad existente, se destacaron los rodales de alta densidad por presentar los valores diamétricos más pequeños y una tendencia a la disminución progresiva de la tasa de crecimiento.
- El incremento anual del diámetro a nivel de rodal mixto resultó inversamente proporcional de la densidad post-raleo, mientras que el incremento de área basal fue directamente proporcional. En los niveles medios de densidad post-raleo se logró un balance y complemento adecuado de incremento anual del diámetro y área basal.
- *G. robusta* demostró tolerancia a la alta densidad por varios años y exhibió menor sensibilidad a las variaciones de la densidad manteniendo niveles satisfactorios de crecimiento diamétrico. *M. azedarach* se comportó como una especie muy sensible a la alta competencia intra e interespecífica, variando de manera significativa su crecimiento diamétrico e incluso produciéndose mortalidad natural en condiciones prolongadas de alta densidad. En promedio, en ambas especies se registró un 31% más de crecimiento diamétrico a favor de las parcelas con menores densidades respecto de las altas densidades.

- El conocimiento de la dinámica del crecimiento diamétrico y del área basal, manifestaciones del carácter silvicultural de las especies, constituyen soportes fundamentales de la planificación estratégica del manejo sustentable de las plantaciones forestales.

**Objetivo específico 4:** Determinar los efectos de la intensidad de raleo sobre diversos parámetros dasométricos (diámetro, área basal y volumen de fuste) de rodales mixtos de *M. azedarach* y *G. robusta*.

- La aplicación de raleos en plantaciones mixtas de *M. azedarach* y *G. robusta* afectó el crecimiento del rodal. Los mayores crecimientos diamétricos se registraron en los tratamientos con mayor intensidad de raleo. Mientras que los menores crecimientos diamétricos se observaron en los rodales sin raleo y en los que tuvieron bajas intensidades de raleo ( $\leq 30\%$ ). El crecimiento diamétrico del rodal resultó directamente proporcional a la intensidad de raleo e inversa a la densidad post-raleo.
- Los mayores crecimientos de área basal y volumen de fuste se registraron en los tratamientos sin raleo y los que tuvieron menores intensidades de raleo. En tanto los menores crecimientos se observaron en los rodales con altas intensidades de raleo ( $> 40\%$ ), en los que se observó una subutilización de la capacidad productiva del sitio. El crecimiento en área basal y volumen del rodal resultó inversamente proporcional a la intensidad de raleo y directa respecto a la densidad post-raleo.
- A los 5–6 años de edad de la plantación mixta la intensidad de raleo del 30 – 40% demostró ser la más conveniente. Combina intensidad y oportunidad adecuada con reacción satisfactoria de la población remanente, tanto en el crecimiento diamétrico como en área basal y volumen maderable.
- Los incrementos diamétricos y de área basal fueron superiores después del primer raleo (ejecutado a los 5-6 años de edad) respecto de los resultados obtenidos con posterioridad al segundo raleo (realizado a los 9-10 años de edad), coincidiendo con la etapa de crecimiento juvenil de las plantas y cuando la espesura del rodal era defectiva.
- En los controles realizados hasta cuatro años después del raleo, rodales mixtos evaluados como estructura única (*M. azedarach* + *G. robusta*, en conjunto) establecidos en el mismo sitio, con el mismo distanciamiento y arreglo espacial e

igual densidad post-raleo pero con proporciones diferentes de participación de las especies, no han evidenciado diferencias en cuanto a sus parámetros dasométricos (DAP, AB y VF del rodal mixto). Ante la similitud de los caracteres culturales de estas dos especies, la respuesta del rodal mixto depende de la capacidad productiva del sitio y del tratamiento de raleo, y no de cuál es la participación relativa de cada especie en el rodal.

- En plantaciones mixtas controles realizados a las especies *M. azedarach* y *G. robusta* en forma separada, entre tres y cuatro años después de haber recibido el mismo tratamiento de raleo, han expresado resultados dasométricos diferentes. Es decir, la capacidad de reacción a la misma intervención de raleo fue diferente para cada especie. En los resultados están implícitos aspectos vinculados a los caracteres culturales de cada especie que les permite reaccionar de una determinada forma según sean las condiciones ambientales y de espesura de cada parcela. En este contexto se observó la menor tolerancia del *M. azedarach* a las condiciones de sombra y su mayor sensibilidad a las variaciones de densidad. En condiciones de baja densidad crece rápidamente. En cambio *G. robusta* demostró ser más tolerante a la sombra, tuvo un comportamiento más estable y menos influenciado por los cambios de densidad, incluso en las densidades extremas.
- Con base a los resultados obtenidos en las plantaciones de Blanco y Nofal se expresa que en rodales mixtos donde se han practicado diversos tratamientos de raleo, incluidos los de intensidades extremas ( $\leq 20\%$  y  $>50\%$ ), registran diferencias en sus valores de área basal y volumen acumulados hasta los 11 años de edad. Cuando el rodal dispuso alta densidad en un contexto de espesura excesiva (constatado en el tratamiento testigo sin raleo) si bien se obtuvo gran acumulación de área basal, también se produjo pérdida de material leñoso por mortalidad natural de árboles pocos vigorosos de *M. azedarach*, que salieron desfavorecidos en el proceso de competencia biológica. Bajo condiciones de baja densidad y espesura defectiva (verificado en tratamientos con alta intensidad de raleo,  $>50\%$ ), se produjo menos área basal y volumen acumulado ante una subutilización de la capacidad productiva del sitio, particularmente cuando en la población remanente existía mayor proporción de árboles de *G. robusta*.

**Objetivo específico 5:** Evaluar si el arreglo espacial de las especies tiene efectos sobre el crecimiento diamétrico y del área basal.

- No se pudo establecer de manera concluyente si el arreglo espacial de las especies tiene efectos sobre el crecimiento diamétrico y de área basal.
- En el estudio solo se observaron indicios de complementariedad, referidos a la distribución alterna de las plantas de cada especie en la línea de plantación, beneficiándose *M. azedarach* ya que crece más y consecuentemente, hay mayor crecimiento de todo el rodal.
- Dado el carácter condicional o preventivo de la afirmación de existencia de complementación entre especies, lo que se recomienda es continuar con los estudios, realizando por ejemplo un ensayo con diferentes diseños de arreglos espaciales de plantación, con rigor metodológico, para tener más certidumbre sobre el comportamiento y crecimiento de las especies componentes del sistema.

**Objetivo específico 6:** Determinar si los parámetros dasométricos de rodales mixtos raleados de *M. azedarach* y *G. robusta* son superiores al de rodales puros de las mismas especies.

- Aunque no se obtuvieron resultados únicos en la comparación dasométrica entre plantaciones mixtas y puras establecidas en la misma zona de estudio, si se destacaron ciertas combinaciones *M. azedarach* con *G. robusta* por su gran desempeño.
- En este contexto, si bien se constató la existencia de poblaciones de 9 años de edad, componentes de rodales mixtos de *M. azedarach* o *G. robusta*, con diámetro medio superior al registrado en rodales puros, lo frecuente ha sido una altísima homogeneidad en los valores de esta variable, cualquiera sea su procedencia.
- En los rodales mixtos con mayor área basal y volumen de fuste, incluso con valores superiores al de rodales puros, correspondió a combinaciones en que *M. azedarach* realizó el mayor aporte debido a que particularmente se la favoreció al establecerse las proporciones de participación. Cuando *G. robusta* era la que efectuaba la mayor contribución en la asociación, los valores de estas variables se presentaron entremezclados con valores procedentes de rodales puros.
- Las respuestas obtenidas en las comparaciones constituyen una evidencia del buen desempeño dasométrico de ambas especies en el rodal mixto, producto de su adecuada complementación silvicultural, sin que ninguna esté siendo particularmente perjudicada en la mezcla del rodal.

**Objetivo específico 7:** Evaluar si la disposición de las especies en una estructura de plantación mixta influye sobre la sanidad y mortalidad de los árboles.

- Al igual que en las plantaciones puras en todas las plantaciones mixtas se observaron árboles de *M. azedarach* con manifestaciones del “mal del amarillamiento del follaje” en diversos estadios, aunque el progreso de la enfermedad resultó más lento en plantas localizadas en los rodales mixtos.
- Tres años después de la evaluación sanitaria realizada a los 6 – 7 años de edad en las plantaciones mixtas y puras, en ambas se observó un avance de la intensidad de la enfermedad, siendo más pronunciado en estas últimas. Dado que en las dos clases de plantaciones se redujo periódicamente la densidad a través de raleos, la menor incidencia de la enfermedad en el rodal es adjudicable a la asociación de *M. azedarach* con *G. robusta*, desconociéndose el modo o mecanismo en que se produce la protección parcial.
- Cuando la cubierta de vuelo tendía a cerrarse o era completa, *M. azedarach* expresó un comportamiento desfavorable debido a su particular sensibilidad a la alta densidad, menor tolerancia a la sombra, que en los casos extremos (observado en el rodal sin raleo) luego de un proceso de decaimiento, finalmente culminó con la muerte de los árboles.
- En rodales mixtos con alta densidad y espesura excesiva, no raleados, se produjo mortalidad natural de árboles poco vigorosos de *M. azedarach* como impacto negativo extremo del intenso proceso de competencia intra e interespecífica. La primera línea indicadora de mortalidad por competencia se observó a la edad de 8 años, cuando la densidad del rodal mixto (paraíso + grevillea) estaba en el rango de densidad de 700 a 900 plantas.ha<sup>-1</sup>.
- En una sola plantación mixta se observaron casos de mortalidad de *G. robusta* asociada a plantas con intensas exudaciones (gomosis), manifestada en el rodal en forma de casos aislados. No se registró mortalidad por exceso de densidad. A los 9 años de edad la mortalidad fue del 1,14% de la densidad existente a los 6 años.
- Se destaca la capacidad de la *G. robusta* para sobrevivir en cualquier condición de sombreado y espesura, aún en las altas densidades. Por otra parte, atendiendo su menor tamaño de copa respecto del *M. azedarach* y que es capaz de mantener un crecimiento satisfactorio más allá de los cambios antrópicos de la densidad, en

la plantación mixta es posible tener un mayor número proporcional de plantas de esta especie.

Formosa, 31 de agosto de 2020



**Ing Ftal. Víctor R. Pérez**



**Dr. Publio Araujo**

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- AGUIRRE, N. (2013). Estructura y dinámica del ecosistema forestal. Publicación del Centro de Investigaciones Tropicales del Ambiente y Biodiversidad, Universidad Nacional de Loja (Ecuador). 34 p. Revisado en setiembre de 2018. Disponible en: <http://www.nikolayaguirre.files.wordpress.com/2013/04/4-estructura-y-dinamica-de-bosques.pdf>
- AHRENS, S. (1992). A seleção simultânea do ótimo regime de desbastes e da idade de rotação, para povoamentos de *Pinus taeda* L., através de um modelo de programação dinâmica. Curitiba. 189 f. Tese Doutorado em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná.
- AJBILOU, R.; MARAÑÓN, T.; y ARROYO, J. (2003). Distribución de clases diamétricas y conservación de bosques en el norte de Marruecos. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales* 12 (2), 111-123.
- ALICE, F.; MONTAGNINI, F. y MONTERO, M. (2004). Productividad en plantaciones puras y mixtas de especies forestales nativas en la estación biológica La Selva, Sarapiquí, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 28 (2): 61-71.
- ÁLVAREZ GONZÁLEZ, J.G. y RUIZ GONZÁLEZ, A.D. (1998). Análisis y modelización de las distribuciones diamétricas de *Pinus pinaster* Ait. In Galicia. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales* 7 (1 y 2):123-137.
- ANDERSON, D.M.W. y LEÓN DE PINTO, G. (1982). Gum exudates from the genus *Grevillea* (Proteaceae). *Carbohydrate Polymers* 2: 19-24.

- BARTH, S.; GIMENEZ, A.M.; JOSEAU, M.J.; GAUCHAT, M.E.; FASSOLA, H. y CRECHI, E. (2015). Comportamiento dendrométrico de *Grevillea robusta* A. implantada a distintas densidades iniciales en Misiones, Argentina. Revista Yvyrareta, N°22, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Misiones.
- BECKER, M.L.; AGOSTINI, J.P. y COSTAS, R.A. (2008). Efectos de la densidad de plantación sobre el crecimiento e incidencia del amarillamiento en *Melia azedarach* L. con aplicación de antibióticos. XIII Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Facultad de Ciencias Forestales (UNaM) y EEA INTA Montecarlo. Misiones, Argentina. 9 p. Revisado en diciembre de 2014. Disponible en: <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-amarillamiento-melia-azedarach.pdf>
- BRANDAN, S.; CORINALDESI, L. y FRISA, C. (2017). Sector Forestal año 2016. Publicación de la Subsecretaría de Desarrollo Foresto Industrial. 47 p.
- CANCINO, J. (2006). Dendrometría básica. Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Forestales. Departamento Manejo de Bosques y Medio Ambiente. Concepción, Chile. 163 p. Revisado en octubre de 2017. Disponible en: [http://www.sibudec.cl/ebook/UDEC\\_Dendrometria\\_Basica.pdf](http://www.sibudec.cl/ebook/UDEC_Dendrometria_Basica.pdf)
- CAO, Q.V; BURKHART, H. y MAX, T. (1980). Evaluation of two methods for cubic – volume prediction for lob lolly pine to any merchantable limit. Forest Science 26 (1): 71 – 80
- CHAUCHARD BADANO, L.M. (2000). Crecimiento y producción de repoblaciones de *Pinus radiata* D. Don en la Provincia de Guipúzcoa (País Vasco). Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, España. Tesis Doctoral. 184 p.
- CHAVERRI, A.; ZUÑIGA, E. y FUENTES, A. (1996). Crecimiento inicial de una plantación mixta de *Quercus*, *Cornus*, *Alnus* y *Cupressus* en Costa Rica. Tesis, Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.
- CHAVES, S.E. (2000). Ensayo de Aclareo e incremento en área basal para *Bombacopsis quinata* (Jacq) Dugand en Nicoya, Guanacaste. Congreso de Investigación. San José, Costa Rica. Euned.164 p.
- CHAVES, S.E. y ARAYA, J. (1992). Ensayo de aclareo y crecimiento en plantaciones forestales. II Congreso Forestal Nacional. San José, Costa Rica. p. 69 –71.
- CHAVES, S.E. y RODRÍGUEZ, J.A. (1995). Manejo de la densidad e incremento en el área basal en plantación de pochote, en Nicoya, Guanacaste. III Taller Nacional de investigación Forestal y Agroforestal. Cañas, Guanacaste. p. 143 – 154.

- COLCOMBET, L.; CRECHI, E.; FASSOLA, H.; LACORTE, S. y SAN JOSÉ, M. (2009). Diagrama de manejo de *Grevillea robusta* en Misiones. Posibilidades de la introducción del ganado. Resultados. Informe Técnico N° 45. INTA Montecarlo (Misiones). 13 p. Revisado en diciembre de 2014. Disponible en: [http://www.inta.gov.ar/.../60\\_Diagrama\\_manejo\\_Grevillea\\_robusta.pdf](http://www.inta.gov.ar/.../60_Diagrama_manejo_Grevillea_robusta.pdf)
- COZZO, D. (1976). Tecnología de la forestación en Argentina y América Latina. Editorial Hemisferio Sur. 584 p. Buenos Aires.
- CRECHI, E.H.; MOSCOVICH, F.; FASSOLA, H.E.; HENNIG, A.; HAMPEL, H.; DOMECCQ, C. y MALETTI, C. (2003). Tabla de volumen para *Grevillea robusta* A. en Misiones, Argentina. En: 10º Jornadas Técnicas Forestales y ambientales. FCF Eldorado – INTA EEA Montecarlo. Eldorado, Misiones. 10 p. (CD)
- CRECHI, E.H.; MOSCOVICH, F.; FRIEDL, R.A.; FASSOLA, H.E. y FAHLER, J.C. (2004a). Efectos de la intensidad del primer raleo en *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* sobre el incremento y la producción en el noroeste de Misiones, Argentina”. 11<sup>as</sup> Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Eldorado, Misiones. 8 p. (CD)
- CRECHI, E.H.; FASSOLA, H.E.; MOSCOVICH, F.A.; FERNÁNDEZ, R.A.; FRIEDL, R.A. y FAHLER, J.C. (2004b). Efectos de la intensidad y oportunidad de raleo en *Pinus taeda* L. sobre la producción de madera en el noroeste de Misiones. 11<sup>as</sup> Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. FCF, UNaM–EEA Montecarlo, INTA. 10 p. (CD)
- CRECHI, E.; MOSCOVICH, F.; FASSOLA, H.; HAMPEL, H.; DOMECCQ, C. y MALETTI, C. (2004c). Ecuaciones de volúmenes para *Grevillea robusta* A. en Misiones, Argentina. INTA EEA- Montecarlo. Informe Técnico N° 56. 12 p.
- CRECHI, E.H.; MOSCOVICH, F.; FASSOLA, H.E.; HENNIG, A.; HAMPEL, H.; DOMECCQ, C. y MALETTI, C. (2008a). Desarrollo de una ecuación de volumen para *Grevillea robusta* A. en Misiones, Argentina. Facultad de Ciencias Forestales (UNaM). Revista Forestal Yvirareta Vol N°15, 14-21.
- CRECHI, E.H.; KELLER, A. y FASSOLA, H.E. (2008b). Desarrollo de una ecuación de forma-volumen relativo para la estimación de diferentes volúmenes de *Grevillea robusta* A. en Misiones, Argentina. XIII Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Facultad de Ciencias Forestales, UNaM – EEA Montecarlo, INTA. Eldorado, Misiones, Argentina. 12 p. (CD)
- CURTIS, R. (1982). A simple Index of stand density for Douglas-fir. For. Se. 27 (I):92-94.

