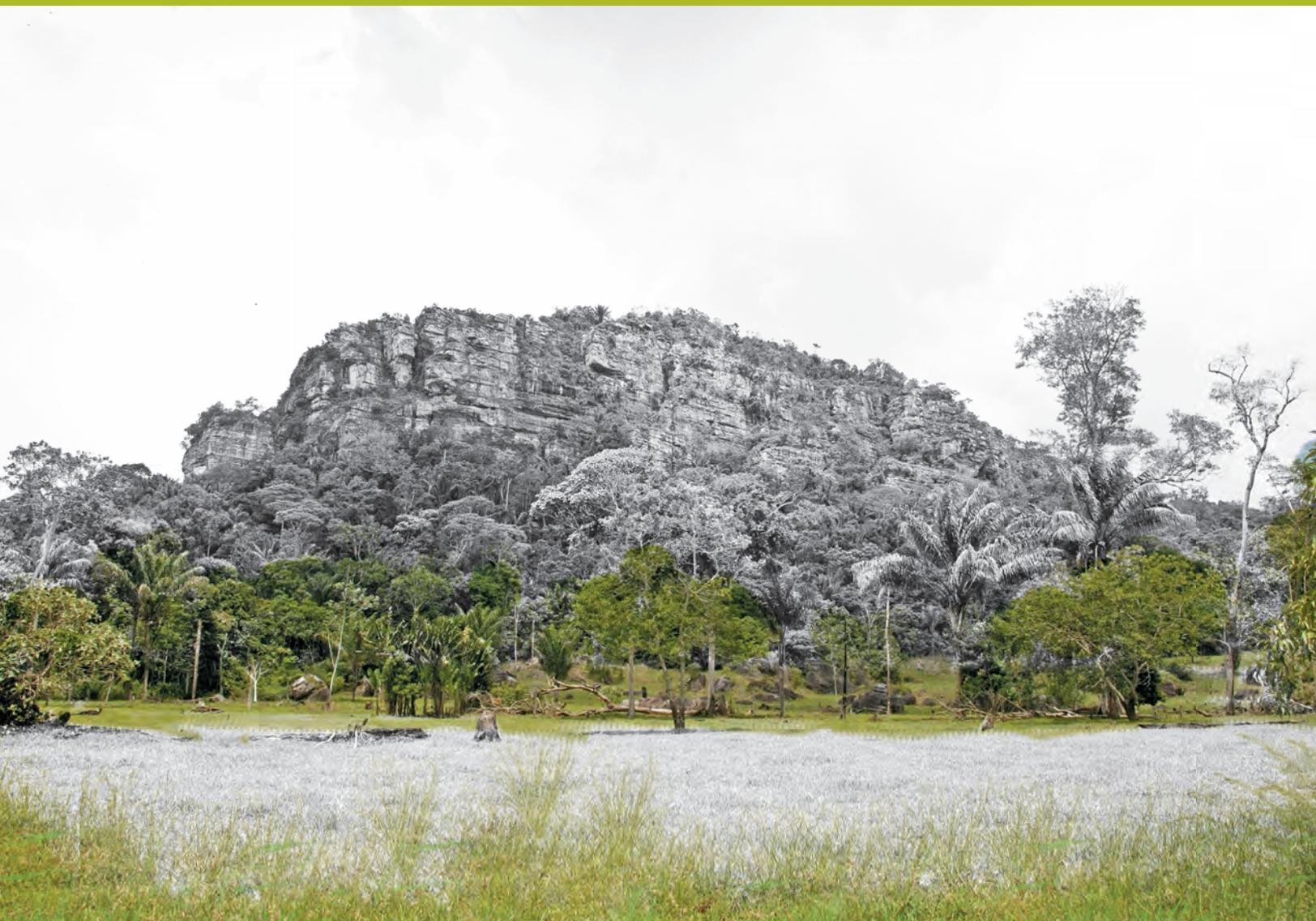


Bases técnicas para el desarrollo forestal en el departamento del Guaviare, Amazonia colombiana



MinAmbiente
Ministerio de Ambiente
y Desarrollo Sostenible



**Instituto
amazonico de
investigaciones científicas
SINCHI**

**Bases técnicas para el
desarrollo forestal en el
departamento del Guaviare,
Amazonia colombiana**

Bases técnicas para el desarrollo forestal en el departamento del Guaviare, Amazonia colombiana

**Bernardo Giraldo Benavides
Mauricio Zubieta Vega
Guillermo Vargas Ávila
Jaime Alberto Barrera García**

San José del Guaviare, 2013

Giraldo Benavides, Bernardo; Zubieta Vega, Mauricio; Vargas Ávila, Guillermo; Barrera García, Jaime Alberto

Bases técnicas para el desarrollo forestal en el departamento del Guaviare, Amazonia colombiana.

Bernardo Giraldo Benavides, Mauricio Zubieta Vega, Guillermo Vargas Ávila, Jaime Alberto Barrera García. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas – Sinchi. 2013

AGROFORESTERÍA 2. CIENCIAS FORESTALES 3. ÁRBOLES DE PROPÓSITO MÚLTIPLE 4. AMAZONIA COLOMBIANA

ISBN 978-958-8317-75-5

© Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas – Sinchi

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Primera edición: Junio de 2013

Fotografía de la carátula

Iván Montero González

Coordinación de la producción editorial:

Diana Patricia Mora Rodríguez

Diseño y diagramación:

Julián Ricardo Hernández Reyes

Julián Hernandez - Taller de Diseño

Impresión

Digiprint Editores E. U.

Reservados todos los Derechos

Disponible en: Instituto Sinchi, calle 20 No. 5-44

Tel.: 4442077 www.sinchi.org.co

Impreso en Colombia

Printed in Colombia



Instituto
amazónico de
investigaciones científicas
SINCHI

LUZ MARINA MANTILLA CÁRDENAS
Directora General

ROSARIO PIÑERES VERGARA
Subdirectora Administrativa y Financiera

ALBERTO GUEVARA VALENCIA
Subdirector Científico y Tecnológico

MARÍA SOLEDAD HERNÁNDEZ
Coordinadora Programa Sostenibilidad e Intervención

MAURICIO ZUBIETA VEGA
Coordinador sede San José del Guaviare

BERNARDO GIRALDO BENAVIDES
Investigador

ROSA EULALIA GÓMEZ DE RIVEROS
Asesoría estadística

Contenido

Índice de figuras	13
Índice de tablas	17
Presentación	25
Agradecimientos	29
Introducción	31
Capítulo 1	35
Características del área de trabajo	35
1 Departamento del Guaviare	35
1.1 Clima	35
1.2 Suelos	36
1.3 Unidades de paisajes	38

8	Bases técnicas para el desarrollo forestal en el departamento del Guaviare, Amazonia colombiana	
1.3.1	Llanura aluvial de los ríos de origen andino, ríos Guayabero y Guaviare	38
1.3.2	<i>Llanura aluvial de los ríos de origen amazónico</i>	39
1.3.3	<i>Planicies estructurales, superficie de denudación: denominada también planicie Plio-pleistocénica disectada de la Amazonia o tierra firme</i>	39
1.3.4	<i>Afloramientos rocosos</i>	39
1.3.5	<i>Altilanura estructural erosional en sedimentitas y sedimentos clásticos hidrogénicos Plio-pleistocénicos, Sabanas de La Fuga</i>	40
1.3.6	Asociaciones de planicies amazónicas con altillanura llanera y planicies disectadas con ambiente no diferenciado	40
1.3.7	<i>Colinas, mesas y piedemontes</i>	40
	1.4 Geología	40
2	Estación Experimental El Trueno Instituto Sinchi	41
2.1	Localización	41
2.2	Características	42
2.3	Condiciones de los suelos	42
2.4	Caracterización florística	43
	Capítulo 2	47
	Antecedentes de la investigación forestal y resultados iniciales al año 1993	47
1.	Introducción	47
2	Fase de establecimiento y análisis del periodo 1982 a 1987, efectuado por CONIF	48
2.1	Descripción áreas de ensayos y resultados previos hasta 1987, para la Estación Experimental	49

2.1.1 Descripción y resultados previos del ensayo Quince especies	49
2.1.2 Descripción y resultados previos del ensayo Indígenas I	54
2.1.3 Descripción y resultados previos del ensayo Indígenas II	55
2.1.4 Descripción y resultados previos del ensayo Enriquecimiento forestal	57
3 Estado de la investigación en el año 1993 en la Estación Experimental (ensayos forestales establecidos entre 1982 – 1984)	58
3.1 Ensayo Quince especies (Grupo de especies para diferentes usos)	59
3.2 Ensayo Indígenas I (Especies nativas priorizadas)	67
3.3 Ensayo Indígenas II	71
3.4 Ensayo Enriquecimiento forestal	76
Capítulo 3	83
Desarrollo forestal período 1993-2009	83
1 Antecedentes de la investigación forestal	83
2 Antecedentes de la investigación forestal adelantada por el Instituto Sinchi entre 1993 Y 2009	93
2.1 Objetivos de la evaluación de especies forestales	93
2.2 Metodología	94
2.3 Variables de análisis	95
2.4 Marco del análisis estadístico	96
2.5. Establecimiento de nuevos ensayos	97
2.5.1 Ensayo Báscula	97
2.5.2 Ensayo Caldera	98

3. Resultados de las experiencias con especies forestales a nivel de Estación Experimental, entre 1993 y 2009	99
3.1 Ensayo Quince especies (Especies para diferentes usos)	100
3.2 Ensayo Indígenas I (Especies nativas priorizadas)	114
3.3 Ensayo Indígenas II (Especies nativas priorizadas)	122
3.4 Ensayo Enriquecimiento forestal	130
3.5 Resultados alcanzados (entre 2000-2009) para nuevos ensayos en la Estación Experimental	137
3.5.1 Ensayo Báscula	137
3.5.2 Ensayo Caldera	147
Capítulo 4	157
Valoración de volumen y biomasa	157
1 Introducción	157
2 Metodología	157
3 Construcción de ecuaciones	165
4 Determinación de volumen y biomasa para las especies establecidas en la Estación Experimental El Trueno	169
4.1 Volumen y biomasa ensayo Quince especies	170
4.2 Volumen y biomasa ensayo Indígenas I	178
4.3 Volumen y biomasa ensayo Indígenas II	182
4.4 Volumen y biomasa ensayo Enriquecimiento forestal	186
4.5 Volumen y biomasa ensayo Báscula	191
4.6 Volumen y biomasa ensayo Caldera	196

Consideraciones finales	201
Consideraciones por ensayos	202
1. Ensayo Quince especies	202
2. Ensayo Enriquecimiento forestal	205
3. Ensayos Indígenas I y II	206
4. Ensayo Báscula	208
5. Ensayo Caldera	209
Consideraciones finales por especies	210
Resumen de la oferta científica producto de la investigación continua y sistemática realizada por el Instituto Sinchi para la región norte de la Amazonia colombiana	217
Bibliografía	219

Índice de figuras

Figura 1. Mapa de características geomorfológicas del departamento del Guaviare	37
Figura 2. Plano Estación Experimental El Trueno	46
Figura 3. Fotografía. Panorámica del ensayo Quince especies en la Estación Experimental del Instituto Sinchi, Guaviare, Colombia	60
Figura 4. Fotografía. Panorámica de especies forestales establecidas en el ensayo Indígenas I, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	67
Figura 5. Fotografía. Panorámica de especies forestales establecidas en el ensayo Indígenas II, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	71
Figura 6. Fotografía. Panorámica de especies forestales establecidas en el ensayo Enriquecimiento forestal, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	77
Figura 7. Fotografía. Panorámica de especies forestales establecidas en el ensayo Báscula, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	98
Figura 8. Fotografía. Panorámica de especies forestales establecidas en el ensayo Báscula, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	99

14 Bases técnicas para el desarrollo forestal en el departamento del Guaviare, Amazonia colombiana

Figura 9. Crecimiento del diámetro en función de la edad (de 11 a 27 años) de especies forestales establecidas en el ensayo Quince especies, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	102
Figura 10. Crecimiento de altura en función de la edad (de 11 a 27 años) de especies forestales establecidas en el ensayo Quince especies, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	108
Figura 11. Crecimiento del diámetro en función de la edad (de 10 a 26 años) de especies forestales establecidas en el ensayo Indígenas I, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	115
Figura 12. Crecimiento de la altura en función de la edad (de 10 a 26 años) de especies forestales establecidas en el ensayo Indígenas I, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	120
Figura 13. Crecimiento del diámetro en función de la edad (de 9 a 25 años) de especies forestales establecidas en el ensayo Indígenas II, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	123
Figura 14. Crecimiento de la altura en función de la edad (de 9 a 25 años) de especies forestales establecidas en el ensayo Indígenas II, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	127
Figura 15. Crecimiento del diámetro en función de la edad (de 14 a 27 años) de especies forestales establecidas en el ensayo Enriquecimiento forestal, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	131
Figura 16. Crecimiento de la altura en función de la edad (de 14 a 27 años) de especies forestales establecidas en el ensayo Enriquecimiento forestal, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	135
Figura 17. Crecimiento del diámetro en función de la edad (de 4 a 9 años) de especies forestales establecidas en el ensayo Báscula, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	141
Figura 18. Crecimiento de la altura en función de la edad (de 4 a 9 años) de especies forestales establecidas en el ensayo Báscula, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	143
Figura 19. Crecimiento del diámetro en función de la edad (de dos a ocho años) de especies forestales establecidas en el ensayo Caldera, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	149
Figura 20. Crecimiento de la altura en función de la edad (de dos a ocho años) de especies forestales establecidas en el ensayo Caldera, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	152

Figura 21. Fotografía. Proceso de tumba dirigida de árbol de achapo de 25 años, establecido en la Estación Experimental El Trueno Guaviare, Colombia	158
Figura 22. Fotografía. Aprovechamiento y mediciones para cálculo de volumen de abarco en la Estación Experimental El Trueno Guaviare, Colombia	160
Figura 23 Fotografía. Pesaje de fustes y de diferentes muestras de especies forestales, establecidas en la Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	162
Tabla 57. Cálculos efectuados para indicadores de volumen y biomasa para un árbol de melina de 25 años de establecido en la Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	164
Figura 24. Obtención de la muestra para determinar el peso verde para componentes de los árboles aprovechados en la Estación Experimental El Trueno Guaviare, Colombia	165
Figura 25. Fotografía. Obtención de bloques de madera comercial de un árbol de abarco de 25 años, aprovechado en la Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	168
Figura 26. Volumen en función de la edad (de 11 a 27 años) de seis especies forestales establecidas en el ensayo Quince especies, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	171
Figura 27. Biomasa en función de la edad (de 11 a 27 años) de seis especies forestales establecidas en el ensayo Quince especies, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	175
Figura 28 Volumen en función de la edad (de 10 a 26 años) de cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Indígenas I, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	179
Figura 29. Biomasa en función de la edad (de 10 a 26 años) de cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Indígenas I, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	180
Figura 30. Volumen en función de la edad (de 9 a 25 años) de cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Indígenas II, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	183
Figura 31. Biomasa en función de la edad (de 9 a 25 años) de cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Indígenas II, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	185

16	Bases técnicas para el desarrollo forestal en el departamento del Guaviare, Amazonia colombiana	
Figura 32.	Volumen en función de la edad (de 14 a 27 años) de cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Enriquecimiento forestal, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	187
Figura 33.	Biomasa en función de la edad (de 14 a 27 años) de cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Enriquecimiento forestal, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	190
Figura 34.	Volumen en función de la edad (de cuatro a nueve años) de cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Báscula, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	192
Figura 35.	Biomasa en función de la edad (de cuatro a nueve años) de cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Báscula, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia.	195
Figura 36.	Volumen en función de la edad (de dos a ocho años) de cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Caldera, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	197
Figura 37.	Biomasa en función de la edad (de dos a ocho años) de cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Caldera, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	199
Figura 38.	Incremento medio anual en diámetro de 23 especies forestales, en el periodo de evaluación entre 1993 a 2009, establecidas en la Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	211
Figura 39.	Incremento medio anual en altura de 23 especies forestales, en el periodo de evaluación entre 1993 a 2009, establecidas en la Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	212
Figura 40.	Incremento medio anual en volumen de 23 especies forestales, en el periodo de evaluación entre 1993 a 2009, establecidas en la Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	213
Figura 41	Incremento medio anual en biomasa de 23 especies forestales, en el periodo de evaluación entre 1993 a 2009, establecidas en la Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	214
Figura 42	Valor promedio madera por árbol y año de 23 especies forestales evaluadas en la Estación Experimental El Trueno (1993 - 2009)	215
Figura 43	Valores de carbono promedio anual acumulado de 23 especies forestales evaluadas en la Estación Experimental El Trueno (1993 - 2009)	216

Índice de tablas

Tabla 1. Análisis de suelos realizados en la Estación Experimental en diferentes periodos	44
Tabla 2. Área de ensayos establecidos en la Estación Experimental El Trueno	45
Tabla 3. Número de individuos sembrados y sobrevivencia a los cinco meses para 15 especies forestales en el ensayo Quince especies, en la Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	51
Tabla 4. Altura total promedio (m) para 15 especies forestales a los 6, 12 y 48 meses de edad en el ensayo Quince especies, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	52
Tabla 5. Crecimiento a los cinco años de dos especies forestales para producción de leña en el ensayo Quince especies, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	53
Tabla 6. Crecimiento de cinco especies forestales para producción de madera de construcción a los cinco años de edad, en el ensayo Quince especies, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	54
Tabla 7. Altura total promedio (m) para 15 especies forestales a los tres años de edad en el ensayo Indígenas I, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	55

Tabla 8. Altura total promedio (m) para cinco especies forestales a los dos años de edad en el ensayo Indígenas II, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	56
Tabla 9. Altura total promedio (m) para seis especies forestales a los 6, 12, 18, 30 y 48 meses de edad en el ensayo Enriquecimiento forestal, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	58
Tabla 10. Porcentaje de individuos de seis especies forestales que permanecen a los 11 años de edad en el ensayo Quince especies, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	61
Tabla 11. Diámetro promedio (cm) y calificadores para seis especies forestales a los 11 años de edad, en el ensayo Quince especies, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	62
Tabla 12. Clases diamétricas (cm) y frecuencia para siete especies forestales a los 11 años de edad, en el ensayo Quince especies, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	63
Tabla 13. Clases de altura (m) y frecuencia de siete especies forestales a los 11 años de edad, en el ensayo Quince especies, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	66
Tabla 14. Diámetro y altura promedio, calificadores y rangos para cuatro especies forestales a los 10 años de edad, en el ensayo Indígenas I, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	68
Tabla 15. Clases diamétricas (cm) y frecuencia para cuatro especies forestales a los 10 años de edad, en el ensayo Indígenas I, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	70
Tabla 16. Diámetro y altura promedio, calificadores y rangos para cuatro especies forestales a los nueve años de edad, establecidas en el ensayo Indígenas II, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	73
Tabla 17. Clases diamétricas (cm) y clases de altura (m) y frecuencias para cuatro especies forestales a los nueve años de edad, establecidas en el ensayo Indígenas II, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	75
Tabla 18. Diámetro y altura promedio, calificadores y rangos para dos especies forestales a los 14 años de edad, establecidas en el ensayo Enriquecimiento forestal, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	79

Tabla 19. Clases diamétricas (cm) y frecuencia para cuatro especies forestales a los 14 años de edad, establecidas en el ensayo Enriquecimiento forestal, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	81
Tabla 20. Incrementos medios anuales (IMA) en diámetro, altura y volumen de nueve especies forestales con edades entre 6 y 11 años. Canton de Sarapiquí, Heredia, Costa Rica	86
Tabla 21. Diámetro, altura y sobrevivencia de cuatro especies forestales con nueve años de edad. Canton de Sarapiquí, Heredia, Costa Rica	87
Tabla 22. Incrementos medios anuales (IMA) en diámetro, altura y sobrevivencia de cuatro especies forestales con edad de 68 meses	88
Tabla 23. Diámetro (cm) y altura (m) e incremento medio anual (IMA) promedio de cuatro especies forestales en plantaciones puras en el Bosque Nacional Alexander Von Humboldt, Perú	90
Tabla 24. Productividad de plantaciones puras de cuatro especies forestales nativas en el Bosque A. Von Humboldt, Perú	91
Tabla 25. Variables de análisis	95
Tabla 26. Ecuaciones de diámetro en función de la edad para siete especies forestales establecidas en el ensayo Quince especies, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	101
Tabla 27. Incremento medio anual en diámetro y altura, para abarco (<i>Cariniana pyriformis</i>), edad de 11 a 27 años, establecidas en el ensayo Quince especies, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	106
Tabla 28. Ecuaciones de altura en función de la edad para siete especies forestales establecidas en el ensayo Quince especies, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	107
Tabla 29. Clases diamétricas para abarco y achapo, edades de 11 y 27 años, establecidas en el ensayo Quince especies, Estación Experimental El Trueno, Guaviare Colombia	112
Tabla 30. Clases diamétricas y de altura de cuatro especies forestales, a los 27 años de edad, establecidas en el ensayo Quince especies, Estación Experimental El Trueno, Guaviare Colombia	112
Tabla 31. Ecuaciones de diámetro en función de la edad para cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Indígenas I, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	115

Tabla 32. Clases diamétricas (cm) y frecuencia para tres especies forestales a los 10 años de edad y los 26 años de edad, establecidas en el ensayo Indígenas I, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	119
Tabla 33. Ecuaciones de altura en función de la edad para cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Indígenas I, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	120
Tabla 34. Ecuaciones de diámetro en función de la edad para cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Indígenas II, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	123
Tabla 35. Diámetro y altura promedio, calificadores y rangos para la especie milpo a los 9 y 25 años de edad (entre 1993 y 2009), en el ensayo Indígenas II, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	126
Tabla 36. Ecuaciones de altura en función de la edad para cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Indígenas II, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	126
Tabla 37. Diámetro promedio, calificadores y rangos para tres especies forestales a los 9 y 25 años de edad (entre 1993 y 2009), en el ensayo Indígenas II, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	128
Tabla 38. Clases diamétricas (cm) y frecuencia para tres especies forestales en dos diferentes periodos de evaluación, establecidas en el ensayo Indígenas II, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	129
Tabla 39. Ecuaciones de diámetro en función de la edad para cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Enriquecimiento forestal, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	130
Tabla 40. Diámetro, altura promedio, calificadores y rangos para abarco entre 14 y 27 años de edad (entre 1993 y 2009), en el ensayo Enriquecimiento forestal, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	134
Tabla 41. Ecuaciones de altura en función de la edad para cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Enriquecimiento forestal, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	134
Tabla 42. Clases diamétricas (cm) y frecuencia para abarco a las edades de 14 y 27 años, establecida en el ensayo Enriquecimiento forestal, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	137

Tabla 43. Número de individuos sembrados de cuatro especies forestales establecidas en el 2000, en el ensayo Báscula, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	138
Tabla 44. Número de individuos que permanecen, de cuatro especies forestales a los 9 años, establecidas en el ensayo Báscula, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	138
Tabla 45. Diámetro, altura promedio, calificadores y rangos para cuatro especies forestales a los 9 años edad, establecidas en el ensayo Báscula, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	139
Tabla 46. Ecuaciones de diámetro en función de la edad para cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Báscula, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	140
Tabla 47. Ecuaciones de altura en función de la edad para cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Báscula, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	143
Tabla 48. Clases diamétricas (cm) y frecuencia para cuatro especies forestales a las edades de nueve años, establecida en el ensayo Báscula, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	146
Tabla 49. Clases de incremento medio anual (IMA) del diámetro y frecuencia para cuatro especies forestales a los nueve años de edad, establecida en el ensayo Báscula, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	146
Tabla 50. Número de individuos que permanecen, de cuatro especies forestales a los ocho años, establecidas en el ensayo Caldera, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	147
Tabla 51. Diámetro, altura promedio, calificadores y rangos para cuatro especies forestales a los 8 años de edad, en el ensayo Caldera, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	148
Tabla 52. Ecuaciones de diámetro en función de la edad para cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Caldera, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	149
Tabla 53. Ecuaciones de altura en función de la edad para cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Caldera, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	152

Tabla 54. Clases diamétricas (cm) y frecuencia para cuatro especies forestales a la edad de ocho años, establecidas en el ensayo Caldera, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	155
Tabla 55. Diámetros y alturas de individuos aprovechados de 17 especies forestales para valoración de volumen y biomasa, en la Estación Experimental El Trueno Guaviare, Colombia	159
Tabla 56. Volumen real de árbol de abarco de 25 años de edad y establecido en la Estación Experimental El Trueno Guaviare, Colombia	161
Tabla 58. Encabezado de la tabla y datos de seis de los individuos de dos especies aprovechadas en la Estación Experimental El Trueno Guaviare, Colombia	166
Tabla 59. Volumen en función de edad, ecuación y calificadores de la regresión para especies forestales aprovechadas en la Estación Experimental El Trueno Guaviare, Colombia	167
Tabla 60. Biomasa en función de edad, ecuación y calificadores de la regresión para especies forestales aprovechadas en la Estación Experimental El Trueno Guaviare, Colombia	167
Tabla 61. Ecuaciones de volumen en función de la edad para seis especies forestales establecidas en el ensayo Quince especies, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	170
Tabla 62. Volumen estimado por árbol para abarco y achapo, edades de 20 a 27 años, establecidos en el Ensayo Quince especies, en la Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	173
Tabla 63. Ecuaciones de biomasa en función de la edad para seis especies forestales establecidas en el ensayo Quince especies, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	174
Tabla 64. Incremento medio anual en biomasa por árbol de seis especies forestales, edades de 11 a 27 años, establecidas en el ensayo Quince especies, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	177
Tabla 65. Ecuaciones de volumen en función de la edad para cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Indígenas I, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	178
Tabla 66. Ecuaciones de biomasa en función de la edad para cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Indígenas I, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	180

Tabla 67. Ecuaciones de volumen en función de la edad para cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Indígenas II, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	182
Tabla 68. Volumen promedio y valores mínimo y máximo a los 25 años de cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Indígenas II, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	184
Tabla 69. Ecuaciones de biomasa en función de la edad para cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Indígenas II, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	185
Tabla 70. Ecuaciones de volumen en función de la edad para cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Enriquecimiento forestal, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	187
Tabla 71. Ecuaciones de biomasa en función de la edad para cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Enriquecimiento forestal, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	189
Tabla 72. Ecuaciones de volumen en función de la edad para cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Báscula, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	192
Tabla 73. Volumen estimado por árbol de cuatro especies forestales (edad entre cuatro a nueve años), establecidas en el ensayo Báscula, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	194
Tabla 74. Ecuaciones de biomasa en función de la edad para cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Báscula, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	194
Tabla 75. Ecuaciones de volumen en función de la edad para cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Caldera, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	196
Tabla 76. Ecuaciones de biomasa en función de la edad para cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Caldera, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	198

Presentación

La Amazonia colombiana cuya extensión ocupa 483.164 km², lo cual corresponde a aproximadamente una tercera parte del territorio nacional; presenta en la actualidad procesos de ocupación e intervención que están generando un fuerte deterioro ambiental por la deforestación ocasionada. Estos procesos promueven cambios en el uso del suelo que no corresponden a la real vocación forestal identificada para la región. De acuerdo con el monitoreo de las coberturas de la tierra en la Amazonia colombiana, que viene adelantando el Instituto Sinchi, (Murcia, *et al.*, 2013), a 2012 se han intervenido 45.481 km², lo cual corresponde al 9.41% del territorio amazónico.

Desde los años setenta, de acuerdo con el estudio Radargramétrico del Amazonas (IGAC, 1979), se señala que los suelos de la región amazónica son considerados en su gran mayoría de vocación forestal, en los que se requiere mantener la dinámica ecosistémica del bosque. Se destaca la necesidad de realizar procesos de investigación orientados al establecimiento de especies forestales de interés económico dentro del enfoque de programas agroforestales y silvopastoriles, en las áreas intervenidas.

Los suelos de la región amazónica son considerados en su gran mayoría de vocación forestal, en los que se requiere mantener la dinámica ecosistémica del bosque

Es necesario modificar el conflicto de uso del territorio que ha sufrido fuertes cambios en su ecosistema forestal, a través de procesos orientados al manejo y aprovechamiento sostenible de las coberturas boscosas y realizar acciones que promuevan el establecimiento de sistemas productivos sostenibles, con componentes productivos orientados al desarrollo forestal de la región y acciones encaminadas a la restauración y recomposición de los ecosistemas estratégicos intervenidos. Para 2012 había un total de **9.547,26** km² cuya cobertura corresponde a rastrojos y pastos, lo cuales cubrían un territorio de **36.433,3** km², esto último representa el 7,54% de toda la Amazonia colombiana, lo cual indica que es un proceso que ha avanzado y que requiere de acciones que permitan adelantar procesos de reconversión, que contribuyan a mitigar los efectos de la intervención antrópica del cual se presentan las cifras para los departamentos amazónicos, siendo más relevante este fenómeno en departamentos como Caquetá, Putumayo y Guaviare, situación que se ha venido monitoreando por el Instituto Sinchi desde el año 2002.

Si bien Colombia tiene vocación forestal, y gran parte de su territorio está cubierto por bosques, el conocimiento de la silvicultura de especies tropicales y su comportamiento en el país es apenas incipiente. El Plan Nacional de Investigación Forestal elaborado por Colciencias en el año 2010 menciona que las plantaciones forestales se han concentrado en algunas especies y se tiene un conocimiento para garantizar el éxito en las plantaciones en sólo cinco especies, eucalipto de clima medio y de clima frío, pino candelabro, leucaena y melina.

Como fundamento para el desarrollo de los componentes forestales dentro de los sistemas productivos que se proponen, el Instituto Sinchi adelanta desde hace más de dos décadas acciones de investigación orientadas a generar las bases técnicas para el desarrollo forestal en la región, a partir del seguimiento, valoración y domesticación de especies forestales priorizadas de alto interés económico y ambiental.

Este primer tomo, de dos, titulado: *Bases técnicas para el desarrollo forestal en el departamento del Guaviare, Amazonia colombiana*, sintetiza todo el esfuerzo y los avances del conoci-

miento, logrados por el Instituto Amazónico de investigaciones Científicas, Sinchi en el departamento del Guaviare y en especial, relacionado con la investigaciones de desempeño de especies forestales en la Estación Experimental “El Trueno”, y que son presentados de manera secuencial en correspondencia a un modelo de trabajo basado en ensayos y parcelas de investigación.

En este documento se consolida la información sobre la evaluación y seguimiento de 23 especies forestales durante un periodo comprendido de 27 años, para los ensayos más antiguos; y de 9 años en los casos más recientes. Estos tiempos de evaluación son evidencia clara de la fortaleza y robustez de los resultados obtenidos, en cuanto a la precisión del conocimiento sobre el comportamiento de las especies y las curvas de crecimiento de las mismas, que se ponen a disposición de la región para la toma de decisiones en un modelo de desarrollo planificado de programas forestales que por medio de la producción y extensión de conocimientos soporten planes de producción sustentables, como una estrategia de desarrollo rural para generar cadenas de valor en economías campesinas de la región.

Para la Dirección General del Instituto Sinchi, es muy honroso presentar al país, a los pobladores de la región amazónica y a los tomadores de decisión estos resultados obtenidos en el marco de nuestro Plan Estratégico: “Investigación Científica para el Desarrollo Sostenible de la Amazonia Colombia”, en el Programa de Sostenibilidad e Intervención, pues consideramos que su objetivo es justamente lo que necesita nuestro país, referido a desarrollar alternativas productivas sostenibles que conllevan a generar procesos de innovación y transferencia de tecnologías para mejorar las condiciones de vida y reconvertir los procesos de intervención inadecuados.

Quiero hacer un reconocimiento especial al doctor Hernando Pérez Eslava, quien durante su trayectoria en el Instituto Sinchi, fue el gestor del trabajo agroforestal, no solo en la Amazonia norte sino en departamentos como Guainía, y orientó este trabajo que hoy presentamos.

Esperamos que nuestros lectores encuentren en esta publicación un camino para proponer una mirada diferente sobre el manejo

28 Bases técnicas para el desarrollo forestal en el departamento del Guaviare, Amazonia colombiana de los recursos naturales de la región amazónica colombiana, de una manera integrada porque “la Amazonia nos une”

LUZ MARINA MANTILLA CÁRDENAS
Directora General
Instituto Sinchi

Agradecimientos

En mi calidad de Directora General quiero agradecer en primera instancia al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible por su continuo apoyo a esta investigación a través de la ficha BPIN, que entre los años 1995 y 2005 se llamó *Investigación de los sistemas agroforestales y silvopastoriles en la amazonia colombiana para determinar su viabilidad económica y ambiental* y cuya denominación cambió a partir del 2005 a *Investigación, comprobación y evaluación de sistemas agroforestales y silvopastoriles en la amazonia colombiana*.

Quiero destacar también que esta investigación ha sido posible gracias a una serie de alianzas estratégicas con productores de la zona donde se destacan la activa participación de asociaciones gremiales como Asoprocegua (Asociación de Productores por el Cambio Económico del Guaviare), Asoprocaucho (Asociación de Productores de Caucho del Guaviare), Asogeg (Asociación de Ganaderos Ecológicos del Guaviare) y Coagroguaviare (Cooperativa Agropecuaria de Productores del Guaviare).

En esta alianza también ha sido clave la participación de entes territoriales como la Gobernación del Guaviare, las alcaldías

municipales de San José del Guaviare, El Retorno y Calamar, y en entidades como la Corporación para el Desarrollo Sostenible del norte y oriente Amazónico (CDA) y los programas de desarrollo alternativo nacionales (PLANTE, PNDA), El Convenio Andrés Bello (CAB), el Instituto Interamericano de Cooperación Agrícola (IICA), y la Unión Europea (UE) quienes han creído en la capacidad científica y técnica de los investigadores del Instituto Sinchi y han apalancado recursos que dan cuenta del éxito de esta actividad en nuestra Amazonia Norte Colombiana.

Para los autores mi especial reconocimiento, a quienes han estado vinculados a este proceso desde sus inicios o su incorporaron al mismo en el camino para enriquecerlo:

Bernardo Giraldo Benavides, Guillermo Vargas Avila, Mauricio Zubieta Vega, Jaime Alberto Barrera Garcia, Ivan Montero. Al equipo técnico de investigación por su entrega y apoyo en la Estación: Julio Efrén Henker Piñeres, Pablo Antonio Ochica Gaitán, Milton Elias Oidor Casuya, Diego Ferney Caicedo Rodriguez, Mario Wilman Coy Torres, Wilson Espinoza Gonzalez, Ángela Garcia Jimenez, Armando Antonio Lucena Mancera, Dora Maria Sanchez Arenas.

A las personas de apoyo administrativo de la sede Guaviare mi reconocimiento, por su colaboración en todas las etapas de este proceso, gracias a Gloria Gutiérrez, Manuel Cárdenas y Dilia Zapata.

Mi especial gratitud para Mauricio Zubieta Vega, Coordinador Sede San Jose del Guaviare, para los asesores estadísticos: Orlando Martínez y Rosa Gómez, para los evaluadores: Diomedes Londoño y Enrique Vega, por su valiosa contribución en este proceso.

LUZ MARINA MANTILLA CÁRDENAS
Directora General
Instituto Sinchi

Introducción

En la región norte amazónica, el ecosistema forestal ha tenido innumerables cambios en composición, estructura, servicios y productos, por diferentes causas entre las cuales está la ocupación incontrolada por campesinos, para desarrollar sistemas productivos ajenos a las condiciones del ecosistema como la ganadería, los cultivos ilícitos y formas de producción en monocultivos. En esta región, el componente de mayor importancia y riqueza es el bosque con todas las especies vegetales forestales, maderables, no maderables que posee, pero es a su vez, el componente de menor nivel de uso por los pobladores locales.

Ante esta situación, el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas –Sinchi, ha iniciado desde su creación en 1993, procesos de investigación científica articulados a su objetivo misional de realizar investigaciones científicas sobre la realidad biológica, social y ecológica de la región amazónica para orientar y construir alternativas de solución en el marco del desarrollo sostenible. Para cumplir este objetivo, la investigación se ha enfocado a la construcción de sistemas productivos sostenibles, con base en el conocimiento, valoración y uso de las especies forestales que

En esta región, el componente de mayor importancia y riqueza es el bosque con todas las especies vegetales forestales, maderables, no maderables

El Instituto Sinchi, aborda el conocimiento, valoración y uso de las especies forestales

permitieran a los productores amazónicos el manejo, uso y aprovechamiento de los recursos, en especial de la riqueza forestal, para mejorar sus condiciones de vida, a partir del mejoramiento de las condiciones medioambientales y la obtención de ingresos de actividades de producción forestal sostenible.

El Instituto Sinchi, aborda el conocimiento, valoración y uso de las especies forestales, desde la entidad que la precedió y es a partir de 1993 que retoma y reorienta los procesos iniciados en 1982 por la Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal, CONIF en la sede de San José del Guaviare y en especial en la Estación Experimental El Trueno, ubicada en la vereda San Antonio del municipio de El Retorno, Guaviare, en una extensión de 119 ha. En 1993 se reorienta el proceso de investigación a la selección las especies forestales (por sobrevivencia, crecimiento y producción forestal) para su establecimiento en sistemas de producción acordes con el medio amazónico, en especial en fincas de productores en la región norte amazónica. Se establece la continuidad de la investigación (entre 1993 y 2009) mediante monitoreo, valoración y análisis de las especies forestales sobre las principales variables que se constituyen en indicadores del crecimiento de las especies y su capacidad de adaptación, desarrollo y productividad.

En la Estación Experimental El Trueno se encuentran diferentes tipos de ensayos forestales con sistemas de campo abierto, rodeados de zonas de bosque y sistemas en coberturas boscosas con el establecimiento de especies forestales en líneas dentro de la matriz. En este proceso de conocimiento se mide, valora y analizan las especies: *Cariniana pyriformis* (abarco), *Cedrelinga cateniformis* (achapo), *Swietenia macrophylla* (caoba), *Jacaranda copaia* (pavito), *Tabebuia rosea* (roble), *Zanthoxylum sp.* (tachuelo), *Schefflera morototoni* (tortolito), *Hymenaea oblongifolia* (algarrobo), *Hymenolobium sericeum* (arenillo), *Myroxylon balsamum* (balsamo), *Aspidosperma excelsum* (brasil), *Carapa guianensis* (carapa), *Genipa americana* (caruto), *Pachira quinata* (cedromacho), *Minuartia guianensis* (cuyubí), *Terminalia amazonia* (macano), *Erisma uncinatum* (milpo), *Vitex orinocensis* (nocuito), *Tabebuia serratifolia* (paloarco), *Apeiba tibourbou* (peinemono), *virola peruviana* (virola),

Dialium guianense (trestablas), *Vochysia ferruginea* (vochysia) y *Sterculiaceae sp.* (zapato).

Para este grupo de especies forestales, se identificó en 1993, un primer estado de valoración y posteriormente entre 1993 y 2009 se establecieron las metodologías y los procesos de análisis científicos para conocer sobre el comportamiento, desarrollo, manejo, crecimiento y producción de 23 especies forestales. El desarrollo de esta investigación durante 16 años continuos, con protocolos de medición precisos y analizados con herramientas estadísticas, ha permitido seleccionar un grupo importante de estas especies por su mejor comportamiento y mayores tasas de crecimiento, establecer las tendencias del crecimiento y se ha definido las de mejor comportamiento para establecer en sistemas sostenibles productivos en la región. En este proceso de investigación, se generaron relaciones entre las diferentes variables y se establecieron proyecciones de crecimiento con un alto grado de confiabilidad, que se constituyen en herramienta técnica valiosa para conocer la oferta del recurso forestal. Esto ha permitido al Instituto Sinchi poner a disposición de la región norte amazónica, los valores de crecimiento medios obtenidos para las especies y realizar proyecciones de crecimiento de estas especies establecidas en los sistemas de producción de la región.

Para el conjunto de las especies forestales evaluadas el 74%, 17 de 23 especies presentaron incrementos superiores a 0,8 cm/año en diámetro, por lo que se consideran con aptitud para ser establecidas en sistemas productivos sostenibles, con manejo silvicultural y mejoramiento de las condiciones de establecimiento. De este grupo importante de 17 especies, se destacaron *Cariniana pyriformis* (abarco), *Cedrelinga cateniformis* (achapo), *Jacaranda copaia* (pavito), *Schefflera morototoni* (tortolito) *Terminalia amazonia* (macano), *Erismia uncinatum* (milpo), *Apeiba tibourbou* (peinemono), *Vochysia ferruginea* (vochysia) y *Aspidosperma excelsum* (brasil). Para el incremento medio anual en altura se presentó menor variación entre las especies y 19 de las 23 especies registraron incrementos medios anuales en altura superiores a 0,70 m/año; consolidando el 80% de las especies valoradas en la Estación Experimental.

**17 de 23
especies
presentan
incrementos
superiores a
0,8 cm/año
en diámetro**

Considerando la valoración del volumen para el conjunto del total de las especies forestales analizadas en la Estación Experimental, las principales especies corresponden a: *Cariniana pyriformis* (abarco), *Cedrelinga cateniformis* (achapo), *Jacaranda copaia* (pavito), *Schefflera morototoni* (tortolito) *Terminalia amazonia* (macano), *Erisma uncinatum* (milpo), *Apeiba tibourbou* (peinemono), *Vochysia ferruginea* (vochysia) y *Tabebuia rosea* (roble), estas especies registraron en promedio por árbol incrementos medios anuales en volumen desde 0,083 m³/año hasta 0,0145 m³/año. Para la biomasa aérea total por especie, se estableció que la principal especie es el abarco que en promedio por árbol acumula anualmente 49,0 Kg de materia seca, le sigue el achapo que acumula 30,0 Kg/año y luego las especies milpo, pavito y tortolito que en promedio acumulan por árbol anualmente 20,0 Kg/año de biomasa aérea.

Capítulo 1

Características del área de trabajo

1 Departamento del Guaviare

El departamento del Guaviare está ubicado en el oriente de Colombia, al norte de la región amazónica. Geográficamente se encuentra aproximadamente entre los 00°30' y los 2°50' de latitud norte y entre los 70°00' y los 73°40' de longitud oeste.

La superficie de su territorio es de 55.527 Km². El 91,31% de este territorio está constituido por áreas reservadas para preservación de los recursos naturales, así: parte integrante de la reserva forestal de la Amazonia (43,48%), área protegida de parques naturales (18,79%) y reserva indígena (29,04%). Sólo el 8,69% (4.826 Km²) ha sido habilitado legalmente para el uso productivo como área sustraída de la Reserva Forestal de la Amazonia (SINCHI, 2010).

1.1 Clima

La temperatura máxima oscila entre 31°C y 27°C, la media entre 26°C y 24°C y se llegan a presentar las temperaturas mínimas que fluctúan entre 20°C y 21°C.

**Sólo el 8,69%
(4.826 Km²)
ha sido
habilitado
legalmente
para el uso
productivo
como área
sustraída de
la Reserva
Forestal de la
Amazonia**

La precipitación media anual de la zona es de 2759 mm. Según datos de la Estación Experimental El Trueno, se presentan dos épocas de distintas características climáticas; una de lluvias altas y frecuentes en el período abril – noviembre, con promedios mensuales de 295 mm y otro de lluvias bajas y escasas en los meses de diciembre a marzo, con un promedio de 99 mm al mes. Además, se presentan períodos cortos de sequía denominados veranillos, con una duración aproximada de dos semanas.

Las épocas de lluvias determinan los ciclos de las actividades productivas en la región, pero el desconocimiento de las características climáticas o la falta de adaptación a ellas hace que en cada verano, o en cada invierno, los colonos tengan que sufrir las rigurosidades del medio. En la época lluviosa el principal limitante en el área de tierra firme es la mala calidad de las vías de comunicación que limita e impide la movilidad de la comunidad hacia centros poblados haciendo difícil sacar o adquirir productos básicos.

De acuerdo con los registros obtenidos directamente en la estación meteorológica presente en la Estación Experimental El Trueno durante el periodo 1987-1998, se encontró una humedad relativa del 84% y la existencia de un brillo solar de 1600 horas.

Según la clasificación climática de Köepen, la mayor parte del departamento corresponde al clima AM que se caracteriza por ser húmedo, con lluvias durante todo el año pero que se ve atemperado por la existencia de un período verdaderamente seco (Martínez, 1988).

Según la clasificación climática de Köepen, la mayor parte del departamento corresponde al clima AM que se caracteriza por ser húmedo

1.2 Suelos

En principio, según lo reportado por Martínez L.J. (1993), los suelos dominantes fueron clasificados como *Oxisoles* con pequeñas porciones de *Inceptisoles*, principalmente *Tropeptic*, *Plinthic* y *Typic haplorthox*; también *Dystropept* típicos y óxicos. Estas clasificaciones fueron influenciadas de manera amplia por la composición mineralógica de los suelos, dominada en especial por cuarzo y caolinita en las fracciones arena y arcilla, respectivamente. Posterior a esta descripción se reconoció el horizonte argílico, varios estudios micro morfológicos comprobaron esta hipótesis y en consecuencia gran parte de los suelos se clasificaron como *Ultisoles*. Actualmente

estos suelos (*Ultisoles*) son considerados dominantes en gran parte de la región amazónica colombiana; los *Inceptisoles* y *Ultisoles* son dominantes en las llanuras aluviales y en las mesetas de areniscas.

Una característica importante de los suelos es su susceptibilidad a sufrir degradación por procesos de erosión, remoción en masa, compactación superficial, alteraciones de tipo químico y micro-biológico, lo cual afecta notablemente la capacidad de producción y la estabilidad de la misma. Martínez L.J. (1993). Los diferentes tipos de suelos están relacionados con las características geomorfológicas que presenta el departamento del Guaviare (Figura 1).

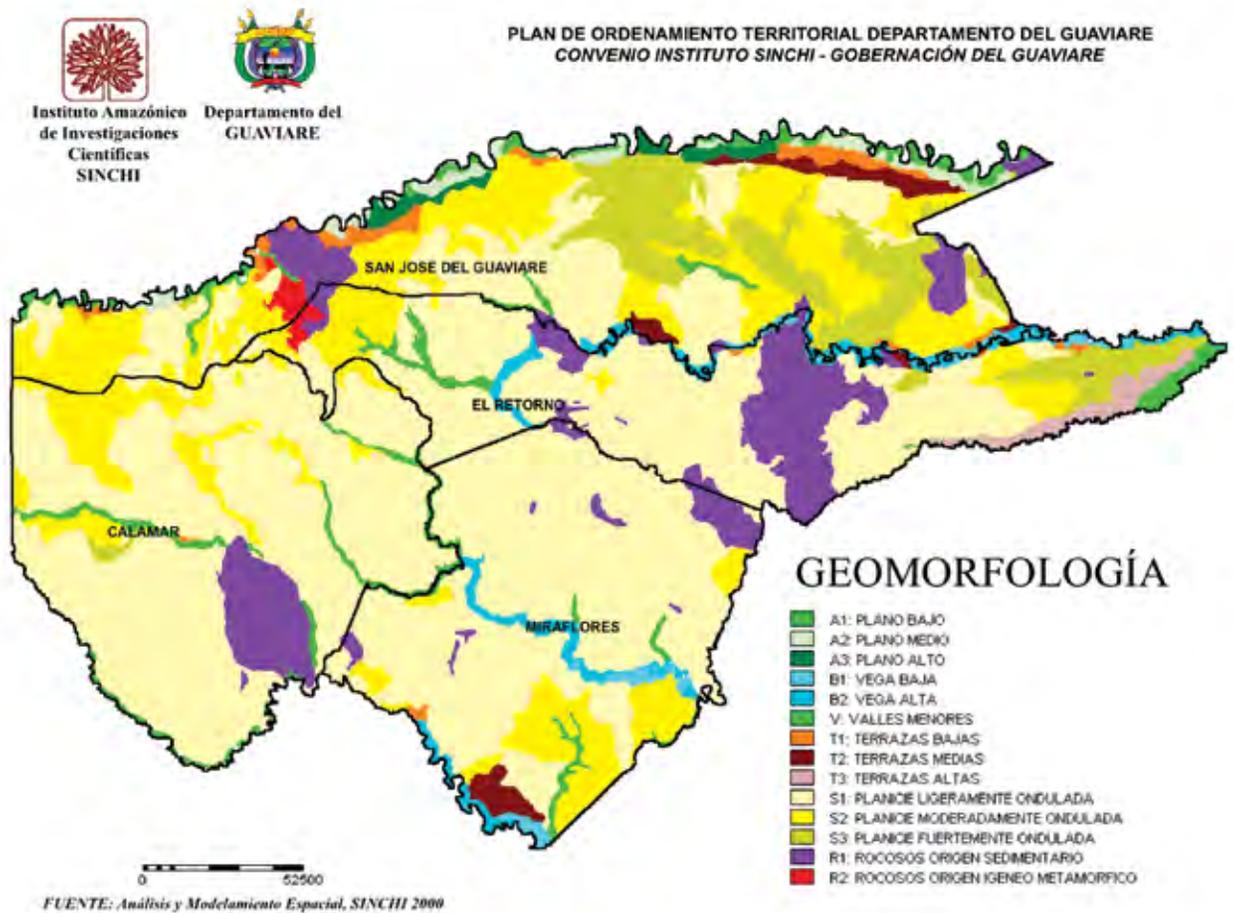


Figura 1. Mapa de características geomorfológicas del departamento del Guaviare

**Según
Martínez
& Vanegas
(1997), en el
departamento
del Guaviare
se presentan
6 unidades de
paisaje**

1.3 Unidades de paisajes

Según Martínez & Vanegas (1997), en el departamento del Guaviare se presentan 6 unidades de paisaje denominadas: Llanura aluvial de los ríos de origen andino (21,4%), Llanura aluvial de los ríos de origen amazónico (0,5%), Terrazas antiguas (3,6%), Planicies Pliopleistocénicas disectadas amazónicas (54,9%) (Llamada también superficie de denudación), Piedemontes coluvio-aluviales (6,1%) y mesas y colinas denudativas (2,2%). El uso actual predominante es la ganadería, ubicada principalmente en la superficie de denudación. Se relacionan las siguientes unidades de paisaje:

1.3.1 Llanura aluvial de los ríos de origen andino, ríos Guayabero y Guaviare

Ocupan con sus respectivas subunidades, una extensión de 172.560 hectáreas (ha), que corresponden al 3,14% del departamento y según Martínez L.J. (1993), ocupa el 12,7% del área de colonización. Predominan suelos con pH que oscila entre 4,4 y 4,7; el drenaje natural se caracteriza por ser de muy pobre a moderado; la profundidad efectiva es de superficial a profunda; predominan las texturas franco arenosas con presencia de limo; la capacidad de intercambio catiónico es baja, con valores entre 8 y 20 meq/100g; la saturación de aluminio es moderada a alta; la fertilidad es baja a moderada. Según Martínez L.J. (1993), esta unidad de paisaje se divide en tres niveles de acuerdo con su posición respecto al nivel del río: vega baja, media y alta.

- La vega baja se inunda anualmente durante el período de máximas precipitaciones (junio – julio); los suelos son moderadamente profundos y el mayor limitante es el nivel del agua.
- En la vega media se presentan inundaciones cortas; la fertilidad de los suelos es moderada a baja.
- La vega alta presenta suelos bien drenados en áreas con relieve plano y convexo, y pobremente drenado en relieve cóncavo. Es afectada por inundaciones cada 5-8 años durante cortos períodos. La fertilidad del suelo es baja con contenidos medios de aluminio.

1.3.2 *Llanura aluvial de los ríos de origen amazónico*

Se presenta principalmente en los valles de los ríos Unilla e Itilla y Caño Grande, cubre una extensión de 113.140 ha que representan el 2,06% del área departamental y el 6,4% del área de colonización. Los suelos que poseen se caracterizan por presentar baja fertilidad y concentraciones altas de aluminio intercambiable. Los limitantes más importantes para el uso y manejo son la baja fertilidad y el pobre drenaje.

1.3.3 *Planicies estructurales, superficie de denudación: denominada también planicie Plio-pleistocénica disectada de la Amazonia o tierra firme*

Esta unidad dentro del área estudiada cubre una extensión de 1.534.161 ha siendo el 29,97% del departamento. Sobre esta unidad se ha llevado a cabo la mayor intervención antrópica en la región; se caracteriza por presentar suelos con baja fertilidad y concentraciones de aluminio altas. Los mayores limitantes son las arcillas abigarradas presentes en los primeros horizontes y los altos contenidos de gravilla petroférica en horizontes subsuperficiales.

Los suelos de tierra firme son poco fértiles y muy ácidos (pH menor de 5), con saturaciones de aluminio entre 70 y 90%, baja disponibilidad de fósforo, calcio, magnesio y potasio. Además, presentan alta susceptibilidad a la erosión. En esta unidad se encuentra la Estación Experimental del Instituto Sinchi.

1.3.4 *Afloramientos rocosos*

Se incluyen en esta unidad las serranías de La Lindosa y las colinas de Cerritos, Mirolindo y Capricho. La superficie que cubren es de 664.014 ha siendo el 1,16% del área del Departamento. Los suelos según sean formados a partir de las areniscas de la formación Araracuara, o de la sienita nefelínica de las colinas, presentan características diferentes; en el primer caso, son superficiales de textura franco arenosa y la fertilidad es muy baja y en el segundo caso presentan texturas franco arcillosas y la fertilidad es moderada.

Los suelos de tierra firme son poco fértiles y muy ácidos con altas saturaciones de aluminio, baja disponibilidad de fósforo, calcio, magnesio y potasio. En esta unidad se encuentra la Estación Experimental del Instituto Sinchi.

1.3.5 *Altillanura estructural erosional en sedimentitas y sedimentos clásticos hidrogénicos Plio-pleistocénicos, Sabanas de La Fuga*

Cubre una superficie de 29.274 ha, las cuales representan el 0,53% del área del Departamento. En esta unidad, gran parte de los materiales constituyentes de los suelos han sido transportados por acción del viento. La fertilidad del suelo es baja, la textura oscila entre franco arenosa a franco limosa, la concentración de aluminio es media, el nivel freático es profundo.

1.3.6 *Asociaciones de planicies amazónicas con altillanura llanera y planicies disectadas con ambiente no diferenciado*

Son una superficie de 179.586 ha, que representan el 3,27% del territorio departamental.

1.3.7 *Colinas, mesas y piedemontes*

Ocupa el 7,3% del área de colonización, en ella los materiales parentales tienen gran influencia en las características de los suelos; de tal manera, los superficiales de textura gruesa con muy baja fertilidad, son derivados de areniscas y se encuentran en las mesas; mientras que las texturas más finas y la mayor fertilidad, caracteriza los suelos desarrollados de sienita nefelínica.

1.4 Geología

Geológicamente, a excepción de los cuerpos ígneos de las intrusiones de la Sienita Nefelínica de San José que conforman las colinas denudativas de El Capricho y Cerritos, el área está compuesta de materiales sedimentarios de diferentes edades. Las intrusiones de Sienita son el único tipo de roca (en la tierra firme) que origina suelos con una fertilidad potencial buena, dada su composición mineralógica (microclina, nefelina, albita, cancrenita, biotita, magnetita y otros) (Andrade y Etter, 1987).

La formación más antigua, corresponde a la Serranía de La Lindosa, situada al sur-occidente de San José; está conformada por rocas de la Formación Araracuara y se compone primordialmente de areniscas cuarcíticas de forma tabular y ligeramente basculadas hacia el noroccidente. Se estima que son de edad Precámbrico - Paleozoico, correlacionables con la Formación Roraima (Venezuela);

Geológicamente el área está compuesta de materiales sedimentarios de diferentes edades

la mineralogía consta de cuarzo, circón, gleyconita, muscovita y feldespatos (Andrade y Etter, 1987).

Los materiales sedimentarios que le siguen en edad, son los sedimentos no consolidados que forman lo que se ha conocido como el “Terciario Superior Amazónico”, con edad que varía desde Mioceno hasta Pleistoceno inferior. La mayor parte de esta formación está compuesta por materiales arcillosos; sin embargo, hay áreas en que estos son más arenosos. Los paisajes que la conforman se han agrupado bajo el término de Superficie de Denudación de origen sedimentario, (Soeters, 1975, citado por Andrade y Etter, 1987).

Finalmente, se tienen los sedimentos del cuaternario que conforman las Terrazas antiguas de edad Pleistocénica, los aluviones del Holoceno y los sedimentos de origen coluvio-aluvial de los piedemontes de las colinas ígneas y sedimentarias.

Entre estos, los sedimentos de terrazas antiguas son materiales mayormente finos y de baja fertilidad potencial en razón de que han sido varias veces trabajados. Los aluviones más jóvenes deben diferenciarse de acuerdo con su origen, los cuales imparte características propias: Aquellos de origen andino (ríos Guayabero, Guaviare y Ariari) y los de origen amazónico (ríos Unilla, Caño Grande y otros).

Los sedimentos aportados por los ríos andinos son, en general, más gruesos, de mejor fertilidad y de mayor abundancia. Los de origen amazónico son derivados de materiales de diferentes ciclos de meteorización, que les confiere una fertilidad potencial reducida y tienden a ser más finos. Los materiales de los piedemontes coluvio-aluviales también muy diferentes según su origen. Los derivados de las colinas ígneas son más finos y fértiles (feldespatos, piroxenos), mientras que los de las colinas sedimentarias son más gruesos y de menor fertilidad (cuarzo, circón), (Andrade & Etter, 1987).

2 Estación Experimental El Trueno Instituto Sinchi

2.1 Localización

La Estación Experimental El Trueno, como parte de la sede de San José del Guaviare del Instituto Amazónico de Investiga-

ciones Científicas, Sinchi, está ubicada en el municipio de El Retorno, departamento del Guaviare, con coordenadas: 2° 24' latitud norte, 72° 43' longitud oeste. La Estación Experimental está situada en la vereda San Antonio, a 2000 m de desviación de la Trocha San Antonio, esta trocha que se inicia en el kilómetro 24 en un ramal terciario de la vía San José del Guaviare – El Retorno.

2.2 Características

Posee una extensión de 119 ha, de las cuales 12,5 ha corresponden a ensayos y colecciones biológicas de especies vegetales, establecidas para la conservación y estudio de especies forestales y frutales en condiciones *Ex situ*, además, se mantienen y conservan 87,3 ha en bosque intervenido y rastrojos antiguos, como representación de los bosques residuales del área de tierra firme del departamento, que permiten adelantar acciones dirigidas a realizar procesos de valoración y seguimiento de sus especies vegetales y animales.

2.3. Condiciones de los suelos

La mayor parte del área de la Estación Experimental pertenece al Pleistoceno y se cataloga como de sedimentos de ambiente pluvial y lacustre y, conglomerados de areniscas y arcillositas (Cachique, 1985).

Fisiográficamente el sector de la Estación Experimental pertenece a la unidad geomorfológica denominada Superficie de Denu-dación. Los suelos se caracterizan por ser ácidos, de baja fertilidad natural y potencial de toxicidad por aluminio intercambiable y una baja a muy baja disponibilidad de bases intercambiables y fósforo. En su mayoría son suelos *Haplorthox* caracterizados por que no tienen minerales meteorizables en la fracción arena y es común la presencia de gravilla petroferrica y plinita en las cimas agudas y en los hombros superior e inferior de los relieves colinados, que actúan muchas veces junto con la caolinita como severos limitantes de la profundidad efectiva (Cachique, 1985). El paisaje está constituido fundamentalmente por arcillas, con pequeñas cantidades de limos y arenas en los primeros horizontes, presentando suelos con baja disponibilidad de nutrientes lo que favorece los sistemas radicales superficiales y reptantes en la

Fisiográficamente el sector de la Estación Experimental pertenece a la unidad geomorfológica denominada Superficie de Denu-dación

búsqueda del horizonte (A) donde se encuentran disponibles la materia orgánica y algunos minerales (Cachique, 1985).

De acuerdo con el estudio detallado de suelos adelantado por la Corporación Araracuara (Cachique, 1985), al interior de la Estación Experimental se observan cuatro subpaisajes: Ligera a moderadamente disectada, ligeramente plano, plano cóncavo y ligeramente cóncavo, con pendientes que varían de 1 a 25%. En estos subpaisajes y con respecto a las características físicas de los suelos se presentan cuatro unidades: áreas de rebalse con inundaciones temporales, zonas donde los suelos no presentan limitantes físicos en todo el perfil (A), áreas con limitantes físicos a una profundidad mayor a 40 cm (B), otras con limitantes físicos a menos de 40 cm (C) y áreas con limitantes en todo el perfil (D). Los limitantes físicos son del orden de presencia de gravilla petroférica o de arcillas abigarradas.

Los ensayos establecidos en la Estación Experimental, se ubican en el gran paisaje denominado Superficie de denudación, la mayor parte de las unidades fisiográficas de este paisaje en la Estación Experimental presentan limitantes físicos a menos de 40 cm, con texturas franco arenosas o franco arcillosas. En una muestra de suelos efectuada para uno de los ensayos se encontraron valores de pH entre 4,6 a 4,8, porcentaje de materia orgánica entre 1,0 y 2,0, fósforo en partes por millón entre 5,0 y 3,0, Capacidad de intercambio catiónico entre 2,9 y 4,0. En la tabla 1 se relacionan algunos análisis de suelos realizados en la Estación Experimental. En la tabla 2 y en la figura 2 se presentan la distribución de áreas de la Estación Experimental.

