

Investigación en sistemas productivos sostenibles en la Amazonia norte colombiana (arreglos agroforestales, arreglos de enriquecimiento forestal)



MinAmbiente
Ministerio de Ambiente
y Desarrollo Sostenible



**Instituto
amazónico de
Investigaciones Científicas
SINCHI**

**Investigación en sistemas
productivos sostenibles en la
Amazonia norte colombiana
(arreglos agroforestales, arreglos de
enriquecimiento forestal)**

Investigación en sistemas productivos sostenibles en la Amazonia norte colombiana (arreglos agroforestales, arreglos de enriquecimiento forestal)

**Bernardo Giraldo Benavides
Guillermo Vargas Ávila
Mauricio Zubieta Vega
Jaime Alberto Barrera García
Martín Iván Montero González**

2013

Zubieta Vega, Mauricio; Vargas Avila, Guillermo; Giraldo Benavides, Bernardo; Barrera García, Jaime Alberto; Montero González, Martín Iván.

Investigación en sistemas productivos sostenibles en la amazonia norte colombiana (arreglos agroforestales, arreglos de enriquecimiento forestal). Mauricio Zubieta Vega, Guillermo Vargas Ávila, Bernardo Giraldo Benavides, Jaime Alberto Barrera García, Iván Montero González. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas – Sinchi. 2013

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

ISBN 978-958-8317-76-2

© 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 Gómez
Coordinadora Programa Sostenibilidad e Intervención

Mauricio Zubieta Vega
Coordinador Sede San José del Guaviare

Asesoría estadística

Orlando Martínez

Rosa Gómez de Riveros

Revisión técnica

Diomedes Londoño

Enrique Vega

Autores

Bernardo Giraldo Benavides

Guillermo Vargas Ávila

Mauricio Zubieta Vega

Jaime Alberto Barrera García

Iván Montero González

Equipo técnico de investigación

Bernardo Giraldo Benavides

Guillermo Vargas Ávila

Mauricio Zubieta Vega

Jaime Alberto Barrera García

Iván Montero González

Julio Efrén Henker Piñeres

Pablo Antonio Ochica Gaitán

Milton Elías Oidor Causayá

Diego Ferney Caicedo Rodríguez

Mario Wilman Coy Torres

Wilson Espinoza González

Ángela García Jiménez

Armando Antonio Lucena Mancera

Dora María Sánchez Arenas

Contenido

Índice de figuras	17
Índice de tablas	23
Presentación	29
Resumen	31
Introducción	35

Capítulo 1

Descripción general de la zona de estudio y antecedentes de la investigación forestal y agroforestal	37
1. Antecedentes	37
2. Caracterización del área de estudio.	39

2.1 Localización del área de estudio.	39
2.2 Clima	40
2.3. Hidrografía	42
2.4. Geología	43
2.4.1 Formación Araracuara (Pzim)	43
2.4.2. Sienita Nefelínica de San José del Guaviare (Pzig)	43
2.4.3. Sedimentos del terciario superior (Ngc)	44
2.4.4. Depósitos aluviales (Qal)	44
2.5. Suelos	44
2.6 Área de estudio	45
3. Cobertura vegetal del área de sustracción de la Reserva Forestal de la Amazonia, en el departamento del Guaviare.	47
3.1 Arbustales	49
3.2 Bosque denso alto de tierra firme	50
3.2.1. El Bosque denso alto sobre terreno plano	50
3.2.2. Bosque denso alto sobre terreno ondulado	51
3.2.3. El Bosque denso alto de tierra firme sobre colinas	51
3.3 Bosque denso alto en plano de inundación de río amazonense	52
3.4 Bosque denso alto en plano de inundación de río andinense	53
3.5. Bosque Denso Bajo de Tierra Firme	54
3.6 Bosque Fragmentado con Vegetación Secundaria	55
3.7. Herbazal Denso de Tierra Firme	56
3.8. Vegetación Trasformada	58
3.9 Tejido Urbano	58
4. Estado actual de la de la cobertura vegetal del área de sustracción de la Reserva Forestal de la Amazonia, en el departamento del Guaviare	59

5	Historia del desarrollo forestal y agroforestal del Instituto Sinchi.	59
6.	Metodología y enfoque del proceso de investigación forestal y agroforestal	61
7.	Esquema de presentación de los resultados del proceso de investigación forestal y agroforestal	65
8.	Consideraciones sobre las variables de crecimiento y rendimiento valoradas para la investigación forestal y agroforestal	67
8.1	Revisión de algunos resultados de evaluación del diámetro y la altura de especies forestales en América	69
8.2	Revisión de algunos resultados de evaluación del volumen y biomasa de especies forestales	72
8.2.1	Volumen y biomasa por árbol	73
8.2.2	Volumen y biomasa por arreglos y por unidad de área	80

Capítulo 2

Resultados crecimiento y rendimiento de arreglos agroforestales periodo 1995 y 2009 **89**

1.	Resultados de arreglos agroforestales, establecidos en 1995 en la Inspección de Cerritos, El Retorno, Guaviare	89
1.1	Diámetro de especies forestales en arreglos agroforestales establecidos en la Inspección de Cerritos en 1995	89
1.2	Altura de especies forestales en arreglos agroforestales, establecidos en la Inspección de Cerritos en 1995	100

1.3	Área basal de especies forestales en arreglos agroforestales, establecidos la Inspección de Cerritos en 1995	106
1.4	Volumen y biomasa de especies forestales y arreglos agroforestales establecidos en la Inspección de Cerritos en 1995	107
1.4.1	Volumen por árbol de especies forestales en arreglos agroforestales establecidos en la Inspección de Cerritos en 1995	107
1.4.2	Biomasa por árbol de especies forestales en arreglos agroforestales, establecidos en la Inspección de Cerritos 1995	114
1.4.3	Volumen total de arreglos agroforestales, establecidos en la Inspección Cerritos 1995	123
1.4.4	Biomasa total de arreglos agroforestales, establecidos en la Inspección de Cerritos 1995	127
2	Resultados de arreglos agroforestales, establecidos en 1997 en la Inspección de Cerritos, El Retorno, Guaviare	132
2.1	Diámetro de especies forestales en arreglos agroforestales, establecidos en la Inspección de Cerritos en 1997	132
2.2	Altura de especies forestales en arreglos agroforestales, establecidos en la Inspección de Cerritos en 1997	145
2.3	Área basal de especies forestales en arreglos agroforestales, establecidos en la Inspección de Cerritos en 1997	150
2.4	Volumen y biomasa de especies forestales y arreglos agroforestales establecidos en la Inspección de Cerritos en 1997	152
2.4.1	Volumen por árbol de especies forestales en arreglos agroforestales, establecidos en la Inspección de Cerritos en 1997	152

2.4.2	Biomasa por árbol de especies forestales en arreglos agroforestales, establecidos en la Inspección de Cerritos en 1997	160
2.4.3	Volumen total de arreglos agroforestales, establecidos en la Inspección de Cerritos en 1997	163
2.4.4	Biomasa total de arreglos agroforestales, establecidos en la Inspección de Cerritos en 1997	167
3	Resultados de arreglos agroforestales establecidos en el núcleo veredal La Tabla, El Retorno, Guaviare en 1999	172
3.1	Diámetro de especies forestales en arreglos agroforestales, establecidos en el núcleo veredal La Tabla en 1999	172
3.2	Altura de especies forestales en arreglos agroforestales, establecidos en el núcleo veredal La Tabla en 1999	187
3.3	Área basal de especies forestales en arreglos agroforestales, establecidos en el núcleo veredal La Tabla en 1999	192
3.4	Volumen y biomasa de especies forestales y arreglos agroforestales establecidos en el núcleo veredal La Tabla en 1999	193
3.4.1	Volumen por árbol de especies forestales en arreglos agroforestales, establecidos en el núcleo veredal La Tabla en 1999	193
3.4.2	Biomasa por árbol de especies forestales en arreglos agroforestales, establecidos en el núcleo veredal La Tabla en 1999	200
3.4.3	Volumen total de arreglos agroforestales, establecidos en el núcleo veredal La Tabla en 1999	204
3.4.4	Biomasa total de arreglos agroforestales, establecidos en el núcleo veredal La Tabla en 1999	207

Capítulo 3

Valoración económica y ambiental de arreglos agroforestales 211

- 1 Servicio ecosistémico de secuestro de carbono en arreglos agroforestales 211
- 2 Almacenamiento de carbono en algunas prácticas agroforestales 212
3. Cuantificación de carbono y CO₂ de arreglos agroforestales establecidos en guaviare 217
4. Herramientas de valoración económica 219
5. Indicadores económicos de arreglos agroforestales establecidos en fincas de productores en guaviare 222

Capítulo 4 231

Crecimiento, rendimiento y valoración económica de sistemas de enriquecimiento forestal de rastrojos periodo 2004 a 2009 231

- 1 Composición crecimiento y rendimiento de arreglos de enriquecimiento forestal periodo 2004 a 2009 231
 - 1.1 Introducción 231
 - 1.2 Contribución del sector forestal a la economía 233
 - 1.3 Antecedentes sobre la industria de madera en Colombia 235
 - 1.4 Antecedentes del enriquecimiento forestal 236
 - 1.5 Resultados de arreglos de enriquecimiento forestal, establecidos en núcleos veredales del departamento del Guaviare (periodo 2004 – 2009) 237

1.5.1	Métodos y análisis de la información	238
1.5.2	Estructura de la vegetación de los bosques enriquecidos	239
1.5.3	Composición de los arreglos de enriquecimiento por veredas	241
1.5.4	Establecimiento de las fajas de enriquecimiento.	243
2.	Producción de arreglos de enriquecimiento forestal, en ocho núcleos veredales del departamento del Guaviare	254
2.1	Composición inicial y sobrevivencia arreglos de enriquecimiento forestal, núcleos veredales, Guaviare	254
2.2	Biomasa de arreglos de enriquecimiento forestal, establecidos en núcleos veredales del departamento del Guaviare.	257
2.3	Volumen de arreglos de enriquecimiento forestal establecidos en núcleos veredales en el departamento del Guaviare.	259
2.4	Valoración económica de arreglos de enriquecimiento forestal	262

Capítulo 5

	Estructura diversidad y composición florística de los bosques relictuales objeto de enriquecimiento forestal del área de sustracción de la Reserva Forestal de la amazonia, en el departamento del Guaviare	267
1	Introducción	267
2	Antecedentes sobre estructura diversidad y composición florística	269
3	Metodología	271

14	Investigación en sistemas productivos sostenibles en la amazonia norte colombiana	
3.1	Variables evaluadas para determinar la estructura diamétrica, diversidad y composición florística	272
	Variables Directas	272
	Variables indirectas	272
3.2	Colecciones botánicas	273
3.3	Métodos Estadísticos	274
4	Resultados	274
4.1	Estructura Diamétrica	274
4.2	Diversidad y Riqueza florística de los bosques del Departamento del Guaviare	276
4.2.1	Composición de Familias	276
4.2.2	Composición de Especies	277
4.3	Densidad florística de la muestra total	278
4.4	Índice de Valor de Importancia (IVI)	278
4.5	Análisis de Agrupamiento	279

Capítulo 6

	Fenología reproductiva de las especies arbóreas del bosque tropical de la Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia	281
1	Introducción	281
2.	Área de estudio: Estación Experimental “El Trueno” Instituto Sinchi	283
2.1	Localización:	283
2.2	Características climáticas.	283
2.3.	Condiciones de suelos.	284
3	Composición florística de la Estación Experimental El Trueno	284

4. Metodología para las evaluaciones fenológicas en la Estacion Experimental El Trueno	286
5. Resultados de la investigacion fenologica de especies forestales de La Estacion Experimental El Trueno.	287
5.1 Características de la floración de especies en la Estación Experimental El Trueno	288
5.2. Características de la fructificación de especies en la Estación Experimental El Trueno	290
5.3. Resumen de las relaciones entre las condiciones meteorológicas y la fenología.	291
Consideraciones finales	295
Bibliografía	303

Indice de figuras

Figura 1. Localización del área de estudio	39
Figura 2. Estado legal del territorio departamento del Guaviare	41
Figura 3. Cobertura vegetal para el año 2007	48
Figura 4. Fotografía Arbustal Serranía de La Lindosa	49
Figura 5. Fotografía Bosque denso alto sobre terreno plano	50
Figura 6. Fotografía Bosque denso sobre terreno ondulado	51
Figura 7. Fotografía Bosque alto denso de tierra firme sobre colinas (Cerritos)	52
Figura 8. Fotografía Bosque denso alto en plano de inundación inundable de río amazonense. (Río Itilla)	53
Figura 9. Fotografía Bosque denso alto en plano de inundación inundable del río andinense. (Río Guaviare)	54
Figura 10. Fotografía Bosque denso bajo de tierra firme. (La Lindosa)	55
Figura 11. Fotografía Bosque fragmentado con vegetación secundaria	56
Figura 12. Fotografía Herbazales tipo graminoide. (Sabanas de la Fuga)	57
Figura 13. Fotografía Vegetación Transformada	58
Figura 14. Fotografía. Medición del diámetro de individuos de especies forestales en Guaviare	69

18	Investigación en sistemas productivos sostenibles en la amazonia norte colombiana	
	Figura 15. Fotografía. Abarco establecido en arreglo agroforestal en Cerritos Guaviare.	93
	Figura 16. Diámetro, edades 4 a 20 años de especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare.	96
	Figura 18. Altura de achapo en arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare, edades entre 4 a 20 años.	104
	Figura 19. Diámetro de especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare, edades entre 4 y 14 años	107
	Figura 20. Volumen por árbol de especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos.	110
	Figura 21. Biomasa por árbol de especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare, edades de 4 a 20 años	121
	Figura 22. Fotografía. Arreglo agroforestal en Cerritos, El Retorno Guaviare con dominancia de la especie abarco	123
	Tabla 37. Volumen total proyectado 20 años para especies forestales y arreglos agroforestales, Cerritos. Guaviare	125
	Figura 24. Volumen total por especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos. Guaviare, edades, entre 4 a 20 años	126
	Figura 26. Biomasa total, edades entre 4 a 20 años de especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos, Guaviare	129
	Figura 27. Biomasa total, edades entre 4 a 20 años, arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare	131
	Figura 28. Contribución por especie a la biomasa total de los arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare, edad 14 años	131
	Figura 29. Fotografía. Achapo establecido en arreglo agroforestal en Cerritos, Guaviare.	140
	Figura 30. Diámetro, edades 4 a 20 años de especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos, Guaviare.	140
	Figura 31. Fotografía. Especie caruto establecido a distancia de 8 m por 8 m en arreglo agroforestal, Cerritos, Guaviare	144
	Figura 32. Altura, edades 4 a 20 años de especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos, Guaviare	147
	Figura 33. Área basal de arreglos agroforestales establecidos en la Inspección de Cerritos en 1997	150
	Figura 34. Diámetro de especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos, Guaviare	151
	Figura 35. Volumen por árbol, edades de 4 a 20 años para especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare	158

Figura 36. Biomasa por árbol, edades de 4 a 20 años para especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare	161
Figura 37. Volumen total de arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare, edades 4 a 20 años	164
Figura 38. Volumen total de arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare, edades 6 a 20 años	166
Figura 39. Biomasa total, edades de 4 a 20 años de especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos, Guaviare	170
Figura 40. Fotografía. Arreglo productivo agroforestal	171
Figura 41. Fotografía. Abarco establecido a 8 m por 8 m en un arreglo agroforestal, núcleo veredal La Tabla	182
Figura 42. Diámetro, edades de 6 a 20 años de especies forestales en arreglos agroforestales, núcleo veredal La Tabla Guaviare	183
Figura 43. Altura, edades de 6 a 20 años de especies forestales en arreglos agroforestales, núcleo veredal La Tabla Guaviare	190
Figura 44. Área basal a 10 años de arreglos agroforestales, núcleo veredal La Tabla Guaviare	192
Figura 45. Volumen por árbol, edades de 6 a 20 años de especies forestales en arreglos agroforestales, núcleo veredal La Tabla Guaviare	199
Figura 46. Biomasa por árbol, edades de 6 a 20 años de especies forestales en arreglos Agroforestales, núcleo veredal La Tabla Guaviare	203
Figura 47. Volumen total, edades entre 6 a 20 años, de arreglos agroforestales, núcleo veredal La Tabla Guaviare	205
Figura 48. Volumen total, edades 10 a 20 años de especies forestales en arreglos agroforestales, núcleo veredal La Tabla Guaviare	207
Figura 49. Biomasa total, edades 10 a 20 años en arreglos agroforestales, núcleo veredal La Tabla Guaviare	209
Figura 50. Estructura de los principales usos e industrias relacionados con el mercado de la madera en rollo	234
Figura 51. Comparación de líneas de regresión para biomasa y volumen de la especie abarco en un horizonte de evaluación de 10 años	247
Figura 52. Comparación de líneas de regresión para biomasa y volumen de la especie achapo en un horizonte de evaluación de 10 años	247
Figura 53. Comparación de líneas de regresión para biomasa y volumen de la especie cuyubí en un horizonte de evaluación de 10 años	249

20	Investigación en sistemas productivos sostenibles en la amazonia norte colombiana	
	Figura 54. Comparación de líneas de regresión para biomasa y volumen de la especie paloarco en un horizonte de evaluación de 10 años	250
	Figura 55. Comparación de líneas de regresión para biomasa y volumen de la especie brasil en un horizonte de evaluación de 10 años	250
	Figura 56. Comparación de líneas de regresión para biomasa y volumen de la especie macano en un horizonte de evaluación de 10 años	251
	Figura 57. Comparación de líneas de regresión para biomasa y volumen de la especie cachicamo en un horizonte de evaluación de 10 años	252
	Figura 58. Comparación de líneas de regresión para biomasa y volumen de la especie milpo en un horizonte de evaluación de 10 años	252
	Figura 59. Comparación de líneas de regresión para biomasa y volumen de la especie caruto en un horizonte de evaluación de 10 años	253
	Figura 60. Biomasa proyectada para los diferentes arreglos de enriquecimiento forestal en Guaviare	258
	Figura 61. Volumen proyectado para los diferentes arreglos evaluados en los sistemas de enriquecimiento forestal del Guaviare	260
	Figura 62. Distribución de los árboles en clases diamétricas presentes en relictos de bosques del departamento del Guaviare	276
	Figura 63. Número de Especies de las Familias más representativas presentes en relictos de bosques del departamento del Guaviare	277
	Figura 64. Número de especies en función del área muestreada presentes en relictos de bosques del departamento del Guaviare	277
	Figura 65. Distribución de los árboles en clases diamétricas presentes en la Estación Experimental El Trueno, El Retorno, departamento del Guaviare.	285
	Figura 66. Número de Especies de las Familias más representativas presentes en la Estación Experimental El Trueno, El Retorno, departamento del Guaviare.	286
	Figura 67. Número de Especies en estado de floración y el promedio de precipitación mensual, en la Estación Experimental El Trueno	289

- Figura 68. Número de Especies en estado de floración y el promedio de
brillo solar mensual, en la Estación Experimental El Trueno 289
- Figura 69. Número de Especies en estado de fructificación y el promedio
de precipitación mensual, en la Estación Experimental El
Trueno 290
- Figura 70. Número de Especies en estado de floración y promedio de
brillo solar mensual, en la Estación Experimental El Trueno 291

Índice de tablas

Tabla 1. Áreas de las figuras legales del territorio del departamento del Guaviare	40
Tabla 2. Cobertura vegetal del área de Sustracción de la Reserva Forestal de la Amazonia, en el Departamento del Guaviare 2007	48
Tabla 3. Especies forestales y frutales establecidas y evaluadas en arreglos productivos agroforestales, periodo 1995 - 2009.	63
Tabla 4. Nombres comunes, nombres científicos y familias de las especies forestales y frutales establecidas en arreglos agroforestales en Guaviare.	64
Tabla 5. Diámetro e incremento medios anuales para especies en la región de Manaus, Estado Amazonas, Brasil, edad 15 años.	70
Tabla 6. Diámetro y altura promedio de árboles del clon IAN-710 de caucho, Veracruz, México	71
Tabla 7. Crecimiento para <i>Bertholletia excelsa</i> en diferentes condiciones de manejo, Estado Amazonas, Brasil	71
Tabla 8. Crecimiento y producción para diferentes especies forestales en Costa Rica.	75
Tabla 9. Biomasa por árbol para especies de la región amazónica de Brasil.	77

24	Investigación en sistemas productivos sostenibles en la amazonia norte colombiana	
	Tabla 10. Biomasa por árbol, para <i>Aspidosperma quebracho-blanco</i> en Argentina.	79
	Tabla 11. Crecimiento y producción para grupos de especies forestales en Amazonas, Brasil.	80
	Tabla 12. Comparación de Biomasa total por hectárea de coberturas de bosques.	82
	Tabla 13. Capacidad de fijación CO ₂ para diferentes categorías de crecimiento en bosques de Amazonia Brasileira.	82
	Tabla 14. Registros de Biomasa total en Amazonia brasilera	86
	Tabla 15. Producción a diferentes edades de <i>Terminalia amazonia</i> en Costa Rica.	87
	Tabla 16. Análisis de varianza para el diámetro, arreglos agroforestales establecidos en Cerritos en 1995	90
	Tabla 17. Prueba de comparación de Tukey para el diámetro, arreglos agroforestales establecidos en Cerritos en 1995	90
	Tabla 18. Diámetro de especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare, edades entre 4 y 14 años.	91
	Tabla 19. Distribución diamétrica para abarco en arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare, edades entre 4 y 14 años.	93
	Tabla 20. Distribución diamétrica para macano en arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare, edades entre 4 y 14 años.	94
	Tabla 21. Ecuaciones para especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare.	94
	Tabla 22. Parámetros de calificación de ecuaciones de diámetro en función de edad para abarco, en arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare.	95
	Tabla 23. Parámetros de calificación de ecuaciones de diámetro en función de edad para especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare.	95
	Tabla 24. Diámetro de especies forestales en arreglos productivos agroforestales, Cerritos Guaviare.	99
	Tabla 25. Parámetros de calificación estadística para altura, edad 14 años, para especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare.	100
	Tabla 26. Análisis de varianza para las variables altura, biomasa y volumen de los arreglos agroforestales establecidos en Cerritos en 1995	101
	Figura 17. Fotografía. Macano establecido en arreglo agroforestal en Cerritos Guaviare.	101

Tabla 27. Altura de especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare.	103
Tabla 28. Parámetros de calificación de ecuaciones para especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare.	104
Tabla 29. Comparación de incrementos médios anuales en diámetro y altura para especies forestales.	105
Tabla 30. Volumen medio por árbol de especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare.	108
Tabla 31. Volumen medio por árbol para abarco y achapo, en arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare, edades entre 4 y 14 años	108
Tabla 32. Distribución de clases de volumen por árbol para abarco en arreglo agroforestal, Cerritos Guaviare, edad 14 años	113
Tabla 33. Volumen por árbol para especies forestales en diferentes sitios en América	113
Tabla 34. Biomasa promedio por árbol de especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare	116
Tabla 35. Biomasa por árbol de especies forestales en diferentes sitios en América	117
Tabla 35. Continuación. Cuadro comparativo de biomasa por árbol de especies forestales.	118
Tabla 36 Biomasa promedio, mínimo y máximo a los 14 años para las especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare.	121
Figura 23. Volumen total de arreglos agroforestales, Cerritos. Guaviare, edades entre 4 a 20 años	125
Figura 25. Biomasa total entre 4 y 20 años para arreglos agroforestales, Cerritos. Guaviare	127
Tabla 38. Biomasa total a 14 años y proyecciones a 20 años de especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos, Guaviare	128
Tabla 39. Análisis de varianza para las variables altura, diámetro, biomasa y volumen de los arreglos agroforestales establecidos en Cerritos en 1997	133
Tabla 40. Crecimiento en diámetro de especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare, edad 12 años	134
Tabla 40. Continuación. Comparación del crecimiento en diámetro de especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare, edad 12 años	135
Tabla 41. Incrementos médios anuales en diámetro y altura para especies forestales en diferentes sitios de América	136