- DANIEL, T.W.; HELMS, J.A. y BAKER, F.S. (1979). Principles of silviculture. McGraw-Hill. 500 p.
- DANIELS, R.F.; BURKHART, H.E. y CLASON, T.R. (1986). A comparison of competition for measures for predicting growth of loblolly pine trees. Can. J. For. Res. 16:1230-1237.
- DEBONA, C.A.R. y JUNQUERA, J. (1982). El amarillamiento de los paraísos y su causa. CYTA 26: 4 – 6. Argentina.
- DEL VALLE, J.I. (1997). Crecimiento de cuatro especies de los humedales forestales del litoral Pacífico colombiano. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 21(81):445-466
- DEMIDENKO, E. (2004). Mixed Models: Theory and Applications. John Wiley & Sons, inc., Hoboken, New Jersey
- DI RIENZO, J.A.; GUZMÁN, A.W. y CASANOVES, F. (2002). A multiple comparisons method based on the distribution of the root node distance of a binary tree. Journal of Agricultural, Biological, and Environment Statistics, 7(2): 1-14.
- DITLEVSEN, B. (1980). Interpretación estadística de los resultados de ensayos. En: Mejora Genética de Arboles Forestales. Publicación N° 20 de FAO: Montes. pp. 118 - 140. Roma, Italia.
- CHAVES SALAS, E. y MORA CHACÓN, F. (2010). Incrementos en diámetro, área basal y altura en un ensayo de aclareos *Pachira quinata* (Jacq.) W.S. Alverson, Nicoya, Guanacaste, Costa Rica. Rev. Forestal Venezolana, Año XLIV, Vol. 54(2) 131-146.
- DOMÍNGUEZ, P.A.; RODRÍGUEZ, F. de J.; LIZÁRRAGA, L.; JIMÉNEZ, M.A. y NAVAR, J. (2017). Aplicaciones y ejemplos de modelos de crecimiento diamétrico para árboles tropicales. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios. 4(11):265-274.
- DURAN, M.J.; DONOSO H., P.J. y QUINTERO M., M.A. (2005). Efectos de cortas de selección en el crecimiento de brinzales de especies tolerantes latifoliadas: análisis estadístico usando modelos lineales mixtos. Revista Bosque 26(2): 7-15.
- EERIKAINEN, K. y MALTAMO, M. 2003. A percentile based basal área diameter distribution model for predicting the stand development of *Pinus kesiya* plantations in Zambia and Zimbabwe. *Forest Ecology and Management* 172(1):109-124.
- ERSKINE, P.D., LAMB, D. y BRISTOW, M. (2006). Tree species diversity and ecosystem function: Can tropical multi-species plantations generate greater productivity? *Forest Ecology and Management* 233(2-3): 205-210.

- ESPINOSA, M.; ESCOBAR, R. y DRAKE, F. (1990). Silvicultura de las plantaciones forestales en Chile: pasado, presente y futuro. *Agro-Ciencia* 6: 131-144.
- ESPINOSA B., M.; JAIME GARCÍA, S. y VALERIA E., O. (1994). Efecto de intensidades diferentes de raleo en el crecimiento de rodal de pino radiata. *Bosque* 15(1): 55-65.
- FASSOLA, H.E.; DOMECCQ, C.M.; MOSCOVICH, F.A.; FERRERE, P.; LACORTE, S.M.; HAMPEL, H.; MALETTI, C. y ALEGRANZA, D. (2003). Parámetros preliminares para la conducción de rodales jóvenes de *Grevillea robusta* A. Cunn., orientadas a la producción de Madera de calidad en la provincia de Misiones. Informe Técnico N° 37. INTA, Argentina. 38 p.
- FASSOLA, H.E.; MOSCOVICH, F.A.; DOMECCQ, C.M.; FERRERE, P.; LACORTE, S.M.; HAMPEL, H.; MALETTI, C. y ALEGRANZA, D. (2004). Regulación de la densidad en rodales de *Grevillea robusta* A. Cunn. para la producción de madera de calidad y forraje en el sur de la provincia de Misiones. *RIA*, 33 (1): 15-38. INTA, Argentina.
- FASSOLA, H.E.; CRECHI, E.H.; HAMPEL, H.; HENNIG, A.; KELLER, A.; PÉREZ, V.R. (2010). Antecedentes y potencialidades de los bosques mixtos en el NE Argentino. Silvicultura de bosques mixtos de especies nativas y exóticas Jornada de Campo organizada por INTA EEA Montecarlo y DANZER Forestación S.A., Posadas (Misiones), Argentina. Informe Técnico N° 65, 4 – 11.
- FERRERE, P.; LUPI, A.M. y BOCA, T. (2015). Crecimiento de *Pinus radiata* sometido a diferentes tratamientos de raleo y poda en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *BOSQUE* 36(3). 423-434.
- FINGER, C.A.G. (1992). Fundamentos de biometría florestal. Universidade Federal Santa María, Brasil. 269 p.
- GADOW, K.v.; SÁNCHEZ OROIS, S. y ÁLVAREZ GONZÁLEZ, J.G. (2007). Estructura y crecimiento del bosque. 280 p. Revisado en junio de 2017. Disponible en: [http://www.usc.es/uxfs/IMG/pdf/Estructura\\_y\\_crecimiento\\_del\\_bosque2.pdf](http://www.usc.es/uxfs/IMG/pdf/Estructura_y_crecimiento_del_bosque2.pdf)
- GARCÍA, C.; CAÑADAS, N. y MONTERO, G. (2002). Modelización de la distribución diamétrica de las masas de *Pinus pinea* L. de Valladolid (España) mediante la función Weibull. *Revista Investigación Agraria, Sistemas y Recursos Forestales*. 11(2):263-282.
- GONZÁLEZ DÍAZ, A. (2005). Evaluación económica de los tratamientos silviculturales aplicados en rodales mixtos de *Sequoia sempervirens* y *Pseudotsuga menziesii*, Villarrica, IX Región. Facultad Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad de Chile.

- GONZÁLEZ QUIROZ, Y. (2004). Efecto de diferentes asociaciones de especies vegetales en el crecimiento y la calidad fustal de aramo australiano (*Acacia melanoxylon* R. Br.), Fundo Miraflores, Comuna de Lanco - X Región, Chile. Tesis, Facultad Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad Católica de Temuco. Chile.
- GORGOSO, J.J.; ÁLVAREZ, J.G.; ROJO, A. y GARANDAS ARIAS, J.A. (2007). Modeling diameter distributions of *Betula alba* L. stands in northwest Spain with the two-parameter Weibull function. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales* 16(2):113-123.
- HAMPEL, H. (2005). El Potencial de Negocio de Especies Forestales No Tradicionales en Misiones, Argentina. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Misiones. 170 p.
- HENNIG, A.; FASSOLA, H.E.; LACORTE, S.M.; HAMPEL, H.; DOMECCQ, C.M.; CRECHI, E.H. y KELLER, A. (2010). Efecto del diseño de plantación sobre el crecimiento de rodales mixtos de *Grevillea robusta* y *Melia azedarach*, en el sur de Misiones, Argentina. 14<sup>as</sup> Jorn. Técnicas Forestales y Ambientales. Eldorado, Misiones. 7 p.
- HERNÁNDEZ, H.S. (2013). Tablas de Volúmenes para Cedro Rojo (*Cedrela odorata* L.) en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.
- HERNÁNDEZ, M. E.; LÓPEZ A., J.L. y SÁNCHEZ M., M. (2011). Crecimiento en diámetro y altura de una plantación mixta de especies tropicales en Veracruz. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, Vol. 2, Núm. 7, 27-42.
- HUANG, H. y otros<sup>4</sup>. (2018). Impacts of species richness on productivity in a large – scale subtropical forest experiment. *Forest Ecology. Research Reports Science*, Vol. 362, 80-83.
- IMAÑA ENCINAS, J. (1998). *Dasometría práctica*. Editora Universidade de Brasília. 112 p.
- ITURRE, M.C. y ARAUJO, P.A. (2006). Crecimiento y producción del rodal regular. Serie didáctica N° 23, Cátedra de Ordenación Forestal. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. 75 p.
- IRIGOIN, N. (2013). Precios forestales marzo 1013. Área de Economía e Información de la Dirección de Producción Forestal – MAGyP, Argentina. 12 p.  
Revisado en julio de 2015. Disponible en:  
<https://www.agroindustria.gob.ar/.../precios-forestales/marzo2013.pdf>
- JONES, J. y SMITH, F. (1949). Plant gums and mucilages. *Advances in Carbohydrate Chemistry* 4: 243.

---

<sup>4</sup> La autoría de este reporte técnico corresponde a 64 académicos de diversos países de Asia, América y Europa. Ante la circunstancia de la lista extensa, aquí solo se hace referencia al primer autor.

- KAWAS, N. (1978). Estimación de volumen cúbico por árbol con base muestral restringida, para especies forestales nativas. Tesis Ingeniero Forestal. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 98 p.
- KELLER, A.; CRECHI, E.H.; FASSOLA, H.E.; FERNÁNDEZ, R.A. y MOSCOVICH, F.A. (2006). Efectos de la intensidad del 1<sup>er</sup> raleo en *Grevillea robusta* sobre el crecimiento y la producción en el sur de Misiones, Argentina. 12<sup>as</sup> Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Eldorado (Misiones). 12 p. (CD)
- KELLER, A.; CRECHI, E.; VERA, C.; KNEBEL, O. y AQUINO, D. (2016). Efectos de la intensidad y oportunidad de raleo sobre la producción en volumen de *Grevillea robusta* A. en el sur de Misiones, Argentina. Argentina. 17<sup>as</sup> Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Eldorado (Misiones). 117-119.
- KELTY, M. J. (2006). The role of species mixtures in plantation forestry. *Forest Ecology and Management* 233(2-3): 195-204.
- LAMB, D. y KEENAN, R.J. (2001). Silvicultural Research and Development of plantations Systems Using Rainforest tree Species. Chapter 3: 21-34. Disponible en Sustainable Farm Forestry in the Tropics: Social and Economical Analysis and Policy. Edited by: Harrison S.R. and Herbohn J.L. Rainforest RCR. pp. 303. UK
- LARGUÍA, A. (1971). El paraíso gigante, esencia forestal interesante para la provincia de Misiones. *Boletín de la Asociación de Plantadores Forestales de Misiones*. 6:57-60.
- LAVERY, P.B. (1986). Plantation forestry with *Pinus radiata*: review papers. Paper N° 12. School of Forestry, University of Canterbury. Christchurch, New Zealand.
- LEI, Y. (2008). Evaluation of three methods for estimating the Weibull distribution parameters of Chinese pine (*Pinus tabulaeformis*). *Journal of Forest Science* 54(12):566- 571.
- LEÓN DE PINTO, G.; GONZÁLEZ, N.; ROJAS, A. y LEAL, E. (1989). Espectro de R.M.N. de la goma de *Albizia lebbbeck* y de sus productos degradados. Aplicación a su elucidación estructural. *Acta Científica Venezolana* 40: 335-340.
- LEÓN-PELÁEZ, J.D. y GIRALDO, E. (2000). Crecimiento diamétrico en robledales del norte y centro de Antioquia. *Crónica Forestal y del Medio Ambiente*, 15:119-138.
- LOEWE, M.V. y CAMELIO, M.E. (1997). Monografía de *Grevillea* (*Grevillea robusta*). En: Silvicultura de especies no tradicionales. Instituto Forestal de Chile, N° 199, 57 p
- LOEWE, M.V. y GONZÁLEZ, O.M. (2007). Plantaciones mixtas: un sistema agroecológico productivo, rentable y sustentable. *Rev. Brasileira Agroecología*, Vol.2, N° 1.

- LOEWE, M.V.; GONZÁLEZ, O. y BALZARINI, M. (2013). Wild cherry tree (*Prunus avium* L.) growth in pure and mixed plantations in South America. *Forest Ecology and Management* 306, 31 – 41.
- LONG, J.N. (1985). A practical approach to density management. *For. Chron.* 61: 23-27.
- LONG, J.N. y DANIEL, T.W. (1990). Assessment of growing stock in uneven-aged stands. *Western Journal of Applied Forestry*, Vol. 5, N° 3, 93-96
- LÓPEZ, J.A. y DÍAZ, J. del C. (1988). Primera evaluación cuantitativa en los primeros años de implantación de paraíso gigante (*Melia azedarach* L.) en el departamento Alberdi Provincia de Santiago del Estero. *Actas del VI Congreso Forestal Argentino*. Tomo II. p 466-471.
- LÓPEZ, J.A. (h.); PARISI, L.M.; FERNÁNDEZ, R.A.; GAUCHAT, M.E.; DOMEQC, C.M.; STAFFIERI, G.M.; APARICIO, J.L. y HAMPEL, H. (2004). Mejoramiento genético de *Grevillea robusta*. Proyecto de Investigación Aplicada N° 04/01 (SAGPyA-BIRF) Convenio de Préstamo N° 3948A-AR. 41 p.
- LOZANO, L.A.; FRANCO, N. y BONILLA, J.L. (2012). Estimación del crecimiento diamétrico de *Anacardium excelsum* (Kunth) Skeels, por medio de modelos no lineales, en bosques naturales del departamento del Tolima. *Bology Cientarum Museo Historia Natural* 16 (1): 19 – 32.
- MAGGIO, A.D. y CELLINI, J.M. (2016). Recopilación de ecuaciones de volumen y biomasa de especies forestales de la República Argentina pp. 100-105
- MALDONADO, D. y NÁVAR, J. (2002). Ajuste y predicción de la distribución Weibull a las estructuras diamétricas de plantaciones de pino de Durango, México. *Madera y Bosques* 8(1):61-72.
- MANCINI, F.; SANESI, S. y LASSERRE, S.R. (1964). Informe edafológico de la Provincia de Misiones. INTA-Ministerio de Asuntos Agrarios. 106 p.
- MARTIARENA, R.; FERNÁNDEZ, R.A.; DOMEQC, C.M. y HAMPEL, H. (2003). Fertilización de *Grevillea robusta* A. Cunn. en Misiones, Argentina. XII Congreso Forestal Mundial, Québec, Canadá. 6 p.
- MAYHEW, J.E. y NEWTON, A.C. (1998). *The Silviculture of Mahogany*. CAB International, Wallingford, UK. 226 p.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y PESCA DE LA ARGENTINA. (2019). Información técnica y estadísticas de las plantaciones. Revisado en diciembre de 2019. Disponible en:  
[https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/ss\\_desarrollo\\_foresto\\_industrial/estadisticas/](https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/ss_desarrollo_foresto_industrial/estadisticas/)

- MORET A., Y.; JEREZ, M. y MORA, A. (1998). Determinación de ecuaciones de volumen para poblaciones de teca (*Tectona grandis* L.) en la unidad experimental de la reserva forestal Caparo, estado Barinas-Venezuela. *Revista Forestal Venezolana*. 42(1):41-50.
- MOSCOVICH, F.; FASSOLA, H.; CRECHI, E.; COLCOMBET, L.; LACORTE, S.; DOMECCQ, C. y HAMPEL, H. (2004). Silvicultura y manejo de *Grevillea robusta*. 3° Simposio Latinoamericano sobre Manejo Forestal.
- MOSCOVICH, F.A.; CRECHI, E.H.; FASSOLA, H.E.; HENNIG, A.; HAMPEL, H.; DOMECCQ, C.M. y MALETTI, C. (2006). Funciones de volumen y forma para *Grevillea robusta* en Misiones, Argentina. 11<sup>as</sup> Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. FCF (UNaM) y EEA INTA Montecarlo. 8 p. (CD)
- MOYA R., R. y ARCE L., V. (2003). Efecto del espaciamiento en plantación sobre dos propiedades físicas de madera de teca a lo largo del fuste. *Maderas y Bosques* 9(2): 15-27.
- NÁVAR, J. y CONTRERAS, J.C. (2000). Ajuste de la distribución Weibull a las estructuras diamétricas de rodales irregulares de pino de Durango, México. *Agrociencia* 34:353-361.
- OLGUÍN, F.Y.; GOYA, J.F. y GRACIANO, C. (2019). Plantaciones forestales mixtas una alternativa productiva y generadora de servicios ambientales. Universidad Nacional de La Plata. Artículo de la REDFOR.ar en ArgentinaForestal.com. Revisado en agosto de 2019. Disponible en:  
<https://www.argentinaforestal.com/2019/07/14/plantaciones-forestales-mixtas-una-alternativa-productiva-y-generadora-de-servicios-ambientales/>
- OLIVER, E.O. (1997). Twenty-five-year growth and mortality of planted ponderosa pine repeatedly thinned to different stand densities in Northern California. *Western Journal of Applied Forestry*. 12(4):122-130.
- OYARZÚN LILLO, C.J. (2008). Construcción de un modelo fustal para lenga *Nothofagus pumilio* (Poepp. et endl), en la XII Región. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 65 p.
- PECE, M.; GAILLARD de BENÍTEZ, C.; RÍOS, N. y JUÁREZ de GALINDEZ, M. (1996). Crecimiento de una plantación de paraíso gigante (*Melia azedarach* var. *gigantea*) de ocho años de edad en el Departamento Alberdi en la Provincia de Santiago del Estero. *Quebracho* (4): 20 – 26.