2.4 Caracterización florística

Inventarios de estructura y composición desarrollados en la Estación Experimental (para individuos mayores de 10 cm de diámetro), registraron un total de 764 individuos, pertenecientes a 160 especies, las cuales se agrupan en 106 géneros y 45 familias de plantas vasculares, en un muestreo de 12 parcelas de 0,1 ha. Para esta muestra, la altura media del dosel es de 14,0 m, con emergentes que alcanzan los 30,0 m de las especies *Coussapoa orthoneura* (35 m) *Ocotea aciphylla* (34 m), *Aspidosperma cf. Spruceanum* (32 m), *Pourouma minor* (30 m), *Trattinnickia lawrancei* (30 m), *Scheffle-*

Inventarios de estructura y composición en la Estación Experimental registraron un total de 764 individuos, pertenecientes a 160 especies

Tabla 1. Análisis de suelos realizados en la Estación Experimental en diferentes periodos

Sitio o ensayo en Estación Experimental	Profundidad muestra	Clase textural	pH	MO	P	Al	Ca	Mg	K	Na	CIC	BT	SB	Año	Entidad analizadora
	cm			%	ppm	Miliequivalentes en 100 MI de suelo									
Cercano a zona pradera - Consociación Unidad B (con limitantes a mayor de 40 cm)	0 - 10	AF	4,60	2,00	5,00	1,00	1,30	0,40	0,20	0,40	2,90			1983	ICA
	10 - 30	AF	4,50	1,00	4,00	2,00	0,90	0,30	0,15	0,40	3,40			1983	ICA
	0 - 10	FA	4,80	1,00	5,00	1,20	1,80	0,40	0,20	0,20	3,60			1983	ICA
	10 - 30	FA	4,60	2,00	3,00	2,00	1,40	0,40	0,20	0,40	4,00			1983	ICA
	0 - 20	Far	5,40	4,00	2,00	0,70	5,20	2,37	0,64	0,08				1988	IGAG
	0 - 20	FA	5,20	3,80	1,00	1,00	1,83	0,54	0,15	0,02				1988	IGAG
	0 - 20	FA	6,00	2,10	1,00		6,46	0,65	0,20	0,01				1988	IGAG
	0 - 20	FA	5,80	1,90	1,00		4,13	0,58	0,17	0,02				1988	IGAG
	0 - 20	FA	5,70	2,10	1,00		4,60	0,92	0,43	0,01				1988	IGAG
	0 - 20	FA	5,80	3,50	1,00		6,36	1,62	0,73	0,01				1988	IGAG
0 - 20	FA	6,00	3,50	1,00		4,15	0,81	0,13	0,01				1988	IGAG	
Ensayo Enriquecimiento	0 - 20	F	3,80	2,80	3,70	3,90	0,81	0,31	0,23	0,04	13,60	1,40	10,30	2007	IGAG
Zona adyacente ensayo Enriquecimiento	0 - 20	Far	4,00	2,10	1,40	4,00	0,34	0,22	0,15	0,04	11,40	0,75	6,60	2007	IGAG
Ensayo Caldera	0 - 20	AF	5,00	1,30	5,50	0,10	2,40	0,57	0,20	0,07	7,70	3,20	42,00	2006	IGAG
	0 - 20	Far	4,40	1,70	4,90	2,10	1,70	0,41	0,21	0,04	10,20	2,30	22,90	2007	IGAG
Ensayo Báscula	0 - 20	F	4,60	1,80	4,30	1,10	2,30	0,58	0,24	0,05	11,40	3,20	27,80	2006	IGAG

Tabla 2. Área de ensayos establecidos en la Estación Experimental El Trueno

No	Uso	Área (m ²)
1	Vivero 2	1.161,84
2	Vivero 1	680,47
3	Frutales maderables	5.566,59
4	Maderables Quince especies	14.387,85
5	Indígenas II	4.095,60
6	Indígenas I	4.929,47
7	Maderables Cacao	10.623,06
8	Silvopastoril	26.086,11
9	Frutales maderables 2	6.223,28
10	Maderables Caldera	4.590,56
11	Franjas Enriquecimiento	9.838,45
12	Colección arazá	2.729,63
13	Colección palmas	5.974,26
14	Colección cacao	1.181,43
15	Colección umarí	859,38
16	Colección anonaceas	3.401,59
17	Caracolí bacao	859,37
18	Colección copoazú	3.236,28
19	Franja Enriquecimiento	4.072,89
20	Maderables Báscula	5.278,43
21	Picas inchi	5.418,20
22	Picas maderables	11.017,73
23	Sin información	6.031,32
24	Banco inchi	14.798,64
25	Colección chontaduro	5.671,74
26	Colección copoazú nuevo	3.449,44
27	Colección borojó	797,50
28	Arboretum	6.897,50
	TOTAL	169.858,61

46 Bases técnicas para el desarrollo forestal en el departamento del Guaviare, Amazonia colombiana
ra morototoni (30 m) *Croton matourensis* (30 m). Las especies que superaron los 80 cm de diámetro fueron: *Coussapoa orthoneura* (116 cm) *Trattinnickia lawrancei* (96 cm), *Terminalia amazonia* (91 cm), *Aspidosperma cf. spruceanum* (90 cm), *Ficus insipida* (85cm), *Brosimum acutifolium* (80 cm). El 94 % de los árboles registrados, presentan diámetros menores de 40 cm.

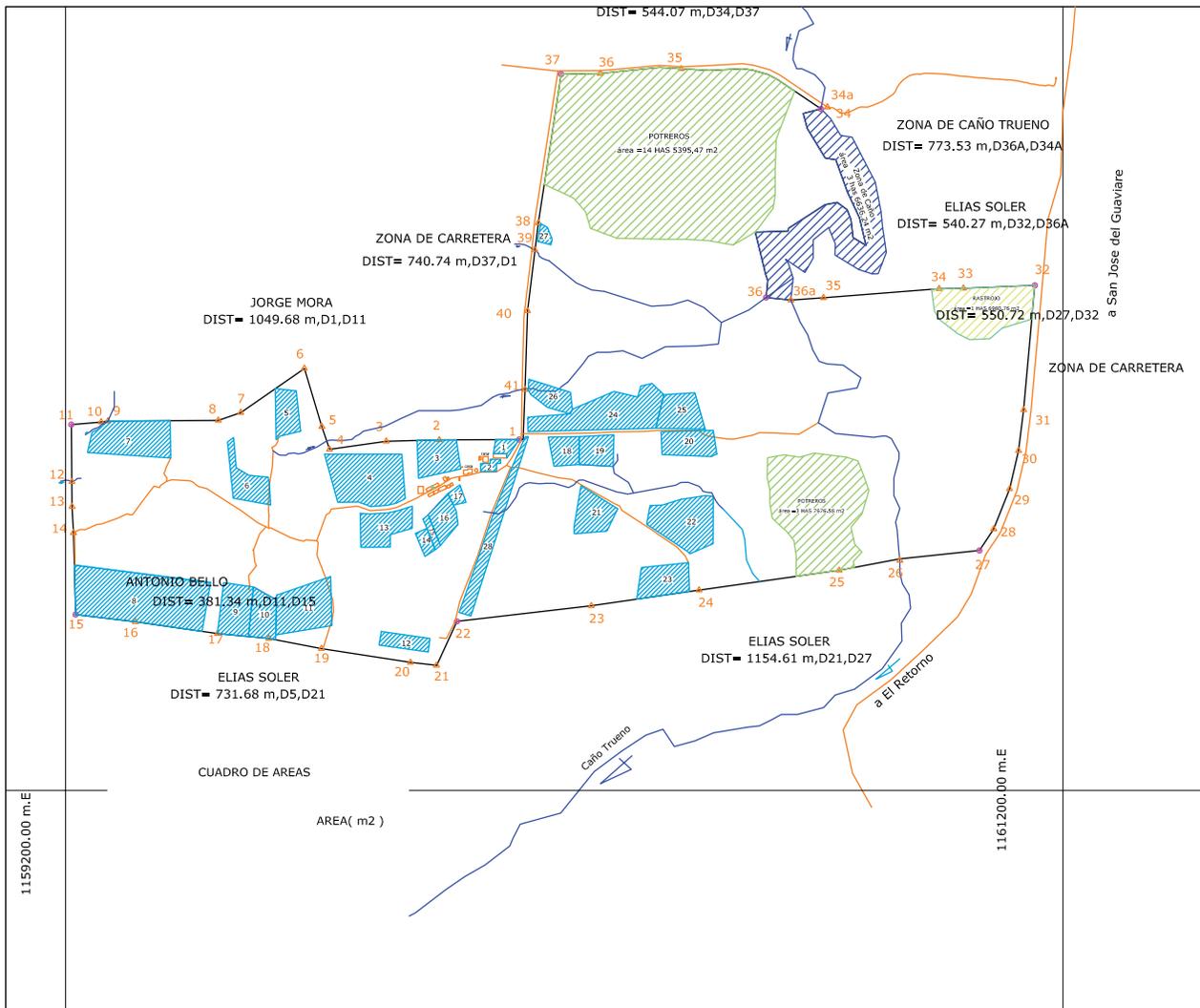


Figura 2. Plano Estación Experimental El Trueno

Capítulo 2

Antecedentes de la investigación forestal y resultados iniciales al año 1993

1. Introducción

Los resultados se presentan en forma secuencial en términos de tiempo y ente de investigación participante. Se estableció una primera fase de resultados de la investigación forestal realizados y documentados por CONIF, desde el establecimiento de los ensayos, entre 1982 y 1984, y los primeros 5 años de valoración; en esta sección se presenta el consolidado de la evaluación realizada por CONIF.

La segunda fase de este capítulo, aborda el estado de los ensayos al recomenzar el proceso de investigación y establece un momento de valoración para el año 1993, donde se retoma la información desarrollada por CONIF y se define la composición y estado del crecimiento de los ensayos.

Estos elementos que consolidan la investigación desarrollada antes de 1993, son la base para el desarrollo del capítulo tres de este libro. En este capítulo se aborda la evaluación de la permanencia de los individuos, el crecimiento y la producción, entre 1993 y 2009, periodo en el cual el Instituto Sinchi, plantea la importancia de consolidar esta investigación.

Estas acciones de investigación orientadas al desarrollo forestal para la región amazónica se iniciaron en 1982

Los resultados obtenidos, son producto del proceso de investigación, con metodología clara y precisa y donde se realizaron mediciones periódicas anuales de las especies y los ensayos, y se estableció el análisis para el conjunto de especies que permanecen en cada uno de los ensayos.

Con este enfoque de análisis y presentación de resultados, se consolidó la importancia de las especies forestales desde las consideraciones de potencial de uso y de su procedencia permitiendo resaltar un mayor número de especies, por su condición o característica de oferta, por ejemplo, maderables nativos de mayor producción, maderables nativos con mayor potencial de recuperación suelos y maderables finas de diferentes procedencias.

2 Fase de establecimiento y análisis del periodo 1982 a 1987, efectuado por CONIF

Para la presentación del proceso de investigación, se parte del análisis del periodo de 1982 a 1987, con lo cual se realizó la revisión detallada de las características (condiciones de establecimiento, especies, manejo), y las acciones de investigación forestal desarrolladas por CONIF entre 1982 y 1987; en este ítem, se relacionan los resultados más importantes, que permitieron al Instituto Sinchi, cuando retoma el proceso de investigación en 1993, definir los nuevos alcances de su proceso de investigación en el desarrollo forestal de la región norte amazónica.

Estas acciones de investigación orientadas al desarrollo forestal para la región amazónica se iniciaron en 1982 mediante el establecimiento en el departamento del Guaviare de los primeros ensayos forestales en la Estación Experimental El Trueno por intermedio de la Corporación Araracuara (COA), mediante el convenio con CONIF - HOLANDA; avances que posteriormente a partir de 1993 revisa el Instituto Sinchi y define un nuevo enfoque institucional, teniendo como objetivo seleccionar las especies forestales de mejor sobrevivencia, crecimiento y producción forestal en condiciones *ex situ*, para su posterior promoción y establecimiento en fincas de productores en la región norte de la Amazonia colombiana.

Las especies establecidas por el convenio CONIF - Holanda en estos ensayos en los años 1982-1984, fueron el resultado de un proceso de priorización de las especies de mayor potencial de producción forestal para la región, sobre las cuales se analizaba cualitativamente la pérdida acelerada del recurso por la acción de tumba y quema realizada por los procesos de intervención. De igual manera, CONIF durante el desarrollo de su plan de investigaciones en Colombia, estableció en diferentes centros de investigación ensayos con especies nativas de cada zona, con especies introducidas provenientes de otras regiones colombianas y aún con especies exóticas.

Durante el periodo 1982 – 1987, CONIF desarrolló evaluaciones de todos los ensayos y registró estos resultados en diferentes publicaciones, que en resumen expresan el comportamiento de cinco especies de Eucaliptos y de otras 16 especies latifoliadas y su aptitud de producción de madera y para diferentes usos. Se realizaron análisis de varianza para las variables diámetro, altura y sobrevivencia y se analizó así mismo, las bifurcaciones, inclinaciones y torceduras y defoliación presentes en los árboles al momento de la evaluación. Se registran para los cinco años, cuadros, gráficos y análisis del comportamiento de las variables sobrevivencia, diámetro y altura para cada una de las especies y se establecen curvas de crecimiento de las variables señaladas de cada una de las especies. En el siguiente numeral (ítem 2.1) se resume los principales resultados de este periodo de evaluación, reportados por CONIF.

2.1 Descripción áreas de ensayos y resultados previos hasta 1987, para la Estación Experimental

2.1.1 Descripción y resultados previos del ensayo Quince especies

Las especies inicialmente de acuerdo con el diseño establecido en 1982, se organizaron en tres grupos:

- Cinco especies para maderas finas: *Cariniana pyriformis* (abarco), *Cedrelinga cateniformis* (achapo), *Tabebuia rosea* (roble), *Swietenia macrophylla* (caoba) y *Zanthoxylum riedelianum* (tachuelo). - Cinco especies para maderas leña: *Enterolobium cyclocarpum*, *Eucaliptus*

Las especies establecidas en los años 1982-1984 fueron el resultado de un proceso de priorización de las especies de mayor potencial de producción forestal

Como resultados previos a 1987 se pudo observar que la mayoría de estas especies presentaron más del 90% de sobrevivencia

grandis, *E. robusta*, *E. saligna* y *Gmelina arborea* - Cinco especies para maderas postes: *Casuarina equisetifolia*, *Eucaliptos tereticornis*, *Schefflera morototoni*, *Jacaranda copaia* y *Terminalia superba*.

Las especies se establecieron mediante un diseño de bloques completamente al azar (tres bloques), con tres repeticiones para cada una de las especies. Cada individuo se sembró a distancia de 3 m por 3 m en cuadrado y se establecieron 36 individuos de la especie en cada repetición, en total para cada especie se establecieron 3 parcelas por 36 individuos para 108 individuos.

El abarco con procedencia de semillas de Santander; achapo de Guaviare; caoba de Santa Marta; roble de Necoclí, Antioquia; tachuelo de Urabá; *Eucalyptus robusta* de Ayapel, Córdoba; *E. saligna* de Pinar del Río, Cuba; *Gmelina arborea* de Carare Opón, Santander; *E. grandis* de Australia; *Enterolobium cyclocarpum* de Granada, Meta; *Terminalia superba* de Costa de Marfil; tortolito de Granada, Meta; *Casuarina equisetifolia* de Malasia; *E. tereticornis* de Ayapel, Córdoba; pavito de Puerto López, Meta.

Como resultados previos a 1987 se pudo observar que la mayoría de estas especies presentaron más del 90% de sobrevivencia, con excepción del *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus robusta* y achapo. Después de esta evaluación se llevó a cabo una resiembra en las diferentes especies para poder continuar con el ensayo. Esta información se constituyó en el primer indicador de la posibilidad de estas especies de establecerse en condiciones *Ex situ* y expresan su alto grado de adaptación a las condiciones medioambientales de la región norte amazónica. En la tabla 3 se registran las especies sembradas en 1982 y la sobrevivencia obtenida a los cinco meses.

Tabla 3. Número de individuos sembrados y sobrevivencia a los cinco meses para 15 especies forestales en el ensayo Quince especies, en la Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

Año 1982			Número de árboles sembrados			
No	Tipo de Uso	ESPECIE	Replica 1	Replica 2	Replica 3	Sobrevivencia a los 5 meses
1	Leña	<i>Eucalyptus robusta</i>	36	36	36	85%
2	Leña	<i>Eucalyptus saligna</i>	36	36	36	92%
3	Leña	<i>Gmelina arborea</i>	36	36	36	100%
4	Leña	<i>Eucalyptus grandis</i>	36	36	36	79%
5	Leña	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	36	36	36	100%
6	Postes	<i>Terminalia superba</i>	36	36	36	98%
7	Postes	<i>Schefflera morototoni</i> (tortolito)	36	36	36	96%
8	Postes	<i>Casuarina equisetifolia</i>	36	36	36	88%
9	Postes	<i>Eucalyptus tereticornis</i>	36	36	36	96%
10	Postes	<i>Jacaranda copa</i> (pavito)	36	36	36	98%
11	Construcción y Madera Fina	<i>Cariniana pyriformis</i> (abarco)	36	36	36	94%
12	Construcción y Madera Fina	<i>Cedrelinga cateniformis</i> (achapo)	36	36	36	67%
13	Construcción y Madera Fina	<i>Swietenia macrophylla</i> (caoba)	36	36	36	94%
14	Construcción y Madera Fina	<i>Tabebuia rosea</i> (roble)	36	36	36	96%
15	Construcción y Madera Fina	<i>Zanthoxylum riedelianum</i> (tachuelo)	36	36	36	98%

Fuente: CONIF, 1984

Para definir el potencial real de estas especies, además de la tasa de sobrevivencia se realizaron evaluaciones de la altura a los 6, 12 y 48 meses, (Ver tabla 4). Para este grupo de 15 especies organizado de acuerdo con su diferente tipo de uso, se encontró en cada grupo que, las especies cuyo tipo de uso es para leña presentaron un alto crecimiento, mayor a los 10,0 metros en cuatro años, menos la especie *Enterolobium cyclocarpum* que solo registró una altura promedio de 5,8 m.

Las especies cuyo tipo de uso es para postes, presentaron un crecimiento entre los 9,0 y 13,0 m; y las de menor crecimiento, como era de esperarse, son las especies de maderas finas, cuyo crecimiento se registró entre los 3,2 y 9,6 m. Durante la evaluación

En al año 1993, al retomar la investigación el Instituto Sinchi solo se encontraron las siguientes especies: abarco, achapo, roble, caoba, tachuelo, tortolito y pavito

realizada a los 4 años de establecimiento, se reportó a *Gmelina arborea* como la especie de mayor incremento medio anual en altura con 5,1 m/año, y se analizó otro grupo de incremento medio superior a 3,0 m/año, donde se destacaron todas las especies del genero *Eucalyptus*. Una especie importante en esta evaluación fue *Jacaranda copaia* (pavito) con incremento medio de 3,23 m/año

En el año 1987 se llevó a cabo un aprovechamiento de las especies cuyo tipo de uso estuvo destinado para leña y postes, quedando solamente en el ensayo las cinco especies de maderas finas y dos especies para postes (pavito y tortolito). Esta es la razón para que en al año 1993, al retomar la investigación el Instituto Sinchi solo se encontraran las siguientes siete especies: *Cariniana pyriformis* (abarco), *Cedrelinga cateniformis* (achapo), *Tabebuia rosea* (roble), *Swietenia macrophylla* (caoba), *Zanthoxylum riedelianum* (tachuelo), *Schefflera morototoni* (tortolito) y *Jacaranda copaia* (pavito).

Tabla 4. Altura total promedio (m) para 15 especies forestales a los 6, 12 y 48 meses de edad en el ensayo Quince especies, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

No	ESPECIE	Altura a 6 meses (m)	Altura a 12 meses (m)	Altura a 4 años (m)	Incremento medio anual en Altura (4 años) (m/año)
1	<i>Eucalyptus robusta</i>	3,1	5,0	13,1	3,28
2	<i>Eucalyptus saligna</i>	2,5	5,2	13,0	3,25
3	<i>Gmelina arborea</i>	2,8	5,6	10,2	5,10
4	<i>Eucalyptus grandis</i>	1,9	4,1	11,7	2,93
5	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	1,4	2,5	5,8	1,45
6	<i>Terminalia superba</i>	0,9	2,0	9,9	2,48
7	<i>Schefflera morototoni</i> (tortolito)	0,7	1,6	9,1	2,28
8	<i>Casuarina equisetifolia</i>	0,8	1,7	7,1	1,78
9	<i>Eucalyptus tereticornis</i>	1,8	3,7	13,5	3,38
10	<i>Jacaranda copia</i> (pavito)	1,0	2,8	12,9	3,23
11	<i>Cariniana pyriformis</i> (abarco)	0,6	1,3	7,7	1,93
12	<i>Cedrelinga cateniformis</i> (achapo)	0,4	1,0	7,8	1,95
13	<i>Swietenia macrophylla</i> (caoba)	0,5	0,9	3,2	0,80
14	<i>Tabebuia rosea</i> (roble)	0,6	2,2	6,2	1,55
15	<i>Zanthoxylum riedelianum</i> (tachuelo)	1,3	3,7	9,6	3,20

De este grupo, de acuerdo con las evaluaciones realizadas por CONIF (CONIF, 1987b), a los cuatro años sobresalió la especie pavito con un 100% en sobrevivencia y el mejor comportamiento en altura con un valor superior a 2,6 m/año. Esta especie se reportó en Tumaco, Nariño Colombia, a los 7 años con incremento medio anual en Altura (IMA – H) entre 2,5 y 3,8 m/año. Adicionalmente, se destacó también la especie tortolito que registró incrementos en altura superiores a 2,0 m/año. (Ver tabla 5)

Tabla 5. Crecimiento a los cinco años de dos especies forestales para producción de leña en el ensayo Quince especies, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

	Número de árboles por ensayo	Número de árboles por hectárea	Sobrevivencia (%)	Altura total promedio (m)	Diámetro promedio (cm)	Área Basal (m ² /ha)	Altura total dominante (m)
tortolito	44	1019	91,7	10,3	11,9	11,3	12,4
pavito	48	1111	100	13,0	16,0	22,2	14,9

Fuente: CONIF, 1987b.

En el análisis de varianza para el diámetro para las cinco especies de este ensayo se encontraron diferencias significativas entre especies, con el pavito como la especie de mejor comportamiento con valores de incremento medio anual en diámetro (IMA–D) superior a 3,0 cm/año, similar a lo registrado por CONIF en Tumaco para esta especie. Para un segundo grupo de especies que incluye a tortolito se registraron IMA-D superior a 2,1 m/año. (Tabla 6)

Entre los tres grupos de maderas evaluadas en el ensayo Quince especies (madera para leña, postes y construcción), el grupo de madera para construcción presentó el menor valor medio para el crecimiento general y valores más altos de sobrevivencia. Las especies achapo y abarco presentaron a los dos primeros años los valores más bajos de incremento medio, pero posteriormente mejoraron su crecimiento; en especial el achapo que a los cinco años de evaluación presentó el mayor crecimiento con IMA–H superior a 1,7 m/año y en sobrevivencia registró el 85% (en ensayos

El grupo de madera para construcción presentó valores más altos de sobrevivencia

de enriquecimiento alcanzó un 95%, con registros de altura a los cinco años de 5,6 m). Estos valores, de acuerdo con CONIF, 1987b, coinciden con los registros obtenidos en diferentes evaluaciones. En Urabá, se reportó para el abarco a los seis años de edad IMA-H de 1,8 m/año y de 2,0 m/año en la zona del Carare Opón.

Tabla 6. Crecimiento de cinco especies forestales para producción de madera de construcción a los cinco años de edad, en el ensayo Quince especies, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

	Número árboles por ensayo	Número de árboles por hectárea	Sobrevivencia (%)	Altura total promedio (m)	Altura total dominante (m)
<i>Cariniana pyriformis</i> (abarco)	46	1066	96	7,4	9,6
<i>Cedrelinga cateniformis</i> (achapo)	41	944	85	9,8	10,8
<i>Swietenia macrophylla</i> (caoba)	44	1022	92	3,5	4,4
<i>Tabebuia rosea</i> (roble)	48	1111	100	7,1	8,1
<i>Zanthoxylum riedelianum</i> (tachuelo)	44	1022	92	8,4	9,8

Fuente: CONIF, 1987b.

Ensayo Indígenas I establecido con especies forestales nativas de mayor potencial para la producción forestal en la región

2.1.2 Descripción y resultados previos del ensayo Indígenas I

Este ensayo se inició en el año 1983 y su objetivo consistió en determinar cuáles eran las especies forestales nativas de mayor potencial para la producción forestal en la región. Para ello se establecieron las especies *virola peruviana* (virola), *Terminalia amazonia* (macano), *Apeiba tibourbou* (peinemono), *Vitex orinocensis* (nocuito), *Hymenaea oblongifolia* (algarrobo); con base en material reproductivo a partir de semilla obtenida en el departamento del Guaviare.

Se trabajó con base en un diseño de bloques completos al azar (tres bloques), con tres repeticiones para cada una de las especies. Cada individuo se sembró a distancia de 3 m por 3 m en cuadrado y se establecieron 36 individuos de la especie en cada repetición, en total para cada especie se establecieron tres parcelas por 36

individuos para 108 individuos. Como resultados previos a 1987 para este ensayo y en mediciones efectuadas a los tres años del establecimiento, las especies peinemono y macano presentaron la mayor altura con IMA-H mayor a 1,0 m/año. En la tabla 7 están registrados los valores obtenidos.

Tabla 7. Altura total promedio (m) para 15 especies forestales a los tres años de edad en el ensayo Indígenas I, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

ESPECIE	Altura promedio a los 3 años (m)	Incremento medio anual en altura (edad 3 años) (m/año)
<i>Virola peruviana</i> (virola)	1,4	0,47
<i>Terminalia amazonia</i> (macano)	3,6	1,20
<i>Apeiba tibourbou</i> (peinemono)	4,1	1,37
<i>Vitex orinocensis</i> (nocuito)	2,7	0,90
<i>Hymenaea oblongifolia</i> (algarrobo)	1,4	0,47

Fuente: CONIF, 1987a

2.1.3 Descripción y resultados previos del ensayo Indígenas II

Este ensayo se inició en el año 1984 y su objetivo era determinar las especies nativas de mayor potencial de producción forestal para la región. Con este propósito se establecieron las especies *Clathrotropis macrocarpa* (fariñero), *Erisma uncinatum* (milpo), *Dialium guianense* (trestablas), *Hymenolobium sp* (arenillo) y zapato (*Sterculiaceae sp.*), a partir de plántulas obtenidas por semilla que se colectaron en el departamento del Guaviare. En este grupo a diferencia del ensayo Indígenas I, las especies son de maderas más duras, con mayor densidad y con uso reportado en construcciones locales y ebanistería.

Se estableció un diseño de bloques completamente al azar (tres bloques), con tres repeticiones para cada una de las especies. Cada individuo se sembró a distancia de 3 m por 3 m en cuadrado y se establecieron 36 individuos de la especie en cada repetición, en total para cada especie se establecieron tres parcelas por 36 individuos para 108 individuos.

En el ensayo Indígenas II se establecieron las especies fariñero, milpo, trestablas, arenillo y zapato

En la respuesta a la adaptación en términos de sobrevivencia valorada a los cinco meses sobresalió la especie milpo que registró un valor medio entre 94 y 100%. El milpo en la evaluación de 1987, presentó problemas de ramificación temprana, lo cual indicaba la necesidad de un sombrío para su fase de crecimiento inicial. Para zapato se registraron valores de 50%, 100% y 82%, con promedio general de 78%; los reportes de CONIF (1987a), establecieron que la especie zapato se comportó mejor en crecimiento en altura en suelos con limitantes físico a menos de 40 cm y con texturas franco arcillosa. Para trestablas el estudio de CONIF reportó buena sobrevivencia promedio y se estableció que es una especie con necesidad de sombra en su fase de crecimiento inicial. En las evaluaciones de 1987 de CONIF se determinó por la forma de los fustes y los datos de crecimiento que es una especie para establecer en zonas de protección de caños y protección de zonas con alta pendiente. De este grupo, la especie arenillo registró los menores valores de sobrevivencia con el 62%.

El crecimiento en altura de las especies arenillo y milpo a los dos años presentó los mejores valores de incremento medio anual en altura, que corresponden a 2,3 m/año y 1,45 m/año. Las otras dos especies del ensayo conformaron un segundo grupo de crecimiento con IMA-H de 0,75 m/año. Las especies del primer grupo se diferenciaron en su crecimiento rápido y son especies importantes por la calidad reportada de su madera. (Ver tabla 8).

En la respuesta a la adaptación en términos de sobrevivencia valorada a los cinco meses sobresalió la especie milpo que registró un valor medio entre 94 y 100%

Tabla 8. Altura total promedio (m) para cinco especies forestales a los dos años de edad en el ensayo Indígenas II, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

ESPECIE	Altura promedio a los 2 años (m)	Incremento medio anual en altura (edad 2 años) (m/año)
<i>Clathrotropis macrocarpa</i> (fariñero)		
<i>Erisma uncinatum</i> (milpo)	2,9	1,45
<i>Dialium guianense</i> (trestablas)	1,5	0,75
<i>Hymenolobium sp</i> (arenillo)	4,6	2,3
<i>Sterculiaceae sp.</i> (zapato)	1,5	0,75

Fuente: CONIF, 1987a

2.1.4 Descripción y resultados previos del ensayo Enriquecimiento forestal

Este ensayo se inició en 1982 y tenía por objetivo seleccionar las especies forestales asociadas a coberturas boscosas de mejor sobrevivencia, crecimiento y producción forestal en condiciones *ex situ*, para su promoción y establecimiento en fincas de productores de la región norte amazónica.

Con este propósito se establecieron las especies *Cariniana pyramiformis* (abarco), *Cedrela odorata* (cedro), *Cedrelinga cateniformis* (achapo), *Cordia alliodora* (nogal), *Swietenia macrophylla* (caoba) y *Tabebuia rosea* (roble). La siembra se realizó a partir de material reproductivo por semillas que para el caso del abarco se obtuvo en Santander; para cedro en Granada, Meta; para nogal en Chinchiná, Caldas; para la caoba en Santa Marta y para el roble en Necoclí, Antioquia.

Se estableció un diseño de bloques completamente al azar, con cuatro repeticiones o fajas para cada una de las especies. Cada individuo se sembró a distancia de 10 m por 5 m en cuadrado y se establecieron en cada faja 11 individuos de la especie (44 individuos por especie). Este diseño se encuentra inmerso en una matriz de cobertura boscosa y solamente se abre para cada faja un ancho de 2,5 a 3,0 m donde se establecen los individuos. La apertura de esta faja se realiza a una distancia de 10 metros de la siguiente faja y así sucesivamente. Al interior de la faja se establecen los individuos a cada 5 metros.

Como resultados previos a 1987 para el ensayo Enriquecimiento forestal de bosques, en evaluaciones efectuadas a los cuatro años de sembradas las especies, se encontró que las especies cedro y abarco presentaron una altura de 9,0 m y 7,1 m, con un IMA-H de 2,25 m/año y 1,78 m/año respectivamente. Adicionalmente, las especies que menor crecimiento mostraron a los cuatro años fueron laurel y caoba, como se observa en la tabla 9.

En el ensayo Enriquecimiento forestal se establecieron las especies roble, abarco, cedro, achapo, nogal y caoba

Tabla 9. Altura total promedio (m) para seis especies forestales a los 6, 12, 18, 30 y 48 meses de edad en el ensayo Enriquecimiento forestal, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

Especie	Altura 6 meses (m)	Altura 12 meses (m)	Altura 18 meses (m)	Sobrevivencia 30 meses (%)	Altura 30 meses (m)	IMA H 30 meses (m / año)	Altura 48 meses (m)	IMA H 48 meses (m/año)
abarco	0,74	1,23	1,73	100	3,77	1,508	7,1	1,78
achapo	0,67	1,1	1,48	100	3,82	1,528	5,9	1,48
caoba	0,41	0,9	1,17	100	2,01	0,804	3,2	0,80
cedro	0,85	1,15	2	100	3,61	1,444	9	2,25
laurel	0,74	1,13	1,36	100	2,09	0,836	3,1	0,78
roble	0,53	0,97	1,21	100	2,68	1,072	6,2	1,55

IMA H: Incremento medio anual en altura

Fuente: CONIF, 1987a

En el año 1993, con la creación del Instituto Sinchi, las investigaciones iniciadas a través del Convenio CONIF – Holanda, fueron retomadas por la nueva institución

3 Estado de la investigación en el año 1993 en la Estación Experimental (ensayos forestales establecidos entre 1982 – 1984)

En el año 1993, con la creación del Instituto Sinchi, las investigaciones iniciadas a través del Convenio CONIF – Holanda, fueron retomadas por la nueva institución. Para esto, se realizó un inventario de los ensayos existentes en la Estación Experimental, realizando en cada uno de ellos una caracterización detallada sobre su conformación y el estado de desarrollo en que se encontraron los individuos de cada especie. Se definieron las variables de análisis sobre las cuales se adelantaría la consolidación, teniendo en cuenta el mantenimiento y continuidad en los registros y la importancia como indicador de adaptación (permanencia) y crecimiento (diámetro y altura) de la especie a lo largo del periodo de análisis.

De los ensayos existentes quedaron en evaluación las siguientes denominaciones:

- Ensayo Quince Especies
- Ensayo Indígenas I
- Ensayo Indígenas II
- Enriquecimiento Forestal

A partir de 1993, el Instituto Sinchi programó y desarrolló el proceso de evaluación para todos los individuos existentes de cada una de las especies forestales y se continuó con la evaluación de las variables reportadas en los registros previos realizados por CONIF. Con este primer resultado y con la continua valoración y análisis en el periodo 1993 a 2009, se logró desarrollar el objetivo de la investigación y dar respuesta a las hipótesis planteadas. En el proceso para el mantenimiento de las condiciones adecuadas en los ensayos, se programaron y realizaron limpiezas anuales, para facilitar los procesos de medición y de paso promover acciones de capacitación de agricultores y técnicos.

La medición de diámetro a la altura del pecho (1,3 m sobre el suelo) (DAP) se realizó con cinta diamétrica y para las alturas se utilizó el Blume-leiss registrándose toda la información en formatos de campo que posteriormente fueron digitados y procesados. A partir de las dos variables de campo, diámetro y altura se determinó el incremento medio anual (IMA), valor que expresa la tasa de crecimiento anual de cada individuo y permite realizar comparaciones en diferentes condiciones de ensayos y de fecha de establecimiento. Este valor de incremento medio es de gran utilidad porque refleja el crecimiento en un periodo determinado (generalmente un año) y permite proyectar a diferentes edades los valores de crecimiento que pueden alcanzar los individuos de las diferentes especies.

3.1 Ensayo Quince especies (Grupo de especies para diferentes usos)

Este ensayo en el que inicialmente, como su nombre lo indica se sembraron 15 especies, en el año 1993 estaban en pie solamente siete de ellas. Cinco de las especies tienen uso para maderas finas: abarco, achapo, roble, caoba y tachuelo y dos de las especies se emplean en la obtención de postes: pavito y tortolito. En la figura 3 se registra una panorámica del ensayo Quince especies.

A partir de 1993, el Instituto Sinchi programó y desarrolló el proceso de evaluación para todos los individuos existentes de cada una de las especies forestales



Figura 3. Fotografía. Panorámica del ensayo Quince especies en la Estación Experimental del Instituto Sinchi, Guaviare, Colombia

Para 1993, se registraron tres rangos de valores de permanencia para las especies forestales; un primer grupo con valores de permanencia mayores del 75% dentro de los que se encontraban caoba, pavito y roble; un segundo grupo que varía entre el 60% y el 75% con las especies abarco y tachuelo y un tercer grupo con valores menores del 60% en las que están achapo y tortolito. (Ver tabla 10). Esta información en términos de porcentaje de los individuos que permanecieron en la parcela con relación a los inicialmente sembrados, reflejó la capacidad de adaptación de las especies a las condiciones del ensayo (densidades y fertilidad natural).

Tabla 10. Porcentaje de individuos de seis especies forestales que permanecen a los 11 años de edad en el ensayo Quince especies, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

Repeticiones	abarco	achapo	caoba	pavito	roble	tachuelo	tortolito
1	50,0%	61,1%	86,1%	77,8%	88,9%	69,4%	44,4%
2	66,7%	47,2%	94,4%	83,3%	72,2%	0,0%	58,3%
3	72,2%	58,3%	77,8%	86,1%	66,7%	0,0%	55,6%
Total	63,0%	55,6%	86,1%	82,4%	75,9%	23,1%	52,8%

Estos valores para los 11 años de establecimiento y a las distancias de siembra especificadas, se consideran aceptables, y corresponden a la alta densidad del ensayo que motiva una mayor competencia y como consecuencia una más alta mortalidad. De igual manera, este porcentaje es consistente con las condiciones del ensayo, principalmente por la fertilidad natural de los suelos, con condiciones limitantes de los suelos generalmente a menos de 40 cm y valores de pH muy cercanos a 4,5, lo cual los clasificó como extremadamente ácidos. (CONIF 1997a).

Esto permitió definir elementos claves para el manejo de este tipo de ensayos determinando la necesidad de realizar al comienzo, en los cinco primeros años de siembra, prácticas de fertilización orgánica, con una posterior programación y realización periódica, de acuerdo con los crecimientos de las especies y las prácticas silviculturales de podas y raleos realizadas, para garantizar permanencia de los individuos del ensayo. Estos procedimientos de manejo son los que finalmente resultan en recomendaciones a los productores para el buen desarrollo y crecimiento de especies forestales en sistemas de producción sostenible para la región norte amazónica.

En el análisis realizado, se identificó que la especie tachuelo no se adaptó a las condiciones del ensayo ya mencionadas como fueron las distancias de siembra y las bajas condiciones de fertilidad natural. Esta especie, en la evaluación en 1993, tuvo una pérdida del 100% de sus individuos.

En esta primera evaluación desarrollada por el Instituto Sinchi en 1993, se analizaron por separado los comportamientos del diámetro y altura. Esto permitió evidenciar para las especies fores-

En el ensayo Quince especies, para 1993 se registró un primer grupo con valores de permanencia mayores del 75% dentro de los que se encontraban caoba, pavito y roble

En la evaluación de 1993, se observó que el abarco y el achapo fueron las especies de mayor crecimiento en diámetro

tales que permanecieron en este ensayo, que el abarco y el achapo fueron las especies de mejor comportamiento, presentando un diámetro promedio, superior a 22,3 cm; en tanto que las especies caoba y tachuelo fueron las de menor crecimiento, con valores de diámetro inferiores a 12,8 cm.

En la tabla 11, sobre la evaluación de 1993, se observó que el abarco y el achapo fueron las especies de mayor crecimiento en diámetro, presentaron además, un rango muy amplio de los datos, esto es, se registraron individuos con diámetro de 4,5 cm en el extremo inferior y en el extremo superior individuos con valores de 45,2 cm, esto obedeció al alto grado de competencia del ensayo. Para estas especies el Coeficiente de Variación (C.V.) fue de 37,9% para abarco y 35,0% para caoba; a diferencia de las especies achapo, pavito, roble y tachuelo que presentaron un C.V. menor al 30,0%.

Tabla 11. Diámetro promedio (cm) y calificadores para seis especies forestales a los 11 años de edad, en el ensayo Quince especies, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

	Diámetro evaluado en cm en la medición de 1993						
	abarco	achapo	caoba	pavito	roble	tachuelo	tortolito
Total datos	68	60	93	89	82	25	57
Promedio	22,63	22,29	10,64	19,27	13,08	12,75	17,71
C.V	37,9%	27,2%	35,0%	17,5%	27,0%	26,2%	28,1%
Mínimo	4,5	10,0	4,0	12,1	6,4	8,0	6,4
Máximo	45,2	36,0	18,8	30,2	25,1	22,3	30,8
Rango	40,7	26,0	14,8	18,1	18,7	14,3	24,4

C.V.: Coeficiente de variación

Para el análisis del comportamiento del diámetro de cada una de las especies, a partir de sus valores medios; se consideró de gran importancia valorar la estructura diamétrica de los individuos, es decir, el número de individuos que se ubican en las diferentes clases según el diámetro, especificando generalmente clases diamétricas en rangos de 10 cm.

En este contexto, en las evaluaciones por clases diamétricas se estableció para abarco que a los 11 años de edad el 54,5% de los individuos del total que se habían establecido, se encontraba en una clase diamétrica mayor a 20 cm, lo que permitió evidenciar un incremento medio anual en diámetro aproximado a 2,0 cm/año. Para el achapo el 65% superó esta clase diamétrica, indicando un mejor comportamiento en el crecimiento.

Las especies caoba, roble y tachuelo registraron a los 11 años de edad, entre el 70% y 100% de sus individuos en las clases diamétricas menores a 20 cm de diámetro. Adicionalmente, para el conjunto de individuos de todas las especies el 80% de los individuos se encontraban en el rango de 10 cm a 30 cm de diámetro. En esta estructura diamétrica se definió al mejor grupo conformado por las especies abarco, achapo y pavito, con sobresaliente incremento medio anual en diámetro (promedio de 2,0 cm/año) y con comportamiento homogéneo de la mayoría de sus individuos, los cuales alcanzarán el diámetro mínimo de cortabilidad (definido a los 40 cm), en un periodo de 20 años. (Ver tabla 12).

Para las especies caoba, roble, tachuelo y tortolito, con valores aproximados de incremento medio anual en diámetro de 1,0 cm/año y la concentración de la mayoría de sus individuos en ese ritmo de crecimiento, se estableció que sus turnos de aprovechamiento bajo las condiciones del ensayo (densidad máxima y fertilidad natural), son muy largos, cercanos a los 40 años.

Para abarco a los 11 años de edad el 54,5% de los individuos del total que se habían establecido, se encontraba en una clase diamétrica mayor a 20 cm

Tabla 12. Clases diamétricas (cm) y frecuencia para siete especies forestales a los 11 años de edad, en el ensayo Quince especies, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

Clase diamétrica en cm	abarco		achapo		caoba		pavito		roble		tachuelo		tortolito	
	No	%	No	%	No	%	No	%	No	%	No	%	No	%
0 - 9,9	3	4,5%	0	0,0%	42	45,2%	0	0,0%	15	18,3%	4	16,0%	1	1,8%
10 - 19,9	28	42,4%	21	35,0%	51	54,8%	50	56,2%	64	78,0%	20	80,0%	40	70,2%
20 - 29,9	22	33,3%	32	53,3%	0	0,0%	38	42,7%	3	3,7%	1	4,0%	15	26,3%
30 - 39,9	9	13,6%	7	11,7%	0	0,0%	1	1,1%	0	0,0%	0	0,0%	1	1,8%
40 - 49,9	4	6,1%	0	0,0%	0	0,0%		0,0%	0	0,0%	0	0,0%		0,0%
Total	66	100,0%	60	100,0%	93	100,0%	89	100,0%	82	100,0%	25	100,0%	57	100,0%

En este desarrollo investigativo de identificar las especies de mejor comportamiento, se realizó el análisis de varianza, de las dos variables en estudio. En la evaluación de este grupo de especies se encontró a los 11 años de edad, que para el diámetro existieron diferencias significativas entre sus valores medios para abarco, achapo, caoba, pavito, roble, tachuelo y tortolito. Esto se confirma con las observaciones en campo donde las especies abarco y achapo sobresalieron en el crecimiento y roble, tachuelo y tortolito fueron las especies de menor desarrollo.

Este elemento de análisis, que expresó diferencias en el comportamiento del diámetro, conllevó al desarrollo de una prueba de comparación de Tukey, con la finalidad de identificar estadísticamente las especies con diferencias en el crecimiento del diámetro y establecer un rango de similitud en el comportamiento promedio del mismo.

De acuerdo con el análisis de comparación se resaltaron tres grupos: las especies abarco y achapo, como las principales, que correspondieron al grupo A de la prueba de Tukey con valores medios más altos en diámetro variando entre 23,1 cm y 22,3 cm respectivamente y las especies pavito y tortolito con valores de diámetro promedio de 19,3 cm y 17,7 cm en un segundo grupo de importancia referido como grupo B. Finalmente, las especies roble y caoba con el menor valor al año 1993, con valores respectivos de 13,1 cm y 10,9 cm para el crecimiento promedio del diámetro a los 11 años de edad, que integraron el grupo C. Los análisis de comparación se realizaron con un nivel de significancia de 0,05, con una confiabilidad del 95% para la información analizada.

La otra variable estudiada en el ensayo Quince especies, fue la altura para las siete especies forestales mencionadas. Las evaluaciones registraron que a los 11 años de edad, en 1993, las especies abarco, achapo, pavito y tortolito presentaron alturas entre 14,3 m y 15,4 m, lo que permitió evidenciar incrementos medios cercanos a 1,5 m/año.

Comparando el comportamiento de esta variable con el diámetro, se observó un comportamiento más homogéneo de la altura, sustentado en una desviación estándar para el conjunto de las

A los 11 años de edad, para el diámetro existieron diferencias significativas entre sus valores medios para abarco, achapo, caoba, pavito, roble, tachuelo y tortolito

especies menor a 3,0 m y un Coeficiente de variación cercano a 20%, lo que además se reflejó en los rangos de valores de la variable altura, con un valor menor a 14,0 metros.

Estudiando el comportamiento de la altura por cada especie se observó que abarco con 15,4 m, achapo con 15,2 m, pavito con 15,3 m y tortolito con 14,3 m conformaron el primer grupo con las mayores respuestas en incremento de altura. Se consolidó un segundo grupo de menor crecimiento a los 11 años de edad con las especies roble que registró 13,4 m y tachuelo con 11,2 m. Es importante anotar, que las especies con las mayores respuestas en incremento en altura registraron también los rangos más amplios de la variable, es decir, se encontraron individuos con altura muy bajas y otros en el extremo con alturas apreciables, variando entre 6,0 m y 20,0 m, este efecto fue semejante al observado para el diámetro y se debió al alto grado de competencia por las condiciones de distancia de siembra, ya mencionadas.

De la misma manera en que se determinó la estructura diamétrica, en la altura se definen las diferentes clases o rangos. De manera general para los ensayos forestales establecidos en la Estación Experimental, se establecieron clases de altura de 0 m a 5 m, de 5 m a 10 m, de 10 m a 15 m y así sucesivamente.

Para las especies abarco, achapo, pavito y tortolito, las evaluaciones por clases de altura permitieron establecer que cerca del 60% de los individuos presentaron alturas mayores a 15 m, con incrementos medios superiores a 1,5 m/año. La especie caoba, registró el 80% de sus individuos en las clases menores a 10 m, que puede ser debido a las limitaciones en las condiciones de fertilidad y alta competencia. En la tabla 13, se registra la distribución de frecuencias de altura a los 11 años de edad. Al igual que para el diámetro, este análisis permitió definir inicialmente un grupo de especies con excelente incremento medio anual de crecimiento en altura (1,5 m/año) y con un comportamiento homogéneo del 60% de sus individuos, y al relacionar con los valores de diámetro, se pudo determinar la producción esperada de madera a la edad de cortabilidad.

Abarco con 15,4 m, achapo con 15,2 m, pavito con 15,3 m y tortolito con 14,3 m conformaron el primer grupo con las mayores respuestas en incremento de altura

Tabla 13. Clases de altura (m) y frecuencia de siete especies forestales a los 11 años de edad, en el ensayo Quince especies, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

Clase de altura en m	abarco		achapo		caoba		pavito		roble		tachuelo		tortolito	
	No	%	No	%	No	%	No	%	No	%	No	%	No	%
0 - 4,9	0	0,0%	0	0,0%	13	14,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
5 - 9,9	6	9,1%	4	6,7%	62	66,7%	3	3,4%	35	42,7%	5	20,0%	2	3,5%
10 - 14,9	13	19,7%	17	28,3%	18	19,4%	33	37,1%	45	54,9%	19	76,0%	24	42,1%
15 - 19,9	46	69,7%	38	63,3%	0	0,0%	52	58,4%	2	2,4%	1	4,0%	31	54,4%
20 - 24,9	1	1,5%	1	1,7%	0	0,0%	1	1,1%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Total	66	100%	60	100%	93	100%	89	100%	82	100%	25	100%	57	100%

Para la variable altura el análisis de varianza evidenció diferencias significativas entre las medias de las variables y de acuerdo con la prueba de Tukey, para la altura se registró un grupo más homogéneo con las especies abarco, pavito, achapo y tortolito, como las de mejor comportamiento que corresponden al Grupo A, variando entre 15,2 m y 15,7 m. En el segundo grupo B se registró la especie roble con 10,3 m y en un tercer grupo C la especie caoba registró en promedio a los 11 años de edad una altura de 7,8 m.

A partir de esta evaluación inicial del ensayo Quince especies realizada por el Instituto Sinchi, cuando en el año 1993, retomó la investigación forestal iniciada en el año 1982, se consolidaron cuatro especies en este grupo: abarco, pavito, achapo y tortolito como las especies de mejor comportamiento y de mayor potencialidad para establecer en modelos productivos asociados ya que en términos de adaptación a la competencia por luz fueron las de mejor comportamiento en términos de la altura total.

Adicionalmente, su ritmo de crecimiento en diámetro con tasas cercanas a los 2,0 cm/año, la homogeneidad del ritmo de crecimiento del 60% o más de sus individuos, confirmaron a estas especies como las más destacadas para su establecimiento en sistemas productivos regionales.

3.2 Ensayo Indígenas I (Especies nativas priorizadas)

En el año 1993, para los individuos de las especies forestales presentes en el ensayo Indígenas I, el Instituto Sinchi llevó a cabo una revisión de la información disponible y retomó la investigación con evaluaciones de las variables establecidas en el ensayo, ya que su valoración y análisis permitía desarrollar el objetivo y dar respuesta a la hipótesis de investigación planteada. En la figura 4 se muestran árboles de las especies macano y virola, dos de las especies establecidas en el ensayo Indígenas I.

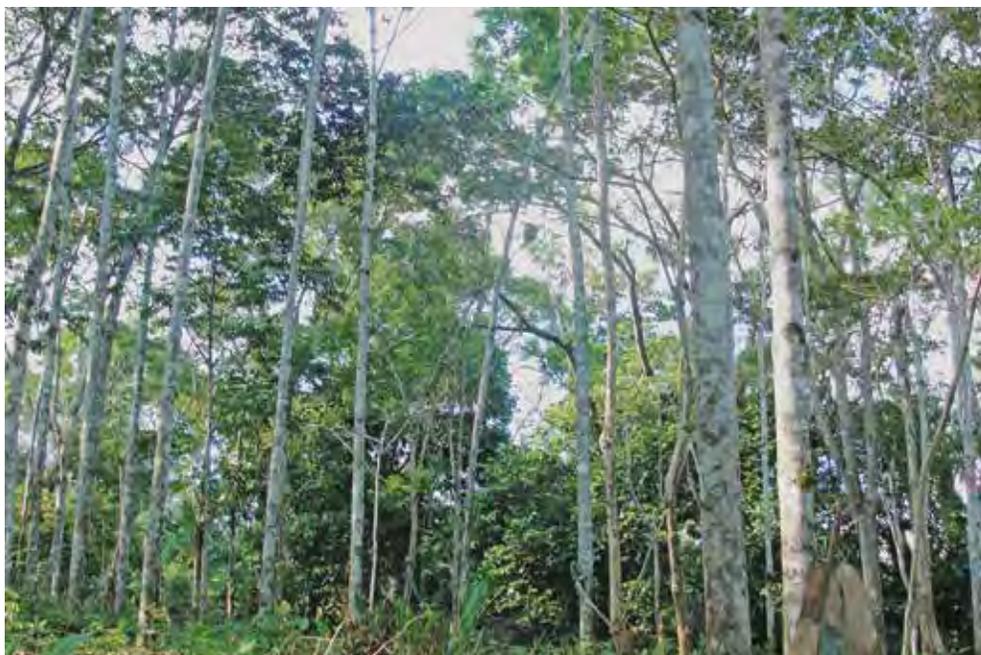


Figura 4. Fotografía. Panorámica de especies forestales establecidas en el ensayo Indígenas I, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

En 1993 en el ensayo Indígenas I, las especies peinemono y nocuito registraron una excelente sobrevivencia (mayor del 80%); a su vez, la especie algarrobo presentó alta mortalidad (82,4%) y bajo desempeño en altura y diámetro. Una de las especies importantes de este grupo de maderables nativas, fue el macano que registró un 64% sobrevivencia. Como se analizó previamente, este rango de

En 1993 en el ensayo Indígenas I, las especies peinemono y nocuito registraron una excelente sobrevivencia (mayor del 80%)

En 1993, a los 10 años de edad, el diámetro promedio para virola, peinemono y macano fue de 13,4 cm

permanencia aunque es moderado, es un indicador de respuesta de estas especies a las condiciones señaladas en los sitios de establecimiento con alta densidad de individuos y serios limitantes físicos en el suelo. El macano, por su porte y ritmo de crecimiento generó una fuerte competencia en esa edad de establecimiento, por lo que su tasa de mortalidad fue de las más bajas del ensayo. Con este primer análisis de adaptación a los 10 años de edad, expresado en términos de la permanencia de los individuos se priorizaron para seguimiento y evaluación bajo los sistemas productivos en estudio las especies macano, peinemono y nocuito.

Con esta identificación y posterior selección de especies forestales nativas de la zona norte amazónica, en el ensayo Indígenas I, se llevó a cabo el análisis para las variables diámetro y altura. En primera instancia, se estableció que en 1993, a los 10 años de edad, el diámetro promedio para virola, peinemono y macano fue de 13,4 cm. La tabla 14 registra los valores promedios de crecimiento y el resultado estadístico de las variables diámetro y altura.

Del grupo de especies, peinemono presentó los valores más altos alcanzando incrementos medios anuales en el diámetro de 1,43 cm/año. Es importante resaltar que este grupo de especies nativas en general no alcanzaron en este primer periodo de evaluación, las tasas de 2,0 cm / año de incremento medio en diámetro necesario para proyecciones de aprovechamiento a los 20 años de establecimiento.

Tabla 14. Diámetro y altura promedio, calificadores y rangos para cuatro especies forestales a los 10 años de edad, en el ensayo Indígenas I, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

	macano		nocuito		peinemono		virola	
	Diámetro (cm)	Altura (m)						
Total datos	62	62	92	92	102	102	52	52
Promedio	13,2	12,1	10,7	8,5	14,2	10,5	12,8	9,2
Desviación Estándar	4,5	3,3	2,8	2,0	4,8	2,2	3,6	2,1
Varianza	19,9	10,8	7,8	3,9	23,5	5,0	13,0	4,5
Mínimo	5,2	5,5	5,0	4,0	4,8	4,0	3,8	5,0
Máximo	24,4	19,0	18,4	12,5	25,9	14,8	18,5	14,0
Rango	19,2	13,5	13,4	8,5	21,1	10,8	14,7	9,0

Para el grupo de especies macano, peinemono, nocuito y virola en la evaluación a los 10 años de edad, se reportaron valores medios de crecimiento en diámetro entre 14,2 cm y 10,7 cm; estos valores, de acuerdo con los reportes de investigaciones para especies tropicales de Toledo, M., Z. Villegas y, J. Justiniano, 2007 y Piotto, Daniel. CATIE, 2001, están dentro del rango normal de crecimiento para estas especies nativas de la región norte amazónica. En registros obtenidos en la Estación Experimental para especies del bosque de segundo crecimiento, sin intervención, se han reportan incrementos medios anuales en diámetro menores a 1,0 cm/año.

En este grupo de especies forestales nativas, para la evaluación de 1993, las cuatro especies registraron un comportamiento muy semejante en cuanto a su crecimiento promedio en diámetro y se observó una alta variabilidad en los datos con valores de diámetro desde 3,8 cm hasta 25,9 cm. Para nocuito y virola, aunque el rango fue más estrecho, igualmente se observó la alta variabilidad con individuos desde 3,8 cm hasta 18,5 cm. En altura total el rango fue más estrecho, con individuos con valores menores de 5,0 m a los 10 años de edad en la evaluación de 1993.

En los análisis por clases diamétricas, la clase predominante para el grupo de especies fue la clase 2 de 10 cm a 20 cm, que reflejó un ritmo de crecimiento bajo. Las especies macano y peinemono, a los 10 años de edad alcanzaron a superar el intervalo de clase de 20 cm a 30 cm, en una proporción cercana al 14,5% de los individuos presentes. Esta información es un indicador que para estas especies el gran porcentaje de sus individuos solo alcanzaron a esta edad valores promedios de incremento en diámetro entre 1,1 cm/año y 1,4 m/año. La estructura de la distribución determinó que los árboles menores de 5,0 m de altura para las diferentes especies fueron entre 1 y 2 individuos, que posiblemente fueron rebrotes posteriores a una pérdida del tallo principal. (Ver tabla 15).

Para macano, peinemono, nocuito y virola en la evaluación a los 10 años de edad, se reportaron valores medios de crecimiento en diámetro entre 14,2 cm y 10,7 cm

Tabla 15. Clases diamétricas (cm) y frecuencia para cuatro especies forestales a los 10 años de edad, en el ensayo Indígenas I, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

Clases de diámetro (cm)	macano		nocuito		peinemono		virola	
	No. de Individuos	Porcentaje %						
0 - 9,9	18	29,0%	32	34,8%	21	20,6%	12	23,1%
10 - 19,9	39	62,9%	60	65,2%	67	65,7%	40	76,9%
20 - 29,9	5	8,1%			14	13,7%		
Total	62	100,0%	92	100,0%	102	100,0%	52	100,0%

Para el ensayo Indígenas I, en la evaluación de 1993, tomada por el Instituto Sinchi como punto de partida para el seguimiento posterior, el análisis de varianza para el diámetro estableció a los 10 años de edad, que existían diferencias significativas entre sus valores medios, para las especies involucradas macano, peinemono, virola y nocuito. A partir del análisis de comparación o prueba de Tukey, se definieron dos grupos: peinemono, virola y macano, como las principales, que corresponden al grupo A con valores medios de diámetro entre 14,2 cm a 12,8 cm y la especie nocuito en un segundo grupo de importancia referido como grupo B. Para la altura, se establecieron dos grupos, de acuerdo con la prueba de comparación, el primero con las especies macano y peinemono en el grupo A, y nocuito y virola en el grupo B.

A partir del análisis del ensayo Indígenas I, a los 10 años de edad para este grupo de especies maderables nativas, se destacó la adaptación y el crecimiento del macano y el peinemono, tanto por sus valores de diámetro como de altura y se resaltó su importancia para su posterior implementación en sistemas de repoblamiento forestal.

Como se describe en los análisis, estas especies forestales nativas alcanzaron incrementos medios anuales en diámetro superiores a 1,0 m/año, valores que son mayores a los registrados para especies nativas en crecimiento en bosques naturales.

3.3 Ensayo Indígenas II

En 1993, el Instituto Sinchi realizó las evaluaciones en términos de adaptación y crecimiento para otro grupo de especies forestales nativas de uso para ebanistería fina a nivel de la región norte amazónica. Este ensayo denominando Indígenas II, establecido en 1984, a los nueve años de edad, registró valores con alta variabilidad entre las cuatro especies arenillo, milpo, trestablas y zapato. En la figura 5 se registran árboles de las especies arenillo y milpo, establecidas en el ensayo Indígenas II.



Figura 5. Fotografía. Panorámica de especies forestales establecidas en el ensayo Indígenas II, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

En el análisis del comportamiento de las variables diámetro y altura, para las especies forestales que permanecieron en el ensayo Indígenas II, a los 9 años de edad se determinó que el milpo alcanzó un excelente crecimiento en diámetro con valor de 17,2 cm, presentando el valor más sobresaliente de incremento medio anual en diámetro, con 2,0 cm/año; que como se ha señalado previamente este valor corresponde a la tasa de crecimiento media necesaria para alcanzar proyecciones de aprovechamiento a los 20 años de edad.

La segunda especie en importancia fue el zapato con un promedio de crecimiento en diámetro de 11,7 cm, a los 9 años de edad, para un incremento medio anual de 1,3 cm/año; sin embargo, esta especie, presentó muy baja sobrevivencia por lo que se reafirma la necesidad de establecerla con las técnicas adecuadas de manejo y en especial bajo sistemas de enriquecimiento de rastrojos.

Del grupo de maderas finas nativas del ensayo Indígenas II, se destacó el milpo que presentó el 79% de permanencia del total de individuos sembrados en el ensayo. En segundo lugar de permanencia se registraron las especies arenillo y zapato con el 56% y fueron estas especies las de menores índices de adaptación en las condiciones de la Estación Experimental. A los 9 años, para la especie trestablas, el 67% de sus individuos permanecían aún en el ensayo. En este grupo, como se ha establecido sobresalió el milpo, sin embargo, esta situación no descartó las otras tres especies, ya que dada su importancia como maderas finas a nivel regional, surgió la recomendación de establecerlas en condiciones de baja densidad de siembra y en mejor calidad de suelos o en sistemas asociados a rastrojos de segundo crecimiento.

La evaluación a los 9 años de edad del ensayo Indígenas II, en 1993, resaltó a la especie milpo, como la de mayor potencial de adaptación y crecimiento, esta especie presentó un mayor rango en los datos de diámetro, con valores entre 8,7 cm y 32,5 cm.

Para las especies milpo, arenillo y zapato, los valores encontrados para el diámetro fueron amplios, registrando valores desde 3,5 cm hasta 32,5 cm. En cuanto a la variable altura total el rango fue más estrecho, sin embargo, se registraron individuos con valores de incremento medio anual en altura menores a 1,0 m/año, de acuerdo con la evaluación de 1993. (Ver tabla 16)

Tabla 16. Diámetro y altura promedio, calificadores y rangos para cuatro especies forestales a los nueve años de edad, establecidas en el ensayo Indígenas II, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

Especie	arenillo				milpo			
	VARIABLES	Diámetro (cm)	Altura (m)	IMAD (cm/año)	IMAH (m/año)	Diámetro (cm)	Altura (m)	IMAD (cm/año)
Total datos	57	57	57	57	85	85	85	85
Promedio	9,72	7,86	1,08	0,87	17,19	12,56	1,91	1,4
Varianza	16,16	9,19	0,2	0,11	21,9	10,86	0,27	0,13
Mínimo	4	4	0,4	0,4	8,7	5	1	0,6
Máximo	22,5	16	2,5	1,8	32,5	18,9	3,6	2,1
Rango	18,5	12	2,1	1,4	23,8	13,9	2,6	1,5

Especie	trestablas				zapato			
	VARIABLES	Diámetro (cm)	Altura (m)	IMAD (cm/año)	IMAH (m/año)	Diámetro (cm)	Altura (m)	IMAD (cm/año)
Total datos	70	70	70	70	60	60	60	60
Promedio	8,78	9,1	0,99	1	11,68	8,54	1,3	0,95
Varianza	8,29	4,94	0,1	0,06	18,22	9,09	0,22	0,11
Mínimo	3,5	4,9	0,4	0,5	3,9	2	0,4	0,2
Máximo	16,4	15,6	1,8	1,7	21,6	15	2,4	1,7
Rango	12,9	10,7	1,4	1,2	17,7	13	2	1,5

IMAD: Incremento medio anual en diámetro

IMAH: Incremento medio anual en altura

Para las especies milpo y zapato el mayor porcentaje (64% y 57% respectivamente), se encontraron en la clase de 10 cm a 20 cm

La estructura diamétrica de los individuos de las especies del ensayo Indígenas II, presentó la tendencia mostrada en el grupo de especies nativas valoradas para diferentes usos (Indígenas I); donde el mayor porcentaje de los individuos estuvieron concentrados en la clase diamétrica entre 0 cm y 10 cm, expresando que la tasa de crecimiento fue muy baja; en este sentido, para arenillo y trestablas, más del 60% se distribuyó en la primera clase diamétrica.