Tabla 41. Continuación. Comparación de incrementos médios anuales en diámetro y altura para especies forestales	137
Tabla 42. Parámetros de calificación de ecuaciones de diámetro en función de edad para especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos, Guaviare	139
Tabla 43. Diámetro a diferentes edades para especies forestales en arreglos productivos agroforestales, Cerritos, Guaviare.	144
Tabla 44. Parámetros de calificación estadística para altura, edad 14 años, para especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos, Guaviare	145
Tabla 45. Altura a los 4, 12 y 20 años de especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare	146
Tabla 46. Diámetro e incremento medio anual a los 12 años de especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos, Guaviare	152
Tabla 47. Volumen medio por árbol para especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos, Guaviare, edades 12 y 20 años	154
Tabla 48. Comparación de volumen por árbol, para especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos, Guaviare, edad 12 años	155
Tabla 48. Continuación. Comparación de volumen por árbol, para especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos, Guaviare, edad 12 años	156
Tabla 49. Volumen por árbol para especies forestales em diferentes sitios de América	157
Tabla 50. Biomasa promedio por árbol edades 12 y 20 años de especies forestales en arreglos agroforestales	162
Tabla 51. Volumen total a 20 años para especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos, Guaviare	164
Tabla 52 Volumen total de especies forestales a los 12 años, en arreglos agroforestales, Cerritos, Guaviare	165
Tabla 53. Biomasa total a 20 años de especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos, Guaviare	169
Tabla 54. Análisis de varianza para las variables altura, diámetro, biomasa y volumen de los arreglos agroforestales establecidos en núcleo veredal la Tabla en 1999	172
Tabla 55. Diámetro de especies forestales en arreglos agroforestales, Guaviare, edad 10 años	173
Tabla 56. Diámetro de especies forestales en arreglos productivos agroforestales, núcleo veredal La Tabla Guaviare, edades 6, 10 y 20 años	178

Tabla 57. Diámetro a los 10 años de edad de especies forestales en diferentes sitios de América	180
Tabla 58. Parámetros de calificación de ecuaciones de diámetro en función de edad para especies forestales en arreglos agroforestales, núcleo veredal La Tabla Guaviare	183
Tabla 59. Diámetro de especies forestales en arreglos productivos agroforestales, núcleo veredal La Tabla Guaviare	186
Tabla 60. Parámetros de calificación de la altura para especies forestales en arreglos agroforestales, núcleo veredal La Tabla Guaviare, edad 10 años	187
Tabla 61. Altura, edades 6, 10 y 20 años especies forestales en arreglos agroforestales, núcleo veredal La Tabla Guaviare	189
Tabla 62. Volumen por árbol, edades 6, 10 y 20 años de especies forestales en arreglos agroforestales, núcleo veredal La Tabla, Guaviare	195
Tabla 63. Volumen por árbol de especies forestales en arreglos agroforestales, Guaviare, edad 10 años	197
Tabla 64. Biomasa promedio por árbol edades 6, 10 y 20 años de especies forestales en arreglos agroforestales, núcleo veredal La Tabla, Guaviare	202
Tabla 65. Volumen total, edades 10 y 20 años de arreglos agroforestales, núcleo veredal La Tabla Guaviare	206
Tabla 66. Biomasa total a 10 y 20 años para arreglos agroforestales	208
Tabla 67. Biomasa total, a 10 años de arreglos agroforestales, núcleo veredal La Tabla Guaviare	210
Tabla 68. Potencial de carbono almacenado en arreglos agroforestales en diferentes regiones de la tierra	212
Tabla 69. Biomasa total de las especies forestales en arreglos agroforestales con café, en Costa Rica	215
Tabla 70. Carbono almacenado por hectárea de coberturas boscosas en diferentes sitios de América tropical y subtropical	216
Tabla 71. Composición de los diferentes arreglos agroforestales en Guaviare	217
Tabla 72. Biomasa, carbono y CO ₂ en arreglos agroforestales en Guaviare	218
Tabla 73. Ingreso por venta de madera proyectada a los 20 años de edad para arreglos agroforestales en Guaviare	223
Tabla 74. Indicadores económicos para arreglos agroforestales en Guaviare. Valores proyectados a los 20 años de edad. Tasa de oportunidad 8%	224

Tabla 75. Biomasa total por hectárea para diferentes coberturas en diferentes sitios de América tropical y subtropical	227
Tabla 76. Volumen total por hectárea para diferentes coberturas en diferentes sitios de América tropical y subtropical	229
Tabla 77. Núcleos veredales del departamento del Guaviare con arreglos de enriquecimiento forestal establecidos en 2004	238
Tabla 78. Caracteres estructurales de las coberturas boscosas de los núcleos veredales con arreglos de enriquecimiento forestal	239
Tabla 79. Especies forestales y número de individuos establecidos en arreglos de enriquecimiento forestal en Guaviare	241
Tabla 80. Prueba de F para comparación de pendientes en curvas de regresión de especies forestales de nueve núcleos de producción, edad 10 años	246
Tabla 81. Análisis de varianza para cuatro variables seleccionadas en la evaluación de especies y núcleos en arreglos de enriquecimiento forestal	246
Tabla 82. Especies forestales y arreglos de enriquecimiento de rastrojos establecidos en Guaviare	254
Tabla 83. Porcentaje de individuos por especie que permanecen en cada finca a los cinco años de establecimiento de arreglos de enriquecimiento de rastrojos en el Guaviare	256
Tabla 84. Análisis de varianza para 2 variables seleccionadas en la evaluación de arreglos de enriquecimiento forestal	259
Tabla 85. Indicadores económicos estimados para arreglos de enriquecimiento forestal	264
Tabla 86. Arreglos y especies de enriquecimientos forestales más sobresalientes, departamento del Guaviare	264
Tabla 87. Esquema de arreglo para el establecimiento de los arreglos más sobresalientes del departamento del Guaviare	265
Tabla 88. Datos generales de estructura y composición en 226 parcelas de 0,1 ha	275
Tabla 89. Especies con mayor número de individuos de relictos de bosques del Guaviare	278
Tabla 90. Número de especies arbóreas por familia botánica con seguimiento fenológico en la Estación Experimental El Trueno	288

Presentación

Un aspecto fundamental de la investigación agroforestal en la región del norte amazónico colombiano tiene que ver con el conocimiento de las especies forestales y frutales que el Instituto Sinchi ha desarrollado, y sigue desarrollando en su Estación Experimental El Trueno y en predios de productores, donde se ha generado información acerca del conocimiento, adaptación y valoración en tópicos relacionados con la reproducción, el crecimiento, el rendimiento y la fenología de 40 especies forestales y frutales de la región.

Otro aspecto a resaltar para el desarrollo de la investigación agroforestal que el Instituto Sinchi adelantó en la región del norte amazónico colombiano se relaciona con la necesidad de adelantar la agroforestería en zonas con aptitud para este tipo de sistema, tal como se ha venido estableciendo en el departamento del Guaviare, donde se partió de los lineamientos del Plan de Ordenación del territorio teniendo en cuenta consideraciones de zonificación ambiental y productiva, de poblamiento y de organización social (Plan de Ordenamiento Territorial del Guaviare, 2000)

Los resultados presentados en este libro recogen los elementos más relevantes del proceso de investigación forestal y agroforestal realizado por el Instituto Sinchi desde los años 80

Los resultados presentados en este libro recogen los elementos más relevantes del proceso de investigación forestal y agroforestal realizado por el Instituto Sinchi desde los años 80, con la consideración de que gran parte de los primeros avances de la investigación forestal y agroforestal han sido transferidos en seminarios, talleres, eventos, documentos escritos y virtuales, cartillas, plegables, programas radiales y en charlas directas con productores, técnicos y profesionales del sector agroambiental de la región norte amazónica.

De manera general, los elementos básicos que se tuvieron en cuenta para efectuar estos avances científicos sobre la agroforestería, así como los resultados que se fueron obteniendo en el proceso y la transferencia del conocimiento realizado a diferentes actores regionales, permitió la realización de importantes acciones de gestión, implementación y desarrollo forestal y agroforestal de la región, como se refleja en el documento.

Cabe destacar como en el departamento del Guaviare y basado en resultados preliminares y finales de la investigación realizada por el Instituto Sinchi, se ha logrado gestionar y ejecutar para la región, proyectos de investigación, desarrollo y fomento agroforestal, integrando en su ejecución alianzas estratégicas con productores agroambientales organizados en las asociaciones 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), Coagroaguaviare (Cooperativa agropecuaria de productores del Guaviare). En esta integración también han participado entidades del orden regional como la Gobernación del Guaviare, las alcaldías municipales de San José del Guaviare, El Retorno y Calamar, la Corporación para el Desarrollo Sostenible del norte y oriente Amazónico (CDA) y el aporte de entes nacionales e internacionales como 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).

Resumen

Los resultados presentados en este documento, consideran cuatro diferentes fases de la generación de conocimiento agroforestal para la Amazonia norte colombiana, integrando esas fases con aspectos claves de la agroforestería como son las épocas de establecimiento, la ubicación geográfica y la composición y estructura de los arreglos o asociados o sistemas agroforestales (en este documento denominados arreglos).

En el desarrollo de esta investigación, se analizó desde arreglos sencillos establecidos en la Inspección de Cerritos en el año de 1995, en 3 fincas de productores, en los que sobre una matriz de frutales amazónicos, se asoció un grupo de especies maderables con proyección comercial para madera fina. La segunda fase de la generación de conocimiento se desarrolló con los ejercicios realizados en 8 fincas de productores de la Inspección de Cerritos en el años de 1997, donde se amplió el número de especies frutales y forestales, manteniendo la densidad del arreglo a distancias de 8 por 4 metros. En la tercera fase del desarrollo investigativo, se evaluaron los resultados recogidos de 6 fincas de productores del Núcleo veredal La Tabla, en el año de 1999 donde se incorporan

**Estos núcleos
veredales
donde se
desarrolló la
investigación
forestal y
agroforestal,
son producto
del proceso
de organiza-
ción interins-
titucional**

más especies forestales y frutales. El último modelo de generación de conocimiento en agroforetría para la Amazonia fue el denominado arreglo de enriquecimiento forestal de rastrojos o bosques altamente intervenidos, para el cual, se valoró la composición y estructura de estos relictos y rastrojos y el crecimiento de 50 arreglos establecidos en el año de 2004 en los municipios de San José del Guaviare y El Retorno, en núcleos veredales.

Estos núcleos veredales donde se desarrolló la investigación forestal y agroforestal, como se detalla en este documento son producto del proceso de organización interinstitucional regional que plantea el abordar la investigación y el desarrollo agropecuario, forestal y agroforestal de la región con consideraciones del ordenamiento territorial y la articulación de los entes regionales.

Específicamente para el proceso de investigación agroforestal, el análisis parte de la valoración de las variables de permanencia, crecimiento y producción de las especies forestales más importantes de los arreglos. Con estos elementos se definieron y seleccionaron las especies forestales para el establecimiento de los arreglos productivos para el desarrollo forestal regional. Con la sumatoria de estos elementos de análisis, se identificó, analizó y proyectó los valores del crecimiento, producción, evaluación económica y la rentabilidad para los diferentes tipos de los arreglos agroforestales objeto de la investigación. La información generada fue comparada y analizada con resultados a nivel de América tropical y subtropical, con lo que se resaltó mucho más la función productiva de bienes y servicios de los arreglos agroforestales de la región norte amazónica.

El análisis desarrollado del componente forestal está conforme con la realidad de los arreglos productivos según las edades de evaluación. Se destaca que en estos arreglos el componente de especies frutales solo es productivo hasta los seis años de edad, el componente de comida o Pancoger, exclusivo para el auto sostenimiento de la finca termina su ciclo productivo máximo a los 3 años y el componente forestal es el de mayor permanencia con una evaluación de su potencial para la generación de bienes y servicios. En este punto se debe resaltar, que el Instituto Sinchi ya desarrolló la investigación de los componentes de especies frutales y de Pancoger, la cual fue publicada en el año de 2004 en el libro

denominado Conservación, manejo y aprovechamiento sostenible del bosque en el área de colonización del Guaviare. Giraldo Benavides, Bernardo (Ed.) 2004

Los arreglos agroforestales establecidos entre 1995 y 1999 en el departamento del Guaviare presentados en este libro, permitieron establecer nuevos elementos de análisis sobre la investigación forestal y agroforestal donde el componente forestal es el de mayor peso de todos los incluidos con una participación mayor del 50%. Con esta participación de individuos en el arreglo se determinó que una vez cumplen los ciclos las especies de pancoger y frutales (Estratos bajo y medio) por el cierre del dosel por las copas del componente forestal, estas especies desaparecen o se integran a los procesos de sucesión secundaria transformando estos sistemas en arreglos agroforestales de enriquecimiento dando una apariencia final de enriquecimiento forestal sobre rastrojos. Esta característica de manejo en el tiempo ha resultado particular para la zona, ya que al momento del establecimiento el objetivo de la distribución del arreglo era otro, pero al final el manejo autóctono ha dado un sentido particular a la Agroforestería en la zona, que se resalta en los resultados presentados en este documento.

Los arreglos agroforestales establecidos entre 1995 y 1999 en el departamento del Guaviare presentados en este libro, permitieron establecer nuevos elementos de análisis sobre la investigación forestal y agroforestal donde el componente forestal es el de mayor peso

Introducción

Desde la perspectiva de encontrar soluciones apropiadas para la incorporación del ecosistema boscoso en las actividades productivas y apoyados en la experiencia de manejo tradicional del ecosistema por parte de las culturas nativas en la región norte de la Amazonia colombiana se han desarrollado propuestas y acciones de uso de la tierra mediante sistemas productivos sostenibles (sistemas agroforestales, silvopastoriles y enriquecimiento forestal.)

En las fincas de agricultores con sistemas productivos sostenibles, el Instituto Sinchi, conjuntamente con la comunidad y organizaciones estatales, ha obtenido información valiosa de adaptación, reproducción, crecimiento, rendimiento, producción (volumen y biomasa) de los componentes y de valoración de ingresos – egresos; en la actualidad se ha iniciado la evaluación de los beneficios ambientales y de valoración económica.

El conocimiento y análisis de estos componentes señalados, apoyan las propuestas de desarrollo regional, que buscan establecer recomendaciones para la adopción y fomento, el conocimiento y manejo, la productividad y el sostenimiento de los sistemas

en la región norte de la Amazonia colombiana se han desarrollado propuestas y acciones de uso de la tierra mediante sistemas productivos sostenibles

productivos sostenibles. De igual manera, a escala regional, se pretende consolidar el uso de tecnologías apropiadas que permitan mejorar las condiciones de productividad de los bosques, reducir el área de explotación y lograr hacer sostenible la producción, con una mayor rentabilidad y generación de ingresos. Esto a la vez implica menores tasas de intervención sobre las coberturas boscosas.

Capítulo 1

Descripción general de la zona de estudio y antecedentes de la investigación forestal y agroforestal

1. Antecedentes

En este documento, para la descripción general de la zona de estudio, sus características geográficas, de cobertura y de diversidad, se revisó y se resumió la información realizada en la región norte amazónica por diversas entidades que han desarrollado investigaciones sobre esta temática. A continuación se describen los principales documentos consultados.

En la descripción física y administrativa del área de estudio se tomó como insumo básico el informe del proyecto: *“Zonificación ambiental y ordenamiento de la Reserva Forestal de la Amazonia, creada mediante la Ley 2ª de 1959, en el departamento de Guaviare”* IDEAM - Sinchi 2010.

En la identificación de biomasa y ecosistemas se partió de la base del mapa de “Ecosistemas Continentales Costeros y Marinos de Colombia” (IDEAM, IGAC, IAvH, Invemar, Sinchi e IIAP. 2007).

Para los tipos de cobertura presentes en el departamento del Guaviare, se tuvo en cuenta el documento “Mapa de cobertura de la tierra Cuenca Amazonia – Orinoquia elaborado por el Institu-

to Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi y Unidad de Parques (2007), a escala 1:100.000”.

Los aportes más significativos desde el punto de vista florístico y elaborados principalmente por el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI fueron: *Conservación, manejo y aprovechamiento sostenible del bosque en el área de colonización del Guaviare*. Giraldo Benavides, Bernardo (Ed.) 2004. El informe de: *Zonificación y Ordenación Forestal en Áreas de Reserva Forestal en el municipio de San José del Guaviare (Departamento del Guaviare)*. CDA e Instituto Sinchi. *Flora de las Formaciones rocosas de la Serranía La Lindosa* (Cárdenas et al., 2008). *Análisis florístico, estructural y sucesional de un bosque intervenido en el municipio El Retorno, Guaviare (Colombia)*, Ariza Cortés, William, 2004. *Análisis florístico y estructural de la vegetación del sector nororiental de la Serranía La Lindosa, Guaviare-Colombia*. López, R. 2005. *Plantas de uso potencial - no maderable - en el Norte del departamento del Guaviare Amazonia Colombiana*. (López et al.1998). *Manejo de los recursos naturales fauna y flora por los Nukak*. (Gutiérrez Herrera, R. 1996). Informe sobre: *Biodiversidad y sistemas de producción agrarios en zonas de colonización amazónica* (Ramírez et al.2000). *Flora del Escudo Guayanés en Inírida (Guainía, Colombia)*, (Cárdenas et al., 2008). *Caracterización y Tipificación Forestal de Ecosistemas en el municipio de Inírida y en el Corregimiento de Cacahual (Departamento de Guainía)*, (Cárdenas, et al., 2008).

Otros estudios que se tuvieron en cuenta para el desarrollo del aspectos relacionados con la vegetación fueron: *Caracterización ecológica general de dos reservas Nacionales Naturales de la Amazonia Colombiana: Nukak y Puinawai en Guaviare y Guainía, respectivamente* (Etter, 2001), Estudios de levantamientos florísticos en la serranía de Taraira, en Vaupés (Rodríguez, 1998); la serranía de Nakén, en Guainía (Córdoba, 1995); y la serranía del Chiribiquete, entre Caquetá y Guaviare (Cortés et al., 1998). *Análisis florístico y estructural de la vegetación del sector nororiental de la Serranía La Lindosa, Guaviare-Colombia*. Tesis de Pregrado Biología. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. (López, R., 2005). *Determinantes de la composición florística y efecto de borde en un fragmento de bosque en el Guaviare, Amazonia colombiana* (Stevenson&Rodríguez, 2008).

2. Caracterización del área de estudio.

2.1 Localización del área de estudio.

El área objeto de estudio se ubica en la zona de colonización del departamento del Guaviare la cual se define como la figura legal:

El área objeto de estudio se ubica en la zona de colonización del departamento del Guaviare la cual se define como la figura legal: *Áreas sustraídas a la reserva forestal del Departamento del Guaviare*

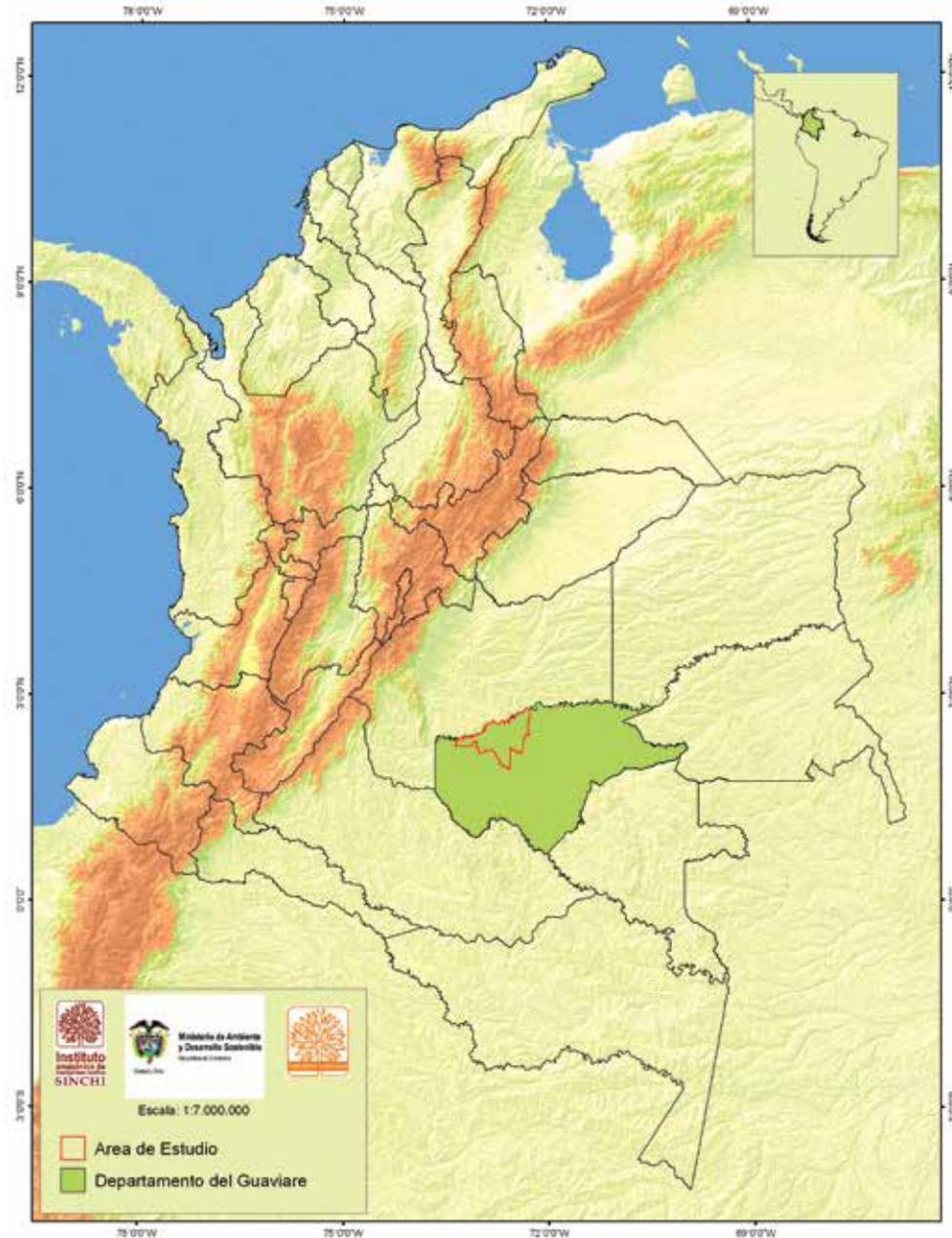


Figura 1. Localización del área de estudio

El departamento del Guaviare tiene una extensión de 5.552.727 ha

Áreas sustraídas a la reserva forestal del Departamento del Guaviare, con una superficie que llega a 442.737 ha y representa el 9% del total departamento. Esta zona se localiza en la parte norte y central del departamento y coincide con las áreas en donde se asienta la mayor concentración de población, básicamente contiene las cabeceras municipales de San José del Guaviare, El Retorno y Calamar. (Ver figura 1)

El departamento del Guaviare tiene una extensión de 5.552.727 ha (Sinchi, 2010); y se extiende desde los 0° 32' hasta los 3° 09' latitud Norte y desde los 69° 47' hasta los 73° 47' longitud Oeste. Desde su creación como comisaría del Guaviare, este territorio en su totalidad hizo parte de la zona de Reserva Forestal de la Amazonia colombiana creada mediante la Ley 2ª del año 1959, sin embargo, se han dado una serie de cambios en dicha condición y hoy día se tiene una situación del territorio que incluye áreas protegidas, resguardos indígenas, áreas sustraídas de la reserva forestal y la zona de Reserva Forestal de la Amazonia (IDEAM - Sinchi 2010).(Ver tabla 1) (Ver figura 2)

Tabla 1. Áreas de las figuras legales del territorio del departamento del Guaviare