- PECE, M.G; G. de BENÍTEZ, C. y J. de GALÍNDEZ, M. (2000). Uso de la función Weibull para modelar distribuciones diamétricas en una plantación de *Melia azedarach*. Rev. For. Venez. 44(2) 49-52
- PECE, M.G.; GAILLARD de BENÍTEZ, C.; J. de GALÍNDEZ, M. y RÍOS, N.A. (2002). Tabla de volumen de doble entrada para álamos de la zona de riego de Santiago de Estero, Argentina. Quebracho. (9): 95-105.
- PEREIRA, A.M.; ABBIATI, N.N. y FERNÁNDEZ, E.N. (1998). Manual de estadística para proyectos de investigación. Universidad Nacional de Lomas de Zamora. 182 p.
- PÉREZ, V.R.; DELVALLE, P.; CAÑETE, M.C.; RHINER, G.R.; HAMPEL, H. y MALETTI, C. (2004a). Efectos de diferentes intensidades de poda sistemática en el comportamiento y crecimiento de *Grevillea robusta* A. Cunn. Revista de Ciencia y Tecnología. Formosa: Editorial Universitaria (Universidad Nacional de Formosa). 2005 vol.1, N°1. 50 - 63.
- PÉREZ, V.R.; CAÑETE, M.C.; ATANASIO, A.; PERNOCHI, L.; HAMPEL, H. y MALETTI, C. (2004b). Relación entre precipitación e incremento del diámetro normal de *Melia azedarach* L. var. *gigantea*. 11<sup>as</sup> Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. FCF, UNaM – EEA Montecarlo, INTA. 5 p. (CD)
- PÉREZ, V.R.; RHINER, G.R.; CAÑETE, M.C.; DELVALLE, P.; HAMPEL, H. y MALETTI, C. (2005). Crecimiento estacional del diámetro normal de *Melia azedarach* L. var. *gigantea* en diversas densidades. Revista de Ciencia y Tecnología. Formosa: Editorial Universitaria (Universidad Nacional de Formosa). 2005 vol.2, N°2. 62 - 71.
- PÉREZ, V.R.; RHINER, G.R.; CAÑETE, M.C.; DELVALLE, P.; HAMPEL, H. y MALETTI, C. (2006). Efectos de la intensidad de raleo en el crecimiento de *Grevillea robusta*. 12<sup>as</sup> Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Organizadas por F.C.F. (UNaM) y EEA INTA Montecarlo. Trabajo N° 101. ISSN 1668-5385. 12 p. (CD)
- PÉREZ, V.R.; CAÑETE, M.C.; RHINER, G.R. y HAMPEL, H. (2007). Evaluación del crecimiento de *Melia azedarach* L. var. *gigantea* en rodales de diferentes intensidades de raleos. Actas de las Jornadas sobre Avances en la Producción Vegetal y Animal del N.O.A, período 2005 – 2007. p. 62:70. (CD)
- PÉREZ, V.R.; CAÑETE, M.C.; RHINER, G.R. y HAMPEL, H. (2008). Cuatro años de evaluación de los efectos de los raleos en el crecimiento de *Melia azedarach*. XXI Jornadas Forestales de Entre Ríos. Organizadas por EEA INTA Concordia. Trabajo N° 414. 7 p. (CD)

- PÉREZ, V.R. y HAMPEL, H (2010). Efectos del raleo en el crecimiento del diámetro y área basal en plantación mixta de *Melia azedarach* L. y *Grevillea robusta*. XIV Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales, UNaM, 9 p. (CD)
- PÉREZ, V.R.; VICENTINI, G. y HAMPEL, H. (2011). Crecimiento y producción de rodal de *Grevillea robusta* manejado por medio de raleos experimentales. XXV Jornadas Forestales de Entre Ríos. Concordia, octubre de 2011. 9 p. (CD)
- PÉREZ, V.R. HAMPEL, H. (2011). Manejo de la densidad en rodal mixto de *Melia azedarach* y *Grevillea robusta* y su efecto en el crecimiento del diámetro y área basal. XXV Jornadas Forestales de Entre Ríos. Concordia. 10 p. (CD)
- PIEDRAHITA CARDONA, E. (1990). Aspectos técnicos del establecimiento y manejo de plantaciones forestales. En: Apuntes del Curso Internacional Técnicas de Optimización en el Manejo de Plantaciones Forestales. Colombia. p 30-41.
- PIÑONES CÁCERES, M.E. (2002). Funciones de volumen para *Prosopis alba* Grisebach en el valle de Quillagua, Pcia de Tocopilla, Región de Antofagasta. Talca – Chile. Trabajo final de Escuela de Ingeniería Forestal, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Talca (Chile). 61 p.
- PRETZSCH, H. y otros<sup>5</sup>. (2015). Growth and yield of mixed versus pure stands of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) analysed along a productivity gradient through Europe”. Eur J. Forest Res. (2015) 134:927–947
- PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F. y REAL, P. (1997). Mensura Forestal. Agroamérica, San José de Costa Rica. 586 p.
- QUIÑONES BARRAZA, G.; DE LOS SANTOS POSADAS, H.M.; CRUZ COBOS, F.; VELÁZQUEZ MARTINEZ, A.; ÁNGELES PÉREZ, G. y RAMÍREZ VALVERDE, G. (2015). Modelación dinámica de distribuciones diamétricas en masas mezcladas de *Pinus* en Durango, México. Madera y bosques, vol. 21, núm. 2, 59 – 71.
- RAGONESE, A.E. (1981). Cultivo y mejoramiento del paraíso gigante (*Melia azedarach* var. *gigantea* cv. Garrasino), en la República Argentina. Comunicado Tomo XXXV N° 5, 8 p., Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria, Buenos Aires, República Argentina.
- RAMOS UVILLA, J.A.; GARCÍA MAGAÑA, J.J.; HERNÁNDEZ RAMOS, J.; GARCÍA CUEVAS, X.; VELARDE RAMÍREZ, J.C.; MUÑOZ FLORES, H.J. y GARCÍA ESPINOZA, G.G. (2014). Ecuaciones y tablas de volumen para dos especies de

---

<sup>5</sup> La autoría de este documento corresponde a 16 profesionales de diversos países de Europa. Entonces, dada que la lista es muy extensa, aquí solo se hace referencia al primer autor.

- Pinus* de la Sierra Purhépecha, Michoacán. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 5(23):93-116
- RANGEL, J.L. (2007). Elaboración de tabla de volúmenes para *Pinus patula* Schl et Cham a través de medición indirecta con el relascopeo de Bitterlich; en la región de Perote, Veracruz. Tesis Universidad Autónoma Chapingo. México. 92 p.
- REED/CCAD – GIZ. (2014). Construcción de funciones de volumen. Nota técnica N° 4. Autores de la cartilla: Avilés P.E. y Araneda F.M. Programa Regional de Reducción de Emisiones de la Degradación y Deforestación de Bosques en Centroamérica y República Dominicana. 51 p.
- REINEKE, L.H. (1933). Perfecting a stand-density index for even-aged forest. Journal of Agricultural Research 46: 627 – 638.
- REY, L.A. (1976). Análisis y cuantificación de algunas variables referidas a las reforestaciones comerciales de paraíso. Boletín de la Asociación de Plantadores Forestales de Misiones. 9:17-21.
- REY, L.A. (2006). El cultivo del paraíso *Melia azedarach* L. Orientación Gráfica Editora, Buenos Aires. 144 p.
- SCHNEIDER, P.R.; FINGER, C.A.G.; COZER, E.; MENEGUZZI, M.C. y PRANDI, W. (1991). Efeito da intensidade de desbaste sobre o crescimento e produção de povoamentos de *Pinus elliottii* E.In: Simposio de manejo de florestas plantadas, Santa María. Anais: UFSM. 150-167.
- SEARLE, S.R.; CASELLA, G. y McCULLOCH, C.E. (1992). Variance Components. John Wiley & Sons, New York.
- SHIVER, B.D. (1988). Sample sizes and estimation methods for the Weibull distribution for unthinned Slash Pine plantation diameter distributions. Forest Science 34(3):809-814.
- SIEBERT, H. y BAUERLE, P. (1995). Aromo Australiano (*Acacia melanoxylon*) en plantaciones mixtas. Revista de Ciencias Forestales. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Vol. 10: N°1-2. p. 25-36. Chile.
- SIEBERT, H.; VON EINSIEDEL, S. y FREI TRUCHSESS, A. (2003). Mejoramiento de la calidad fustal en plantaciones de *Pseudotsuga menziesii* al crecer en asociación con *Acacia melanoxylon*. BOSQUE 24(3): 75-83.
- SMITH, D.M.; LARSON, B.C.; KELTY, M.J. y ASHTON, P.M.S. (1997). The practice of silviculture: applied forest ecology. John Wiley & Sons. 537 p.

- TAMARIT URIAS, J.C.; QUIÑONEZ BARRAZA, G. y HERNÁNDEZ RAMOS, J. (2020). Aspectos metodológicos para generar diagramas de manejo de la densidad de rodales con base en el índice de Reineke. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* Vol. 11 (61). 20 pp.
- TAPIA BARRERA, J.J. (1998). Ajuste de ecuaciones de volumen y funciones de ahusamiento para *Pinus teocote* Schl. y *Pinus pseudostrabus* L. en el Estado de Nuevo León. Universidad Autónoma de Nueva León; México. 142 p.
- TAPIA, J. y NÁVAR, J. (2011). Ajuste de modelos de volumen y funciones de ahusamiento para *Pinus pseudostrabus* Lindl. En bosques de pino de la Sierra Madre Oriental de Nuevo León, México. *Foresta Veracruzana* 13(2): 19-28.
- TORRES, C.G.; CANIZA, F.J.; APARICIO, J.L. y MARTIARENA, R.A. (2017). Efecto de tratamientos silvícolas en variables dasométricas de *Pinus elliotii* var. *elliotii* × *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. *Quebracho* Vol. 25(1,2): 16-27.
- TORRES ROJO, J.M.; MAGANA TORRES, O.S. y ACOSTA MIRELES, M. (2000). Metodología para mejorar la predicción de parámetros de la distribuciones diamétricas (Ensayo). *Agrociencia* 34(5):627-637.
- TORRES ROJO, J. y VELÁZQUEZ MARTÍNEZ, A. (2000). Índice de Densidad Relativa para rodales coetáneos mezclados. *AGROCIENCIA* Vol. 34, Número 4, 497 – 507.
- UTEAU, D. (2004). Desarrollo inicial de Laurel *Laurelia sempervirens* y Ulmo *Eucryphia cordifolia* en plantaciones mixtas con especies nativas. Tesis, F.C.F., UACHile. 40 pp. Revisado en mayo de 2010. Disponible en:  
<http://www.chilebosque.cl/foro/viewtopic.php?p=697>.
- VÁZQUEZ, A.; DUCHASE, D.; NOME, S. y MUÑOZ, J. (1983). Declinamiento del paraíso (*Melia azedarach* L.) síntomas y estudios etiológicos de esta nueva enfermedad. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*. INTA. Bs.As. Vol.18 n° 2.
- VÁZQUEZ, W. (1986). Tres intensidades de raleo en *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. Análisis de 10 años de crecimiento en un diseño de cuadrado latino. INFORAT-CATIE. Costa Rica
- VIZCARRA SÁNCHEZ, J. y DESCHAMPS, J. (1983). Grave deterioro de la madera de paraíso (paraíso moro) en Misiones producido por *Laetiporus sulphureus* (Bull. ex Fr.) Murill. V Congreso Forestal Argentino. Tomo II. p 4.108-4.111.
- VOLKART, C.M. (1980). Plantaciones comerciales de paraíso (*Melia azedarach* L.) formas gigante y supergigante en la Provincia de Misiones-Argentina. Reunión de grupo de trabajo S1.07.09 de IUFRO en Río Piedras, Puerto Rico.

- WACHRINRAT, C.; SOMPHAT, K.; PAUNGCHIT, L.; TEEJUNTK, S. y JAMROENPRUCKSA, M. (2010). Effect of thinning on growth and yield of *Acacia mangium*- *Dipterocarpus alatus* mixed plantation. Faculty of Forestry, Kasetsart University (KUFF). Revisado en julio de 2010. Disponible en: <http://vafs.gov.vn/en/2010/07/effect-of-thinning-on-growth-and-yield-of-acacia-mangium-dipterocarpus-alatus-mixed-plantation/>
- WADSWORTH, F.H. (2000). Producción Forestal para América Tropical. Servicio Forestal (EE.UU.). Manual de Agricultura, Libro N° 710-S. 563 p.
- WIENSTROER, M.; SIEBERT, H. y MÜLLER-USING, B. (2003). Competencia entre tres especies de *Nothofagus* y *Pseudotsuga menziesii* en plantaciones mixtas jóvenes, establecidas en la precordillera andina de Valdivia. *Bosque* 24(3): 17-30. Chile.
- WOODALL, C.W.; MILES, P.D. y VISSAGE, J.S. (2005). Determining maximum stand density index in mixed species stands for strategic-scale stocking assessments. *Forest Ecology and Management* 216, 367 – 377.
- WORMALD, T.J. (1995). Plantaciones forestales mixtas y puras de zonas tropicales y subtropicales. FAO. Revisado en agosto de 2013. Disponible en: <http://www.archive.org/stream/plantacionesfore034892mbp/plantacionesfore034892mbpdjvu.txt>
- ZÁRATE, M.H. (2017). Efecto de la poda, el distanciamiento y su interrelación sobre el crecimiento y la calidad forestal de plantas de *Prosopis alba Griseb.* en la zona de riego de Santiago del Estero. Tesis presentada para optar al título de Magister de la Universidad de Buenos Aires, Área Recursos Naturales. 99 pp.
- ZHANG, L.; GOVE, J.H.; LIU, Ch. y LEAK, W.B. (2001). A finite of two Weibull distributions for modeling the diameter distributions of rotated-sigmoid, uneven-aged stands. *Canadian Journal of Forest Research* 31(9):1654-1659.

## ANEXOS

**ANEXO A1. Parámetros dasométricos de la masa cortada en los ensayos de raleos.**  
**Plantaciones mixtas de Cardenal, Blanco y Nofal.**

**Tabla A1.1.** Parámetros dasométricos correspondientes a poblaciones de árboles raleados de *Melia azedarach*, en cada tratamiento. Plantación mixta de Cardenal.

Tra	Raleo 1: 6 años de edad				Raleo 2: 10 años de edad			
	ABr	VFr	Dgr	Nr	ABr	VFr	dgr	Nr
	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>	Cm	pl.ha <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>	cm	pl.ha <sup>-1</sup>
Tc	3,45	19,77	17,0	152	2,58	11,35	21,1	74
T1	1,60	5,34	14,0	104	2,05	7,89	19,3	70
T2	1,61	4,70	17,3	69	3,75	14,86	21,8	101
T3	2,32	9,17	16,8	104	4,41	18,34	22,3	113
T4	2,64	10,07	16,0	131	4,76	18,87	21,2	134

**Tabla A1.2.** Parámetros dasométricos correspondientes a poblaciones de árboles raleados de *Grevillea robusta*, en cada tratamiento. Plantación mixta de Cardenal.