Para las especies milpo y zapato el mayor porcentaje (64% y 57% respectivamente), se encontraron en la clase de 10 cm a 20 cm, con un incremento medio anual superior a 1,3 cm/año, que aunque fue un crecimiento moderado, es consistente con las condiciones de lugar donde está establecido el ensayo.

En este ensayo Indígenas II, a los 9 años de edad, se destacó el milpo que a esta edad registró dos individuos (2,4%) en la clase diamétrica de 30 cm a 40 cm, que permite inferir que esta especie en condiciones apropiadas de manejo puede alcanzar una edad de aprovechamiento antes de los 20 años.

En cuanto a la distribución de las alturas las especies milpo, arenillo, trestablas y zapato registraron una tendencia de crecimiento mayor que en diámetro a la edad de 9 años, De este grupo de especies se destacó de nuevo el milpo con el 50% de sus individuos en la clase de altura de 10 m a 15 m y con el 30% en la clase más alta encontrada que corresponde al rango de 15 m a 20 m. Las especies arenillo, trestablas y zapato concentraron más del 50% de sus individuos en la clase de 5 m a 10 m, siendo estos valores considerados como moderados. Estos valores a los 9 años de edad, definen las acciones para mejorar las condiciones de crecimiento, tales como ampliar distancias de siembra y programar procesos de fertilización para el establecimiento de estas importantes especies forestales en sistemas productivos regionales. La tabla 17 registra los valores de las diferentes clases de diámetro y altura para las cuatro especies del ensayo evaluadas en 1993 a los 9 años de edad.

Tabla 17. Clases diamétricas (cm) y clases de altura (m) y frecuencias para cuatro especies forestales a los nueve años de edad, establecidas en el ensayo Indígenas II, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

Clases diamétricas en cm	arenillo		milpo		trestablas		zapato	
	No	%	No	%	No	%	No	%
0 - 9,9	37	61,7%	8	9,4%	48	66,7%	24	40,0%
10 - 19,9	22	36,7%	54	63,5%	24	33,3%	34	56,7%
20 - 29,9	1	1,7%	21	24,7%	0	0,0%	2	3,3%
30 - 39,9	0	0,0%	2	2,4%	0	0,0%	0	0,0%
Total	60	100,0%	85	100,0%	72	100,0%	60	100,0%

Clases de altura en m	arenillo		milpo		trestablas		zapato	
	No	%	No	%	No	%	No	%
0 - 4,9	14	23,3%	0	0,0%	3	4,2%	6	10,0%
5 - 9,9	30	50,0%	17	20,0%	44	61,1%	34	56,7%
10 - 14,9	15	25,0%	42	49,4%	24	33,3%	19	31,7%
15 - 19,9	1	1,7%	26	30,6%	1	1,4%	1	1,7%
Total	60	100,0%	85	100,0%	72	100,0%	60	100,0%

Para el grupo de especies milpo, arenillo, trestablas y zapato del ensayo Indígenas II, a los 10 años de edad, en el análisis de varianza para el diámetro se presentaron diferencias significativas entre los valores medios lo que ratificó lo encontrado con la información de las variables analizadas en términos absolutos de crecimiento. En este primer análisis se observó en mayor detalle mediante la prueba de comparación múltiple, que permitió definir tres grupos claramente diferenciados en el comportamiento del crecimiento en términos del diámetro.

Con el análisis de comparación, la especie milpo configuró el grupo A, con un valor promedio en diámetro de 17,2 cm, el se-

gundo grupo o categoría B correspondió a la especie zapato con un valor de 11,7 cm de crecimiento en diámetro. Las otras dos especies del ensayo arenillo y trestablas conformaron el grupo C, con valores entre 9,7 cm y 9,0 cm de diámetro promedio a los 9 años de edad, por lo que se consideran especies con bajo potencial de adaptación a las condiciones de establecimiento referenciadas previamente. Para la variable altura el análisis de varianza presentó diferencias significativas en sus respuestas a los 9 años de edad, y de acuerdo con la prueba de comparación realizada, se diferenció el milpo con un valor promedio de 12,6 m como la especie principal que conformó el grupo A, separándose de las tres especies arenillo, trestablas y zapato, que conformaron el grupo B de la prueba de comparación, especies que presentaron una tendencia similar de crecimiento en altura.

Los valores promedios de altura para estas tres especies se ubicaron entre 9,1 m y 7,9 m considerados muy bajos y de acuerdo con lo analizado para las variables de adaptación y crecimiento de este grupo de especies, solamente el milpo se destacó como la principal especie para su promoción en sistemas productivos regionales, sin desconocer, por su importancia forestal que las especies arenillo, trestablas y zapato, pueden mejorar su desempeño bajo técnicas apropiadas para su establecimiento y manejo.

3.4 Ensayo Enriquecimiento forestal

En 1996, se retomó la investigación para este ensayo denominado Enriquecimiento forestal, establecido en 1982 en la Estación Experimental. A los 14 años de edad, cuando se reinició la evaluación del ensayo, se registraron diferencias en el comportamiento para las cuatro especies involucradas, abarco, achapo, caoba y roble. En los porcentajes de sobrevivencia sobresalieron las especies abarco con 91% y achapo con 82%, estas especies se destacaron por su mejor comportamiento y adaptación a las condiciones y al crecimiento bajo una matriz de rastrojo. Para el roble se determinó que permanecieron en el ensayo el 59% de sus individuos mientras que para caoba fue del 52%. En la figura 6 se registra la panorámica de una de las fajas de la especie abarco en el ensayo Enriquecimiento forestal.

En 1996, a los 14 años de edad, en los porcentajes de sobrevivencia sobresalieron las especies abarco con 91% y achapo con 82%



Figura 6. Fotografía. Panorámica de especies forestales establecidas en el ensayo Enriquecimiento forestal, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

Para la evaluación a los 14 años de edad del ensayo de enriquecimiento forestal, los excelentes valores de permanencia registrados para abarco (91%) y achapo (82%), consolidan estas dos especies para su empleo en los sistemas productivos y en especial bajo sistemas de enriquecimiento forestal de rastrojos. Para caoba y roble, los valores de permanencia de individuos a los 14 años de edad evidencian las altas necesidades de luz para estas especies.

Estos resultados han sido básicos en el diseño de estos sistemas, para definir las distancias de siembra y las prácticas más adecuadas de manejo de este tipo de sistema productivo. En este sentido, se ha recomendado para las especies caoba y roble un manejo más riguroso con limpiezas bimensuales de las calles del sistema donde se establecen, haciendo énfasis en control de entrada de luz a los individuos sembrados.

Para el diámetro se destacó el excelente comportamiento de la especie abarco, seguido por el achapo

La especie abarco bajo el sistema de enriquecimiento presentó un rango muy amplio de variación entre individuos para la variable diámetro. Para esta especie a los 14 años de edad se registraron valores entre 8,0 cm hasta 48,0 cm; con las condiciones de establecimiento y de manejo realizado previamente para este ensayo. Esta variabilidad obedece principalmente a problemas de manejo de la luz o a la periodicidad de las limpiezas en las fajas donde se establecieron los individuos. La especie achapo también registró un alto rango de amplitud entre los valores mínimo y máximo, explicado por las mismas razones que para el caso del abarco. Las especies caoba y roble por su lento crecimiento en diámetro, no registraron rangos amplios de variación.

En general, para el diámetro se destacó el excelente comportamiento de la especie abarco, seguido por el achapo mientras que las especies con menor crecimiento correspondieron a la caoba y el roble con valores promedios de diámetro de 7,0 cm y 11,0 cm respectivamente. La especie abarco presentó un diámetro medio de 31,5 cm, siendo uno de los resultados más sobresalientes, ya que considerando la edad se obtuvieron incrementos medios anuales de 2,25 cm/año. Esta tasa crecimiento del diámetro permitió que a los 14 años de edad, el 45% de los individuos estuvieran entre 30 cm y 40 cm y que un 15% de los individuos se registraran en clases superiores al diámetro mínimo de cortabilidad de 40 cm.

En la tabla 18, se registra la evaluación del ensayo Enriquecimiento forestal en 1996, el cual presentó una tendencia similar de crecimiento en diámetro y altura. Se evidenció el excelente comportamiento de abarco con valores promedio de altura de 20,0 m, que le permite estimar una tasa anual de crecimiento de 1,4 m/año, constituyéndose como la especie de mayor potencial por su adaptación y crecimiento. El achapo y el roble, reflejaron la situación de alta competencia por luz en este tipo de sistema de establecimiento y su crecimiento fue muy bajo debido al cierre del dosel superior. Los valores promedios de altura para achapo y roble fueron menores de 11,8 m a los 14 años de edad, que correspondieron a incrementos medios anuales de 0,8 m/año. Para las cuatro especies abarco, achapo, caoba y roble, el comportamiento de la altura presentó una menor dispersión de

los datos con rangos más estrechos, de igual manera, la especie con amplio rango de valores fue el abarco que registró individuos desde 6,6 m a 26,0 m.

En el análisis de varianza realizado para la variable diámetro a este grupo de especies establecidas mediante fajas de enriquecimiento forestal, se encontró que a los 14 años de edad se registraron diferencias significativas entre las medias de la variable diámetro. Con la prueba de Tukey se identificó estadísticamente las especies que presentaron las mayores diferencias en el comportamiento del diámetro, encontrándose tres grupos diferentes, el primero (grupo A) solamente con la especie abarco, la cual registró el mayor diámetro (31,5 cm). El grupo B con un valor medio, lo integró la especie achapo y el grupo C con las especies roble y caoba

Tabla 18. Diámetro y altura promedio, calificadores y rangos para dos especies forestales a los 14 años de edad, establecidas en el ensayo Enriquecimiento forestal, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

	abarco				achapo			
	Diámetro (cm)	Altura (m)	IMA - D (cm/año)	IMA - H (m/año)	Diámetro (cm)	Altura (m)	IMA - D (cm/año)	IMA - H (m/año)
Total datos	40	40	40	40	36	36	36	36
Promedio	31,48	20,05	2,25	1,43	17,61	11,81	1,26	0,84
Varianza	79,3	18,9	0,4	0,1	39,7	12,5	0,2	0,1
Mínimo	8,0	6,6	0,6	0,4	8,0	6,0	0,6	0,4
Máximo	48,0	26,0	3,4	1,9	33,2	18,0	2,4	1,3
Rango	40,0	19,4	2,9	1,5	25,2	12,0	1,8	0,9

IMAD: Incremento medio anual en diámetro

IMAH: Incremento medio anual en altura

En el análisis de varianza de la variable altura total para las especies abarco, achapo, roble y caoba, se encontró que a los 14 años de edad había la misma tendencia ya que se registraron diferencias significativas entre las medias de la variable; donde

el abarco conformó un primer grupo A; seguido en el grupo B aparecieron las especies achapo y roble y finalmente, el grupo C con la especie caoba como la de menor desarrollo tanto en altura como en diámetro, en las condiciones del ensayo de Enriquecimiento forestal.

En las evaluaciones por clases diamétricas, las clases predominantes para el grupo de especies se distribuyeron en la clase de 10 cm y 20 cm, principalmente con roble y caoba que registraron el 100% de los individuos. Abarco por el contrario registró el 80% de los individuos en clases superiores a 20 cm. (Tabla 19).

En el ensayo de Enriquecimiento forestal a los 14 años de edad, se destacó el desarrollo de la especie abarco, donde el 45% de los individuos del arreglo se registraron en la clase próxima al diámetro mínimo de cortabilidad y un 15% de los individuos superaron esa clase diamétrica, asegurando esto la consideración de proyecciones de aprovechamiento forestal a edades menores a los 18 años, producto de los incrementos medios anuales por encima de los 2,0 cm/año para el 60% de los individuos.

En las evaluaciones para las clases de altura al igual que para la distribución diamétrica hubo mucha variabilidad y de igual manera, se destacó la especie abarco donde el 90% de los individuos registraron alturas superiores a los 15,0 m con incrementos medios anuales superiores a 1,5 m/año. El abarco, presentó cerca del 58% de sus individuos en la clase de 20 m a 25 m, que expresó el excelente comportamiento en crecimiento de esta especie y permite promoverla como la especie de mayor potencial para establecer en sistemas de enriquecimiento forestal en el Guaviare.

Para la variable altura, las especies achapo y roble concentran el 80% de sus individuos en el rango entre 5 m y 15 m, lo cual como se estableció para el crecimiento del diámetro es producto del tipo de manejo empleado, en especial la competencia por luz generada por las especies del dosel superior en la cobertura natural.

Tabla 19. Clases diamétricas (cm) y frecuencia para cuatro especies forestales a los 14 años de edad, establecidas en el ensayo Enriquecimiento forestal, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

Clase diamétrica en cm	abarco		achapo		caoba		roble	
	No	%	No	%	No	%	No	%
0 - 9,9	1	2,5%	2	5,6%	18	78,3%	9	34,6%
10 - 19,9	3	7,5%	22	61,1%	5	21,7%	17	65,4%
20 - 29,9	12	30,0%	11	30,6%		0,0%		0,0%
30 - 39,9	18	45,0%	1	2,8%		0,0%		0,0%
40 - 49,9	6	15,0%	0	0,0%		0,0%		0,0%
Total	40	100,0%	36	100,0%	23	100,0%	26	100,0%

Clase de altura en m	abarco		achapo		caoba		roble	
	No	%	No	%	No	%	No	%
0 - 4,9	0	0,0%	0	0,0%	2	9,1%	0	0,0%
5 - 9,9	2	5,0%	11	30,6%	16	72,7%	8	33,3%
10 - 14,9	2	5,0%	15	41,7%	3	13,6%	13	54,2%
15 - 19,9	10	25,0%	10	27,8%	1	4,5%	3	12,5%
20 - 24,9	23	57,5%		0,0%		0,0%		0,0%
25 - 29,9	3	7,5%		0,0%		0,0%		0,0%
Total	40	100,0%	36	100,0%	22	100,0%	24	100,0%

Capítulo 3

Desarrollo forestal período 1993-2009

1 Antecedentes de la investigación forestal

En general el estudio a nivel de especies forestales se ha orientado a valorar los parámetros más importantes que determinan la capacidad de adaptación y desarrollo de una especie bajo un sistema de producción en particular. Aspectos como la sobrevivencia, el diámetro, la altura, el incremento medio anual en altura y el incremento medio anual en diámetro han sido determinados. Para la región tropical y en especial para la Amazonia se han adelantado procesos de investigación conducentes a valorar y seleccionar las especies forestales por su capacidad de adaptación y tasas de crecimiento, que respondan mejor a las condiciones agroambientales de la región. Como todo proceso de investigación, el estado del arte determina la línea base de generación de conocimiento y por ello se referencia a continuación algunos reportes para la América tropical de la investigación forestal.

En el marco del Proyecto BOLFOR del Instituto Boliviano de Investigación Forestal, se reportaron las investigaciones efectuadas por Toledo, et al., (2007), para un grupo de especies de la familia Vochysiaceae sobre aspectos técnicos para su manejo forestal. Se

**Se referencia
algunos
reportes para
la América
tropical de la
investigación
forestal**

determinaron aspectos de crecimiento para camará hembra o blanco (*Erismia uncinatum*), el camará macho (*Qualea paraensis*) y *Vochysia sp.* El estudio cita a Dauber et al., (2003), que reportó para este grupo de especies un incremento en diámetros de 0,63 cm por año. (Toledo, Villegas y Justiniano, 2007)

En esta investigación después de tres años en las parcelas experimentales registraron un incremento diamétrico anual promedio para *Q. paraensis* de 0,43 cm y en las parcelas convencionales de Lago Rey, posterior al año de establecimiento reportó incremento diamétrico de 0,55 cm. Los autores citando a Quesada, 2003, registraron información para Costa Rica con valores en incremento medio anual en diámetros superiores a 0,5 cm.

En la tesis de maestría “Plantaciones forestales en Costa Rica y Nicaragua: comportamiento de las especies y preferencias de los productores en el Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza CATIE, Turrialba, Costa Rica”, se registró para un grupo de especies forestales establecidas en el Canton de Sarapiquí, Heredia, Costa Rica, con edades entre 6 y 11 años, valores de sobrevivencia entre 60% y 87%, correspondiendo a *Calophyllum brasiliense* (cachicamo) el 87% con un número de árboles por ha de 840; *Vochysia guatemalensis* registra 75,1%, *Terminalia amazonia* con 69% y *Gmelina arborea* con 59,5% (Piotto , 2001),

A nivel de crecimiento de especies forestales en sistemas de cultivos, se reportaron los registros obtenidos en el 2003 para la selva tropical peruana por Pronaturaleza, con el apoyo de The Nature Conservancy (TNC), en el marco del Proyecto de Secuestro de Carbono denominado “Acción Climática en Selva Central, para la zona de amortiguamiento de Tres Áreas Naturales Protegidas en la provincia de Oxapampa” (Parque Nacional Yanachaga – Chemillén, Reserva Comunal Yanesha y Bosque de Protección San Matías – San Carlos). Palomino y Barra (2003). En este proyecto para la provincia de Oxapampa la especie *Cedrelinga cateniformis* (achapo o tornillo) para el distrito de Palcazú en un sistema agroforestal con yuca a la edad de 5 años y con distancias de siembra de 5 por 5 m, se reportaron incrementos medios anuales de 4,0 cm/año en diámetro y de 3,4 m/año en altura y un incremento de volumen anual de 0,0748 m³.

Adicionalmente, en este estudio se observó que esta especie establecida en un sistema de enriquecimiento en rastrojo (purma)

alto a la edad de 6 años, presentó incrementos medios en diámetro, altura y volumen respectivamente de 2,2 cm/año, 1,8 m/año y 0,0172 m³/año. Igualmente, señalan que para un grupo de especies nativas valoradas en esta región, consideradas como de alta prioridad para programas de reforestación, ulcumano *Nageia rospigliosii*, paca (*Inga* spp.) y el tornillo presentaron los mejores valores de crecimiento en diámetro y altura.

En Colombia para la especie forestal peinemono (*Apeiba aspera*), a los 10 años de edad, en estudios desarrollados en el Centro Forestal Tropical del Bajo Calima –CFT– y publicados por el trabajo “Los resultados preliminares del *Arboretum* del Centro Forestal Tropical Bajo Calima”, la especie peinemono reportó una altura de 7,4 m, un diámetro de 7,2 cm y un porcentaje de supervivencia de 80,3%.

Para *Genipa americana* L, el estudio de Francis, (1993), publicado por U.S. Department of Agriculture, Forest Service, reporta para el Bosque Nacional de Tapajos en Brasil, a 32 meses de edad una altura de 3,0 a 3,6 cm en diámetro y un 84% de sobrevivencia. Esta misma especie en una unidad fisiográfica de sabana localizada en Venezuela, registró una altura de 3,0 m a los cinco años. En el departamento del Cauca en Colombia, a los 3,5 años de edad, presentó una altura promedio de 5,2 m, un diámetro promedio de 4,2 cm y un 80% sobrevivencia. En Minas Gerais en Brasil a los nueve años, registraron 2,2 cm en diámetro, 8,7 m de altura y 19,8 m³/ha de volumen y reportaron 13,1 toneladas secas de madera por hectárea. En Puerto Rico, dos árboles de 49 años presentaron diámetros de 43,0 y 53,0 cm y 18,0 y 28,0 m de altura respectivamente. Francis. (1993)

En el Informe Anual 2007-2008 de la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola, se registraron para la región de La Masica, a los 20 años de edad y en las condiciones de la costa atlántica del país, especies como laurel negro, caoba, cedro real y framire que presentaron rendimientos promedios por árbol entre 1,81 m³/árbol y 3,50 m³/árbol. (Fundación Hondureña de Investigación Agrícola, 2008).

Teniendo en cuenta los diferentes tipos de siembra, se encontraron para un grupo importante de especies forestales establecidas en líneas como cercos para zonas de ganadería, valores muy sobresalientes, debido a que se establecieron a grandes distancias (en general en hileras simples) entre 150 a 124 árboles por 1000 m. De este grupo

las principales especies fueron: *Vochysia guatemalensis* que a la edad de 12 años presentó incrementos medios anuales en diámetro, altura y volumen de 4,6 cm/año, 1,7 m/año y 2,32 m³/año, respectivamente; el *Cordia megalantha* con 3,2 cm/año, 1,1 m/año y 3,5 m³/año; el caoba con 2,5 cm/año, 1,0 m/año y 2,0 m³/año, y el *Cedrela odorata* con 2,9 cm/año, 1,0 m/año y 2,65 m³/año respectivamente. (Fundación Hondureña de Investigación Agrícola, 2008).

Para el grupo de especies valoradas en el Canton de Sarapiquí, Heredia, Costa Rica, con edades entre 6 y 11 años, se registraron los valores referidos a los incrementos medios anuales en diámetro, altura y volumen que se observan en la tabla 20.

Tabla 20. Incrementos medios anuales (IMA) en diámetro, altura y volumen de nueve especies forestales con edades entre 6 y 11 años. Canton de Sarapiquí, Heredia, Costa Rica

Especie	IMA diámetro (cm/año)	IMA altura (m/año)	IMA volumen (m ³ /año)
<i>Gmelina arborea</i>	2,9	2,24	31,49
<i>Vochysia guatemalensis</i>	2,59	1,90	23,51
<i>Terminalia amazonia</i>	2,36	1,97	17,66
<i>Tectona grandis</i>	2,36	1,88	21,39
<i>Cordia alliodora</i>	2,09	1,68	15,67
<i>Virola koschnyi</i>	1,95	1,41	11,47
<i>Hieronyma alchorneoides</i>	1,85	1,71	10,21
<i>Dipteryx panamensis</i>	1,73	1,94	1,90
<i>Calophyllum brasiliense</i>	1,48	1,29	5,95

IMA: Incrementos medios anuales

Fuente: PIOTTO DANIEL. CATIE, 2001

En este estudio de Daniel Piotto en 2001, se registraron para el grupo de especies denominado Plantación 1 con edad de 10,3 años, valores para *Vochysia guatemalensis* en plantación mixta un diámetro, altura y sobrevivencia de 31,3 cm, 27,5 m y 55% respectivamente; por otra parte, esta especie en plantación pura registró respectivamente para estas variables valores de 23,5 cm, 18,9 m y 28%. Adicionalmente, de este grupo, la especie *Jacaran-*

da copaia para las variables mencionadas presentó en plantación mixta valores de 27,9 cm, 27,1 m y 53,5% y para plantación pura se encontraron registros de 21,8 cm, 22,0 m y 32% respectivamente. La especie de menor crecimiento del grupo reseñado fue *Calophyllum brasiliense*, la cual en plantación mixta registró para diámetro 11,4 cm, en altura 10,7 m y sobrevivencia de 33,7%, y en el sistema de plantación pura se registraron los siguientes valores respectivos 17,5 cm, 12,9 m y 28,7%. (Pioto, 2001)

En este estudio, en el tipo de ensayo denominado Plantación 2 para 10 años de edad, las especies *Terminalia amazonia* y *Virola koschnyi*, presentaron valores estadísticamente similares en diámetro altura y sobrevivencia con los respectivos valores para *T. amazonia* de 25,3 cm, 19,1 m y 34,2% en plantación mixta y para plantación pura registró 22,2 cm, 18,4 m y 21,6%; para la especie *V. koschnyi* en plantación mixta en diámetro, altura y sobrevivencia registró 20,7 cm, 16,1 m y 44% y en plantación pura se dieron valores de 21,8 cm, 18,6 m y 31,2%. (Pioto, 2001)

En la tabla 21 se registra otro de los importantes grupos de especies forestales valorados en el estudio de Daniel Piotto. Se establecieron valores para el diámetro, la altura y la sobrevivencia para la plantación 3, a una edad de 9 años para las especies *Genipa americana*, *Vochysia ferruginea*, *Hieronima alchorneoides* y *Balizia elegans*.

Tabla 21. Diámetro, altura y sobrevivencia de cuatro especies forestales con nueve años de edad. Canton de Sarapiquí, Heredia, Costa Rica

Especie	Parcela	Diámetro (cm)	Altura (m)	Sobrevivencia (%)
<i>Genipa americana</i>	pura	11,01	9,93	24,0
<i>Genipa americana</i>	mixta	2,15	2,25	24,0
<i>Vochysia ferruginea</i>	pura	20,78	15,83	28,6
<i>Vochysia ferruginea</i>	mixta	16,79	13,49	50,2
<i>Hieronima alchorneoides</i>	pura	15,34	14,32	29,5
<i>Hieronima alchorneoides</i>	mixta	17,99	17,35	51,5
<i>Balizia elegans</i>	pura	16,45	13,65	34,7
<i>Balizia elegans</i>	mixta	16,80	14,11	41,6

Fuente: Pioto, D. 2001

Del grupo de especies para la Plantación 1 de 10,3 años en la investigación de Piotto (2001), se reportaron a *Jacaranda copaia* y *Vochysia guatemalensis* con valores de área basal entre 28,9 y 29,5 m²/ha y volumen en m³/ha entre 301,0 y 332,0; del grupo Plantación 1 la especie *Calophyllum brasiliense* registró para área basal y volumen con valores de 16,7 m²/ha y 115,0 m³/ha respectivamente. En el grupo de especies Plantación 2 de 10 años en producción, la especie *Terminalia amazonia* registró valores de 20,8 m²/ha, 213,0 m³/ha y en el grupo Plantación 3 con edad de 9 años, para la especie *Genipa americana* presentó 6,1 m²/ha y 36,4 m³/ha. Se destacó la especie *Vochysia ferruginea* con valores de 24,7 m²/ha y 207,6 m³/ha. Piotto, reportó resultados para plantaciones forestales con especies del trópico seco de Costa Rica, mediante parcelas establecidas en 1995 en la península de Nicoya en el pacífico norte, con las distancias de siembra que corresponden a 3 m por 3 m.

En la tabla 22, se reportan a los 68 meses de edad, las variables de altura, diámetro y sobrevivencia para las especies *Platymiscium parviflorum*, *P. pinnatum*, *Swietenia macrophylla* y *Cedrela odorata*. Para estas especies en cuanto a las variables de producción se registraron los siguientes valores: para *P. parviflorum* 0,77 m²/ha de área basal y 151,0 m³/ha de volumen; para *Swietenia macrophylla* valores de 4,15 m²/ha 12,35 m³/ha y para *C. odorata* valores de 0,44 m²/ha y 1,21 m³/ha respectivamente (Pioto, 2001)

Tabla 22. Incrementos medios anuales (IMA) en diámetro, altura y sobrevivencia de cuatro especies forestales con edad de 68 meses

Especie	Parcela	IMA altura (m/año)	IMA diámetro (cm/año)	Sobrevivencia (%)
<i>Platymiscium parviflorum</i>	pura	2,96	4,03	50,0
<i>Platymiscium parviflorum</i>	mixta	3,14	4,39	35,0
<i>Platymiscium pinnatum</i>	pura	3,73	4,36	16,0
<i>Platymiscium pinnatum</i>	mixta	3,38	3,60	21,3
<i>Swietenia macrophylla</i>	pura	4,92	7,86	62,0
<i>Swietenia macrophylla</i>	mixta	5,10	7,92	76,2
<i>Cedrela odorata</i>	pura	1,66	3,03	11,0
<i>Cedrela odorata</i>	mixta	5,44	10,98	12,5

IMA: Incrementos medios anuales

Fuente: Pioto D. 2001

Para la zona norte de Colombia en el departamento de Santander, se han evaluado especies forestales en plantaciones que fueron establecidas entre 1989 y 2002. Los resultados están registrados en el documento “Potencial de especies forestales nativas para la reforestación en el área de jurisdicción de la corporación CDMB, Santander, con los autores Milagro León, Escobar Múnera, Pablo Enrique Sarmiento Sánchez y José Luis López Otero”. La investigación se desarrolló en los municipios de El Playón, Girón, Floridablanca y Piedecuesta, pertenecientes al área de jurisdicción de la CDMB. (Escobar, et al., s.f.).

El ensayo se estableció mediante fajas de enriquecimiento. Se reportó el crecimiento para abarco (*Cariniana pyriformis*) con seis años de edad, valores de IMA en diámetro de 1,1 cm/año, creciendo en sitios con 50 - 100% o más de pendiente. Los autores adicionalmente establecieron una clasificación de comportamiento en la que combinan IMA y sobrevivencia destacando la mejor clasificación para IMA en altura superior a 1,0 m/año y sobrevivencia mayor del 85%.

Para la especie *Terminalia amazonia* reportada en la serie Técnica No 339 de CATIE, se establecieron diferentes tasas de crecimiento de acuerdo con las diferentes condiciones del sitio de plantación. Se registraron los datos para Costa Rica a partir de una condición baja de índice de sitio (IS = 9) con 1,0 cm/año en diámetro y 0,7 m/año en altura. Para sitios medios (IS = 17), los incrementos medios anuales en diámetro y altura de *T. amazonia* fueron de 1,6 cm/año y 1,3 m/año. Para sitios de alta producción (IS = 25) presentaron 2,4 cm/año en promedio de incremento medio anual en diámetro, en altura, un valor de 2,4 m/año en promedio (Montero, 2005).

En el Perú, Flores, et al., en 2004, en su publicación “Crecimiento y productividad de plantaciones de seis especies forestales nativas de 20 años de edad en el bosque Alexander Von Humboldt, Amazonia peruana”, presentaron resultados de plantaciones de *Cedrelinga cateniformis*, *Amburana cearensis*, *Copaifera reticulata*, *Aspidosperma macrocarpon*, *Swietenia macrophylla* y *Simarouba amara*, en el Bosque Nacional Alexander Von Humboldt de Perú. En este estudio, el grupo de especies forestales fueron establecidas en diseños al azar con repeticiones, sembrada a 3 m por 3 m en plantaciones puras y a distancia de 10 m a 20 m entre líneas y

de 3 m a 5 m entre árboles para las fajas de enriquecimiento. Se destacó la especie *C. cateniformis* con altura promedio de 26,4 m y diámetro promedio de 35,8 cm en plantación pura, con área basal por hectárea de 30,35 m² y volumen promedio por hectárea de 380,2 m³, a una edad de 20 años. A esta misma edad, la *S. amara* fue la segunda especie con mejor diámetro promedio con 16,2 cm. En la tabla 23 y tabla 24 se registra el crecimiento del grupo de especies evaluadas. Se registró además información sobre el comportamiento de la especie *C. cateniformis* en fajas de enriquecimiento, con valores de diámetro promedio de 30,7 cm a los veinte años, para un valor de 1,6 cm/año de incremento medio anual. Para la variable altura, la especie *C. cateniformis* presentó a los 20 años de edad un promedio de 23,2 m de altura con un IMA en altura de 1,14 cm/año (Flores, et al., 2004).

El autor se refiere a este valor citando a Dawkins (1958) como el promedio adecuado para crecimiento de la especie en fajas de enriquecimiento en el trópico: 1, 0 a 1,5 m/año. De esta evaluación el menor crecimiento reportado para un tratamiento específico, corresponde a 17,56 cm de diámetro y 17,04 m de altura y con incrementos medios anuales de 0,98 cm/año para el diámetro y 0,96 m/año para la altura (Flores, et al., 2004).

Tabla 23. Diámetro (cm) y altura (m) e incremento medio anual (IMA) promedio de cuatro especies forestales en plantaciones puras en el Bosque Nacional Alexander Von Humboldt, Perú

Especie	Diámetro (cm)	IMA diámetro (cm/año)	Altura (m)	IMA altura (m/año)
<i>Cedrelinga cateniformis</i>	35,80	1,96	26,42	1,42
<i>Simarouba amara</i>	16,23	0,87	14,12	0,75
<i>Copaifera reticulata</i>	13,95	0,75	8,07	0,40
<i>Amburana cearensis</i>	12,20	0,63	8,60	0,45

IMA: Incrementos medios anuales

Fuente: Flores *et al.*, 2004

Tabla 24. Productividad de plantaciones puras de cuatro especies forestales nativas en el Bosque A. Von Humboldt, Perú

Especie	Área basal (m ² /ha)	Volumen (m ³ /ha)	Incremento medio anual en volumen (m ³ /ha/año)
<i>Cedrelinga cateniformis</i>	30,35	380,20	21,43
<i>Simarouba amara</i>	16,17	120,83	6,80
<i>Copaifera reticulata</i>	12,87	58,30	3,30
<i>Amburana cearensis</i>	10,42	57,95	3,27

Fuente: Flores *et al*, 2004

En este tipo de sistema de enriquecimiento forestal se registraron diferencias altamente significativas entre los diferentes tratamientos para las variables de producción. Se estableció que el mejor tratamiento presentó un área basal por hectárea de 23,8 m² y un volumen por hectárea de 226,9 m³; sin embargo, la medida promedio de estas variables se reportó para área basal entre 1,8 y 5,6 m²/ha y para volumen entre 17,3 y 69,3 m³/ha. (Flores, et al. 2004)

En el trabajo de Rodríguez, L. en 1999, referido al análisis de crecimiento de la especie caoba (*Swietenia macrophylla*) asociada a tres especies de *Inga spp* en la región tropical húmeda de Costa Rica se registraron para esta especie a la edad de tres años, valores de altura y diámetro en plantaciones establecidas en Las Mercedes de Guacimo, provincia de Limón Costa Rica. Las distancias de siembra correspondieron a 3 m por 3 m; utilizando en el estudio la variable área transversal como una expresión del diámetro, se reportaron valores entre 11,5 y 18,3 cm² y para la variable altura valores entre 2,8 m a 3,8 m a los 3 años de edad. (Rodríguez, 1999)

En la región de Amazonia central de Brasil, en la investigación desarrollada para la especie *Minquartia guianensis* por Camargo en 2004; se reportó que esta especie en condiciones naturales alcanzó un diámetro de 85,0 cm, y entre 10,0 a 20,0 m de altura. Estos autores, citando a Contudo (2002), referencian para Corcovado, Costa Rica, diámetro hasta de 180,0 cm y 70,0 m de altura.

Adicionalmente, sobre la producción de la especie citan a Jankowsky (1990) que estableció para 13 a 19 árboles de la cober-

tura natural valores registrados con un volumen promedio de 1,3 m³/ha. Por otra parte, para esta especie *M. guianensis* en el estudio de “Árboles de Centroamérica” de OFI-CATIE, s. f., concuerda con las afirmaciones de Camargo & Ferraz, encontrando que en la cobertura natural boscosa los árboles presentaron muy lento crecimiento y mortalidad alta. En esta publicación, se estableció que la especie bajo tratamiento silvicultural en cobertura natural boscosa el crecimiento aumenta casi el doble: de 4 a 7 mm/año en diámetro, mientras que la especie creciendo en potreros, registró un crecimiento menor en altura. (Camargo & Ferraz, 2004)

En el estudio de OFI-CATIE, se relacionan para plantaciones puras en Sarapiquí, Costa Rica, árboles con alturas de 1,1 m y 1,2 m y diámetro de 1,3 cm y 1,2 cm, respectivamente, a los tres años de edad y en otras plantaciones, a los nueve años, alturas de 3,0 m a 6,0 m y diámetro de 7,0 cm. (OFI-CATIE, s. f.)

En Colombia, en el documento “Guías silviculturales”, de Ospina, et al., publicado en 2008 por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Centro Nacional de Investigaciones de Café y Kfw; reportó para la especie *Tabebuia rosea* la producción de la especie para diferentes plantaciones en los departamentos de Cesar, Santander, Antioquia, Caldas, Tolima, Córdoba y Sucre. (Ospina, et al., 2008). Se elaboraron modelos de predicción para altura, volumen y biomasa. Para el volumen (v) en m³/árbol, se cubicaron y pesaron 27 árboles con diámetros inferiores a 25 cm y altura menores de 20 m, obteniendo ecuaciones de volumen con corteza (vcc), volumen sin corteza (vsc) y peso fresco total del tallo (pft).

Se definió la ecuación para altura (h) en función del diámetro (d), como: $h=0,0232*d^2+0,2594*d+1,4244$ y para volumen las ecuaciones: 1) $Ln vcc= b_0+b_1* Ln (d+1) + b_2*Ln (h)$; 2) $vcc=e(-9,836+2,301*Ln(d+1)+0,526*Ln(h))$; 3) $Ln vsc= b_0+b_1* Ln (d) + b_2*Ln (h)$; 4) $vsc=e(-8,957+2,303*Ln(d)+0,048*Ln(h))$.

Para el peso en fresco con corteza se obtuvo la ecuación $pfcc=3,6299+849,94*vcc$. De acuerdo con estos resultados, se reportó que 1,0 m³ de madera de la especie *Tabebuia rosea* en estado verde pesa 853,6 kg. Adicionalmente, se reportó para esta especie rendimientos bajos (menos de 10,0 m³/ha/año) y alta susceptibilidad a problemas fitosanitarios. Del estudio también se destacó la informa-

ción de producción de la especie a 10 años bajo sistema silvopastoril, con un promedio de 5,0 m³/ha/año. (Ospina, et al., 2008)

Continuando con el tema de producción de las especies forestales establecidas mediante plantación, las investigaciones efectuadas por Solís y Moya citan a Acuña, (2000), que estableció que la especie *Vochysia guatemalensis*, en plantaciones en Costa Rica con edades entre 4 y 9 años, registró alturas de 8,8 m a 19,20 m y diámetro de 10,0 cm a 29,50 cm. (Solís & Moya, 2001). El autor planteo en su investigación la importancia del manejo silvicultural, especificando que individuos de *Vochysia guatemalensis* sin podas ni raleos, presentaron incrementos medios anuales en diámetro menor a 2,5 cm/año para los primeros cuatro años; comparado con 3,8 cm/año de incremento en diámetro y en altura de 2,9 m/año bajo tratamientos silviculturales. Estos mismos autores citando a Calvo y Arias (2002), en Costa Rica, registraron valores de crecimiento promedio para plantaciones a los 6 años de 9,46 m y de igual manera, en la referencia del documento de Arias (1992) expresaron para edad de tres años crecimientos medios anuales de 2,7 m/año en altura y de 3,4 cm/año en diámetro (Solís & Moya, 2001).

2 Antecedentes de la investigación forestal adelantada por el Instituto Sinchi entre 1993 Y 2009

2.1 Objetivos de la evaluación de especies forestales

La Ley 99 que da origen al Instituto Sinchi, le establece como objetivo misional para la Amazonia colombiana, la necesidad de realizar investigaciones científicas sobre la realidad biológica, social y ecológica de la región, con el propósito de orientar y construir alternativas de solución en el marco del desarrollo sostenible para la región. En este sentido, teniendo en cuenta las funciones dadas por el Decreto 1603 de 1993, se plantea un proceso de investigación orientado a la construcción de sistemas productivos sostenibles, que permitan a los productores amazónicos establecer relaciones de equilibrio con el ecosistema, acordes con la vocación forestal de sus suelos, manejando sosteniblemente los recursos y logrando ingresos de sus actividades productivas que aporten al mejoramiento de sus condiciones de vida.

La Ley 99 de 1993, que da origen al Instituto Sinchi, establece como objetivo misional para la Amazonia colombiana la necesidad de realizar investigaciones científicas sobre la realidad biológica, social y ecológica de la región

El Instituto Sinchi retomó la investigación iniciada por CONIF en 1982 y con base en la investigación forestal en condiciones *Ex situ*, desarrollada por dicha Corporación se seleccionaron las especies de mejor comportamiento y desarrollo con el objetivo de incorporarlas en fincas de productores del norte amazónico en sistemas productivos sostenibles a partir de 1993.

Para el logro de ese objetivo, es necesario considerar que en la investigación forestal los ensayos con diferentes especies forestales, es decir, árboles de lento crecimiento requieren de periodos largos de evaluación (los turnos de aprovechamiento o edad de aprovechamiento son mayores de 20 años) y del registro de variables de fácil medición como el diámetro normal y la altura, que se consideran como de los mejores indicadores del crecimiento de las especies y por ende de su capacidad de adaptación, desarrollo y productividad.

Además, esta productividad como objetivo ulterior de la investigación forestal, analiza y se describe a través de las variables de volumen y biomasa, las cuales se obtienen a partir de las dos variables mencionadas (diámetro y altura); ya sea a partir de la elaboración de expresiones de volumen y biomasa mediante fórmulas muy generales reportadas; o también, mediante la construcción de ecuaciones de regresión. Del registro y análisis continuo del diámetro y altura para los individuos de las diferentes especies forestales en investigación, se obtienen elementos para determinar la producción forestal. Por lo tanto, la pregunta de investigación acerca de cuáles son las especies forestales que tienen el mejor comportamiento y producción para ser establecidas en procesos de repoblamiento forestal, se mantiene y se desarrolla a partir de la línea base identificada. En términos estadísticos la hipótesis formulada establece:

Ho: $U_1 = U_2 \dots = U_n$

Ha: U_1 diferente $U_2 \dots$ Diferente U_n

U_i . Media o promedio de la variable de análisis

2.2 Metodología

A partir del año 1993, dentro del accionar del Instituto Sinchi, se estableció un plan de mantenimiento de los ensayos localizados en la Estación Experimental El Trueno, fundamentado en realizar dos momentos de control de Harvenses cada año y un control de

En la investigación forestal los ensayos con diferentes especies forestales, es decir, árboles de lento crecimiento requieren de periodos largos de evaluación

plagas según su identificación mediante prácticas de manejo y el uso de productos de síntesis química. A partir del año 1995 se involucra el concepto de la trefobiosis y la agricultura orgánica con lo cual se comenzó a implementar un manejo integrado que involucró abonamiento y control de plagas con base en productos orgánicos desarrollados y producidos en la Estación.

2.3 Variables de análisis

Se estableció un plan anual de medición de las variables de análisis, con el empleo de personal y los equipos correspondientes, los cuales se presentan en la tabla 25 con sus características e instrumentos de valoración.

Tabla 25. Variables de análisis

Variable	Unidad	Formula o modo de registro	Instrumento
Sobrevivencia o permanencia	Número	Número absoluto de individuos permanecen en la parcela	conteo
Altura	metros	Altura total del individuo	Blume - Leiss o Hipsómetro
Diámetro	centímetros	Diámetro medido a la altura de 1,3 m	cinta diamétrica
Edad	años	tiempo desde el establecimiento	
Diámetro de copa	metros	(diámetro en eje X + diámetro en eje Y) / 2	cinta métrica
Incrementos medios anuales de altura	metros / años	Altura total / edad	
Incrementos medios anuales de altura diámetro	centímetros / años	Diámetro / edad	
Incrementos medios anuales de altura diámetro de copa	metros / años	Diámetro de copa / edad	
Área de copa	metros cuadrados	$PI \times d^2/4$	
Incrementos medios anuales de área de copa	metros cuadrados / años	Área de copa / edad	
Volumen	metros cúbicos	Ecuación en función de diámetro y altura	
Biomasa	kilogramos	Ecuación en función de diámetro y altura	
Incrementos medios anuales de volumen	metros cúbicos / años	Volumen / edad	
Incrementos medios anuales de biomasa	kilogramos / años	Biomasa / edad	

La información de estas variables, una vez tomada en campo quedó debidamente registrada en bases de datos Excel. Se realizaron las acciones de medición de diámetro con cinta diamétrica y Blume-leiss para las alturas, variables que cumplen su papel de indicadores de crecimiento de las especies.

A partir del año 2005 se incluyó la valoración de ocupación espacial o proyección del suelo medidos en términos del diámetro de copa tomando la copa de cada uno de los individuos. Esta medición de las copas se realizó con cinta métrica y se midieron en campo los dos ejes X y Y, perpendiculares entre sí.

A partir del año 2007 se iniciaron los procedimientos para medir en campo y mediante pruebas de laboratorio, el volumen y la biomasa (en el capítulo 4 se detalla la metodología para este proceso), que son indicadores del comportamiento de las especies, pero que además, apuntan a resolver parte de la pregunta de investigación acerca de la producción de las especies forestales en condiciones de ensayo *Ex situ*. Para el análisis estadístico, la igualdad o diferencia entre los valores medios de las variables solo es posible calificarla a partir del análisis de varianza y de las pruebas de comparación múltiple.

Para las variables diámetro y altura se construyeron las ecuaciones que expresaran el comportamiento de la variable en función de la edad

2.4 Marco del análisis estadístico

Para el conjunto de las mediciones de las variables reportadas para el periodo 1993 a 2009, de los diferentes ensayos se realizó el análisis de varianza considerando los diversos factores influyentes en el comportamiento de las variables. Se tomaron en cuenta los factores de bloque o repetición, edades, especies y las combinaciones bloque por edad y edad por especie.

Para los ensayos en el periodo 1993 a 2009, correspondiente a 16 años de evaluaciones, para las variables diámetro y altura se construyeron las ecuaciones que expresaran el comportamiento de la variable en función de la edad. Para la construcción de las ecuaciones, se tomaron los datos medios por especie, por edad, por bloque del periodo de medición señalado y se estimaron los coeficientes y la obtención del modelo mediante el análisis de regresión del paquete estadístico Statistix 9. Se probaron diferentes modelos de tipo lineal, exponencial y "Freundlich" ($Y = a \cdot X^b$).

Se calificaron los mejores modelos de acuerdo con los parámetros de promedio de las sumatoria de residuales cuadrados (MSE), la desviación estándar (SD), el coeficiente de determinación R^2 y el grado de significancia de los coeficientes obtenidos teniendo en cuenta modelos solamente con coeficientes positivos, ya que al considerar valores de coeficientes negativos la variable calculada podría obtener valores negativos que no se ajustan a la realidad.

2.5. Establecimiento de nuevos ensayos

2.5.1 Ensayo Báscula

El Instituto Sinchi estableció este ensayo en la Estación Experimental en el año 2000, su objetivo se orientó a complementar la información existente de crecimiento y producción de especies forestales y la determinación de otro grupo de especies nativas maderables de mayor potencial de producción forestal para la región. Las especies evaluadas fueron *Myroxylon balsamum* (bálsamo), *Aspidosperma sp* (brasil), *Pachira quinata* (cedromacho), *Carapa guianensis* (carapa) y *Genipa americana* (caruto).

Se estableció un diseño de bloques completamente al azar (tres bloques), con tres repeticiones para cada una de las especies. Cada individuo se sembró a distancia de 3 m por 3 m en cuadrado y se establecieron 36 individuos de la especie en cada repetición, en total para cada especie se establecieron tres parcelas por 36 individuos para 108 individuos.

A partir del primer año, se comenzó la evaluación anual de acuerdo con el análisis de las variables de sobrevivencia y altura. Desde el año 2004 se inició la medición del diámetro. En la figura 7 se presenta una panorámica del ensayo establecido en la Estación Experimental.

El Instituto Sinchi estableció el ensayo Báscula en la Estación Experimental en el año 2000, con las especies *Myroxylon balsamum*, *Aspidosperma sp*, *Pachira quinata*, *Carapa guianensis* y *Genipa americana*



El ensayo Caldera se inició por parte del Instituto Sinchi en el año 2001 con las especies *Aspidosperma* sp, *Minquartia guianensis*, *Tabebuia serratifolia* y *Vochysia ferruginea*

Figura 7. Fotografía. Panorámica de especies forestales establecidas en el ensayo Báscula, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

2.5.2 Ensayo Caldera

Este ensayo se inició por parte del Instituto Sinchi en el año 2001, su objetivo igualmente estaba orientado a determinar para especies maderables nativas, su potencial de producción forestal para la región. Las especies sembradas fueron *Aspidosperma* sp (brasil), *Minquartia guianensis* (cuyubí), *Tabebuia serratifolia* (paloarco) y *Vochysia ferruginea* (vochysia).

Se estableció un diseño de bloques completamente al azar (tres bloques), con tres repeticiones para cada una de las especies. Cada individuo se sembró a distancia de 3 m por 3 m en cuadrado y se establecieron 36 individuos de la especie en cada repetición, en total para cada especie se establecieron 3 parcelas por 36 individuos para 108 individuos.

A partir del primer año, se comenzó la evaluación anual de acuerdo con el análisis de las variables de sobrevivencia y altura. Desde el año 2005 se inició la medición del diámetro. En la figura 8 se presenta una panorámica del ensayo establecido en la Estación Experimental.

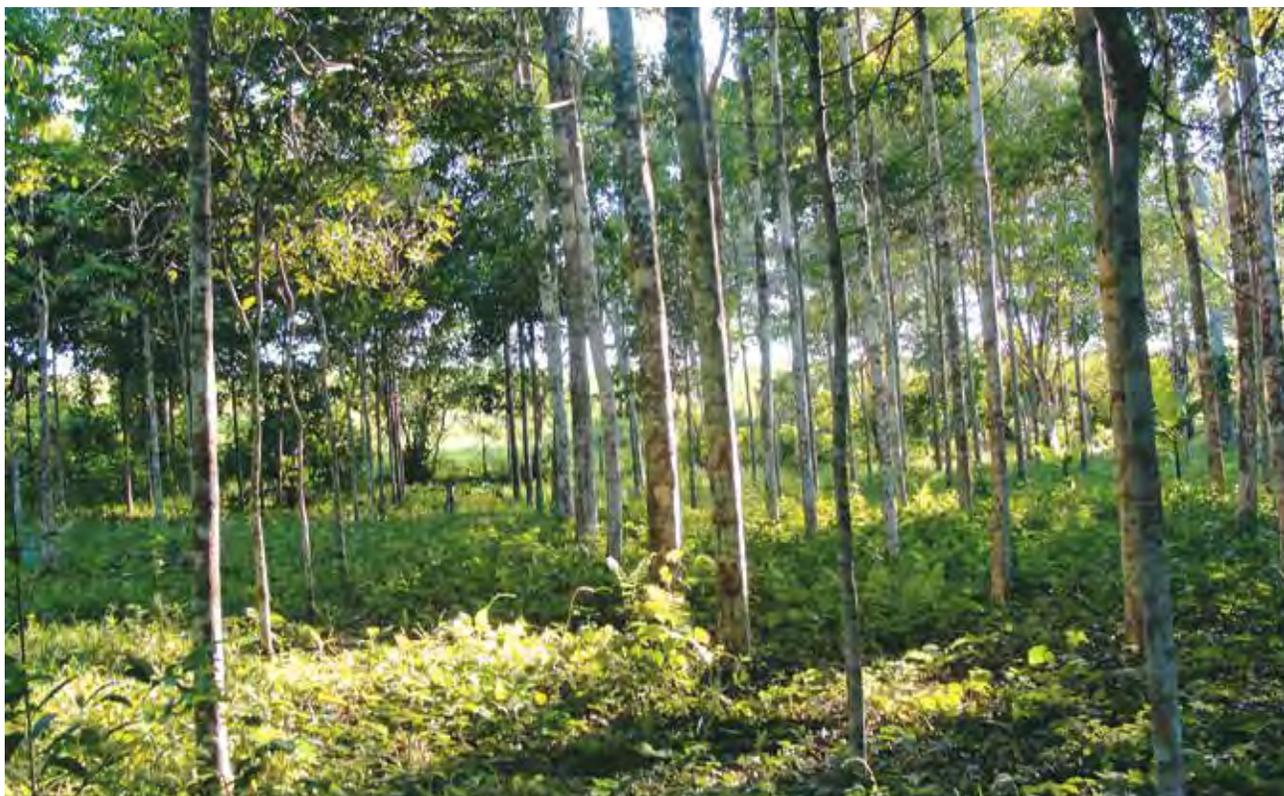


Figura 8. Fotografía. Panorámica de especies forestales establecidas en el ensayo Báscula, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

3. Resultados de las experiencias con especies forestales a nivel de Estación Experimental, entre 1993 y 2009

En esta sección, está registrada la valoración de crecimiento y producción de las especies forestales que permanecieron en los ensayos forestales establecidos entre 1982 y 1986. El análisis se

Se analiza la estructura diamétrica de las principales especies de cada uno de los ensayos y todos los resultados de estas variables están soportadas por los análisis estadísticos

realizó partiendo de la estructura inicial establecida por CONIF, mediante ensayos para diferentes usos, sin embargo, los resultados hacen más énfasis en el comportamiento por especie, comparándolas dentro del ensayo o grupo de especies establecidas. Con el método, se resaltó y priorizó las especies de mejores respuestas a las variables de evaluación.

Para esta valoración de crecimiento y producción, además de considerar la estructura establecida por CONIF, en el establecimiento y los resultados del periodo 1982 a 1986, se identifica un punto de comparación con la información obtenida por el Instituto Sinchi, en 1993, año en el cual se retoma el proceso, se programan y se desarrollan las acciones para dar respuesta a la pregunta de investigación, planteada sobre la identificación de las especies forestales con mayor potencial de adaptación y productividad para la región norte amazónica.

En este proceso de investigación desarrollado entre 1993 y 2009, para los cuatro ensayos establecidos entre 1982 y 1984 y para los dos nuevos ensayos establecidos entre 2000 y 2001, se establece la metodología de análisis considerando las variables diámetro y altura individualmente, registrando los valores promedios de crecimiento e incremento medio anual, enfatizando en estos valores promedios para el último año de medición, en el 2009. Para cada ensayo, para las dos variables diámetro y altura se construyeron las ecuaciones que las expresan en función de la edad de cada una de las especies; se analiza la estructura diamétrica de las principales especies de cada uno de los ensayos y todos los resultados de estas variables están soportadas por los análisis estadísticos.

3.1 Ensayo Quince especies (Especies para diferentes usos)

De acuerdo con el desarrollo metodológico establecido y conforme a los análisis estadísticos señalados anteriormente, se encontró que los modelos analizados para evaluar el comportamiento del diámetro entre el periodo 1993-2009 corresponden a:

- 1) Diámetro = $a * \text{Exp}(b * \text{Edad})$,
- 2) Diámetro = $a * (\text{Edad})^b$,
- 3) Diámetro = $a + b * \text{Edad}$.

Con esta metodología, para las especies abarco, achapo, roble, caoba, pavito y tortolito, se obtuvieron las expresiones del diámetro en función de la edad. La especie tachuelo no se presenta en el análisis ya que había desaparecido cuando se hizo la última evaluación en el año 2009. En la tabla 26, se registran para cada una de las especies del ensayo Quince especies, las ecuaciones seleccionadas y los parámetros estadísticos de calificación de estas ecuaciones, los cuales corresponden a cuadrado medio del error (CME, en inglés), desviación estándar (SD, en inglés) y el coeficiente de correlación (R^2 , en inglés)

Tabla 26. Ecuaciones de diámetro en función de la edad para siete especies forestales establecidas en el ensayo Quince especies, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

Especie	Ecuación	MSE	SD	R ²
abarco	$Diametro = 16.904 * e^{0.0312 * edad}$	1,5749	1,255	0,94
achapo	$Diametro = 5.3986 * e^{0.0312 * edad}$	8,7733	2,962	0,73
caoba	$Diametro = 2.1404 * edad^{0.6433}$	3,482	1,866	0,63
pavito	$Diametro = 15.019 * e^{0.0219 * edad}$	0,7684	0,8766	0,89
roble	$Diametro = 6.6461 + 0.48676 * edad$	2,65488	1,62938	0,82
tortolito	$Diametro = 12.904 * e^{0.0297 * edad}$	0,5608	0,7489	0,95

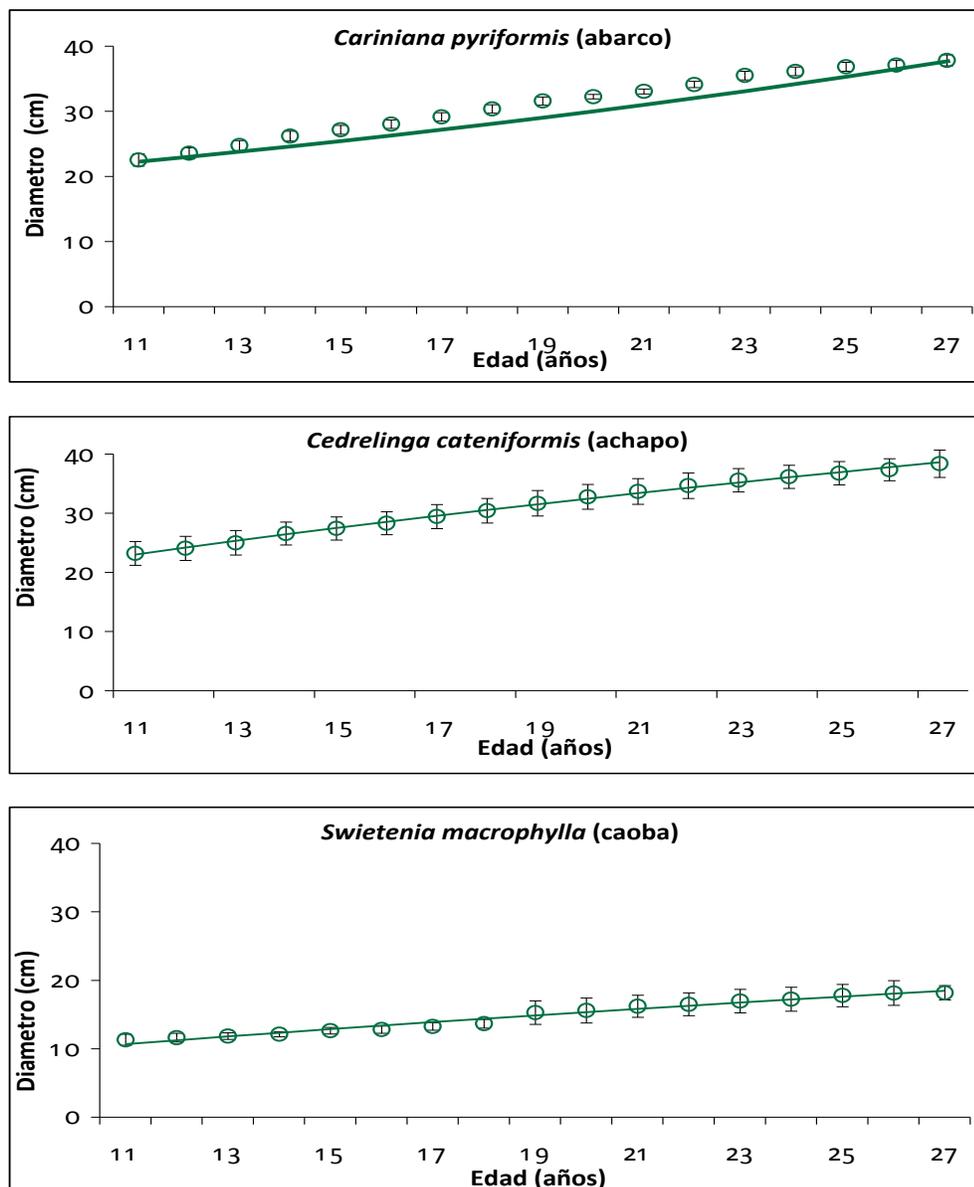
Se graficó la tendencia de la variable diámetro por bloque, edad y especie para abarco, achapo, roble, caoba, pavito y tortolito del ensayo Quince especies en el periodo 1993 a 2009. De manera general, en cada figura se registraron individualmente los valores medios del diámetro y se les determinó el error estándar. Además, se construyó una línea de tendencia que expresa los valores obtenidos a partir de la ecuación diámetro en función de la edad (Figura 9).

Para el ensayo Quince especies en el periodo de medición entre 1993 y 2009, se encontró un comportamiento homogéneo del crecimiento diamétrico para el grupo abarco, pavito y tortolito, con errores estándar muy bajos los cuales se reflejan en el valor del cuadrado medio del error (MSE, en inglés), que en el caso del abarco corresponde a 1,6. Dentro de otro grupo de especies se encuentran achapo, caoba y roble, que registraron valores medios superiores, como es el caso del achapo donde el MSE es de 8,8.

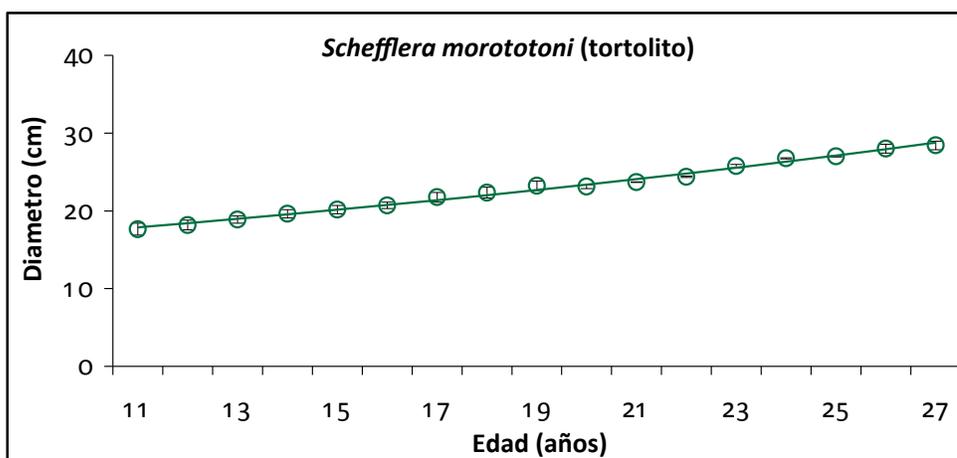
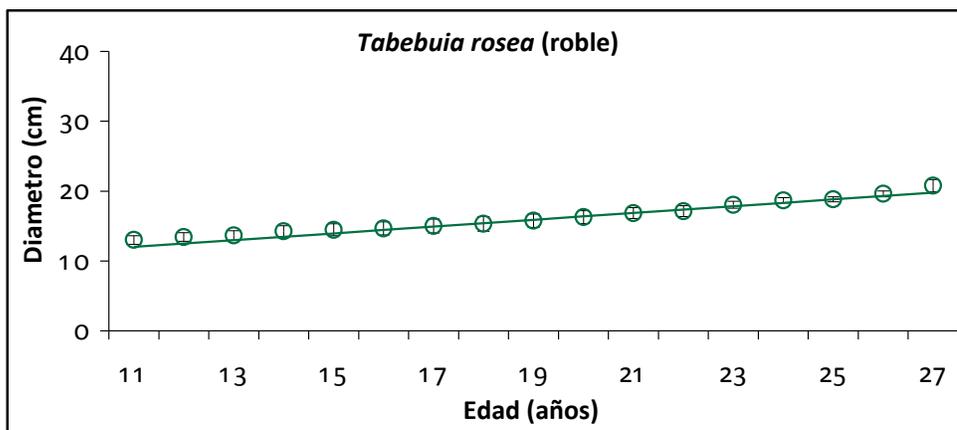
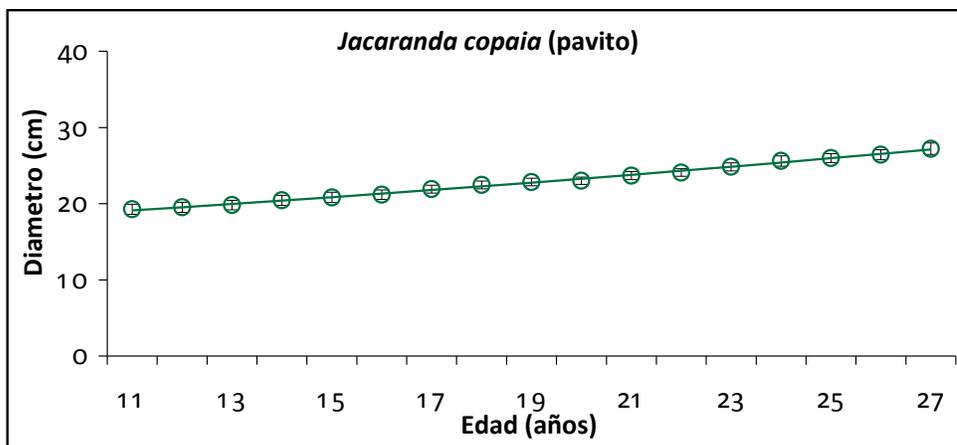
En el periodo de medición entre 1993 y 2009, se encontró un comportamiento homogéneo del crecimiento diamétrico para el grupo abarco, pavito y tortolito

Figura 9. Crecimiento del diámetro en función de la edad (de 11 a 27 años) de especies forestales establecidas en el ensayo Quince especies, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

En la gráfica los círculos representan el valor promedio real medido. Las líneas que acotan el valor promedio corresponden al error estándar. La línea es construida con los valores obtenidos del modelo de regresión.