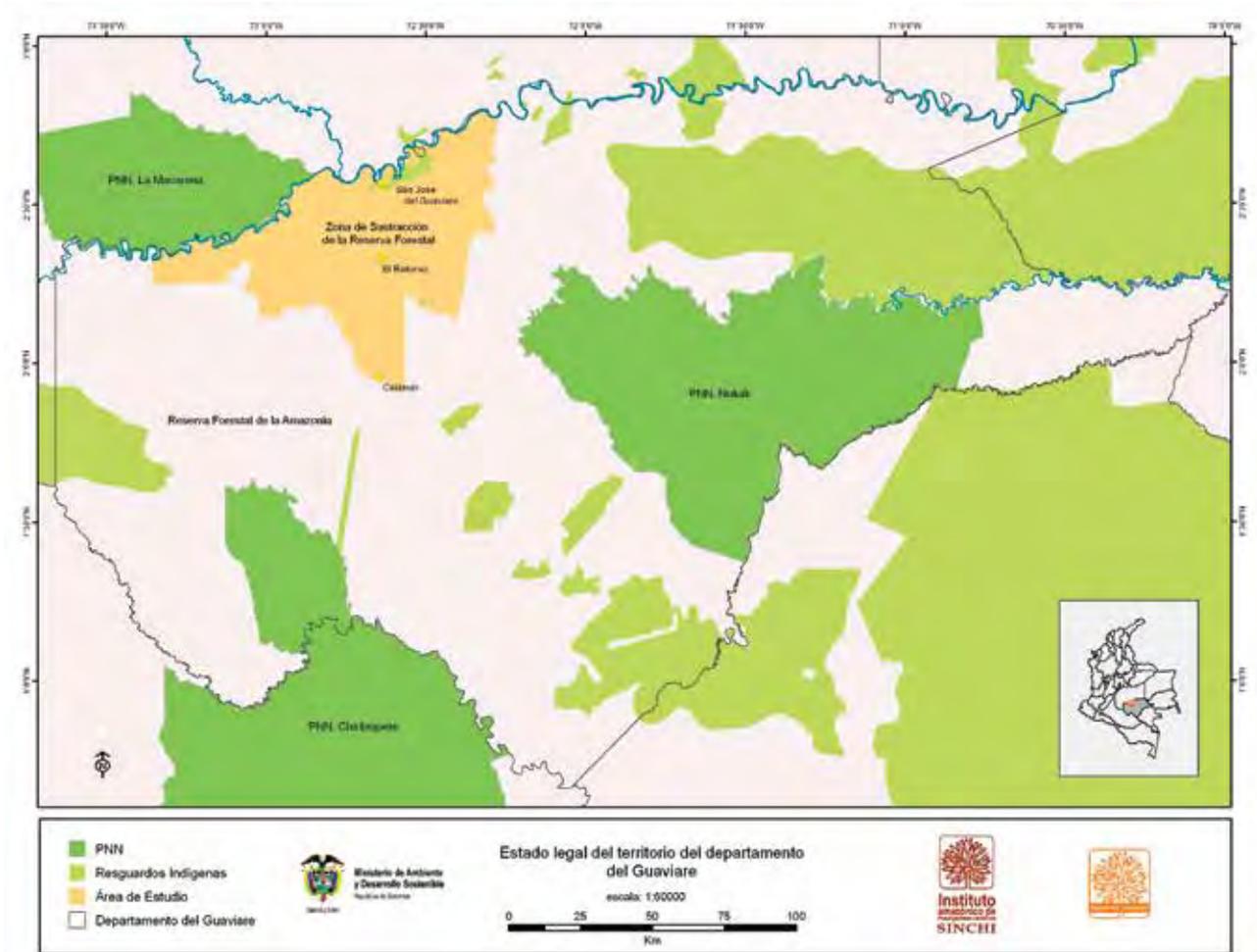
Figura legal	Área (ha)	%
Áreas sustraídas	442.738	7,97
Áreas protegidas	768.849	13,85
Resguardos indígenas	1.601.268	28,84
Área común resguardo y aéreas protegidas	345.208	6,22
Área común resguardo y sustracción	11.164	0,20
Reserva Forestal Ley 2a /59.	2.383.498	42,92
Departamento del Guaviare	5.552.725	100

2.2 Clima

El clima se describe con la información de los últimos diez años aportada por la estación meteorológica perteneciente al IDEAM y situada en la Estación Experimental El Trueno de la sede Guaviare del Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas –Sinchi; la cual se ubica en la parte central del área de estudio.

En el departamento del Guaviare el régimen de la precipitación es monomodal, caracterizado por un periodo seco entre diciembre

Figura 2. Estado legal del territorio departamento del Guaviare



Color	Categoría
	Zona sustraída a la reserva forestal
	Territorios indígenas
	Áreas protegidas
	Zona de Reserva Forestal de la Amazonia

Fuente: Sinchi, 2010 (con información de Igac, Ideam, Sinchi, Unidad de Parques)

La temperatura media anual es de 25,3 °C, la máxima de 33,4 °C y la mínima de 17,4 °C.

y enero y uno lluvioso entre abril y julio, con algunas épocas intermedias de menor precipitación. La precipitación media anual es de 2.635 mm, con 204 días de lluvia durante el año respectivamente. Su máxima intensidad se presenta como consecuencia de que en este lapso la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) se desplaza hacia el norte. A partir del mes de agosto y hasta diciembre se presenta una disminución progresiva de la precipitación. La temporada menos lluviosa, en general, tiene lugar en los lapsos comprendidos entre los meses de diciembre y febrero, cuando la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) se encuentra en el sur y no ejerce influencia condicionante al departamento del Guaviare.

La temperatura media anual es de 25,3 °C, la máxima de 33,4 °C y la mínima de 17,4 °C. El brillo solar es inferior a las 1.640 horas/año, lo que representa un promedio de menos de 5 horas diarias, debido a la alta nubosidad. El régimen de evaporación es inverso al presentado por las lluvias, es decir, mayor de diciembre a febrero, sin embargo, no se presenta déficit de humedad para las plantas (Vásquez, 2004). La evaporación en la zona mantiene un promedio de 90,25 mm/año, muy inferior al promedio de la precipitación, y una evaporación total anual de 1.082 mm, en esta zona no se presenta un déficit de humedad a lo largo del año.

2.3. Hidrografía

El área de estudio cuenta principalmente con dos grandes ríos, Guaviare e Inírida los cuales son afluentes de la vertiente del Orinoco; se presenta una porción en el sector sur-oriental bañada por los ríos Unilla e Itilla, que desembocan en el río Vaupés, el cual aporta sus aguas en la vertiente del Amazonas.

El río Guaviare presenta la mayor influencia económica y ambiental del área de estudio, siendo el río más importante para el departamento por su productividad pesquera y uno de los principales medios de comunicación y transporte en la región. El segundo río en importancia es el Inírida como vía de navegación y comunicación, es de origen amazónico caracterizado por presentar altos contenidos de ácidos húmicos y turbiedad baja, pobre en recursos hidrobiológicos. (Agudelo, *et al.*, 2000).

2.4. Geología

En el área de colonización del Guaviare se distinguen cuatro unidades geológicas compuestas por rocas de variada composición y diverso origen, según el Proyecto Radargramétrico del Amazonas PRORADAM (IGAC, 1979) son: Formación Araracuara (Pzim), Sienita Nefelínica de San José del Guaviare (Pzig), Sedimentos del terciario superior (Ngc), y depósitos aluviales recientes a subrecientes (Qal).

2.4.1 Formación Araracuara (Pzim)

Es la formación sedimentaria más antigua, del Paleozoico Inferior (Cámbrico - Ordovícico), correlacionable con la Formación Roraima (Venezuela). Está compuesta por estratos horizontales o ligeramente inclinados (cerca de 10° al Oeste) cuyo espesor alcanza los 200 m (Serranía de La Lindosa), su composición mineralógica varía desde sub-arcosa hasta orto cuarcita. Son rocas metamórficas, su litología está compuesta por lutitas, cuarzo arenitas de grano fino y arenitas, con presencia de fósiles de trilobites, braquiópodos y graptolites; el ambiente es marino con estratificación cruzada y posibles paleo-canales (Martínez *et al.* 1997). Esta formación se extiende en dos fajas discontinuas desde el río Guaviare hacia el sur. La faja oriental se extiende hasta el río Apaporis y la occidental hasta el río Igará-Paraná (Martínez & Vanegas, 1997; Sinchi, 2000).

2.4.2. Sienita Nefelínica de San José del Guaviare (Pzig)

También del Paleozoico, forma una serie de pequeñas colinas ubicadas en las veredas Nuevo Tolima, Cerritos y El Capricho. Es una roca plutónica compuesta esencialmente por feldespatos alcalinos y esfena. Esta roca es holocristalina con textura fanerítica en la cual los feldespatos y la biotita son observables con lupa; bajo el microscopio se aprecian feldespatos de potasio, principalmente microclina. Es común encontrar perfitas en las que la fase sódica está casi en igual proporción que la fase potásica. La nefelina aparece como cristales gruesos con pequeñas inclusiones de biotita y de carbonatos. Este tipo de roca (en la tierra firme) origina suelos con una fertilidad potencial mayor, dada su composición mineralógica. El más grande afloramiento se localiza en el municipio de Calamar al costado occidental de la Serranía de Chiribiquete. (Martínez & Vanegas, 1997; Sinchi 2000).

2.4.3. Sedimentos del terciario superior (Ngc)

Conocido también como Terciario Superior Amazónico, incluye una extensa y heterogénea área de depósitos continentales, correspondientes a ambientes de ríos trenzados en su inicio y posteriormente meándricos, con patrón de drenaje dendrítico, valles en forma de U y colinas redondeadas y discontinuas, con una topografía plana a ondulada. Son rocas sedimentarias compuestas por una secuencia gruesa de areniscas, arenas cuarzosas, arcillitas y lutitas; además presenta niveles tufáceos, horizontes calcáreos, lignitos con nódulos de pirita y costras ferruginosas; el ambiente es netamente continental, sin embargo, la presencia de pirita en el conglomerado basal podría evidenciar que el depósito se inició en ambiente de aguas salobres.

Los estratos inferiores son más heterogéneos en toda el área, el resto presenta capas de arcillas de diferentes colores (rojo, amarillo, blanco), con lentes de lignito del Mioceno en algunos lugares y en otros (especialmente al sur-occidente) areniscas poco consolidadas en una matriz ferruginosa: de acuerdo con Hoorn(1990); Patarroyo(1990), citados por Martínez, *et al.*, 1997, se ha establecido con base en estudios de edad de polen que estos materiales pertenecen al Oligoceno e inicios del Mioceno. Es la unidad geológica más grande del área de estudio. (Martínez & Vanegas, 1997; Sinchi 2000).

2.4.4. Depósitos aluviales (Qal)

Es la unidad más joven ya que se origina entre el Pleistoceno Superior y el Holoceno que pertenecen al Cuaternario, está conformada por los sedimentos no consolidados (limos, arcilla, grava) que han sido transportados por los ríos y depositados en sus riberas (Sinchi 2000). Comprende el área de inundación del río Guaviare cuyos materiales reportan arenas en la base, pasando a lutitas grises, azulosas y amarillentas, terminando con una arena fina en la parte superior. En las playas actuales, se encuentran materiales que van desde limos hasta arenas con grava fina. (Sinchi, 2000).

2.5. Suelos

En el área de estudio se presentan Ultisoles predominantemente, además Inceptisoles y Entisoles en las zonas aluviales. Los suelos

En el área de estudio se presentan Ultisoles predominantemente, además Inceptisoles y Entisoles en las zonas aluviales

se desarrollan a partir de sedimentos gruesos de arenas cuarcíticas e inclusiones de material arcilloso del Plio-Pleistoceno, son profundos a moderadamente profundos, de acuerdo con la presencia de materiales graviloso (pedregosidad) y las fluctuaciones del nivel freático, que son limitantes considerables. El drenaje es bueno a moderado, presentan texturas finas a medias (Ar- FAr- FArA) con colores pardo oscuro, pardo amarillento y pardo grisáceos en áreas con drenaje lento. Químicamente son suelos con altos contenidos de aluminio intercambiable, reacción extremadamente ácida, fertilidad baja, contenidos de materia orgánica de bajos a medios, baja saturación de bases y bajos contenidos de elementos mayores (IGAC 1999).

Lo que puede apreciarse de la fertilidad natural de los suelos del Guaviare, es que predominan los valores bajos, seguidos por los muy bajos, moderados y en menor proporción los altos. Lo anterior es el resultado de la alta saturación de aluminio presente en la región, con valores superiores en su gran mayoría al 60%, pH fuerte a extremadamente ácidos y bases totales y saturación de bases muy bajas. El carbono orgánico y el fósforo disponible en algunos casos se encuentran con valores normales a altos. (Sinchi, 2010)

2.6 Área de estudio

El área de trabajo para la investigación agroforestal en el departamento del Guaviare está articulada a una propuesta regional interinstitucional, de división espacial, en zonas de importancia estratégica departamental desde las consideraciones de zonificación ambiental y productiva, poblamiento y de organización social, contando igualmente con consideraciones de articulación de los procesos de asistencia técnica por parte de las instituciones regionales. Esta división regional se definió como núcleos veredales y permitió realizar acciones de producción e investigación. El Instituto Sinchi estableció su accionar en estas divisiones espaciales definidas para tres de los cuatro municipios del departamento (San José del Guaviare, El Retorno y Calamar). Específicamente la zona de trabajo corresponde a:

Núcleo veredal Cerritos (Inspección de Cerritos, veredas Buena Vista, La Esmeralda, La Voráquine, Santa Bárbara). En esta división

El área de trabajo para la investigación agroforestal en el departamento del Guaviare está articulada a una propuesta regional interinstitucional, de división espacial

espacial del municipio de El Retorno se estableció (entre 1995 y 1997) y se analizó el primero y segundo tipo de arreglo productivo del proceso de investigación forestal y agroforestal del Instituto Sinchi. En el primer tipo de arreglo, establecido en 1995, en fincas de productores de la Inspección de Cerritos, El Retorno, Guaviare, se establecieron arreglos con las especies frutales arazá y borojó (*Borojoa patinoi*), asociadas a un grupo de especies maderables en un área de 1,5 ha. En esta misma zona, para el segundo tipo de arreglo, en 1997, se establecieron ocho nuevos arreglos de 1,0 ha con un mayor número de especies frutales y maderables.

Núcleo veredal La Tabla (veredas La Tabla, La Florida, La Fortaleza, Caño Barroso). En esta división espacial del municipio de El Retorno se estableció (en 1999) y se analizó el tercer tipo de arreglo productivo del proceso de investigación. Estos arreglos corresponden al desarrollo del Proyecto: Implementación, seguimiento y evaluación de modelos agroforestales en el área de colonización del Guaviare. Sinchi – Plante - Departamento del Guaviare – comunidad. CONVENIO No. 95 – 000 – 163 – 0 – 98) (Sinchi 2000).

Para el cuarto tipo de arreglo productivo del proceso de investigación, identificado como sistemas de enriquecimiento forestal de rastrojo, se trabajó sobre las siguientes divisiones espaciales, pertenecientes a los municipios de San José del Guaviare y El Retorno:

Núcleo veredal Caño Bonito (veredas Bajo Jordán, Caño Bonito Bajo, La Floresta),

Núcleo veredal El Macano (veredas La Marina, Palmeras I, San Isidro Alto, San Isidro I, Unión Alta),

Núcleo veredal Caño Blanco (veredas El Morro, Santa Lucia, Santa Rita),

Núcleo veredal Caracol (veredas Caracol, Alpes),

Núcleo veredal Monserrate (veredas El Tigre, La Fuguita, La Leona, La Pizarra, Monserrate, Monserrate I),

Núcleo veredal Nuevo Tolima (veredas Nuevo Tolima, Tres Tejas, Triunfo II),

3. Cobertura vegetal del área de sustracción de la Reserva Forestal de la Amazonia, en el departamento del Guaviare.

Los estudios de vegetación cobran gran importancia, ya que ésta al ser una expresión de las condiciones ecológicas de un área determinada y por estar compuesta de organismos vivos y funcionar como el motor productivo del ecosistema, puede servir como sensible indicador de los procesos tanto biofísicos como antrópicos que se suceden en un contexto espacio-temporal específico (Etter, 1998).

En el contexto del área de estudio se presenta como particularidad la heterogeneidad de ecosistemas donde se destacan la presencia de las sabanas de la Orinoquia, los bosques húmedos de la Amazonia y una gran variedad de coberturas vegetales asociadas al macizo rocoso. Específicamente en el área de sustracción del departamento del Guaviare, existe una variedad de paisajes relacionados con la historia y la dinámica de la colonización y una respuesta variada de la vegetación.

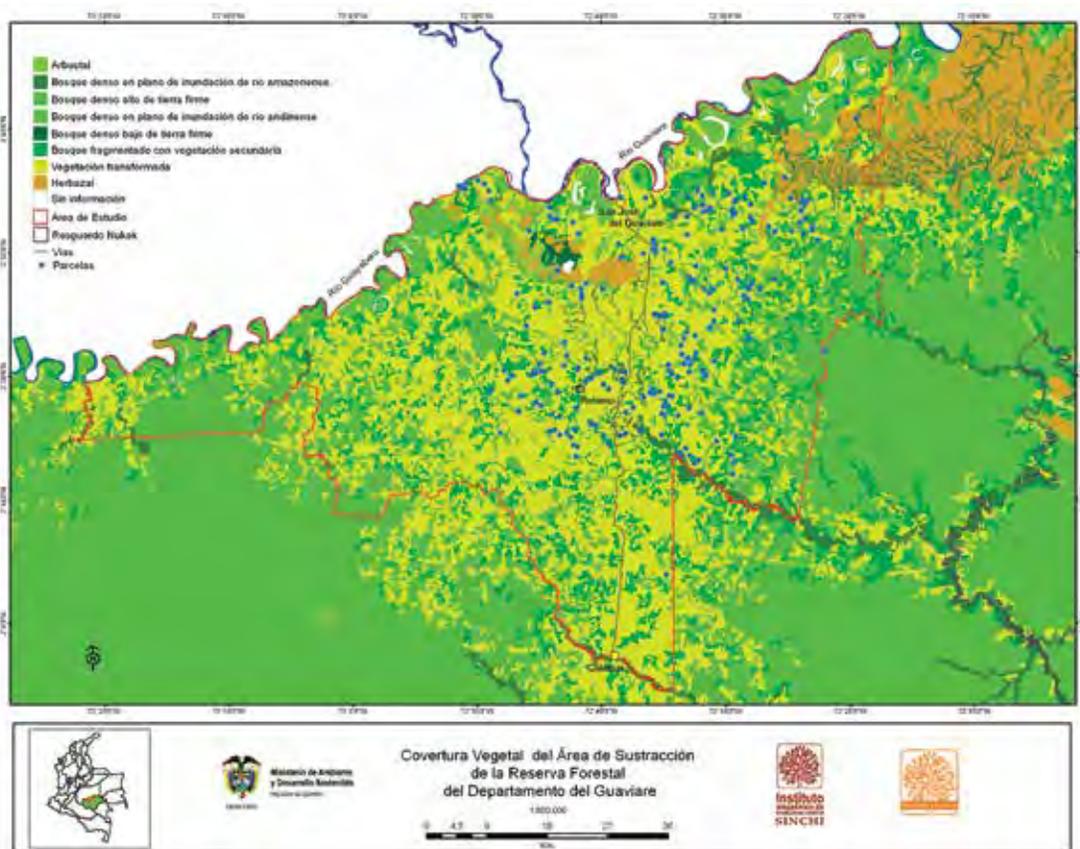
El mapa base utilizado para analizar la cobertura vegetal del área de estudio fue el de “Unidades de Cobertura Vegetal” a escala 1:100.000 elaborado por el Instituto Sinchi y Unidad de Parques (2007). El resultado de este mapa, muestra que en el área de sustracción se presentan 29 unidades de cobertura, transformadas y no transformadas, tejido urbano, aeropuertos, zonas arenosas naturales, zonas quemadas, zonas pantanosas, ríos, lagos lagunas y ciénagas naturales y sin información; para hacer práctico la descripción que involucran los tipos de coberturas vegetales se reclasificaron las 29 unidades identificadas en siete unidades generales. En la mayoría de los casos se tomó la decisión de unificar algunas clases de coberturas, no obstante, el tipo “Bosque inundable Heterogéneo”, se dividió en dos: Bosque denso alto en plano de inundación de río andinense y Bosque denso alto en plano de inundación de río amazonense. De esta forma, se obtuvieron las siguientes coberturas Tabla 2 y Figura 3.

en el área de sustracción del departamento del Guaviare, existe una variedad de paisajes relacionados con la historia y la dinámica de la colonización y una respuesta variada de la vegetación.

Tabla 2. Cobertura vegetal del área de Sustracción de la Reserva Forestal de la Amazonia, en el Departamento del Guaviare 2007

Cobertura vegetal	Área(ha)	Porcentaje (%)
Arbustales	2.778,50	0,63
Bosque denso alto de tierra firme	111.903,96	25,28
Bosque denso alto en plano de inundación de río amazonense	11.123,89	2,51
Bosque denso alto en plano de inundación de río andinense	29.422,29	6,65
Bosque denso bajo de tierra firme	432,07	0,10
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	56.951,75	12,86
Herbazal	10.639,20	2,40
Vegetación transformada	214.624,28	48,48
Sin información	4.862,04	1,10
Total general	442.738,00	100

Figura 3. Cobertura vegetal para el año 2007



Las diferentes expresiones de la vegetación transformada y no transformada del área de estudio, se presentan a continuación destacando características generales de fisonomía, estructura y composición florística.

3.1 Arbustales

Esta unidad, está compuesta por arbustales y vegetación herbácea; se presenta sobre las formaciones rocosas, principalmente en la Serranía de La Lindosa. Las plantas muestran en su morfología adaptaciones para enfrentar la escasez de agua, la ausencia casi total de suelo y la escasez de nutrientes. Agrupa tipos de vegetación desde conjuntos densos de pequeños arbustos muy delgados entre 1 y 2 m de alto, hasta islotes de individuos arbustivos de mediana talla que alcanzan los 3 m de altura, desarrollándose sobre un sustrato de arenas con acumulación de materia orgánica. Los Herbazales están conformados en gran parte por hierbas monocotiledóneas de las familias Bromeliaceae, Cyperaceae, Eriocaulaceae, Orchidaceae, Poaceae y Xyridaceae; los arbustales están dominados por especies leñosas de las familias Clusiaceae, Euphorbiaceae, Melastomataceae y Rubiaceae. (Ver figura 4)

Figura 4. Fotografía Arbustal Serranía de La Lindosa



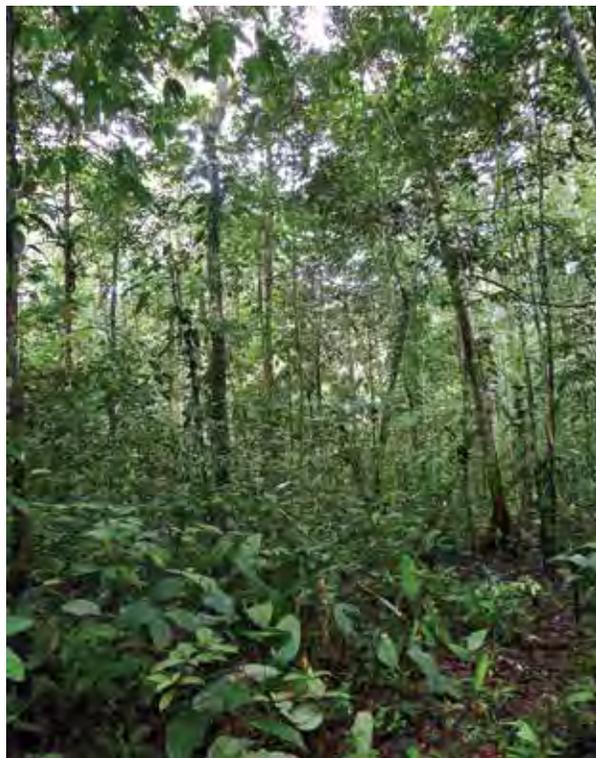
3.2 Bosque denso alto de tierra firme

Dentro de esta unidad y tomando en cuenta el relieve se diferencian tres tipos de bosque de tierra firme: Bosque de tierra firme sobre terreno plano con pendientes que no superan el 10%, bosque de tierra firme sobre un terreno ondulado con pendientes entre 10 y 30% y bosques de tierra firme en colinas con pendientes entre 30 y 60%.