Tra	Raleo 1: 6 años de edad				Raleo 2: 10 años de edad			
	ABr	VFr	Dgr	Nr	ABr	VCr	dgr	Nr
	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>	Cm	pl.ha <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>	cm	pl.ha <sup>-1</sup>
Tc	1,12	3,94	10,7	123	2,54	8,56	21,7	69
T1	1,36	2,99	11,4	135	0,75	2,06	16,6	35
T2	2,71	7,13	12,7	213	1,11	3,15	20,2	35
T3	0,52	0,54	7,9	105	3,24	9,67	20,8	95
T4	0,26	0,78	5,4	113	4,71	14,35	21,5	130

**Tabla A1.3.** Parámetros dasométricos correspondientes a poblaciones de árboles raleados de *Melia azedarach* y *Grevillea robusta*, en cada tratamiento. Plantación mixta de Cardenal.

Tra	Raleo 1: 6 años de edad				Raleo 2: 10 años de edad			
	ABr	VFr	dgr	Nr	ABr	Vr	dgr	Nr
	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>	cm	pl.ha <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>	cm	pl.ha <sup>-1</sup>
Tc	4,58	23,71	14,5	276	5,12	19,92	21,4	143
T1	2,96	8,32	12,6	238	2,80	9,95	18,4	105
T2	4,31	11,83	14,0	282	4,86	18,01	21,4	135
T3	2,84	9,71	13,2	209	7,65	28,01	21,6	208
T4	2,90	10,85	12,3	243	9,47	33,22	21,4	264

**Tabla A1.4.** Parámetros dasométricos correspondientes a poblaciones de árboles raleados de *Melia azedarach*, en cada tratamiento. Plantación mixta de Blanco.

Tra	Raleo 1: 5 años de edad				Raleo 2: 9 años de edad			
	ABr m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	VFr m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>	dgr cm	Nr pl.ha <sup>-1</sup>	ABr m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	VFr m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>	dgr cm	Nr pl.ha <sup>-1</sup>
T0	0	0	0	0	0	0	0	0
T1	0,34	1,09	7,5	78	0,64	2,29	16,4	30
T2	0,60	2,26	7,8	126	1,25	4,92	17,6	52
T3	1,40	6,21	9,7	191	1,29	6,09	20,5	39
T4	0,47	1,93	8,5	82	1,81	8,05	20,1	57
T5	0,92	3,28	9,5	130	1,04	4,28	19,5	35
T6	0,76	2,91	8,8	125	1,58	7,00	18,2	61

**Tabla A1.5.** Parámetros dasométricos correspondientes a poblaciones de árboles raleados de *Grevillea robusta*, en cada tratamiento. Plantación mixta de Blanco.

Tra	Raleo 1: 5 años de edad				Raleo 2: 9 años de edad			
	ABr m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	VFr m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>	dgr cm	Nr pl.ha <sup>-1</sup>	ABr m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	VCr m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>	dgr cm	Nr pl.ha <sup>-1</sup>
T0	0	0	0	0	0	0	0	0
T1	1,14	3,94	12,3	96	2,01	7,62	19,9	65
T2	0,48	1,74	11,4	48	3,36	12,22	21,1	96
T3	2,50	10,03	12,9	191	2,85	11,16	21,4	79
T4	2,20	8,47	12,9	169	1,86	6,71	22,4	47
T5	1,16	4,70	11,0	121	4,44	16,52	21,5	122
T6	3,26	13,51	14,4	200	4,36	16,92	22,6	109

**Tabla A1.6.** Parámetros dasométricos correspondientes a poblaciones de árboles raleados de *Melia azedarach* y *Grevillea robusta*, en cada tratamiento. Plantación mixta de Blanco.

Tra	Raleo 1: 5 años de edad				Raleo 2: 9 años de edad			
	ABr m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	VFr m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>	dgr cm	Nr pl.ha <sup>-1</sup>	ABr m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	Vr m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>	dgr cm	Nr pl.ha <sup>-1</sup>
T0	0	0	0	0	0	0	0	0
T1	1,48	5,03	10,4	174	2,65	9,91	18,8	95
T2	1,08	4,00	8,9	173	4,61	17,13	20,0	147
T3	3,90	16,24	11,4	381	4,14	17,25	21,1	118
T4	2,66	10,39	11,6	251	3,67	14,76	21,2	104
T5	2,08	7,97	10,3	251	5,48	20,80	21,1	157
T6	4,02	16,42	12,5	325	5,94	23,92	21,1	170

**Tabla A1.7.** Parámetros dasométricos correspondientes a poblaciones de árboles raleados de *Melia azedarach*, en cada tratamiento. Plantación mixta de Nofal.

Tra	Raleo 1: 6 años de edad				Raleo 2: 9 años de edad			
	ABr m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	VFr m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>	dgr cm	Nr pl.ha <sup>-1</sup>	ABr m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	VFr m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>	dgr cm	Nr pl.ha <sup>-1</sup>
T0	0	0	0	0	0	0	0	0
T1	1,18	3,95	10,6	133	0,66	2,53	18,9	23
T2	0,98	1,79	8,5	173	3,45	11,51	18,1	134
T3	1,96	6,72	10,3	237	2,33	9,10	19,1	81
T4	1,01	2,25	8,9	162	2,42	11,00	17,2	104
T5	2,08	6,94	10,6	237	2,89	11,44	18,8	104

**Tabla A1.8.** Parámetros dasométricos correspondientes a poblaciones de árboles raleados de *Grevillea robusta*, en cada tratamiento. Plantación mixta de Nofal.

Tra	Raleo 1: 6 años de edad				Raleo 2: 9 años de edad			
	ABr m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	VFr m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>	dgr cm	Nr pl.ha <sup>-1</sup>	ABr m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	VCr m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>	dgr cm	Nr pl.ha <sup>-1</sup>
T0	0	0	0	0	0	0	0	0
T1	3,90	11,88	13,2	284	1,00	2,98	16,5	46
T2	2,50	7,21	13,1	185	1,71	4,76	17,7	70
T3	3,87	12,02	12,8	301	1,45	4,69	18,8	52
T4	1,94	5,91	12,2	167	1,48	4,36	19,0	52
T5	3,35	9,80	12,8	259	2,62	8,95	18,4	99

**Tabla A1.9.** Parámetros dasométricos correspondientes a poblaciones de árboles raleados de *Melia azedarach* y *Grevillea robusta*, en cada tratamiento. Plantación mixta de Nofal.

Tra	Raleo 1: 6 años de edad				Raleo 2: 9 años de edad			
	ABr m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	VFr m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>	dgr cm	Nr pl.ha <sup>-1</sup>	ABr m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	Vr m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>	dgr cm	Nr pl.ha <sup>-1</sup>
T0	0	0	0	0	0	0	0	0
T1	5,08	15,83	12,5	417	1,65	5,51	17,4	70
T2	3,47	9,00	11,1	358	5,16	16,28	18,0	204
T3	5,83	18,75	11,8	538	3,78	13,79	19,0	133
T4	2,95	8,16	10,7	329	3,90	15,36	17,8	157
T5	5,43	16,73	11,8	497	5,51	20,39	18,6	202

**ANEXO A2. Parámetros dasométricos de la masa remanente de los ensayos de raleos.**

**Plantación mixta de Cardenal.**

**Tabla A2.1.** Parámetros dasométricos de la masa remanente de *Melia azedarach* de la plantación mixta de Cardenal. Tratamiento: Tc, control comercial, raleo tipo Danzer.

<b>Edad</b> años	<b>N</b> pl.ha <sup>-1</sup>	<b>dg</b> cm	<b>HT</b> m	<b>A.B.</b> m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	<b>VF</b> m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
6 ar	351	17,62	12,35	8,55	43,84
6 dr	199	18,05	12,54	5,09	24,07
7	199	19,59	13,48	6,00	27,88
8	199	21,46	14,32	7,20	33,88
9	193	23,34	15,04	8,24	38,66
10 ar	193	24,85	15,78	9,35	43,79
10 dr	119	26,94	16,40	6,76	32,44
11	119	28,63	17,04	7,64	36,80
12	119	29,90	17,69	8,33	40,13

**Tabla A2.2.** Parámetros dasométricos de la masa remanente de *Melia azedarach* de la plantación mixta de Cardenal. Tratamiento: T1.

<b>Edad</b> años	<b>N</b> pl.ha <sup>-1</sup>	<b>dg</b> cm	<b>HT</b> m	<b>A.B.</b> m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	<b>VF</b> m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
6 ar	365	16,60	12,23	7,90	30,36
6 dr	261	17,53	12,47	6,30	25,03
7	261	18,81	13,42	7,26	27,88
8	261	20,15	14,28	8,33	31,99
9	261	21,63	15,00	9,59	37,56
10 ar	261	22,86	15,70	10,71	41,89
10 dr	191	24,05	16,34	8,66	34,00
11	191	25,22	16,95	9,53	37,39
12	191	26,26	17,52	10,32	40,50

**Tabla A2.3.** Parámetros dasométricos de la masa remanente de *Melia azedarach* de la plantación mixta de Cardenal. Tratamiento: T2.

Edad	N	dg	HT	A.B.	VF
años	pl.ha <sup>-1</sup>	cm	m	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
6 ar	369	18,63	12,69	10,05	37,77
6 dr	300	18,93	12,98	8,44	33,07
7	300	20,81	14,02	10,20	39,57
8	300	22,30	14,87	11,71	45,25
9	300	23,79	15,52	13,33	52,87
10 ar	278	25,06	16,09	13,73	54,48
10 dr	178	26,75	16,87	9,98	39,62
11	178	28,03	17,53	10,96	43,57
12	178	29,12	18,10	11,83	46,98

**Tabla A2.4.** Parámetros dasométricos de la masa remanente de *Melia azedarach* de la plantación mixta de Cardenal. Tratamiento: T3.

Edad	N	dg	HT	A.B.	VF
años	pl.ha <sup>-1</sup>	cm	m	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
6 ar	325	17,70	12,56	8,00	32,45
6 dr	221	18,09	12,87	5,68	23,28
7	221	19,78	13,72	6,79	27,58
8	221	21,16	14,41	7,77	31,61
9	221	22,74	15,12	8,98	37,62
10 ar	221	23,87	15,69	9,89	41,42
10 dr	108	25,38	16,40	5,48	23,09
11	108	26,75	17,08	6,09	25,65
12	108	28,08	17,72	6,71	28,28

**Tabla A2.5.** Parámetros dasométricos de la masa remanente de *Melia azedarach* de la plantación mixta de Cardenal. Tratamiento: T4.

Edad	N	dg	HT	A.B.	VF
años	pl.ha <sup>-1</sup>	cm	m	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
6 ar	360	17,18	12,08	8,35	32,65
6 dr	230	17,79	12,41	5,71	22,58
7	230	19,65	13,51	6,96	27,30
8	230	21,04	14,37	7,99	31,33
9	230	22,36	14,96	9,02	36,12
10 ar	230	23,52	15,68	9,98	39,92
10 dr	95	26,40	16,61	5,22	21,05
11	95	27,81	17,22	5,79	23,39
12	95	29,27	17,74	6,41	25,90

**Tabla A2.6.** Parámetros dasométricos de la masa remanente de *Grevillea robusta* de la plantación mixta de Cardenal. Tratamiento: Tc, control comercial, raleo tipo Danzer.

<b>Edad</b> años	<b>N</b> pl.ha <sup>-1</sup>	<b>dg</b> cm	<b>HT</b> m	<b>A.B.</b> m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	<b>VF</b> m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
6 ar	299	15,22	11,99	5,45	18,41
6 dr	175	17,72	12,55	4,32	14,47
7	175	19,31	13,51	5,13	16,13
8	175	21,14	14,35	6,16	20,83
9	175	23,03	15,07	7,30	24,86
10 ar	175	24,49	15,74	8,26	28,21
10 dr	107	26,12	16,34	5,72	19,65
11	105	27,77	16,97	6,38	24,48
12	105	29,07	17,58	6,99	26,93

**Tabla A2.7.** Parámetros dasométricos de la masa remanente de *Grevillea robusta* de la plantación mixta de Cardenal. Tratamiento: T1.

<b>Edad</b> años	<b>N</b> pl.ha <sup>-1</sup>	<b>dg</b> cm	<b>HT</b> m	<b>A.B.</b> m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	<b>VF</b> m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
6 ar	317	14,24	12,15	5,05	13,46
6 dr	182	16,05	12,51	3,68	10,48
7	182	18,35	13,44	4,81	13,76
8	182	19,67	14,28	5,53	15,92
9	182	21,10	14,98	6,37	18,76
10 ar	182	22,29	15,68	7,10	21,04
10 dr	147	23,44	16,27	6,36	18,98
11	147	24,63	16,89	7,02	24,37
12	147	25,67	17,48	7,63	26,60

**Tabla A2.8.** Parámetros dasométricos de la masa remanente de *Grevillea robusta* de la plantación mixta de Cardenal. Tratamiento: T2.

<b>Edad</b> años	<b>N</b> pl.ha <sup>-1</sup>	<b>dg</b> cm	<b>HT</b> m	<b>A.B.</b> m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	<b>VF</b> m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
6 ar	356	15,45	12,73	6,67	18,57
6 dr	143	18,79	12,95	3,97	11,44
7	143	20,68	13,97	4,80	13,94
8	143	22,20	14,80	5,53	16,12
9	143	23,82	15,44	6,37	19,12
10 ar	143	25,16	16,02	7,11	21,45
10 dr	108	26,55	16,79	6,00	18,29
11	108	27,82	17,43	6,58	21,13
12	108	28,95	17,97	7,13	22,94

**Tabla A2.9.** Parámetros dasométricos de la masa remanente de *Grevillea robusta* de la plantación mixta de Cardenal. Tratamiento: T3.

Edad	N	dg	HT	A.B.	VF
años	pl.ha <sup>-1</sup>	cm	m	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
6 ar	326	14,70	12,72	5,53	15,77
6 dr	221	16,99	13,03	5,01	15,23
7	221	19,19	13,86	6,39	19,11
8	221	20,66	14,52	7,41	22,30
9	221	22,26	15,22	8,60	26,81
10 ar	221	23,47	15,78	9,56	29,93
10 dr	126	25,31	16,45	6,32	20,25
11	126	26,77	17,12	7,07	22,77
12	126	28,20	17,76	7,85	25,38

**Tabla A2.10.** Parámetros dasométricos de la masa remanente de *Grevillea robusta* de la plantación mixta de Cardenal. Tratamiento: T4.

Edad	N	dg	HT	A.B.	VF
años	pl.ha <sup>-1</sup>	cm	m	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
6 ar	330	14,00	12,22	5,08	15,08
6 dr	217	16,81	12,44	4,82	14,29
7	217	18,76	13,54	6,00	17,67
8	217	20,32	14,38	7,04	20,96
9	217	21,79	14,95	8,09	24,70
10 ar	217	23,05	15,60	9,06	27,80
10 dr	87	25,18	16,38	4,35	13,45
11	87	26,58	16,96	4,85	15,10
12	87	28,01	17,50	5,38	16,84

**Tabla A2.11.** Parámetros dasométricos de la masa remanente de (*Melia azedarach* + *Grevillea robusta*) de la plantación mixta de Cardenal. Tratamiento: Tc, control comercial, raleo tipo Danzer.

Edad	N	dg	HT	A.B.	VF
años	pl.ha <sup>-1</sup>	cm	m	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
6 ar	650	16,56	12,17	13,99	62,25
6 dr	374	17,90	12,55	9,42	38,54
7	374	19,46	13,49	11,13	44,01
8	374	21,31	14,34	13,35	54,71
9	368	23,19	15,06	15,54	63,52
10 ar	368	24,68	15,76	17,60	72,01
10 dr	225	26,55	16,37	12,48	52,09
11	224	28,23	17,00	14,02	61,28
12	224	29,51	17,64	15,32	67,06

**Tabla A2.12.** Parámetros dasométricos de la masa remanente (*Melia azedarach* + *Grevillea robusta*) de la plantación mixta de Cardenal. Tratamiento: T1.