Continuación Figura 9



La relación entre el diámetro y la edad, en el caso específico del abarco, como en la mayoría de las especies evaluadas en la Estación Experimental, presentó una tendencia exponencial. En el ensayo Quince especies, se destacó la línea de tendencia del crecimiento para abarco, achapo, pavito y tortolito, que se definieron como las principales para su establecimiento en sistemas sostenibles productivos. En la gráfica de diámetro en función de la edad, se observó la tendencia permanente de crecimiento a los 27 años, que describe la situación real de estas especies que no han alcanzado al 100% del diámetro mínimo de aprovechamiento.

Con las ecuaciones generadas del diámetro en función de la edad, se establecen proyecciones de crecimiento para que los asistentes técnicos y productores puedan estimar la valoración de la oferta de madera en diferentes edades de las especies. Además, con estas ecuaciones se construyen para los productores tablas de crecimiento de fácil manejo y visualización.

Para evaluar si existían o no diferencias significativas en el crecimiento diamétrico entre especies se realizó un análisis de varianza y se utilizó la prueba de comparación múltiple de Tukey para encontrar cuales de las seis especies tenían el mejor comportamiento. Estas pruebas se llevaron a cabo para el factor edad y no se tuvo en cuenta el factor repetición o bloque.

Se encontró que existen diferencias significativas entre las medias para las especies evaluadas. Se obtuvo un primer grupo conformado por las especies abarco y achapo (grupo A) que continúan la tendencia manifestada en el año 1993 y sobresalen registrando para esta edad un promedio de diámetro entre 38,4 cm y 37,4 cm. Estas dos especies en condiciones de alta densidad de siembra y limitantes físicas de los suelos reportadas por CONIF (1987a), se muestran como las de mejor comportamiento. Las especies pavito y tortolito establecen un segundo grupo de importancia (grupo B), con valores de diámetro promedio de 27,2 y 28,5 cm respectivamente. Por último, un tercer grupo de especies de menor promedio al año 2009, roble y caoba (grupo C) registraron valores promedios de 20,4 cm y 17,0 cm, respectivamente; para este grupo se plantea

Las especies abarco y achapo en el año 1993 sobresalen registrando un promedio de diámetro entre 38,4 cm y 37,4 cm

considerar estrategias de manejo silvicultural para mejorar sus tasas de crecimiento, ya que son especies forestales de gran valor comercial, en especial la caoba.

En el año 2009, se registraron individuos de abarco, con diámetros entre 13,0 y 77,4 cm, en el análisis de las clases diamétricas de esta especie se encuentra que las de rango de menor crecimiento tienen la menor proporción de la composición del ensayo; considerando que este valor bajo puede corresponder a un individuo de rebrote que se encontraba en la primera medición cuando el Instituto Sinchi retomó la investigación. En la tabla 27 se presenta la tendencia numérica del cambio registrada por la especie abarco en el periodo de medición entre 1993 y 2009.

En el año 2009, se registraron individuos de abarco, con diámetros entre 13,0 y 77,4 cm

De manera general, para las especies del ensayo Quince especies, el abarco mostró un excelente comportamiento de la variable diámetro. En 1993 partía de un valor promedio de 23,01 cm y en el 2009 alcanzó un promedio de 38,4 cm, registrando valores de incremento medio anual entre 1,45 cm/año a 2,1 cm/año en ese periodo de medición. En lo que respecta al achapo, esta tendencia de crecimiento también la presenta al lograr en los 16 años de evaluación continua, una media de diámetro que para el año 1993 estaba en 22,3 cm y para el año 2009 a la edad de 27 años alcanza un valor de 37,4 cm.

Para la especie achapo con las tasas de crecimiento señaladas, se determinó que su turno de aprovechamiento económico es a los 20 años; lo que quiere decir que el productor amazónico a esa edad logra que los individuos alcancen diámetros superiores a 40 cm, que es el diámetro mínimo de cortabilidad.

Para el achapo, de acuerdo con lo registrado sobre la investigación forestal, se reporta a edad de 5 años, en el Perú, incrementos medios anuales en diámetro de 4,0 cm/año, Palomino y Barra (2003), valores muy por encima de los registrados en este ensayo pero con la consideración de que se evalúa a edades muy superiores, en este ensayo para edad de 11 años se obtuvo incrementos medios de 2,02 cm/año y para 27 años valores de 1,4 cm/año.

Tabla 27. Incremento medio anual en diámetro y altura, para abarco (*Cariniana pyriformis*), edad de 11 a 27 años, establecidas en el ensayo Quince especies, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

Año	Edad (años)	Número de Individuos	Incremento medio anual en diámetro (m/año)	Incremento medio anual en altura (m/año)
1993	11	66	2,1	1,4
1994	12	66	2,0	1,4
1995	13	66	1,9	1,4
1996	14	66	1,9	1,4
1997	15	66	1,8	1,3
1998	16	66	1,8	1,3
1999	17	66	1,7	1,2
2000	18	66	1,7	1,2
2001	19	66	1,7	1,2
2002	20	64	1,6	1,1
2003	21	64	1,6	1,1
2004	22	64	1,6	1,1
2005	23	63	1,6	1,0
2006	24	63	1,5	1,0
2007	25	63	1,5	1,0
2008	26	61	1,4	1,0
2009	27	60	1,4	1,0

Para la variable altura se realizó el análisis de varianza considerando los diversos factores influyentes en el modelo. Al igual que el análisis del diámetro, se registraron similares incidencias de los factores considerados y se ratificó la hipótesis planteada sobre la variabilidad de la altura para las diferentes especies evaluadas. Se construyeron las ecuaciones de altura en función de la edad, tomando los datos promedios por especie, por edad, por bloque del periodo de medición señalado. Se probaron los modelos empleados para el diámetro y se calificaron los mejores de acuerdo con los valores descritos previamente (SD, MSE y R²). Se analizaron los resultados para los modelos:

- 1) $Altura = a * Exp (b * Edad),$
- 2) $Altura = a * (Edad)^b,$
- 3) $Altura = a + b * Edad.$

En la tabla 28, están registrados para cada una de las especies, las ecuaciones seleccionadas y los parámetros estadísticos de calificación de estas ecuaciones. Además, se graficó la altura en función de la edad y se ajustaron los valores obtenidos mediante la ecuación de cada especie. En la figura 10 está registrada esta información. En el crecimiento en altura, las especies tortolito, pavito y roble presentaron los valores más bajos de desviación de la media, por ejemplo roble obtuvo MSE de 0,42; la especie achapo, al igual que con el diámetro, presentó la mayor variabilidad en altura durante el periodo de medición.

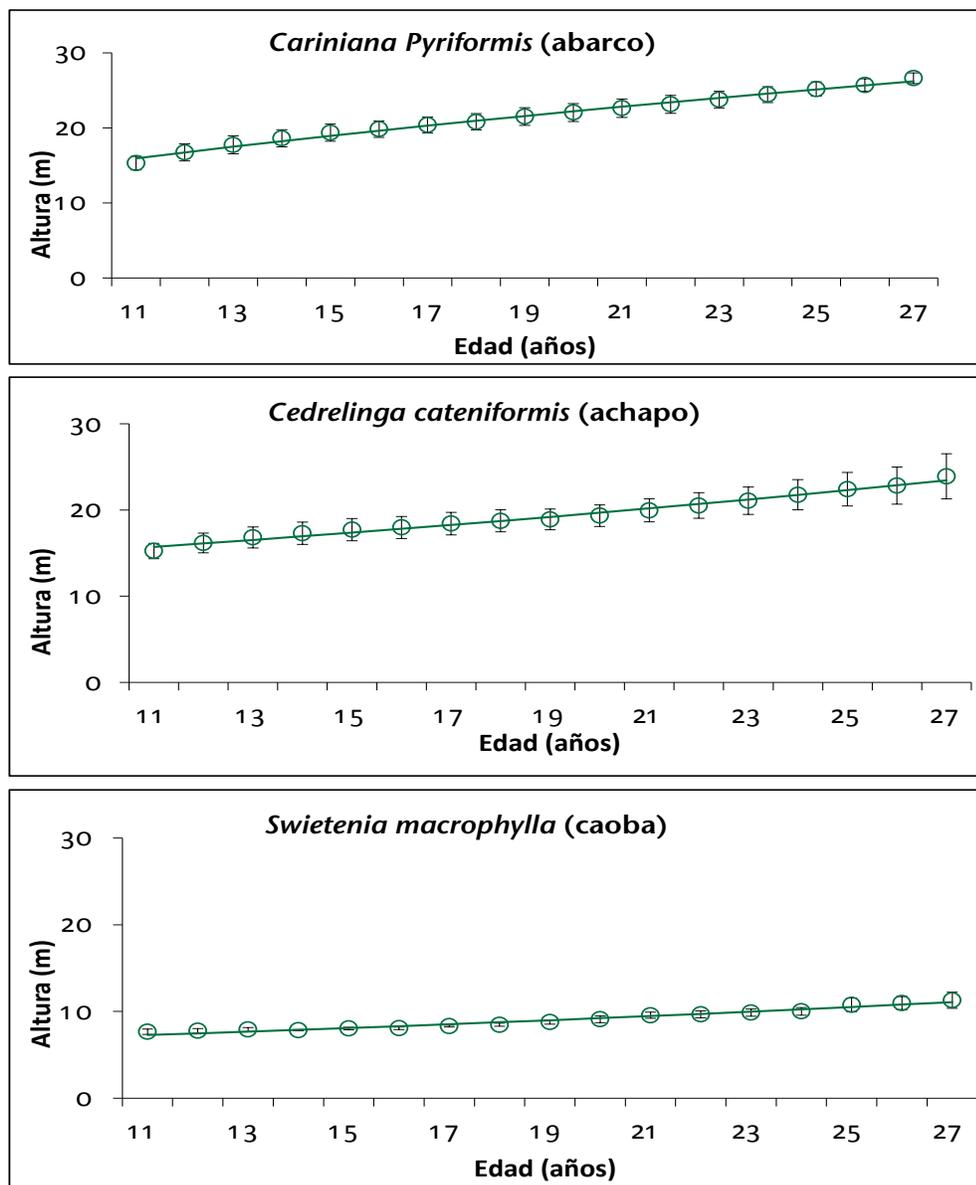
La especie achapo, al igual que con el diámetro, presentó la mayor variabilidad en altura durante el periodo de medición

Tabla 28. Ecuaciones de altura en función de la edad para siete especies forestales establecidas en el ensayo Quince especies, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

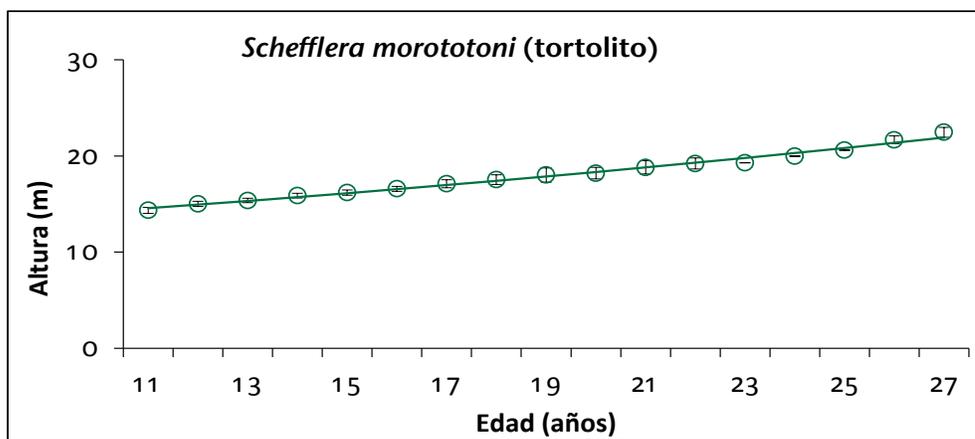
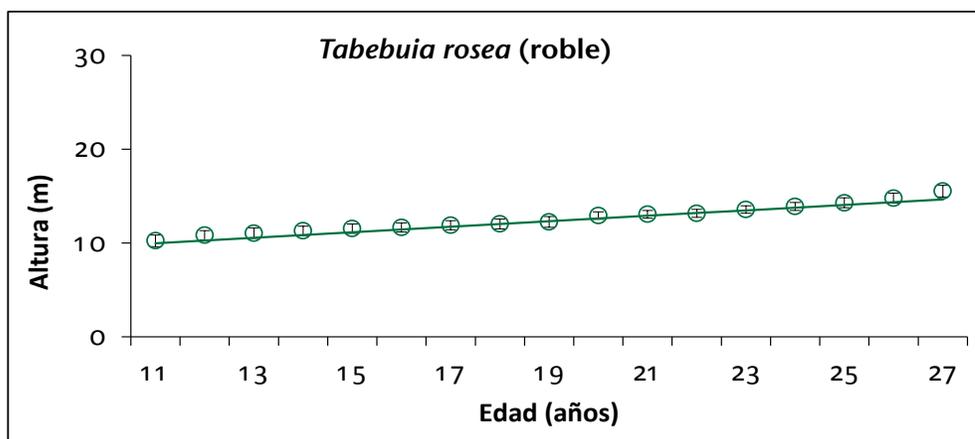
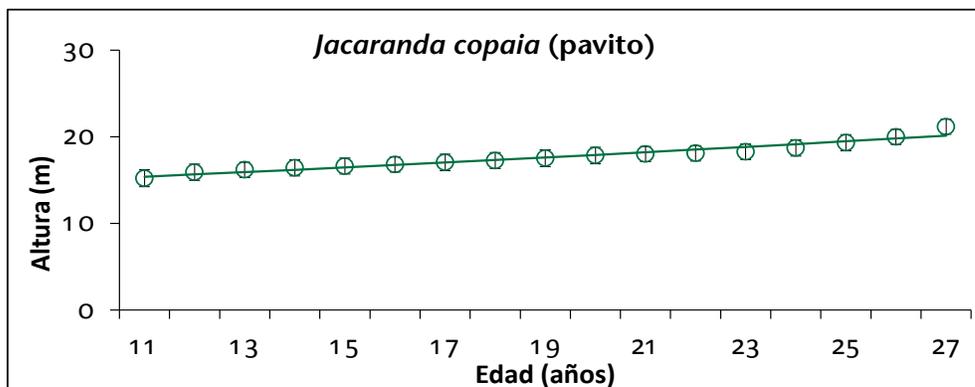
Especie	Ecuación	MSE	SD	R ²
abarco	$Altura = 4,2316 * edad^{0,5536}$	2,5273	1,5897	0,8
achapo	$Altura = 10,7352 * 0,49236 * edad$	6,99503	2,64481	0,63
caoba	$Altura = 5,4644 * e^{0,0262 * edad}$	0,4413	0,6643	0,76
pavito	$Altura = 12,798 * e^{0,0168 * edad}$	1,8903	1,3749	0,53
roble	$Altura = 6,74352 * 0,029282 * edad$	0,90586	0,95176	0,83
tortolito	$Altura = 10,986 * e^{0,0256 * edad}$	0,4168	0,6456	0,92

Figura 10. Crecimiento de altura en función de la edad (de 11 a 27 años) de especies forestales establecidas en el ensayo Quince especies, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

En la gráfica los círculos representan el valor promedio real medido. Las líneas que acotan el valor promedio corresponden al error estándar. La línea es construida con los valores obtenidos del modelo de regresión.



Continuación Figura 10



Para las especies abarco, achapo, tortolito, pavito, roble y caoba con las ecuaciones generadas para altura y diámetro, se estableció que la tendencia del crecimiento es explicable en función de la edad. El excelente ajuste de las ecuaciones, permitió la realización de proyecciones precisas del crecimiento en función de la edad y de igual manera la construcción de tablas de fácil manejo de las dos variables. La validación estadística de los resultados del crecimiento de las especies forestales ha permitido que el Instituto Sinchi pueda poner a disposición para la región norte amazónica, los valores promedios de las especies mediante un amplio seguimiento de las variables, que permiten programar y realizar proyecciones de crecimiento de estas especies forestales establecidas en los sistemas de producción de la región.

Esta información permite seleccionar de este grupo a las especies abarco, achapo, pavito y tortolito, como las especies principales para su establecimiento en sistemas productivos regionales.

En el análisis de varianza y la prueba de comparación de Tukey de la variable altura, en la evaluación de 2009, la especie abarco, fue la de mejor desarrollo y registró una altura promedio de 27,0 m, que a los 27 años de edad indicó un incremento medio anual promedio de 1,0 m/año.

Se definió un segundo grupo de importancia con las especies achapo, pavito y tortolito, que registraron alturas promedio a los 27 años entre 21,3 m y 23,6 m, con tasas de incremento medio anual entre 0,79 m/año a 0,87 m/año, este incremento es de gran significado para las proyecciones de oferta de madera y se considera una tasa de crecimiento adecuada para condiciones de producción en la región norte amazónica, que puede ser mejorada con mayores distancias de siembra. Estas características, permiten identificar a estas especies conjuntamente con el abarco como las más promisorias y consolidan las evaluaciones del inicio del proceso de investigación en 1993 reafirmando los desarrollos de fomento iniciados, en los cuales estas especies han sido promovidas en sistemas productivos sostenibles en la región.

La especie abarco, fue la de mejor desarrollo y registró una altura promedio de 27,0 m a los 27 años de edad

Para las dos especies de menor tasa de crecimiento, caoba y roble con valores entre 0,45 m/año y 0,60 m/año, se deben establecer procesos de manejo para mejorar su comportamiento mediante acciones tales como densidad de siembra y fertilidad.

En general, de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de Tukey, se estableció que existe una marcada variación en el comportamiento de las variables de crecimiento (diámetro y altura), que puede ser explicada por la variabilidad interespecífica (ya que cada especie se comporta fenotípicamente diferente, con razones que van desde las necesidades de manejo hasta las calidades de densidad o dureza de la madera).

Frente a esta situación, las opciones son la implementación de planes de manejo con programación de limpias, podas de formación y aplicación de técnicas de fertilización orgánica, que permitan alinear los diferentes comportamientos y conseguir los turnos de cortabilidad de las especies de una manera más homogénea. Para los programas de repoblamiento el Instituto tiene planes de recolección de material reproductivo de árboles padres de excelente forma fenotípica, que garanticen un buen desempeño productivo de la especie.

En el periodo de evaluación 1993 a 2009, para abarco, achapo, roble, caoba, pavito y tortolito, se definió que la distribución diamétrica de los individuos, era similar a la tendencia registrada en 1993, donde abarco y achapo presentaron la mayor proporción de sus individuos en las clases mayores y las cuatro especies restantes concentraron más del 60% de los individuos en las clases menores a 30 cm. (Tabla 29 y Tabla 30).

Tabla 29. Clases diamétricas para abarco y achapo, edades de 11 y 27 años, establecidas en el ensayo Quince especies, Estación Experimental El Trueno, Guaviare Colombia

Clase diamétrica (cm)	abarco				achapo			
	No. de Individuos edad 11 años	Porcentaje %	No. de Individuos edad 27 años	Porcentaje %	No. de Individuos edad 11 años	Porcentaje %	No. de Individuos edad 27 años	Porcentaje %
0 - 9,9	3	4,5%	0					
10 - 19,9	28	42,4%	7	11,7%	21	35,0%	1	2,0%
20 - 29,9	22	33,3%	17	28,3%	32	53,3%	16	31,4%
30 - 39,9	9	13,6%	13	21,7%	7	11,7%	16	31,4%
40 - 49,9	4	6,1%	7	11,7%			10	19,6%
50 - 59,9			10	16,7%			5	9,8%
60 - 69,9			3	5,0%			3	5,9%
70 y mas			3	5,0%				
Total	66	100%	62	100%	60	100%	51	100%

Tabla 30. Clases diamétricas y de altura de cuatro especies forestales, a los 27 años de edad, establecidas en el ensayo Quince especies, Estación Experimental El Trueno, Guaviare Colombia

Clase diamétrica (cm)	caoba	pavito	roble	tortolito
	Porcentaje de individuos en cada clase (%)			
10 - 19,9	77,8	17,7	60	14,3
20 - 29,9	19,4	50	27,5	53,6
30 - 39,9	2,8	30,6	12,5	25
40 - 49,9		1,6		7,1
Total	100	100	100	100

Clase de altura (cm)	caoba	pavito	roble	tortolito
	Porcentaje de individuos en cada clase (%)			
0 - 4,9	2,8			
5 - 9,9	36,1			
10 - 14,9	41,7	8,1	45	21,4
15 - 19,9	11,1	27,4	35	57,1
20 - 24,9	8,3	41,9	20	21,4
25 - 29,9		22,6		
Total	100	100	100	100

Para la especie abarco, es importante mencionar que a los 27 años, el 38,3% de sus individuos superaron el diámetro de 40 cm y el 10% presentaron diámetros mayores a 60 cm. Esta información reafirma los análisis previos, en los cuales se estableció que los promedios de crecimiento se mejoran al disminuir la competencia entre los individuos y con el manejo de las condiciones de fertilidad por el proceso de circulación de nutrientes en el sistema; a la edad de 27 años, se registraron 62 individuos de abarco de los 108 establecidos en 1982.

Para el achapo de igual manera, a la edad de 27 años, el 35,3% de los individuos superaron el diámetro mínimo de cortabilidad de 40 cm y el 98,0% de los individuos presentaron más de 20 cm. Este análisis permitió establecer la importancia del achapo, que en conjunto con el abarco se definen como principales especies forestales para establecer en sistemas productivos en la región norte amazónica. Igualmente, se destacó el comportamiento de pavito y tortolito como especies forestales valiosas de amplitud de usos a nivel regional y nacional, las cuales registraron más del 80% de sus individuos con diámetros mayores a 20 cm. Específicamente pavito y tortolito agruparon cerca del 70% de sus individuos entre las clases de 10 cm a 30 cm.

Para este grupo de especies a los 27 años de edad, en las clases de altura sobresalieron el abarco con un 90% de individuos con más de 20 m y el achapo con 70% de individuos que superaron esta altura. Las especies pavito y tortolito consolidan un segundo rango de importancia y como se registró previamente, el 80% corresponden a alturas de 15 m a 25 m. De igual manera, se reflejó el buen comportamiento de estas cuatro especies con las excelentes respuestas en el crecimiento, manifestado en el incremento medio en altura que está en un rango entre 0,6 m/año y 0,96 m/año para el periodo de evaluación de 1993 y el 2009

Para la especie abarco, a los 27 años, el 38,3% de sus individuos superaron el diámetro de 40 cm y el 10% presentaron diámetros mayores a 60 cm

Para estas especies forestales, a partir del análisis de las variables diámetro y altura, se consolida el potencial de abarco y achapo con los mejores resultados, que permiten priorizarlas para su establecimiento en los sistemas de producción de la región, al obtener durante la evaluación entre 1993 y 2009 incrementos en altura entre 0,28 y 1,38 m/año. A su vez, el abarco registra el 61% de individuos con diámetro en las clases mayores a los 30 cm. Esta es la única especie de este grupo de maderables que el 39% de sus individuos a los 27 años han superado el diámetro mínimo de cortabilidad de 40 cm.

Estos análisis consolidan un grupo de especies para incorporar a la producción regional de maderas para ebanistería, calificados por sus condiciones de adaptación y crecimiento. Estas especies priorizadas corresponden a: abarco, achapo, pavito y tortolito.

3.2 Ensayo Indígenas I (Especies nativas priorizadas)

Para el ensayo Indígenas I durante el periodo 1993 a 2009, edades de las especies entre 10 y 26 años, se realizó el análisis de varianza para el diámetro, considerando los diversos factores ya señalados previamente, influyentes en el modelo; la tendencia del análisis de varianza fue similar a lo registrado en el ensayo Quince especies.

Con los resultados de los 16 años de valoración del diámetro del ensayo Indígenas I se construyeron las ecuaciones que expresan el comportamiento de esta variable en función de la edad, con los modelos propuestos para los diferentes ensayos de la Estación Experimental y reseñados en el ensayo Quince especies. (Ver tabla 31)

Para las especies virola, macano, peinemono y nocuito, se obtuvieron las ecuaciones calificadas del diámetro en función de la edad. Además, se graficó la tendencia y se ajustaron los valores obtenidos mediante la ecuación. En la figura 11 se registra la relación entre las variables evaluadas.

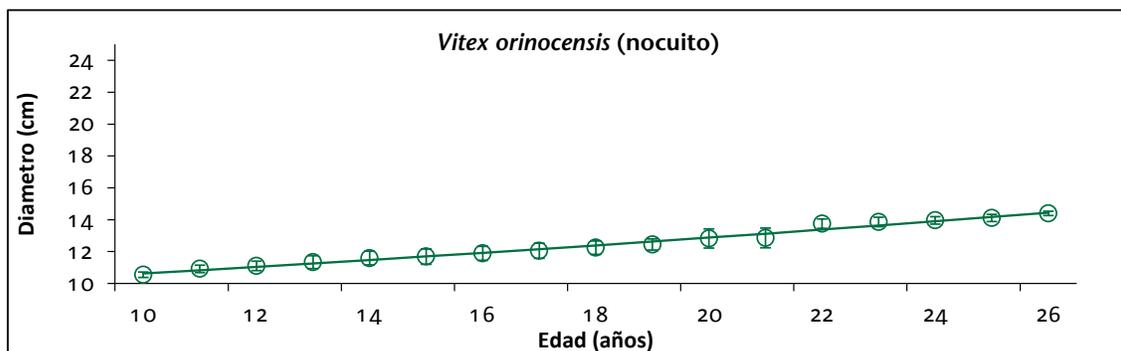
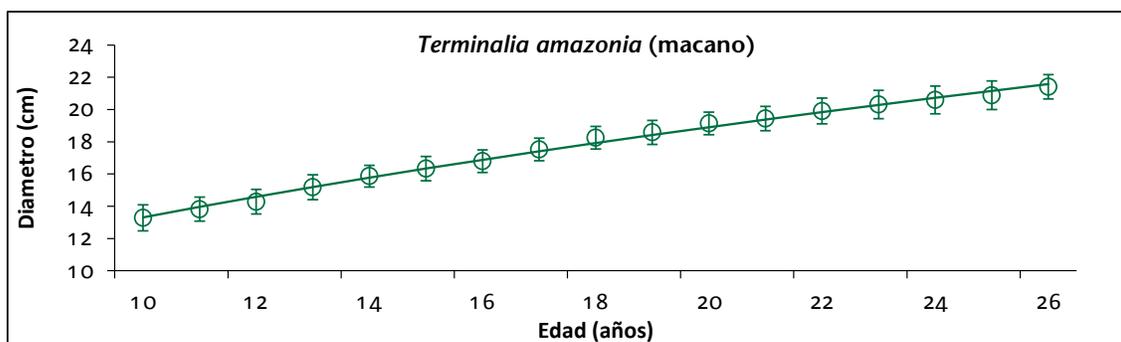
Con los resultados de los 16 años de valoración del diámetro del ensayo Indígenas I se construyeron las ecuaciones que expresan el comportamiento de esta variable

Tabla 31. Ecuaciones de diámetro en función de la edad para cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Indígenas I, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

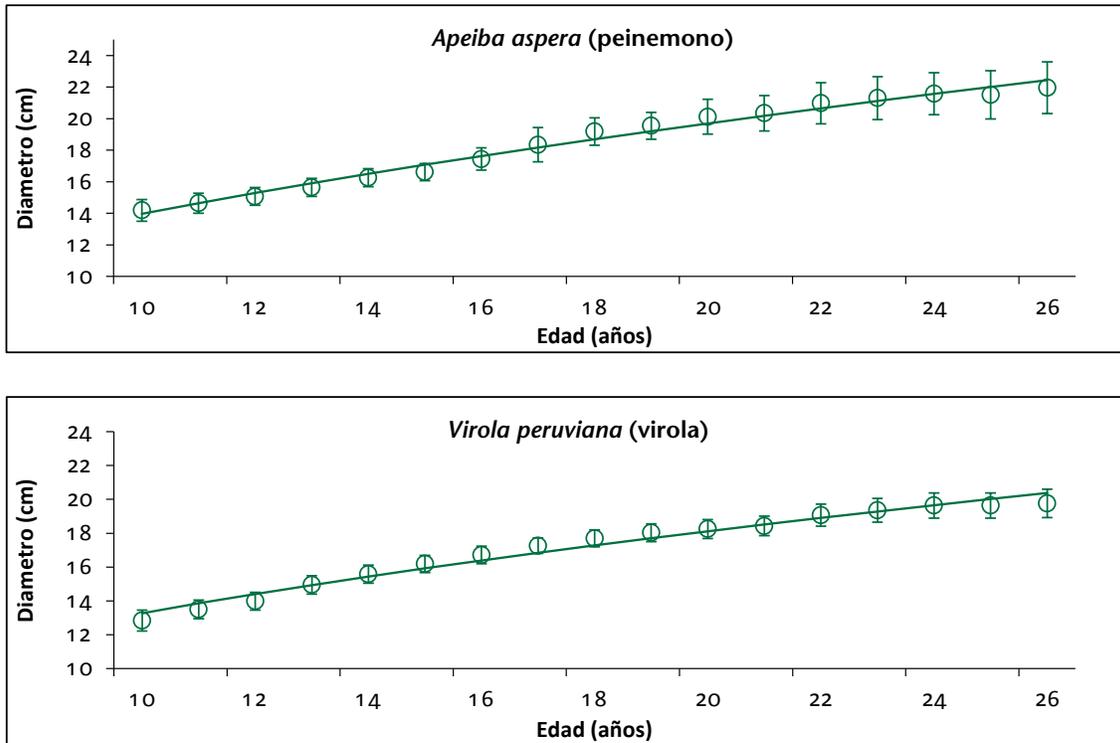
Especie	Ecuación	MSE	SD	R ²
macano	$Diametro = 4,1463 * edad^{0,5063}$	1,2543	1,12	0,84
nocuito	$Diametro = 4,1463 * edad^{0,5063}$	0,3316	0,5758	0,81
peinemono	$Diametro = 4,4451 * edad^{0,4969}$	2,5043	1,5825	0,75
virola	$Diametro = 4,7325 * edad^{0,4481}$	0,861	0,9279	0,85

Figura 11. Crecimiento del diámetro en función de la edad (de 10 a 26 años) de especies forestales establecidas en el ensayo Indígenas I, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

En la gráfica los círculos representan el valor promedio real medido. Las líneas que acotan el valor promedio corresponden al error estándar. La línea es construida con los valores obtenidos del modelo de regresión



Continuación Figura 11



Para las cuatro especies del ensayo Indígenas I, para el crecimiento del diámetro, se estableció la tasa constante de crecimiento en función de la edad y la alta correlación entre estas variables, expresado con los valores del coeficiente de determinación superiores a 0,75. Para las cuatro especies, se registraron rangos de desviación del diámetro bajos (entre 0,33 a 2,5), es decir, los individuos de las especies crecieron a tasas muy similares. Aunque como se ha manifestado previamente, sus promedios son menores a los de las especies del ensayo Quince especies y para lo cual se han plateado los argumentos de explicación correspondientes. Como excepción se observó que la especie peinemono en las evaluaciones a las edades entre 10 y 26 años registró mayor variabilidad en el crecimiento promedio del diámetro.

Las especies estudiadas registraron bajas tasas de incremento anual, pero se observó un aumento del crecimiento del diámetro a través del tiempo. El conjunto de datos y análisis aquí presentados permite establecer proyecciones del crecimiento y facilita para los asistentes técnicos y productores la valoración de la oferta

de madera para diferentes edades de las especies establecidas en sistemas productivos.

De este grupo de especies de maderas finas regionales en la medición de 1993 sobresalieron macano y peinemono por las condiciones de adaptación y crecimiento, este análisis previo se confirmó con las mediciones realizadas en 2009 a los 26 años de edad, registrando promedios de diámetro para macano de 21,5 cm y peinemono 22,2 cm, a este primer grupo de importancia se incorpora la especie virola que alcanzó a esta edad un diámetro promedio de 19,7 cm. Con la información registrada en el capítulo 3, se realizó una aproximación a los valores de incremento medio anual en diámetro, considerando que en el estudio reportado para Costa Rica (Piotto Daniel. Catie, 2001), las edades de evaluación solo alcanzan entre 6 y 11 años, para esta investigación se reportó incremento medio anual en diámetro para macano de 2,36 cm, muy superior al 0,83 cm/año registrado para Guaviare a los 26 años.

Con esta valoración, en el ensayo Indígenas I, las especies macano, peinemono y virola del grupo de especies forestales nativas se establecieron como las de mejor comportamiento, para las condiciones señaladas previamente de densidad y limitantes de los suelos del ensayo.

La especie nocuito, registró los menores valores promedios de diámetro, presentando valores medios de 14,4 cm; por los reportes locales de uso, es necesario, como se ha indicado para otras especies establecidas en ensayos, implementar estrategias de manejo silvicultural que incrementen sus tasas de crecimiento.

Con los valores obtenidos al 2009, se confirmó la tendencia de estas especies de alcanzar edades de cortabilidad superiores a 30 años, en las condiciones de densidad, manejo y condiciones limitantes de los suelos.

El análisis de varianza realizado para este grupo de especies forestales nativas, estableció que existen diferencias estadísticas significativas en el comportamiento de la variable diámetro a los 26 años. Posterior a este análisis, se aplicó la prueba de Tukey, para identificar estadísticamente las especies que presentaron mayores diferencias en su comportamiento. Un primer grupo (grupo A) de

La especie peinemono en las evaluaciones a las edades entre 10 y 26 años registró mayor variabilidad en el crecimiento promedio del diámetro

especies nativas priorizadas, con tasas de crecimiento en promedio para el grupo de especies menores de 0,87 cm/año en la evaluación a los 26 años de edad, lo conformaron peinemono, macano y virola y se observó un segundo grupo (grupo B) con nocuito.

Una de las especies importantes de este grupo, el macano registró en el año 1993 para el diámetro un valor promedio de 13,9 cm y en el 2009 alcanzó un promedio de 21,5 cm, registrando valores de incremento medio anual entre 0,8 cm/año y 1,4 cm/año en ese periodo de medición.

Con esta especie se ha establecido que para mejorar su tasa de crecimiento, se debe optar por una menor densidad de individuos, situación que se ha evidenciado en sistemas agroforestales que se han establecido en la zona norte de la región amazónica ya que a distancias de siembra de 8 x 8 m, duplican la tasa de crecimiento.

Estableciendo la comparación con los valores registrados en el capítulo 3, sobre los desarrollos de investigación forestal, se estableció para peinemono, que los resultados preliminares del Arboretum del Centro Forestal Tropical Bajo Calima de la Universidad del Tolima, registraron valores de incremento medio anual a los 10 años de 0,72 cm/año. Para esta especie evaluada en la Estación Experimental El Trueno, a los 26 años de edad reportó valores aproximados a 0,87 cm/año.

En las evaluaciones por clases diamétricas, la clase predominante para el grupo de especies fue la clase de 10 a 20 cm, que reflejó el bajo ritmo de crecimiento. De acuerdo con la estructura diamétrica observada en el 2009, se estableció que el 80% de los individuos pertenecían al rango de 10 a 30 cm (Tabla 32).

Teniendo en cuenta la baja tasa de crecimiento observada para estas especies con las condiciones señaladas, se analizó que en estas especies a los 26 años de edad solo una menor proporción de los individuos establecidos en el ensayo alcanzaron el diámetro mínimo de cortabilidad de 40 cm; así por ejemplo la especie macano registró el 3,7% en esa clase diamétrica entre 40 a 50 cm. Por tanto, esta fue una de las especies de mayor aceptación por los productores agroambientales de la región y se ha establecido en sistemas productivos asociada a otras especies de maderables, frutales y pancoger.

De acuerdo con la estructura diamétrica observada en el 2009, se estableció que el 80% de los individuos pertenecían al rango de 10 a 30 cm

Tabla 32. Clases diamétricas (cm) y frecuencia para tres especies forestales a los 10 años de edad y los 26 años de edad, establecidas en el ensayo Indígenas I, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

Clase diamétrica (cm)	macano				peinemono				virola			
	Número en 1993	Porcentaje %	Número en 2009	Porcentaje %	Número en 1993	Porcentaje %	Número en 2009	Porcentaje %	Número en 1993	Porcentaje %	Número en 2009	Porcentaje %
0 - 9,9	18	29,0%	5	9,8%	21	20,6%	3	4,8%	12	23,1%	1	2,1%
10 - 19,9	39	62,9%	17	33,3%	67	65,7%	26	41,9%	40	76,9%	26	55,3%
20 - 29,9	5	8,1%	19	37,3%	14	13,7%	23	37,1%			18	38,3%
30 - 39,9			9	17,6%			7	11,3%			2	4,3%
40 - 49,9			1	2,0%			3	4,8%				
Total	62	100%	51	100%	102	100%	62	100%	52	100%	47	100%

La especie virola, presentó el comportamiento más estable durante el periodo de medición (1993 a 2009), con incremento medio anual de 0,8 a 1,3 cm/año; que en promedio para el periodo es de 1,1 cm/año. Aunque esta tasa de crecimiento es mucho menor que la registrada para la especie abarco (de 1,45 a 2 cm/año) en el ensayo Quince especies. Estas especies nativas resaltan la importancia de establecerlas en sistemas agroforestales a partir de distancias de siembra superiores a 8 x 8 m, bajo condiciones de mejoramiento de la fertilidad natural de los suelos.

De igual manera, es importante considerar en este grupo el algarrobo, que es una especie valiosa para la oferta maderable de la región, la cual cuando se retomó el proceso de investigación en 1993 presentaba un alto rango de mortalidad, con tan solo 19 de los 108 individuos establecidos. Esta especie se ha valorado en condiciones de menor densidad a distancias de 8 x 6 m en sistemas agroforestales y la respuesta en sobrevivencia y crecimiento ha permitido encontrar tasas de incremento medio anual en diámetro mayores a 1,0 cm/año.

En el ensayo Indígenas I también se evaluó la variable altura mediante el análisis de varianza. Se obtuvieron las ecuaciones que

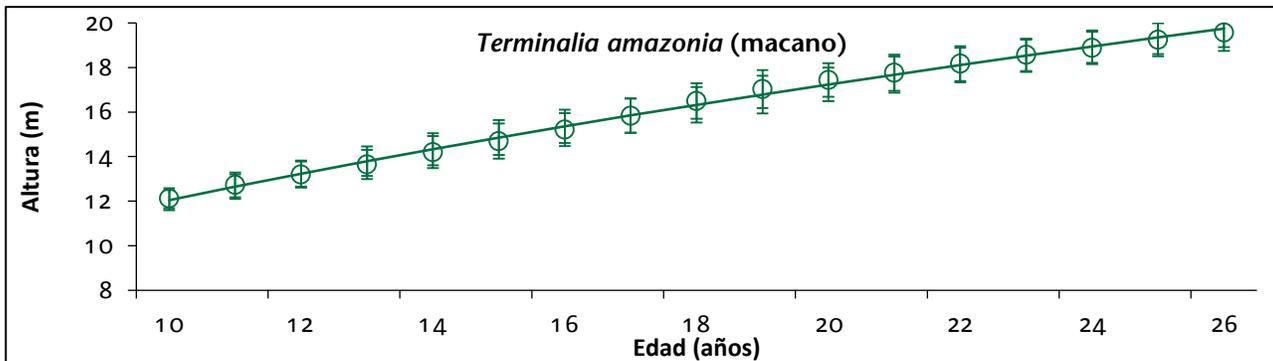
expresan el comportamiento de la variable altura en función de la edad para las especies virola, macano, peinemono y nocuito, utilizando los modelos propuestos en ensayos anteriores. (Ver tabla 33). Adicionalmente, se construyeron las gráficas del modelo y valores promedios medidos. En la figura 12 se registran las relaciones de estas variables:

Tabla 33. Ecuaciones de altura en función de la edad para cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Indígenas I, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

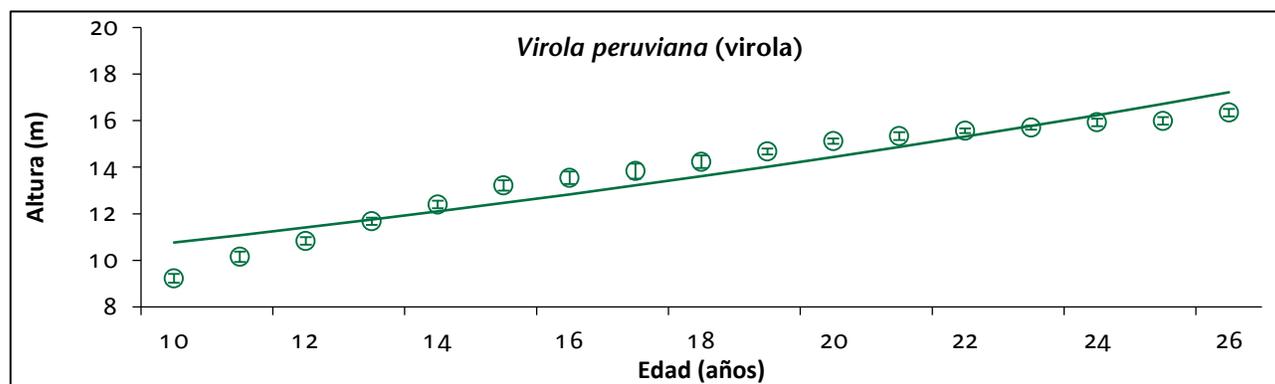
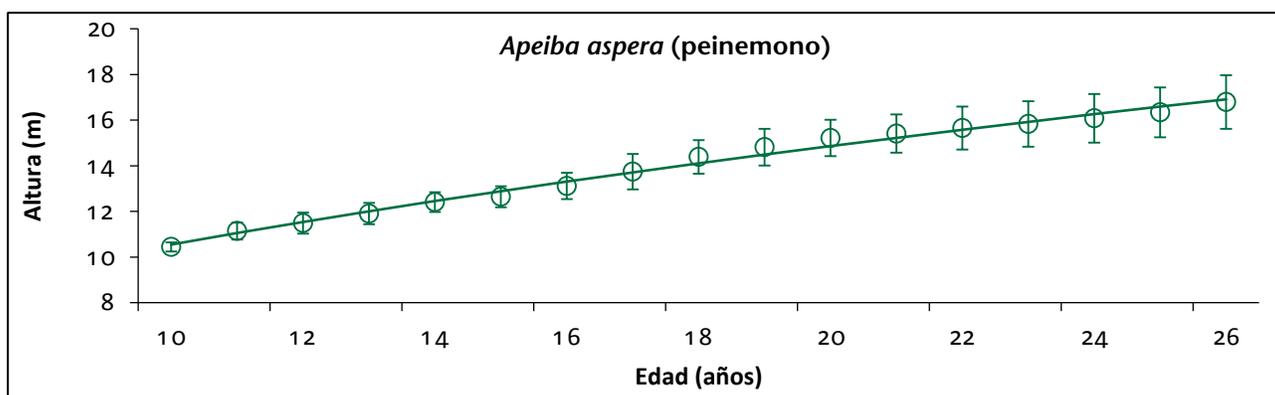
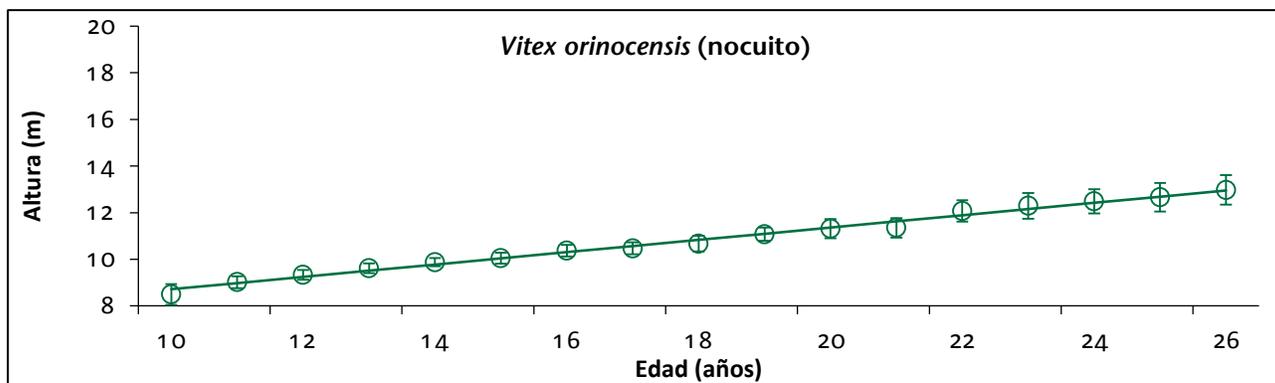
Especie	Ecuación	MSE	SD	R ²
macano	$Altura = 3,6637 * edad^{0,5169}$	1,1251	1,0607	0,83
nocuito	$Altura = 6,07717 * e^{0,2645 * edad}$	0,3469	0,5889	0,84
peinemono	$Altura = 3,3804 * edad^{0,4942}$	1,2651	1,1248	0,76
virola	$Altura = 8,018 * e^{0,0294 * edad}$	0,5692	0,7544	0,88

Figura 12. Crecimiento de la altura en función de la edad (de 10 a 26 años) de especies forestales establecidas en el ensayo Indígenas I, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

En la gráfica los círculos representan el valor promedio real medido. Las líneas que acotan el valor promedio corresponden al error estándar. La línea es construida con los valores obtenidos del modelo de regresión.



Continuación Figura 12



En este ensayo Indígenas I, para la variable altura se estableció un rango mayor del coeficiente de determinación (de 0,76 a 0,88). De este grupo de especies maderables nativas, a la edad de 26 años, en el análisis de varianza, se estableció variabilidad de las respuestas de la altura, expresadas en diferencias estadísticas significativas entre los promedios. Al desarrollar la prueba

de comparación para el grupo de especies macano, peinemono, virola y nocuito, se definieron tres grupos de significancia. El primero con la especie macano, conformando el grupo A, con valor promedio de altura de 19,6 m; un segundo grupo, grupo B con las especies virola y peinemono con valores entre 17,0 y 16,3 m. La especie nocuito, similar a la tendencia en la evaluación de 1993, registró un promedio de altura muy bajo (13,1 m) conformando el grupo C.

Los registros de altura a los 26 años de establecimiento para las especies macano, peinemono, virola y nocuito, permitieron definir para macano valores de incremento medio anual en altura de 0,75 m/año, para virola de 0,63 m/año y para peinemono de 0,66 m/año. La especie de menor incremento fue nocuito que creció a un ritmo muy bajo con 0,51 m/año.

Estos valores de las tres primeras especies para las condiciones regionales en las cuales se establecieron los ensayos son considerados normales, es decir, están dentro del rango promedio de crecimiento de especies nativas, pero como se ha reiterado anteriormente se puede mejorar con técnicas silviculturales apropiadas.

Al establecer la comparación con registros de la investigación forestal registrados en el capítulo 3, es posible una comparación para la especie macano, la cual para edades entre 6 y 11 años, en Costa Rica (Piotto Daniel. Catie, 2001) registró incrementos medios anuales en altura aproximados a los 2,0 m/año, superior al valor registrado para Guaviare a los 26 años con incremento de 0,75 m/año, estableciendo de antemano que las diferencias entre las edades de evaluación solo permiten una comparación sin tener en cuenta la edad.

3.3 Ensayo Indígenas II (Especies nativas priorizadas)

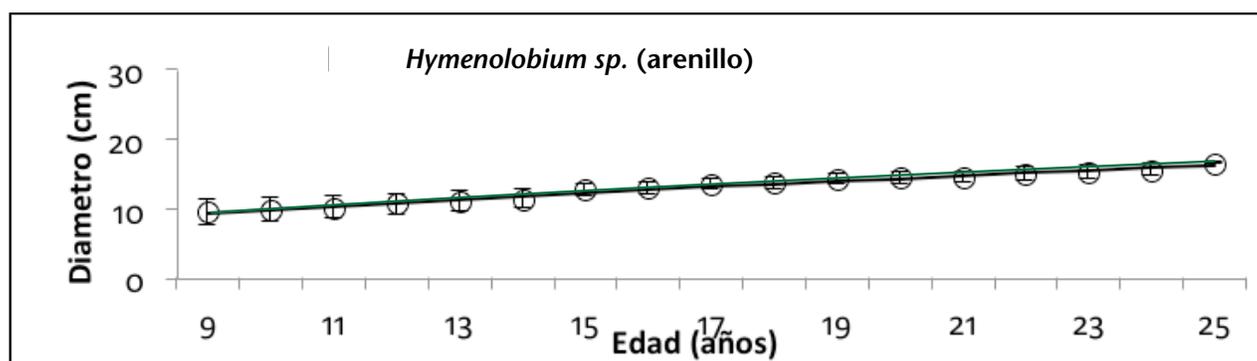
Para el ensayo Indígenas II en el periodo 1993 a 2009, (edad de 9 a 25 años) para el diámetro se realizó el análisis de varianza considerando los factores ya señalados, influyentes en el modelo; la tendencia del análisis de varianza es similar a lo registrado en

los ensayos previamente analizados. Los factores con alto grado de significancia y de explicación del modelo corresponden a Edad y Especie. Se construyeron las ecuaciones que expresan el comportamiento de la variable en función de la edad, con la metodología planteada en ensayos anteriores, para las especies milpo, arenillo, trestablas y zapato (Ver tabla 34) y se graficó la tendencia de la variable ajustando los valores obtenidos mediante la ecuación calificada. En la figura 13 se registran estas relaciones entre las dos variables.

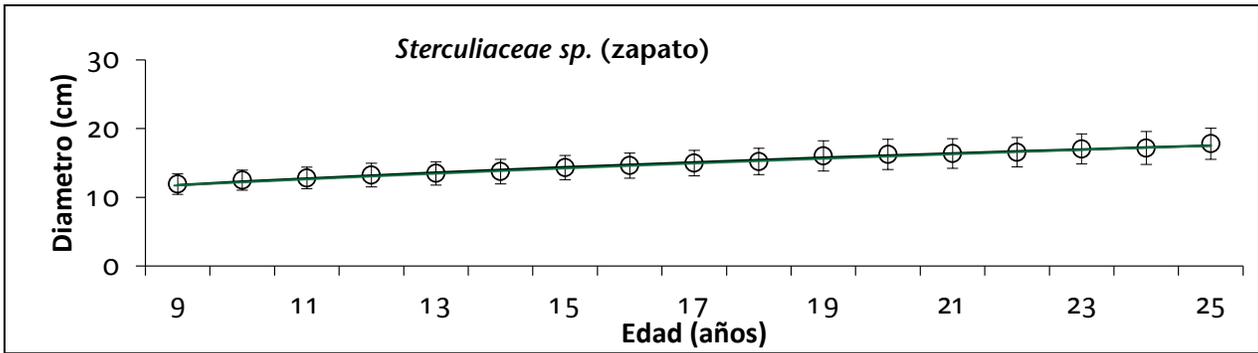
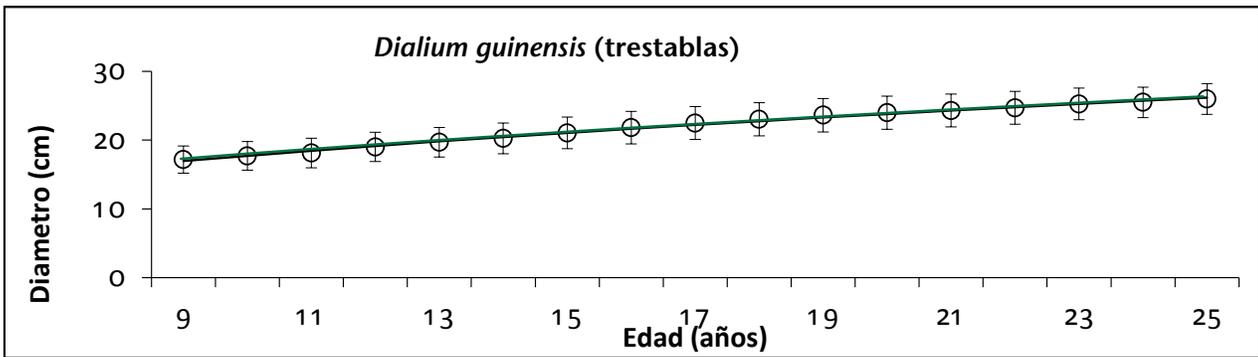
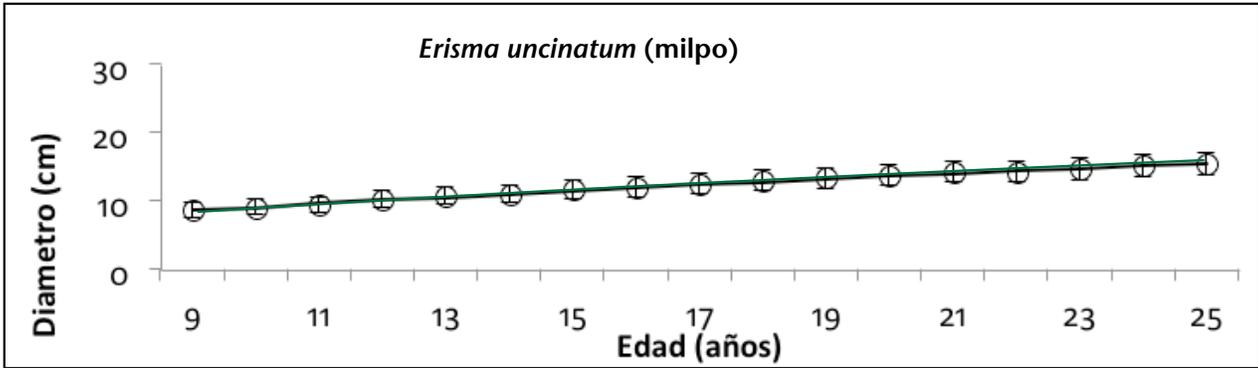
Tabla 34. Ecuaciones de diámetro en función de la edad para cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Indígenas II, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

Especie	Ecuación	MSE	SD	R ²
arenillo	$Diametro = 2,8129 * edad^{0,5441}$	2,5753	1,6048	0,65
milpo	$Diametro = 6,6745 * edad^{0,4245}$	10,721	3,2743	0,43
trestablas	$Diametro = 2,4708 * edad^{0,5732}$	3,8249	1,9557	0,55
zapato	$Diametro = 5,0311 * edad^{0,388}$	7,8337	2,7989	0,29

Figura 13. Crecimiento del diámetro en función de la edad (de 9 a 25 años) de especies forestales establecidas en el ensayo Indígenas II, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia



Continuación Figura 13



En la gráfica los círculos representan el valor promedio real medido. Las líneas que acotan el valor promedio corresponden al error estándar. La línea es construida con los valores obtenidos del modelo de regresión.

De este grupo de especies nativas, sobresalió el comportamiento de la especie milpo que para el diámetro en 1993 a los 9 años de edad partía de un valor promedio de 17,2 cm y en el 2009 a los 25 años de edad alcanzó un diámetro de 25,8 cm, registrando valores medios de incremento medio anual en diámetro entre 1,9 cm/año y 1,1 cm/año en ese periodo de medición.

Esto permitió definir tasas de crecimiento para la especie para alcanzar su turno de aprovechamiento económico a los 30 años, bajo estas condiciones de alta densidad y limitantes de los suelos. Esta especie se considera de alta sobrevivencia, cercano al 75%, además de la forma de su copa estrecha apropiada para el establecimiento en arreglos en sistemas productivos sostenibles.

Estos valores de crecimiento en diámetro y sobrevivencia, con los parámetros de calificación estadística se registran en la tabla 35, donde se observó que el diámetro promedio en 1993 fue de 17,2 cm y en 2009 de 25,8 cm con un incremento medio anual entre 1,91 a 1,23 cm/año en ese periodo.

A partir de la información consolidada en la línea base y de acuerdo con los análisis consecutivos realizados desde 1993, en el ensayo Indígenas II para el año 2009, mediante el análisis de varianza de la variable diámetro para las especies milpo, arenillo, trestablas y zapato, se encontraron diferencias significativas entre las medias de esta variable. De acuerdo con la prueba de Tukey, el milpo constituyó el primer grupo A, el grupo B estaba conformado por las especies zapato, arenillo y trestablas, entre los cuales no hubo una diferencia significativa de los promedios del diámetro. Este resultado cambió con respecto al observado en el año 1993, en donde para esta misma variable se clasificaron tres grupos, como se describió en el ítem correspondiente.

Tabla 35. Diámetro y altura promedio, calificadores y rangos para la especie milpo a los 9 y 25 años de edad (entre 1993 y 2009), en el ensayo Indígenas II, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

Variables	Diámetro (cm)		Altura (m)		Incremento medio anual en diámetro (cm/año)		Incremento medio anual en altura (m/año)	
	1993	2009	1993	2009	1993	2009	1993	2009
Años	1993	2009	1993	2009	1993	2009	1993	2009
Total datos	85	78	85	78	85	78	85	78
Promedio	17,2	25,8	12,6	20,5	1,9	1,2	1,4	1,0
Mediana	17,30	24,85	12,40	21,50	1,92	1,18	1,38	1,02
Desviación Estándar	4,68	8,57	3,30	4,95	0,52	0,41	0,37	0,24
Varianza	21,90	73,51	10,86	24,54	0,27	0,17	0,13	0,06
Error Estándar	0,51	0,97	0,36	0,56	0,06	0,05	0,04	0,03
C.V	27,2%	33,3%	26,2%	24,1%	27,2%	33,3%	26,2%	24,1%
Mínimo	8,7	10,5	5,0	7,2	1,0	0,5	0,6	0,3
Máximo	32,5	49,9	18,9	29,2	3,6	2,4	2,1	1,4
Rango	23,8	39,4	13,9	22,0	2,6	1,9	1,5	1,1

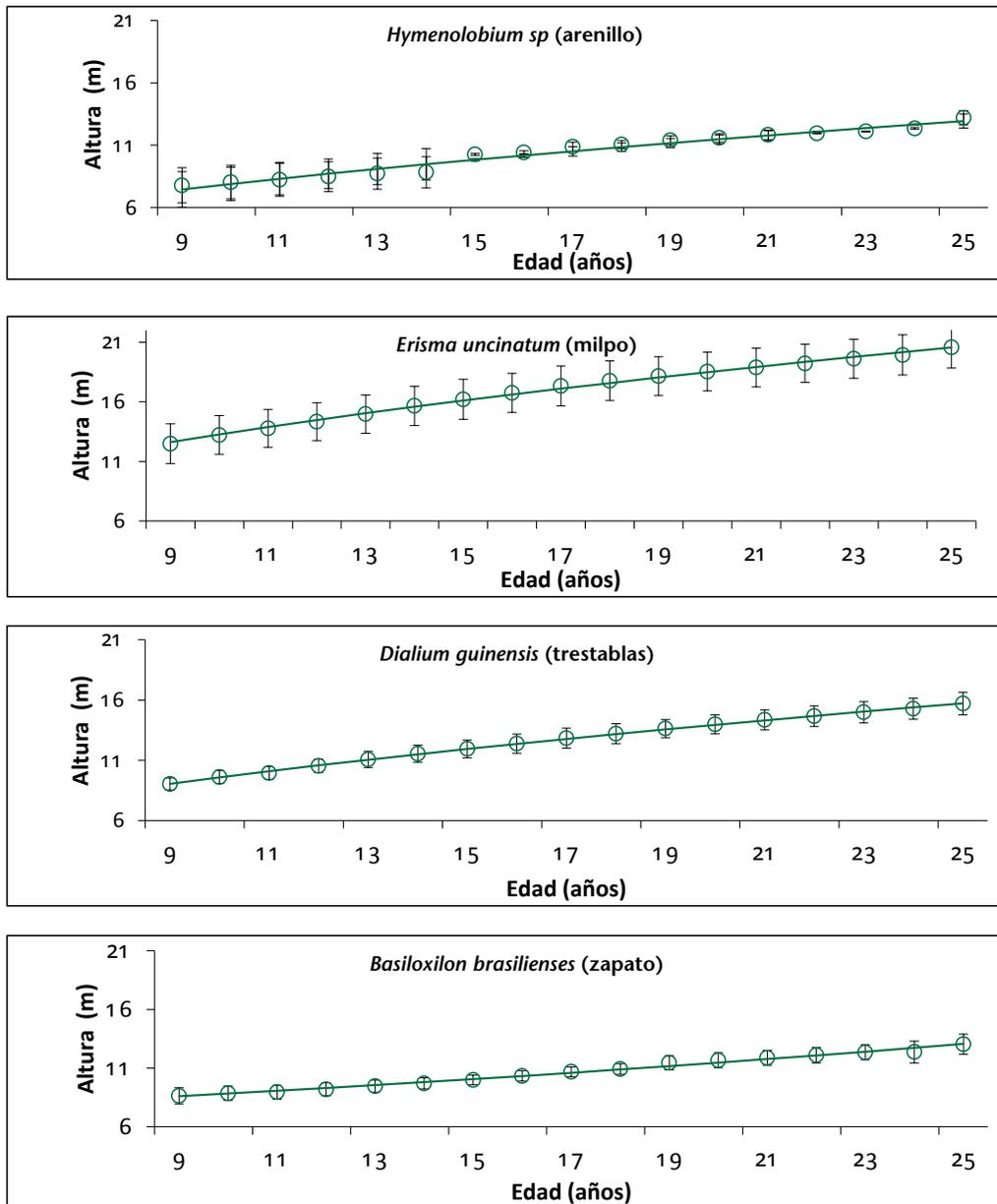
En el ensayo Indígenas II para el periodo 1993 a 2009, para la variable altura se realizó el análisis de varianza, donde intervienen los diversos factores influyentes en el modelo. Se construyeron las ecuaciones de altura en función de la edad para las especies milpo, arenillo, trestablas y zapato (Ver tabla 36). Se realizaron las gráficas del modelo y valores promedios medidos. En la figura 14 se registran los gráficos generados.