3.2.1. El Bosque denso alto sobre terreno plano

Se encuentra principalmente en la parte sur del área de estudio, en el sector del eje vial que comunica el casco urbano de El Retorno y Calamar; presenta las mayores alturas de dosel, en promedio 24,4 m, y sobresalen emergentes que alcanzan los 30 m de las especies: *Enteolobium schomburgkii*, *Erisma uncinatum* (milpo) y *Eschweilera coriacea* (guasco). El número de individuos oscilan entre 380 a 710 árboles/ha; el mayor diámetro fue registrado para un individuos de la especie *Aniba sp.* que alcanzó 155 cm de diámetro a la altura del pecho. Este bosque es el de mayor potencial maderable en la región. (Ver figura 5)

Figura 5. Fotografía Bosque denso alto sobre terreno plano



3.2.2. Bosque denso alto sobre terreno ondulado

Es el más extenso de los diferentes tipos de bosque; se presenta en el centro y norte del área de estudio, principalmente en el sector comprendido entre San José y El Retorno. De acuerdo con los registros de vegetación, la altura media del dosel es de 19,2 m y el número de individuos varía de 440 a 910 árboles/ha, con emergentes de las especies *Cedrelinga cateniformis* (achapo) y *Clarisia racemosa* (arracacho). El mayor DAP, con 99 cm, se encontró en la especie *Schefflera morototoni* (tortolito). Esta sub-unidad de bosque es la que actualmente está más transformada por efecto antrópico (Ver figura 6)

Figura 6. Fotografía Bosque denso sobre terreno ondulado



3.2.3. El Bosque denso alto de tierra firme sobre colinas

Se extiende sobre un relieve escalonado con rocas de gran tamaño que varían entre 1 y 3 m de altura y en algunos casos supera los 5 m. La pendiente está en un rango entre el 30 y el 60%. Se caracterizan por presentar los árboles menos altos y gruesos, menor densidad de individuos, altura media del dosel de 14 m y el número de individuos entre 335 y 410 árboles/ha, con emergentes de las especies *Coussapoa orthoneura*, (yarumo) *Iriarteia deltoidea* (barrigona) *Eschweilera coriacea* (guasco). El mayor diámetro se

encontró en la especie guasco con 99 cm. Estos bosques aunque no representan una gran área, si son muy significativos como protectores de los acueductos veredales y aunque sus alrededores están potrerizados la comunidad habitante y vecina de estos han sido conscientes, en su conservación. (Ver figura 7)

Figura 7. Fotografía Bosque alto denso de tierra firme sobre colinas (Cerritos)



3.3 Bosque denso alto en plano de inundación de río amazonense

Se localizan en las vegas de los ríos que nacen en las tierras bajas, que corresponden a las peneplanicies muy antiguas que aportan pequeñas cantidades de nutrientes y baja mineralización de las aguas, su color oscuro se debe a la presencia de ácidos húmicos en solución o coloidales (Botero, 1999). Presenta 608 individuos con diámetro >10 cm por hectárea; estructuralmente se infiere que son bosque muy delgados ya que el 94% de los árboles presentaron diámetros menores a 40 cm; es importante destacar que no se registraron individuos con diámetros mayores a 60 cm. (Ver figura 8)

Figura 8. Fotografía Bosque denso alto en plano de inundación inundable de río amazonense. (Río Itilla)



3.4 Bosque denso alto en plano de inundación de río andinense

Estos bosques, se localizan sobre la planicie aluvial del río Guaviare; este río surge en la confluencia de los ríos Ariari y Guayabero, los cuales nacen en la cordillera de los Andes. La planicie aluvial donde se conforman estos bosques presenta una pendiente entre el 3 y 7%, el drenaje va de pobre a muy pobre e imperfecto a excesivo; el número de individuos registrados varía de 400 a 490 árboles/ha y la altura media es de 23 m, con emergentes de las especies *Pradosia atrovioleacea* y *Terminalia amazonia* (macano). El mayor diámetro se encontró en la especie *Pouteria sp.* con 130 cm. Los árboles presentan fustes bien desarrollados con presencia de raíces tablares; en este tipo de bosque la cobertura donde se observan los árboles de mayor porte con varios registros que superan los 100 cm de diámetro, esto puede estar asociado a la riqueza de los suelos que se prestan en el margen del río Guaviare. (Ver figura 9)

Figura 9. Fotografía Bosque denso alto en plano de inundación inundable del río andinense. (Río Guaviare)



3.5. Bosque Denso Bajo de Tierra Firme

Esta unidad se observa sobre un sustrato rocoso; que dependiendo del tipo de especie, composición y sustrato donde se desarrolle, se pueden establecer diferentes tipos asociaciones. Etter,*et al.* (2001) en el Parque Nacional Natural de Nukak, en Guaviare, describe un Bosque bajo abierto sobre colinas y serranías; reporta especies características como: *Mauritia carana*, *Oenocarpus sp.*, *Rinorea sp.*, *Phenakospermum guyannense*, *Theobroma subincanums*, *Mendoncia rotundifolia*, *Psychotria deflexa* Olyrasp. *Cespedesia sp.*, Cárdenas, *et al.*, (2008) refiere un Bosque bajo denso en serranía y cerro tabular de relieve residual, para la reserva forestal del municipio de San José del Guaviare, el cual se caracteriza por la presencia de las especies: *Syagrus orinocensis* y *Protium heptaphyllum*. Este último bosque presenta más afinidad con el observado en el área de estudio. (Ver figura 10)

Figura 10. Fotografía Bosque denso bajo de tierra firme. (La Lindosa)



3.6 Bosque Fragmentado con Vegetación Secundaria

La matriz dominante del paisaje son pastos y dentro de ésta se encuentran los fragmentos de bosques y una repentina transición del bosque a zonas de cultivos u otros hábitats modificados.

La pérdida de superficie y la fragmentación de bosques, hábitats o ecosistemas son dos factores considerados dentro de los principales causantes de grandes cambios en el ambiente físico-biótico, en donde la composición, estructura y función original de un ecosistema se han alterado (pérdida en la conectividad, creación de bordes sobre el hábitat, o aislamiento de fragmentos) provocando dinámicas muy diferentes sobre las poblaciones biológicas que allí se sustentan (Terborgh, 1989; Whitcomet *al.*, 1981). A escalas más globales tanto la pérdida de cobertura boscosa como la fragmentación y la subsiguiente disminución de biomasa, incrementan las

emisiones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero (Laurance,*et al*, 1998; Nepstad,*et al*, 1999).(Ver figura 11)

La mayoría de los fragmentos de bosques están localizados a lo largo de las quebradas, áreas pedregosas y zonas con inundación periódica. Los fragmentos de bosque que se observan a los alrededores de las grandes extensiones de pasto han sido sometidos a una extracción selectiva de especies maderables, para la construcción de casas, corrales y cercas de las fincas ganaderas. Los conflictos propios de la colonización, la ganadería y los derivados de las economías ilícitas y el narcotráfico, han sido los causantes de la fragmentación.

El 50% de los individuos registran un diámetro menor a 30 cm, reflejando la extracción selectiva de los árboles maderables. Para esta unidad las especie de importancia son: *Iriartea deltoidea*, *Croton matourensis*, *Astrocaryum chambira*, *Socratea exorrhiza*, *Pseudolmedia laevis*.

Figura 11. Fotografía Bosque fragmentado con vegetación secundaria



3.7. Herbazal Denso de Tierra Firme

Se localiza principalmente en el sector nor-oriental del área de estudio donde se presentan las Sabanas de la Fuga con un relie-

ve plano ligeramente disectado y otra formación con un relieve ondulado y se caracteriza por presentar superficies extensas, con cimas planas a convexas y laderas largas inclinadas o ligeramente onduladas con pendientes inferiores al 7%. Tienen como factores limitantes suelos con tendencia ácida a muy ácida, con poca capacidad de almacenamiento de agua y las lluvias torrenciales lavan los escasos nutrientes e intensifican los procesos erosivos. (Hernández,*et al.*, 1992). (Ver figura 12)

Está constituida por especies endémicas restringidas a estas formaciones. En total se encontraron 36 especies en un área de 0,06 ha, con predominio de las plantas gramíneas, especialmente de las familias Cyperaceae y Poaceae; así como otras no gramíneas como Asteraceae, entremezcladas con árboles enanos o de pequeño porte que aparecen dispersos o formando pequeños grupos. Dentro de las gramíneas, las especies que presentaron mayor porcentaje de cobertura pertenecen a la familia Poaceae: *Paspalum lanciflorum* y *Paspalum carinatum* y algunas Asteraceae como *Calea montana*. El porte es variable, desde unos 15 a 80 cm. Presenta arbustos aislados como *Curatella americana* (Chaparro) y *Byrsonima sp.*

Figura 12. Fotografía Herbazales tipo gramíneoide. (Sabanas de la Fuga)



3.8. Vegetación Transformada

La rápida alteración del paisaje debido a la constante tumba y quema de bosque para la siembra de pastos y cultivos de Pancoger y coca, ha causado una rápida disminución de la masa boscosa. Actualmente se observa un paisaje de pastos mezclados con un tipo de rastrojo alto. Es importante resaltar que los pastos dedicados a la ganadería tienen muy poco tiempo de productividad, ya que por el sobrepastoreo se degradan y pierden su capacidad de carga y los ganaderos se ven obligados a buscar nuevas tierras con el mejor pasto que se encuentra en el área limítrofe entre la zona de sustracción y el área de la reserva forestal. (Ver figura 13)

Figura 13. Fotografía Vegetación Transformada



3.9 Tejido Urbano

Comprende el tejido urbano de San José del Guaviare, (507,15 ha); El Retorno (78,40 ha) y Calamar (70,27 ha), no obstante se presentan algunos caseríos distribuidos en toda el área de estudio. En total esta cobertura abarca 655,82 ha (0,14%) del área de sustracción del departamento del Guaviare.

4. Estado actual de la de la cobertura vegetal del área de sustracción de la Reserva Forestal de la Amazonia, en el departamento del Guaviare

Para el año 2007 la superficie del área de estudio estaba cubierta por 152.450,14 ha de bosque alto denso heterogéneo (34,43%); el bosque fragmentado con vegetación secundaria se extendía en una superficie de 56.951 ha (12,86%); el bosque denso bajo, herbazales y arbustales; ocupaban 13.849,78 ha (3,12%) y la vegetación transformada 214.624,28 ha (49,48%); estableciéndose como la cobertura predominante, de la cual, 213.035 hectáreas están dedicadas a pastos y 5.176,77 hectáreas al uso agropecuario, siendo la siembra de yuca y maíz las de mayor importancia; los asentamientos humanos y áreas urbanas continuas se establecen en 655,82 hectáreas.

Según la información disponible, entre el año 2002 y el año 2007 en esta misma área hubo un incremento de 62.970,96 hectáreas de pastos cultivados en las zonas que antes eran de bosque alto denso heterogéneo, bosques fragmentados o vegetación silvestre; registrando una tasa media praderización de 12.594,19 ha anuales. Con base en estos registros, se puede inferir que en el área de sustracción de la Reserva Forestal de la Amazonia, en el departamento del Guaviare se está talando el bosque para la siembra de pasto.

5 Historia del desarrollo forestal y agroforestal del Instituto Sinchi.

El Instituto Sinchi, desde la institución que la precedió, la Corporación Araracuara (COA), ha desarrollado investigaciones en la Amazonia norte colombiana, en la búsqueda de soluciones apropiadas, mediante arreglos productivos sostenibles, que mejoren las condiciones de vida de los pobladores, con mayores ingresos económicos derivados del uso y aprovechamiento de especies vegetales, y que mejoren las condiciones ambientales con la disminución de los procesos de destrucción de las coberturas boscosas. Para este propósito, el Instituto Sinchi desde 1982, en su Estación Experimental El Trueno, situada en la vereda San Antonio, muni-

Según la información disponible, entre el año 2002 y el año 2007 en esta misma área hubo un incremento de 62.970,96 hectáreas de pastos cultivados en las zonas que antes eran de bosque

A partir de este conocimiento básico y desde 1992, se establecieron especies vegetales en arreglos productivos en fincas de productores.

cipio El Retorno, departamento del Guaviare, desarrolló acciones de investigación hacia el conocimiento, adaptación y valoración de reproducción, adaptación, crecimiento, rendimiento, fenología de 40 especies forestales y frutales.

A partir de este conocimiento básico y desde 1992, se establecieron estas especies vegetales en arreglos productivos en fincas de productores. Un primer desarrollo se realizó en 10 fincas de las veredas Caño Bonito, Cerritos, Simón Bolívar, con arreglos productivos de 0,25 ha con arazá (*Eugenia stipitata*) como especie principal frutal, asociada a especies maderables (cedro amargo – *Cedrela odorata*, abarco – *Cariniana pyriformis*).

Posteriormente en 1995, en tres fincas de productores de la Inspección de Cerritos, El Retorno, Guaviare, se establecieron arreglos productivos agroforestales con las especies frutales arazá y borojó (*Borojoa patinoi*), asociadas a un grupo de especies maderables en un área de 1,5 ha. En esta misma zona, en 1997, se establecieron ocho nuevos arreglos de 1,0 ha con un mayor número de especies frutales y maderables.

Este proceso de investigación en Estación Experimental y en fincas de productores entre 1992 y 1997, con la valoración de adaptación, reproducción, crecimiento, producción de especies vegetales (forestales y frutales), permitió cofinanciar acciones de investigación aplicada, asociando estas especies y definiendo los modelos más apropiados a las condiciones medioambientales de la Amazonia norte colombiana. En este proceso de investigación aplicada, se establecieron en 1999 arreglos productivos agroforestales en 100 fincas de los municipios de San José, El Retorno y Calamar con recursos de PLANTE, PNDA, CAB (Proyecto: Implementación, seguimiento y evaluación de modelos agroforestales en el área de colonización del Guaviare. Sinchi – Plante - Departamento del Guaviare – comunidad. CONVENIO No. 95 – 000 – 163 – 0 – 98) (Sinchi, 2000)

Posteriormente entre mayo de 2001 y noviembre de 2002 se ejecutó el proyecto “Implementación y valoración de modelos productivos sostenibles con base en arreglos agroforestales y enriquecimiento forestal de rastrojos, en zonas con potencialidad ecosistémica en el área de colonización del Guaviare”, convenio No. 95–000–44–2000 Plante – Sinchi – Gobernación del Guaviare - Comunidad. En este proyecto se establecieron los arreglos productivos en 100 fincas en

10 núcleos veredales ubicados en los municipios de San José del Guaviare, El Retorno y Calamar. (Sinchi, 2002)

El proceso de consolidación de la investigación se continuó con el Proyecto: “Conservación, manejo y aprovechamiento sostenible del bosque en diez veredas del área de colonización del Guaviare”, Convenio 010-233/01 SECAB - Sinchi-Departamento del Guaviare – Corporación para el Desarrollo sostenible del norte y oriente amazónico (C.D.A.)–la Asociación de productores de Caucho del Guaviare (Asoprocaucho) y la Asociación de Ganaderos Ecológicos del Guaviare (Asogeg), con el que se complementa el proceso de desarrollo integral al ingresar al arreglo de producción, el componente boscoso, estableciendo modelos de enriquecimiento forestal, en la perspectiva de mejorar las condiciones ambientales y la generación de ingresos a los agricultores, acción ejecutada en 150 fincas y valorando el componente boscoso y seleccionando las especies vegetales con potencial de uso y aprovechamiento sostenible. (Giraldo. *et al.*, 2004)

6. Metodología y enfoque del proceso de investigación forestal y agroforestal

La evaluación de los sistemas productivos sostenibles en fincas de agricultores se inició en 1995 y se ha venido incrementando de acuerdo con los procesos de establecimiento en diferentes años. Para estos sistemas productivos sostenibles se han evaluado aspectos como sobrevivencia, crecimiento, producción y servicios, valoración económica, aspectos, sociales y culturales. Se han evaluado los tipos de arreglo de enriquecimiento forestal y agroforestales. El conjunto de especies vegetales definidas para entrar a conformar arreglos productivos fueron producto de la investigación forestal desarrollada por el Instituto Sinchi desde 1982, en la Estación Experimental El Trueno, en San José del Guaviare.

En general, para el diseño y establecimiento de los tres tipos de arreglos agroforestales valorados en este documento se seleccionaron entre cuatro a ocho especies maderables y entre dos a cuatro especies frutales por arreglo y por unidad de terreno entre 1,0 y 1,5 hectáreas. Se estableció un modelo de bloques al azar, la distancia de siembra, varían entre 10,0 m por 6,0 m entre calles y 8,0 m por 6,0

La evaluación de los sistemas productivos sostenibles en fincas de agricultores se inició en 1995 y se ha venido incrementando de acuerdo con los procesos de establecimiento en diferentes años.

se estableció un primer análisis para el conjunto de fincas con arreglos productivos sostenibles establecidos en fincas de agricultores en 1995

m entre individuos. En general, en cada finca, se establecieron entre 468 y 216 individuos. Las especies forestales establecidas fueron:

Abarco (*Cariniana pyriformis*), acacio (*Acacia auriculiformis*), achapo (*Cedrelinga cateniformis*), brasil (*Aspidosperma sp.*), cachicamo (*Calophyllum brasiliense*), carapa (*Carapa guianensis*), caruto (*Genipa americana*), cedro (*Cedrela odorata*), cedromacho (*Pachira quinata*), cuyubí (*Minguartia guianenesis*), guacamayo (*Apuleia molaris*), iguá (*Pseudosamanea guachapele*), macano (*Terminalia amazonia*), paloarco (*Tabebuia serratifolia*), inchi (*Caryodendron orinocensis*), milpo (*Erisma uncinatum*), nocuito (*Vitex orinocensis*), roble (*Tabebuia rosea*), virola (*virola tibourbou*). Las especies frutales fueron: anón amazónico (*Rollinia mucosa*) arazá (*Eugenia stipitata*), borojó (*Borojoa patinoi*), champa (*Campomanesia lineatifolia*), chontaduro (*Bactris gasipaes*), guamo (*Inga sp.*), uva caimarona (*Pourouma cecropiifolia*)

En este documento de resultados de investigación, se estableció un primer análisis para el conjunto de fincas con arreglos productivos sostenibles establecidos en fincas de agricultores en 1995, en la Inspección de Cerritos, El Retorno, Guaviare. En este primer arreglo, en los tres primeros años se establecieron cultivos transitorios (Pancoger), en un área de 1,5 ha. Se instalaron tres unidades de experimentación en febrero de 1995. Se definió el arreglo agroforestal bajo un diseño de bloques completos al azar, con tres repeticiones en cada una de ellas. Las especies consideradas fueron: abarco, milpo, achapo, nocuito, roble, acacio, borojó y arazá, en la tabla 3, se presentan las especies establecidas en cada uno de los arreglos.

El segundo análisis corresponde al grupo de fincas de productores con arreglos productivos sostenibles establecidos en 1997, en la Inspección de Cerritos, El Retorno, Guaviare. En cada uno de los ocho arreglos, en un área de 1,0 ha, se estableció el arreglo agroforestal bajo un diseño de bloques completos al azar, a distancias de siembra entre maderables de 8,0 m por 8,0 m y frutales a 8,0 m por 4,0 m. Las especies consideradas fueron: abarco, acacio, achapo, carapa, brasil, caruto, milpo, cedro, cedro, nocuito, roble, acacio, borojó, arazá, champa, chontaduro, guamo y anón. En la tabla 3 se relacionan las especies establecidas para los diferentes arreglos

Se analizó un tercer tipo de arreglos, que corresponde a los establecidos en 1999, en los municipios de San José, El Retorno y Calamar, en 10 núcleos veredales, en fincas de agricultores. Se

asociaron cultivos agrícolas y siete especies maderables y frutales por finca. Del grupo de 100 arreglos establecidos se realizó seguimiento y valoración durante el periodo 1999 a 2009 (10 años) de los arreglos establecidos en el núcleo veredal “La Tabla”, ubicado en el municipio de El Retorno, Guaviare. Las especies establecidas en el tercer tipo de arreglos fueron: abarco, acacio, achapo, arazá, borojón, cachicamo, caucho, cedro, cedromacho, cuyubí, champapa, chontaduro, guamo, iguá, inchi, jagua, macano y palo arco; se complementó con especies de Pancoger (maíz, yuca, plátano, chonque, etc.). Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, para un total de nueve parcelas por finca. Las especies se sembraron en cada parcela a una distancia de 8,0 m entre surco y 4,0 m entre planta. En la tabla 3 y la tabla 4 se presenta el grupo de especies establecidas en los diferentes arreglos.

Tabla 3. Especies forestales y frutales establecidas y evaluadas en arreglos productivos agroforestales, periodo 1995 - 2009.

Sistema	Numero Arreglo	Especies forestales y frutales
TABLA 1999	1	abarco, caruto, cuyubí, guacamayo, macano, palo arco, arazá, borojón, chontaduro, guamo, uva,
TABLA 1999	2	abarco, caruto, guacamayo, macano, arazá, chontaduro, guamo, uva,
TABLA 1999	3	acacio, cachicamo, caruto, cuyubí, macano, anón, arazá, borojón, champapa, chontaduro,
TABLA 1999	4	acacio, caruto, cedro, cuyubí, macano, palo arco, arazá, borojón, champapa, chontaduro, uva,
TABLA 1999	5	abarco, achapo, macano, palo arco, arazá, borojón, champapa, chontaduro,
TABLA 1999	6	abarco, achapo, cachicamo, macano, arazá, borojón, champapa, chontaduro,
CERRITOS 1997	1	abarco, brasil, caruto, palo arco, roble, arazá, borojón,
CERRITOS 1997	2	abarco, carapa, caruto, cuyubí, inchi, macano, anón, arazá, borojón, caimarona, champapa, chontaduro,
CERRITOS 1997	3	abarco, acacio, achapo, arenillo, brasil, cedro macho, milpo, nocuito, virola, anón, arazá, borojón, chontaduro, copoazú, maraco,
CERRITOS 1997	4	abarco, caruto, macano,
CERRITOS 1997	5	abarco, caruto, nocuito, virola, arazá, borojón, chontaduro, copoazú,
CERRITOS 1997	6	abarco, brasil, nocuito, anón, arazá, borojón, copoazú,
CERRITOS 1997	7	abarco, cedro macho, cuyubí, inchi, macano, arazá, borojón, champapa, chontaduro,
CERRITOS 1997	8	abarco, caruto, cedro amar, cuyubí, macano, nocuito, anón, arazá, borojón, caimarona,
CERRITOS 1995	1	abarco, acacio, achapo, nocuito, arazá, borojón
CERRITOS 1995	2	abarco, acacio, achapo, macano, roble, arazá, borojón
CERRITOS 1995	3	achapo, macano, milpo, roble, arazá, borojón

Tabla 4. Nombres comunes, nombres científicos y familias de las especies forestales y frutales establecidas en arreglos agroforestales en Guaviare.