<b>Edad</b>	<b>N</b>	<b>dg</b>	<b>HT</b>	<b>A.B.</b>	<b>VF</b>
años	pl.ha <sup>-1</sup>	cm	m	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
6 ar	681	15,55	12,19	12,94	43,83
6 dr	443	16,94	12,49	9,98	35,50
7	443	18,62	13,43	12,07	41,64
8	443	19,96	14,28	13,86	47,91
9	443	21,42	14,99	15,96	56,32
10 ar	443	22,63	15,69	17,81	62,93
10 dr	338	23,78	16,31	15,02	52,98
11	338	24,96	16,92	16,54	61,76
12	338	26,00	17,50	17,95	67,10

**Tabla A2.13.** Parámetros dasométricos de la masa remanente (*Melia azedarach* + *Grevillea robusta*) de la plantación mixta de Cardenal. Tratamiento: T2.

<b>Edad</b>	<b>N</b>	<b>dg</b>	<b>HT</b>	<b>A.B.</b>	<b>VF</b>
años	pl.ha <sup>-1</sup>	cm	m	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
6 ar	725	17,14	12,71	16,72	56,34
6 dr	443	18,88	12,97	12,41	44,51
7	443	20,77	14,00	15,01	53,52
8	443	22,26	14,83	17,25	61,38
9	443	23,80	15,48	19,71	71,99
10 ar	421	25,10	16,06	20,84	75,93
10 dr	286	26,67	16,83	15,98	57,91
11	286	27,95	17,48	17,54	64,70
12	286	29,05	18,04	18,96	69,92

**Tabla A2.14.** Parámetros dasométricos de la masa remanente de (*Melia azedarach* + *Grevillea robusta*) de la plantación mixta de Cardenal. Tratamiento. T3.

<b>Edad</b> años	<b>N</b> pl.ha <sup>-1</sup>	<b>dg</b> cm	<b>HT</b> m	<b>A.B.</b> m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	<b>VF</b> m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
6 ar	651	16,27	12,64	13,53	48,22
6 dr	442	17,55	12,95	10,69	38,50
7	442	19,49	13,79	13,18	46,69
8	442	20,91	14,47	15,18	53,91
9	442	22,50	15,17	17,58	64,43
10 ar	442	23,67	15,74	19,45	71,35
10 dr	234	25,34	16,43	11,80	43,34
11	234	26,76	17,10	13,16	48,42
12	234	28,15	17,74	14,56	53,67

**Tabla A2.15.** Parámetros dasométricos de la masa remanente de (*Melia azedarach* + *Grevillea robusta*) de la plantación mixta de Cardenal. Tratamiento: T4.

<b>Edad</b> años	<b>N</b> pl.ha <sup>-1</sup>	<b>dg</b> cm	<b>HT</b> m	<b>A.B.</b> m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	<b>VF</b> m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
6 ar	690	15,74	12,15	13,43	47,73
6 dr	447	17,32	12,43	10,53	36,87
7	447	19,22	13,53	12,96	44,97
8	447	20,70	14,38	15,03	52,29
9	447	22,08	14,96	17,11	60,82
10 ar	447	23,29	15,64	19,04	67,72
10 dr	183	25,83	16,50	9,57	34,50
11	183	27,23	17,09	10,64	38,49
12	183	28,67	17,62	11,79	42,74

**ANEXO A3. Parámetros dasométricos de la masa remanente de los ensayos de raleos.**

**Plantación mixta de Blanco.**

**Tabla A3.1.** Parámetros dasométricos de *Melia azedarach* de la plantación mixta de Blanco. Tratamiento: T0, Testigo, sin raleo.

<b>Edad</b> años	<b>N</b> pl.ha <sup>-1</sup>	<b>dg</b> cm	<b>HT</b> m	<b>A.B.</b> m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	<b>VF</b> m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
5 ar	303	9,98	8,58	2,37	9,76
5 dr	303	9,98	8,58	2,37	9,76
6	303	11,71	9,73	3,26	13,46
7	303	13,41	11,02	4,28	17,52
8	293	16,02	12,44	5,91	23,85
9 ar	284	17,64	13,54	6,95	27,79
9 dr	284	17,64	13,54	6,95	27,79
10	256	19,24	14,29	7,44	29,54
11	246	20,40	15,20	8,04	31,68

**Tabla A3.2.** Parámetros dasométricos de la masa remanente de *Melia azedarach* de la plantación mixta de Blanco. Tratamiento: T1.

<b>Edad</b> años	<b>N</b> pl.ha <sup>-1</sup>	<b>dg</b> cm	<b>HT</b> m	<b>A.B.</b> m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	<b>VF</b> m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
5 ar	290	11,41	9,31	2,97	11,85
5 dr	212	12,54	9,41	2,62	10,76
6	212	14,83	10,38	3,67	15,05
7	212	17,20	11,62	4,93	20,23
8	212	20,02	12,96	6,69	27,25
9 ar	212	21,83	13,65	7,95	32,13
9 dr	182	22,61	13,82	7,31	29,85
10	182	24,14	14,72	8,33	33,79
11	182	25,48	15,90	9,28	37,41

**Tabla A3.3.** Parámetros dasométricos de la masa remanente de *Melia azedarach* de plantación mixta de Blanco. Tratamiento: T2.

<b>Edad</b> años	<b>N</b> pl.ha <sup>-1</sup>	<b>dg</b> cm	<b>HT</b> m	<b>A.B.</b> m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	<b>VF</b> m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
5 ar	299	10,83	9,41	2,75	11,60
5 dr	173	12,58	9,59	2,15	9,34
6	173	14,81	10,57	2,99	13,04
7	173	16,82	11,62	3,85	16,71
8	169	19,45	12,84	5,02	21,65
9 ar	169	20,92	13,72	5,81	24,93
9 dr	117	22,24	13,82	4,56	20,01
10	117	23,76	14,76	5,20	22,74
11	117	25,09	15,59	5,80	25,24

**Tabla A3.4.** Parámetros dasométricos de la masa remanente de *Melia azedarach* de la plantación mixta de Blanco. Tratamiento: T3.

<b>Edad</b> años	<b>N</b> pl.ha <sup>-1</sup>	<b>dg</b> cm	<b>HT</b> m	<b>A.B.</b> m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	<b>VF</b> m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
5 ar	295	10,92	9,58	2,76	12,39
5 dr	104	12,91	9,83	1,36	6,18
6	104	15,53	10,85	1,97	8,91
7	104	17,91	11,91	2,62	11,81
8	104	20,85	13,08	3,55	15,89
9 ar	104	22,82	13,80	4,25	19,44
9 dr	65	24,10	14,03	2,96	13,35
10	65	26,01	15,04	3,45	15,46
11	65	27,81	16,29	3,95	17,55

**Tabla A3.5.** Parámetros dasométricos de la masa remanente de *Melia azedarach* de la plantación mixta de Blanco. Tratamiento: T4.

<b>Edad</b> años	<b>N</b> pl.ha <sup>-1</sup>	<b>dg</b> cm	<b>HT</b> m	<b>A.B.</b> m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	<b>VF</b> m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
5 ar	273	11,49	9,40	2,84	13,11
5 dr	191	12,57	9,60	2,37	11,19
6	191	15,15	10,54	3,44	16,23
7	191	17,52	11,43	4,60	21,69
8	191	20,32	12,54	6,19	28,97
9 ar	191	22,22	13,59	7,40	34,37
9 dr	134	23,03	13,74	5,60	26,31
10	134	24,77	14,82	6,47	30,24
11	134	26,32	15,84	7,31	33,92

**Tabla A3.6.** Parámetros dasométricos de la masa remanente de *Melia azedarach* de la plantación mixta de Blanco. Tratamiento: T5.

<b>Edad</b> años	<b>N</b> pl.ha <sup>-1</sup>	<b>dg</b> cm	<b>HT</b> m	<b>A.B.</b> m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	<b>VF</b> m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
5 ar	273	10,80	9,26	2,50	10,11
5 dr	143	11,85	9,42	1,58	6,84
6	143	14,37	10,46	2,32	10,14
7	143	16,80	11,62	3,17	13,87
8	143	20,06	12,77	4,52	19,65
9 ar	143	22,04	13,70	5,45	23,23
9 dr	108	22,78	13,98	4,42	18,95
10	108	24,73	14,86	5,20	22,42
11	108	26,38	15,82	5,92	25,34

**Tabla A3.7.** Parámetros dasométricos de la masa remanente de *Melia azedarach* de la plantación mixta de Blanco. Tratamiento: T6.

<b>Edad</b> años	<b>N</b> pl.ha <sup>-1</sup>	<b>dg</b> cm	<b>HT</b> m	<b>A.B.</b> m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	<b>VF</b> m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
5 ar	251	11,26	9,18	2,50	10,82
5 dr	126	13,27	9,42	1,74	7,91
6	126	15,46	10,44	2,36	10,77
7	126	17,38	11,45	2,98	13,54
8	126	20,39	12,42	4,10	18,51
9 ar	126	22,32	13,12	4,92	22,01
9 dr	65	25,56	13,38	3,34	15,01
10	65	27,52	14,30	3,87	17,29
11	65	29,40	14,81	4,41	19,63

**Tabla A3.8.** Parámetros dasométricos de *Grevillea robusta* de la plantación mixta de Blanco. Tratamiento: T0, Testigo, sin raleo.

<b>Edad</b> años	<b>N</b> pl.ha <sup>-1</sup>	<b>dg</b> cm	<b>HT</b> m	<b>A.B.</b> m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	<b>VF</b> m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
5 ar	396	13,74	9,32	5,87	17,88
5 dr	396	13,74	9,32	5,87	17,88
6	396	15,20	10,72	7,19	21,83
7	396	17,39	12,59	9,41	27,74
8	396	19,52	14,09	11,85	34,14
9 ar	396	20,87	15,29	13,55	38,38
9 dr	396	20,87	15,29	13,55	38,38
10	396	22,08	16,14	15,16	42,33
11	396	23,12	16,68	16,62	45,78

**Tabla A3.9.** Parámetros dasométricos de la masa remanente de *Grevillea robusta* de la plantación mixta de Blanco. Tratamiento: T1.

<b>Edad</b> años	<b>N</b> pl.ha <sup>-1</sup>	<b>dg</b> cm	<b>HT</b> m	<b>A.B.</b> m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	<b>VF</b> m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
5 ar	404	13,21	9,63	5,54	20,84
5 dr	308	13,49	9,71	4,40	16,90
6	308	15,57	10,85	5,87	21,96
7	308	17,75	12,79	7,63	27,87
8	308	19,76	14,18	9,46	33,82
9 ar	300	21,20	15,13	10,58	37,99
9 dr	235	21,55	15,23	8,57	30,37
10	235	22,84	16,01	9,63	33,71
11	235	24,02	16,49	10,65	36,93

**Tabla A3.10.** Parámetros dasométricos de la masa remanente de *Grevillea robusta* de la plantación mixta de Blanco. Tratamiento: T2.

<b>Edad</b> años	<b>N</b> pl.ha <sup>-1</sup>	<b>dg</b> cm	<b>HT</b> m	<b>A.B.</b> m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	<b>VF</b> m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
5 ar	395	13,73	9,65	5,85	23,04
5 dr	348	14,02	9,78	5,37	21,30
6	348	16,05	10,90	7,04	27,19
7	348	18,29	12,82	9,13	34,41
8	343	20,76	14,08	11,62	42,26
9 ar	343	22,24	15,15	13,33	48,35
9 dr	248	22,65	15,21	9,97	36,13
10	248	24,18	16,05	11,38	40,64
11	248	25,69	16,63	12,83	45,29

**Tabla A3.11.** Parámetros dasométricos de la masa remanente de *Grevillea robusta* de la plantación mixta de Blanco. Tratamiento: T3.

<b>Edad</b> años	<b>N</b> pl.ha <sup>-1</sup>	<b>dg</b> cm	<b>HT</b> m	<b>A.B.</b> m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	<b>VF</b> m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
5 ar	413	13,59	9,74	5,99	24,92
5 dr	222	14,14	9,93	3,49	14,89
6	222	16,25	11,20	4,60	18,87
7	222	18,78	13,06	6,15	24,35
8	222	21,32	14,30	7,92	31,13
9 ar	222	23,05	15,51	9,26	35,72
9 dr	143	23,89	15,61	6,41	24,56
10	143	25,56	16,40	7,34	27,72
11	143	27,35	16,84	8,40	31,24

**Tabla A3.12.** Parámetros dasométricos de la masa remanente de *Grevillea robusta* de la plantación mixta de Blanco. Tratamiento: T4.

<b>Edad</b> años	<b>N</b> pl.ha <sup>-1</sup>	<b>dg</b> cm	<b>HT</b> m	<b>A.B.</b> m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	<b>VF</b> m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
5 ar	395	13,77	9,79	5,88	23,07
5 dr	226	14,41	9,93	3,69	14,60
6	226	16,48	11,29	4,82	18,61
7	226	18,80	12,80	6,27	23,58
8	226	21,28	13,98	8,04	29,43
9 ar	226	23,02	14,99	9,40	33,86
9 dr	179	23,18	15,10	7,54	27,16
10	179	24,82	15,95	8,64	30,69
11	179	26,51	16,59	9,86	34,52

**Tabla A3.13.** Parámetros dasométricos de la masa remanente de *Grevillea robusta* de la plantación mixta de Blanco. Tratamiento: T5.

Edad	N	dg	HT	A.B.	VF
años	pl.ha <sup>-1</sup>	cm	m	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
5 ar	395	12,80	9,67	5,09	20,65
5 dr	274	13,51	9,77	3,93	15,95
6	274	15,53	11,13	5,19	20,52
7	274	17,80	12,52	6,82	26,18
8	274	20,32	13,81	8,88	33,28
9 ar	274	21,87	14,56	10,29	37,97
9 dr	152	22,13	14,89	5,85	21,45
10	152	23,65	15,79	6,67	24,15
11	152	25,31	16,27	7,65	27,27

**Tabla A3.14.** Parámetros dasométricos de la masa remanente de *Grevillea robusta* de la plantación mixta de Blanco. Tratamiento: T6.

Edad	N	dg	HT	A.B.	VF
años	pl.ha <sup>-1</sup>	cm	m	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
5 ar	400	14,52	9,80	6,62	27,64
5 dr	200	14,63	10,01	3,36	14,13
6	200	16,61	11,30	4,33	17,75
7	200	18,92	12,78	5,62	22,42
8	200	21,39	14,07	7,19	27,93
9 ar	200	23,24	14,83	8,48	32,45
9 dr	91	24,02	15,20	4,12	15,53
10	91	25,60	15,91	4,69	17,42
11	91	27,48	16,51	5,40	19,76

**Tabla A3.15.** Parámetros dasométricos de (*Melia azedarach* + *Grevillea robusta*) de la plantación mixta de Blanco. Tratamiento: T0, Testigo, sin raleo.

Edad	N	dg	HT	A.B.	VF
años	pl.ha <sup>-1</sup>	cm	m	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
5 ar	699	12,25	8,95	8,24	27,64
5 dr	699	12,25	8,95	8,11	27,64
6	699	13,80	10,23	10,45	35,29
7	699	15,79	11,80	13,68	45,26
8	689	18,12	13,27	17,76	57,99
9 ar	680	19,58	14,42	20,49	66,17
9 dr	680	19,58	14,42	20,49	66,17
10	652	21,01	15,22	22,60	71,87
11	642	22,12	15,94	24,66	77,45

**Tabla A3.16.** Parámetros dasométricos de la masa remanente de (*Melia azedarach* + *Grevillea robusta*) de la plantación mixta de Blanco. Tratamiento: T1.

<b>Edad</b> años	<b>N</b> pl.ha <sup>-1</sup>	<b>dg</b> cm	<b>HT</b> m	<b>A.B.</b> m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	<b>VF</b> m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
5 ar	694	12,49	9,47	8,51	32,68
5 dr	521	13,11	9,56	7,03	27,66
6	521	15,28	10,62	9,54	37,02
7	521	17,52	12,21	12,56	48,11
8	521	19,87	13,57	16,14	61,08
9 ar	512	21,46	14,39	18,52	70,12
9 dr	417	22,02	14,53	15,88	60,22
10	417	23,42	15,37	17,96	67,50
11	417	24,67	16,20	19,93	74,34

**Tabla A3.17.** Parámetros dasométricos de la masa remanente de (*Melia azedarach* + *Grevillea robusta*) de la plantación mixta de Blanco. Tratamiento: T2.