Tabla 36. Ecuaciones de altura en función de la edad para cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Indígenas II, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

Especie	Ecuación	MSE	SD	R ²
arenillo	$Altura = 2,283 * edad^{0,5389}$	1,7395	1,3189	0,63
milpo	$Altura = 4,4079 * edad^{0,4784}$	5,6211	2,3709	0,52
trestablas	$Altura = 2,7652 * edad^{0,5401}$	1,1926	1,0921	0,52
zapato	$Altura = 6,8057 * e^{0,0261 * edad}$	0,8003	0,8946	0,70

Figura 14. Crecimiento de la altura en función de la edad (de 9 a 25 años) de especies forestales establecidas en el ensayo Indígenas II, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

En la gráfica los círculos representan el valor promedio real medido. Las líneas que acotan el valor promedio corresponden al error estándar. La línea es construida con los valores obtenidos del modelo de regresión.



Para las especies arenillo, milpo, trestablas y zapato del ensayo Indígenas II, en la evaluación del año 2009, se registraron valores bajos del error estándar, esto se materializa en un crecimiento más homogéneo para un alto porcentaje de los individuos de cada una de estas especies y como se ha mencionado en análisis previos está condicionado por la menor competencia (menor número de individuos). En la tabla 37 se registraron para las especies arenillo, trestablas y zapato los valores y parámetros estadísticos analizados en dos periodos de evaluación.

Se estableció a partir de estos análisis que las especies del ensayo Indígenas II, arenillo, milpo, trestablas y zapato, al igual que las evaluadas en los diferentes ensayos son especies de alto potencial para establecer en sistemas con menores densidades de siembra (disminución de la competencia entre individuos) y en los que se desarrollen procesos más eficientes de ciclaje de nutrientes, como se presentan en los sistemas de enriquecimiento forestal de rastrojos, que se han establecido desde 1999 en fincas de productores como resultado de la investigación efectuada por el Instituto Sinchi.

Tabla 37. Diámetro promedio, calificadores y rangos para tres especies forestales a los 9 y 25 años de edad (entre 1993 y 2009), en el ensayo Indígenas II, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

Especie	arenillo		trestablas		zapato	
	1993 (9 años)	2009 (25 años)	1993 (9 años)	2009 (25 años)	1993 (9 años)	2009 (25 años)
Sobrevivencia	0,6	0,2	0,7	0,7	0,6	0,4
Total datos	60	25	72	71	61	46
Promedio	9,4	16,5	8,6	15,2	11,6	17,3
Mediana	8,4	16,3	8,7	14,3	10,4	15,2
Desviación Estándar	4,1	7,5	3	5,6	4,3	7,4
Varianza	17,2	55,9	8,9	31,1	18,1	55,4
Error Estándar	0,5	1,5	0,4	0,7	0,5	1,1
C.V	0,4	0,5	0,3	0,4	0,4	0,4
Mínimo	2,9	6,5	3	4,4	0,5	6,6
Máximo	22,5	32,9	16,4	29,7	21,6	35,8
Rango	19,6	26,4	13,4	25,3	21,1	29,2

En las evaluaciones por clases diamétricas, la clase de tamaño predominante a los 25 años para el grupo de especies arenillo, milpo, trestablas y zapato fue la clase de 10 a 20 cm, con excepción del milpo que concentró el 50% de sus individuos en la clase de 20 a 30 cm. En general, estas especies forestales del ensayo Indígenas II presentaron una tasa de crecimiento bajo. La estructura diamétrica determinó a trestablas a los 25 años de edad con 15 de los 70 individuos en la menor clase diamétrica (0 a 10 cm). En la tabla 38 se registran las clases diamétricas de las tres principales especies en dos periodos de medición.

En el ensayo Indígenas II, para la evaluación de 2009 a los 25 años de edad se destaca el comportamiento de milpo con el 6,4% de los individuos superando el diámetro de aprovechamiento y el 22% en la clase anterior (30 a 40 cm).

Los análisis confirman el proceso de investigación y las observaciones de campo, en la que se destaca la especie milpo en su tasa alta de crecimiento y la proyecta como una de las especies forestales nativas de madera fina que tiene alto potencial para su establecimiento en sistemas productivos regionales.

Tabla 38. Clases diamétricas (cm) y frecuencia para tres especies forestales en dos diferentes periodos de evaluación, establecidas en el ensayo Indígenas II, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

Clase diamétrica (cm)	milpo				trestablas				zapato			
	Número en 1993	Porcentaje (%)	Número en 2009	Porcentaje (%)	Número en 1993	Porcentaje (%)	Número en 2009	Porcentaje (%)	Número en 1993	Porcentaje (%)	Número en 2009	Porcentaje (%)
0 - 9,9	8	9,4			46	65,7	15	21,4	24	40	4	8,7
10 - 19,9	54	63,5	19	24,4	24	34,3	40	57,1	34	56,7	27	58,7
20 - 29,9	21	24,7	37	47,4			15	21,4	2	3,3	11	23,9
30 - 39,9	2	2,4	17	21,8							4	8,7
40 - 49,9			5	6,4								
Total	85	100	78	100	70	100	70	100	60	100	46	100

La tendencia del análisis de varianza estableció que los factores de mayor efecto en el modelo fueron bloque, especie y edad

3.4 Ensayo Enriquecimiento forestal

Para el grupo de especies abarco, achapo, roble y caoba del ensayo Enriquecimiento forestal, en el periodo 1996 a 2009, entre los 14 y 27 años de edad, se realizó el análisis de varianza para el diámetro considerando los factores ya señalados, influyentes en el modelo. La tendencia del análisis de varianza estableció que los factores de mayor efecto en el modelo fueron bloque, especie y edad, factores que condicionaron el comportamiento de la variable diámetro y confirmaron las evaluaciones registradas determinando la existencia de diferencias significativas entre las especies

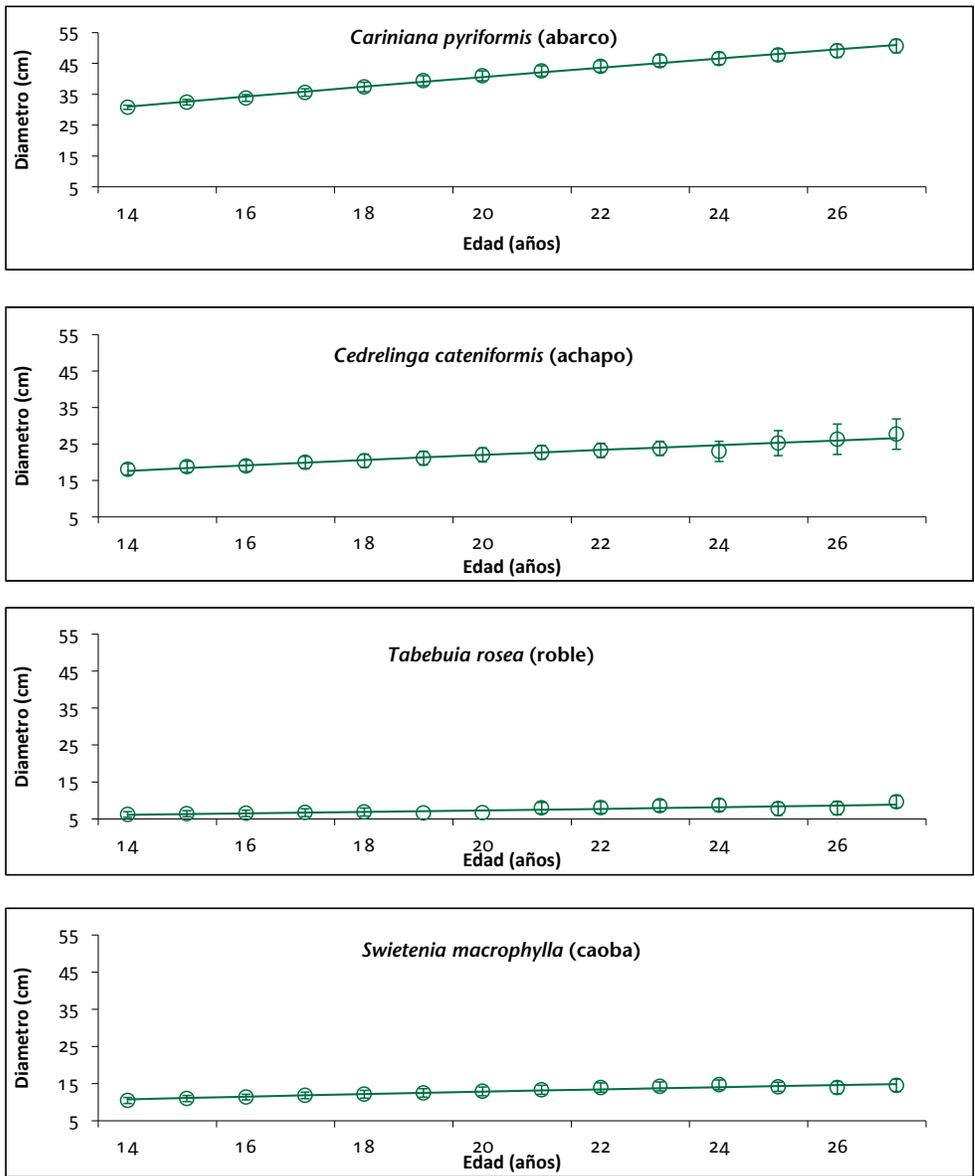
Para el grupo de especies, se obtuvieron ecuaciones que expresan el diámetro en función de la edad de manera similar a lo realizado previamente para los anteriores ensayos. Se graficó la tendencia de la variable en función de la edad y se ajustaron los valores obtenidos mediante la ecuación calificada (Ver tabla 39). En la figura 15 se registra esta información.

Tabla 39. Ecuaciones de diámetro en función de la edad para cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Enriquecimiento forestal, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

Especie	Ecuación	MSE	SD	R ²
abarco	$\text{Diámetro} = 4,1602 * \text{edad}^{0,7603}$	8,7096	2,9512	0,82
achapo	$\text{Diámetro} = 3,3439 * \text{edad}^{0,6286}$	18,824	4,3387	0,3
caoba	$\text{Diámetro} = 4,0965 * e^{0,0286 * \text{edad}}$	5,5601	2,358	0,12
roble	$\text{Diámetro} = 2,8996 * \text{edad}^{0,4968}$	3,2147	1,7929	0,35

Figura 15. Crecimiento del diámetro en función de la edad (de 14 a 27 años) de especies forestales establecidas en el ensayo Enriquecimiento forestal, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

En la gráfica los círculos representan el valor promedio real medido. Las líneas que acotan el valor promedio corresponden al error estándar. La línea es construida con los valores obtenidos del modelo de regresión.



Para este sistema de enriquecimiento forestal, con las ecuaciones de diámetro de acuerdo con la edad de establecimiento se obtuvieron las proyecciones de crecimiento y la valoración de la oferta de madera

Los resultados mostraron importantes diferencias en el comportamiento del diámetro para las especies estudiadas, los cuales registraron amplio rango de valores en la mayoría de las edades de medición, que corresponden a Cuadrados medios del error altos. En este caso el abarco registró 18,8, el achapo 8,7 y la caoba 5,6. Se observó para la especie caoba la heterogeneidad de los valores registrados, lo mismo que sucedió para el achapo y el roble; para la especie abarco los mayores valores obedecen más a los altos crecimientos observados para los 40 individuos del ensayo.

En este ensayo, se destacó la línea de tendencia del crecimiento y los valores promedios alcanzados por el abarco constituyendo la principal especie para establecer en sistemas sostenibles productivos de enriquecimiento. A pesar del bajo valor promedio de diámetro de las tres especies restantes, se observó la tendencia permanente de crecimiento; de igual manera, estas especies no alcanzaron a los 27 años su diámetro mínimo de cortabilidad. Para este sistema de enriquecimiento forestal, con las ecuaciones de diámetro de acuerdo con la edad de establecimiento se obtuvieron las proyecciones de crecimiento y la valoración de la oferta de madera.

Mediante el análisis de varianza del diámetro, se encontró que a los 27 años existían diferencias significativas entre las medias de la variable para las especies evaluadas. De acuerdo con la prueba de comparación múltiple de Tukey el abarco conformó el grupo A y presentó diferencias significativas frente a las otras tres especies que conformaron el grupo B.

En este ensayo de Enriquecimiento forestal, se destacó el valor de incremento medio anual de la especie abarco, que entre las edades 14 a 27 años registró en promedio 2,25 cm/año. El abarco fue la especie forestal de mayor tasa de crecimiento para la región norte amazónica cuando es establecida en el sistema de enriquecimiento forestal. En orden de importancia le siguieron el achapo con incrementos entre 1,0 cm/año y 1,26 cm/año para el periodo de medición. Las especies roble y caoba registraron muy bajos incrementos medios anuales en diámetro, que obedece a

factores de falta de luminosidad por el cierre del dosel superior de la vegetación boscosa del sistema.

El valor de diámetro promedio para abarco a los 27 años fue de 51,5 cm y fue la especie de mejor comportamiento y la especie caoba con 14,5 cm como la de menor crecimiento. El abarco similar a su comportamiento en el ensayo de Quince especies presentó alto valor de desviación estándar (8,9), expresando la amplitud del rango de diámetros medidos en el ensayo (14,0 a 82,0 cm); el achapo registró menor variación con valores entre 8,0 y 33,0 cm. Las otras dos especies roble y caoba por su lento crecimiento registraron un rango de sus datos muy estrechos. Se confirmó que el menor crecimiento de las especies achapo, roble y caoba, es producto de la falta de manejo adecuado, ya que este sistema implica un manejo permanente de la fajas o calles y por el menor ritmo de crecimiento de estas especies, que no alcanzaron el dosel superior oportunamente y fueron suprimidas por las especies nativas del bosque de segundo crecimiento. En la tabla 40 se presentan los valores y parámetros estadísticos de las variables analizadas para la especie abarco.

Los reportes presentados en el capítulo 3, aunque son para edades menores a las evaluaciones realizadas en este ensayo, nos permiten hacer una comparación, en la que se registró para la especie achapo, establecida en un sistema de enriquecimiento a la edad de 6 años, incremento medio anual en diámetro de 2,2 cm/año, Palomino y Barra (2003), que es un mayor valor comparado con el registro de 1,26 y 1,0 cm/año a edades entre 14 y 27 años obtenido en este estudio en el ensayo de Enriquecimiento forestal. Los análisis y resultados que se han presentado, también permitieron definir que en las etapas tempranas de crecimiento (entre 1 a 6 años) se registraron las mejores tasas de crecimiento anual.

El valor de diámetro promedio para abarco a los 27 años fue de 51,5 cm y fue la especie de mejor comportamiento

Tabla 40. Diámetro, altura promedio, calificadores y rangos para abarco entre 14 y 27 años de edad (entre 1993 y 2009), en el ensayo Enriquecimiento forestal, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

	abarco							
	Diámetro (cm)		Altura (m)		Incremento medio anual en diámetro (cm/año)		Incremento medio anual en altura (m/año)	
Años	14 años	27 años	14 años	27 años	14 años	27 años	14 años	27 años
Total datos	40	39	40	39	40	39	40	39
Promedio	31,48	51,53	20,05	30,01	2,25	1,91	1,43	1,11
Desviación Estándar	8,90	17,04	4,35	6,82	0,64	0,63	0,31	0,25
Varianza	79,29	290,33	18,93	46,52	0,40	0,40	0,10	0,06
C.V	28,3%	33,1%	21,7%	22,7%	28,3%	33,1%	21,7%	22,7%
Mínimo	8,00	14,30	6,60	13,00	0,57	0,53	0,41	0,48
Máximo	48,00	82,00	26,00	46,10	3,43	3,04	1,86	1,71

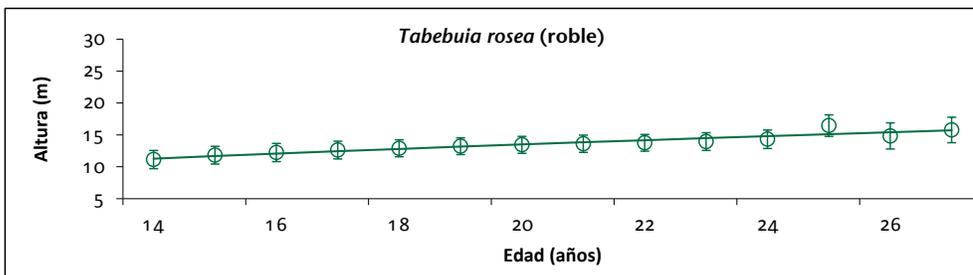
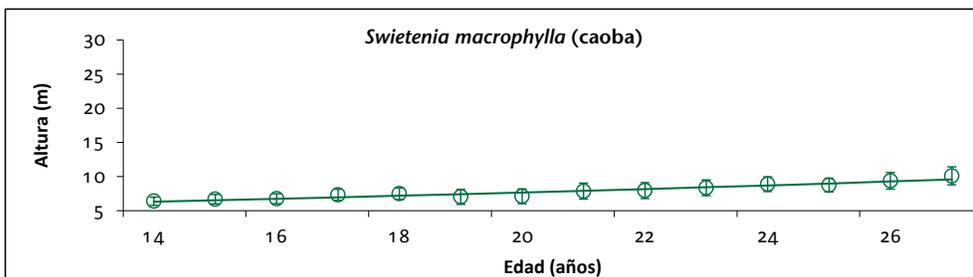
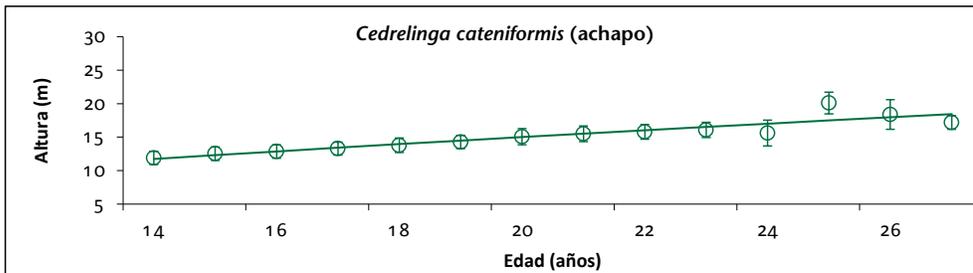
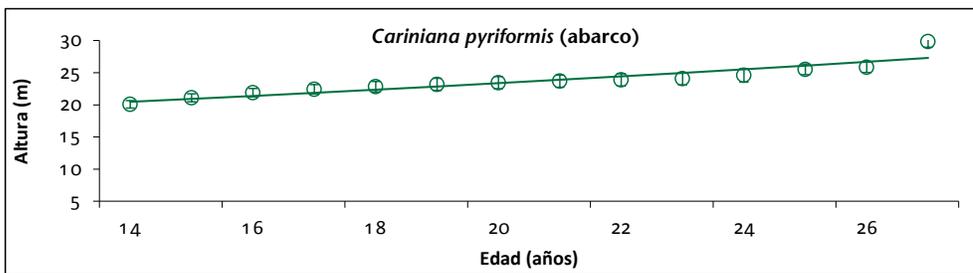
Adicionalmente, para el grupo de especies en mención se realizó el análisis de varianza para la variable altura. En el marco del análisis estadístico empleado para todos los ensayos se construyeron las ecuaciones de altura en función de la edad (Ver tabla 41). Para las cuatro especies se realizaron las gráficas del modelo y valores promedios medidos, como se puede observar en la figura 16.

Tabla 41. Ecuaciones de altura en función de la edad para cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Enriquecimiento forestal, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

Especie	Ecuación	MSE	SD	R ²
abarco	$Altura = 15,025 * e^{0,0221 * edad}$	3,0734	1,7531	0,6
achapo	$Altura = 1,9108 * edad^{0,6878}$	5,7621	2,4004	0,44
caoba	$Altura = 4,0232 * e^{0,0321 * edad}$	2.8294	1,6821	0,27
roble	$Altura = 2,9878 * edad^{0,5036}$	5,3338	2,3095	0,27

Figura 16. Crecimiento de la altura en función de la edad (de 14 a 27 años) de especies forestales establecidas en el ensayo Enriquecimiento forestal, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

En la gráfica los círculos representan el valor promedio real medido. Las líneas que acotan el valor promedio corresponden al error estándar. La línea es construida con los valores obtenidos del modelo de regresión.



La variable altura mostró diferencias marcadas en el comportamiento para las especies, aunque el rango de valores fue menor que para el diámetro, siguió siendo un comportamiento muy heterogéneo a las diferentes edades de medición y se evidenció la discontinuidad de los valores medidos con los valores calculados con la ecuación, que en general presentaron muy bajos coeficientes de determinación o ajuste. Para la altura, mediante la prueba de comparación se estableció un grupo A con la especie abarco que a los 27 años registró en promedio 30,0 m, contrario al grupo B de las especies achapo, caoba y roble con un promedio de 15,0 m a esa edad.

El comportamiento heterogéneo del diámetro y la altura, es reflejo de este modelo de enriquecimiento forestal, en el cual la vegetación circundante genera una influencia, no considerada en el modelo, a diferencia de los ensayos de campo abierto o plantaciones en los cuales los factores son internos al ensayo. Estas consideraciones confirmadas con la validación estadística de los modelos, son las que previamente el Instituto Sinchi ha formulado como el plan de manejo para los sistemas de enriquecimiento forestal establecidos en la región norte amazónica y que se define como principal elemento la entrada de luz al sistema a partir de la eliminación de la competencia en las calles donde se establecen las especies; reafirmando la apreciación de que la cobertura presente en este tipo de sistemas de enriquecimiento es un factor a tener en cuenta en los modelos y en el manejo silvícola de los sistemas establecidos (Giraldo B. *et al.*, 2004).

En la evaluación por clases diamétricas, el grupo de diámetros predominantes para las especies achapo, roble y caoba correspondieron a la clase de 10 a 20 cm y la de 20 a 30 cm; en este rango el achapo concentró el 75% de sus individuos y las especies roble y caoba el 100%. La estructura diamétrica de igual manera permitió establecer que para el abarco, los árboles menores de 20 cm de diámetro son solo dos individuos que posiblemente son rebrotes de la especie posterior a una pérdida del individuo (Tabla 42).

Tabla 42. Clases diamétricas (cm) y frecuencia para abarco a las edades de 14 y 27 años, establecida en el ensayo Enriquecimiento forestal, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

Clase Diamétrica en cm	No. de Individuos 1993	Porcentaje %	No. de Individuos 2009	Porcentaje %
0 - 9,9	1	2,5%		
10 - 19,9	3	7,5%	2	5,1%
20 - 29,9	12	30,0%	5	12,8%
30 - 39,9	18	45,0%	2	5,1%
40 - 49,9	6	15,0%	5	12,8%
50 - 59,9			11	28,2%
60 - 69,9			10	25,6%
70 y mas			4	10,3%
Total	40	100%	39	100%

3.5 Resultados alcanzados (entre 2000-2009) para nuevos ensayos en la Estación Experimental

3.5.1 Ensayo Báscula

Este ensayo se inició en el año 2000, y su objetivo fue determinar las especies maderables nativas de mayor potencial de producción forestal para la región. Las especies sembradas fueron: bálsamo (*Miroxylum balsamun*), brasil (*Aspidosperma sp*), cedro macho (*Pachira quinata*) y caruto (*Genipa americana*), por ser importantes como maderas para ebanistería y con potencial de oferta de productos no maderables (usos medicinal e industrial). Se estableció un diseño de bloques al azar (tres bloques), con tres repeticiones para cada una de las especies. Cada individuo se sembró a distancia de 3 x 3 m en cuadrado y se establecieron 36 individuos de la especie en cada repetición, en total para cada especie se establecieron tres parcelas por 36 individuos para 108 individuos (Tabla 43). En el año 2009, a los 9 años de edad se realizó una evaluación del ensayo y se obtuvieron los datos registrados en la tabla 44.

Tabla 43. Número de individuos sembrados de cuatro especies forestales establecidas en el 2000, en el ensayo Báscula, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

Bloque	bálsamo	brasil	cedro macho	caruto	Total general
1	36	36	36	36	144
2	36	36	36	36	144
3	36	36	36	36	144
Total general	108	108	108	108	432

Tabla 44. Número de individuos que permanecen, de cuatro especies forestales a los 9 años, establecidas en el ensayo Báscula, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

Bloque	bálsamo	brasil	cedromacho	caruto	Total general
1	10	35	8	33	86
2	6	29	19	29	83
3	3	33	20	29	85
Total general	19	97	47	91	254

Para este grupo de especies, comparando el establecimiento en el año 2000 y la valoración a los 9 años, en 2009, las especies más sobresalientes fueron brasil y caruto con 89,8% y 84,3% de permanencia en el ensayo a las distancias establecidas de 3 x 3 m.

Estas dos especies de este grupo amplían la oferta técnica para su establecimiento en sistemas productivos en fincas de productores. Las especies con mayor mortalidad fueron bálsamo y cedromacho (18% y 44% respectivamente) que requieren por su importancia como maderables y usos no maderables, su establecimiento y manejo en condiciones de menor densidad y mejoramiento de la fertilidad natural de los suelos.

En el caso específico de la especie cedromacho, las observaciones cualitativas del periodo de medición mostraron la alta susceptibilidad de la especie al ataque de hormiga arriera, que afectó al 80%

de los individuos establecidos. Para el bálsamo, su alta mortalidad se debió a las condiciones naturales de desarrollo, se observó que requiere condiciones de saturación de humedad, especialmente en zonas de terrazas altas de los ríos amazenses; zona donde fue colectado el material vegetal para su establecimiento.

Para las cuatro especies principales del ensayo Báscula, de acuerdo con los resultados registrados en la tabla 45, sobre estadística descriptiva de las variables diámetro y altura, se estableció que caruto fue la especie de mayor promedio de diámetro con 9,0 cm a los 9 años, con alta variabilidad en los individuos ya que se registraron árboles con 1,8 cm hasta 17,0 cm de diámetro; para las dos especies con mayor número de individuos a los 9 años, brasil y caruto, se registró un amplio rango de valores del diámetro, por ejemplo, para brasil se encontraron valores de 2,0 cm a 14,0 cm.

Caruto fue la especie de mayor promedio de diámetro con 9,0 cm a los 9 años

Tabla 45. Diámetro, altura promedio, calificadores y rangos para cuatro especies forestales a los 9 años edad, establecidas en el ensayo Báscula, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

	bálsamo		brasil		cedro macho		caruto	
	Año 2009 (9 años)							
	Diámetro (cm)	Altura (m)	Diámetro (cm)	Altura (m)	Diámetro (cm)	Altura (m)	Diámetro (cm)	Altura (m)
Total datos	19	19	97	97	47	47	91	91
Promedio	6,25	5,33	7,50	6,39	4,79	3,30	9,03	7,40
Mediana	6,40	6,20	7,20	6,50	4,50	3,00	9,30	7,50
Desviación Estándar	2,38	1,99	2,97	1,84	1,89	1,32	3,71	2,72
Varianza	5,66	3,95	8,85	3,37	3,57	1,74	13,77	7,39
Error Estándar	0,55	0,46	0,30	0,19	0,28	0,19	0,39	0,28
C.V	38,0%	37,3%	39,7%	28,7%	39,4%	40,0%	41,1%	36,7%
Mínimo	2,20	1,20	2,00	2,00	1,60	1,30	1,80	2,00
Máximo	9,80	7,50	14,20	10,90	10,60	6,70	17,00	12,80
Rango	7,60	6,30	12,20	8,00	9,00	5,40	15,20	10,80

Para este ensayo Báscula con mediciones en el periodo 2004 a 2009, para los valores del diámetro se realizó el análisis de varianza considerando los diversos factores establecidos con la metodología de los ensayos previamente analizados, que correspondieron a: repetición, edad, especie, repetición*edad y edad*especie. Todos los factores, excepto bloque*edad y edad*especie, inciden en el comportamiento de la variable. Esta es la tendencia general establecida para los diferentes ensayos analizados previamente.

Para este periodo, con los datos promedios de diámetro se construyeron ecuaciones que lo correlacionan con la edad. Similar a lo analizado para los ensayos previamente descritos, se calificaron las ecuaciones con parámetros de promedio de las sumatoria de residuales cuadrados (MSE), desviación estándar (SD), coeficiente de determinación (R^2) y significancia de los coeficientes. Se analizaron los modelos: 1) Diámetro = $a * \text{Exp}(b * \text{Edad})$, 2) Diámetro = $a * (\text{Edad})^b$, 3) Diámetro = $a + b * \text{Edad}$. (Ver tabla 46)

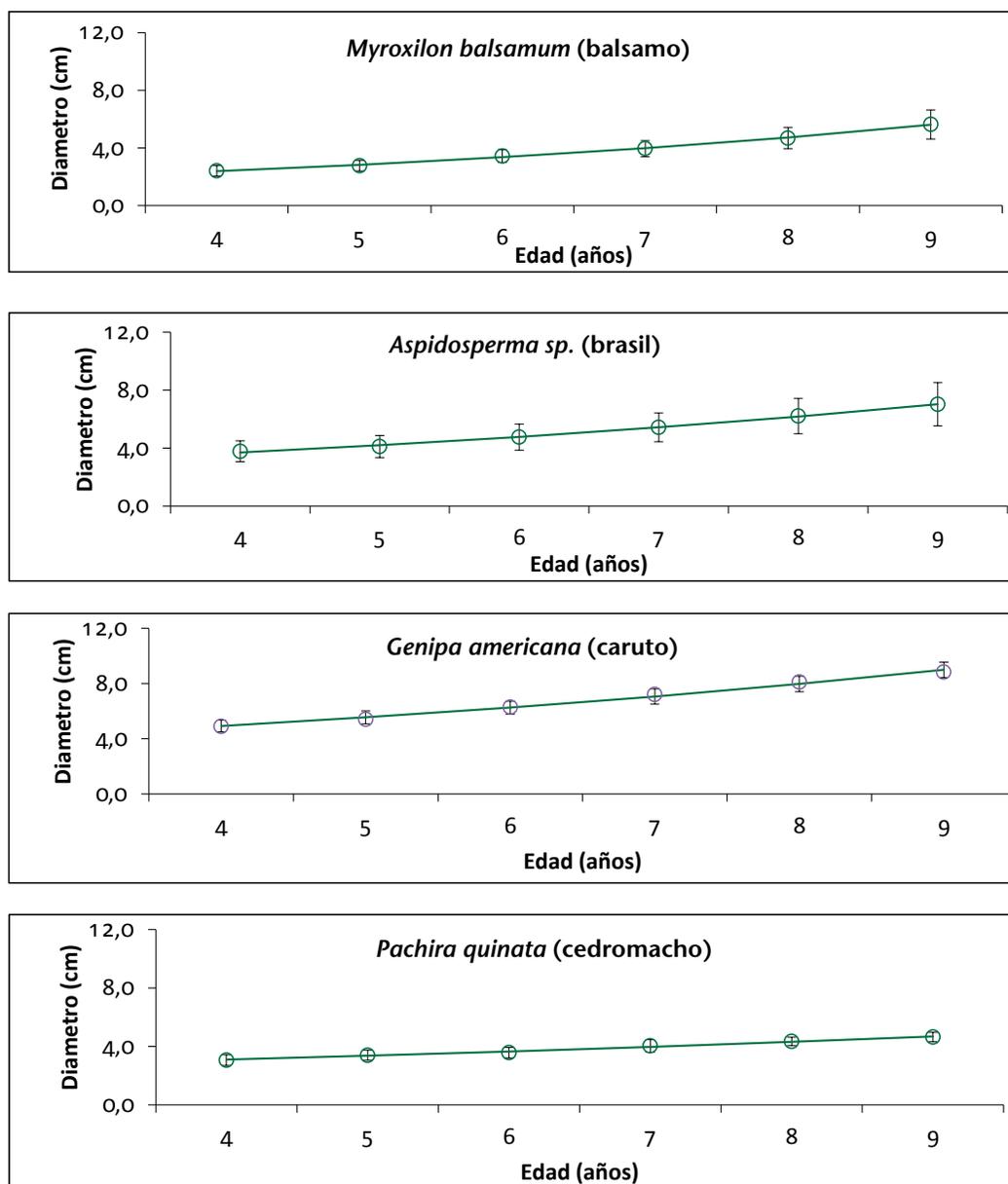
Tabla 46. Ecuaciones de diámetro en función de la edad para cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Báscula, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

Especie	Ecuación	MSE	SD	R^2
bálsamo	$\text{Diámetro} = 1,2033 * e^{0,1709 * \text{edad}}$	0,8798	0,938	0,61
brasil	$\text{Diámetro} = 2,2014 * e^{0,1289 * \text{edad}}$	1,3319	1,1541	0,54
caruto	$\text{Diámetro} = 3,0369 * e^{0,1206 * \text{edad}}$	0,3292	0,5737	0,88
cedromacho	$\text{Diámetro} = 2,2223 * e^{0,0829 * \text{edad}}$	0,2879	0,5365	0,54

Con los datos de diámetro y la edad de las especies bálsamo, brasil, cedromacho y caruto, con los valores reales promedios por bloque, edad y especie se graficó el diámetro en función de la edad y se obtuvieron los valores mediante la ecuación generada. En la figura 17 está registrada esta información.

Figura 17. Crecimiento del diámetro en función de la edad (de 4 a 9 años) de especies forestales establecidas en el ensayo Báscula, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

En la gráfica los círculos representan el valor promedio real medido. Las líneas que acotan el valor promedio corresponden al error estándar. La línea es construida con los valores obtenidos del modelo de regresión



Para las especies de este ensayo, se estableció alta amplitud de valores en la mayoría de las edades de medición; en los cinco primeros años de valoración del diámetro, se analizó que la función para todas las especies fue de tipo exponencial con lento crecimiento inicial y una tendencia progresiva del crecimiento, de las cuales sobresale caruto con incremento medio anual desde 1,3 cm/año a los cuatro años hasta 1,1 cm/año a los nueve años que para el periodo de cinco años correspondió a un incremento promedio de 1,1 cm/año, valor importante y comparable a las especies nativas evaluadas en la Estación Experimental. La otra especie que sobresalió en este grupo, con valores medios por las condiciones de densidad y fertilidad expresadas previamente, fue brasil que registró para el periodo de valoración un incremento medio anual promedio de 0,9 cm/año.

Para la especie caruto, en el Brasil, a 32 meses de edad presentó incrementos medios anuales en diámetro de 1,2 cm/año, similar valor obtenido para esta especie en esta investigación en el departamento del Guaviare con registros a los 9 años de 1,1 cm/año. La especie caruto en Colombia, a los 3,5 años de edad, presentó un diámetro promedio de 4,2 cm (incremento medio de 1,2 cm/año). En Minas Gerais en Brasil a los 9 años, registraron valores de 2,2 cm en diámetro (incremento de 0,25 cm/año), este último resultado se situó por debajo del incremento registrado en esta investigación en el departamento del Guaviare, Colombia. De igual manera, la especie caruto en Costa Rica a los 9 años (Pioto, D. 2001) presentó incremento medio anual en diámetro de 1,1 cm/año, similar a lo registrado en esta investigación en Guaviare

En el ensayo Báscula, mediante el análisis de varianza se estableció que existían diferencias significativas entre los valores medios del diámetro a los 9 años para las especies estudiadas. Con la prueba de comparación múltiple de Tukey se corroboraron los análisis y gráficos previos y se estableció a la especie caruto en el grupo A con promedio de diámetro de 9,03 cm; el grupo B con las especies bálsamo con 6,25 cm y brasil con 7,5 cm. En el grupo C se registró a la especie cedromacho con promedio de diámetro de 4,8 cm

La evaluación de la variable altura para las especies en estudio se realizó mediante el análisis de varianza, se identificaron los factores influyentes en el modelo y se obtuvieron tendencias similares

**Sobresale
caruto con
incremento
medio
anual desde
1,3 cm/año
a los cuatro
años hasta
1,1 cm/año
a los nueve
años**

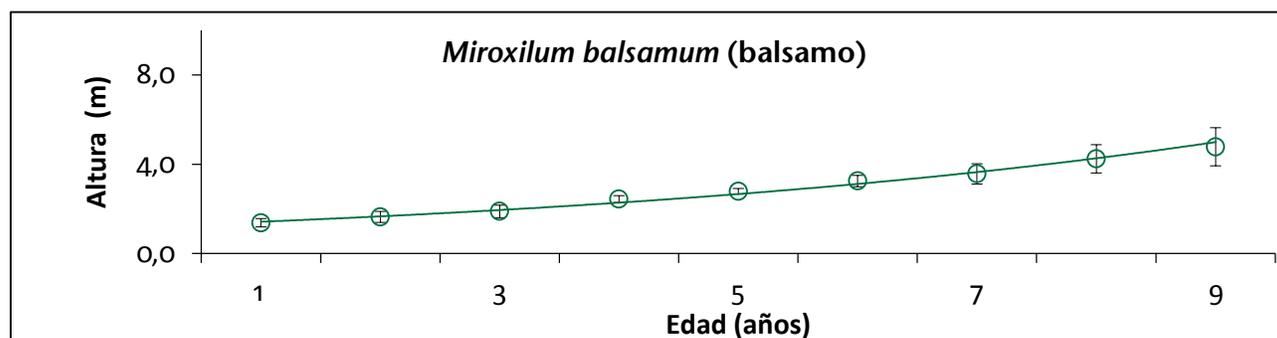
a los análisis previos de ensayos en la Estación Experimental, que confirman la validez de la hipótesis sobre la variabilidad de la altura entre las diferentes especies analizadas. Los factores bloque, edad y especie registraron alto nivel de significancia para explicar la variable altura. Para cada especie se construyó una ecuación para modelar la altura en término de la edad (Ver tabla 47) y con los valores reales promedios de altura por bloque, edad y especie se graficó la altura valorada y los valores obtenidos mediante la ecuación (Figura 30).

Tabla 47. Ecuaciones de altura en función de la edad para cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Báscula, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

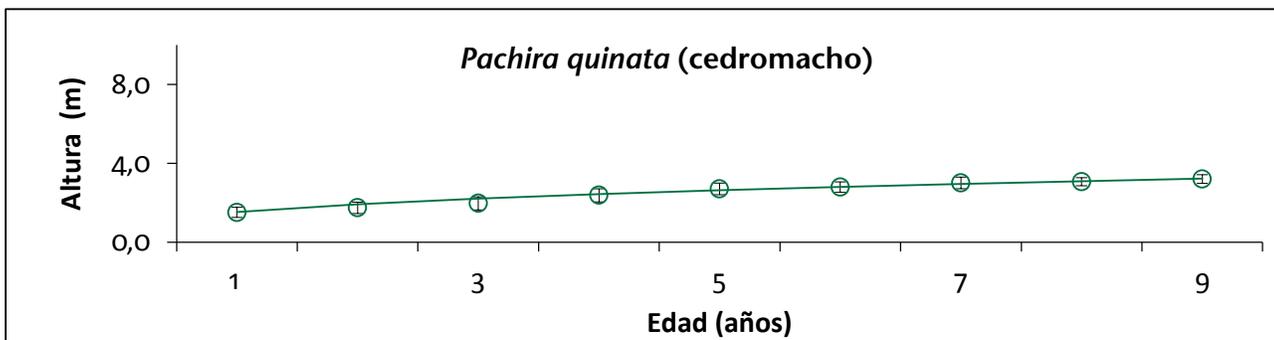
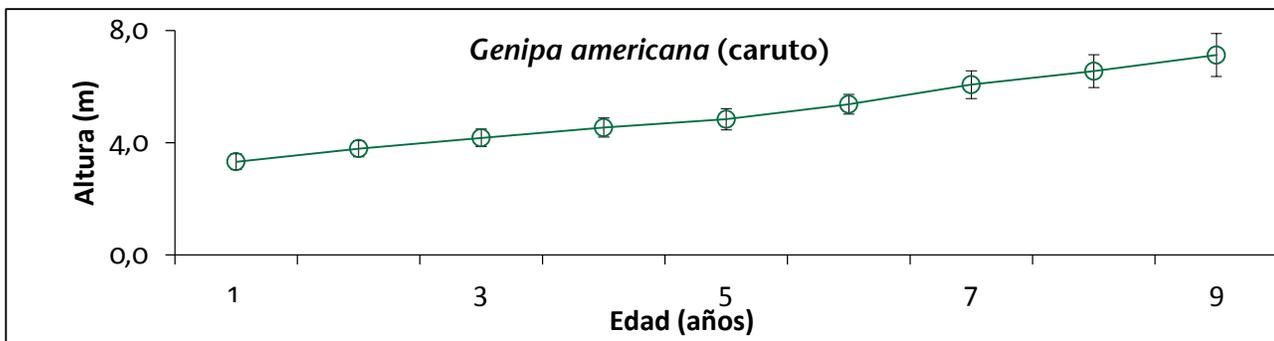
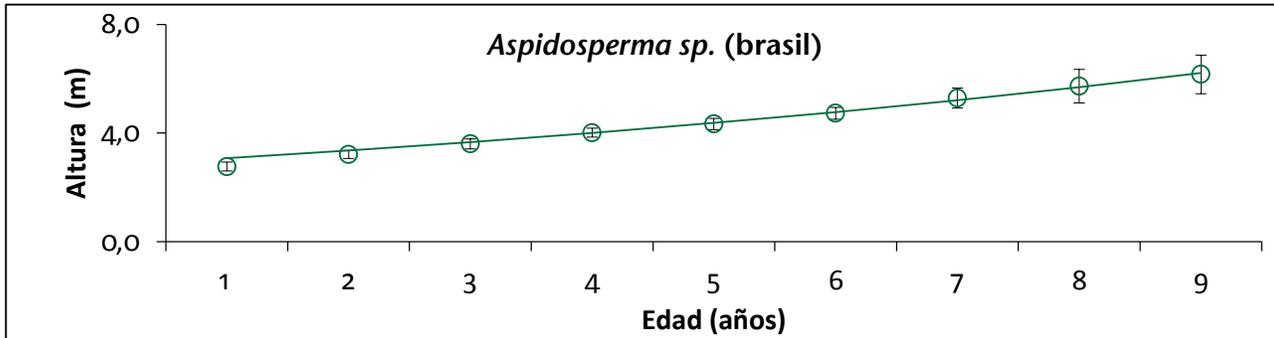
Especie	Ecuación	MSE	SD	R ²
bálsamo	$Altura = 1,4187 * e^{0,1353 * edad}$	0,5449	0,7381	0,57
brasil	$Altura = 2,8176 * e^{0,0878 * edad}$	0,2293	0,4788	0,75
caruto	$Altura = 3,1040 * e^{0,09306 * edad}$	0,318	0,5639	0,76
cedromacho	$Altura = 1,5209 * edad^{0,3409}$	0,1692	0,4113	0,32

Figura 18. Crecimiento de la altura en función de la edad (de 4 a 9 años) de especies forestales establecidas en el ensayo Báscula, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

En la gráfica los círculos representan el valor promedio real medido. Las líneas que acotan el valor promedio corresponden al error estándar. La línea es construida con los valores obtenidos del modelo de regresión.



Continuación Figura 18



En los análisis para la variable altura, se obtuvo para la especie caruto un error estándar de 0,28 m, se estableció con un 95% de confianza que para esta especie a los 9 años en el Guaviare, los promedios de altura estaban entre 6,8 y 8,0 m. Para la especie brasil los promedios para esta variable se encontraban entre 6,0 m y 6,8 m. Para las dos principales especies de este ensayo Básqu-

la, se analizó de igual manera el incremento medio anual para la altura; que por las razones de construcción de estas variables de incremento reflejaron similar tendencia a las variables medidas. Se estableció para la especie caruto un promedio de incremento en altura de 1,0 m/año y de 0,7 m/año para el brasil. Los rangos de incremento medio para la especie caruto, con una confianza del 95%, se encuentran entre 0,8 y 0,9 m/año, para la especie brasil están entre 0,7 a 0,8 m/año.

Las otras dos especies bálsamo y cedromacho, presentaron una disminución bastante pronunciada en cuanto al número de individuos sembrados, con bajos promedios en diámetro y altura, especialmente en el cedromacho que registró un crecimiento medio en la altura entre 0,40 m y 0,53 cm en diámetro.

En el análisis de distribución de frecuencias a los 9 años, que reflejó con más detalle el comportamiento del diámetro, la especie caruto registró el 41,8% de los individuos en la clase entre 10 y 20 cm, el 40,7% entre 5 y 10 cm y el 17,6% está por debajo de los 5 cm; en la especie brasil el mayor porcentaje de los individuos se concentró entre 5 a 10 cm con el 56,7% y un 20,6% en el rango de 10 a 15 cm.

Considerando los incrementos medios para la variable diámetro se estableció que en la especie caruto el 66,1% presentaron un incremento entre 1,0 y 2,0 cm/año, valor superior al promedio registrado para otras especies nativas de la región norte amazónica, consolidando a la especie caruto como una de las especies potenciales para ingresar a sistemas productivos regionales. En el caso de la especie brasil, el 32% tiene crecimientos medios entre 1,0 y 2,0 cm/año, mientras que el 50,5% están en el rango de 0,5 a 1,0 cm/año, mostrándose como la segunda especie de importancia en este ensayo. Se destacó también el comportamiento que tiene la especie bálsamo, pues aunque tuvo un alto índice de mortalidad, 14 de los 19 los individuos que quedan en pie tienen también un crecimiento medio en diámetro entre 0,5 y 1,5 cm/año. (Ver tabla 48 y tabla 49)

Los rangos de incremento medio para la especie caruto, con una confianza del 95%, se encuentran entre 0,8 y 0,9 m/año, para la especie brasil están entre 0,7 a 0,8 m/año.

Tabla 48. Clases diamétricas (cm) y frecuencia para cuatro especies forestales a las edades de nueve años, establecida en el ensayo Báscula, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

Clase Diamétrica en cm	bálsamo		brasil		cedromacho		caruto	
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
0 - 4,9	6	31,6%	22	22,7%	27	57,4%	16	17,6%
5 - 9,9	13	68,4%	55	56,7%	19	40,4%	37	40,7%
10 - 14,9			20	20,6%	1	2,1%	34	37,4%
15 - 19,9							4	4,4%
Total	19	100%	97	100%	47	100%	91	100%

Tabla 49. Clases de incremento medio anual (IMA) del diámetro y frecuencia para cuatro especies forestales a los nueve años de edad, establecida en el ensayo Báscula, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

Clase IMA del diámetro en cm	bálsamo		brasil		cedromacho		caruto	
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
0 - 0,49	5	26,30%	17	17,50%	23	48,90%	15	16,50%
0,5 - 0,99	11	57,90%	49	50,50%	22	46,80%	25	27,50%
1,0 - 1,49	3	15,80%	27	27,80%	2	4,30%	37	40,70%
1,50 - 1,99			4	4,10%			14	15,40%
Total	19	100%	97	100%	47	100%	91	100%

La distribución de frecuencias para los incrementos medios de la variable altura mostró que el 18,7% de individuos de la especie caruto y el 1,0% de la especie brasil, se encontraron en el rango de 10 a 15 m; para la categoría de 5 a 10 m; las especies brasil, caruto y bálsamo tenían el mayor porcentaje de sus individuos; el cedromacho fue la única especie con alto porcentaje de individuos en el rango inferior, de 0 a 5 m, presentando el 87,2% de sus individuos.

3.5.2 Ensayo Caldera

Este ensayo se inició por parte del Instituto SINCHI en el año 2001, con el objetivo de determinar las especies maderables nativas de mayor potencial de producción forestal para la región. Las especies sembradas fueron brasil (*Aspidosperma sp*), cuyubí (*Minguartia guianensis*), paloarco (*Tabebuia serratifolia*) y vochysia (*Vochysia ferruginea*).

Para el desarrollo del ensayo, se utilizó el mismo diseño experimental aplicado en el ensayo Báscula. En el análisis de 2009, se registró una permanencia alta del total de los individuos sembrados, con 357 de los 432 sembrados que corresponde a un 83%. A nivel de especies solo cuyubí registró un valor medio de 71% de sobrevivencia, para las especies brasil, vochysia y paloarco sus registros de permanencia fueron mayores al 80%. (Ver tabla 50)

Los valores de sobrevivencia por especie correspondieron a: 87 individuos de 108 establecidos de la especie brasil, 77 del cuyubí, 101 del paloarco y 92 del vochysia. Con la información obtenida a los 8 años de estudio, estas especies nativas de la región norte amazónica, de potencial de uso para madera fina, reflejaron su gran capacidad de adaptarse a distancias de siembra de 3x3 m y condiciones de fertilidad natural de los suelos de la Estación Experimental.

Se resaltó la especie paloarco con el 94% de permanencia de sus individuos, que a pesar de su crecimiento medio, se considera una opción importante para procesos de repoblamiento vegetal.

Tabla 50. Número de individuos que permanecen, de cuatro especies forestales a los ocho años, establecidas en el ensayo Caldera, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

Bloques del ensayo	brasil	cuyubí	paloarco	vochysia	Total
1	32	28	35	29	124
2	31	23	32	34	120
3	24	26	34	29	113
Total	87	77	101	92	357

En la evaluación a los 8 años de edad (año 2009), se observó que las cuatro especies evaluadas presentaron un rango estrecho de distribución para las variables altura y diámetro; en diámetro se registraron individuos entre 2,0 a 15,0 cm para el brasil, de 3,0 a 26,0 cm para el vochysia; las especies cuyubí y paloarco variaron entre 2,0 y 10,0 cm. Para este grupo de especies valoradas a los 8 años de edad, se registró un comportamiento diferente a los otros ensayos establecidos en la Estación Experimental, que registraron mayor variabilidad del diámetro y la altura. (Ver tabla 51)

Tabla 51. Diámetro, altura promedio, calificadores y rangos para cuatro especies forestales a los 8 años de edad, en el ensayo Caldera, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

	brasil		cuyubí		paloarco		vochysia	
	Diámetro (cm)	Altura (m)						
Total datos	87	87	77	77	101	101	92	92
Promedio	9,07	8,47	6,53	6,79	6,28	5,61	15,6	13,55
C.V	34,90%	29,00%	31,30%	17,40%	32,90%	24,80%	35,20%	22,50%
Mínimo	2,1	2,5	2,6	3,8	3	2,8	2,9	3,3
Máximo	15,3	12,8	10,6	9,1	10,9	9	25,5	18,8
Rango	13,2	10,3	8	5,3	7,9	6,2	22,6	15,5

Este ensayo Caldera con evaluaciones en el periodo 2003 a 2009, para los valores del diámetro se realizó el análisis de varianza considerando los diversos factores establecidos con la metodología de los ensayos previamente descrita, todos los factores, excepto bloque*edad, inciden en el comportamiento de la variable, mostrando una tendencia similar a la establecida para los diferentes ensayos analizados previamente. Para este ensayo en el periodo 2003 a 2009, para los datos promedios de diámetro se construyeron ecuaciones que lo correlacionan con la edad, similar a lo registrado para los ensayos analizados previamente, se calificaron las ecuaciones con la metodología reportada. Se analizaron los modelos: 1) Diámetro = a * Exp (b * Edad), 2) Diámetro = a * (Edad)^b, 3) Diámetro = a + b Edad. (Ver tabla 52)

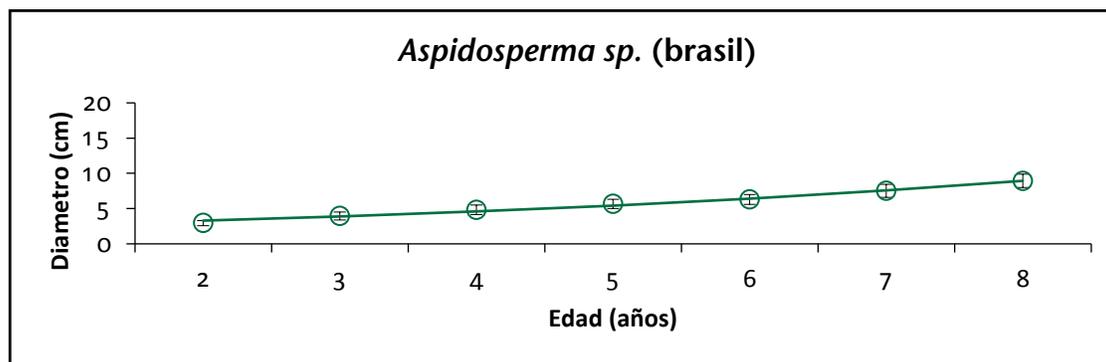
Tabla 52. Ecuaciones de diámetro en función de la edad para cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Caldera, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

Especie	Ecuación	MSE	SD	R ²
brasil	$Diametro = 2,3755 * e^{0,1657 * edad}$	1,1632	1,0785	0,77
cuyubí	$Diametro = 0,8448 * edad^{0,97}$	0,8643	0,9297	0,76
paloarco	$Diametro = 2,9573 * e^{0,0946 * edad}$	0,2665	0,5162	0,89
vochysia	$Diametro = 3,7803 * edad^{0,6828}$	3,5778	1,8915	0,76

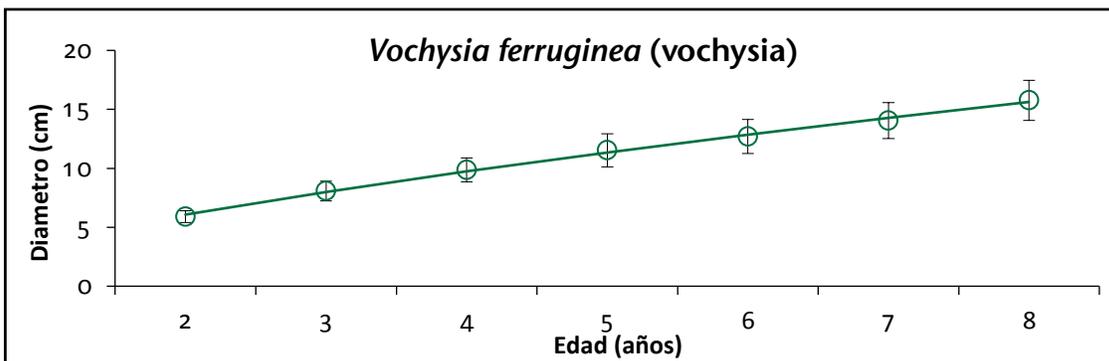
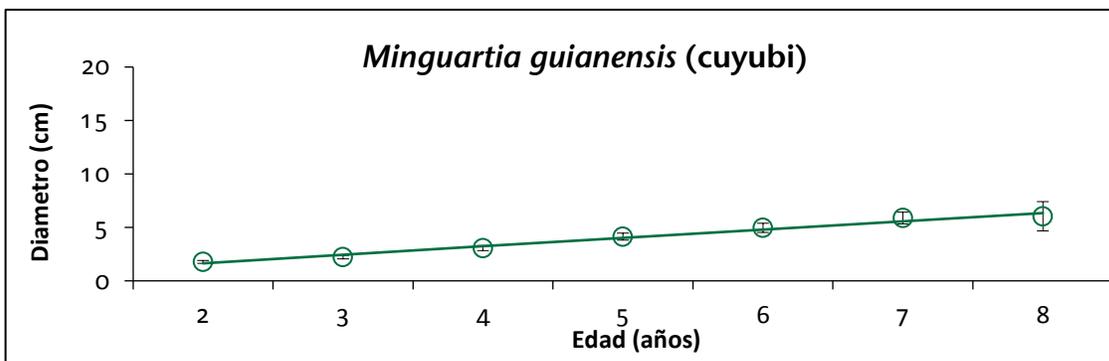
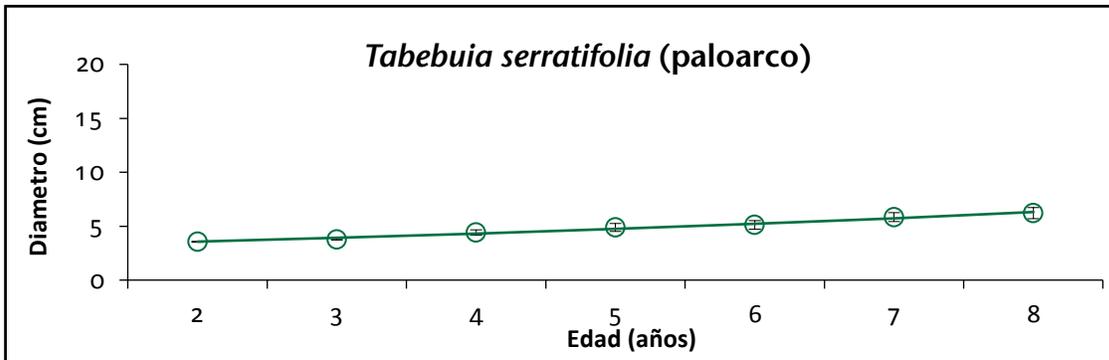
Para los datos de diámetro y la edad de las especies brasil, cuyubí, paloarco y vochysia, se graficaron los valores reales promedios por bloque, edad y especie del diámetro en función de la edad y se obtuvieron los valores de diámetro mediante la ecuación generada para graficar la línea de tendencia (Ver figura 19).

Figura 19. Crecimiento del diámetro en función de la edad (de dos a ocho años) de especies forestales establecidas en el ensayo Caldera, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

En la gráfica los círculos representan el valor promedio real medido. Las líneas que acotan el valor promedio corresponden al error estándar. La línea es construida con los valores obtenidos del modelo de regresión



Continuación Figura 19



Los resultados obtenidos mostraron rangos de amplitud estrechos para la especie paloarco, con valores de MSE menores a 0,3 en promedio. La especie vochysia presentó los mayores rangos de variabilidad de los individuos en las diferentes edades, que es explicada principalmente por ser la especie de mayor ritmo de crecimiento de diámetro, con valores promedios por edad desde 5,9 cm a los dos

años, hasta 15,8 cm a los ocho años. Se analizó igualmente que las especies cuyubí y *vochysia* desde su establecimiento presentaron mayores incrementos medios anuales, reflejados en la forma de la curva que describe el crecimiento del diámetro.

Para el ensayo Caldera, el análisis de la variable diámetro mostró el excelente crecimiento de la especie *vochysia* con diámetro promedio a los 8 años de edad de 15,8 cm. Las otras especies brasil, cuyubí y paloarco registraron promedios de diámetro menores a 9,0 cm para los 8 años de edad. Se destacó la especie paloarco, que registró el 90% de permanencia de individuos, aunque presentó el menor valor promedio de diámetro con 6,3 cm a los 8 años de edad.

Una de las especies analizadas en este grupo de maderas nativas finas utilizadas regionalmente, fue el cuyubí, que registró 6,5 cm de diámetro promedio a los 8 años de edad, sin embargo, por los reportes de los agricultores se considera aceptable ya que es una especie de muy lento crecimiento. Para estas especies valoradas se reafirmó el concepto de establecer estrategias adecuadas de manejo silvicultura para mejorar su crecimiento.

Al establecer un punto de comparación con las experiencias de la investigación forestal reportadas en el capítulo 3, los reportes a edad de 3 años, en valores de incremento medio anual en diámetro fueron menores a los registrados para las cuatro especies del ensayo Caldera. Como lo reportó Toledo, et al., (2007), a tres años se registraron incrementos medios para cambará hembra o blanco (*Erismia uncinatum*), el cambará macho (*Qualea paraensis*) y *Vochysia sp.* de 0,63 cm/año. En el ensayo Caldera, a los 8 años de edad, se obtuvo para la especie brasil valores de 1,12 cm/año; para el cuyubí de 0,82 cm/año; para el paloarco de 0,79 cm/año y para la especie *vochysia* de 1,95 cm/año

Para evaluar la variable altura se realizó también un análisis de varianza y se identificaron los factores que explicaban el comportamiento de esta variable en el tiempo. Los resultados fueron de tendencia similar a lo encontrado para el diámetro, en la cual todos los factores son significativos a excepción de bloque*edad;

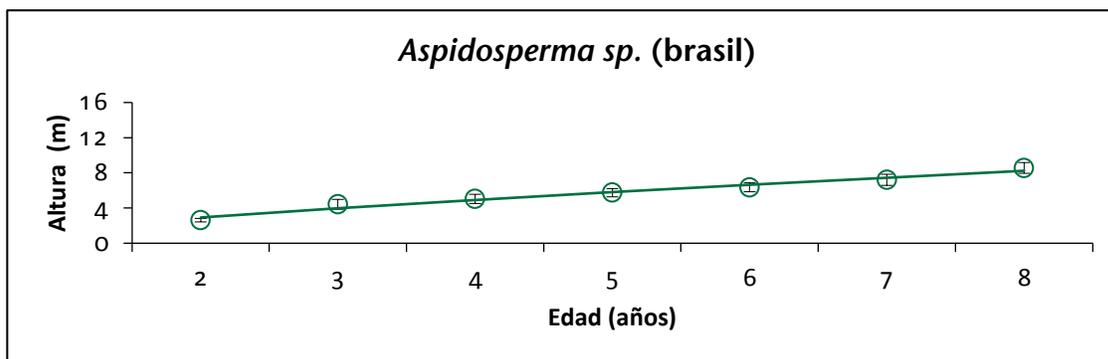
y es lo mismo que se presentó en los análisis previos de ensayos en la Estación Experimental. Para la altura de estas cuatro especies se estableció mediante análisis de regresión las ecuaciones en función de la edad. (Ver tabla 53). Para ver la tendencia de los datos se graficó la altura en función de la edad, y se ajustaron los valores obtenidos mediante la ecuación (Figura 20).