Nombre común	Nombre científico	Familia
abarco	<i>Cariniana pyriformis</i>	Lecythidaceae
acacio	<i>Acacia auriculiformis</i>	Caesalpinaceae
achapo	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	Mimosaceae
anón amazónico	<i>Rollinia mucosa</i>	Anonaceae
arazá	<i>Eugenia stipitata</i>	Myrtaceae
arenillo	<i>Hymenolobium sericeum</i>	Fabaceae
borojó	<i>Borojoa patinoi</i>	Rubiaceae
brasil	<i>Aspidosperma sp.</i>	Apocynaceae
cachicamo	<i>Calophyllum brasiliense</i>	Clusiaceae
cañafístula	<i>Cassia grandis</i>	Caesalpinaceae
carapa	<i>Carapa guianensis</i>	Meliaceae
caruto	<i>Genipa americana</i>	Rubiaceae
caucho	<i>Hevea brasiliensis</i>	Euphorbiaceae
cedro	<i>Cedrela odorata</i>	Meliaceae
cedro macho	<i>Pachira quinata</i>	Bombacaceae
champa	<i>Campomanesia lineatifolia</i>	Myrtaceae
chontaduro	<i>Bactris gasipaes</i>	Arecaceae
copoazú	<i>Theobroma grandiflorim</i>	Sterculiaceae
cuyubí	<i>Minquartia guianensis</i>	Olacaceae
guacamayo	<i>Apuleia molaris</i>	Caesalpinaceae
guamo	<i>Inga sp.</i>	Mimosaceae
iguá	<i>Pseudosamanea guachapele</i>	Mimosaceae
inchi	<i>Caryodendron orinocense</i>	Euphorbiaceae
macano	<i>Terminalia amazonia</i>	Combretaceae
milpo	<i>Erismia uncinatum</i>	Vochysiaceae
nocuito	<i>Vitex orinocensis</i>	Verbenaceae
paloarco	<i>Tabebuia serratifolia</i>	Bignoniaceae
roble	<i>Tabebuia rosea</i>	Bignoniaceae
uva caimarona	<i>Pourouma cecropiifolia</i>	Cecropiaceae
virola	<i>Virola tibourbou</i>	Myristicaceae
vochysia	<i>Vochysia ferruginea</i>	Vochysiaceae

El cuarto tipo de arreglo corresponde al enriquecimiento forestal de rastrojos, en su diseño y establecimiento se seleccionaron entre cuatro a ocho especies maderables finas por arreglo, establecidos en un modelo de bloques al azar, con tres repeticiones por especie. En cada finca, en una hectárea se establecieron entre 180 a 280 individuos, a distancias de siembra entre calles (entre 6,0 a 10,0 m) y entre individuos (entre 4,0 a 6,0 m). Las especies establecidas en estos arreglos corresponden a: abarco (*Cariniana pyriformis*), achapo (*Cedrelinga cateniformis*), brasil (*Aspidosperma sp.*), cachicamo (*Calophyllum brasiliense*), caruto (*Genipa americana*), cedro (*Cedrela odorata*), cuyubí (*Minguartia guianensis*), guacamayo (*Apuleia molaris*), macano (*Terminalia amazonia*) y paloarco (*Tabebuia serratifolia*).

Este tipo de arreglo de enriquecimiento utiliza la cobertura natural boscosa sin destruirla y se enriquece con las especies forestales. La investigación regional sobre este proceso se originó en la Estación Experimental del Instituto, en la cual se estableció en el año 1982 el ensayo enriquecimiento forestal con cuatro especies: abarco (*Cariniana pyriformis*), achapo (*Cedrelinga cateniformis*), caoba (*Swietenia macrophylla*) y roble (*Tabebuia rosea*), donde se obtienen desde 1995 los registros de las variables de crecimiento, rendimiento y manejo. Los resultados de este arreglo están publicados en el documento “Bases técnicas para el desarrollo forestal en el departamento del Guaviare Amazonia colombiana”, (Giraldo, *et al.*, 2013).

7. Esquema de presentación de los resultados del proceso de investigación forestal y agroforestal

En el análisis que se presenta en este libro, se abordan los cuatro diferentes tipos de arreglos productivos valorados en el desarrollo de la investigación forestal y agroforestal del Instituto Sinchi, Estos arreglos se diferencian por su ubicación geográfica, la edad de establecimiento y su composición. Estos arreglos igualmente determinaron el desarrollo de la investigación realizada y se partió del arreglo más simple (Cerritos 1995) en el cual, sobre una matriz de dos frutales amazónicos, se asoció un grupo de especies maderables

En el análisis se abordan los cuatro diferentes tipos de arreglos productivos valorados en el desarrollo de la investigación forestal y agroforestal

para madera fina. Posterior a este primer arreglo, se planteó, ampliar el número de especies frutales y un mayor número de especies forestales en un arreglo (Cerritos 1997) donde se establecen las repeticiones de las especies en fajas a lo largo de la parcela experimental, conservando el diseño de repeticiones al azar. En el tercer tipo de arreglos (Tabla 1999) se amplía el número de especies forestales y frutales establecidas. El último arreglo analizado corresponde al arreglo de Enriquecimiento forestal de rastrojos y se realizan las repeticiones en fajas, sembrando especies forestales maderables.

En un primer momento del libro, se abordó el análisis, considerando la valoración de las especies más importantes de los arreglos, de acuerdo con su permanencia, su crecimiento y la producción forestal. Posteriormente, se estableció la selección de las especies forestales de mayor adopción y aptitud para conformar arreglos productivos. En el segundo momento se analizaron valores de crecimiento, producción y rentabilidad para cada uno de los arreglos, considerando el conjunto de las especies establecidas, teniendo en cuenta las referencias de la investigación realizada en los primeros tres años de establecimiento (Conservación, manejo y aprovechamiento sostenible del bosque en el área de colonización del Guaviare. Giraldo Benavides, Bernardo (Ed.) 2004).

Los resultados presentados abordan el componente forestal, bajo la consideración que es el componente que continua en el proceso de producción del arreglo, y teniendo en cuenta que el análisis de los otros componentes frutales y Pancoger ya terminaron su ciclo productivo (Pancoger a los tres años y frutales hasta sexto año). Esta información de los arreglos productivos hasta los primeros 6 años, esta reportada en el libro (Conservación, manejo y aprovechamiento sostenible del bosque en el área de colonización del Guaviare. Giraldo Benavides, Bernardo (Ed.) 2004), y allí se relacionaron los arreglos principales, las tasas de producción y se realizó el balance económico de los arreglos.

Esto permite además, un elemento conceptual acerca de los sistemas agroforestales establecidos en la región norte amazónica con alto porcentaje del componente forestal (mayor del 50%), en los cuales el arreglo agroforestal después de cinco o seis años se transforma a un arreglo de enriquecimiento de rastrojos ya que el cierre del dosel por las copas del componente forestal disminuye

En un primer momento, se abordó el análisis, considerando la valoración de las especies más importantes de los arreglos, de acuerdo con su permanencia, su crecimiento y la producción forestal.

la actividad productiva del componente frutal. Otro elemento conceptual que se tuvo en cuenta es que se demuestra la solidez de la investigación forestal realizada en la Estación Experimental donde se establece un grupo de especies potenciales para ingresar a sistemas de producción agroforestal, confirmado por los resultados que se presentan en el documento.

8. Consideraciones sobre las variables de crecimiento y rendimiento valoradas para la investigación forestal y agroforestal

En este ítem, se presentan algunas bases conceptuales sobre los protocolos y parámetros de evaluación para la investigación y se registran algunos de los estudios sobre las variables de permanencia, crecimiento y producción de especies y sistemas agroforestales en Colombia y América, que sirven de antecedente de la investigación y son utilizados posteriormente para la comparación de los resultados sobre la investigación forestal y agroforestal del Instituto Sinchi en la región norte amazónica de Colombia

La investigación forestal y agroforestal desarrollada por el Instituto Sinchi, toma los protocolos y parámetros de la investigación desarrollada tanto a nivel nacional como a nivel internacional, y aplica y valida estos protocolos en las acciones de medición empleadas en las fincas de productores de la región norte amazónica. En este proceso se valoran, tabulan y analizan las variables de permanencia o sobrevivencia, crecimiento (diámetros y alturas y sus respectivos incrementos medios anuales), rendimiento y producción (área basal, volumen y biomasa y sus variables relacionadas como Carbono y CO₂).

Con esta consideración, el Instituto Sinchi validó en su proceso de investigación que los sistemas productivos, los arreglos que los expresan y las especies forestales y frutales que los componen, se diferencian por las variaciones o cambios en sus dimensiones a través del tiempo y dependen de diversos factores biológicos, ecológicos, ambientales, culturales, etc. Como lo expresan Melo y Vargas (2002), los cambios en la frecuencia, dimensiones y forma

La investigación forestal y agroforestal desarrollada por el Instituto Sinchi, toma los protocolos y parámetros de la investigación desarrollada tanto a nivel nacional como a nivel internacional

Para la investigación forestal y agroforestal es importante tener en cuenta que las variaciones entre los sistemas, arreglos y sus componentes obedecen a diversos factores

de los árboles en el tiempo, determinan el crecimiento o incremento, específico para un árbol individual y la sumatoria de los incrementos de un arreglo o un arreglo genera el crecimiento acumulado, el cual se constituye en el elemento básico para la determinación de las funciones de crecimiento y rendimiento (Bell *et al.*, 1984), citado por Melo & Vargas (2002).

Para la investigación forestal y agroforestal es importante tener en cuenta que las variaciones entre los sistemas, arreglos y sus componentes obedecen a diversos factores, que desde el punto de vista biológico, son positivos por efecto de la tendencia innata de multiplicación exponencial de las especies vegetales (potencial biótico, actividad fotosintética, absorción de nutrientes, metabolismo constructivo, etc.); y son variaciones negativas debido a factores externos como la competencia inter e intraespecífica, los recursos limitados, la respiración y el estrés; lo mismo que los mecanismos autorreguladores y el envejecimiento, que corresponden a factores internos (Chazdon & Montgomery, 2002; Ortega, 2001), citados por Melo & Vargas (2002)

Una de las principales expresiones para describir el crecimiento corresponde al Incremento medio anual (IMA), que se define como el crecimiento total del individuo o del rodal dividido por la edad total. (Rojas, 1986, citado por Melo & Vargas (2002). El crecimiento de los árboles se puede determinar con la medición de variables dasométricas tales como el diámetro, la altura, el espesor de la corteza, el área basal y el volumen, variables que son afectadas por el espaciamiento (Ver figura 14). En este sentido, las variables dasométricas, por ejemplo, el diámetro, se relaciona directamente con el espaciamiento, mientras que altura es una respuesta del individuo a las condiciones del sitio tales como la disponibilidad de nutrientes, humedad y profundidad del suelo (Clutter *et al.*, 1983, citado por Melo & Vargas, 2002).

Con estos protocolos de valoración y medición de las variables señaladas y con el conocimiento de las tasas de crecimiento, se amplía la información para abordar estudios de población y de desarrollo de la productividad, para estimar ciclos de corta y los volúmenes explotables permisibles, que permitan desarrollar modelos de manejo forestal. (Bormann & Berlyn, 1981, Del Amo y Nieto de Pascual, 1983, citado por Melo & Vargas, 2002).

La definición de las tasa de crecimiento se realiza con base en medidas periódicas del diámetro y la altura durante intervalos de tiempo relativamente largos, los cuales se usan para poder predecir los cambios en el volumen, la biomasa y en el área basal. (Melo & Vargas, 2002).

Figura 14. Fotografía. Medición del diámetro de individuos de especies forestales en Guaviare



8.1 Revisión de algunos resultados de evaluación del diámetro y la altura de especies forestales en América

Ribeiro, Gabriel H. (2010), en su investigación en Manaus, Estado Amazonas, Brasil con el objeto de desarrollar modelos alométricos para estimar biomasa de especies forestales, reportó valores de crecimiento en diámetro a los 15 años de edad, calificando el tipo de crecimiento de acuerdo con las tasas de incremento medio anual, considerando valores rápidos para tasas entre 1,76 y 1,03 cm/año, crecimiento medio para valores entre 0,91 y 0,53 cm/año y lento entre 0,49 y 0,34 cm/año. La tabla 5 registra esta información.

Tabla 5. Diámetro e incremento medios anuales para especies en la región de Manaos, Estado Amazonas, Brasil, edad 15 años.

Tipo de crecimiento	Especie	Diámetro (cm) edad 15 años	Incremento medio anual (cm/año)	Promedio de Incremento medio anual (cm/año)
rápido	<i>Calophyllum brasiliense</i>	15,4	1,0	1,37
	<i>Clarisia racemosa</i>	19,5	1,3	
	<i>Jacaranda paraensis</i>	19,7	1,3	
	<i>Carapa guianensis</i>	20,7	1,4	
	<i>Goupia glabra</i>	20,8	1,4	
	<i>Bagassa guianensis</i>	21,3	1,4	
	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	26,4	1,8	
medio	<i>Aniba canelilla</i>	8,0	0,5	0,70
	<i>Ocotea rubra</i>	8,4	0,6	
	<i>Mezila urusitauba</i>	9,5	0,6	
	<i>Copaifera multijuga</i>	9,7	0,7	
	<i>Aniba duckei</i>	10,2	0,7	
	<i>Pithecelobium racemosum</i>	10,9	0,7	
	<i>Dipteryx odorata</i>	12,2	0,8	
	<i>Caryocar villosum</i>	12,4	0,8	
	<i>Scleronema micranthum</i>	13,7	0,9	
lento	<i>Tabebuia serratifolia</i>	5,1	0,3	0,43
	<i>Andira parviflora</i>	6,7	0,5	
	<i>Cedrela odorata</i>	7,4	0,5	

Fuente: Ribeiro Gabriel H., 2010

Monroy & Návar (2004), desarrollaron su investigación sobre la productividad de un clon de Caucho, a partir de la evaluación de las variables de fácil medición, el diámetro y la altura. De este estudio se registraron los datos de crecimiento de estas variables para diferentes edades. Los resultados registraron valores de biomasa por árbol promedio, del clon de caucho IAN-710, de 506,3 Kg, para 20 árboles evaluados, con 31,0 cm de diámetro promedio y altura promedio de 22,0 m. El estudio se realizó en Veracruz, México, se estimó la biomasa con las ecuaciones de Spurr (1952) y una regresión ponderada en el citado estudio. En la tabla 6, se presenta el resumen de estos resultados.

Tabla 6. Diámetro y altura promedio de árboles del clon IAN-710 de caucho, Veracruz, México

Localidad	Edad (años)	Diámetro (cm)	altura (m)
1	8	24,5	15,7
	14	28,5	20,5
	31	47,0	26,7
2	14	22,3	17,6
	16	25,6	20,4
	19	26,3	24,9
	23	38,0	26,6

Fuente: Monroy &Návar (2004),

De Carvalho Soares, *et al.*, 2004, en la investigación desarrollada en el Estado de Amazonas, Brasil, en sistemas agroforestales establecidos en 1993, reporta el desarrollo de *Bertholletia excelsa*, con distancia de siembra entre 10,0 m por 20,0 m a 30,0 m por 30,0 m asociada con *Euterpe Oleracea* y *Bactris gasipaes* con espaciamiento entre 4,0 m por 4,0 m hasta 8,0 m por 10,0 m. A los 10 años se midió diámetros de copa, altura y diámetro. Se registró en este estudio, valores de incremento medio anual en diámetro de 3,1 cm/año en limpio y de 1,8 cm/año en capoeira; para altura respectivamente se registró 1,6 m/año y 1,3 m/año. En la tabla 7 se registran los valores de crecimiento para *Bertholletia excelsa*.

Tabla 7. Crecimiento para *Bertholletia excelsa* en diferentes condiciones de manejo, Estado Amazonas, Brasil

Tipo de manejo	Diámetro (cm) a 10 años	altura (m) a 10 años
Limpio	33,7	16,2
Limpio	29,8	16,0
Capoeira	18,4	13,3
Capoeira	16,4	12,7
Capoeira	17,7	12,0

Fuente: De Carvalho Soares,*et al.*, 2004

Las evaluaciones de volumen y biomasa en América tropical, se han desarrollado con diferentes metodologías

8.2 Revisión de algunos resultados de evaluación del volumen y biomasa de especies forestales

Entre 2007 y 2009, el Instituto Sinchi, en la Estación Experimental El Trueno realizó el proceso de valoración del volumen a partir de la cubicación de los árboles (división de cada árbol en trozas pequeñas entre 1,0 m y 2,0 m de largo con diámetro con mínima variación en la troza) y se obtuvo el volumen total del fuste. El volumen total se expresó mediante una ecuación en función de las variables de diámetro y altura. La función generada mediante el análisis de regresión permitió calcular los volúmenes para los diferentes arreglos y para las diferentes especies establecidas y evaluadas en fincas de productores de la región norte amazónica.

Para la evaluación de la biomasa, con el árbol derribado se pesaron los componentes aéreos de madera comercial y fuste, ramas delgadas, ramas gruesas, hojas, flores y frutos. Se tomaron probetas de peso y volumen determinado, que 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. El proceso general se resume así: i) Obtención del peso verde por componente, ii) toma de muestras y probetas por componente, iii) peso y volumen de las probetas en verde, iv) medición del volumen, v) cálculo del contenido de humedad de cada componente, vi) obtención de los valores de densidad en verde y densidad en seco, vii) cálculo del peso seco del total de los componentes a partir del porcentaje de humedad.

Las evaluaciones de volumen y biomasa en América tropical, se han desarrollado con diferentes metodologías que incluyen desde el número de individuos a muestrear o aprovechar, como los tipos de proyecciones o ecuaciones a utilizar, así como las variables empleadas en la estimación de modelos y diferentes resultados por condiciones medioambientales o fisiográficas de los sitios de investigación.

Para biomasa y volumen se registró un resumen de algunos procedimientos y resultados encontrados, que similar a lo presentado para diámetro y altura se constituyen en antecedentes de la investigación y se emplearon para los análisis comparativos de la investigación forestal y agroforestal desarrollada por el Instituto Sinchi.

8.2.1 Volumen y biomasa por árbol

Arreaga (2002), desarrolló su investigación en el bosque subtropical cálido en Costa Rica (150 a 4000 msnm), con el objetivo de estimar área basal total y contenido de carbono en coberturas vegetales en dos unidades de manejo forestal, mediante muestreos sistemáticos en parcelas de 0,25 ha, muestreando 96 especies vegetales, en 18 parcelas. Este autor ajustó ecuaciones de biomasa en función de diámetro y altura, utilizando parámetros de calificación: Furnival (1984), coeficiente de determinación ajustado, cuadrado medio del error. Se analizó el carbono total mediante los métodos de Nelson y Sommer (1975) y Calorimetría (Eduarte y Segura 1999), para las especies *Aspidosperma megalocarpon* y *Swietenia macrophylla*. El carbono total se obtuvo al multiplicar la biomasa total por un factor de carbono promedio

En la determinación del factor de conversión de biomasa a carbono, Arreaga (2002), identificó un valor promedio de 0,50 con los dos métodos evaluados, sin presentar diferencias estadísticas significativas. Este es el valor registrado en sus conclusiones y analizó que no existen diferencias entre las especies ni entre los diferentes componentes de las plantas.

Estableció Arreaga (2002), de acuerdo con sus resultados de investigación, que individuos con diámetros mayores a 50,0 cm, el efecto de aumento de diámetro influye de manera directa en el mayor resultado en biomasa, reportando estudios de Brown y Lugo (1992) y Brown y Iverson (1992) que destacaron la importancia de individuos de mayor diámetro en la estimación de la biomasa y al mismo tiempo el comportamiento geométrico de aumento de biomasa en función del diámetro de los árboles. En el estudio realizado por Arreaga (2002), se utilizaron ecuaciones de biomasa en función logarítmica del diámetro.

Arreaga (2002), destacó lo reportado por Brown, *et al.*, (1989), que indicaron que expresiones de la biomasa en función de una sola variable, diámetro, subestiman los resultados, y establecen mejores respuestas con la inclusión de la altura. Se reportaron similares resultados encontrados por Nelson, *et al.*, (1999) en bosques secundarios tropicales.

Para diferentes categorías de diámetro Arreaga (2002), obtuvo valores de biomasa total por árbol, los resultados muestran para

En la determinación del factor de conversión de biomasa a carbono, Arreaga (2002), identificó un valor promedio de 0,50

Cole y Ewel (2006), señalando la importancia de la valoración de la biomasa para determinar la estructura de los bosques, plantean su importante papel en la estimación de la productividad y los flujos de carbono

diámetros de 30,0 cm biomasa de 0,68 ton, para 40,0 cm 0,95 ton, para 50,0 cm 2,28 ton, para 60,0 cm 3,17 ton, para 70,0 cm 4,70 ton, para 80,0 cm 7,61 ton, para 90,0 cm 9,46 ton.

En los trabajos de investigación de Cole y Ewel (2006), en Costa Rica, en un periodo de 13 años se cosecharon árboles de *Cedrela odorata*, *Cordia alliodora*, *Hyeronima alchorneoides* y *Euterpe oleracea*. Se muestrearon entre 258 – 379 árboles por especie. Cole y Ewel (2006), reportaron investigaciones de diferentes autores, señalando la importancia de la valoración de la biomasa de los árboles para determinar la estructura de los bosques, igualmente, plantean su importante papel en la estimación de la productividad y los flujos de carbono basados en cambios secuenciales de la biomasa y expresaron que estas valoraciones dan herramientas para la estimación del secuestre de carbono de los árboles, además de su uso como indicador de productividad. Para la obtención de biomasa se usaron ecuaciones alométricas basadas en el diámetro, la altura y combinaciones de estas variables.

Cole y Ewel (2006), realizaron comparaciones entre los valores de biomasa obtenidos con diferentes ecuaciones; en un ejemplo, utilizando la ecuación generada por Chave *et al.*, (2005) para un árbol de 25,0 cm de diámetro y 22,0 m de altura, con un densidad de la madera de 0,52, obtuvieron biomasa de 326,0 Kg, que es significativamente mayor a la biomasa calculada con la ecuación generada por Cole y Ewel (2006), que registró un valor de 224,0 Kg y expresaron que puede ser originado por factores como el empleo de diámetros menores a 30,0 cm en la construcción de las ecuaciones en este estudio citado, al contrario de Chave,*et al.*, (2005) que incluyeron árboles hasta de 150,0 cm de diámetro.

Se reportaron datos individuales de especies, registrando para *Cedrela* con 15,0 cm de diámetro y 16,0 m de altura, biomasa aérea de 52,7 Kg; *Cordia* con 15,0 cm de diámetro y 15,5 m de altura, biomasa aérea de 52,1 Kg; *Hyeronima* con 15,0 cm de diámetro y 13,1 m de altura, biomasa aérea de 45,0 Kg

Segura y Kanninen (2005), en Costa Rica, desarrollaron ecuaciones alométricas para calcular volumen y biomasa aérea de árboles basados en mediciones directas de 19 individuos de siete especies. Definieron que volumen y biomasa del fuste representaron cerca de dos terceras partes del volumen total del árbol y de la biomasa aérea total.

Destacaron Segura & Kanninen (2005), que las mejores ecuaciones para biomasa contienen las variables diámetro y altura, enfatizando en la ventaja de la simplicidad de estos modelos, ya que son variables de fácil medición y de mayor precisión; los autores afirmaron que las ecuaciones generadas en su estudio contrastaron con dos ecuaciones universales que subestiman la biomasa de árboles grandes.

Segura & Kanninen (2005), realizaron su investigación con datos de parcelas permanentes con la especie principal *Pentaclethra maculoba* (Willd.) Kuntze, obtuvieron valores en 18 parcelas para área basal, que a su vez determinaron la muestra para biomasa y volumen con árboles mayores a 60,0 cm de diámetro, se encontró número de individuos por hectárea entre 244 a 249. El volumen se obtuvo con las variables biomasa y densidad. Las ecuaciones de predicción se construyeron con base en diámetro y altura, calificadas mediante los parámetros de Índice de Furnival (IF) (Furnival, 1961), coeficiente de determinación ajustado (R^2), coeficiente de variación (CV%), cuadrado medio del error (RMSE).

Segura & Kanninen (2005), registraron volumen del fuste por árbol entre 5,0 y 19,0 m³/árbol y la biomasa aérea total entre 3,0 y 13,0 Mg/árbol. El fuste representó el 66% del total para las dos variables. La tabla 8 registra el resumen de los valores calculados para las diferentes especies forestales.

Tabla 8. Crecimiento y producción para diferentes especies forestales en Costa Rica.

	Diámetro (cm)	Número de árboles	Altura (m)	Volumen por árbol fuste (m ³)	Volumen por árbol total (m ³)	Biomasa por árbol fuste (Mg)	Biomasa por árbol total (Mg)
<i>C. guianensis</i>	94,7	3	32,7	10,8	15,6	6,5	9,6
<i>I. coruscans</i>	73,6	3	26,3	5,5	8,7	3,9	6,0
<i>L. procera</i>	79,5	2	39,0	8,9	13,0	6,4	9,1
<i>P. maculoba</i>	88,0	4	19,5	7,1	11,1	4,2	6,6
<i>S. microstachyum</i>	67,0	1	31,0	4,4	8,0	2,7	4,8
<i>T. guianensis</i>	70,1	3	26,7	3,9	6,9	2,4	4,0
<i>V. ferruginea</i>	84,0	3	29,0	8,1	11,5	4,0	6,2
Promedio	81,3	19	27,9	7,14	10,9	4,4	6,7

Fuente: Segura & Kanninen (2005)

Estudios realizados en Antioquia, Colombia, por estudiantes de postgrado de la Universidad Nacional de Medellín, U.N. (s.f.) calcularon ecuaciones para el volumen y biomasa de árboles en función de las variables altura y diámetro, estableciendo la importancia de usar estas variables por su rápido acceso y determinación y por la precisión obtenida en los ajustes del modelo. Se realizó la investigación sobre 53 árboles de *Acacia mangium*. Para los cálculos de carbono, se estableció el factor de conversión de 0,50 por la biomasa.