<b>Edad</b> años	<b>N</b> pl.ha <sup>-1</sup>	<b>dg</b> cm	<b>HT</b> m	<b>A.B.</b> m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	<b>VF</b> m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
5 ar	694	12,56	9,53	8,61	34,64
5 dr	521	13,56	9,69	7,52	30,64
6	521	15,65	10,73	10,02	40,24
7	521	17,81	12,22	12,98	51,12
8	512	20,34	13,46	16,65	63,91
9 ar	512	21,81	14,44	19,15	73,28
9 dr	365	22,52	14,51	14,53	56,14
10	365	24,05	15,41	16,58	63,38
11	365	25,50	16,11	18,64	70,53

**Tabla A3.18.** Parámetros dasométricos de la masa remanente de (*Melia azedarach* + *Grevillea robusta*) de la plantación mixta de Blanco. Tratamiento: T3.

<b>Edad</b> años	<b>N</b> pl.ha <sup>-1</sup>	<b>dg</b> cm	<b>HT</b> m	<b>A.B.</b> m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	<b>VF</b> m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
5 ar	707	12,55	9,66	8,74	37,31
5 dr	326	13,76	9,88	4,85	21,06
6	326	16,02	11,03	6,57	27,77
7	326	18,51	12,49	8,77	36,17
8	326	21,17	13,69	11,47	47,02
9 ar	326	22,97	14,65	13,51	55,16
9 dr	208	23,96	14,82	9,38	37,91
10	208	25,70	15,72	10,79	43,17
11	208	27,49	16,56	12,35	48,79

**Tabla A3.19.** Parámetros dasométricos de la masa remanente de (*Melia azedarach* + *Grevillea robusta*) de la plantación mixta de Blanco. Tratamiento: T4.

<b>Edad</b> años	<b>N</b> pl.ha <sup>-1</sup>	<b>dg</b> cm	<b>HT</b> m	<b>A.B.</b> m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	<b>VF</b> m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
5 ar	668	12,89	9,60	8,72	36,18
5 dr	417	13,60	9,76	6,06	25,79
6	417	15,89	10,92	8,27	34,84
7	417	18,22	12,12	10,88	45,26
8	417	20,84	13,26	14,23	58,41
9 ar	417	22,65	14,29	16,81	68,23
9 dr	313	23,12	14,42	13,14	53,47
10	313	24,80	15,38	15,12	60,93
11	313	26,43	16,22	17,18	68,44

**Tabla A3.20.** Parámetros dasométricos de la masa remanente de (*Melia azedarach* + *Grevillea robusta*) de la plantación mixta de Blanco. Tratamiento: T5.

<b>Edad</b> años	<b>N</b> pl.ha <sup>-1</sup>	<b>dg</b> cm	<b>HT</b> m	<b>A.B.</b> m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	<b>VF</b> m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
5 ar	668	12,02	9,47	7,59	30,76
5 dr	417	12,96	9,60	5,50	22,79
6	417	15,15	10,80	7,51	30,66
7	417	17,46	12,07	9,99	40,05
8	417	20,23	13,29	13,40	52,94
9 ar	417	21,93	14,13	15,74	61,21
9 dr	260	22,40	14,43	10,26	40,41
10	260	24,10	15,33	11,88	46,57
11	260	25,76	16,04	13,57	52,61

**Tabla A3.21.** Parámetros dasométricos de la masa remanente de (*Melia azedarach* + *Grevillea robusta*) de la plantación mixta de Blanco. Tratamiento: T6.

<b>Edad</b> años	<b>N</b> pl.ha <sup>-1</sup>	<b>dg</b> cm	<b>HT</b> m	<b>A.B.</b> m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	<b>VF</b> m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
5 ar	651	13,36	9,49	9,12	38,46
5 dr	326	14,12	9,71	5,10	22,04
6	326	16,18	10,87	6,69	28,51
7	326	18,34	12,12	8,60	35,96
8	326	21,01	13,24	11,29	46,44
9 ar	326	22,89	13,98	13,40	54,46
9 dr	156	24,67	14,29	7,46	30,54
10	156	26,42	15,11	8,55	34,70
11	156	28,30	15,66	9,81	39,40

**ANEXO A4. Parámetros dasométricos de la masa remanente de los ensayos de raleos.**

**Plantación mixta de Nofal.**

**Tabla A4.1.** Parámetros dasométricos de *Melia azedarach* de la plantación mixta de Nofal. Tratamiento: T0, Testigo, sin raleo.

Edad años	N pl.ha <sup>-1</sup>	dg cm	HT m	A.B. m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	VF m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
6 ar	480	13,61	10,66	6,99	26,92
6 dr	480	13,61	10,66	6,99	26,92
7	480	15,25	11,99	8,77	33,17
8	365	17,83	13,35	9,11	36,96
9 ar	342	19,12	14,70	9,81	39,90
9 dr	342	19,12	14,70	9,81	39,91
10	313	20,95	16,05	10,79	44,14
11	290	22,10	16,66	11,12	45,79

**Tabla A4.2.** Parámetros dasométricos de la masa remanente de *Melia azedarach* de la plantación mixta de Nofal. Tratamiento: T1.

Edad años	N pl.ha <sup>-1</sup>	dg cm	HT m	A.B. m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	VF m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
6 ar	428	14,08	10,68	6,66	27,97
6 dr	295	15,39	10,68	5,49	24,02
7	295	17,83	12,10	7,37	32,05
8	278	20,16	13,82	8,88	39,26
9 ar	266	21,86	15,22	10,00	44,11
9 dr	243	22,12	15,22	9,34	41,58
10	237	24,45	16,97	11,15	49,69
11	232	25,63	17,62	11,96	53,13

**Tabla A4.3.** Parámetros dasométricos de la masa remanente de *Melia azedarach* de la plantación mixta de Nofal. Tratamiento: T2.

Edad años	N pl.ha <sup>-1</sup>	dg cm	HT m	A.B. m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	VF m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
6 ar	486	12,95	10,57	6,40	21,66
6 dr	313	14,85	10,57	5,42	19,87
7	307	16,89	12,01	6,88	25,15
8	284	18,82	13,32	7,91	29,87
9 ar	273	20,21	15,00	8,75	32,99
9 dr	139	22,03	15,00	5,30	21,48
10	133	24,73	15,87	6,39	25,91
11	116	26,40	16,57	6,35	25,79

**Tabla A4.4.** Parámetros dasométricos de la masa remanente de *Melia azedarach* de la plantación mixta de Nofal. Tratamiento: T3.

Edad años	N pl.ha <sup>-1</sup>	dg cm	HT m	A.B. m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	VF m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
6 ar	463	13,26	11,36	6,39	26,32
6 dr	226	15,80	11,36	4,43	19,60
7	226	18,42	12,63	6,02	26,49
8	226	20,37	14,02	7,37	32,34
9 ar	220	22,16	15,19	8,50	37,09
9 dr	139	23,76	15,35	6,16	27,99
10	139	26,58	16,30	7,71	34,87
11	139	28,00	16,89	8,56	38,60

**Tabla A4.5.** Parámetros dasométricos de la masa remanente de *Melia azedarach* de la plantación mixta de Nofal. Tratamiento: T4.

Edad años	N pl.ha <sup>-1</sup>	dg cm	HT m	A.B. m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	VF m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
6 ar	434	13,40	10,87	6,12	25,94
6 dr	272	15,45	10,87	5,11	23,69
7	272	17,60	12,28	6,63	30,63
8	255	19,29	13,99	7,45	34,87
9 ar	255	20,48	15,39	8,40	39,13
9 dr	151	22,49	15,49	5,98	28,12
10	139	25,27	17,05	6,99	3,05
11	139	26,41	17,69	7,63	36,02

**Tabla A4.6.** Parámetros dasométricos de la masa remanente de *Melia azedarach* de la plantación mixta de Nofal. Tratamiento T5.

Edad años	N pl.ha <sup>-1</sup>	dg cm	HT m	A.B. m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	VF m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
6 ar	469	13,32	11,16	6,54	26,47
6 dr	231	15,66	11,16	4,46	19,53
7	231	18,34	12,52	6,11	26,51
8	231	20,46	14,09	7,61	33,15
9 ar	226	22,27	15,21	8,79	38,05
9 dr	122	24,81	15,28	5,90	26,61
10	122	27,95	17,16	7,49	33,58
11	122	29,80	18,30	8,51	37,94

**Tabla A4.7.** Parámetros dasométricos de la masa remanente de *Grevillea robusta* de la plantación mixta de Nofal. Tratamiento: T0, Testigo, sin raleo.

<b>Edad</b> años	<b>N</b> pl.ha <sup>-1</sup>	<b>dg</b> cm	<b>HT</b> m	<b>A.B.</b> m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	<b>VF</b> m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
6 ar	527	13,30	11,38	7,32	22,03
6 dr	527	13,30	11,38	7,32	22,03
7	527	15,06	12,84	9,38	28,29
8	521	16,58	14,47	11,25	37,01
9 ar	521	17,72	15,75	12,85	42,29
9 dr	521	17,72	15,75	12,85	42,29
10	492	19,56	16,68	14,79	49,23
11	492	20,52	17,22	16,29	54,17

**Tabla A4.8.** Parámetros dasométricos de la masa remanente de *Grevillea robusta* de la plantación mixta de Nofal. Tratamiento: T1.

<b>Edad</b> años	<b>N</b> pl.ha <sup>-1</sup>	<b>dg</b> cm	<b>HT</b> m	<b>A.B.</b> m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	<b>VF</b> m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
6 ar	498	13,53	11,11	7,16	22,69
6 dr	214	13,92	11,11	3,26	10,81
7	214	15,99	12,68	4,30	14,36
8	209	18,30	14,31	5,49	19,45
9 ar	209	19,80	15,59	6,42	22,85
9 dr	162	20,63	15,59	5,43	19,87
10	162	22,79	16,88	6,62	24,39
11	162	24,24	17,58	7,49	27,68

**Tabla A4.9.** Parámetros dasométricos de la masa remanente de *Grevillea robusta* de la plantación mixta de Nofal. Tratamiento: T2.

<b>Edad</b> años	<b>N</b> pl.ha <sup>-1</sup>	<b>dg</b> cm	<b>HT</b> m	<b>A.B.</b> m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	<b>VF</b> m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
6 ar	498	14,82	11,09	8,58	27,75
6 dr	313	15,74	11,09	6,09	20,54
7	313	17,85	12,54	7,83	26,61
8	313	19,90	14,07	9,74	33,85
9 ar	313	21,38	15,58	11,24	39,21
9 dr	243	22,34	15,58	9,53	34,44
10	243	24,47	17,02	11,42	41,62
11	243	25,94	17,60	12,85	46,98

**Tabla A4.10.** Parámetros dasométricos de la masa remanente de *Grevillea robusta* de la plantación mixta de Nofal. Tratamiento: T3.

Edad años	N pl.ha <sup>-1</sup>	dg cm	HT m	A.B. m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	VF m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
6 ar	527	13,86	11,21	7,94	26,03
6 dr	226	15,14	11,21	4,07	14,01
7	226	17,24	12,60	5,27	18,30
8	226	19,22	14,20	6,56	23,80
9 ar	226	20,84	15,45	7,71	28,11
9 dr	174	21,41	15,45	6,26	23,42
10	174	23,60	16,96	7,61	28,67
11	174	25,11	17,56	8,61	32,54

**Tabla A4.11.** Parámetros dasométricos de la masa remanente de *Grevillea robusta* de la plantación mixta de Nofal. Tratamiento: T4.

Edad años	N pl.ha <sup>-1</sup>	dg cm	HT m	A.B. m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	VF m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
6 ar	521	14,53	11,34	8,63	28,52
6 dr	354	15,52	11,34	6,69	22,61
7	354	17,72	12,87	8,72	29,78
8	354	19,652	14,40	10,72	38,65
9 ar	354	21,13	15,77	12,40	44,86
9 dr	301	21,48	15,77	10,92	40,50
10	301	23,66	18,00	13,25	49,43
11	301	25,13	18,57	14,95	55,96

**Tabla A4.12.** Parámetros dasométricos de la masa remanente de *Grevillea robusta* de la plantación mixta de Nofal. Tratamiento: T5.

Edad años	N pl.ha <sup>-1</sup>	dg cm	HT m	A.B. m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	VF m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
6 ar	480	13,31	11,02	6,69	21,01
6 dr	221	13,87	11,02	3,33	11,21
7	221	16,07	12,34	4,47	15,24
8	221	18,22	13,90	5,75	20,57
9 ar	221	19,72	15,51	6,74	24,23
9 dr	122	20,72	15,51	4,11	15,28
10	122	23,03	16,92	5,08	19,03
11	122	24,62	17,69	5,81	21,83

**Tabla A4.13.** Parámetros dasométricos de (*Melia azedarach* + *Grevillea robusta*) de la plantación mixta de Nofal. Tratamiento: T0, Testigo, sin raleo.

Edad años	N pl.ha <sup>-1</sup>	dg cm	HT m	A.B. m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	VF m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
6 ar	1007	13,45	11,02	14,31	48,95
6 dr	1007	13,45	11,02	14,31	48,95
7	1007	15,15	12,42	18,15	61,46
8	886	17,11	13,91	20,36	73,97
9 ar	863	18,29	15,23	22,66	82,19
9 dr	863	18,29	15,23	22,66	82,20
10	805	20,11	16,37	25,58	93,37
11	782	21,12	16,94	27,41	99,96

**Tabla A4.14.** Parámetros dasométricos de la masa remanente de (*Melia azedarach* + *Grevillea robusta*) de la plantación mixta de Nofal. Tratamiento: T1.

Edad años	N pl.ha <sup>-1</sup>	dg cm	HT m	A.B. m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	VF m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
6 ar	926	13,79	10,90	13,82	50,66
6 dr	509	14,79	10,90	8,75	34,83
7	509	17,08	12,39	11,67	46,41
8	487	19,392	14,07	14,37	58,71
9 ar	475	20,98	15,40	16,42	66,96
9 dr	405	21,54	15,40	14,77	61,45
10	400	23,79	16,93	17,77	74,08
11	394	25,07	17,60	19,45	80,81

**Tabla A4.15.** Parámetros dasométricos de la masa remanente de (*Melia azedarach* + *Grevillea robusta*) de la plantación mixta de Nofal. Tratamiento: T2.

Edad años	N pl.ha <sup>-1</sup>	dg cm	HT m	A.B. m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	VF m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
6 ar	984	13,93	10,83	14,98	49,41
6 dr	626	15,30	10,83	11,51	40,41
7	620	17,38	12,27	14,71	51,75
8	597	19,40	13,70	17,65	63,73
9 ar	586	20,84	15,29	19,99	72,20
9 dr	382	22,23	15,29	14,82	55,93
10	376	24,56	16,44	17,81	67,53
11	359	26,09	17,09	19,20	72,77

**Tabla A4.16.** Parámetros dasométricos de la masa remanente de (*Melia azedarach* + *Grevillea robusta*) de la plantación mixta de Nofal. Tratamiento: T3.

Edad años	N pl.ha <sup>-1</sup>	dg cm	HT m	A.B. m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	VF m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
6 ar	990	13,58	11,29	14,33	52,35
6 dr	452	15,48	11,29	8,50	33,60
7	452	17,84	12,62	11,29	44,79
8	452	19,81	14,11	13,93	56,14
9 ar	446	21,50	15,32	16,21	65,20
9 dr	313	22,48	15,40	12,43	51,41
10	313	24,97	16,63	15,32	63,55
11	313	26,43	17,23	17,17	71,14

**Tabla A4.17.** Parámetros dasométricos de la masa remanente de (*Melia azedarach* + *Grevillea robusta*) de la plantación mixta de Nofal. Tratamiento: T4.

Edad años	N pl.ha <sup>-1</sup>	dg cm	HT m	A.B. m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	VF m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
6 ar	955	14,02	11,11	14,75	54,46
6 dr	626	15,49	11,11	11,80	46,30
7	626	17,67	12,57	15,35	60,41
8	609	19,50	14,20	18,18	73,51
9 ar	609	20,86	15,58	20,80	83,98
9 dr	452	21,82	15,63	16,91	68,62
10	441	24,18	17,53	20,23	82,48
11	441	25,54	18,13	22,58	91,99

**Tabla A4.18.** Parámetros dasométricos de la masa remanente de (*Melia azedarach* + *Grevillea robusta*), de la plantación mixta de Nofal. Tratamiento: T5.

Edad años	N pl.ha <sup>-1</sup>	dg cm	HT m	A.B. m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	VF m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
6 ar	949	13,32	11,09	13,22	47,48
6 dr	452	14,81	11,09	7,79	30,75
7	452	17,27	12,43	10,59	41,75
8	452	19,40	14,00	13,36	53,72
9 ar	446	21,05	15,36	15,53	62,27
9 dr	244	22,86	15,39	10,01	41,88
10	244	25,61	17,04	12,57	52,61
11	244	27,33	18,00	14,32	59,78

**ANEXO A5. Incremento del diámetro y área basal de las plantaciones mixtas de Cardenal, Blanco y Nofal.**

**Tabla A5.1.** Crecimiento periódico absoluto y relativo del diámetro – DAP y área basal – AB. Periodos 6–10, 10–12 y 6–12 años de edad. *M. azedarach*, ensayos de Cardenal.