Tabla 53. Ecuaciones de altura en función de la edad para cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Caldera, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

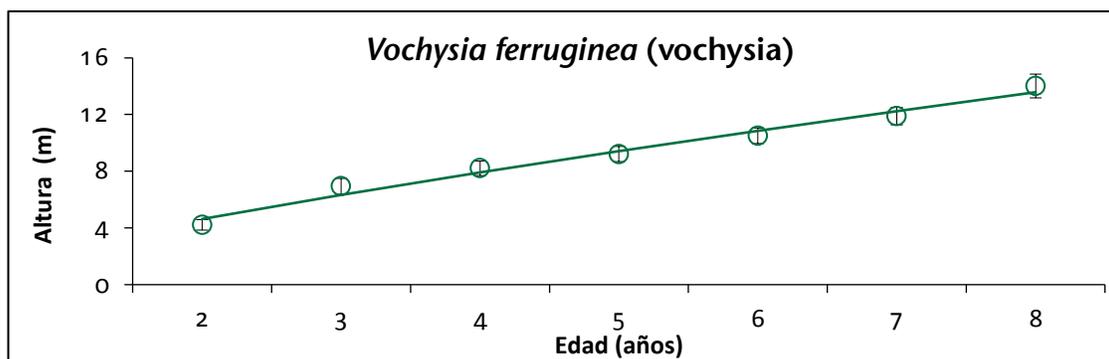
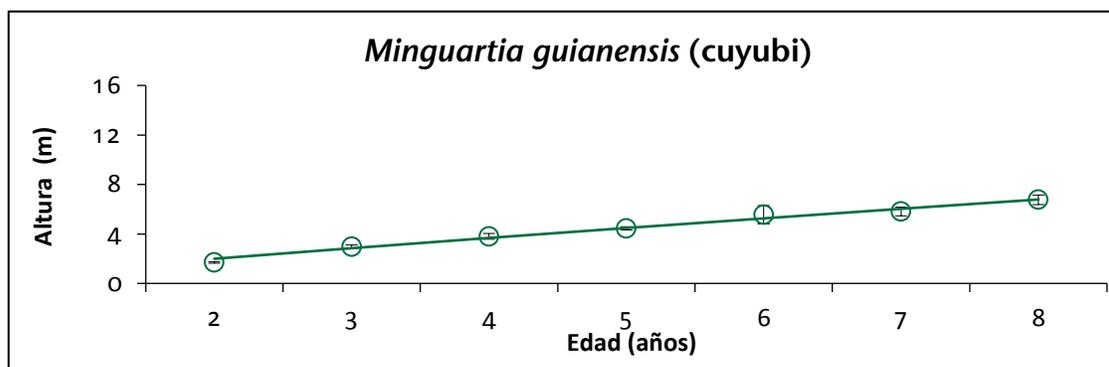
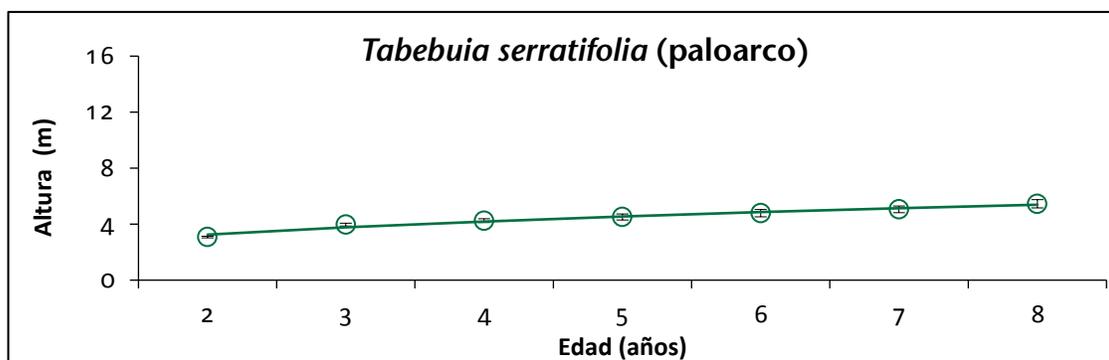
Especie	Ecuación	MSE	SD	R ²
brasil	$Altura = 1,7493 * edad^{0,745}$	0,6778	0,8233	0,83
cuyubí	$Altura = 1,0821 * edad^{0,88359}$	0,3374	0,5809	0,90
paloarco	$Altura = 2,508 * edad^{0,3677}$	0,105	0,324	0,84
vochysia	$Altura = 2,698 * edad^{0,7768}$	0,9229	0,9638	0,91

Figura 20. Crecimiento de la altura en función de la edad (de dos a ocho años) de especies forestales establecidas en el ensayo Caldera, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

En la gráfica los círculos representan el valor promedio real medido. Las líneas que acotan el valor promedio corresponden al error estándar. La línea es construida con los valores obtenidos del modelo de regresión



Continuación Figura 20



A los 8 años de edad en la valoración del 2009 para la variable altura, se registró un comportamiento heterogéneo con diferencias amplias en los promedios de la variable. Esta variable que mide las respuestas a la competencia entre las especies en las etapas iniciales de crecimiento, presentó para la especie vochy-

sia valores medios de 13,6 m, con incremento medio de altura de 1,69 m/año; la especie paloarco con el menor valor con 5,6 m con incremento medio de 0,7 m/año; las especies brasil con 8,5 m de altura y la especie cuyubí con 6,8 m, presentaron un comportamiento medio.

En el ensayo Caldera, para la variable altura el análisis estableció que la especie vochysia en el periodo de medición 2003 a 2009 registró en promedio incremento medio anual en altura aproximado a los 2,0 m/año, constituyendo la especie más importante de este grupo y sobresaliendo en el grupo de especies valoradas en la Estación Experimental.

Como se mencionó en el análisis de permanencia a los 8 años de edad, la especie paloarco registró las mejores condiciones, sin embargo, en la evaluación de la variable altura registró los menores incrementos medios anuales, que confirmaron la apreciación de su alto nivel de competencia entre sus individuos y la necesidad de establecer apropiadas prácticas silviculturales de manejo, considerando la importancia regional de la especie. Para la especie cuyubí es importante destacar que en el periodo de medición señalado, su incremento medio en altura fue aproximado a 1,0 m/año en promedio, valor considerado sobresaliente para las condiciones silviculturales del ensayo.

Se estableció con los análisis de varianza a los 8 años de edad para las variables de diámetro y altura, que se presentaron diferencias significativas en sus tasas de crecimiento. Para el diámetro, al realizar la prueba de comparación múltiple de Tukey se definieron tres grupos: la especie vochysia como la principal, que correspondió al grupo A. La especie brasil en segundo grupo de importancia como grupo B, y como grupo C las especies de menor promedio que correspondieron a cuyubí y paloarco. En la prueba de comparación múltiple, para la altura, sobresalió la especie vochysia conformando el grupo A, la especie brasil en el grupo B, la especie cuyubí en el grupo C y la especie paloarco en el grupo D, estableciendo que existieron diferencias significativas en los valores medios de las variables.

En el análisis de la distribución diamétrica de los individuos, se evidenció el excelente crecimiento de la especie *vochysia* a los 8 años de edad, que concentró la mayor proporción de sus individuos (57%) en clases mayores a 15,0 cm y con dos individuos superando los 25,0 cm de diámetro, con un registro para estos dos individuos de incrementos medios anuales de 3,4 cm/año. Para las especies *cuyubí* y *paloarco* el 90% de los individuos estaban en la clase menor a 10 cm; y cerca del 90% de los individuos de la especie *brasil* estaban entre 5 y 15 cm (Ver tabla 54).

Tabla 54. Clases diamétricas (cm) y frecuencia para cuatro especies forestales a la edad de ocho años, establecidas en el ensayo Caldera, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

Diámetro en cm	brasil		cuyubí		paloarco		vochysia	
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
0 - 4,9	10	11,5%	17	22,1%	34	33,7%	3	3,3%
5 - 9,9	47	54,0%	58	75,3%	61	60,4%	11	12,0%
10 - 14,9	28	32,2%	2	2,6%	6	5,9%	25	27,2%
15 - 19,9	2	2,3%					33	35,9%
20 - 24,9							18	19,6%
25 - 29,9							2	2,2%
Total	87	100%	77	100%	101	100%	92	100%

En el análisis de distribución de alturas, se destacó de nuevo la especie *vochysia* con el 90% de individuos en clases superiores a 10 m, entre ellos el 39% se clasificaron en la clase de 15 a 20 m. Se observó que las especies *paloarco* y *cuyubí* solo registraron alturas de sus individuos menores a 10 m; el *cuyubí* expresó el mejor comportamiento registrando más del 90% de sus individuos en la clase de 5 a 10 m de altura. Para este grupo de especies del ensayo Caldera, en la medición a los 8 años de edad, estableciendo las proyecciones de crecimiento de las variables de diámetro y altura de acuerdo con los promedios analizados, se destacó la especie *vochysia* que alcanzaron los diámetros mínimos de cortabilidad antes de 20 años de edad y la especie *cuyubí* a los 40 años de edad.

Capítulo 4

Valoración de volumen y biomasa

1 Introducción

La biomasa es un parámetro que caracteriza la capacidad de los ecosistemas para acumular materia orgánica a lo largo del tiempo (Brown, 1986, Eamus *et al.*, 2000) y está compuesta por el peso de la materia orgánica aérea y subterránea que existe en un ecosistema forestal (Schlegel *et al.*, 2000). Según el IPCC (2006), es la masa total de organismos vivos presentes en un área o volumen dados; se suele considerar biomasa muerta el material vegetal muerto recientemente. La biomasa es importante para cuantificar la cantidad de nutrientes en diferentes partes de las plantas y estratos de la vegetación, permite comparar distintos tipos de especies o vegetación o comparar especies y tipo de vegetación similar en diferentes ambientes.

2 Metodología

Para definir las ecuaciones generales que expresaran el volumen y la biomasa de los árboles en términos de variables de fácil y permanente registro, como son la altura total y el diámetro, se realizó en

La biomasa es importante para cuantificar la cantidad de nutrientes en diferentes partes de las plantas y estratos de la vegetación

Se realizó en la Estación Experimental del Instituto, la valoración del volumen y biomasa de 57 árboles

la Estación Experimental del Instituto, la valoración del volumen y biomasa de 57 árboles de las especies abarco (*C. pyriformis*), achapo (*C. cateniformis*), algarrobo (*H. oblonguifolia*), amarillo (*C. paraense*), arenillo (*Hymenolobium sp.*), brasil, (*Aspidosperma sp.*) cuyubí (*M. guianensis*), macano (*T. amazonia*), melina (*M. arborea*), milpo (*E. uncinatum*), paloarco (*T. serratifolia*), pavito (*J. copaia*), roble (*T. rosea*), tortolito (*S. morototoni*), trestablas (*D. guianenses*), virola (*V. peruviana*) y vochysia (*V. ferruginea*). Se tumbaron para cada especie entre tres y seis individuos en rangos diferentes de clases de diámetro. Para el aprovechamiento se contó con la asesoría de un experto costarricense para la tumba dirigida y disminución del alto del tocón (parte que queda en el suelo) de los árboles. En la figura 21 se registra el proceso de tumba. En la tabla 55 se registran los diámetros y alturas de los individuos aprovechados.



Figura 21. Fotografía. Proceso de tumba dirigida de árbol de achapo de 25 años, establecido en la Estación Experimental El Trueno Guaviare, Colombia

Tabla 55. Diámetros y alturas de individuos aprovechados de 17 especies forestales para valoración de volumen y biomasa, en la Estación Experimental El Trueno Guaviare, Colombia

Especie	Diámetro (cm)	Altura (m)
abarco	51,8	24,0
abarco	42,8	25,5
abarco	51,4	30,0
achapo	47,6	25,5
achapo	42,8	21,0
achapo	47,5	25,5
algarrobo	70,0	35,0
algarrobo	9,0	12,6
algarrobo	8,5	10,7
amarillo	31,0	22,4
amarillo	31,6	28,5
amarillo	20,6	23,1
arenillo	16,0	15,8
arenillo	17,4	16,2
arenillo	29,0	19,2
brasil	10,9	9,6
brasil	8,1	8,0
brasil	15,3	10,2
brasil	14,5	12,6
brasil	12,2	12,7
brasil	8,3	7,2
cuyubí	3,8	6,4
cuyubí	4,9	6,1
cuyubí	3,9	6,0
macano	45,8	12,0
macano	42,9	16,5
macano	35,8	12,0
melina	41,6	24,7
melina	42,9	16,5

Especie	Diámetro (cm)	Altura (m)
melina	35,8	12,0
milpo	34,0	16,5
milpo	48,6	16,5
milpo	36,2	16,5
paloarco	8,4	7,4
paloarco	4,7	4,5
paloarco	9,4	6,9
pavito	21,6	13,5
pavito	16,3	13,5
pavito	14,9	12,0
roble	48,9	21,0
roble	44,2	21,0
roble	36,4	16,5
roble	10,9	11,5
roble	13,0	12,6
roble	14,7	11,6
tortolito	20,8	16,9
tortolito	24,9	16,3
tortolito	34,6	22,1
trestablas	21,2	19,3
trestablas	16,9	14,7
trestablas	19,2	18,0
virola	45,8	12,0
virola	42,9	16,5
virola	35,8	12,0
vochysia	13,8	7,2
vochysia	9,9	15,0
vochysia	5,4	10,4

Para el cálculo del volumen total y fuste de cada árbol, posterior a la tumba se trazaron y midieron los diámetros de las diferentes trozas de 1,5 m, lo que permitió calcular el volumen total mediante la sumatoria de los volúmenes de la figura cilíndrica aproximada de cada troza. Se calculó este volumen a partir de la fórmula de volumen del cilindro que correspondió al área de la base por la altura $V = \pi * r^2 * h$, donde $V =$ volumen, $\pi = 3,1416$, $r^2 =$ radio al cuadrado y $h =$ altura. Se midieron trozas a 1,5 metros para facilitar los cortes de la madera de trozas de 3,0 metros que es el tipo de corte utilizado comercialmente en la región. Esta es una variación a la forma tradicional de realizar esta valoración, en la que se utiliza generalmente la cubicación de Smalian que plantea dividir el fuste en 10 secciones iguales. En la figura 22 se registra aspectos de este proceso.



Figura 22. Fotografía. Aprovechamiento y mediciones para cálculo de volumen de abarco en la Estación Experimental El Trueno Guaviare, Colombia

En la tabla 56, se registra para el árbol número 1 de la especie abarco las evaluaciones y cálculos efectuados para el volumen, actividad realizada para todos los 57 árboles apeados. Como se estableció, se calculó el volumen de cada una de las trozas como el volumen de un cilindro, en el cual el área de la base se obtuvo con el radio obtenido del diámetro promedio de los dos diámetros medidos. En este caso ejemplo, para el individuo número 1 de la especie abarco, para las 16 trozas se calculó cada uno de sus volúmenes y se realizó la sumatoria para el volumen del fuste.

Tabla 56. Volumen real de árbol de abarco de 25 años de edad y establecido en la Estación Experimental El Trueno Guaviare, Colombia

Especie / árbol No.	Número de trozas	Altura (m)	diámetro 1 (cm)	diámetro 2 (cm)	diámetro promedio (cm)	volumen m ³ = Sumatoria trozas
abarco 1	1	1,5	68,0	51,1	59,55	2,0176
	2	1,5	51,1	45,9	48,50	
	3	1,5	45,9	44,2	45,05	
	4	1,5	44,2	41,3	42,75	
	5	1,5	41,3	39,3	40,30	
	6	1,5	39,3	35,1	37,20	
	7	1,5	35,1	31,2	33,15	
	8	1,5	31,2	28,7	29,95	
	9	1,5	28,7	22,5	25,60	
	10	1,5	22,5	22,1	22,30	
	11	1,5	22,1	16,9	19,50	
	12	1,5	16,9	15,4	16,15	
	13	1,5	15,4	14,8	15,10	
	14	1,5	14,8	10,3	12,55	
	15	1,5	10,3	10,0	10,15	
	16	1,5	10,0	8,4	9,20	

Con el árbol derribado se pesaron con una báscula con capacidad para 1000 kilogramos, la totalidad de los componentes aéreos del árbol como fueron: madera comercial y fuste, ramas delgadas, ramas gruesas, hojas, flores y frutos. En la figura 23 se registra aspectos de las acciones de pesado de los fustes y las diferentes muestras.

En los componentes fuste, ramas gruesas y ramas delgadas se tomaron probetas de peso y volumen determinado. Para cada uno de estos componentes se tomaron tres muestras correspondientes a diferentes sectores de la longitud del componente, se pesó inmediatamente en la balanza electrónica y se tomaron las medidas de la figura geométrica para calcular el volumen.



Figura 23 Fotografía. Pesaje de fustes y de diferentes muestras de especies forestales, establecidas en la Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

Las muestras y probetas se secaron al horno a temperatura de 105°C y posteriormente, se midió peso seco o biomasa y se calcularon contenidos de humedad y densidades en verde y en seco. En la tabla 57 se registra para el árbol número 1 de la especie melina las evaluaciones y cálculos efectuados, esta actividad fue realizada para todos los 57 árboles apeados.

El proceso general se resume así:

1. Obtención del peso verde para el total de cada componente, es decir, el peso verde total para fuste, ramas delgadas, ramas gruesas, hojas, flores y frutos
2. Toma de muestras y probetas, 3 probetas por componente de fuste, ramas delgadas, ramas gruesas. (Ver figura 24)
3. Peso y volumen de las probetas en verde. El volumen calculado a partir de la figura geométrica y calculado mediante la ecuación de volumen así; $V = L \times L \times L$ El volumen inicialmente para el posterior cálculo de densidad se expresa en cm^3 .
4. Toma de muestra de 1,0 kg de hojas verdes, flores y frutos (o la totalidad si el peso total del componente es menor de 1,0 kg.
5. Secado al horno a $105\text{ }^\circ\text{C}$ de las muestras y probetas
6. Obtención del peso seco de las muestras y probetas de cada componente
7. Para cada muestra y cada probeta, cálculo del contenido de humedad de cada componente a partir de la diferencia entre el peso verde y el peso seco, expresado en porcentaje del peso verde.
8. Obtención de los valores de densidad en verde y densidad en seco, utilizando los respectivos valores de peso verde y peso seco y el volumen que se considera el mismo valor en los dos estados. Calculado mediante la fórmula de densidad así: $D = P / V$; donde $P =$ peso, $V =$ volumen, expresado en g/cm^3 , por lo que las medidas de peso y volumen son expresadas en esas unidades.
9. Cálculo del peso seco del total de los componentes fuste, ramas gruesas, ramas delgadas, hojas, flores y frutos a partir del porcentaje de humedad. En este caso, como se expresó el contenido de humedad en porcentaje de peso verde, el cálculo a partir de peso verde para obtener peso seco es mediante el porcentaje o factor obtenido. De igual manera, se puede obtener a partir de la densidad en seco (ya que el peso seco es una expresión directamente relacionada con el contenido de humedad).
10. Cálculo total de componentes y pesos verde y seco.

Obtención de los valores de densidad en verde y densidad en seco, utilizando los respectivos valores de peso verde y peso seco y el volumen

Tabla 57. Cálculos efectuados para indicadores de volumen y biomasa para un árbol de melina de 25 años de establecido en la Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

Para melina	Peso verde (kg) en campo	Peso seco medido (kg) en laboratorio	% Humedad	Peso seco calculado con %h en kg	Volumen cubicación fuste m ³	Volumen Probetas cc ³	Densidad peso seco g/cc ³	Densidad peso verde g/cc ³	DAP cm	Altura m	D2H m ³
FUSTE	1267			464,173	1,3878		0,5337	1,4631	41,6	24,7	4,275
Ramas delgadas	150			73,39							
Ramas gruesas	169			75,5979							
Muestra hojas	1	0,325	67,5								
Hojas	13,5			4,3875							
Frutos	0,336	0,11		0,11							
Flores	0,9	0,4		0,4							
Probeta Fuste 1	0,794	0,277	65,113			500	0,5546	1,5896			
Probeta Fuste 2	0,802	0,27	66,334			555	0,4865	1,445			
Probeta Fuste 3	0,827	0,342	58,646			611	0,5602	1,3546			
Probeta rama gruesa 1	1,144	0,5575	51,267			1443	0,3863	0,7928			
Probeta rama gruesa 2	0,342	0,136	60,234			416,3	0,3267	0,8215			
Probeta rama gruesa 3	0,279	0,1275	54,301			277,5	0,4595	1,0054			
Probeta rama delgada 1	0,118	0,0545	53,814			194,3	0,2805	0,6073			
Probeta rama delgada 2	0,27	0,136	49,63			333	0,4084	0,8108			
Probeta rama delgada 3	0,224	0,1125	49,777			277,5	0,4054	0,8072			
TOTAL	1601,74	2,848	63,364	618,3834			0,5337	1,4631			



Figura 24. Obtención de la muestra para determinar el peso verde para componentes de los árboles aprovechados en la Estación Experimental El Trueno Guaviare, Colombia

3 Construcción de ecuaciones

Existen dos métodos comúnmente usados para estimar la biomasa: el método directo y el indirecto. Dentro del primero está el destructivo, que consiste en cortar el árbol y determinar la biomasa pesando directamente cada componente (Klinge & Herrera 1983, Araujo, *et al.*, 1999). Dentro de los indirectos se utilizan métodos de cubicación del árbol donde se suman los volúmenes de madera, se toman muestras de ésta y se pesan en el laboratorio para calcular los factores de conversión de volumen a peso seco, es decir, la gravedad o densidad específica (Segura, 1997).

Con los datos obtenidos del proceso destructivo, para estimar la biomasa se realizan ecuaciones o modelos basados en análisis de regresión, se utilizan variables colectadas en el campo tales como el diámetro, la altura comercial y total, el crecimiento diamétrico, el área basal y la densidad específica de la madera (Jordan & Uhl, 1978, Saldarriaga *et al.*, 1988; Brown 1986, Araujo *et al.* 1999; Francis 2000). Este método no es destructivo y es extrapolable a situaciones de crecimiento similares (Parresol, 1999).

Con los datos obtenidos del proceso destructivo, para estimar la biomasa se realizan ecuaciones o modelos basados en análisis de regresión

Los análisis se realizaron usando el programa Statistix V.9, el procedimiento de regresión lineal y no lineal, seleccionando los mejores calificadores y ajustes

De esta manera y una vez obtenidos los valores de peso verde total, peso verde del fuste, peso seco total y peso seco del fuste, se complementan con los valores medidos para cada uno de los individuos de las variables diámetro y altura y la valoración del volumen total del fuste, mediante el proceso de cubicación. En la tabla 58 se presenta el encabezado de la tabla y el ejemplo para los datos de 6 de los individuos de dos de las especies aprovechadas.

Para el total de los 57 árboles apeados, en los que se conocía diámetro (D), altura (H), volumen (V), peso verde (PV), peso seco (PS), (que se seguirá denominado biomasa) se construyeron ecuaciones que expresaran el volumen y la biomasa en función del diámetro y la altura. Los análisis se realizaron usando el programa Statistix V.9, el procedimiento de regresión lineal y no lineal, seleccionando los modelos con mejores calificadores y ajustes. Para la regresión se combinaron las dos variables de altura (H) y diámetro (D) en una variable transformada denominada D2H, obtenida del producto del diámetro al cuadrado por la altura expresada en metros cúbicos; en síntesis se asemeja esta ecuación al proceso de obtener los volúmenes de las especies en términos del volumen del cilindro multiplicado por un factor de corrección o de forma. Para la biomasa se construyó de igual manera, la regresión en términos de esta variable transformada y también se obtuvo mediante la variable independiente volumen. En las tabla 59 y tabla 60 están registrados los resultados de las regresiones para volumen y biomasa respectivamente

Tabla 58. Encabezado de la tabla y datos de seis de los individuos de dos especies aprovechadas en la Estación Experimental El Trueno Guaviare, Colombia

Especie	No.	Peso verde Fuste kg	Peso seco fuste calculado con % humedad en kg	Peso seco total	Peso verde total	Volumen cubicación fuste m ³	Diámetro cm	Altura m	D2H m ³ = ((dap/100)* (dap/100))*h
trestablas	1	282	174,152	305,49	519,00	0,2554	21,2	19,3	0,8661
trestablas	2	209	126,072	223,70	401,00	0,1159	16,9	14,7	0,4198
trestablas	3	317	188,331	314,39	543,50	0,2568	19,2	18,0	0,6636
algarrobo	1	4920	2863,215	4425,56	7383,94	6,6695	70,0	35,0	17,1500
algarrobo	2	57	36,889	54,07	93,93	0,0613	9,0	12,6	0,1021
algarrobo	3	40	25,591	32,79	55,93	0,0424	8,5	10,7	0,0773

Tabla 59. Volumen en función de edad, ecuación y calificadores de la regresión para especies forestales aprovechadas en la Estación Experimental El Trueno Guaviare, Colombia

Ecuación	$Volumen = 0,02531 + 0,32394 * D2H$
R-Squared	0,8993
Adjusted R-Squared	0,8974
Resid. Mean Square (MSE)	0,04569
Standard Deviation	0,21374
a	0,02531
b	0,32394

Tabla 60. Biomasa en función de edad, ecuación y calificadores de la regresión para especies forestales aprovechadas en la Estación Experimental El Trueno Guaviare, Colombia

Ecuación	$Biomasa = 398 + 0,7754 * D2H$
R-Squared	0,73
Adjusted R-Squared	0,732
Resid. Mean Square (MSE)	369,89
Standard Deviation	54
a	398,58
b	0,7754

Para el conjunto de las 17 especies evaluadas se registró la información con el cálculo del volumen para el componente comercial (a la altura comercial donde no existen problemas de nudos por ramas gruesas). La biomasa se valoró para todos los componentes (comercial y fuste, ramas gruesas y delgadas, hojas, flores y frutos).

Como en la muestra tomada el 75% (13 de 17 especies) correspondió a árboles de la misma edad, se evidencia que la mayor proporción de la biomasa corresponde al fuste principal, registrando valores del 70%, lo que permite refrendar el procedimiento de calcular las variables de biomasa y volumen en términos de variables obtenidas del fuste como son el diámetro y la altura total y comercial, que además se señalan como variables de fácil medición y que han sido registradas por el proceso de investigación,

La biomasa se valoró para todos los componentes (comercial y fuste, ramas gruesas y delgadas, hojas, flores y frutos)

Estas ecuaciones de volumen y biomasa están expresadas en función de altura y diámetro

durante el periodo 1993 – 2009 para todos los árboles de especies forestales establecidos en la Estación Experimental. Con las ecuaciones y factores de corrección obtenidos se calculó la biomasa y volumen para las especies y los sistemas productivos sostenibles establecidos en la Estación Experimental y en fincas de agricultores del departamento del Guaviare. Estas ecuaciones de volumen y biomasa están expresadas en función de altura y diámetro y no se expresan en términos de la edad, lo que permite calcular independientemente de la edad. En la figura 25, se registra la obtención de bloques de madera comercial de un árbol de la especie abarco de 25 años, aprovechado en la Estación Experimental.



Figura 25. Fotografía. Obtención de bloques de madera comercial de un árbol de abarco de 25 años, aprovechado en la Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

4 Determinación de volumen y biomasa para las especies establecidas en la Estación Experimental El Trueno

En este ítem se describe el proceso para determinar volumen y biomasa por árbol a las diferentes edades de evaluación. Se utilizaron en las expresiones generadas los valores medidos en campo de diámetro (D) y altura (H). De igual manera, se registraron los valores extremos en los diferentes ensayos para los individuos de mayor y los de menor crecimiento. En el análisis se estableció de igual manera, la distribución de frecuencia de los volúmenes y la biomasa para las diferentes especies.

La metodología general para los ensayos evaluados en el periodo 1993 a 2009, se aplicó de la misma manera que se realizó el proceso para las variables diámetro y altura y el análisis de varianza como una herramienta que describe las variables de volumen y biomasa considerando los diversos factores influyentes en el comportamiento de cada variable. Los factores establecidos correspondieron a: bloque o repetición, edades, especies y las combinaciones bloque por edad y edad por especie. Para cada uno de los factores se registraron los parámetros que calificaron como fueron: Sumatoria de cuadrados (SS), Cuadrado medio (MS), valor de F calculado (F) y la probabilidad (p).

Para cada uno de los ensayos, en el periodo de evaluaciones entre 1993 y 2009, correspondiente a 16 años de seguimiento, se obtuvieron ecuaciones de volumen y biomasa en función de la edad. Para esto, se tomaron los datos medios por especie, por edad y por bloque para cada uno de los años de registro. Con el paquete estadístico Statistix V. 9 se estimaron los coeficientes para los diferentes modelos, mediante el análisis de regresión. Se calificaron los modelos de acuerdo con los estadísticos: sumatoria de residuales cuadrados (MSE), desviación estándar (SD), coeficiente de determinación R^2 y grado de significancia de los coeficientes obtenidos.

En el análisis se estableció de igual manera, la distribución de frecuencia de los volúmenes y la biomasa

Los principales modelos analizados fueron:

- a) (Volumen o Biomasa) = $a * \text{Exp}(b * \text{Edad}) = a * e^{b * \text{Edad}}$
- b) (Volumen o Biomasa) = $a * (\text{Edad})^b$,
- c) (Volumen o Biomasa) = $a + b (\text{Edad})$.

Donde a y b son constantes

4.1 Volumen y biomasa ensayo Quince especies

En el ensayo Quince especies en el periodo 1993 a 2009, para las especies abarco, achapo, caoba, pavito, roble y tortolito, con el volumen medio se construyeron ecuaciones en función de la edad de establecimiento, se calificaron las ecuaciones con los parámetros estadísticos correspondientes (Ver tabla 61)

Tabla 61. Ecuaciones de volumen en función de la edad para seis especies forestales establecidas en el ensayo Quince especies, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

Espece	Ecuación	MSE	SD	R ²
abarco	$\text{Volumen} = 0,1739 * e^{0,086 * \text{edad}}$	0,4087	0,008341	0,96
achapo	$\text{Volumen} = 0,1394 * \text{edad}^{0,0858}$	0,0367	0,1915	0,71
caoba	$\text{Volumen} = 0,0258 * \text{edad}^{0,0721}$	0,0006252	0,025	0,71
pavito	$\text{Volumen} = 0,1142 * e^{0,0594 * \text{edad}}$	0,0005766	0,024	0,85
roble	$\text{Volumen} = 0,0388 * e^{0,0726 * \text{edad}}$	0,0005766	0,024	0,85
tortolito	$\text{Volumen} = 0,0836 * e^{0,0764 * \text{edad}}$	0,00112	0,0335	0,94

Para cada una de las especies, con los datos de volumen medio a las diferentes edades del ciclo de evaluación (11 a 27 años de edad) del ensayo y con los valores reales medios por cada bloque, edad y especie se graficó el volumen en función de la edad y se obtuvieron los valores mediante la ecuación generada (figura 26).

Figura 26. Volumen en función de la edad (de 11 a 27 años) de seis especies forestales establecidas en el ensayo Quince especies, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

En la gráfica los círculos representan el valor promedio real medido. Las líneas que acotan el valor promedio corresponden al error estándar. La línea es construida con los valores obtenidos del modelo de regresión.

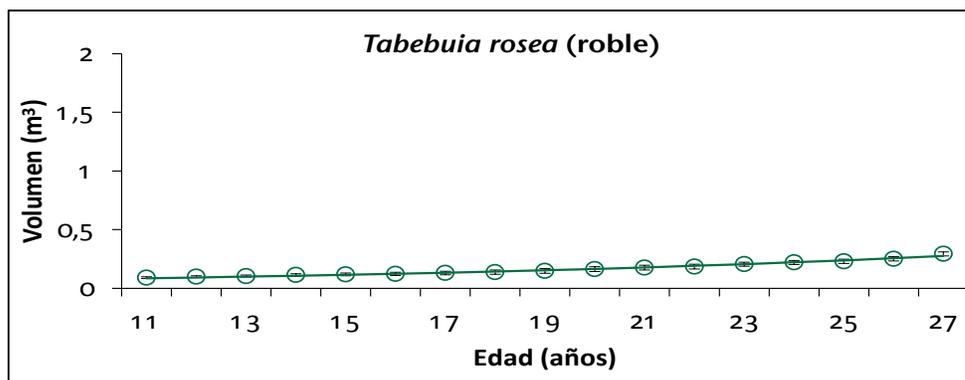
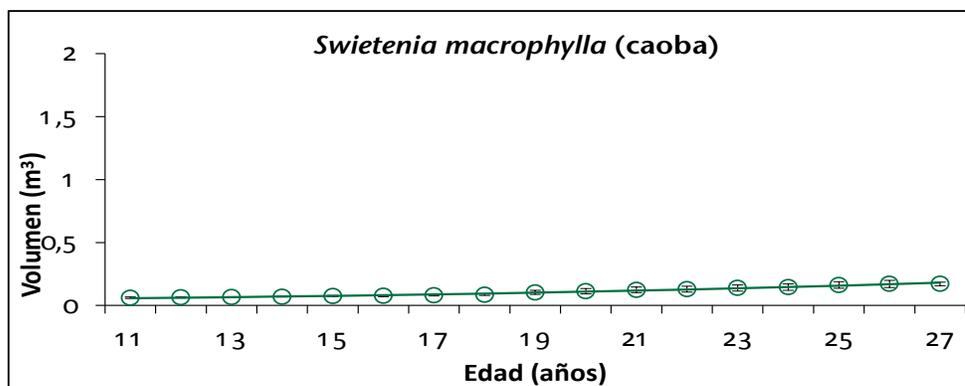
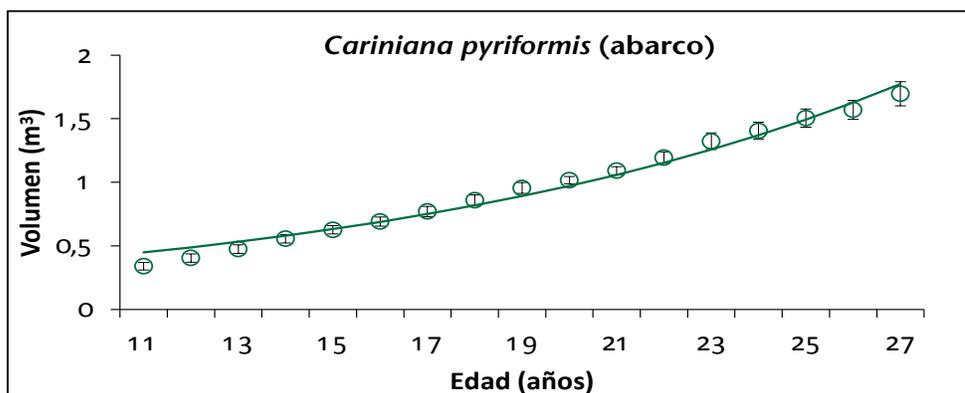
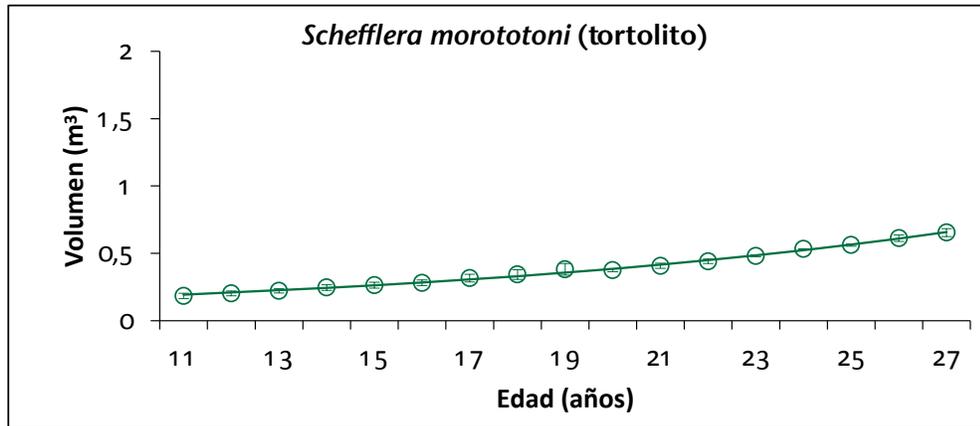
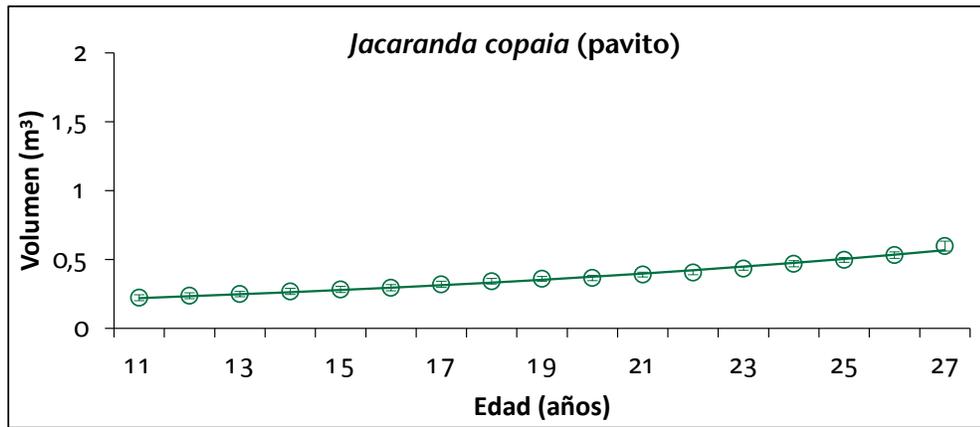
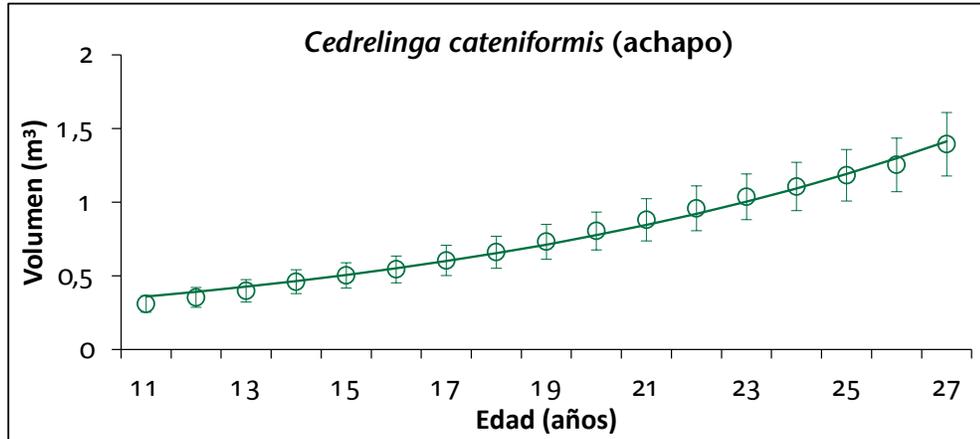


Figura 26 Continuación



En la tabla 62 están registrados los valores promedio del volumen por árbol de las especies abarco y achapo entre los 20 y 27 años de edad. Para el grupo de especies del ensayo Quince especies, en las condiciones de densidad y fertilidad, se observó la más baja producción de madera en la especie caoba con solamente 0,167 m³ promedio por árbol a los 27 años

Para las especies que permanecen en el ensayo se analizó el comportamiento del total de sus individuos, se destacó de nuevo el abarco que registró individuos entre 6,818 m³ y 0,086 m³. Para esta especie a los 27 años de edad el 50% de sus individuos registraron promedios de volumen entre 1,0 m³ a 4,0 m³ y el 10% de sus individuos superaron el promedio de 5,0 m³ por árbol. Para las especies achapo, pavito y tortolito en el periodo de medición entre 20 y 27 años se registraron valores promedios por árbol y valores máximos y mínimos de volumen por árbol para cada especie y en cada edad.

El abarco a los 27 años de edad el 50% de sus individuos registraron promedios de volumen entre 1,0 m³ a 4,0 m³

Se estableció que a la edad de 20 años la especie abarco en volumen promedio por árbol superó el valor de 1,0 m³; para la especie achapo este promedio se logra a los 23 años, aunque se observó que en la edad de 20 años registraban individuos con volúmenes de 3,0 m³ y a esa edad las especies pavito y tortolito se acercaban al valor de 1,0 m³. Para estas cuatro especies principales de este grupo de maderas finas, la valoración del volumen confirmó su aptitud y potencial para el establecimiento en sistemas productivos de la región, ya que con las tasas de crecimiento en volumen registradas se constituyen en alternativa económica para los pobladores locales.

Tabla 62 Volumen estimado por árbol para abarco y achapo, edades de 20 a 27 años, establecidos en el Ensayo Quince especies, en la Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

Edad (años)	abarco								achapo							
	20	21	22	23	24	25	26	27	20	21	22	23	24	25	26	27
Promedio	1,011	1,088	1,188	1,313	1,395	1,493	1,555	1,679	0,803	0,878	0,955	1,033	1,103	1,178	1,233	1,37
Máximo	4,322	4,388	4,519	5,002	5,236	5,785	6,115	6,818	2,772	3,063	3,442	3,858	4,163	4,388	4,656	5,044
Mínimo	0,065	0,066	0,067	0,069	0,07	0,076	0,077	0,086	0,063	0,064	0,065	0,065	0,066	0,066	0,067	0,07

Al realizar la prueba de comparación de medias de Tukey se definieron tres grupos homogéneos

En el análisis de varianza, se reflejó con un nivel del 95,0% de confianza que para esta variable de volumen existió una diferencia estadísticamente significativa entre la media de las diferentes especies evaluadas. Al realizar la prueba de comparación de medias de Tukey se definieron tres grupos homogéneos de los valores de las medias que establecieron que no existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartieron un mismo grupo. Estos grupos correspondieron a: grupo A con la especie abarco, grupo B con el achapo y grupo C con las especies roble, caoba, tortolito y pavito.

Para cada una de las especies del ensayo, con los datos colectados en campo y utilizando los modelos antes señalados, se construyeron las ecuaciones de biomasa (Ver tabla 63). Con los datos de biomasa promedio a las diferentes edades del periodo de evaluación y con los valores reales medios por bloque, edad y especie se graficó la biomasa para las diferentes edades (Ver figura 27). Al igual que el volumen, la biomasa se expresa para el árbol promedio a determinada edad.

Tabla 63. Ecuaciones de biomasa en función de la edad para seis especies forestales establecidas en el ensayo Quince especies, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

Especie	Ecuación	MSE	SD	R ²
abarco	$Biomasa = 205,94 * e^{0,0696 * edad}$	4663,6	68,29	0,95
achapo	$Biomasa = 13,389 * edad^{1,3372}$	20650	143,7	0,74
caoba	$Biomasa = 29,108 * e^{0,0728 * edad}$	799	28,267	0,71
pavito	$Biomasa = 151,36 * e^{0,0487 * edad}$	938,72	30,639	0,91
roble	$Biomasa = 51,757 * e^{0,0652 * edad}$	650,42	25,503	0,85
tortolito	$Biomasa = 112,55 * e^{0,0645 * edad}$	874,51	29,572	0,94

Figura 27. Biomasa en función de la edad (de 11 a 27 años) de seis especies forestales establecidas en el ensayo Quince especies, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

En la gráfica los círculos representan el valor promedio real medido. Las líneas que acotan el valor promedio corresponden al error estándar. La línea es construida con los valores obtenidos del modelo de regresión

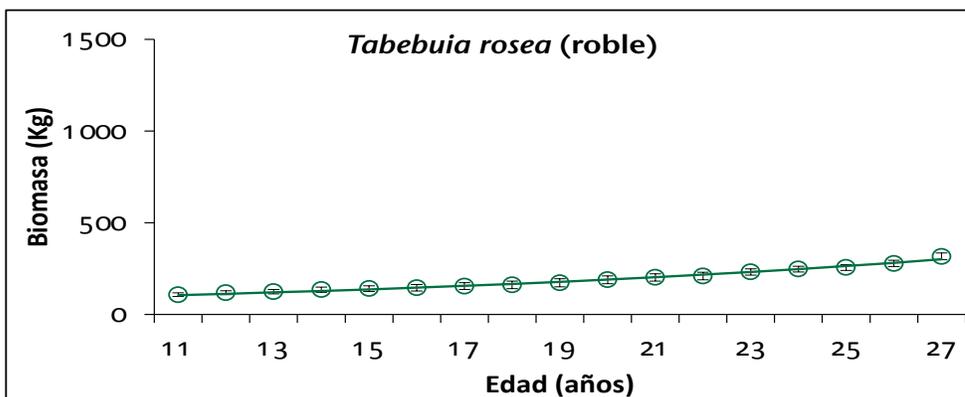
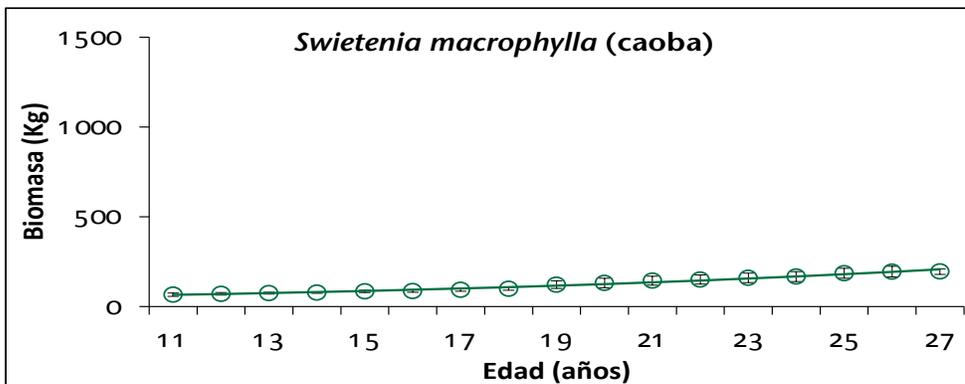
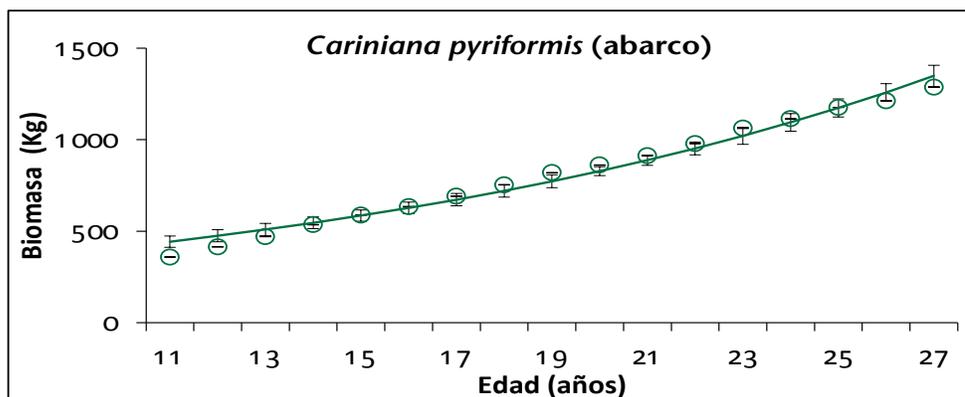
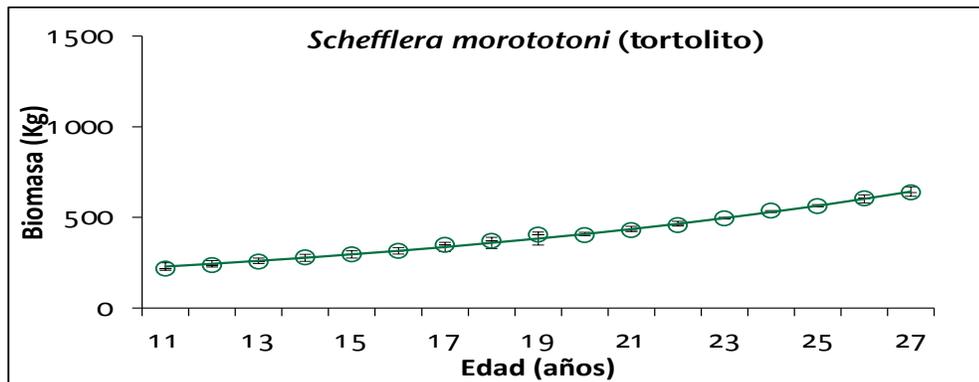
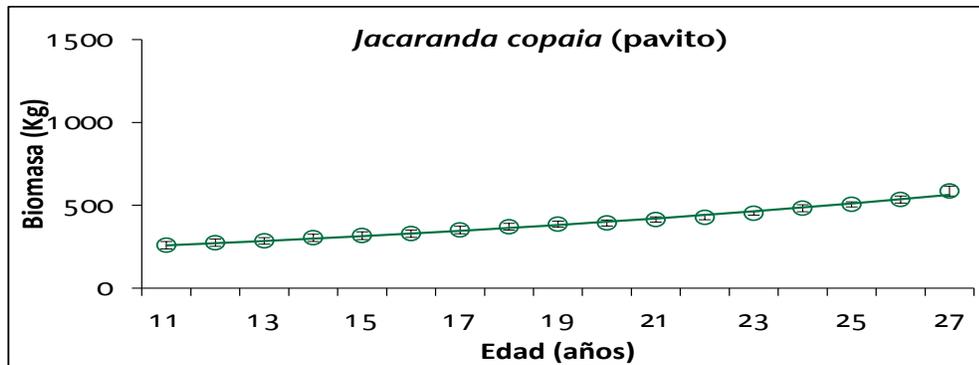
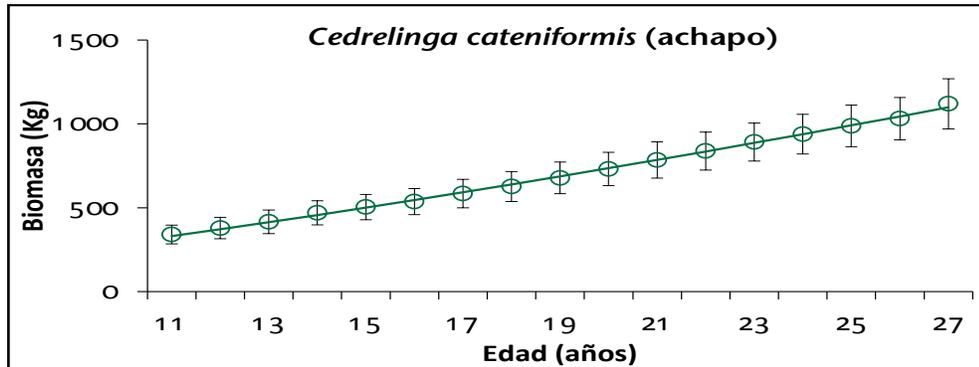


Figura 27 Continuación



Para la especie achapo se registraron incrementos medios anuales de biomasa, con un promedio para el periodo de 35,7 kg/año por árbol

De acuerdo con los resultados obtenidos con la variable biomasa, se determinó una relación semejante a la obtenida para el volumen. Los datos promedios de biomasa por árbol encontrados para la especie abarco variaron desde 36,8 kg a los 11 años hasta 1275,5 kg a los 27 años, con un incremento medio anual entre 32,9 y 47,2 kg/año y un valor promedio de 41,7 kg/año para todo el periodo.

Para la especie achapo se registraron incrementos medios anuales de biomasa entre 30,5 kg/año y 40,9 kg/año para las edades anali-

zadas, con un promedio para el periodo de 35,7 kg/año por árbol. Las especies pavito y tortolito en el periodo de 11 a 27 años de edad incrementaron en promedio por árbol aproximadamente 20,9 kg/año y para las especies caoba y roble su incremento medio en el periodo estuvo entre 6,0 kg/año y 10,0 kg/año. En la tabla 64 están registrados los valores de incremento medio anual en biomasa por árbol por año para las seis especies evaluadas en el periodo de evaluación.

En las categorías de biomasa encontradas se establece que a los 27 años de edad, para la especie abarco el 46,8% de sus individuos registraron promedios de biomasa superiores a 1000 kg, para la especie roble solamente el 25,8% de sus individuos se ubicó en el rango entre 100 y 500 kg, para la especie achapo el 56,9% de sus individuos registraron valores promedios de biomasa por árbol menores a 1000 kg, pero el 23,5% de los árboles de registraron biomasa por árbol entre 2000 y 4000 kg.

A los 27 años de edad, para la especie abarco el 46,8% de sus individuos registraron promedios de biomasa superiores a 1000 kg

Tabla 64. Incremento medio anual en biomasa por árbol de seis especies forestales, edades de 11 a 27 años, establecidas en el ensayo Quince especies, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

	abarco	achapo	caoba	pavito	roble	tortolito
Edad (años)	Incremento medio anual de biomasa (kg/año/árbol)					
11	32,89	30,54	6,01	23,63	9,96	19,88
12	34,74	31,24	5,86	22,91	10,07	19,79
13	36,32	31,79	5,69	22	9,77	19,76
14	38,27	33,43	5,49	21,76	9,87	20,13
15	39,13	33,51	5,56	21,18	9,6	19,87
16	39,53	33,45	5,35	20,59	9,33	19,73
17	40,46	34,26	5,41	20,68	9,33	20,48
18	41,63	34,67	5,45	20,62	9,24	20,63
19	42,97	35,6	5,62	20,37	9,47	21,35
20	42,92	36,45	5,61	19,79	9,9	20,01
21	43,34	37,23	6,04	19,83	10,13	20,31
22	44,32	37,96	6,03	19,53	10,04	20,68
23	45,92	38,64	6,21	19,71	10,56	21,5
24	46,16	38,98	6,22	20,15	10,65	22,39
25	46,78	39,37	6,78	20,29	10,65	22,45
26	46,28	39,09	6,84	20,6	11,1	23,34
27	47,24	40,85	7,06	21,75	11,9	23,67

A los 27 años de edad existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de la biomasa promedio por árbol de las diferentes especies del ensayo Quince especies, obtenido esto mediante el análisis de varianza, con un nivel del 95,0% de confianza.

Con la prueba de comparación de promedios por Tukey, se determinaron tres grupos homogéneos de los valores así:

Grupo A: especie abarco con valor medio de biomasa por árbol de 1275,5 kg

Grupo B: especie achapo con 1102,9 kg y

Grupo C: especies tortolito, pavito, roble y caoba con promedios desde 639,1 kg a 190,7 kg.

4.2 Volumen y biomasa ensayo Indígenas I

Para determinar el volumen y la biomasa promedio de las especies macano, nocuito, peinemono y virola del ensayo Indígenas I, en el periodo 1993 a 2009, se construyeron ecuaciones en función de la edad de establecimiento. Se calificaron las ecuaciones con los parámetros descritos en análisis previos de ensayos en la Estación Experimental, se analizaron los modelos de los ensayos anteriores y se obtuvieron las ecuaciones de volumen en función de la edad (Ver tabla 65). Para este ensayo Indígenas I se graficó igualmente el volumen en función de la edad (Figura 28) y la biomasa promedio a las diferentes edades del periodo de evaluación, edades de 10 a 26 años (Ver tabla 66) (Ver figura 29).

Tabla 65. Ecuaciones de volumen en función de la edad para cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Indígenas I, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

Especie	Ecuación	MSE	SD	R ²
macano	$Volumen = 0,004509 * edad^{1,3819}$	0,001989	0,0446	0,81
nocuito	$Volumen = 0,0411 * e^{0,0415 * edad}$	0,00004159	0,0645	0,62
peinemono	$Volumen = 0,0594 * e^{0,0718 * edad}$	0,004159	0,0645	0,62
virola	$Volumen = 0,006379 * e^{1,1604 * edad}$	0,0006199	0,0249	0,85

Figura 28 Volumen en función de la edad (de 10 a 26 años) de cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Indígenas I, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

En la gráfica los círculos representan el valor promedio real medido. Las líneas que acotan el valor promedio corresponden al error estándar. La línea es construida con los valores obtenidos del modelo de regresión

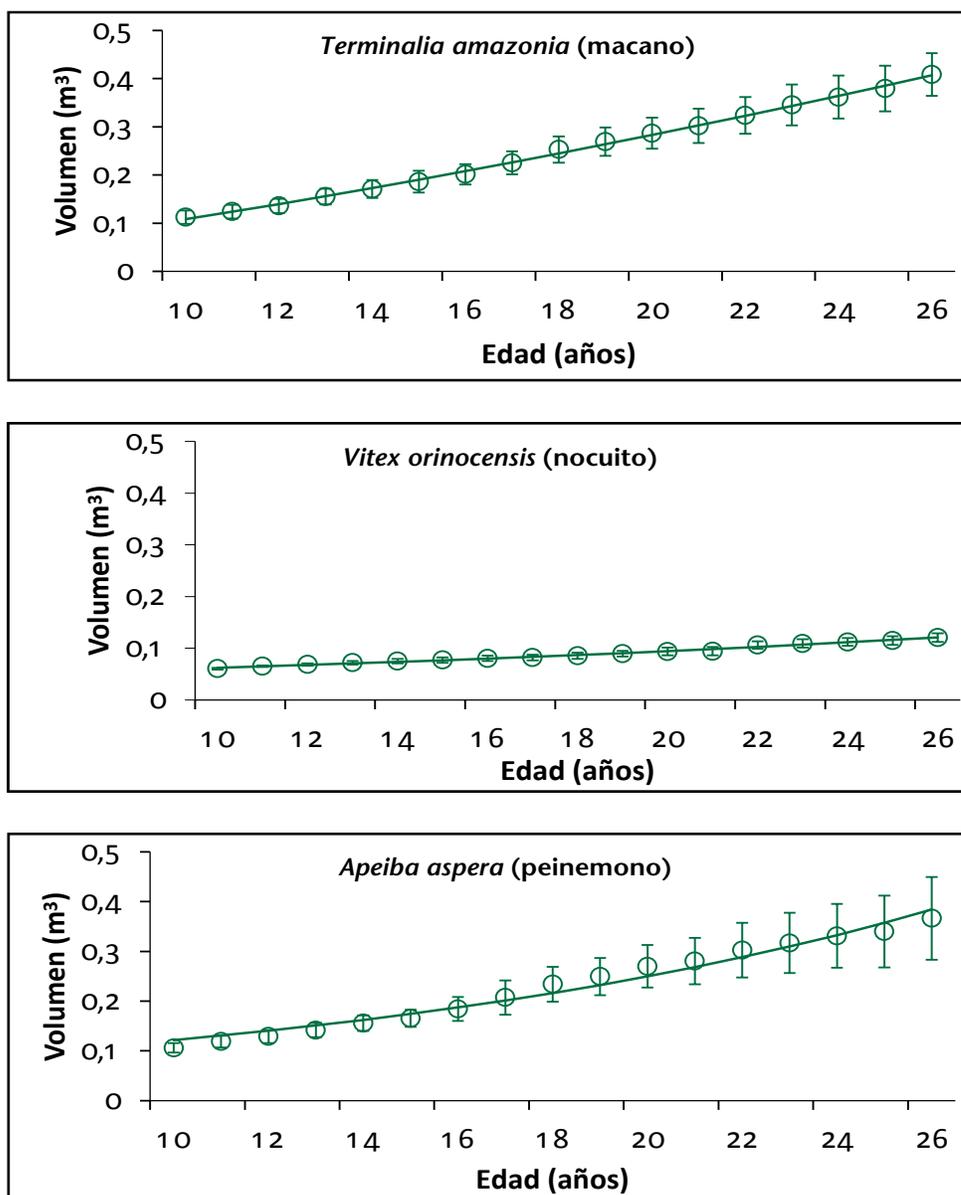


Figura 28 Continuación

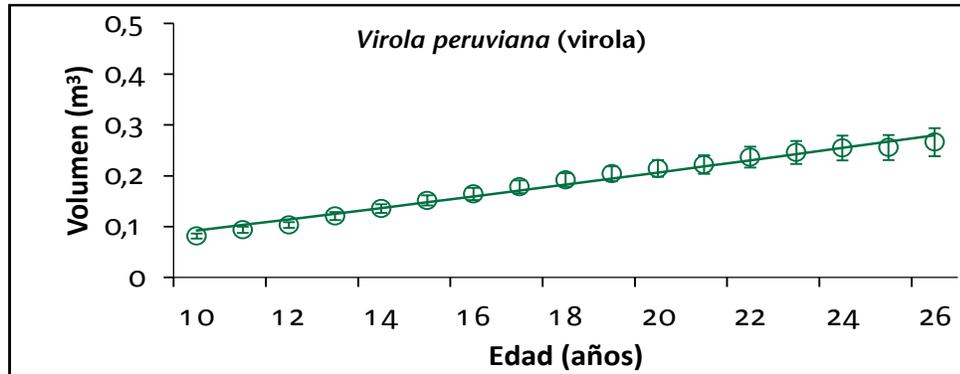


Tabla 66. Ecuaciones de biomasa en función de la edad para cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Indígenas I, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

Especie	Ecuación	MSE	SD	R ²
macano	$Biomasa = 8,5881 * edad^{1,1928}$	1693,8	41,156	0,83
nocuito	$Biomasa = 44,781 * e^{0,0462 * edad}$	127,95	11,312	0,82
peinemono	$Biomasa = 8,5277 * edad^{1,1713}$	3232,8	56,858	0,68
virola	$Biomasa = 9,7219 * edad^{1,0669}$	613,63	24,772	0,87

Figura 29. Biomasa en función de la edad (de 10 a 26 años) de cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Indígenas I, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

En la gráfica los círculos representan el valor promedio real medido. Las líneas que acotan el valor promedio corresponden al error estándar. La línea es construida con los valores obtenidos del modelo de regresión

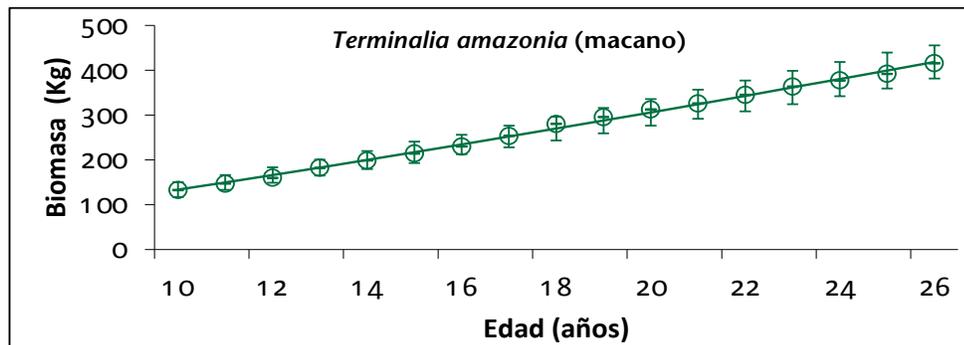
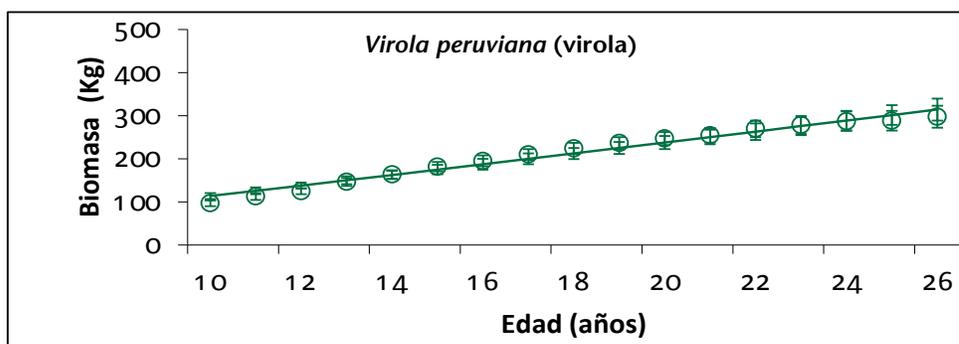
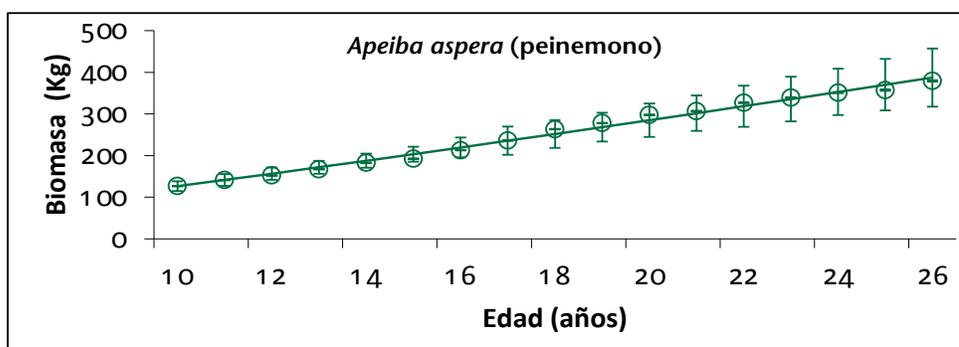
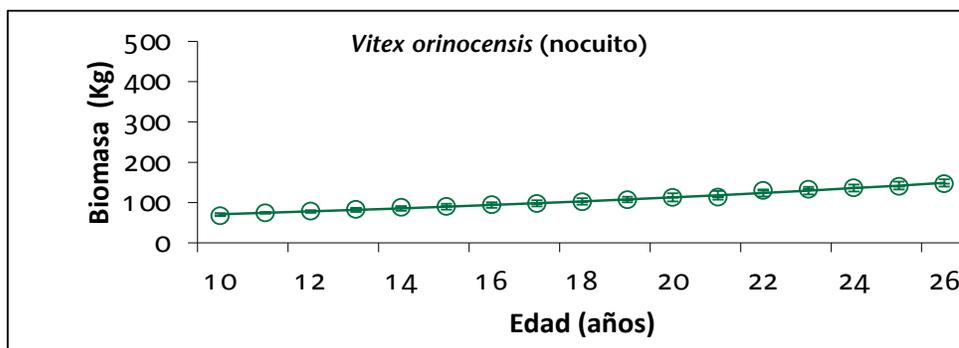


Figura 29 Continuación



Para este grupo de especies de maderas nativas para uso en ebanistería fina, el comportamiento de las variables de volumen y la biomasa de las especies macano, nocuito, peinemono y virola, establecidas en el ensayo Indígenas I, se destacó la productividad media de las especies macano y peinemono, las cuales a los 26 años de edad registraron volúmenes de 0,410 m³ y 0,378 m³, con un comportamiento similar al registrado para las especies del ensayo Indígenas II. Para la biomasa, la especie macano a los 26 años de edad (evaluación de 2009) presentó en promedio por árbol 417,2 kg, la especie peinemono 389,3 kg promedio por árbol y la especie virola alcanzó los 294 kg por árbol.