En este estudio U.N. (s.f.) para el cálculo del volumen por árbol se cubicaron 53 individuos en diferentes clases de diámetro. Se registraron algunos datos de los reportados por estos autores sobre los valores de diámetro, altura y volumen, calculados mediante el procedimiento de Smalian. Valores de 0,0972 m³ para árboles con 14,2 cm de diámetro y 12,0 m de altura; de 0,0978 m³ para árboles de 13,4 cm diámetro y 14,4 m altura. Para 17,7 cm de diámetro y 14,6 m de altura se registró un volumen de 0,1724 m³; para 19,4 cm de diámetro y 15,1 m de altura se registró un volumen de 0,1877 m³.

La Fundación Solar (2002), en sus cuadernos de trabajo de “Elementos Técnicos para Inventarios de carbono en Uso del Suelo”. Proyecto PROARCA/CAPAS e HIVOS, definió biomasa arriba del suelo como la compuesta por árboles, vegetación arbustiva y vegetación herbácea. Se estableció que el componente más importante para la valoración de la biomasa de un bosque, son los árboles y en sus investigaciones identificaron que la maleza, tiene muy baja contribución. El documento estableció que para tallos leñosos con diámetro mayor a 5,0 cm, la biomasa es expresada con una ecuación en función de altura y diámetro y sus combinaciones. Citando a McDicken (1997) definieron la necesidad de la obtención de tablas de biomasa locales para las especies forestales.

Gayoso (2001), en su trabajo presentado en el Taller Secuestro de Carbono llevado a cabo en Mérida, Venezuela, en 2001, indicó las acciones para desarrollar ecuaciones de biomasa y carbono de distintos bosques de Chile. Se estudiaron 14 especies y se estimaron biomasa y carbono con base a ensayos destructivos sobre 540 árboles. En los resultados se destacaron los bosques siempreverdes adultos, donde el carbono total alcanzó 606,80 MgC/ha, con

283,75 MgC/ha en la biomasa aérea; utilizaron el procedimiento de muestreo detallado en el Manual de Procedimientos para Muestras de Biomasa Forestal (Schlegel, *et al.*, 2000). Los contenidos de carbono se determinaron en laboratorio mediante oxidación, empleando una solución de dicromato de potasio en ácido sulfúrico y medido colorimétricamente. El contenido de carbono en la biomasa del bosque siempreverde resultó en todos los casos inferior al 50% señalado como valor por defecto por el IPCC (1996) e inferior a valores reportados por otros autores.

Perez&Kanninen (2002), en estudios en Costa Rica para conocer la biomasa aérea y total de *Pachira quinata* en plantaciones, realizó trabajos de campo en 9 unidades, en diferentes condiciones climáticas y diferente densidad de plantación (400 a 1600 árboles por hectárea), las parcelas de aproximadamente 56 árboles cada una, con edades entre 4 a 26 años la biomasa de fustes en promedio es de 35,0 Kg a 770 Kg y la biomasa total entre 41,7 Kg a 1127,0 Kg

Araujo *et al.*, (1998), para su estudio de aplicación de diferentes ecuaciones para el cálculo de biomasa en la región amazónica de Brasil, aprovecharon y pesaron 127 árboles de especies forestales. La tabla 9 registra las especies con mayores valores de biomasa.

Tabla 9. Biomasa por árbol para especies de la región amazónica de Brasil.

Especie	Diámetro (cm)	Altura (m)	Biomasa fuste (Kg)	Biomasa total (Kg)
<i>Enterolobium schomburgkii</i>	138	25	13834	30060
<i>Ceiba pentandra</i>	86	21	6507	18939
<i>Hymenolobium petraeum</i>	66	17	6445	14695
<i>Lauraceae</i>	67	18	5068	8517
<i>Terminalia catappa</i>	58	16	3609	6833
<i>Brosimopsis acutifolia</i>	56	24	4432	6133
<i>Euplassa pinata</i>	60	20	3466	5754
<i>Chrysophyllum sp.</i>	44	24	3683	5072
<i>Hancornia speciosa</i>	59	22	3532	4700
<i>Chrysophyllum sp.</i>	49	18	2673	3776
<i>Chrysophyllum sp.</i>	51	15	1841	3636
<i>Thalia geniculata</i>	41	18	2438	3521
<i>Chrysophyllum sp.</i>	41	21	2481	3408

Especie	Diámetro (cm)	Altura (m)	Biomasa fuste (Kg)	Biomasa total (Kg)
<i>Chrysophyllum mexcelsum</i>	48	20	2446	3281
<i>Chrysophyllum sp.</i>	37	11	1241	3175
<i>Manilkara amazónica</i>	36	21	2121	2991
<i>Ocotea neesiana</i>	40	12	1466	2613
<i>Fevillea uncipectala</i>	53	12	1242	2494
<i>Inga fagifolia</i>	26	9	1534	2377
<i>Protium heptaphyllum</i>	35	14	939	2169
<i>Chrysophyllum sp.</i>	29	15	1169	2072
<i>Eschweilera sp.</i>	28	16	1111	1980
<i>Licania heteromorpha</i>	30	13	664	1950
<i>Inga marginata</i>	28	15	778	1351
<i>Parahancornia amapa</i>	31	14	783	1304
<i>Eschweilera mata-mata</i>	27	11	570	1213
<i>Protium heptaphyllum</i>	26	12	641	1159
<i>Eschweilera mata-mata</i>	30	14	696	1111
<i>Protium heptaphyllum</i>	30	14	726	1108

Fuente: Araujo *et al.*, (1998)

Gayoso (2001), cita diversos estudios sobre valoración del contenido de carbono en los cuales se registró que según Barres (1993) citado por Lopera y Gutiérrez (2000) el contenido de carbono de coníferas está entre 50 y 53%, en especies de hoja ancha varía de 47 a 50%. Ortiz (1997) definió valores del 45% para bosques secundarios en Costa Rica.

Gaillard de Benítez *et al.*, (2000), en la investigación sobre biomasa aérea de quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*) en Argentina, analizó sobre las grandes diferencias en el número de árboles a evaluar que los distintos autores utilizan y reportó a González Doncel, (1989) que empleó 105 ejemplares de *Quercus pirenaica*, Deans *et al.*, (1996), trabajó con 14 árboles de cinco especies, Ter-Mikaelian y Korzukhin (1997) para ecuaciones de biomasa para 65 especies arbóreas en América del Norte, utilizó desde 4 hasta 734 árboles. En el estudio de Gaillard de Benítez *et al.*, (2000), trabajaron con 15 quebrachos blancos en cada uno de los dos sitios de evaluación, en diferentes clases diamétricas (10 a 20 cm, 20 a 30 cm, 30 a 40 cm, 40 a 50 cm y 50 cm o más). La tabla 10 registra los resultados de biomasa para el fuste y para el total del árbol.

Tabla 10. Biomasa por árbol, para *Aspidosperma quebracho-blanco* en Argentina.

	Clase diamétrica (cm)	Sitio 1 Biomasa Media (Kg)	Sitio 2 Biomasa Media (Kg)
Fuste	10 a 20	43,55	62,23
	20 a 30	96,48	88,50
	30 a 40	284,58	161,36
	40 a 50	381,16	264,74
	>50	693,53	450,15
Total	10 a 20	100,89	114,54
	20 a 30	340,65	287,06
	30 a 40	791,59	705,43
	40 a 50	1363,09	1200,51
	>50	1997,04	2335,72

Fuente: Gaillard de Benítez *et al.*, (2000)

Gaillard de Benítez *et al.*, (2000), establecieron comparación con resultados sobre biomasa de bosques, encontrados por Brown (1997) para zonas tropicales secas en los cuales no hay diferencias de valor de biomasa para árboles de 10,0 cm de diámetro. Para árboles con diámetro mayor a 50,0 cm, se calculó mayor valor de biomasa en este estudio, en el cual se registró valores entre 1885,0 Kg y 1617,0 Kg, valores muy diferentes encontrados para la zona seca de México, con 573,0 Kg y en la India con 1188,0 Kg.

En la investigación de Carolina Sans *et al.*, (2007), en Uruguay, como antecedente, reportó a Schlegel, *et al.*, (2002) que definió la biomasa forestal, expresada en toneladas por hectárea de peso verde o seco, como la estimación de materia orgánica existente en determinado ecosistema forestal, tanto aérea como subterránea. Para este estudio, se cuantificó biomasa total verde y seca como insumo para calcular la captación de carbono de las plantaciones forestales, mediante el ajuste de ecuaciones de biomasa aérea para *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus viminalis* y *Eucalyptus globulus ssp. Maidenii*, de 10 años de edad con densidad de 1250 árboles/ha. Se registraron valores para *E. globulus*

con diámetro de 23,0 cm de 210,0 Kg de biomasa; *E. grandis* con diámetro de 30,0 cm de 360,0 Kg de biomasa; *E. viminalis* con diámetro de 27,0 cm de 280,0 Kg de biomasa.

En la investigación de Higuchi *et al.*, (sf), en Brasil, para valorar el comportamiento de cuatro modelos para estimar biomasa, de los valores obtenidos, se reportó que para diámetros entre 5,0 cm y 120,0 cm, se obtuvo biomasa por árbol total entre 9,1 Kg a 25634,0 Kg, la tabla 11 registra estos resultados del banco de datos de 315 árboles y de los árboles seleccionados para estudios de nutrientes en este trabajo.

Tabla 11. Crecimiento y producción para grupos de especies forestales en Amazonas, Brasil.

	Base de datos de 315 árboles			Base de datos de 38 árboles para estudio de nutrientes		
	Media	Mínimo	Máximo	Media	Mínimo	Máximo
Diámetro (cm)	16	5	120	39,9	9,5	98
Altura (m)	17	5,6	41,4	28,8	11,4	41,4
Peso fuste (Kg)	476,3	4,5	12736,5	2147,4	48,7	12736,5
Peso total (Kg)	782,7	9,1	25634,4	3742,6	63,9	25634,4

Fuente: Higuchi *et al.* (sf),

En el trabajo de campo para la caracterización y cuantificación de la producción y comercialización de madera de bosques en el departamento de Antioquia, U.N. b (s.f.), se obtuvo información de árboles apeados, los cuales para diámetro promedio de 79,5 cm y altura de 19,3 m presentaron un volumen total comercial de 6,8750 m³, para 104,2 cm y 15,3 m, 10,6088 m³, para 47,0 cm y 12,0 m 1,3561 m³, para 128,5 cm y 12,0 m 8,7366 m³, para 52,9 cm y 13,0 m, 2,2399 m³ (diámetro, altura y volumen respectivamente).

8.2.2 Volumen y biomasa por arreglos y por unidad de área

La información generada sobre crecimiento en diámetro y altura y el empleo de estas variables para conocer la productividad

de los individuos de especies forestales a determinada edad, permite a su vez definir valores de productividad por área de los arreglos y expresarlo mediante una unidad de fácil comparación con investigaciones realizadas en América tropical y subtropical sobre la productividad de los sistemas y los bosques. En general, en la Amazonia colombiana se registra poca información sobre la producción por área de las especies utilizadas en sistemas agroforestales y sistemas de enriquecimiento forestal, sin embargo, se dan a conocer en este ítem, algunos reportes de productividad (volumen y biomasa) por hectárea de investigaciones realizadas en inventarios y valoración de aéreas de bosques naturales e intervenidos en América tropical y subtropical.

En el estudio de Arreaga (2002), en el bosque subtropical cálido, en Costa Rica (150 a 4000 msnm) con el objetivo de estimar área basal total y contenido de carbono en coberturas vegetales para dos diferentes unidades de manejo en una submuestra de 300 individuos se obtuvieron valores de biomasa de 57,08 ton/ha y 35,25 ton/ha. En una de las unidades de manejo valoradas se encontró valores de biomasa de los fustales de 195,06 ton/ha. Para el contenido de carbono se referencia por unidad de manejo valores de 104,8 ton/ha para el total del bosque, con un valor de 97,53 ton/ha para los fustales. Para una de las unidades de manejo se obtuvieron valores para los fustales (diámetro mayor a 25,0 cm) de 27,024 m²/ha de área basal y 179,4 m³/ha de volumen (utilizando la fórmula de volumen de FAO (UNEPET, 1992).

En el estudio de Arreaga (2002), en el bosque subtropical cálido, en Costa Rica con el objetivo de estimar área basal total y contenido de carbono en coberturas vegetales, en sus análisis previos reportó un cuadro resumen para inventarios forestales y valoración de biomasa en América Tropical y subtropical en las que se aplicaron metodologías destructivas y ecuaciones de regresión, en la tabla 12 está registrada una adaptación de esta información.

En el estudio de Arreaga (2002), en el bosque subtropical cálido, en Costa Rica se obtuvieron valores de biomasa de 57,08 ton/ha y 35,25 ton/ha.

Tabla 12. Comparación de Biomasa total por hectárea de coberturas de bosques.

Sitio de estudio	Biomasa (ton/ha)	Fuente
Brasil	309 - 563	Brown y Lugo (1992)
Brasil	112 - 376	
Brasil	144 - 513	Brown y Lugo (1992)
Brasil	320 - 402	Brown et al (1981)
Brasil	175 - 397	Brown y Lugo (1992)
Brasil	166 - 332	Brown y Lugo (1992)
Brasil	173 - 226	Fearnside (1992)
América tropical	180 - 260	Brown y Iverson (1992)
Malasia	288	Brown y Iverson (1992)
Costa Rica	243 - 292	Segura (1999)
Guatemala	78	Aguilar (2002)

Fuente: Arreaga (2002)

En el estudio de desarrollo de modelos alométricos para calcular biomasa y carbono realizado por Ribeiro (2010), en el INPA, se utilizó el modelo: $\text{Peso total de carbono en Kg} = a \cdot (b \cdot \text{diámetro}^c)$. Ribeiro presentó los valores de fijación de CO_2 para cada tipo de crecimiento de especies forestales (lento, medio y rápido). Los valores de CO_2 se obtuvieron a partir de las conversiones de: biomasa igual a carbono por 0,47; CO_2 igual a carbono por 3,6667. La tabla 13 registra la capacidad de fijación CO_2 para estas categorías de crecimiento.

Tabla 13. Capacidad de fijación CO_2 para diferentes categorías de crecimiento en bosques de Amazonia Brasileira.

Edad (años)	fijación de CO_2 (Kg/árbol)		
	crecimiento lento	crecimiento medio	crecimiento rápido
1	0,579	1,445	5,098
2	1,548	3,864	13,632
3	2,426	6,057	21,369
4	3,261	8,14	28,717
5	4,066	10,15	35,807
10	7,834	19,556	68,987
15	11,353	28,341	99,979
20	14,723	36,755	129,66

Fuente: Ribeiro Gabriel, 2010

En las investigaciones de U.N. (s.f.) se reportan algunos resultados previos: Cuartas (1993) registró biomasa por hectárea entre 57,146 ton/ha a 61,826 ton/ha, con diferentes ecuaciones. Hughes *et al.*, (1999) en México registró valores de biomasa total de 4,8 ton/ha a 287,0 ton/ha para edades de 0,5 años a 50 años. Estos autores reportaron biomasa aérea en bosques secundarios de 15 años entre 5,0 ton/ha y 100,0 ton/ha. En plantaciones de maderables en Puerto Rico, reportaron a los 4 años valores de biomasa de 40,0 ton/ha. Jordán (1978) para Amazonia, estableció un valor de biomasa total de 395,0 ton/ha y biomasa aérea de 335,0 ton/ha. Citando a Lopera & Gutiérrez (2000) en estudios en Antioquia, Colombia, registraron valores de biomasa de 97,0 ton/ha a 559,6 ton/ha para plantaciones sin manejo de *Pinus patula* con edades entre 6,5 a 29,6 años. Para plantaciones con manejo reportaron valores de 149,3 ton/ha a 437,8 ton/ha. Para encontrar los valores de carbono a partir de la biomasa, se citó a Ramírez, *et al.*, (1997) para Costa Rica que utilizó el factor de 0,50 multiplicado por la biomasa.

En la investigación de Universidad Nacional a (s.f.), a partir del cálculo del volumen por árbol obtenido de una muestra de 53 individuos de diferentes clases de diámetro, se realizó la extrapolación del volumen por hectárea para diferentes sitios y diferentes parcelas evaluadas. Se reportaron valores entre 122,9537 m³/ha a 20,8813 m³/ha. Para un segundo sitio de evaluación reportaron valores para diferentes parcelas de: 125,8732 m³/ha, 70,6757 m³/ha, 104,02958 m³/ha, 36,8343 m³/ha, 80,2255 m³/ha, en las parcelas de 1 a 5 de las 20 parcelas evaluadas.

La Fundación Solar (2002), en sus cuadernos de trabajo de “Elementos Técnicos para Inventarios de Carbono en Uso del Suelo”. Proyecto PROARCA/CAPAS e HIVOS citando a Fundación Solar (1999), reportó 145,0 ton/ha de carbono (con un rango de $\pm 15,0$ toneladas) en plantaciones forestales en Guatemala, en 1999, para árboles mayores a 5 años.

Otro aspecto del documento elaborado por La Fundación Solar (2002), estableció la determinación del carbono contenido en un arreglo agroforestal, trabajo realizado en 1998 por Winrock Internacional en doce parcelas en un arreglo cafetalero en Guatemala. Se obtuvieron valores de biomasa total para el arreglo con café de 85,0 ton de carbono por hectárea y se comparó con valores de

La Fundación Solar (2002) reportó 145,0 ton/ha de carbono (con un rango de $\pm 15,0$ toneladas) en plantaciones forestales en Guatemala

34,0 ton/ha para tierras degradadas y de 35,0 ton/ha para cultivos anuales. El documento analizó que el carbono adicional fijado por el arreglo agroforestal respecto a agricultura anual y tierras degradadas se encuentra en los árboles que conforman la sombra del arreglo agroforestal. También se estableció que el carbono en el suelo aumenta con el componente arbóreo del arreglo.

Gayoso (2001), en su trabajo presentado en el Taller Secuestro de Carbono, Mérida, Venezuela, en 2001, con el objeto de desarrollar ecuaciones de biomasa y carbono de distintos bosques de Chile, en sus resultados, definió que para los bosques nativos en la zona centro-sur de Chile existe alta variación del volumen por hectárea, debido a condiciones de sitio, estructura, composición de especies y estado sanitario del bosque. El carbono por hectárea, sin considerar el suelo, alcanzó de 190,0 Mg/ha a 600,0 Mg/ha para bosques adultos. Para los bosques adultos del Tipo Forestal Siempreverde, en los Andes, Donoso (1981) estimó un volumen comercial entre 320,0 m³/ha y 510,0 m³/ha y para renovales de la Cordillera de la Costa alrededor de 350,0 m³/ha. Mientras para los renovales del tipo Forestal Roble-Raulí-Coigüe señaló un rango de 200,0 m³/ha a 300,0 m³/ha.

En cuanto a la tasa de incremento anual, citan a Donoso (1993) para renovales de la especie canelo, con incrementos anuales en volumen de 2,93 m³ /ha/año a 17,9 m³ /ha/año y 9,21 m³/ha para renovales del tipo forestal Siempreverde costero. En plantaciones de *P. radiata*, un incremento medio anual de 5,8 MgC/ha/año

Ibrahim *et al.*, (2007), en su trabajo de investigación para valorar carbono y biomasa de paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua, tomaron muestras de suelo y se determinó el carbono orgánico y se midió el diámetro de todos los árboles, y la biomasa se calculó mediante ecuaciones alométricas. Los autores reportaron estudios de Brown,*et al.*, (1997) para el carbono de los bosques primarios y secundarios que indican la existencia entre 60,0 ton/ha y 230,0 ton/ha y entre 25,0 ton/ha y 190,0 ton/ha, respectivamente. Ibrahim,*et al.*, (2005), indicó que en sistemas agroforestales la biomasa total se encontraba entre 20,0 ton/ha hasta 204,0 t/ha.

Ibrahim *et al.*, (2007), presentaron resultados en Colombia de 158,7 ± 12,5 ton/ha de carbono en la biomasa aérea en los bos-

ques riparios. En Costa Rica para la especie forestal teca los valores de carbono corresponden a 92,4 ton/ha, los autores señalan que mediante comparación con investigaciones previas, los datos encontrados para teca se asemejan a algunos estudios en Panamá, donde se determinó un promedio de 104,5 ton/ha de carbono (Kraenzel, *et al.*, 2003); sin embargo, contrastan con lo encontrado en zona del Pacífico seco de Costa Rica, con valores entre 33,8 ton/ha y 37,9 ton/ha (Cubero & Rojas 1999), se estableció que este menor aporte obedeció a diferencias en la calidad de sitio, la edad y el tipo de manejo silvicultural aplicado a las plantaciones (De Camino, *et al.*, 2002).

Ibrahim *et al.*, (2007), establecieron que los bosques secundarios presentaron mayor almacenamiento de carbono en Nicaragua que el resto de los sistemas analizados (23,0 ton/ha). El estudio realizó comparaciones de contenido de carbono en la biomasa de bosques y establece similitud a lo reportado para biomasa de bosques tropicales (Orrego & Del Valle, 2003). Igualmente, señalan para bosques húmedos en Centroamérica, reportes de carbono entre 111,4 ton/ha a 137,8 ton/ha en Costa Rica (Segura, 1999); 145,6 ton/ha y 183,2 ton/ha en Nicaragua (Lagos & Venegas, 2003) y 104,80 ton/ha en Guatemala (Arreaga, 2002).

Cummings, *et al.*, (2001), en la investigación sobre biomasa y estructura de bosques tropicales en Brasil, encontró valores de biomasa total entre 288,0 Mg/ha a 346,0 Mg/ha para bosques abiertos, para bosques densos valores entre 298,0 Mg/ha a 533,0 Mg/ha y en ecotonos forestales valores de 298,0 Mg/ha a 422,0 Mg/ha. La biomasa media para árboles mayores de 10,0 cm de diámetro se ubicó en el rango de 239,0 Mg/ha a 307,0 Mg/ha de acuerdo al tipo de bosque. Los autores presentaron previamente valores de biomasa total obtenida de diferentes fuentes, entre los cuales sobresalió: Fernside (1992b) con media de 335,0 Mg/ha, Kauffman (1995) y Guild *et al.*, (1998) con un rango de 293,0 Mg/ha a 436,0 Mg/ha. En la región Amazónica en Brasil, Jordán & Uhl (1978) reportaron biomasa de 335,0 Mg/ha, siendo 100,0 Mg mayor que la media establecida para Amazonia. Los resultados de este estudio para diferentes tipos de bosque, diferentes parcelas, localización, variaron entre 287,0 Mg/ha a 534,0 Mg/ha. El valor medio para 20 bosques evaluados es de 341,0 Mg/ha.

Ibrahim *et al.*, (2007), establecieron que los bosques secundarios presentaron mayor almacenamiento de carbono en Nicaragua que el resto de los sistemas analizados

Araujo, *et al.*, (1998), en su estudio de aplicación de diferentes ecuaciones para el cálculo de biomasa en la región amazónica de Brasil, a partir de 127 árboles extrapolaron sus resultados a rendimiento por hectárea y obtuvieron un registro de 848,0 ton/ha para árboles con diámetro mayor de 10,0 cm. El estudio reportó valores de biomasa en otras regiones de la Amazonia brasilera de 290,0 ton/ha a 900,0 ton/ha (Klinge & Rodríguez, 1973; Brown *et al.*, 1992; Brown, *et al.*, 1995). Se reportó promedio biomasa para Amazonia de 327,0 ton/ha (Fearnside, 1994).