Periodo	6 a 10 años				10 a 12 años				6 a 12 años			
	DAP		AB		DAP		AB		DAP		AB	
Tra	cm	%	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	%	cm	%	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	%	cm	%	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	%
T0	6,8	37,7	4,25	83,5	3,0	11,0	1,57	23,2	9,8	54,1	5,82	114,3
T1	5,3	30,4	4,41	70,0	2,2	9,2	1,66	19,2	7,5	43,0	6,07	96,4
T2	6,1	32,4	5,29	62,7	2,4	8,9	1,85	18,5	8,5	44,9	7,14	84,6
T3	5,8	32,0	4,21	74,1	2,7	10,6	1,23	22,4	8,5	46,9	5,44	95,8
T4	5,7	32,2	4,27	74,8	2,9	10,9	1,19	22,9	8,6	48,3	5,46	95,7

**Tabla A5.2.** Incremento periódico anual del diámetro – DAP y área basal – AB. Periodos 6–10, 10–12 y 6–12 años de edad. *M. azedarach*, ensayos de Cardenal.

Periodo	6 a 10 años		10 a 12 años		6 a 12 años	
	DAP	AB	DAP	AB	DAP	AB
Tra	cm.año <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> .año <sup>-1</sup>	cm.año <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> .año <sup>-1</sup>	cm.año <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> .año <sup>-1</sup>
T0	1,70	1,06	1,48	0,78	1,63	0,97
T1	1,33	1,10	1,11	0,83	1,26	1,01
T2	1,53	1,32	1,19	0,92	1,42	1,19
T3	1,45	1,05	1,35	0,62	1,41	0,91
T4	1,43	1,07	1,44	0,60	1,43	0,91

**Tabla A5.3.** Crecimiento periódico absoluto y relativo del diámetro – DAP y área basal – AB. Periodos 6–10, 10–12 y 6–12 años de edad. *G. robusta*, ensayos de Cardenal.

Periodo	6 a 10 años				10 a 12 años				6 a 12 años			
	DAP		AB		DAP		AB		DAP		AB	
Tra	cm	%	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	%	cm	%	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	%	cm	%	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	%
T0	6,8	38,2	3,93	91,0	3,0	11,3	1,27	22,3	9,7	54,9	5,21	120,4
T1	6,2	38,9	3,42	92,8	2,2	9,5	1,27	20,0	8,5	52,8	4,69	127,3
T2	6,4	33,9	3,14	79,2	2,4	9,0	1,13	18,9	8,8	46,7	4,27	107,7
T3	6,5	38,1	4,55	90,8	2,9	11,4	1,53	24,2	9,4	55,2	6,08	121,3
T4	6,2	37,1	4,24	88,0	2,8	11,2	1,03	23,7	9,1	54,0	5,27	109,4

**Tabla A5.4.** Incremento periódico anual del diámetro – DAP y área basal – AB. Periodos 6–10, 10–12 y 6–12 años de edad. *G. robusta*, ensayos de Cardenal.

Periodo	6 a 10 años		10 a 12 años		6 a 12 años	
	DAP	AB	DAP	AB	DAP	AB
Tra	cm.año <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> .año <sup>-1</sup>	cm.año <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> .año <sup>-1</sup>	cm.año <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> .año <sup>-1</sup>
T0	1,69	0,98	1,48	0,64	1,62	0,87
T1	1,56	0,86	1,12	0,63	1,41	0,78
T2	1,59	0,79	1,20	0,57	1,46	0,71
T3	1,62	1,14	1,45	0,76	1,56	1,01
T4	1,56	1,06	1,42	0,52	1,51	0,88

**Tabla A5.5.** Crecimiento periódico absoluto y relativo del diámetro – DAP y área basal – AB. Periodos de 6–10, 10–12 y 6–12 años de edad. Plantación mixta de Cardenal, ambas componentes en conjunto.

Periodo	6 a 10 años				10 a 12 años				6 a 12 años			
	DAP		AB		DAP		AB		DAP		AB	
Tra	cm	%	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	%	cm	%	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	%	cm	%	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	%
T0	6,8	37,9	8,19	86,9	3,0	11,1	2,84	22,8	9,7	54,4	11,03	117,1
T1	5,7	33,6	7,83	78,4	2,2	9,3	2,93	19,5	7,9	46,7	10,76	107,8
T2	6,2	32,9	8,43	68,0	2,4	8,9	2,98	18,6	8,6	45,6	11,41	92,0
T3	6,1	34,9	8,76	81,9	2,8	11,1	2,76	23,4	8,9	50,9	11,52	107,7
T4	6,0	34,5	8,51	80,8	2,8	11,0	2,22	23,2	8,8	50,9	10,73	101,9

**Tabla A5.6.** Incremento periódico anual del diámetro – DAP y área basal – AB. Periodos de 6–10, 10–12 y 6–12 años de edad. Plantación mixta de Cardenal, ambas componentes en conjunto.

Periodo	6 a 10 años		10 a 12 años		6 a 12 años	
	DAP	AB	DAP	AB	DAP	AB
Tra	cm.año <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> .año <sup>-1</sup>	cm.año <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> .año <sup>-1</sup>	cm.año <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> .año <sup>-1</sup>
T0	1,70	2,78	1,35	2,38	1,56	2,62
T1	2,03	2,56	1,75	2,35	1,92	2,47
T2	1,80	2,82	2,00	2,19	1,88	2,57
T3	1,97	2,57	1,95	2,37	1,96	2,49
T4	1,77	3,00	1,85	2,84	1,80	2,93

**Tabla A5.7.** Crecimiento periódico absoluto y relativo del diámetro – DAP y área basal – AB. Periodos 5–9, 9–11 y 5–11 años de edad. *M. azedarach*, ensayos de Blanco.

Periodo	5 a 9 años				9 a 11 años				5 a 11 años			
	DAP		AB		DAP		AB		DAP		AB	
	cm	%	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	%	cm	%	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	%	cm	%	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	%
T0	7,7	78,7	4,59	195,3	2,4	14,0	1,07	15,4	10,1	103,7	5,66	240,9
T1	9,3	77,3	5,33	203,4	2,9	12,9	1,97	26,9	12,2	100,9	7,30	278,6
T2	8,5	69,4	3,65	168,9	2,8	12,3	1,24	27,2	11,2	92,0	4,89	226,4
T3	10,3	81,6	2,89	212,5	3,7	15,5	0,99	33,4	13,9	111,0	3,88	285,3
T4	9,7	77,1	5,04	370,6	3,2	14,2	1,71	30,5	12,9	106,3	6,75	284,8
T5	10,1	89,3	3,88	245,6	3,7	16,6	1,50	33,9	13,8	121,6	5,38	340,5
T6	9,2	71,4	3,18	182,8	3,9	15,6	1,09	34,2	13,1	101,4	4,27	245,4

**Tabla A5.8.** Incremento periódico anual del diámetro – DAP y área basal – AB. Periodos 5–9, 9–11 y 5–11 años de edad. *M. azedarach*, ensayos de Blanco.

Periodo	5 a 9 años		9 a 11 años		5 a 11 años	
	DAP	AB	DAP	AB	DAP	AB
	cm.año <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> .año <sup>-1</sup>	cm.año <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> .año <sup>-1</sup>	cm.año <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> .año <sup>-1</sup>
T0	1,93	1,15	1,20	0,54	1,68	0,94
T1	2,33	1,33	1,45	0,99	2,03	1,22
T2	2,13	0,91	1,40	0,62	1,87	0,82
T3	2,58	0,72	1,85	0,50	2,32	0,65
T4	2,43	1,26	1,60	0,86	2,15	1,13
T5	2,53	0,97	1,85	0,75	2,30	0,90
T6	2,30	0,80	1,95	0,55	2,18	0,71

**Tabla A5.9.** Crecimiento periódico absoluto y relativo del diámetro – DAP y área basal – AB. Periodos 5–9, 9–11 y 5–11 años de edad. *G. robusta*, ensayos de Blanco.

Periodo	5 a 9 años				9 a 11 años				5 a 11 años			
	DAP		AB		DAP		AB		DAP		AB	
Tra	cm	%	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	%	cm	%	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	%	cm	%	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	%
T0	7,3	54,7	7,79	137,1	2,2	10,7	3,08	22,9	9,5	71,2	10,87	191,4
T1	7,9	59,2	6,18	140,3	2,4	11,3	2,08	24,3	10,3	77,4	8,26	187,6
T2	8,2	59,1	7,96	148,2	3,0	13,3	2,21	28,3	11,2	80,7	10,17	189,4
T3	8,9	62,9	5,77	165,3	3,4	14,4	1,99	31,0	12,3	87,2	7,76	222,3
T4	8,6	60,3	5,71	154,7	3,3	14,3	2,33	30,9	11,9	83,5	8,04	217,9
T5	8,4	62,5	6,36	161,8	3,2	14,4	1,80	30,8	11,5	86,2	8,16	207,6
T6	8,7	60,6	5,12	152,4	3,5	14,4	1,29	31,2	12,2	84,6	6,41	190,8

**Tabla A5.10.** Incremento periódico anual del diámetro – DAP y área basal – AB. Periodos 5–9, 9–11 y 5–11 años de edad. *G. robusta*, ensayos de Blanco.

Periodo	5 a 9 años		9 a 11 años		5 a 11 años	
	DAP	AB	DAP	AB	DAP	AB
Tra	cm.año <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> .año <sup>-1</sup>	cm.año <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> .año <sup>-1</sup>	cm.año <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> .año <sup>-1</sup>
T0	1,83	1,95	1,10	1,54	1,58	1,81
T1	1,98	1,55	1,20	1,04	1,72	1,38
T2	2,05	1,99	1,50	1,11	1,87	1,70
T3	2,23	1,44	1,70	1,00	2,05	1,29
T4	2,15	1,43	1,65	1,17	1,98	1,34
T5	2,10	1,59	1,60	0,90	1,92	1,36
T6	2,18	1,28	1,75	0,65	2,03	1,07

**Tabla A5.11.** Crecimiento periódico absoluto y relativo del diámetro – DAP y área basal – AB. Periodos de 5–9, 9–11 y 5–11 años de edad. Plantación mixta de Blanco, ambas componentes en conjunto.

Periodo	5 a 9 años				9 a 11 años				5 a 11 años			
	DAP		AB		DAP		AB		DAP		AB	
Tra	cm	%	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	%	cm	%	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	%	cm	%	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	%
T0	7,5	64,9	12,38	154,2	2,3	12,2	4,15	20,3	9,8	84,9	16,53	205,9
T1	8,6	67,8	11,51	163,9	2,6	12,1	4,05	25,5	11,2	88,6	15,56	221,5
T2	8,3	63,9	11,61	154,2	2,9	12,9	3,45	27,9	11,2	86,0	15,06	200,0
T3	9,6	71,7	8,66	178,6	3,6	15,0	2,98	31,8	13,1	98,4	11,64	240,0
T4	9,1	69,3	10,75	177,4	3,3	14,3	4,04	30,7	12,4	94,0	14,79	244,1
T5	9,3	74,9	10,24	185,8	3,4	15,5	3,30	32,1	12,7	102,5	13,54	245,8
T6	9,0	65,7	8,30	162,7	3,7	15,1	2,38	32,5	12,6	92,6	10,68	209,4

**Tabla A5.12.** Incremento periódico anual del diámetro – DAP y área basal – AB. Periodos 5–9, 9–11 y 5–11 años de edad. Plantación mixta de Blanco, ambas componentes en conjunto.

Periodo	5 a 9 años		9 a 11 años		5 a 11 años	
	DAP	AB	DAP	AB	DAP	AB
Tra	cm.año <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> .año <sup>-1</sup>	cm.año <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> .año <sup>-1</sup>	cm.año <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> .año <sup>-1</sup>
T0	1,88	3,10	1,15	2,08	1,63	2,76
T1	2,15	2,88	1,30	2,03	1,87	2,59
T2	2,08	2,90	1,45	1,73	1,87	2,51
T3	2,40	2,17	1,80	1,49	2,18	1,94
T4	2,28	2,69	1,65	2,02	2,07	2,47
T5	2,33	2,56	1,70	1,65	2,12	2,26
T6	2,25	2,08	1,85	1,19	2,10	1,78

**Tabla A5.13.** Crecimiento periódico absoluto y relativo del diámetro – DAP y área basal – AB. Periodos de 6–9, 9–11 y 6–11 años de edad. *M. azedarach*, ensayos de Nofal.

Periodo	6 a 9 años				9 a 11 años				6 a 11 años			
	DAP		AB		DAP		AB		DAP		AB	
Tra	Cm	%	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	%	cm	%	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	%	cm	%	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	%
T0	5,9	45,9	2,82	40,3	2,7	14,6	1,32	13,4	8,7	67,2	4,13	59,1
T1	6,4	42,4	4,51	82,2	3,3	15,0	2,62	28,0	9,7	64,2	7,13	129,9
T2	5,3	36,8	3,32	61,3	4,4	20,5	1,05	19,9	9,7	67,4	4,38	80,7
T3	6,2	39,5	4,06	91,7	4,1	17,5	2,39	38,8	10,3	65,9	6,46	145,6
T4	5,0	32,6	3,30	64,6	3,9	17,3	1,65	27,5	8,8	58,1	4,94	96,8
T5	6,4	41,2	4,33	97,2	4,8	19,6	2,61	44,2	11,2	72,5	6,94	155,7

**Tabla A5.14.** Incremento periódico anual del diámetro – DAP y área basal – AB. Periodos 6–9, 9–11 y 6–11 años de edad. *M. azedarach*, ensayos de Nofal.

Periodo	6 a 9 años		9 a 11 años		6 a 11 años	
	DAP	AB	DAP	AB	DAP	AB
Tra	cm.año <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> .año <sup>-1</sup>	cm.año <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> .año <sup>-1</sup>	cm.año <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> .año <sup>-1</sup>
T0	1,97	0,94	1,35	0,66	1,74	0,83
T1	2,13	1,50	1,65	1,31	1,94	1,43
T2	1,77	1,11	2,20	0,53	1,94	0,88
T3	2,07	1,35	2,05	1,20	2,06	1,29
T4	1,67	1,10	1,95	0,83	1,76	0,99
T5	2,13	1,44	2,40	1,31	2,24	1,39

**Tabla A5.15.** Crecimiento periódico absoluto y relativo del diámetro – DAP y área basal – AB. Periodos de 6–9, 9–11 y 6–11 años de edad. *G. robusta*, ensayos de Nofal.

Periodo	6 a 9 años				9 a 11 años				6 a 11 años			
	DAP		AB		DAP		AB		DAP		AB	
Tra	Cm	%	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	%	cm	%	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	%	cm	%	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	%
T0	4,2	32,6	5,53	75,5	2,7	15,7	3,43	26,7	6,9	53,4	8,97	122,5
T1	5,8	42,2	3,16	96,9	3,6	17,7	2,07	38,1	9,4	68,4	5,23	160,4
T2	5,6	35,8	5,15	84,6	3,6	16,3	3,32	34,8	9,2	58,9	8,47	139,2
T3	5,7	37,8	3,64	89,4	3,7	17,4	2,35	37,5	9,4	62,4	5,99	147,2
T4	5,6	36,3	5,71	85,3	3,6	16,9	4,02	36,8	9,2	59,8	9,73	145,4
T5	5,9	43,0	3,40	102,0	3,9	19,0	1,70	41,3	9,8	71,6	5,10	153,0

**Tabla A5.16.** Incremento periódico anual del diámetro – DAP y área basal – AB. Periodos 6–9, 9–11 y 6–11 años de edad. *G. robusta*, ensayos de Nofal.

Periodo	6 a 9 años		9 a 11 años		6 a 11 años	
	DAP	AB	DAP	AB	DAP	AB
Tra	cm.año <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> .año <sup>-1</sup>	cm.año <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> .año <sup>-1</sup>	cm.año <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> .año <sup>-1</sup>
T0	1,40	1,84	1,35	1,72	1,38	1,79
T1	1,93	1,05	1,80	1,04	1,88	1,05
T2	1,87	1,72	1,80	1,66	1,84	1,69
T3	1,90	1,21	1,85	1,18	1,88	1,20
T4	1,87	1,90	1,80	2,01	1,84	1,95
T5	1,97	1,13	1,95	0,85	1,96	1,02

**Tabla A5.17.** Crecimiento periódico absoluto y relativo del diámetro – DAP y área basal – AB. Periodos de 6–9, 9–11 y 6–11 años de edad. Plantación mixta de Nofal, ambas componentes en conjunto.