4.3 Volumen y biomasa ensayo Indígenas II

Para calcular el volumen promedio de las especies arenillo, milpo, trestablas y zapato del ensayo indígenas II, para el periodo 1993 a 2009 de 9 a 25 años de edad, se analizaron tres modelos de ecuaciones:

a) Volumen = $a * \text{Exp}(b * \text{Edad}) = a * e^{b * \text{Edad}}$

b) Volumen = $a * (\text{Edad})^b$,

c) Volumen = $a + b (\text{Edad})$.

a y b constantes

Se calificaron los modelos con los parámetros previamente definidos en la metodología y de esa manera se definió la ecuación de volumen en función de la edad de establecimiento para cada especie (Ver tabla 67). Además, con los datos de volumen promedio a las diferentes edades, con los valores reales promedios por bloque, edad y especie se graficó el volumen en función de la edad (Ver figura 30). En la tabla 68 se registra para las cuatro especies del ensayo sus valores de volumen promedio, mínimo y máximo.

Tabla 67. Ecuaciones de volumen en función de la edad para cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Indígenas II, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

Especie	Ecuación	MSE	SD	R ²
arenillo	$\text{Volumen} = 0,002919 * \text{edad}^{1,2958}$	0,0003364	0,0183	0,85
milpo	$\text{Volumen} = 0,103 * e^{0,0704 * \text{edad}}$	0,013	0,1139	0,56
trestablas	$\text{Volumen} = 0,002768 * \text{edad}^{1,3001}$	0,0009554	0,0309	0,64
zapato	$\text{Volumen} = 0,0473 * e^{0,062 * \text{edad}}$	0,001413	0,0376	0,58

Figura 30. Volumen en función de la edad (de 9 a 25 años) de cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Indígenas II, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

En la gráfica los círculos representan el valor promedio real medido. Las líneas que acotan el valor promedio corresponden al error estándar. La línea es construida con los valores obtenidos del modelo de regresión

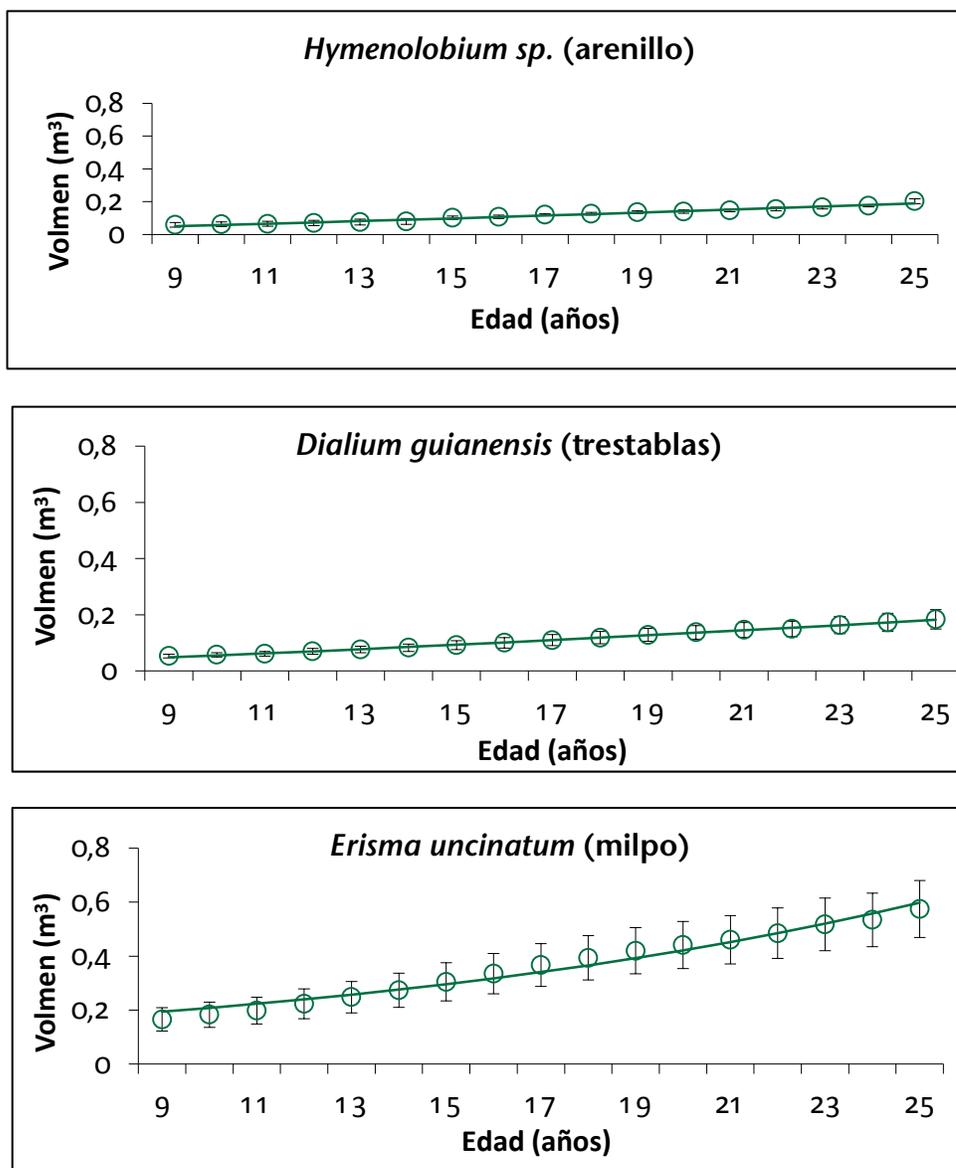
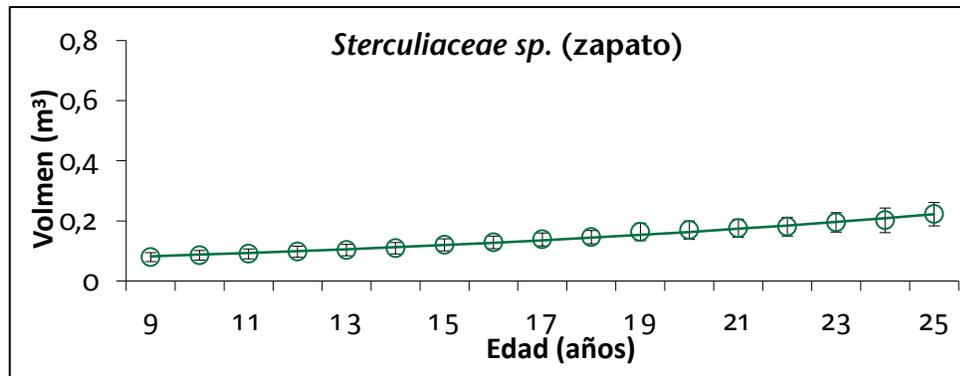


Figura 30 Continuación



Como se ha registrado para los ensayos analizados en los casos anteriores, tanto para el volumen como para la biomasa, se establece similar variación a la registrada para el diámetro y altura. En la valoración a los 25 años de edad (evaluación de 2009), la especie milpo presentó un promedio de volumen por árbol de 0.570 m³ y consolidó los reportes previos en el ensayo Indígenas II acerca de su potencial para establecer en sistemas productivos regionales.

Tabla 68. Volumen promedio y valores mínimo y máximo a los 25 años de cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Indígenas II, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

	arenillo	milpo	trestablas	zapato
Promedio volumen (m ³)	0,197	0,570	0,176	0,220
Valor máximo volumen (m ³)	0,856	2,381	0,653	1,117
Valor mínimo volumen (m ³)	0,035	0,067	0,029	0,036

Con los datos de biomasa durante el periodo de evaluación (9 a 25 años de edad), para las cuatro especies del ensayo Indígenas II, se generaron las ecuaciones para las especies arenillo, milpo, trestablas y zapato. (Ver tabla 69). Se graficó la biomasa para las diferentes edades evaluadas; en la figura 31 está registrada para cada una de las especies esta información.

Tabla 69. Ecuaciones de biomasa en función de la edad para cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Indígenas II, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

Especie	Ecuación	MSE	SD	R ²
arenillo	$Biomasa = 3,1634 * edad^{1,303}$	595,59	24,405	0,80
milpo	$Biomasa = 19,938 * edad^{1,0363}$	11087,0	105,29	0,54
trestablas	$Biomasa = 3,026 * edad^{1,3199}$	1372,8	37,051	0,64
zapato	$Biomasa = 9,4174 * edad^{0,9974}$	2024,7	44,996	0,51

Figura 31. Biomasa en función de la edad (de 9 a 25 años) de cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Indígenas II, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

En la gráfica los círculos representan el valor promedio real medido. Las líneas que acotan el valor promedio corresponden al error estándar. La línea es construida con los valores obtenidos del modelo de regresión

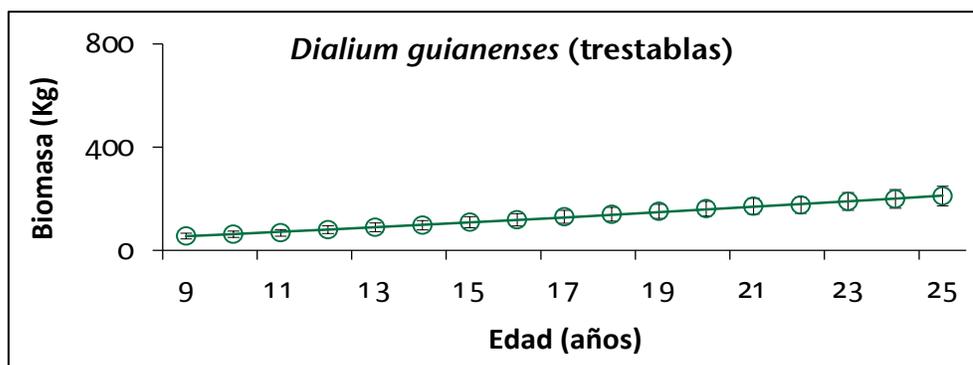
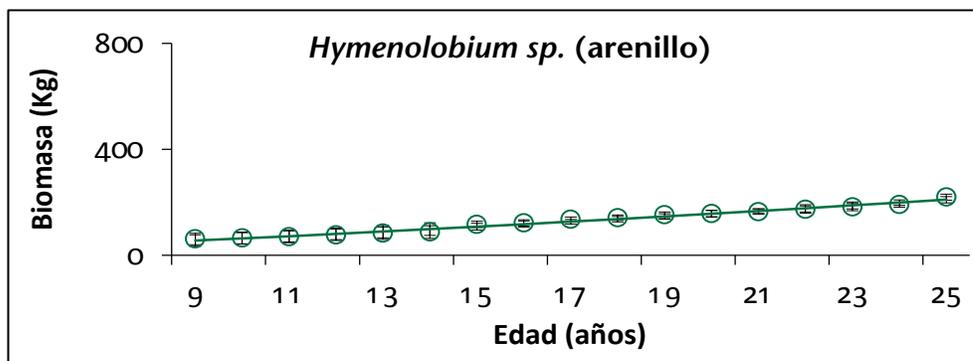
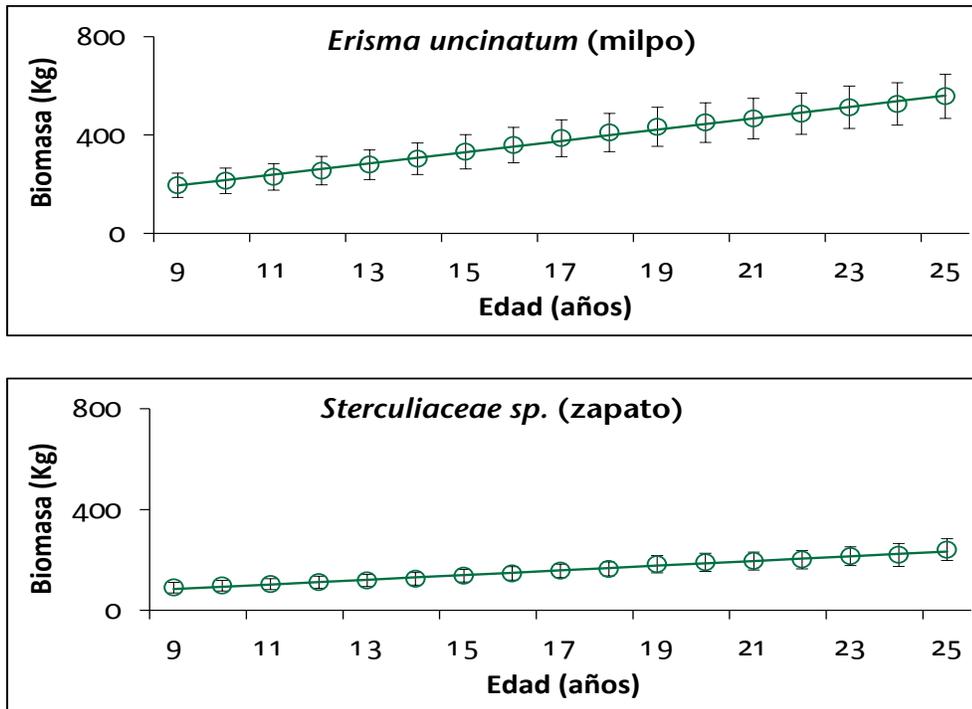


Figura 31 Continuación



4.4 Volumen y biomasa ensayo Enriquecimiento forestal

Para las especies abarco, achapo, caoba y roble del ensayo Enriquecimiento forestal en el periodo 1996 a 2009, edades de 14 a 27 años, para el volumen promedio se construyeron ecuaciones en función de la edad. Se calificaron las ecuaciones con parámetros utilizados en la metodología general empleada para todos los ensayos evaluados en la Estación Experimental y se analizaron tres modelos:

a) Volumen = a * Exp (b * Edad)= a*e^{b*Edad}

b) Volumen= a * (Edad)^b,

c) Volumen = a + b (Edad).

a y b constantes

Las ecuaciones generadas se muestran en la tabla 70. Para cada especie, con los datos de volumen medio (bloques, especie) a las diferentes edades del periodo de evaluación, se graficó el volumen en función de la edad y se obtuvieron los valores mediante la ecuación generada (Figura 32).

Tabla 70. Ecuaciones de volumen en función de la edad para cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Enriquecimiento forestal, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

Especie	Ecuación	MSE	SD	R ²
abarco	$Volumen = 0,2394 * e^{0,0929 * edad}$	0,0891	0,2985	0,83
achapo	$Volumen = 0,0518 * e^{0,0872 * edad}$	0,0182	0,1349	0,43
caoba	$Volumen = 0,0185 * e^{0,0478 * edad}$	0,0002633	0,0162	0,27
roble	$Volumen = 0,0467 * e^{0,0462 * edad}$	0,001338	0,0366	0,30

Figura 32. Volumen en función de la edad (de 14 a 27 años) de cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Enriquecimiento forestal, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

En la gráfica los círculos representan el valor promedio real medido. Las líneas que acotan el valor promedio corresponden al error estándar. La línea es construida con los valores obtenidos del modelo de regresión

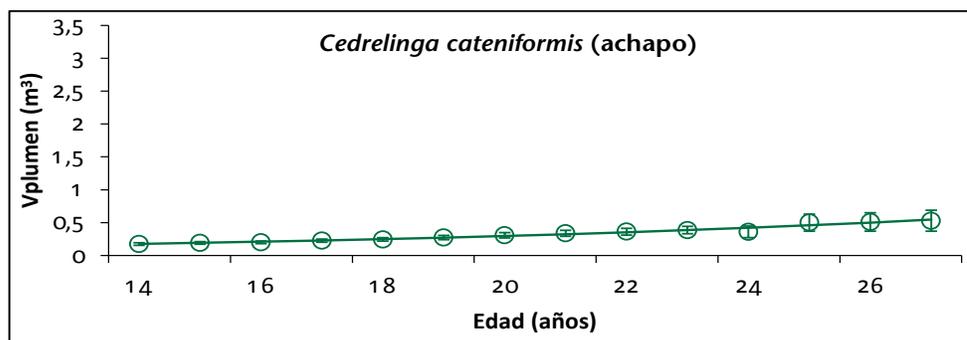
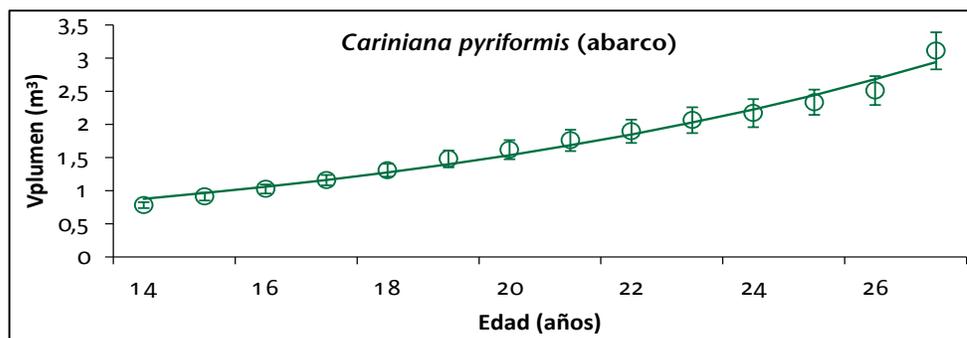
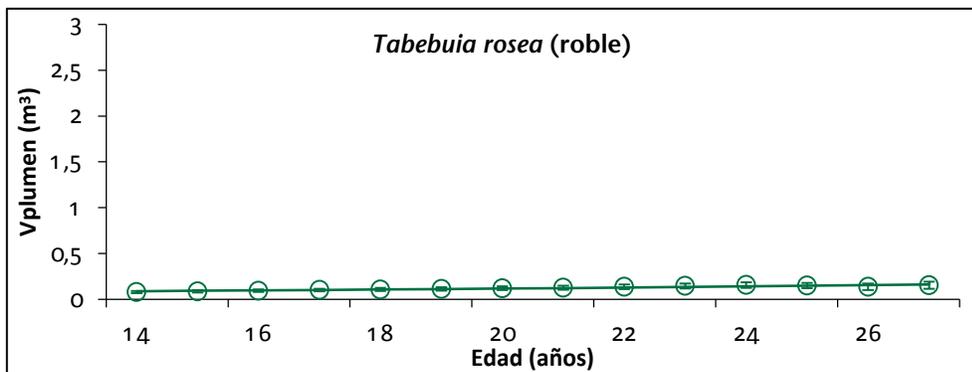
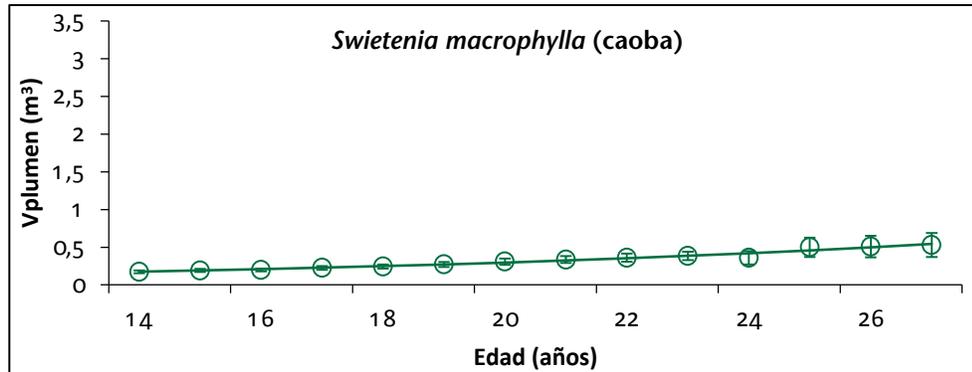


Figura 32 Continuación



Para el sistema de enriquecimiento forestal se consolidó la especie abarco como la especie principal y la de mayor respuesta de producción en volumen. Esta especie a la edad de 27 años alcanzó promedios de volumen por árbol de 3,1 m³, este es el mayor valor de producción de todas las especies forestales establecidas y se constituye en la mejor oferta tecnológica para establecer en sistemas productivos en las condiciones de la región norte amazónica. Por su parte la especie achapo, debido a las condiciones de manejo señaladas previamente, reportó valores de volumen promedio por árbol desde 0,167 m³ a los 14 años de edad hasta 0,503 m³ a los 27 años de edad.

Para el ensayo de Enriquecimiento forestal, establecido en la Estación Experimental, se observó la variabilidad que manifiestan los individuos de las especies achapo, roble y caoba, en el ensayo de Enriquecimiento, los cuales registraron valores altos de desviación con respecto al valor medio, por ejemplo en la especie caoba a los 27 años con un promedio de volumen de 0,0738 m³, el error estándar es de 0,0158 m³. Este comportamiento evidencia las condiciones heterogéneas que un sistema de enriquecimiento forestal genera, por tanto existe la necesidad de incorporar en el plan de manejo prácticas que permitan mantener una cobertura lo más homogénea posible que garantice adecuado suministro de luz a las plantas y por ende una menor variabilidad de los individuos.

En el ensayo Enriquecimiento forestal para cada una de las especies, con los modelos propuestos se generaron las ecuaciones para biomasa, mediante un análisis de regresión (Ver tabla 71). Con la información de la biomasa promedio calculada por árbol para las especies en estudio y con los valores reales promedio por bloque y edad se graficó la biomasa para las diferentes edades evaluadas (figura 33).

Tabla 71. Ecuaciones de biomasa en función de la edad para cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Enriquecimiento forestal, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

Especie	Ecuación	MSE	SD	R ²
abarco	$Biomasa = 13,289 * edad^{1,5207}$	35593	188,66	0,82
achapo	$Biomasa = 73,111 * e^{0,0739 * edad}$	12813	113,19	0,46
caoba	$Biomasa = 9,6152 * e^{0,0746 * edad}$	643,97	25,377	0,24
roble	$Biomasa = 56,236 * e^{0,0457 * edad}$	2006,7	44,796	0,29

Figura 33. Biomasa en función de la edad (de 14 a 27 años) de cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Enriquecimiento forestal, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

En la gráfica los círculos representan el valor promedio real medido. Las líneas que acotan el valor promedio corresponden al error estándar. La línea es construida con los valores obtenidos del modelo de regresión

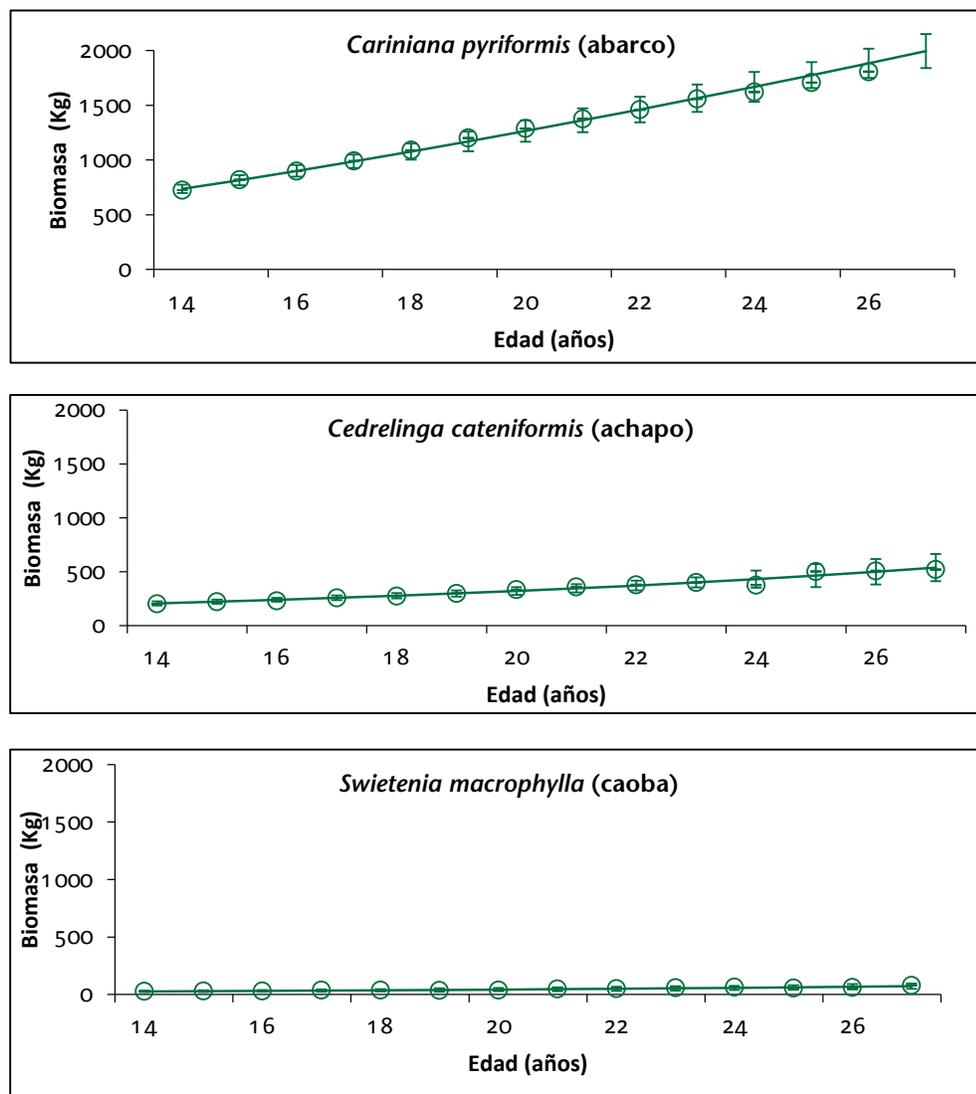
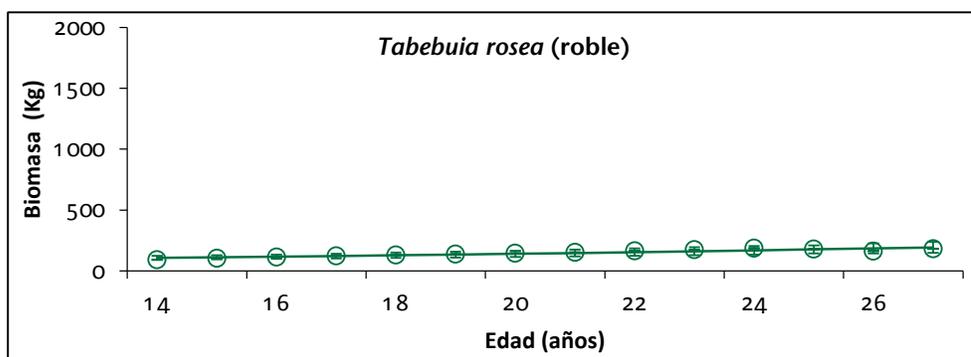


Figura 33 Continuación



Se establece para el ensayo Enriquecimiento forestal, en el análisis de la biomasa promedio por árbol, un comportamiento similar a lo registrado para el volumen; sobresale la especie abarco con valores desde 722 kg promedio por árbol a los 14 años de edad hasta 2123 kg promedio por árbol a los 27 años de edad.

Este excelente registro de producción se constituye en una buena oferta tecnológica para establecer socios con esta especie como componente principal en sistemas de acumulación de biomasa y su posterior conversión a carbono y CO₂. La Línea base para el monitoreo del carbono lo constituye la estimación de la biomasa que contiene un ecosistema o un agroecosistema, con base en datos de campo provenientes de parcelas de campo.

4.5 Volumen y biomasa ensayo Báscula

Para las especies bálsamo, brasil, caruto y cedromacho del ensayo Báscula con edades entre cuatro y nueve años, con base en el volumen medio se construyeron ecuaciones en función de la edad. Primero se evaluaron los modelos descritos en ensayos anteriores y se calificaron las ecuaciones con parámetros antes mencionados y se generaron las ecuaciones para cada especie, como se muestra en la tabla 72. Además, con los datos de volumen promedio (bloques, especie) a las diferentes edades del ciclo de evaluación, se graficó el volumen en función de la edad, y se obtuvieron los valores mediante la ecuación generada (Figura 34).

Tabla 72. Ecuaciones de volumen en función de la edad para cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Báscula, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

Especie	Ecuación	MSE	SD	R ²
bálsamo	$Volumen = 0,0207 * e^{0,047 * edad}$	0,000004514	0,002125	0,56
brasil	$Volumen = 0,0198 * e^{0,0727 * edad}$	0,00001452	0,003811	0,56
caruto	$Volumen = 0,0190 * e^{0,1093 * edad}$	0,00001156	0,003401	0,84
cedromacho	$Volumen = 0,0251 * edad^{0,0148}$	0,0000001805	0,0004249	0,75

Figura 34. Volumen en función de la edad (de cuatro a nueve años) de cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Báscula, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

En la gráfica los círculos representan el valor promedio real medido. Las líneas que acotan el valor promedio corresponden al error estándar. La línea es construida con los valores obtenidos del modelo de regresión

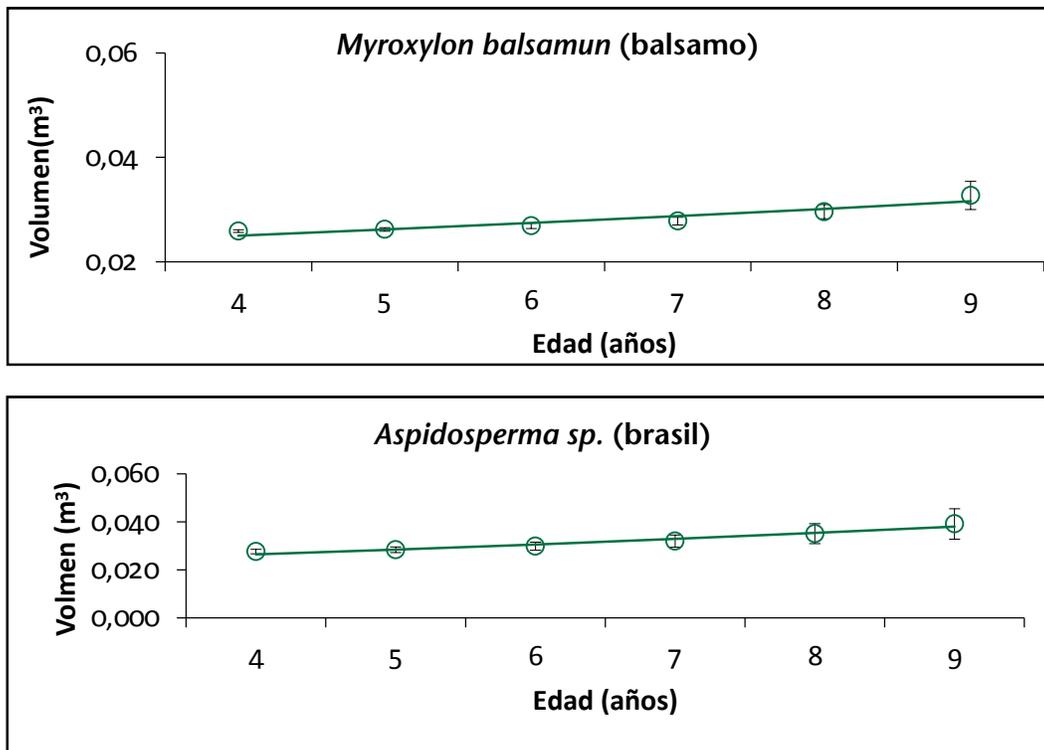
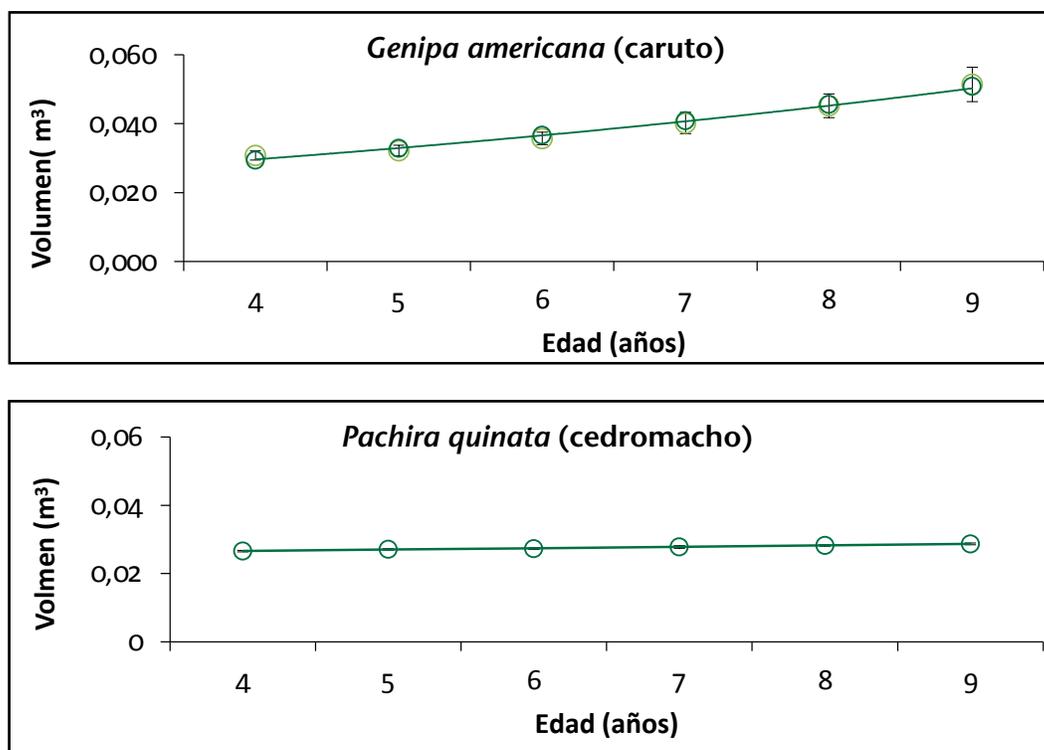


Figura 34 Continuación



Para las especies forestales de este ensayo valorado entre las edades de 4 a 9 años, tanto los valores medidos, como los valores calculados con la ecuación para el volumen en función de la edad de establecimiento, se registraron valores muy bajos del volumen promedio por árbol para la mayoría a excepción de la especie caruto la cual registró a los 9 años de edad un valor promedio de 0,053 m³; a su vez, para las especies bálsamo y cedromacho en el periodo de medición el volumen promedio fue de 0,028 m³.

Al proyectar el volumen para la principal especie a esta edad, el caruto a partir de la ecuación generada, se establecieron proyecciones de volumen por árbol a los 20 años de 0,17 m³ (Tabla 73), valor muy bajo comparado con las especies del ensayo Indígenas I con el caso de la especie macano con 0,410 m³ o el peinemono con 0,378 m³. Igualmente, el cálculo de la biomasa para las especies de este ensayo mostraron valores muy bajos. En la tabla 74, se registran las ecuaciones obtenidas mediante el análisis de

La especie caruto registró a los 9 años de edad un valor promedio de 0,053 m³

regresión para la variable biomasa de las especies brasil, carapa, caruto, cedromacho del ensayo Báscula. En la figura 35 se registran los valores de biomasa promedio a las diferentes edades del ciclo de evaluación.

Tabla 73. Volumen estimado por árbol de cuatro especies forestales (edad entre cuatro a nueve años), establecidas en el ensayo Báscula, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

AÑO	Edad (años)	Volumen promedio por árbol (m ³)				
		bálsamo	brasil	cedromacho	carapa	caruto
2004	4	0,026	0,028	0,027	0,027	0,031
2005	5	0,026	0,029	0,027	0,027	0,033
2006	6	0,027	0,031	0,027	0,028	0,036
2007	7	0,028	0,033	0,028	0,027	0,041
2008	8	0,030	0,036	0,028	0,027	0,047
2009	9	0,034	0,041	0,029	0,028	0,053
Promedio para el periodo		0,029	0,033	0,028	0,027	0,040

Tabla 74. Ecuaciones de biomasa en función de la edad para cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Báscula, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

Especie	Ecuación	MSE	SD	R ²
bálsamo	$Biomasa = 0,5175 * e^{0,4003 * edad}$	22,084	4,6994	0,62
brasil	$Biomasa = 2,5525 * e^{0,2783 * edad}$	53,82	7,3362	0,59
caruto	$Biomasa = 5,6229 * e^{0,2470 * edad}$	1,9935	5,739	0,85
cedromacho	$Biomasa = 1,2292 * edad^{0,9603}$	0,0000001805	1,4119	0,66

Figura 35. Biomasa en función de la edad (de cuatro a nueve años) de cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Báscula, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia.

En la gráfica los círculos representan el valor promedio real medido. Las líneas que acotan el valor promedio corresponden al error estándar. La línea es construida con los valores obtenidos del modelo de regresión

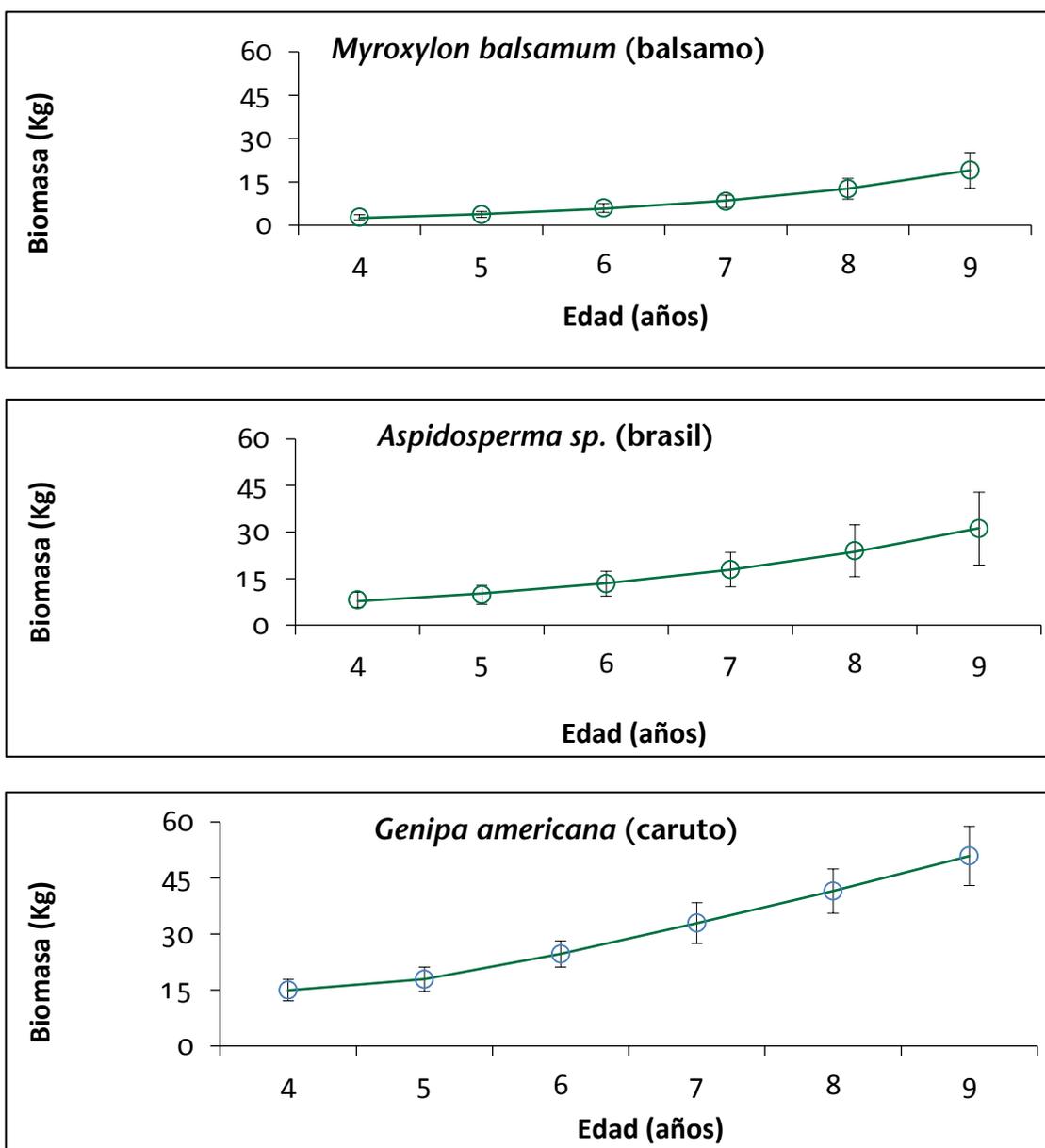
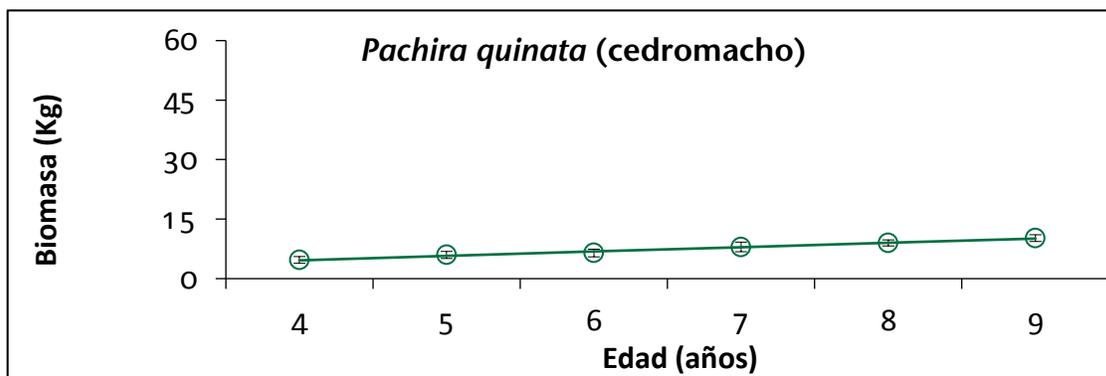


Figura 35 Continuación



4.6 Volumen y biomasa ensayo Caldera

Con los valores de volumen promedio para las especies brasil, cuyubí, paloarco y vochysia establecidas en el ensayo Caldera con edades entre 2 a 8 años (periodo 2002 a 2009), se analizaron y calificaron los mismos modelos vistos en ensayos anteriores, para construir ecuaciones en función de la edad de establecimiento, las cuales se relacionan en la tabla 75. Igualmente, como se muestra en la figura 36, con los datos de volumen promedio a las diferentes edades del periodo de evaluación (2 a 8 años), se graficó el volumen en función de la edad, y se obtuvieron los valores mediante la ecuación generada.

Tabla 75. Ecuaciones de volumen en función de la edad para cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Caldera, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

Especie	Ecuación	MSE	SD	R ²
brasil	$Volumen = 0,0184 * e^{0,1264 * edad}$	0,00003473	0,005893	0,71
cuyubí	$Volumen = 0,0217 * e^{0,0579 * edad}$	0,000006965	0,002639	0,64
paloarco	$Volumen = 0,0242 * e^{0,0422 * edad}$	0,000001944	0,001394	0,78
vochysia	$Volumen = 0,0195 * e^{0,2675 * edad}$	0,0003189	0,0179	0,87

Figura 36. Volumen en función de la edad (de dos a ocho años) de cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Caldera, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

En la gráfica los círculos representan el valor promedio real medido. Las líneas que acotan el valor promedio corresponden al error estándar. La línea es construida con los valores obtenidos del modelo de regresión

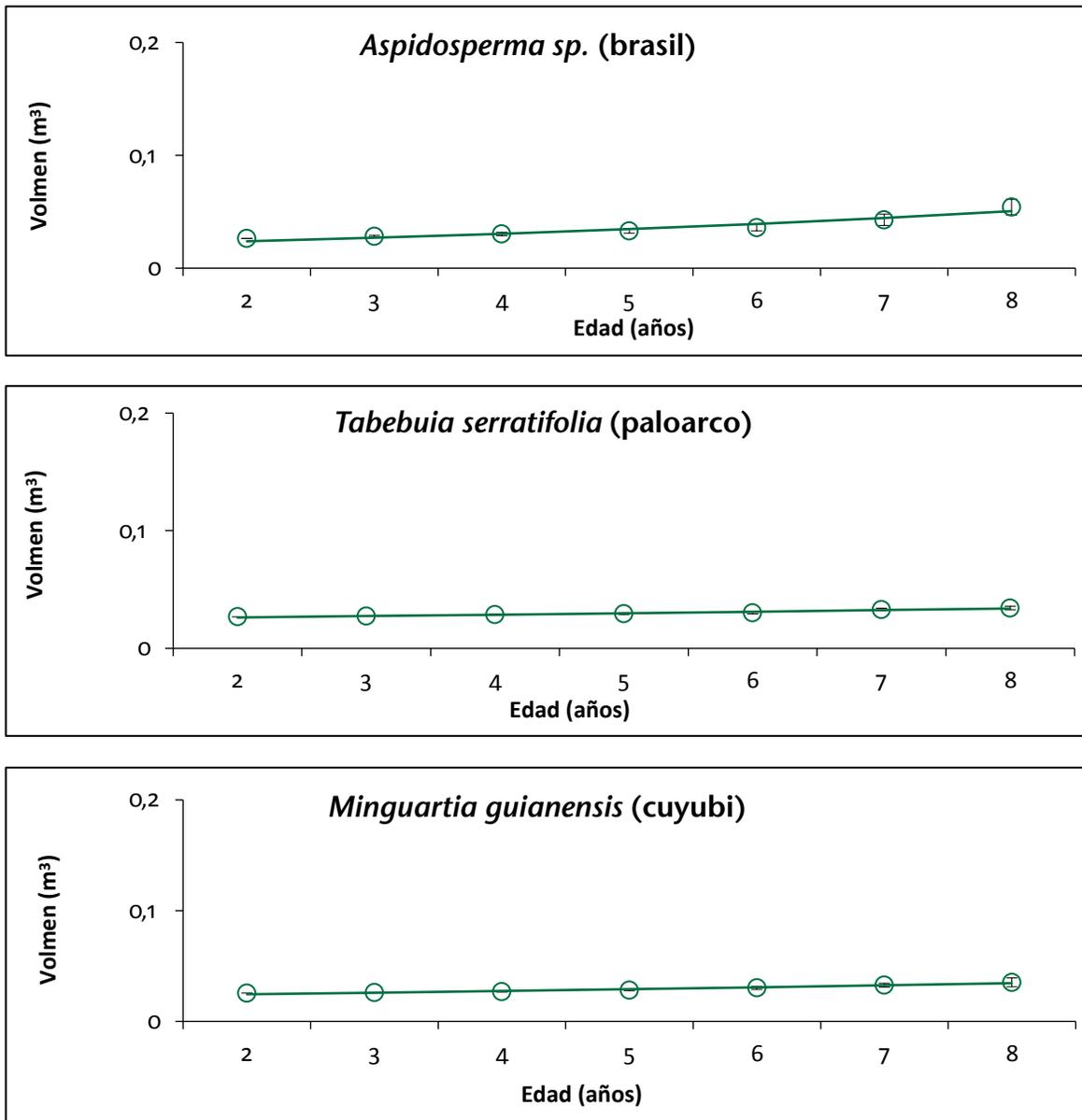
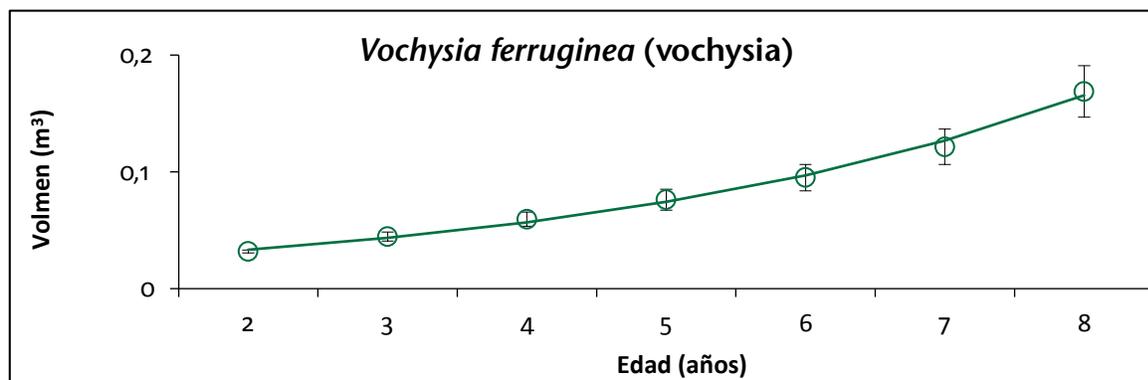


Figura 36 Continuación



De la misma manera, para la variable biomasa se evaluaron los modelos expuestos en ensayos anteriores y se generaron las ecuaciones para cada especie, las cuales se reportan en la tabla 76. Adicionalmente, con los datos promedio a las diferentes edades con los valores reales promedios por bloque, edad y especie se graficó igualmente la biomasa para las diferentes edades evaluadas, como se puede observar para cada una de las especies en la figura 37.

Tabla 76. Ecuaciones de biomasa en función de la edad para cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Caldera, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

Especie	Ecuación	MSE	SD	R ²
brasil	$Biomasa = 3,0307 * e^{0,0364 * edad}$	88,711	9,4187	0,77
cuyubí	$Biomasa = 1,4899 * e^{0,3583 * edad}$	32,392	5,6914	0,69
paloarco	$Biomasa = 2,293 * edad^{1,0867}$	9,1507	3,025	0,79
vochysia	$Biomasa = 17,82 * e^{0,3011 * edad}$	640,71	25,312	0,87

Figura 37. Biomasa en función de la edad (de dos a ocho años) de cuatro especies forestales establecidas en el ensayo Caldera, Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

En la gráfica los círculos representan el valor promedio real medido. Las líneas que acotan el valor promedio corresponden al error estándar. La línea es construida con los valores obtenidos del modelo de regresión

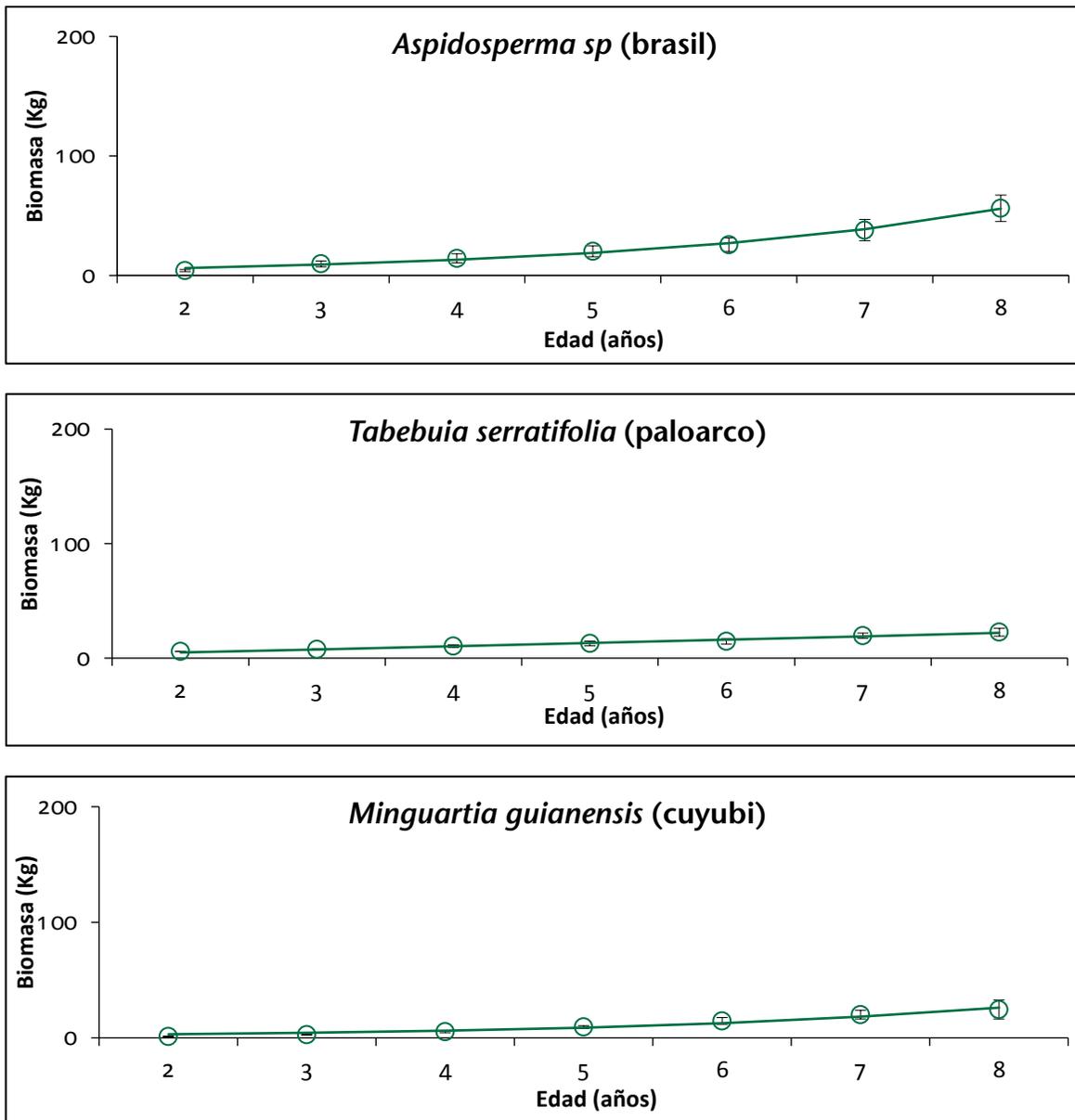
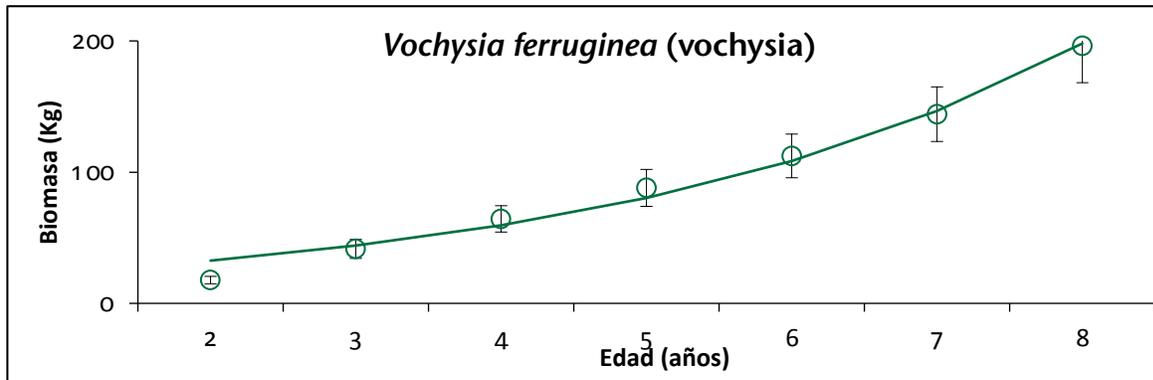


Figura 37 Continuación



En el análisis del volumen y la biomasa en función de la edad para las especies brasil, cuyubí, paloarco y vochysia establecidas en el año 2001 en el ensayo Caldera, se observó una variación importante año a año en el comportamiento de estas variables y específicamente se destacó en mayor medida la especie vochysia que a los 2 años de edad registró volumen promedio por árbol de 0,032 m³ y a los 8 años de edad alcanzó a 0,171 m³.

Para esta especie vochysia a partir de la ecuación se proyectaron valores de 2,405 m³ promedio por árbol a los 18 años de edad, de 3,143 m³ a 19 años de edad y de 4,107 a los 20 años de edad. Esta condición de crecimiento de estas especies fue significativamente diferente con los valores de biomasa de las especies del ensayo Báscula, las cuales registraron menor proporción, así por ejemplo, la especie caruto registró a los cuatro años de edad volumen de 0,031 m³ y a los 9 años de edad de 0,053 m³.

Consideraciones finales

En la Estación Experimental El Trueno del Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas, Sinchi, a partir de los ensayos forestales establecidos entre los años 1982 hasta 1984 denominados en su orden: Quince especies, Indígenas I, Indígenas II, Enriquecimiento forestal y los establecidos en los años 2000 y 2001 denominados respectivamente Báscula y Caldera, se llevó a cabo el análisis para las siguientes 23 especies forestales: *Cariniana pyriformis* (abarco), *Cedrelinga cateniformis* (achapo), *Swietenia macrophylla* (caoba), *Jacaranda copaia* (pavito), *Tabebuia rosea* (roble), *Zanthoxylum riedelianum* (tachuelo), *Schefflera morototoni* (tortolito), *Hymenaea oblongifolia* (algarrobo), *Hymenolobium sericeum* (arenillo), *Myroxylon balsamum* (balsamo), *Aspidosperma excelsum* (brasil), *Carapa guianensis* (carapa), *Genipa americana* (caruto), *Pachira quinata* (cedromacho), *Minquartia guianensis* (cuyubí), *Terminalia amazonia* (macano), *Erisma uncinatum* (milpo), *Vitex orinocensis* (nocuito), *Tabebuia serratifolia* (paloarco), *Apeiba tibourbou* (peinemono), *Virola peruviana* (virola), *Dialium guianense* (trestablas), *Vochysia ferruginea* (vochysia) y *Sterculiaceae sp.* (zapato). Esta información

se constituye en la línea base para la generación de información forestal en el proceso emprendido por el Instituto Sinchi, en el programa de acción orientado a la construcción y desarrollo de sistemas de producción sostenibles.

Consideraciones por ensayos

1. Ensayo Quince especies

Para las evaluaciones realizadas en el año 1993, a los 11 años de edad, para cada uno de los ensayos se establecieron las condiciones iniciales sobre el comportamiento de las especies y se destacó lo encontrado para el ensayo Quince especies, donde sobresalieron por su adaptación y crecimiento las especies abarco, pavito, achapo y tortolito, producto de su mejor comportamiento y su mayor potencialidad para su incorporación en arreglos productivos agroforestales. De igual manera, para este primer grupo seleccionado de especies, sobresalieron dos aspectos fundamentales que confirmaron a estas especies como muy promisorias para su establecimiento en sistemas productivos regionales: i) su ritmo de crecimiento en diámetro con valores cercanos a 2,0 cm/año, a los 11 años de edad, ii) la homogeneidad del ritmo de crecimiento donde más del 60% de sus individuos se comportaron de manera similar.