Higuchi, *et al.*, (s. f.), para el estudio de comportamiento de cuatro modelos para estimar biomasa en Brasil, utilizó un banco de datos de 315 árboles de diámetro mayor a 5,0 cm, para la región y presentó como antecedente de su investigación los diferentes reportes de valores de biomasa total en Amazonia brasilera. La tabla 14 registra esta información

Tabla 14. Registros de Biomasa total en Amazonia brasilera

Biomasa total (ton/ha)	Fuente
268,0	Brown y Lugo (1992a)
162,0	Brown y Lugo (1992a)
289,0	Brown y Lugo (1992a)
227,0	Brown y Lugo (1992a)
142,3	Fearnside (1982a)
319,9	Fearnside (1993)

Fuente: Higuchi *et al.*, (s. f.),

En la investigación desarrollada por Medina (2008), publicada por la Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua, en la Revista La Calera, para cuantificar el carbono en diferentes sistemas de cultivos y bosques en Nicaragua, se valoraron durante seis años, entre tres a cinco fincas por arreglo, con áreas mayores a una hectárea cada una. Se establecieron parcelas y se midió el número de individuos y especies, el diámetro (cm), la altura (m) y el diámetro basal. Los autores establecieron que la fijación de carbono en diferentes rangos, se atribuye a la densidad, diámetro, edad, especie y diversidad. En el estudio de Medina (2008), para plantaciones de pino de 6 años, se obtuvo un rango de 178,51 ton/ha a 260,19 ton/ha de carbono,

para otro de los sistemas, plantaciones con fines energéticos se obtuvo 161,3 ton/ha, este valor correspondió a incrementos medios de 2,79 a 5,45 ton/ha/año de carbono. En el arreglo de café ecoforestal se obtuvo valores de contenido de carbono en un rango de 121,78 ton/ha a 235,65 ton/ha. En el bosque seco con el manejo de la regeneración natural se obtuvo un rango de 93,70 ton/ha a 120,97 ton/ha, con un promedio de 106,74 ton/ha de carbono. En sistemas de plantaciones energéticas se reportó entre 119,0 ton/ha a 205,98 ton/ha, con un promedio de 153,1 ton/ha de carbono.

Perez (2005), en su estudio para la especie *Terminalia amazonia* en Costa Rica analizó económicamente una plantación de esta especie, de la cual existían en el año 2005 en este país cerca de 2282 hectáreas. Para su evaluación de costos e ingresos por aprovechamiento de la especie reportó un cuadro modelo de crecimiento anual. En la tabla 15 está registrada la información.

Tabla 15. Producción a diferentes edades de *Terminalia amazonia* en Costa Rica.

Años	Volumen total (m ³ /ha)	Volumen bruto (m ³ /ha)	Volumen comercial (m ³ /ha)
27	314,75	283,3	198,3
26	303,61	273,3	191,3
25	292,31	263,1	184,2
24	280,83	252,7	176,9
23	269,19	242,3	169,6
22	257,38	231,6	162,1
21	245,42	220,9	154,6
20	233,32	210	147
19	221,08	199	139,3
18	208,71	187,8	131,5
17	196,24	176,6	123,6
16	183,68	165,3	115,7
15	171,05	153,9	107,8
14	158,37	142,5	99,8
13	145,67	131,1	91,8
12	132,98	119,7	83,8
11	120,35	108,3	75,8
10	107,81	97	67,9

Fuente: Perez (2005)

Capítulo 2

Resultados crecimiento y rendimiento de arreglos agroforestales periodo 1995 y 2009

1. Resultados de arreglos agroforestales, establecidos en 1995 en la Inspección de Cerritos, El Retorno, Guaviare

1.1 Diámetro de especies forestales en arreglos agroforestales establecidos en la Inspección de Cerritos en 1995

Para este primer arreglo agroforestal analizado, denominado CERRITOS 1995, y para el grupo de arreglos agroforestales se estableció un primer análisis del crecimiento y el incremento del diámetro, para las especies forestales, para las edades entre 4 a 14 años.

En este desarrollo metodológico, se encontró para el diámetro a los 14 años de las especies forestales una tasa de crecimiento con una alta variabilidad, con un coeficiente de variación del 14%, información registrada en la tabla 16 de análisis de varianza del modelo que incluyó los factores de edad, arreglo y especies. La tabla 17 registra la prueba de comparación de Tukey para los diferentes arreglos evaluados a los 14 años. Para el diámetro medio considerando solamente la última medición realizada a la edad de

14 años, se presentaron diferencias significativas en los arreglos evaluados.

Las especies abarco y achapo, a los 14 años de edad, registraron diámetros promedios superiores a 34,0 cm, con un Incremento medio anual en el diámetro de 2,5 cm/año.

Los diámetros valorados y sus respectivos incrementos medios, para las especies abarco y Achapo, permiten obtener a los 20 años, proyecciones de 50,0 cm de diámetro

Estos valores se consideran como una tasa de crecimiento excelente y son superiores a los registrados en la Estación Experimental del Instituto en ensayos de crecimiento, donde se obtuvieron a los 14 años incrementos medios anuales de 1,9 y 1,8 cm/año para las especies abarco y achapo respectivamente.

Tabla 16. Análisis de varianza para el diámetro, arreglos agroforestales establecidos en Cerritos en 1995

Source	DF	SS	MS	F	P
Bloque	2	178,5	89,26	12,54	0,0000
Edad	10	5632,0	563,20	79,10	0,0000
Arreglo	12	17587,5	1465,63	205,83	0,0000
Bloque*Edad	20	52,1	2,60	0,37	0,9948
Edad*Arreglo	120	2146,0	17,88	2,51	0,0000
Error	245	1744,5	7,12		
Total	409				

Tabla 17. Prueba de comparación de Tukey para el diámetro, arreglos agroforestales establecidos en Cerritos en 1995

Arreglo	Valor medio	Grupos homogéneos
Cerritos 95 SAF 2	27,101	A
Cerritos 95 SAF 1	26,929	AB
Cerritos 95 SAF 3	23,457	B

Alpha 0,05

Standard Error for Comparison 1,4629 TO 1,6250

Critical Q Value 3,314

Critical Value for Comparison 3,4284 TO 3,8083

Para las especies milpo y macano, se registraron valores de incrementos medios de 1,7 y 1,5 cm/año, el macano en la Estación Experimental del Instituto, registró a los 14 años incremento medio anual en diámetro de 1,1 cm/año.

Estos valores medios del diámetro, de este primer arreglo analizado Cerritos 1995, son superiores a registros presentados por diversos autores para Brasil, Costa Rica, Honduras, Perú y Puerto Rico (Flores B. Ymber, *et al.*, 2004; Francis, John K. 1994; Fundación Hondureña de Investigación Agrícola, 2008; Montero M., M. CATIE. 2005, OFI-CATIE. sf., Piotto, Daniel. CATIE 2001; Saavedra, E. y Melo, O. A. , Solís C., M.; Moya R., R. Coseforma. 2001; Ribeiro G., 2010). En la tabla resumen presentada al final de este ítem, tabla 22 se registró estas comparaciones. Estos valores significativos de incremento medio en el diámetro, comparados con las evaluaciones registradas en la Estación Experimental, corresponden a la respuesta del arreglo a las condiciones de densidad y fertilidad natural; en estos arreglos agroforestales se establecen las especies forestales maderables a distancias de siembra entre los maderables de 8,0 m por 8,0 m, combinados con especies frutales entre los maderables. En la tabla 18, se registró para el total de las especies valoradas, el diámetro promedio en el periodo de medición de 1999 a 2009, que corresponde a las edades entre 4 y 14 años.

Tabla 18. Diámetro de especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare, edades entre 4 y 14 años.

Edad (años)	Diámetro (cm)					
	abarco	achapo	macano	milpo	nocuito	roble
4	17,5	15,1	12,2	9,0	5,0	7,5
5	19,7	17,7	13,9	11,0	6,0	8,9
6	22,0	20,5	15,8	13,3	7,0	10,8
7	24,1	22,4	16,9	15,1	7,5	11,9
8	25,8	24,2	17,7	16,6	8,0	12,7
9	27,5	25,9	18,5	18,1	8,5	13,4
10	29,0	27,5	19,0	19,5	8,9	13,9
11	30,9	29,7	19,8	21,0	9,4	14,6
12	32,5	31,6	20,1	21,9	9,5	14,8
13	33,7	32,9	20,7	22,8	9,7	15,2
14	35,2	34,4	21,3	23,9	10,1	16,0

Para el grupo de especies abarco, achapo, macano, milpo, nocuito y roble se construyó la distribución diamétrica de los individuos en las diferentes edades de evaluación

Para el grupo de especies abarco, achapo, macano, milpo, nocuito y roble se construyó la distribución diamétrica de los individuos en las diferentes edades de evaluación, esta se expresó en rangos de 10,0 cm por cada una de las clases de diámetro. En la tabla 19 y tabla 20, está registrado para el abarco y el macano su distribución diamétrica en porcentaje. Estos elementos de análisis son importantes porque permiten definir el número de individuos que alcanzan el diámetro mínimo de corta a la edad de aprovechamiento y permite el establecimiento de las condiciones para el manejo silvicultural de las especies. Los resultados establecieron que:

La especie abarco concentró a los 14 años de edad la mayor proporción de sus individuos (75%) en las clases diamétricas superiores a 30,0 cm;

La especie achapo a los 14 años de edad registró el mayor número de individuos en clases superiores a 20,0 cm, con un 88% y alcanzó el 67% de sus individuos en diámetros superiores a 30,0 cm;

La especie macano, a los 14 años de edad no registró diámetros menores a 10,0 cm, y el 60 % de sus individuos registró diámetros mayores a 30,0 cm.

Los promedios de crecimiento de abarco, achapo y macano, están directamente relacionados, además de las condiciones genotípicas de las especies, con la menor competencia entre las especies (el arreglo se estableció a distancias de 8,0 m por 8,0 m) y el manejo de las condiciones de fertilidad por el proceso de circulación de nutrientes en el arreglo, en el que contribuyen el Pancoger los tres primeros años y los frutales en todo el tiempo del arreglo. (En la figura 15, se registra la especie abarco en un arreglo agroforestal)

Una primera conclusión, con el análisis de la variable diámetro, confirmó lo resaltado en los resultados de la Estación Experimental del Instituto Sinchi, en donde:

Las especies abarco, achapo, macano y milpo, se constituyen en especies forestales importantes para su establecimiento en arreglos agroforestales productivos en la región norte amazónica.



Figura 15. Fotografía. Abarco establecido en arreglo agroforestal en Cerritos Guaviare.

Tabla 19. Distribución diamétrica para abarco en arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare, edades entre 4 y 14 años.

Clase diamétrica (cm)	Edad (años)										
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	Porcentaje de individuos de macano en cada clase diamétrica (%)										
0 - 9.9	13,5	12,5	12,5	11,6	11,6	10,5	9,5	7,4	7,4	7,4	6,3
10 - 19.9	53,1	32,3	15,6	11,6	9,5	9,5	9,5	9,5	7,4	7,4	6,3
20 - 29.9	31,3	47,9	58,3	56,8	45,3	31,6	24,2	18,9	18,9	14,7	12,6
30 - 39.9	0,0	5,2	11,5	17,9	29,5	40,0	46,3	49,5	44,2	44,2	37,9
40 - 49.9	2,1	2,1	2,1	0,0	2,1	6,3	8,4	12,6	16,8	20,0	29,5
50 - 59.9	0,0	0,0	0,0	2,1	2,1	2,1	1,1	0,0	3,2	4,2	5,3
60 - 69.9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	2,1	2,1	1,1	1,1
70 - 79.9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	1,1

Tabla 20. Distribución diamétrica para macano en arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare, edades entre 4 y 14 años.

	Edad (años)										
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Clase diamétrica (cm)	Porcentaje de individuos de macano en cada clase diamétrica (%)										
0 - 9.9	23,4	14,0	6,5	5,4	2,2	2,2	1,1	1,1	0,0	0,0	0,0
10 - 19.9	74,5	81,7	83,9	71,0	65,6	58,1	54,8	48,4	41,9	40,9	39,8
20 - 29.9	2,1	4,3	8,6	22,6	31,2	38,7	41,9	46,2	53,8	53,8	52,7
30 - 39.9	0,0	0,0	1,1	1,1	1,1	1,1	2,2	3,2	3,2	4,3	6,5
40 - 49.9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	1,1	1,1	1,1

En el análisis de las especies forestales, se definieron los modelos que expresan el crecimiento del diámetro en función de la edad en el periodo de medición de 1995-2009. Se encontraron regresiones ajustadas para las especies abarco, achapo, macano, milpo, nocuito y roble. En la tabla 21 se registran los diferentes modelos calificados. En la tabla 22 se presentan los parámetros de calificación de estas ecuaciones, además se registran las ecuaciones y parámetros empleados para la evaluación del mejor modelo de la variable diámetro en función de la edad para la especie abarco. Similar procedimiento se realizó para las especies forestales de este arreglo y para los otros dos arreglos valorados. En la tabla 23 quedaron registrados los parámetros de las mejores ecuaciones obtenidas para el conjunto de las especies forestales. Para la construcción de las ecuaciones se tomaron los datos promedios por especie, por edad, por bloque y se ensayaron diferentes modelos lineales y no lineales. Para la selección, se calificaron empleando los parámetros de R2, MSE Y AICc.

Tabla 21. Ecuaciones para especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare.

Numero	Ecuación
1	$Diámetro = a+b*Edad$
2	$Diámetro = a*Edad^b$
3	$Diámetro = a*Exp(b*Edad)$
4	$Diámetro = a+b/Edad$
5	$Diámetro = a+b*Ln(Edad)$
6	$Diámetro = Edad/(b+Edad)$
7	$Diámetro = 1/(a+b*Edad)$

Tabla 22. Parámetros de calificación de ecuaciones de diámetro en función de edad para abarco, en arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare.

	Ecuaciones						
	1	2	3	4	5	6	7
Residual SS (SSE)		115069	115945	117407	115361	115227	116972
Residual MS (MSE)	110,195	110,01	110,85	112,24	110,29	110,16	111,83
Standard Deviation	10,4974	10,488	10,528	10,595	10,502	10,496	10,575
Degrees of Freedom		1046	1046	1046	1046	1046	1046
AICc	4932	4930,2	4938,2	4951,3	4932,9	4931,6	4947,4
Pseudo R-Squared	0,2179	0,2193	0,2133	0,2034	0,2173	0,2182	0,2064
Adjusted R-Squared	0,2172						
PRESS	115704						

Tabla 23. Parámetros de calificación de ecuaciones de diámetro en función de edad para especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare.

	Especie					
	abarco	achapo	macano	milpo	nocuito	roble
Residual SS (SSE)	115069,0		23565,0	8127,9	5939,5	19820,0
Residual MS (MSE)	110.01	55,5662	21,1350	23,2890	16,9220	24,3200
Standard Deviation	10,4880	7,4543	4,5973	4,8259	4,1136	4,9315
Degrees of Freedom	1046		1115	349	351	815
AICc	4930,2	4937,6	3411,9	1109,0	1002,6	2611,3
R-Squared		0,5607				
Adjusted R-Squared		0,5603				
Pseudo R-Squared	0,2193		0,3153	0,491	0,1382	0,1971
PRESS		68297				

Para cada una de las especies a los 14 años de edad (medición de 2009) se obtuvieron los valores medios y el error estándar para el diámetro; con estos valores medios medidos y con el crecimiento proyectado de acuerdo con la ecuación de diámetro en función de la edad se construyeron las gráficas de crecimiento para cada una de las especies, en la figura 16 se registran el crecimiento en diámetro de las especies evaluadas en este arreglo.

En este análisis del diámetro de las especies forestales establecidas en arreglos agroforestales en Cerritos en 1995, se infiere sobre las condiciones de poca variabilidad entre los arreglos para especies como abarco, acacio, achapo, macano y roble.

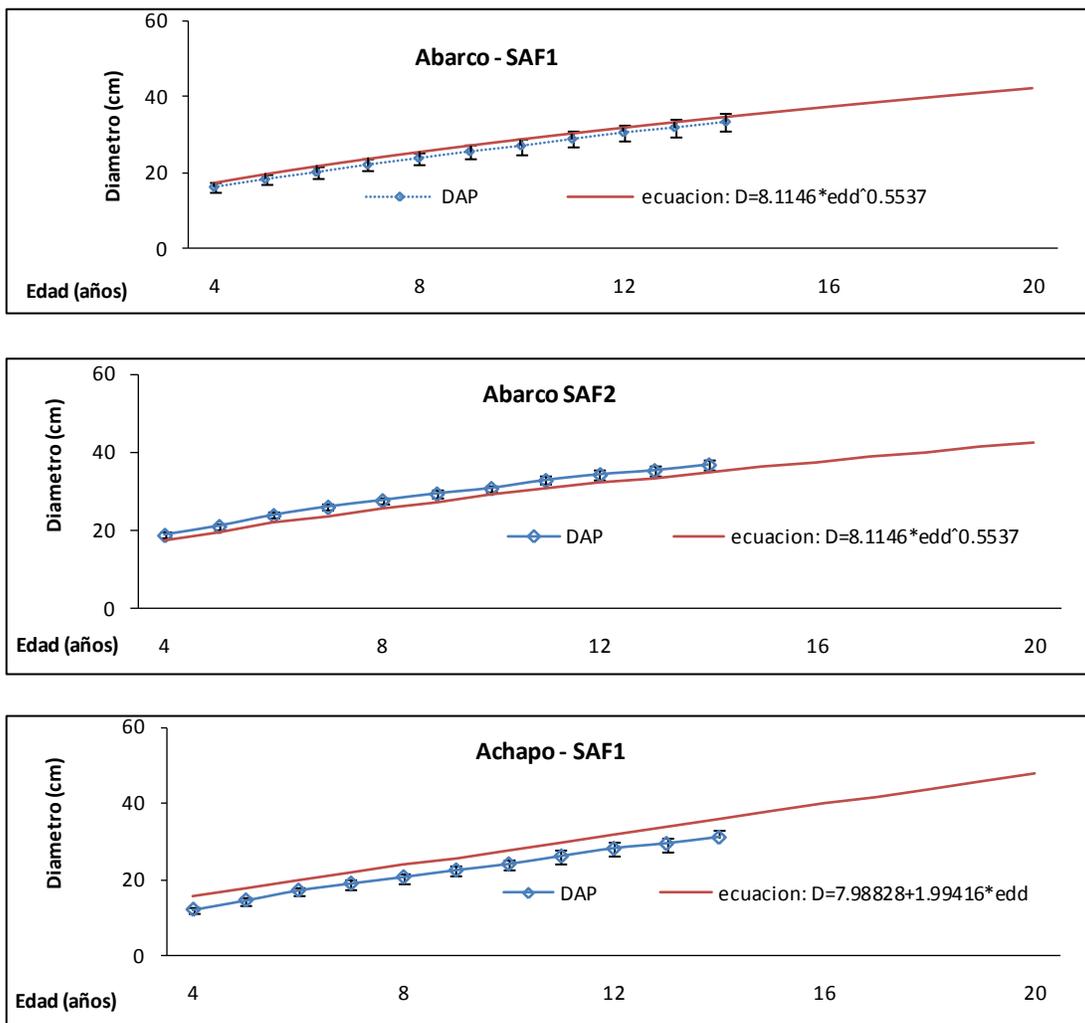
La especie abarco a los 14 años de edad registró valores medios de diámetro de 33,5 cm y 36,9 cm en los dos arreglos valorados.

La especie acacio aunque de menor tasa de crecimiento, reportó igualmente crecimiento en diámetro homogéneo a los 14 años de edad.

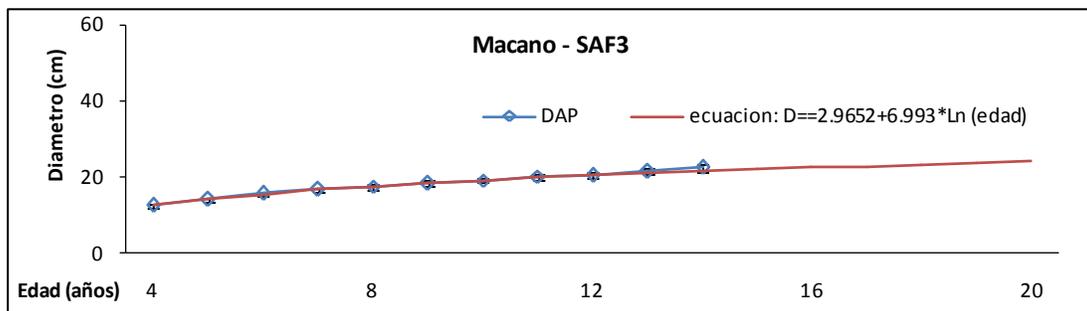
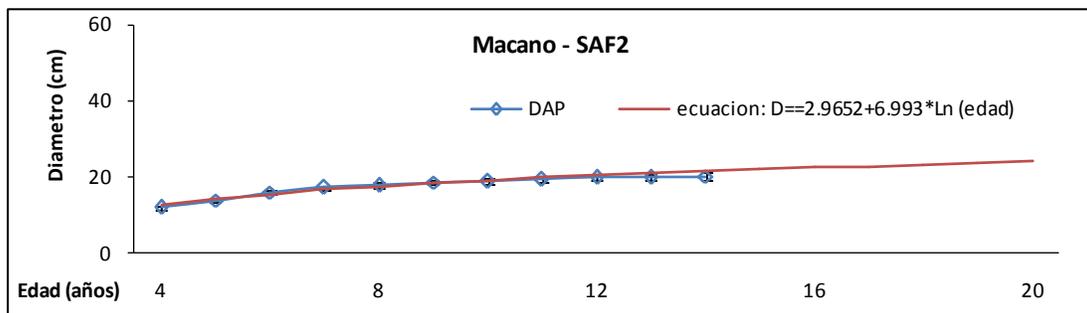
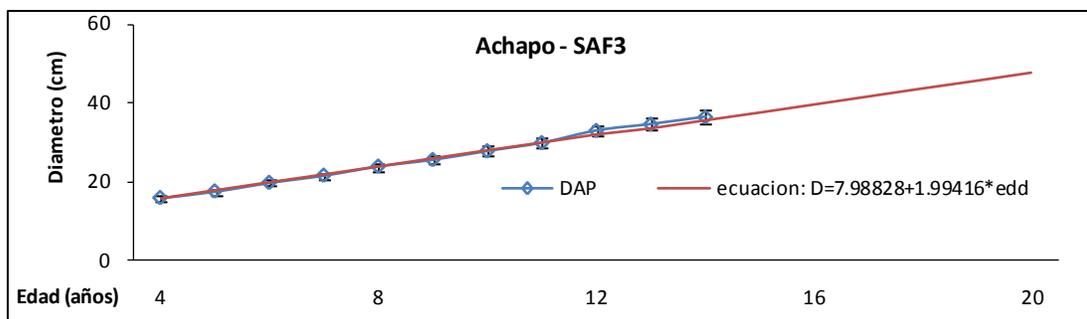
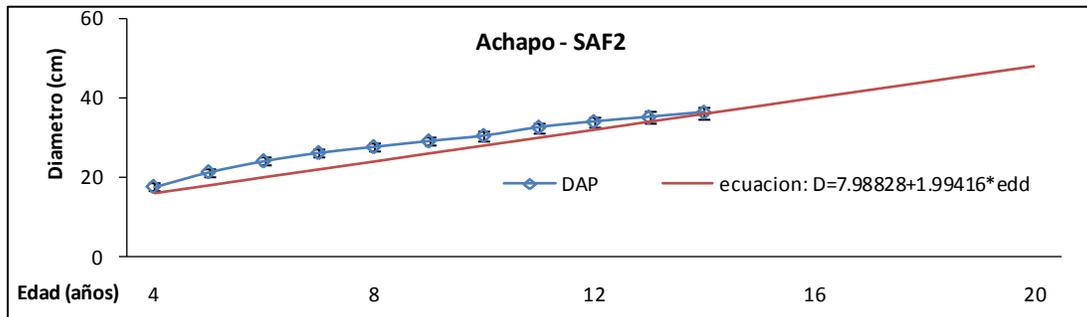
La especie achapo presentó valores medios de 31,2 cm, 36,5 cm y 36,5 cm en los tres arreglos evaluados a los 14 años de edad.

La especie achapo registró a los 14 años de edad incrementos medios en diámetro de 2,6 cm/año y su proyección a los 20 años registró tasas incremento medio de 2,4 cm/año.