Periodo	6 a 9 años				9 a 11 años				6 a 11 años			
	DAP		AB		DAP		AB		DAP		AB	
Tra	Cm	%	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	%	cm	%	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	%	cm	%	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	%
T0	5,1	39,2	8,35	58,4	2,7	15,1	4,75	21,0	7,8	60,3	13,10	91,5
T1	6,1	42,3	7,67	87,7	3,5	16,3	4,69	31,8	9,6	66,2	12,36	141,3
T2	5,4	36,2	8,47	73,6	4,0	18,3	4,37	29,5	9,4	63,0	12,85	111,6
T3	5,9	38,7	7,70	90,6	3,9	17,5	4,74	38,1	9,8	64,2	12,45	146,4
T4	5,3	34,5	9,01	76,4	3,7	17,1	5,67	33,5	9,0	59,0	14,67	124,3
T5	6,1	42,1	7,73	99,2	4,4	19,3	4,31	43,0	10,5	72,0	12,04	154,6

**Tabla A5.18.** Incremento periódico anual del diámetro – DAP y área basal – AB. Periodos de 6–9, 9–11 y 6–11 a 11 años de edad. Plantación mixta de Nofal, ambas componentes en conjunto.

Periodo	6 a 9 años		9 a 11 años		6 a 11 años	
	DAP	AB	DAP	AB	DAP	AB
Tra	cm.año <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> .año <sup>-1</sup>	cm.año <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> .año <sup>-1</sup>	cm.año <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> .año <sup>-1</sup>
T0	1,70	2,78	1,35	2,38	1,56	2,62
T1	2,03	2,56	1,75	2,35	1,92	2,47
T2	1,80	2,82	2,00	2,19	1,88	2,57
T3	1,97	2,57	1,95	2,37	1,96	2,49
T4	1,77	3,00	1,85	2,84	1,80	2,93
T5	2,03	2,58	2,20	2,16	2,10	2,41

### **ANEXO A6. Análisis del Índice de Densidad del Rodal en el contexto de los datos de densidad de la plantación mixta de Nofal.**

A continuación se revisa conceptual y operativamente el cálculo y utilidad del índice de densidad de rodal (IDR) en rodal mixto inmaduro de *M. azedarach* y *G. robusta*.

**Aspectos metodológicos.** Los datos proceden del tratamiento testigo T0 del ensayo de raleo de Nofal. La información dasométrica correspondió a la densidad (N, en plantas.ha<sup>-1</sup>) y diámetro cuadrático medio (*Dg*, en cm), obtenida en el periodo de 6 a 11 años de edad.

A pesar de su corta edad, durante el control del ensayo este rodal sin raleo transitó por la etapa con densidad y competencia extremas, provocando en la situación límite la mortalidad de algunos árboles.

La información dasométrica se usó para modelar el logaritmo de la densidad en función del logaritmo del diámetro cuadrático medio (*Dg*). Esto permitió calcular los parámetros del modelo lineal (ordenada al origen y pendiente), esenciales para la construcción de la recta que determina el máximo de densidad en función del tamaño de los árboles. A tal fin se utilizó la técnica de análisis de regresión lineal simple mediante el método de los mínimos cuadrados ordinarios.

$$\text{Log } N = \alpha - (\beta * \text{Log } Dg)$$

Donde:

*Log N* = logaritmo base 10 de la densidad (plantas.ha<sup>-1</sup>);

*Log Dg* = logaritmo base 10 del diámetro cuadrático medio,

$\alpha$  = intercepto

$\beta$  = pendiente

Luego se calculó el IDR para cada especie con base a la siguiente expresión:

$$\text{IDR} = N \left( \frac{Dg}{D_{qr}} \right)^r$$

Donde:

N = densidad en plantas.ha<sup>-1</sup>.

*Dg* = diámetro cuadrático medio de la especie en el rodal mixto, en cm.

$D_{qr}$  = diámetro cuadrático medio de referencia. La propuesta de Reineke (1933) era de 4 pulgadas que convertidos al sistema métrico adquiere el valor constante de 25 cm.

$r$  = el exponente de referencia expresado por Reineke (1933), en término absoluto, es  $\beta = 1,605$ . Es la pendiente de la recta que vincula la densidad con el diámetro cuadrático medio. Su uso está limitado en ausencia de información específica. En el presente estudio fue reemplazado por el valor “ $\beta$ ” de la ecuación de la recta determinada para especie.

Luego se procedió a la determinación analítica del IDR del rodal mixto. Se utilizó la misma expresión matemática mostrada anteriormente pero con algunas particularidades:

- Para determinar el  $Dg$  del rodal mixto se calculó el  $Dgp$  ponderado para cada especie. El valor del  $Dg$  del rodal es la resultante de la suma de los  $Dgp$  de *M. azedarach* y *G. robusta*.
- La  $N$  del rodal se calculó como la suma de la  $N$  de cada especie. Aquí ante la alta similitud silvícola y dasométrica observados en el campo y en los análisis estadísticos, se asume como la totalidad de los árboles corresponden a una sola especie.
- Se modeló el logaritmo de la densidad del rodal en función del logaritmo del diámetro cuadrático medio ponderado, que permitió determinar la ecuación de la recta.
- Cálculo del IDR del rodal mixto usándose la expresión anteriormente referida. En el factor entre paréntesis, el numerador corresponde a la suma del  $Dgp$  de las especies componentes.
- $r$  = se utilizó el valor “ $\beta$ ” de la ecuación de la recta determinada para el rodal mixto.

**Resultados y Discusión.** Seguidamente se muestra el cuadro con los parámetros calculados para el modelo lineal de cada especie y del rodal y sus respectivos coeficientes de determinación ( $R^2$ ).

Componente	Valor $\alpha$	Valor B	Valor R <sup>2</sup>
<i>M. azedarach</i>	3,963	- 1,111	0,96
<i>G. robusta</i>	2,923	- 0,173	0,754
Rodal Mixto	3,705	- 0,611	0,95

Si bien en todos los casos el valor de la pendiente es negativo solo en el caso del paraíso el valor “ $\beta$ ” se parece al valor de referencia de Reineke ( $\beta = - 1,605$ ). De todas formas, investigaciones realizadas con diversas especies han señalado variaciones en el valor de este parámetro (Zeide, 1987 y Williams, 1996, citados de Zárate, 2017).

A continuación en los siguientes cuadros se exponen los datos de densidad y diámetro cuadrático medio para especie, los logaritmos de dichas variables y los IDR para cada edad.

<i>M. azedarach</i>						<i>G. robusta</i>				
Edad	N	dg	Log N	Log Dg	IDR	N	Dg	Log N	Log Dg	IDR
años	pl.ha <sup>-1</sup>	cm				pl.ha <sup>-1</sup>	cm			
6	480	13,61	2,682	1,134	244	527	13,31	2,722	1,124	472
7	480	15,25	2,682	1,183	277	527	15,07	2,722	1,178	482
8	365	17,92	2,562	1,253	252	521	16,60	2,717	1,220	485
9	342	19,31	2,534	1,286	256	521	17,74	2,717	1,249	491
10	313	21,09	2,496	1,324	259	492	19,57	2,692	1,291	472
11	290	22,16	2,462	1,346	254	492	20,53	2,692	1,312	476

Si bien los valores de *Dg* de cada especie son muy parecidos, siempre los de paraíso son ligeramente superior a los de grevillea. Eso significa que si para obtener el *Dg* del rodal usará el promedio de las dos especies, sería el paraíso que tendría ligero mayor peso en el resultado.

En relación a la densidad específica existe marcada supremacía a favor de la grevillea. La diferencia interanual de densidad corresponde a disminución de la densidad como consecuencia de la mortalidad natural, que resultó superior y permanente en paraíso. En ambas especies el registro de mortalidad se dio a la edad de 8 años.

Seguidamente en el siguiente cuadro se exponen los resultados del cálculo del *Dgp*. Cada valor fue determinado de la siguiente forma (ejemplo para la especie 1 del rodal):  $(N_{sp1}/(N_{sp1} + N_{sp2})) * Dg_{sp1}$ . El *Dgp* del rodal es la suma de las *Dgp* de las dos especies.

<b>M. a dgp</b>	<b>G. r dgp</b>	<b>R. mixto dgp</b>
6,49	6,96	13,45
7,27	7,88	15,15
7,38	9,76	17,14
7,65	10,71	18,36
8,20	11,96	20,16
8,21	12,92	21,13

Si bien los resultados de *Dgp* para el rodal resultan idénticos al que se obtendría a través del promedio aritmético de los *Dg* de cada especie, lo que el cuadro anterior muestra es que la grevillea es la que tiene mayor peso en el resultado de la *Dgp* del rodal, justamente porque tiene diámetros parecidos a los de paraíso pero mayor densidad.

A continuación en siguiente cuadro se muestran los resultados a nivel de rodal.

<b>Rodal Mixto</b>					
<b>Edad</b>	<b>N</b>	<b>dg</b>	<b>Log N</b>	<b>Log Dg</b>	<b>IDR</b>
años	pl.ha <sup>-1</sup>	cm			
6	1007	13,45	3,003	1,129	905
7	1007	15,15	3,003	1,181	923
8	886	17,14	2,947	1,234	830
9	863	18,36	2,936	1,264	818
10	805	20,16	2,906	1,304	776
11	782	21,13	2,893	1,325	760

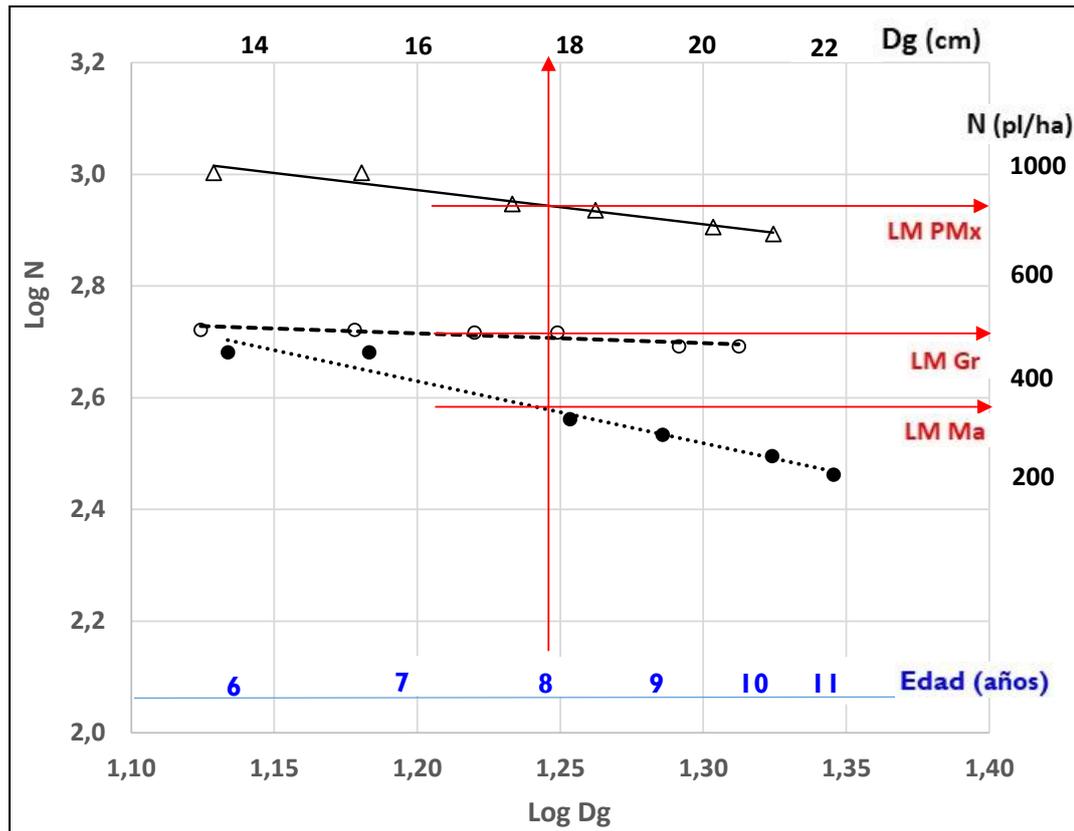
Analizados los índices de densidad del rodal en el tratamiento testigo (T0) de la plantación mixta de Nofal resulta que el límite de la zona de manejo forestal, entendiendo por tal el momento en que en rodal se registran muertes derivadas de la espesura excesiva (alta densidad), se da a los 8 años con un IDR de 830. Razonablemente ese límite este unos meses antes que se cumplan los 8 años.

Este valor de IDR es coincidente con el informado por Fassola *et al.* (2004) para plantación pura de *G. robusta* en Misiones, que con una densidad inicial de 3000 plantas.ha<sup>-1</sup>, ingresó a la zona de mortalidad por competencia a la edad de 7 años con un IDR de 836. A esa edad el rodal tenía 2.925 plantas.ha<sup>-1</sup> vivas.

Este valor de IDR 830 para el rodal que correspondería en la combinación de especies a un IDR = 252 para paraíso y 485 para grevillea, indica el punto límite a partir

del cual el único modo en que los árboles podrán aumentar de tamaño será que se produzca la muerte natural de algunos individuos (autorrалеo).

En el gráfico siguiente se realizó la representación de los valores de Log N y Log Dg de cada especie y del rodal, y sus respectivas rectas calculadas a partir del modelado de las variables citadas. Paralela a la abscisa se representó la ubicación espacial de la edad, a partir del cálculo previo de los valores del Log Edad.



En la parte superior del gráfico, en línea paralela a la abscisa se representó el diámetro cuadrático medio en cm. Y en la parte derecha, en línea paralela a la ordenada, se incorporó la densidad en plantas.ha<sup>-1</sup>.

La flecha roja vertical representa el momento (8 años) en que en el rodal se tiene registro de muertes. Seguramente si se hubiera realizado un control a los 7,5 años ya se habría ingresado a la zona de mortalidad.

Existen tres flechas rojas horizontales paralelas a la abscisa. La intersección de cada flecha horizontal con la única flecha vertical define el momento en que se produce la mortalidad en la componente paraíso, grevillea o el rodal mixto. Ese punto está conformado por un par ordenado: (N;Dg).

La ubicación en el plano de cada flecha roja define la línea de mortalidad (LM) de cada componente (Ma: paraíso, Gr: grevillea y PMx: rodal mixto).

En este gráfico se observa que en la dinámica del rodal mixto representado por la pendiente de su recta, tiene influencia importante la especie paraíso. Amabas rectas son casi paralelas.

En un contexto de aplicación e interpretación de los valores de IDR en planeamiento del manejo de la densidad en plantaciones forestales deberían considerarse zonas de manejo con base a relaciones de crecimiento y densidad. A partir de la línea del  $IDR = 830$  se trazan líneas paralelas por debajo de ella. Siguiendo a Long (1985) se podrían trazar cuatro zonas: zona de subutilización del sitio, baja densidad, espesura defectiva, aquí los árboles selectos y aislados pueden maximizar su crecimiento diamétrico, su límite sería el 25% del IDR máximo; zona de transición en que el crecimiento del árbol empieza a reducirse gradualmente y en contraposición el del rodal va en aumento con el incremento de la densidad, su límite sería el 40% del IDR máximo; zona de máximo crecimiento del rodal por unidad de superficie, aquí es donde se maximiza la producción de biomasa, su límite alcanzaría el 60% del IDR máximo; y zona de autorraleo en que el crecimiento por unidad de árbol y unidad de superficie disminuye gradualmente en la medida que aumenta la competencia, su límite llegará hasta el 100% del IDR máximo. En el límite superior de esta zona se producirá la mortalidad por competencia.

Concluyendo, resulta claro que el IDR podría ser muy útil como herramienta de análisis complementario en el manejo de las plantaciones mixtas. Constituye un método alternativo de análisis a los empleados en la presente tesis. De hecho contribuiría para la interpretación de los distintos niveles de espesura derivados de la aplicación de diferentes intensidades de raleo.

Para usar el IDR en plantaciones mixtas debe resolverse como incorporar los valores de densidad y diámetro de cada especie en el modelo original, pensado para masas puras. Torres Rojo y Velázquez Martínez (2000) realizaron una propuesta metodológica para calcular la densidad relativa de cada especie. Sin embargo, en la conversación electrónica mantenida con el señor Torres Rojo, manifestó que la información disponible en este estudio no era suficiente para usarla en la metodología de la cual es coautor.