Estas tasas de crecimiento son comparables o superiores a registros obtenidos en Colombia, así por ejemplo, Escobar, et al., s. f, para la especie abarco en el departamento de Santander (Colombia), reportó a los 6 años de edad, incrementos medios anuales de 1,0 cm/año, valor muy bajo comparado con los registros obtenidos en el ensayo Quince especies en Guaviare. Para la especie achapo, existen reportes de Flores (2004) en el Perú, con incrementos medios en diámetro a los 20 años de edad en diferentes tipos de sistemas a distancias muy variables que van desde 10 a 20 m entre fajas y entre 3 a 5 m entre árboles, el autor reportó diámetros desde 30,7 hasta 35,8 cm con un incremento anual entre 1,0 y 2,0 cm/año; valores similares a los registrados en el ensayo Quince especies en la Estación Experimental.

En el ensayo Quince especies, durante el periodo entre 1993 y 2009, entre los 11 y 27 años de edad, la especie abarco presentó

valores de incremento medio anual en diámetro entre 2,1 y 1,45 cm/año, lo que permitió hacer una aproximación para su turno de aprovechamiento a los 20 años de edad. Para la altura a los 27 años de edad, la especie abarco registró en promedio un incremento medio anual de 1,0 m/año y se comportó como la especie de mejor desarrollo, expresando su potencial de adaptación y crecimiento a las condiciones medioambientales de la región norte amazónica.

Las especies achapo, pavito y tortolito, con alturas promedio entre 21,3 m y 23,6 m, a los 27 años de edad, son conjuntamente con el abarco las especies más promisorias y confirmaron las evaluaciones del inicio del proceso de investigación reiniciado por el Instituto Sinchi en 1993 a los 11 años de edad de las especies y reafirman los desarrollos de fomento iniciados en los cuales estas especies han sido establecidas en sistemas productivos sostenibles en la región.

Para la especie abarco, el 38,3% de los individuos a los 27 años de edad superaron los 40 cm de diámetro y un 10% registraron diámetros mayores a los 60 cm. Esta información permitió identificar que los mayores promedios de crecimiento ocurrieron al disminuir la competencia entre plantas y mejorar las condiciones de fertilidad por el proceso de ciclaje de nutrientes en el sistema.

Para la especie achapo la evaluación del año 2009 a los 27 años de edad registró que el 35,3% de los individuos superaron el diámetro mínimo de cortabilidad de los 40 cm y que el 98% alcanzaron más de 20 cm de diámetro.

Con las especies abarco, achapo, tortolito, pavito, roble y caoba se obtuvieron ecuaciones para altura y diámetro en función de la edad, con un excelente ajuste estadístico, logrando el propósito de obtener proyecciones precisas del incremento de las variables y la construcción de tablas de fácil manejo. Este proceso de investigación le permitió al Instituto Sinchi poner a disposición la información de crecimiento y el desarrollo de un buen grupo de especies forestales maderables en condiciones ecosistémicas de la región norte amazónica. El seguimiento y el monitoreo continuo en el tiempo y el alto nivel de precisión, determinaron las proyecciones de crecimiento de estas especies forestales establecidas en los sistemas de producción sostenibles de la región en forma más eficiente y real.

En términos generales para las especies evaluadas en el ensayo Quince especies en condiciones de la Estación Experimental El Trueno, se observó una alta variabilidad tanto en el diámetro como en la altura de los individuos de todas las especies analizadas. Lo anterior permite plantear el mejoramiento de las plantaciones con base en las buenas prácticas de manejo forestal (manejo de arvenses, podas tempranas de formación y abonamiento orgánico entre otras), como el fin de establecer turnos de cortabilidad más homogéneos.

Desde el Instituto se promueven, igualmente, técnicas de recolección de material reproductivo de árboles padres de excelente expresión fenotípica, como parte del mejoramiento productivo. Con los análisis presentados se consolidó un grupo de especies para incorporarse a los sistemas productivos de la región norte amazónica, calificadas por sus condiciones de adaptación y crecimiento. Estas especies priorizadas corresponden a: abarco, achapo, pavito y tortolito del primer grupo de análisis de especies maderables.

Con la metodología y protocolos elaborados para las seis especies forestales que permanecieron en el ensayo Quince especies establecido en la Estación Experimental en 1982, se obtuvo el volumen promedio por árbol en el periodo de evaluación entre 1993 y 2009 (edad de 11 a 27 años). Con la información obtenida de volumen se confirmaron las afirmaciones previas obtenidas a partir del análisis de las variables de permanencia, de la altura y del diámetro definiéndose las especies abarco y achapo como las principales de este grupo, seguidas de las especies pavito y tortolito con crecimientos de valor medio.

La especie abarco a los 27 años de edad presentó un promedio de volumen por árbol de 1,68 m³. El volumen promedio por árbol a los 20 años para el abarco superó el valor de 1,0 m³, para la especie achapo este valor se logró a los 23 años de edad. A los 20 años de edad la especie achapo registró algunos individuos con volúmenes de 3,0 m³, mientras que a esa edad las especies pavito y tortolito se acercaban al valor de 1,0 m³. La valoración del volumen confirmó la aptitud y potencialidad para el establecimiento de este grupo importante de especies en sistemas productivos de la región.

2. Ensayo Enriquecimiento forestal

En la evaluación realizada en 1996, sobre el ensayo de Enriquecimiento forestal a los 14 años de edad, se registraron diferencias en las variables analizadas en el comportamiento para las cuatro especies abarco, achapo, caoba y roble. En los porcentajes de permanencia sobresalieron las especies abarco con 91% y achapo con 82%. De igual manera a lo reportado para el ensayo Quince especies, se resaltó la importancia de estas dos especies forestales de uso como maderas finas, por su mejor comportamiento en adaptación y crecimiento y proyectándose para su empleo en sistemas productivos y en especial en sistemas de enriquecimiento forestal a nivel regional.

En la valoración de este ensayo de Enriquecimiento forestal se pudo evidenciar a los 14 años de edad, que las especies roble y caoba presentaron un bajo porcentaje de permanencia en el ensayo, con el 59% para la especie roble y el 52% para la especie caoba, indicando sus altos requerimientos de luz que se convierte en un elemento básico para el diseño de este tipo de sistemas, en especial a la hora de definir las distancias de siembra y las prácticas adecuadas de manejo de las calles del bosque donde se establecen.

En el ensayo de Enriquecimiento forestal, a los 14 años de edad la especie abarco presentó un diámetro promedio de 31,5 cm, con incrementos medios anuales de 2,25 cm/año; el 45% de los individuos estuvieron dentro de la clase diamétrica de 30 cm a 40 cm y el 15% en la clase superior al diámetro mínimo de cortabilidad de 40 cm. En general la especie abarco presentó el 80% de los individuos en clases superiores a 20 cm, asegurando esto la proyección de aprovechamiento forestal a edades menores a 18 años de edad, ya que con esos valores de crecimiento, los incrementos medios anuales están por encima de 2,0 cm/año.

En las evaluaciones del ensayo de Enriquecimiento forestal en el periodo 1996 a 2009, a edades entre 14 y 27 años, se destacó la línea de tendencia del crecimiento y los valores promedios alcanzados por la especie abarco, que la constituyen en la principal especie para su establecimiento en sistemas sostenibles productivos de enriquecimiento forestal. La especie abarco en el periodo de evaluación registró promedios de incremento medio anual en diámetro de 2,25 cm/año. Otra especie de importancia como madera

fina es el achapo, aunque registró incrementos medios anuales menores (1,0 cm/año) también se plantea como promisorio para este sistema de enriquecimiento en fincas de productores. Evaluaciones realizadas para la especie achapo en fincas de productores han permitido obtener en los primeros cinco años de edad tasas cercanas a los 2,0 cm/año.

Producto de la evaluación, se observó el comportamiento poco homogéneo de los individuos de las diferentes especies en cuanto al diámetro y la altura, en parte por el efecto de la genética (semillas sin certificación) y de otra, el sistema de producción (siembra) del ensayo de Enriquecimiento forestal, en el cual la vegetación circundante ejerce una influencia importante que limita la radiación, fenómeno que no fue considerado en el diseño, a diferencia de los ensayos a plena exposición o plantaciones en los cuales los factores limitantes son internos al ensayo. Estas consideraciones confirmadas con la información estadística de los arreglos, son las que han permitido formular protocolos adecuados de manejo para las especies establecidas en los sistemas de enriquecimiento forestal de la región norte amazónica.

3. Ensayos Indígenas I y II

Para el primer grupo de especies maderables nativas, el ensayo Indígenas I, a los 10 años de edad se destacó la adaptación y el crecimiento de las especies macano y peinemono, por su buen desarrollo en términos de las variables de diámetro y altura. Estas especies alcanzaron incrementos medios anuales en altura superiores a 1,0 m/año, valores mayores comparando su crecimiento con respecto a bosques naturales. En plantación la especie macano, (Piotto, 2001) reportó para Costa Rica, en estudios de 10 y 12 años de edad, valores de incremento medio anual en diámetro desde 1,0 cm/año hasta 2,4 cm/año, sin establecer distancias de siembra y con sobrevivencia menor al 34%, lo cual es muy bajo comparado con lo registrado en los ensayos analizados en la Estación Experimental. Esta información permitió corroborar que a menor competencia entre los individuos se obtiene mayor crecimiento en altura, de acuerdo con Piotto (2001), los incrementos medios anuales que se lograron estuvieron entre 0,7 y 2,4 m/año para los árboles con una edad entre 10 y 12 años.

En el periodo de análisis entre 1993 y 2009 entre los 10 y 25 años de edad, para el ensayo Indígenas I, las especies nativas, macano, peinemono y virola se definieron como las de mejor comportamiento. De estas tres especies, el macano registró un incremento promedio en diámetro de 1,4 cm/año. Aun cuando es un resultado sobresaliente, para mejorar su tasa de crecimiento se requiere de una menor densidad de individuos, situación que se viene evidenciando en sistemas agroforestales que se han establecido en la zona norte de la región amazónica. La especie nocuito, registró los menores promedios de diámetro, con 14,4 cm; para esta especie, por antecedentes locales de uso es necesario, establecer estrategias de manejo silvicultural que incrementen sus tasas de crecimiento.

Del grupo de estas especies, la especie virola fue la que presentó un comportamiento más estable durante el periodo de medición, con un incremento medio anual entre 0,8 a 1,3 cm/año; que en promedio para el ciclo de evaluación (edades entre 10 a 26 años) fue de 1,0 cm/año. De igual manera, es importante considerar en este grupo a la especie algarrobo, la cual inicialmente (hasta 1993) presentaba valores de mortalidad altos, pero al ser evaluada en condiciones de mayor distancia de siembra (8 por 6 m en sistemas agroforestales) alcanzó incrementos medios en diámetro mayores a 1,2 cm/año.

De igual manera, al retomar el proceso de investigación en 1993 en el ensayo denominado Indígenas II, con las especies forestales arenillo, milpo, trestablas y zapato, se presentó tendencia similar en cuanto a la permanencia de la especie (número de individuos que permanecen en el ensayo). En este grupo la especie milpo presentó un excelente crecimiento en diámetro con 17,2 cm a los 9 años de edad, registrando incremento medio anual en diámetro de 2,0 cm/año, que puede considerarse como la tasa de crecimiento necesaria para alcanzar proyecciones de aprovechamiento a los 20 años de edad. La segunda especie en importancia fue el zapato que a los 9 años de edad registró un diámetro promedio de 11,7 cm, con incremento medio anual de 1,3 cm/año; sin embargo, esta especie presentó muy baja sobrevivencia que reafirmó la necesidad de establecerla con las técnicas más adecuadas de manejo y en especial manejarla en sistemas de enriquecimiento de rastrojos. Para la especie milpo, en Bolivia, sin manifestar edad ni distancias

de establecimiento, Toledo et al (2007), reportaron incrementos medios en diámetro de 0,6 cm/año, valores muy bajos comparados a los registrados en los ensayos evaluados en Guaviare. Para otras especies nativas de la región amazónica de la familia Vochysiaceae, el mismo autor registró incrementos entre 0,4 y 0,6 cm/año, considerados muy bajos comparados con los registros obtenidos para especies nativas en Guaviare (entre 1,0 y 1,5 cm/año).

Para el grupo de especies nativas priorizadas en el ensayo Indígenas II, sobresale el milpo que registraba en el año 1993, a la edad de 9 años un valor promedio de diámetro de 17,2 cm y en el 2009 a la edad de 25 años alcanzó un diámetro de 25,8 cm, con incremento medio anual entre 1,9 y 1,1 cm/año. Esta especie registró alta permanencia de sus individuos establecidos, cercano al 75% y es importante además, por la forma de su copa estrecha, apropiada para el establecimiento en arreglos agroforestales. Para el grupo de especies arenillo, milpo, trestablas y zapato, al igual que las evaluadas en los diferentes ensayos son especies de alto potencial para establecer en sistemas con densidades de siembra medias y en los que se favorezca el desarrollo de procesos de ciclaje de nutrientes.

Para las especies forestales del ensayo Indígenas II en la evaluación a los 25 años de edad, la especie milpo presentó un volumen promedio por árbol de 0,570 m³ consolidando los reportes previos acerca de su potencial para la incorporación en sistemas productivos sostenible regionalmente.

Para las especies establecidas en el ensayo Indígenas I, el macano, el nocuito, el peinemono y la virola, se confirmó la importancia por la productividad media de las especies macano y peinemono, las cuales a los 26 años de edad registraron volúmenes de 0,410 m³ y 0,378 m³. En cuanto a la estimación de la biomasa a los 26 años de edad, la especie macano registró en promedio por árbol 417,2 kg, la especie peinemono 389,3 kg y la especie virola alcanzó los 294 kg.

4. Ensayo Báscula

A partir del año 2000 se realizó la incorporación en el ensayo denominado Báscula de las nuevas especies brasil, caruto, cedromacho, paloarco y vochysia para la evaluación de adaptación y

crecimiento en la Estación Experimental. Este grupo de especies se consideró de importancia como oferente de maderas finas para ebanistería y por su potencial de oferta de productos no maderables (usos medicinal e industrial).

En la evaluación de 2009 a los 9 años de edad las especies de mayor permanencia en el ensayo fueron brasil y caruto, con 89,8% y 84,3% respectivamente. La especie caruto presentó incremento medio anual en diámetro que varió desde 1,3 cm/año a los 4 años hasta 1,1 cm/año a los 9 años de edad que para el periodo de evaluación entre 2004 y 2009 representó un incremento promedio de 1,1 cm/año, valor considerado importante y comparable a las especies de mayor rendimiento evaluadas en la Estación Experimental. Otra especie que sobresalió en este grupo, fue el brasil con un incremento medio anual promedio de 0,9 cm/año. Estas dos especies se articulan al grupo de especies importantes resaltadas en los ensayos previamente analizados y fortalecen la oferta de especies forestales nativas para establecer en sistemas productivos.

Para la especie caruto, Francis John K. 1993, reportó para diferentes países, principalmente de la región amazónica, a edades entre tres y nueve años, sin establecer distancias de siembra, un incremento en diámetro entre 1,1 a 1,4 cm/año y un incremento en altura entre 0,6 a 1,5 m/año. A estas edades el autor reportó sobrevivencia para la especie caruto de 80%.

En el ensayo Báscula, la especie caruto a partir de la ecuación generada, se proyectó a los 20 años de edad un volumen de 0,17 m³ por árbol considerado un valor muy bajo comparado con los datos registrados para las especies del ensayo Indígenas I. Similar análisis se encontró para la biomasa.

5. Ensayo Caldera

Ensayo establecido en 2001, en la Estación Experimental en donde se incorporaron especies como: vochysia, cuyubí, brasil y paloarco. En la evaluación realizada en el 2009 a los 8 años de edad, se obtuvieron individuos con diámetros entre 2,0 a 15,0 cm para la especie brasil y de 3,0 a 26,0 cm para la especie vochysia.

La especie vochysia presentó los mayores rangos de variabilidad de los individuos en las diferentes edades, que es explicada principalmente por ser la especie de mayor ritmo de crecimiento en

diámetro, con valores medios desde 5,9 cm a los 2 años de edad, hasta 15,8 cm a los 8 años de edad (incremento de 2,0 cm/año). Las otras especies brasil, cuyubí y paloarco registraron promedios de diámetro menores a 9,0 cm en el análisis a los 8 años de edad; la especie paloarco que tuvo una permanencia en el ensayo mayor del 90%, registró el valor medio de diámetro más bajo con 6,3 cm. Una de las especies analizadas en este grupo de maderas nativas finas utilizadas regionalmente, fue el cuyubí, la cual registró 6,5 cm de diámetro promedio a los 8 años de edad, considerado por los reportes de los agricultores como aceptable ya que es una especie de muy lento crecimiento.

Las especies brasil, cuyubí, paloarco y vochysia establecidas en el año 2001 en el ensayo Caldera, registraron cambios importantes año a año en los valores del volumen y la biomasa, y específicamente sobresaliendo la especie vochysia que a los 2 años de edad presentó un volumen promedio por árbol de 0,032 m³ y a los 8 años de edad alcanzó a 0,171 m³. Para la especie vochysia a partir de la ecuación se proyectaron valores de 2,405 m³ promedio por árbol a los 18 años de edad, de 3,143 m³ a los 19 años de edad y de 4,107 a los 20 años de edad.

Consideraciones finales por especies

Tomando el conjunto de todas las especies forestales establecidas en los diferentes ensayos evaluados en la Estación Experimental El Trueno, se construyó la figura 38, a partir del cálculo del incremento medio anual de diámetro promedio para todas las especies en el periodo de medición entre 1993 y 2009. Este indicador reafirmó los análisis desarrollados para cada uno de los ensayos, en los cuales se estableció la selección de las principales especies.

Para estas especies forestales, revisando los valores medios del incremento diamétrico, el 74% (17 de 23 especies), a distancias de siembra de 3 por 3 m, presentaron incrementos superiores a 0,8 cm/año, por lo que se consideran con aptitud para ser establecidas en sistemas productivos sostenibles, aplicando técnicas de manejo silvicultural y mejoramiento de las condiciones de establecimiento inicial.

De este importante grupo de 17 especies, se destacaron las ya mencionadas en los ensayos establecidos entre 1982 a 1984 que corresponden a *Cariniana pyriformis* (abarco), *Cedrelinga cateniformis* (achapo), *Jacaranda copaia* (pavito), *Schefflera morototoni* (tortolito), *Terminalia amazonia* (macano), *Erisma uncinatum* (milpo) y *Apeiba tibourbou* (peinemono) y resaltando también las especies establecidas en los ensayos a partir del año 2000, en especial *Vochysia ferruginea* (vochysia) y *Aspidosperma* sp. (brasil). Se resalta este grupo de especies que corresponden a la oferta tecnológica del Instituto bajo las consideraciones del ecosistema amazónico, para su establecimiento en sistemas de producción forestal y agroforestal.

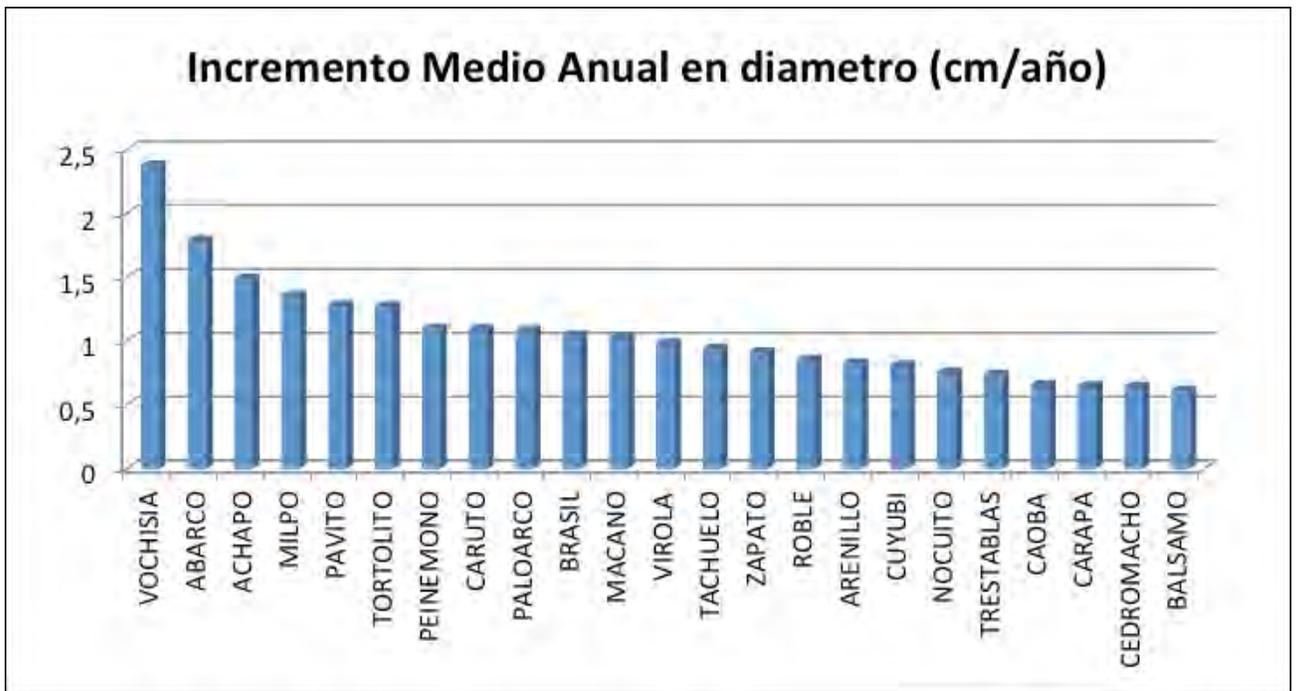


Figura 38. Incremento medio anual en diámetro de 23 especies forestales, en el periodo de evaluación entre 1993 a 2009, establecidas en la Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

De igual manera a lo analizado previamente para cada uno de los ensayos establecidos en la Estación Experimental, para la variable altura se presentó menor variación entre las especies. Los resultados

registraron que 19 de las 23 especies alcanzaron incrementos medios anuales superiores a 0,70 m/año; consolidando el 80% de las especies valoradas en la Estación Experimental, con alto potencial para ingresar a procesos productivos regionales. Se resalta el comportamiento de las nuevas especies establecidas en ensayos a partir del año 2000, que complementan el grupo de especies forestales evaluadas desde 1993. Este grupo importante de especies (figura 39), permite afianzar aún más la oferta tecnológica del Instituto para la región, al garantizar que con un adecuado manejo y la adopción de técnicas apropiadas de establecimiento, estas especies presentan un alto potencial para el desarrollo forestal regional.

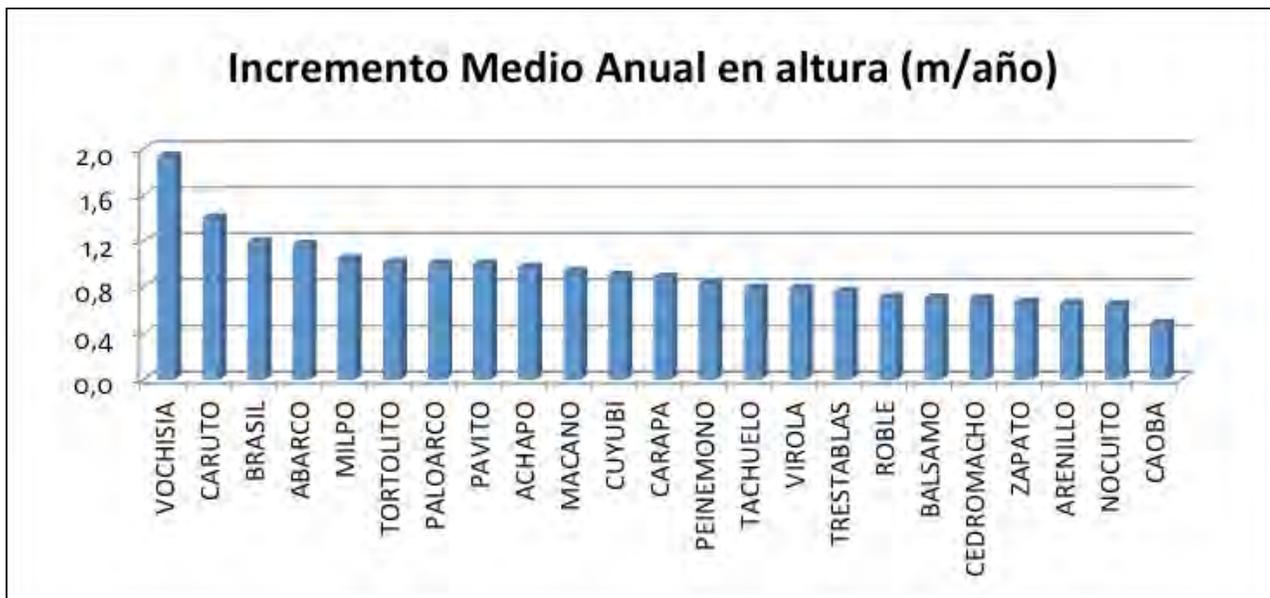


Figura 39. Incremento medio anual en altura de 23 especies forestales, en el periodo de evaluación entre 1993 a 2009, establecidas en la Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

El análisis del diámetro y la altura, como variables de campo, se consolida con la determinación y evaluación del volumen para el total de las especies forestales analizadas en la Estación Experimental. En cuanto al volumen, para las 23 especies, la información quedó registrada en la figura 40.

Considerando el incremento medio del volumen registrado en la evaluación de 2009, las especies forestales del primer proceso de investigación, establecidas en 1982, dan mejores respuestas en la producción de madera. Las especies que se destacaron corresponden a las definidas previamente en los análisis realizados por cada uno de los ensayos y fueron: *Cariniana pyriformis* (abarco), *Cedrelinga cateniformis* (achapo), *Jacaranda copaia* (pavito), *Schefflera morototoni* (tortolito), *Terminalia amazonia* (macano), *Erisma uncinatum* (milpo) y *Apeiba tibourbou* (peinemono) y destacándose de nuevo una de las especies establecida a partir de los años 2000, la especie *Vochysia ferruginea* (vochysia).

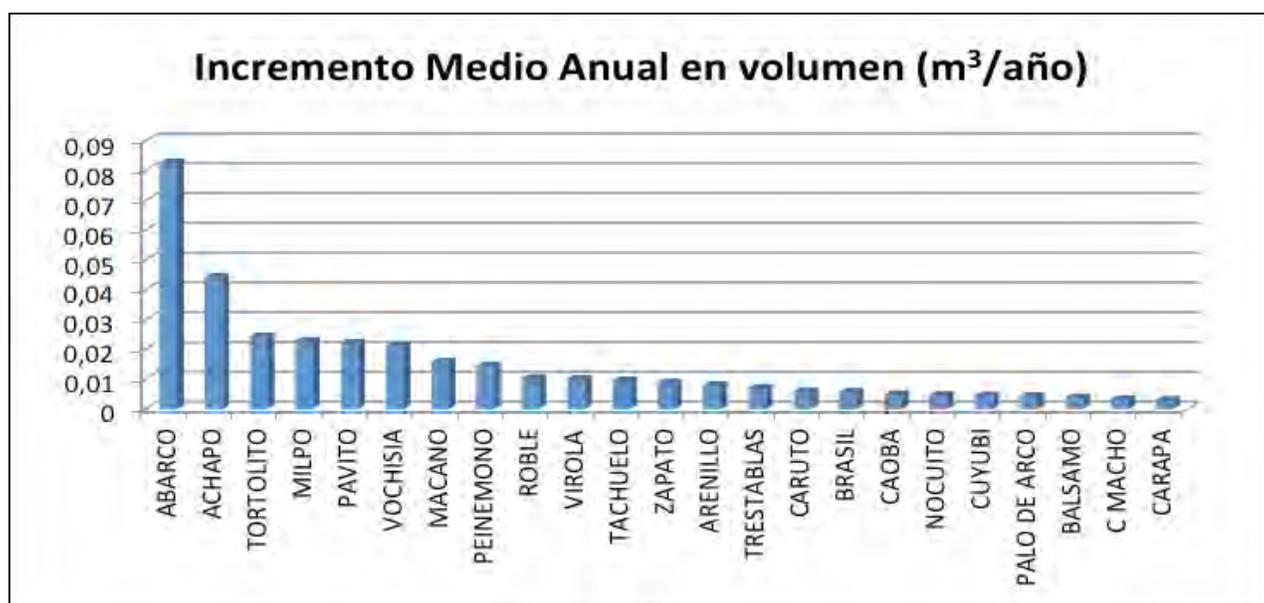


Figura 40. Incremento medio anual en volumen de 23 especies forestales, en el periodo de evaluación entre 1993 a 2009, establecidas en la Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

La biomasa aérea total por especie, considerando el total de las especies establecidas en la Estación Experimental El Trueno, confirmó lo analizado en relación con el volumen, aclarando además, que este tipo de cálculo es efectuado por árbol como valor medio para el período de análisis entre 1993 y 2009.

En esta evaluación de biomasa, del total de especies (sin considerar ensayos), la principal especie fue *Cariniana pyriformis* (abarco), pues en promedio por árbol acumuló 49,0 kg/año de materia seca, mientras que la especie *Cedrelinga cateniformis* (achapo), acumuló 30,0 kg/año y las especies *Jacaranda copaia* (pavito), *Schefflera morototoni* (tortolito) y *Erismia uncinatum* (milpo), en promedio acumularon por árbol 20,0 kg/año de biomasa. (Ver figura 41)

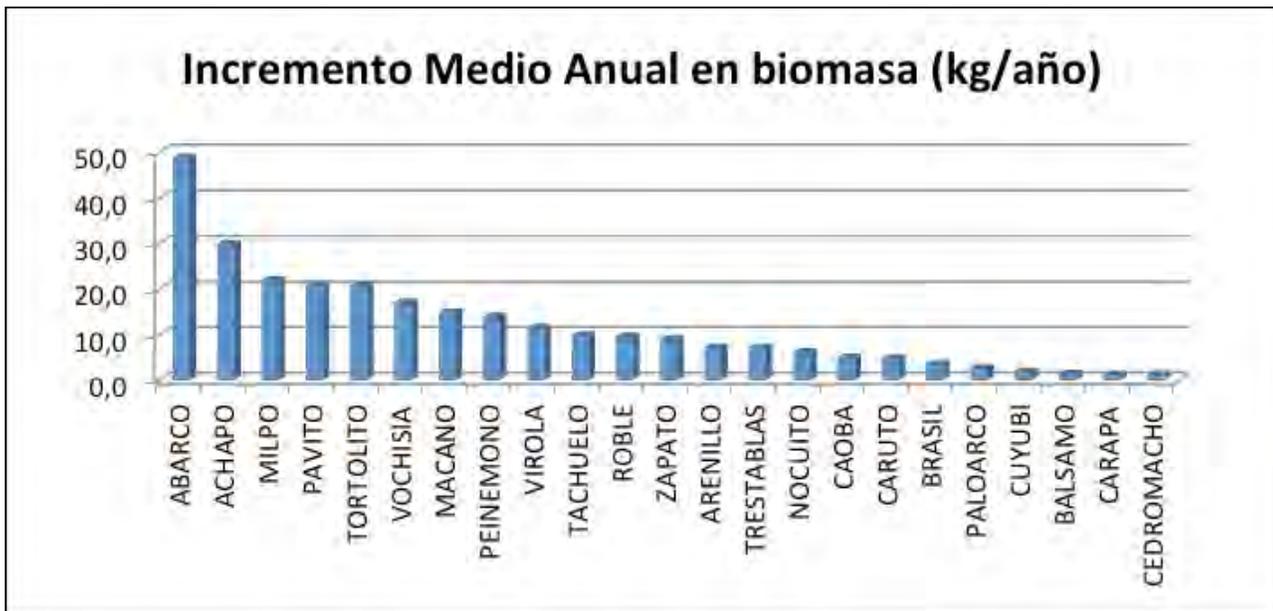


Figura 41 Incremento medio anual en biomasa de 23 especies forestales, en el periodo de evaluación entre 1993 a 2009, establecidas en la Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

Con los datos de volumen de madera obtenido por especie en el análisis del total de las especies establecidas en la Estación Experimental y con los precios regionales en pesos colombianos del metro cúbico de madera, se observa en la figura 42, el valor promedio por árbol por año, es decir, la cantidad de dinero que acumula el productor cada año cuando establece un sistema productivo con las especies forestales, a partir de la oferta tecnológica que el Instituto Sinchi ha desarrollado producto del proceso de investigación continua en el sector forestal.

Para algunas de las especies, considerando los ciclos de corta, se establece por ejemplo que para la especie abarco anualmente por árbol se acumulan \$18.000; por lo que a los 20 años de edad se podría obtener por árbol \$360.000. Si se considera el sistema actual de establecimiento desarrollado por el Instituto Sinchi, en el cual la densidad media es de 98 individuos por hectárea con la especie abarco, se obtendrán a los 20 años de edad recursos por 35 millones de pesos con un ingreso total bruto solo con esta especie, sin contar las otras cuatro especies maderables que se establecen en este tipo de sistema de enriquecimiento forestal en el cual se logra un total de 252 árboles maderables por hectárea.

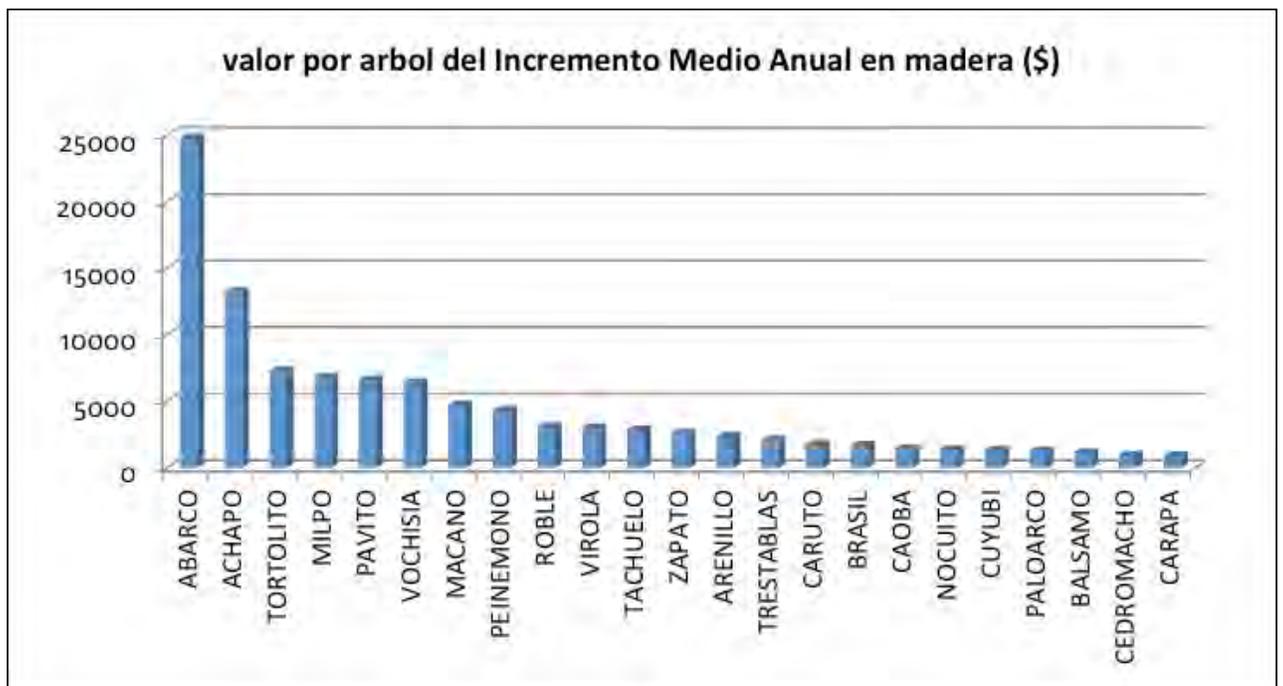


Figura 42 Valor promedio madera por árbol y año de 23 especies forestales evaluadas en la Estación Experimental El Trueno (1993 - 2009)

Desde la óptica de la oferta de servicios ambientales generada por las especies forestales, para el total de las especies establecidas en la Estación Experimental se calculó la acumulación de carbono anual por árbol (en su componente aéreo), la cual hace posible realizar posteriormente los cálculos de las tasas de acumulación de

CO², para las diferentes especies y los diferentes arreglos productivos. Con esta información se elaboró un gráfico con base en la oferta técnica, proporcionada por el proceso de investigación de más de 27 años, desarrollado por el Instituto Sinchi en la región norte amazónica para estas especies maderables, (figura 43). En este análisis se destacó de nuevo la especie abarco con una tasa de acumulación de carbono anual de 25 kg promedio por árbol, la especie achapo con 15 kg y las especies milpo, el pavito y el tortolito con tasas anuales por árbol superiores a 10 kg.

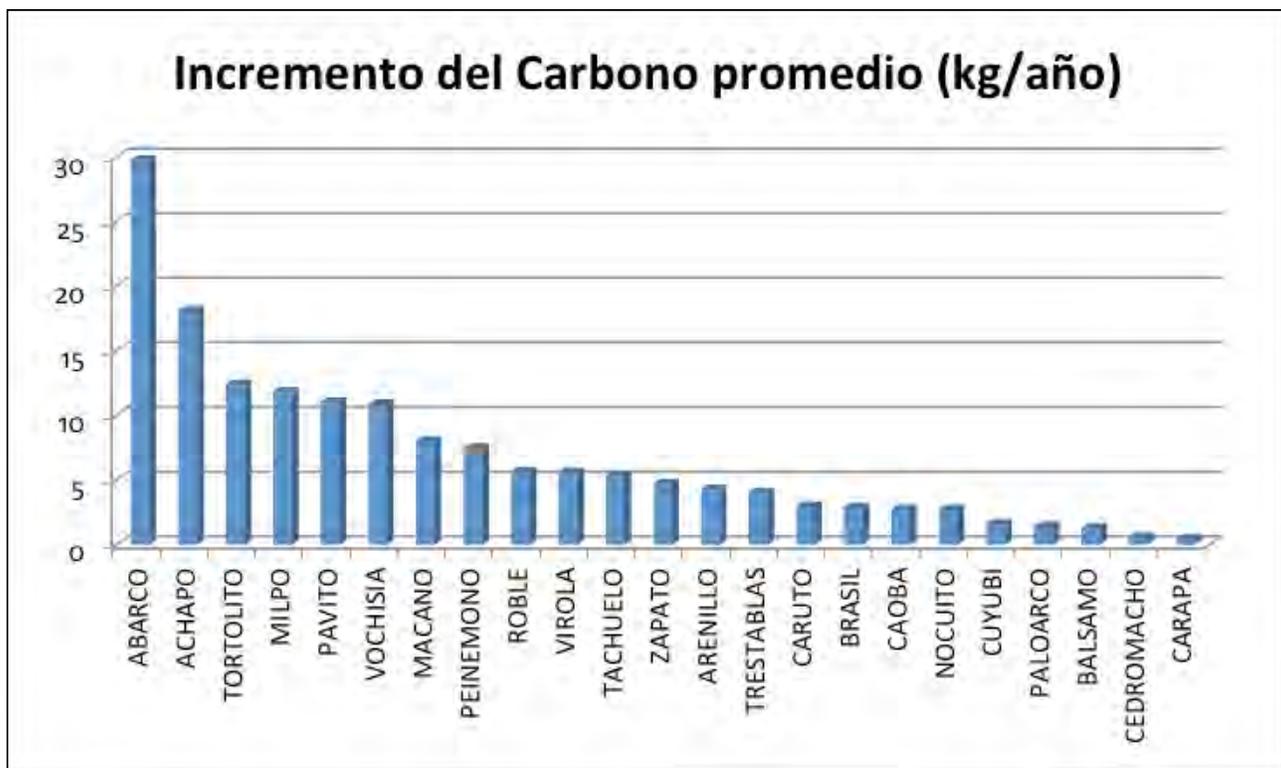


Figura 43 Valores de carbono promedio anual acumulado de 23 especies forestales evaluadas en la Estación Experimental El Trueno (1993 - 2009)

Resumen de la oferta científica producto de la investigación continua y sistemática realizada por el Instituto Sinchi para la región norte de la Amazonia colombiana

- 23 especies forestales valoradas en términos de crecimiento y producción de madera en un horizonte de 10 y 20 años de edad.
- 10 especies forestales priorizadas por su adaptación capacidad de crecimiento rápido y oferta de madera.
- Fichas técnicas para 21 especies forestales nativas de la región que comprende: Descripción botánica, morfológica, crecimiento, producción de madera.
- 23 especies forestales valoradas en términos de biomasa y fijación de carbono en un horizonte de 10 y 20 años de edad.
- 10 especies forestales priorizadas por su capacidad de captura de carbono.
- Mejoramiento de la capacidad de ingreso bruto valorado en promedio en diez millones de pesos por hectárea para 30 familias del Guaviare, a partir de la producción de madera en arreglos agroforestales.
- 800 nuevas hectáreas vinculadas al desarrollo agroforestal mediante sistemas de enriquecimiento con 10 especies forestales evaluadas en el programa y una proyección a los 10 y 20 años de edad del volumen de madera y capacidad de captura de carbono.
- 21 especies maderables, 5 arreglos agroforestales priorizados y 5 de enriquecimiento forestal de rastrojos con bases técnicas validadas para la política forestal y agroforestal del departamento y la región.

Bibliografía

- Acero Duarte, Luis Enrique. 1979. Principales plantas útiles de la Amazonia colombiana. PRORADAM (Proyecto Radargrametrico del Amazonas). Bogotá, Proradam. 263 p.
- Álvarez, G. 2008. Modelos alométricos para la estimación de biomasa aérea de dos especies nativas en plantaciones forestales del trópico de Cochabamba, Bolivia. Tesis Mag. Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 89 p.
- Andrade, Ángela; Etter, Andrés. 1987. Levantamiento ecológico del área de colonización de san José del Guaviare (informe y memoria explicativa a los mapas). Corporación de Araracuara, Proyecto DAINCO-CASAM. Bogotá. 274p.
- Araujo T M, N Higuchi, JA de Carvalho Junior. 1999. Comparison of formula for biomass content determination in a tropical rain forest site in the state of Par. Brazil. *Forest Ecology and Management* 117: 43-52.
- Arévalo A., Hernando; Cortes C., Daniel; Soto C., Otoniel. 1979. Estudio general de suelos de la colonización en el Retorno, Comisaría del Guaviare. INCORA - INDERENA, Bogotá. 2v.

- Aróstegui V., A.; Portocarrero D., M. 1992. Propagación de especies forestales nativas promisorias en Jenaro Herrera, Iquitos, Perú. Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana. Lima, Perú. 119 p.
- Aróstegui Vargas, Antonio; Díaz Portocarrero Manuel. 1992. Propagación de especies forestales nativas promisorias en Jenaro Herrera. Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana Iquitos, Perú. IIAP, Centro de Investigaciones de Jenaro Herrera. 121 p.
- Arreaga, W. A. 2002. Almacenamiento de carbono en bosques con manejo forestal sostenible en la reserva de Biosfera Maya, peten, Guatemala. CATIE. Turrialba Costa Rica.
- Bartholmaus, Agnes, et al. 1990. El manto de la tierra. Flora de los Andes. Guía de 150 especies de la flora andina. CAR (Corporación Autónoma Regional de las cuencas de los ríos Bogotá, Ubaté y Suárez) – GTZ – KfW, Bogotá, Ediciones Lerner Ltda. 332 p.
- Brown, S., 1986. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer. FAO Forestry Paper 134. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Cachique Hernández, Jorge A. 1985. Estudio detallado de los suelos de la Granja Experimental de la Corporación Araracuara, Proyecto DAINCO-CASAM, Bogotá. 400p. fotoc.
- Camargo, J.L.C & Ferraz, I.D.K. 2004. Acariquara-roxa, *Minquartia guianensis* Aubl, Olacaceae. In: Ferraz, I.D.K. & Camargo, J.L.C. (Ed.) Manual de Sementes da Amazônia. f.4. Manaus, INPA. 8p
- CATIE. 1984. Especies para leña Arbustos y árboles para la producción de energía. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza – CATIE. Proyecto Leña y fuentes alternativas de energía.
- Claussi, Arturo; Marmillod, Daniel; Blaser, Jurgen. 1992. Descripción silvicultural de las plantaciones forestales de Jenaro Herrera. Iquitos, Perú. Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana IIAP, Centro de Investigaciones de Jenaro Herrera / INTERCOOPERATION / COTESU. 332 p.

- COLOMBIA. PROYECTO RADARGRAMETRICO DEL AMAZONAS.
1979a. La Amazonia colombiana y sus recursos. Mapa geológico de la Amazonia colombiana. Escala 1:500.000. Bogotá. IGAC, CIAF, Ministerio de Defensa. 11 planchas.
- COLOMBIA. PROYECTO RADARGRAMETRICO DEL AMAZONAS.
1979b. La Amazonia colombiana y sus recursos. Mapa de suelos de la Amazonia colombiana. Escala 1:500.000. Bogotá. IGAC, CIAF, Ministerio de Defensa. 12 mapas.
- CONIF. 1984. Informe preliminar de la zona de San José del Guaviare. Investigación forestal y agroforestal de CONIF – Holanda. San José del Guaviare, Convenio CONIF Holanda. 77 p. mim.
- CONIF. 1985. Cedrelinga cateniformis D. Ducke; algunas notas con especial referencia a Guaviare. Colombia Bogotá. Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal. 7p. fotoc.
- CONIF. 1986b. Resultados del comportamiento de especies forestales plantadas en líneas de enriquecimiento en Bajo Calima, San José del Guaviare y Tumaco, Colombia. INDERENA, Corporación Araracuara, Convenio CONIF-Holanda. Bogotá, CONIF. 33 p. (Serie Técnica No. 19)
- CONIF. 1987a. Informe de evaluación del comportamiento inicial de especies en ensayos en San José del Guaviare. Convenio CONIF Holanda – Corporación Araracuara. Bogotá, CONIF. 40 p. mim
- CONIF. 1987b. Comportamiento de 21 especies forestales en San José del Guaviare, Colombia Bogotá. Convenio CONIF – Holanda – ICA – CORPOARARACAURA. Editorial Nueva Gente. 28 p. (Serie Técnica No 26).
- CONIF. 1987c. Productividad inicial de algunas asociaciones agroforestales en San José del Guaviare, Colombia. Bogotá, Convenio CONIF – Holanda – CORPOARARACAURA., Editorial Gente Nueva. 18 p. (CONIF informa No 7).
- CONIF. 1987d. Crecimiento del cedro Cedrela odorata manejado en fajas de rastrojo y en el asocio inicial con cultivos. San José del Guaviare, Colombia. Bogotá, Convenio CONIF – Holanda – CORPOARARACAURA - ICA, Editorial Presencia. 19 p. (CONIF informa No 10).

- CONIF. 1993. Informe final. Experiencias en técnicas silviculturales y agrosilvopastoriles logradas a través de la cooperación interinstitucional en el departamento del Guaviare. Santafé de Bogotá, CONIF. 160 p.
- CONIF. 1994. Evaluación de las investigaciones forestales y agroforestales; Guía técnica. Proyecto Investigaciones Forestales y Agroforestales en el Departamento del Guaviare Santafé de Bogotá. Convenio Ministerio de Agricultura - CONIF. 72 p
- CONIF. 1996a. Guía No. 1. Bases conceptuales de forestería y agroforestería. Guía No. 2. Oferta tecnológica forestal y agroforestal. Guía No. 3. El diagnóstico y la planeación participativa para desarrollar proyectos forestales y agroforestales. Propuesta inicial. Santafé de Bogotá, CONIF. 197 p.
- CONIF. 1996b. Latifoliadas zona alta. Convenio Especial de Cooperación CONIF – DNP. Santafé de Bogotá, CONIF. 68 p.
- CONIF. 1996c. Latifoliadas zona baja. Convenio Especial de Cooperación CONIF – DNP. Santafé de Bogotá, CONIF. 104 p.
- CONIF, CVC. 1997. Participación comunitaria para manejo de bosques secundarios del bajo Calima. Editor: María Teresa Motta Tello), Bogotá, CONIF. 181 p. (Serie Documentación No. 25)
- CONIF, INDERENA. 1996. Investigación forestal del pacifico colombiano. Memorias técnicas de las investigaciones de CONIF – Inderena 1981 – 1995. Editor: Luis Enrique Vega González. Santafé de Bogotá, CONIF. 175 p. (Serie Técnica. No. 33)
- COROPORACION ARARACUARA. 1981 Estudio general y semidetallado de suelos del sector San José del Guaviare - El Retorno-Calamar (Comisaría del Guaviare). Bogotá. 309 p.
- Crónica Forestal y del Medio Ambiente. 1988. Desempeño de los modelos de regresión con pequeñas muestras en la estimación de alturas Medellín (Colombia). 5 p.
- Eamus, K McGuinness, W Burrows. 2000. Review of allometric relationships for estimating woody biomass for Queensland, the northern territory and western Australia. National Carbon accounting system. 56 p. (Technical report N° 5).
- Escobar M., Milagros L.; Sarmiento S., Pablo E.; López O., José L. CDMB. sf. Potencial de especies forestales nativas para la reforestación en el área de jurisdicción de la corporación CDMB, Santander. 2 p.

- Flores Bendezú, Ymber. CATIE. 2004. Crecimiento y productividad de plantaciones de seis especies forestales nativas de 20 años de edad en el bosque Alexander Von Humboldt, Amazonia Peruana" CATIE. Tesis Magíster Scientiae. Turrialba, Costa Rica. 137 p
- Flores Vindas, Eugenia. 2003. Árboles del trópico húmedo. Importancia socioeconómica. Cartago, Editorial Tecnológica de Costa Rica. 922 p.
- Francis John K. 1993. Genipa americana L. Jagua, genipa. SO-ITF-SM-58. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 5 p.
- Francis JK. 2000. Estimating biomass and carbon content of saplings in Puerto Rican secondary forests. Caribbean Journal of Science 36(3-4): 346-350.
- Fonseca G W, Alice Ga F., Rey J. M. 2009. Models for biomass estimation in native forest tree plantations and secondary forests in the Costa Rican Caribbean Region. BOSQUE 30(1): 36-47.
- Fundación Hondureña de Investigación Agrícola. 2008. Informe Anual 2007-2008. San Pedro Sula, Cortes. Honduras. 86 p.
- IBDF, EMBRAPA. 1981. Relatório técnico anual do programa nacional de pesquisa florestal, 1980. Brasilia. EMBRAPA, IBDF. 186 P.
- IGAC, 1979. Proyecto Radargramétrico del Amazonas. La Amazonia Colombiana y sus recursos. Conclusiones y recomendaciones. 590 p.
- INDERENA - PNUD - FAO. 1979. PRIMER CURSO SOBRE SEMILLAS FORESTALES. INDERENA - PNUD - FAO, 1979. Bogotá. 450 p.
- INIA. 1996. Manual de identificación de especies forestales de la subregión andina. Lima, Perú: Editorial Talleres Gráficos de Asociación Editorial Stella. 489 p.
- INSEFOR, CONIF, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 1995. Identificación, selección y manejo de fuentes semilleras. Santafé de Bogotá, diciembre de 1995. Programa de investigaciones en semillas forestales nativas INSEFOR. 156 P. (Serie Técnica No. 32)
- IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006. Glosario del IPCC para el Cambio Climático. Consultado 3 mar. 2006. Disponible en <http://www.greenfacts.org/es/cambio-climatico/toolboxes/glossary.htm>.

- Jordan CF, C Uhl. 1978. Biomasa of a "Tierra firme" forest of the Amazon Basin. *Oecologia Plantarum* 13(4): 387-400.
- Justiniano, M.J.; Fredericksen, T.S.; Nash, D. 2001. Ecología y Silvicultura de Especies Menos Conocidas – Serebó o Sombrerillo *Schizolobium parahyba* (Vell.) S.F. Blake, *Caesalpiniaceae*" Proyecto de Manejo Forestal Sostenible BOLFOR. Santa Cruz, Bolivia, BOLFOR. 32 p.
- López Camacho, René; Cárdenas López, Dairon; Marin Córdoba, Cesar A. 1998. Plantas de uso potencial (no maderables) en el norte del Departamento del Guaviare Amazonia colombiana. *Environmental & Conservation Programs. The Field Museum y The Andrew Mellon Foundation, Chicago.* 13 p. anexo: Guía preliminar de campo (s.p.)
- López Salgado, Héctor Jaime. 1986. Estudio general de suelos: San José del Guaviare - El Retorno. Bogotá. Corporación Araracaura, Proyecto DAINCO-CASAM. 187 p.
- Maia T. Ajo A., Higuchi N, Andrade de Carvalho J. Ânior J. 1999. Comparison of formulae for biomass content determination in a tropical rain forest site in the state of Para Â, Brazil.. *Forest Ecology and Management* 117 43-52.
- Martínez Higuera, Hugo; Rodríguez Marin, Gustavo.1987. Comportamiento de 21 especies forestales en San José del Guaviare, Colombia Bogotá. Convenio CONIF – Holanda – ICA – CORPOARARACAURA. 28 p.(Serie Técnica No 26).
- Martinez M., Luis J.; Cachique H., Jorge A. 1988. Suelos de la zona de colonización de san José del Guaviare: características y procesos de degradación. En: *Suelos Ecuatoriales. V.18 No.2* pp. 112-117. Bogotá.
- Mejía C., Leonidas. 1980. Suelos de las vegas del río Guaviare y paisajes adyacentes: una zona transicional entre la Amazonia y los Llanos Orientales. En : *Revista CIAF, 5(1): 151-178*, Bogotá.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA – INDERENA. 1993. 20 Años de investigación forestal – Resultados. Una contribución para el desarrollo. Ministerio de Agricultura – Inderena, Investigaciones forestales. PAFC (Plan de acción forestal para Colombia), PLANIF (programa plan nacional de investigaciones forestales). Bogotá, Imprenta nacional de Colombia. 99 p.

- Molina Suárez, Leonardo; López Valencia, Otoniel. 1998. Desarrollo agroforestal en el piedemonte caqueteño. Proyecto recuperación de ecosistemas naturales en el piedemonte caqueteño. Convenio Ministerio de Ambiente – OIMT (Organización Internacional de Maderas Tropicales) – CEUDES (Corporación Unidades Democráticas para el Desarrollo), Florencia, Caquetá, Unión Grafica Ltda. 101 p.
- Montero M; M; Kanninen, M. 2005. Terminalia amazonía; ecología y silvicultura. Turrialba, CR, CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico No. 339. 32 p.
- Morales S., León; Varón P., Teresita. 2006. Árboles ornamentales en el Valle de Aburrá. Elementos de manejo. Área metropolitana del Valle de Aburra, Medellín, Colombia. Multigráficas Ltda. 339 p.
- Ordóñez D., Napoleón. 1989. Evaluación de degradación de suelos en el área de colonización de San José del Guaviare. En Colombia Amazónica. V.4 No.1 pp. 41-52. Santafé de Bogotá.
- Ordóñez D., Napoleón, et al. 1992. Cambios en las propiedades de los suelos, relacionados con la colonización del bosque natural en un área del Guaviare. En Colombia Amazónica. V.6 No.1 pp. 37-64. Santafé de Bogotá.
- Ospina Penagos, Carlos Mario et al. 2008. Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina colombiana. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Centro Nacional de Investigaciones de Café y Kfw. Cenicafe, Colombia. 59 p.
- Palomino Yamamoto, José Y Barra Castro, Marciano. 2003. Especies forestales nativas con potencial para reforestación en la provincia de Oxapampa y fichas técnicas de las especies de mayor prioridad. Fundación Peruana para la conservación de la naturaleza – Pronaturaleza. Programa Selva Central Oxapampa, The Nature Conservancy (TNC). Oxapampa, Perú. 104 p.
- Parent, Guy. 1989. Guía de reforestación. Corporación de defensa de la meseta de Bucaramanga (CDMB), Agencia canadiense para el desarrollo internacional (ACDI), Grupo consultor Ltda. de Quebec, Canadá (ROCHE). Bucaramanga, Edisocial. 214 p.

- Parresol BR. 1999. Assessing tree and stand biomass: a review with examples and critical comparisons. *Forest Science* 45(4): 573-593
- Pérez Arbeláez, E. 1994. *Plantas útiles de Colombia*. Medellín, Editorial Víctor Hugo A.A. 831 p.
- Piotto, D. 2001. *Plantaciones forestales en Costa Rica y Nicaragua: comportamiento de las especies y preferencias de los productores*. Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza CATIE. Tesis Magíster Scientiae. Turrialba, Costa Rica. 153 p.
- Revista forestal Venezolana., 2001. Evaluación de la efectividad del ajuste de algunos modelos de regresión utilizados para estimar la relación altura diámetro en parcelas permanentes de rendimiento y aclareo en teca *Tectona grandis* Linn. Mérida, Venezuela. Universidad de los Andes Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Vol.45 (2) p. 163-173.
- Reynel, C.; Pennington, R. T.; Pennington, T. D.; Flores, C.; Daza, A. 2003. *Árboles útiles de la Amazonia Peruana. Un manual con apuntes de identificación, ecología y propagación de la especie*. Lima, Perú.
- Rezende A. V., Teixeira do Vale A, Sanquetta C. R., Figueiredo Filho A., Felfili J. M. 2006. Comparação de modelos matemáticos para estimativa do volume, biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa de um cerrado sensu stricto em Brasília, DF. *Scientia Forestalis*, n. 71, p. 65-76.
- Rodríguez Chanto, L.. 1999. Análisis de crecimiento de la especie caoba (*Swietenia microphylla* King) asociada a tres especies de *Inga* spp en la región tropical húmeda de Costa Rica. Guácimo Limón (Costa Rica), Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda.
- Romero Castañeda, Rafael. 1991. *Frutas Silvestres de Colombia*. Bogotá, Instituto Colombiano de cultura Hispánica, Editorial ABC. 664 p. (Colección Segunda Expedición Botánica)
- Rügnitz, M. T.; Chacón, M. L.; Porro R. 2009. *Guía para Determinação de Carbono em Pequenas Propriedades Rurais -- 1. ed. -- Belém, Brasil.: Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF) / Consórcio Iniciativa Amazônica (IA)*. 81 p. (ICRAF Technical Manual no.11)

- Saavedra Eutimio, Melo C., Omar A. 1994. Resultados preliminares del Arboretum del centro forestal tropical Bajo Calima, Ibagué, Centro Forestal Tropical del Bajo Calima –CFT. 12 p.
- Salazar, Rodolfo; Soihet, Carolina; Méndez. 2001. Manejo de semillas de 100 especies forestales de América Latina. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Proyecto de semillas forestales – PROSEFOR. Danida Forest Seed Centre. Turrialba, Costa Rica. 204 p.(Serie Técnica. Manual Técnico / CATIE No. 41)
- Saldarriaga JG, DC West, ML Tharp, C Uhl. 1988. Long-term chronosequence of forest succession in the upper Río Negro of Colombia and Venezuela. *Journal of Ecology* 76: 938-958.
- Salgado Vásquez, J. 2010. Fijación de carbono en biomasa aérea y rentabilidad financiera de sistemas agroforestales con café en Turrialba, Costa Rica y Masatepe, Nicaragua. Tesis Mag.Sc. Turrialba, CR, CATIE, 125 p.
- Schlegel B, J Gayoso, J Guerra. 2000. Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial: Manual de procedimientos para inventarios de carbono en ecosistemas forestales. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile. 15 p.
- Segura M. 1997. Almacenamiento y fijación de carbono en *Quercus costarricensis*, en un bosque de altura en la cordillera de Talamanca, Costa Rica. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. Escuela de Ciencias Ambientales. 126 p. + anexos.
- Sinchi, 2010. Propuesta de zonificación Ambiental de la Reserva Forestal de la Amazonia en el departamento del Guaviare. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi. Versión 1.0. Grupo de Gestión de Información Ambiental y Zonificación del territorio: amazonia Colombiana GIAZT. Convenio 047 de 2009 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial; Instituto Sinchi e IDEAM). Bogotá, D.C. 31 p.
- Toledo, M., Villegas, Z., Justiniano, J. 2007. Ecología y silvicultura de especies menos conocidas. Cambara macho, *Qualea paraensis* Ducke VOCHYSIACEAE. Proyecto BOLFOR II Bolivia Forestal / Instituto Boliviano de Investigación Forestal – IBIF. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. Imprenta Sirena. 32 p.

- Triviño Díaz, Trino et al. 1990. Técnicas de manejo de semillas para algunas especies forestales. Neotropicales en Colombia. Bogotá, Proyecto Cooperativo CONIF INDERENA. CIID (Canadá). 91 p. (Serie Documentación No. 19)
- VASQUEZ Correa, Ángela María; Ramírez Arango, Alejandra María. 2005. Maderas comerciales en el Valle de Aburrá. Área metropolitana del Valle de Aburra, Medellín, Editorial Impresiones Rojo. 246 p.
- Venegas Tovar, Luis. 1976. Indicaciones generales sobre plantaciones forestales. INDERENA, Bogotá. 14 p.
- Yuji, Tokura et al. 1996. Especies forestales del Valle del Cauca. Agencia japonesa para la Cooperación Internacional (JICA), Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC). Colombia. 349 p.

Este primer tomo, de dos, titulado: *Bases técnicas para el desarrollo forestal en el departamento del Guaviare, Amazonia colombiana*, sintetiza todo el esfuerzo y los avances del conocimiento, logrados por el Instituto Amazónico de investigaciones Científicas, Sinchi en el departamento del Guaviare y en especial, relacionado con la investigaciones de desempeño de especies forestales en la Estación Experimental “El Trueno”, y que son presentados de manera secuencial en correspondencia a un modelo de trabajo basado en ensayos y parcelas de investigación.

En este documento se consolida la información sobre la evaluación y seguimiento de 23 especies forestales durante un periodo comprendido de 27 años, para los ensayos más antiguos; y de 9 años en los casos más recientes. Estos tiempos de evaluación son evidencia clara de la fortaleza y robustez de los resultados obtenidos, en cuanto a la precisión del conocimiento sobre el comportamiento de las especies y las curvas de crecimiento de las mismas, que se ponen a disposición de la región para la toma de decisiones en un modelo de desarrollo planificado de programas forestales que por medio de la producción y extensión de conocimientos soporten planes de producción sostenibles, como una estrategia de desarrollo rural para generar cadenas de valor en economías campesinas de la región.

ISBN: 978-958-8317-75-5



9 789588 317755