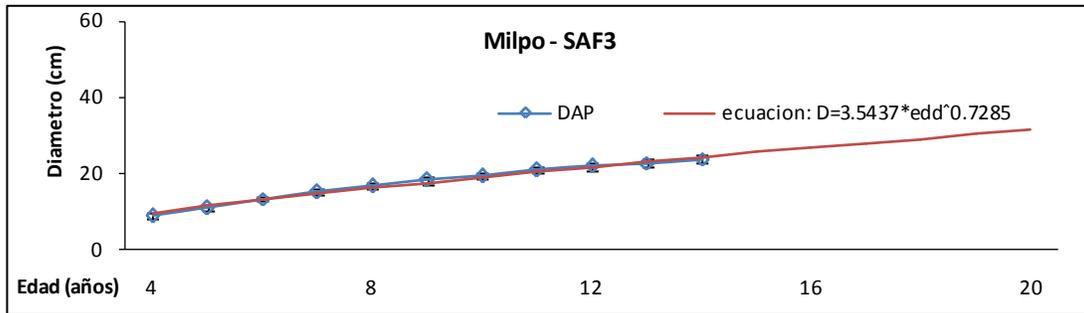
Figura 16. Diámetro, edades 4 a 20 años de especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare.



Continuación Figura 16



Continuación Figura 16



Los marcadores representan el valor promedio real medido.

Las líneas que acotan el valor promedio corresponden al error estándar.

La línea roja es construida con los valores obtenidos del modelo de regresión.

SAF: Arreglo agroforestal

La especie forestal nativa de mayor importancia regional, el achapo, manifiesta su capacidad de adaptación a las diferentes condiciones medioambientales y su grado de asociación con diferentes especies forestales. Su tasa de crecimiento presentó una tendencia lineal y con crecimiento homogéneo en los diferentes sistemas evaluados.

Con las proyecciones del crecimiento del diámetro en función de la edad, para el grupo de especies forestales valoradas, se obtuvieron diámetros a los 20 años de edad de 42,6 cm para el abarco, de 47,9 cm para el achapo y de 31,4 cm para el milpo. Estas proyecciones son presentadas en la tabla 24.

Con las proyecciones del crecimiento del diámetro se obtuvieron diámetros a los 20 años de edad de 42,6 cm para el abarco

La proyección de crecimiento en diámetro del macano con la ecuación construida en función de la edad, presentó un valor muy bajo, que define acciones importantes orientadas hacia el manejo de esta especie. Sin embargo, por las observaciones de campo realizadas durante el periodo de evaluación, se analizó que esta especie tiene un crecimiento rápido en altura superior al grupo de las especies que conformaron el arreglo productivo, pero la especie fue afectada por los fuertes vientos de la región y los individuos presentaron problemas como partición de sus fustes y el proceso de recuperación hizo que las tasas de crecimiento fueran posteriormente menores.

Estas proyecciones del diámetro en función de la edad, permitieron definir a los 20 años al grupo de las especies que logran alcanzar los diámetros mínimos de cortabilidad en las condiciones medioambientales establecidas.

Se analizó que las especies abarco y achapo, en todos los arreglos establecidos superan a los 20 años de edad el diámetro de corta.

Con los valores obtenidos de incrementos anuales para la especie milpo, se alcanza a superar los 40,0 cm de diámetro a los 28 años de edad.

Los resultados del crecimiento diamétrico, establecieron la necesidad de la realización de un plan de manejo silvicultural para las especies milpo, macano nocuito y roble, que logran mediante la aplicación de este plan el mejoramiento de sus tasas de crecimiento anual.

las especies abarco y achapo, en todos los arreglos establecidos superan a los 20 años de edad el diámetro de corta.

Tabla 24. Diámetro de especies forestales en arreglos productivos agroforestales, Cerritos Guaviare.

		Edad (años)				
		4	14	14	14	20
Especie	Arreglo	Diámetro (cm)	Diámetro (cm)	Incremento medio anual en diámetro (cm)	Promedio diámetro (cm)	Proyección Diámetro (cm)
abarco	SAF 1	16,2	33,5	2,4	35,2	42,6
	SAF 2	18,9	36,9	2,6		
acacio	SAF 1	4,9	15,9	1,1	14,4	
	SAF 2	12,6	12,9	0,9		
achapo	SAF 1	12,1	31,2	2,2	34,7	47,9
	SAF 2	17,7	36,5	2,6		
	SAF 3	15,7	36,5	2,6		
macano	SAF 2	12,0	20,2	1,4	21,3	23,9
	SAF 3	12,4	22,4	1,6		
milpo	SAF 3	9,0	23,9	1,7	23,9	31,4
nocuito	SAF 1	5,0	10,1	0,7		13,2
roble	SAF 2	7,4	14,7	1,1	14,7	23,8
	SAF 3	7,8	17,7	1,3	17,7	

SAF: Arreglo agroforestal

1.2 Altura de especies forestales en arreglos agroforestales, establecidos en la Inspección de Cerritos en 1995

Para la variable altura, en las edades entre 4 y 14 años, se registraron valores con diferencia significativa para las diferentes especies. Sin embargo, se registró menor variabilidad a la registrada para el diámetro. Se estableció de acuerdo con los parámetros de calificación estadística, presentados en la tabla 25, que el comportamiento más homogéneo, expresado como la menor desviación estándar fue el de la especie milpo y la de mayor variabilidad fue el abarco con 5,3 m de desviación respecto a la media, no obstante, como quedó establecido en el análisis de crecimiento, la especie abarco fue la de mayor respuesta y su variabilidad es explicada por la presencia de individuos en las primeras clases de diámetro (entre 0,1 y 10,0 m) e individuos con los mayores registros de altura a los 14 años, con 30,3 m.

Tabla 25. Parámetros de calificación estadística para altura, edad 14 años, para especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare.

	abarco	achapo	macano	milpo	nocuito	roble
Numero Arboles	95	93	93	31	27	69
Promedio	23,2	22,2	17,2	15,4	10,1	13,1
Desviación Estándar	5,3	4,0	3,4	2,7	4,0	3,6
Varianza	28,5	15,7	11,7	7,6	16,2	12,8
Error Estándar	0,55	0,41	0,35	0,49	0,78	0,43
C.V	0,23	0,18	0,20	0,18	0,40	0,27
Mínimo	2,5	11,4	10,0	9,5	3,5	5,8
Máximo	30,3	29,4	26,7	20,3	19,2	23,7

En este análisis de la variable altura para las especies forestales abarco, achapo, macano, milpo, nocuito y roble, en los 14 años de evaluación, se presentó una tasa de crecimiento con menor variabilidad que la presentada con el diámetro, registrando para la altura un coeficiente de variación del 10% y con diferencias significativas, de acuerdo con el análisis de varianza realizado, entre los arreglos y la edad. En la figura 17 fue registrada la especie macano establecida en arreglo agroforestal en fincas de productores de la

Inspección Cerritos en 1995. En la tabla 26 se registró el análisis de varianza para las variables altura, biomasa y volumen de este ensayo denominado Cerritos 95.

Tabla 26. Análisis de varianza para las variables altura, biomasa y volumen de los arreglos agroforestales establecidos en Cerritos en 1995

Variable		Fuente de variación				
		bloque	Edad	Arreglo	bloque*Edad	Edad*Arreglo
Altura	Grados de libertad	2	13	12	26	156
	F calculado	1.83 **	600.47 **	236.44 **	0.33	4.50 **
Biomasa	Grados de libertad	2	10	12	20	120
	F calculado	2.49	101.98 **	199.93 **	0.28 **	5.71 **
Volumen	Grados de libertad	2	10	12	20	120
	F calculado	1.75	94.10 **	177.55 **	0.22	6.93 **

Figura 17. Fotografía. Macano establecido en arreglo agroforestal en Cerritos Guaviare.



Con la ecuación de altura en función de la edad generada en el análisis, se proyectaron para el abarco y el achapoa los 20 años de edad valores de altura superiores a 30,0 metros

En el análisis de la variable altura para este grupo de especies forestales establecidas en 1995 en la Inspección de Cerritos, de manera similar a lo ocurrido con el diámetro, en la última medición realizada a los 14 años de edad, aunque existen diferencias significativas en los arreglos agroforestales (Prueba de Tukey realizada con un alfa del 0,05), dos de los arreglos se comportaron estadísticamente similares. De acuerdo con la prueba de comparación se establecieron dos grupos: arreglo agroforestal SAF1 y arreglo agroforestal SAF2, conformando el grupo de Tukey A y el arreglo agroforestal SAF3 conformando el grupo de Tukey B. En la Tabla 27, se registraron los valores medios para las especies evaluadas en diferentes sistemas establecidos en la Inspección de Cerritos, El Retorno, en 1995.

La evaluación por especie forestal, para la variable altura, definió el excelente crecimiento del abarco y el achapo, que respondieron muy bien a las condiciones del arreglo y presentaron valores de altura promedio superiores a 22,0 m, a los 14 años de edad, con un incremento medio anual en altura de 1,5 m/año.

Con la ecuación de altura en función de la edad generada en el análisis, se proyectaron para el abarco y el achapoa los 20 años de edad valores de altura superiores a 30,0 metros, que se constituyen en un factor clave para la selección de estas especies para la conformación de arreglos productivos basados en los importantes registros de la acumulación del volumen y de la biomasa registrados.

Para la variable altura, se definió un segundo grupo de importancia con las especies macano y milpo, con valores de altura promedio a los 14 años de edad entre 15,0 m y 17,0 m, que a su vez expresaron un incremento medio anual superior a 1,1 m/año. Por las observaciones en campo, sobre el manejo que establecen los productores en sus fincas de los arreglos productivos agroforestales, es posible, mediante el empleo de técnicas y tratamientos silviculturales el mejoramiento del ritmo de crecimiento de este grupo de especies que registraron estos incrementos medios promedio de 1,1 m/año en altura.

Este análisis de la altura, permitió consolidar el grupo de especies: abarco, achapo, macano y milpo como las más promisorias y validaron el proceso de fomento iniciado en la región norte amazónica.

Tabla 27. Altura de especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare.

		Edad (años)				
		4	14	14	14	20
Especie	Arreglo	Altura (m)	Altura (m)	Incremento medio anual altura (m/año)	Promedio altura (m)	Proyección Altura (m)
abarco	SAF 1	9,6	21,9	1,6	23,2	30,1
	SAF 2	10,4	24,6	1,8		
acacio	SAF 1	5,2	17,3	1,2	14,7	
	SAF 2	8,5	12,0	0,9		
achapo	SAF 1	8,8	21,1	1,5	22,1	31,8
	SAF 2	10,3	23,2	1,7		
	SAF 3	10,2	22,0	1,6		
macano	SAF 2	9,6	17,2	1,2	17,2	18,3
	SAF 3	9,7	17,3	1,2		
milpo	SAF 3	5,9	15,4	1,1	15,4	21,0
nocuito	SAF 1	5,0	10,1	0,7	10,1	14,1
roble	SAF 2	6,0	13,3	0,9	13,3	16,3
	SAF 3	6,1	12,8	0,9	12,8	

SAF: Arreglos agroforestales

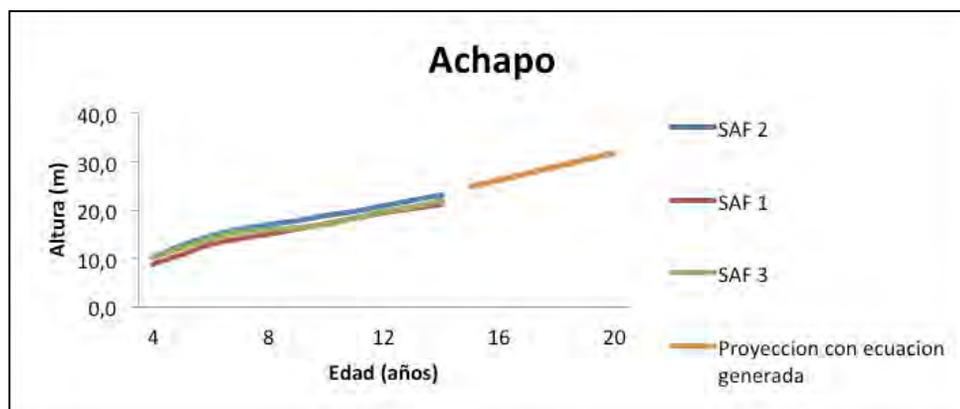
Para la altura se construyeron las ecuaciones que expresaron su crecimiento en función de la edad, con la metodología señalada previamente; en la tabla 28 están registradas las ecuaciones generadas. Similar al comportamiento del diámetro, las especies abarco y achapo registraron los modelos más ajustados de proyección y reflejaron el comportamiento en el arreglo de estas dos especies, de gran importancia para el establecimiento en los sistemas productivos. En la figura 18, para la especie achapo, quedaron registrados los valores medios de altura y la proyección de crecimiento hasta los 20 años, considerada como la edad de aprovechamiento. En la tabla 29, similar a lo realizado para el diámetro, se estableció un cuadro comparativo con algunos reportes de crecimiento en altura de estudios en América tropical y subtropical

Tabla 28. Parámetros de calificación de ecuaciones para especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare.

Numero	Ecuación	Ecuación seleccionada para las especies
1	Altura = a+b*Edad	achapo
2	Altura = a*Edad^b	abarco, milpo, nocuito, roble
3	Altura = a*Exp(b*Edad)	
4	Altura = a+b/Edad	
5	Altura = a+b*Ln(Edad)	macano
6	Altura = a*Edad/(b+Edad)	
7	Altura = 1/(a+b*Edad)	
8	Altura = a*Edad^(b*Edad)	

	Especie					
	abarco	achapo	macano	milpo	nocuito	roble
Residual SS (SSE)	18957,0		7458,7	1875,3	3120,6	7296,2
Residual MS (MSE)	14,2110	9,1677	5,3238	40,2420	63,4260	68,5730
Standard Deviation	37,6970	3,0278	23,0730	2,0060	2,5185	2,6186
Degrees of Freedom	1334		1401	466	492	1064
AICc	3549,8	3569,0	2350,1	655,7	916,6	2056,4
R-Squared		0,8458				
Adjusted R-Squared		0,8457				
Pseudo R-Squared	0,7228		0,7611	0,8372	0,5506	0,6323
PRESS		14763				

Figura 18. Altura de achapo en arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare, edades entre 4 a 20 años.



SAF: arreglos agroforestales

Tabla 29. Comparación de incrementos médios anuales en diámetro y altura para especies forestales.

Tipo	Arreglo en este estudio	País	NC	Incremento medio anual en diámetro (cm/año)	Incremento medio anual en altura (m/año)	EDAD (años)	Referencia
5	CERRITOS 1995 SAF 2	1	<i>Cariniana pyriformis</i>	2,6	1,8	14	17
5	CERRITOS 1995 SAF 2	1	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	2,6	1,7	14	17
5	CERRITOS 1995 SAF 3	1	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	2,6	1,6	14	17
5	CERRITOS 1995 SAF 1	1	<i>Cariniana pyriformis</i>	2,4	1,6	14	17
5	CERRITOS 1995 SAF 1	1	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	2,2	1,5	14	17
4		2	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	1,8		14	16
5	CERRITOS 1995 SAF 3	1	<i>Erismia uncinatum</i>	1,7	1,1	14	17
5	CERRITOS 1995 SAF 3	1	<i>Terminalia amazonia</i>	1,6	1,2	14	17
5	CERRITOS 1995 SAF 2	1	<i>Terminalia amazonia</i>	1,4	1,2	14	17
4		2	<i>Bagassa guianensis</i>	1,4		14	16
4		2	<i>Goupia glabra</i>	1,4		14	16
4		2	<i>Carapa guianensis</i>	1,4		14	16
4		2	<i>Jacaranda paraensis</i>	1,3		14	16
4		2	<i>Clarisia racemosa</i>	1,3		14	16
5	CERRITOS 1995 SAF 3	1	<i>Tabebuia rosea</i>	1,3	0,9	14	17
5	CERRITOS 1995 SAF 1	1	<i>Acacia auriculiformis</i>	1,1	1,2	14	17
5	CERRITOS 1995 SAF 2	1	<i>Tabebuia rosea</i>	1,1	0,9	14	17
4		2	<i>Calophyllum brasiliense</i>	1		14	16
4		2	<i>Scleronema micranthum</i>	0,9		14	16
4		2	<i>Caryocar villosum</i>	0,8		14	16
4		2	<i>Dipteryx odorata</i>	0,8		14	16
4		2	<i>Pithecelobium racemosum</i>	0,7		14	16
5	CERRITOS 1995 SAF 1	1	<i>Vitex orinocensis</i>	0,7	0,7	14	17
4		2	<i>Aniba duckei</i>	0,7		14	16
4		2	<i>Copaifera multijuga</i>	0,6		14	16
4		2	<i>Mezila urusitauba</i>	0,6		14	16
4		2	<i>Ocotea rubra</i>	0,6		14	16
4		2	<i>Aniba canelilla</i>	0,5		14	16
4		2	<i>Cedrela odorata</i>	0,5		14	16
4		2	<i>Andira parviflora</i>	0,4		14	16
4		2	<i>Tabebuia serratifolia</i>	0,3		14	16

Referencia. 16: Ribeiro G., 2010, 17: Este estudio.

Tipo. 4: Plantación pura, 5: Agroforestal, 6: Enriquecimiento.

País. 2: Brasil, 1: Colombia.

SAF: arreglos agroforestales

en diámetro de las especies abarco, achapo, macano y milpo asociadas con los frutales arazá y borojó, se registró a los 14 años de edad valores de diámetro promedio de 24,9 cm, de 27,1 cm a de 25,1 cm

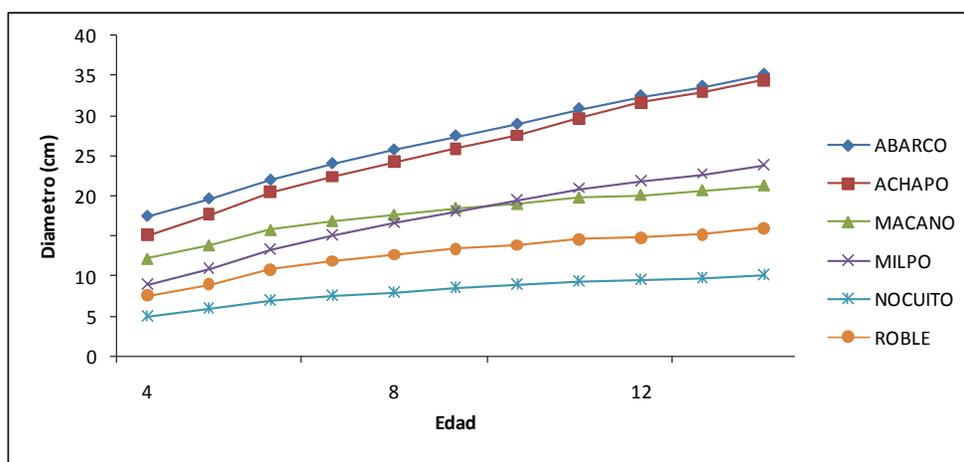
1.3 Área basal de especies forestales en arreglos agroforestales, establecidos la Inspección de Cerritos en 1995

Para las especies forestales establecidas en arreglos productivos agroforestales en 1995 en la Inspección de Cerritos, El Retorno, Guaviare, se analizó el excelente comportamiento en diámetro de las especies abarco, achapo, macano y milpo asociadas con los frutales arazá y borojó. Específicamente, se registró para estas especies, a los 14 años de edad valores de diámetro promedio de 24,9 cm para el arreglo SAF 1, de 27,1 cm para el SAF 2 y de 25,1 cm para el SAF 3.

Para cada arreglo productivo agroforestal y para las diferentes especies a la edad de 14 años considerando el número de individuos que permanecieron, se expresó el área basal como un indicador de crecimiento y que además permitió la definición de las acciones silviculturales de entresaca del arreglo. En este análisis del área basal, para el arreglo agroforestal SAF 1 se obtuvo un valor de 8,62 m² / 1,5 ha; el SAF 2 y el SAF 3, registraron valores respectivamente de 12, 20 m² / 1,5 ha y 6,00 m² / 1,5 ha. Para el arreglo SAF 1, se estableció que el abarco contribuyó con el 58,8% del área basal, el achapo con el 38,2% y el nocuito solamente aportó el 3,0%, este indicador reflejó la permanencia de los individuos de las diferentes especies forestales, y se observó la baja permanencia de individuos de la especie nocuito en el arreglo.

Para la variable diámetro en la evaluación a los 14 años de edad, los diferentes arreglos analizados registraron incrementos medios anuales superiores a 1,8 cm/año, valores de gran significado, que como se mencionó previamente permiten la definición de las acciones de manejo silvicultural y además, brindan los criterios más importantes para la cuantificación de la producción. En la figura 19 se representa el comportamiento en diámetro para cada uno de las especies valoradas en los diferentes arreglos evaluados. Nuevamente se resalta el crecimiento en este tipo de arreglos agroforestales de la especie nativa achapo, de gran demanda en el mercado local de la madera, la cual se ha considerado como una especie importante para su conservación, ya que su explotación en las áreas boscosas naturales la ha colocado en peligro de desaparición.

Figura 19. Diámetro de especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare, edades entre 4 y 14 años



1.4 Volumen y biomasa de especies forestales y arreglos agroforestales establecidos en la Inspección de Cerritos en 1995

1.4.1 Volumen por árbol de especies forestales en arreglos agroforestales establecidos en la Inspección de Cerritos en 1995

Para las especies forestales establecidas en los arreglos productivos agroforestales en la Inspección de Cerritos, El Retorno, Guaviare, se obtuvo por ensayos y por especie los valores para la variable volumen por árbol y su respectivo incremento medio anual calculado para las edades entre 4 y 14 años; se construyeron los gráficos correspondientes del volumen en función de los datos medidos del diámetro y la altura. Igual metodología se utilizó para realizar las proyecciones para las edades entre 15 y 20 años. En la tabla 30 y tabla 31 están registrados estos resultados. Con esta información, se elaboró un gráfico resumen del crecimiento para cada una de las especies evaluadas. En la figura 20 se registró el comportamiento del volumen medio por árbol para las especies abarco, achapo, macano, nocuito, milpo y roble.

Tabla 30. Volumen medio por árbol de especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare.

		Edad (años)				
		4	14	14	14	20
Especie	Arreglo	Volumen (m ³)	Volumen (m ³)	Incremento medio anual volumen (m ³ /ha)	Promedio volumen (m ³)	Proyección Volumen (m ³)
abarco	SAF 1	0,1434	1,1723	0,0837	1,1776	1,7975
	SAF 2	0,1581	1,1829	0,0845		
acacio	SAF 1	0,0343	0,167	0,0119	0,1332	
	SAF 2	0,084	0,0993	0,0071		
achapo	SAF 1	0,0807	0,856	0,0611	1,0045	2,3877
	SAF 2	0,157	1,1373	0,0812		
	SAF 3	0,1131	1,0201	0,0729		
macano	SAF 2	0,0769	0,2889	0,0206	0,3196	0,3646
	SAF 3	0,0807	0,3503	0,025		
milpo	SAF 3	0,0449	0,3477	0,0248	0,3477	0,6957
nocuito	SAF 1	0,0322	0,0821	0,0059	0,0821	0,1055
roble	SAF 2	0,039	0,1411	0,0101	0,1411	0,3226
	SAF 3	0,0437	0,2064	0,0147		

SAF: arreglos agroforestales

Tabla 31. Volumen medio por árbol para abarco y achapo, en arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare, edades entre 4 y 14 años

Edad (años)	Volumen (m ³ /árbol) - abarco				Volumen (m ³ /árbol) - achapo					
	SAF 1	SE	SAF 2	SE	SAF 1	SE	SAF 2	SE	SAF 3	SE
4	0,143	0,02	0,158	0,011	0,081	0,007	0,157	0,014	0,113	0,008
5	0,206	0,029	0,22	0,016	0,118	0,011	0,236	0,019	0,155	0,012
6	0,281	0,038	0,316	0,021	0,175	0,018	0,334	0,026	0,212	0,016
7	0,369	0,047	0,413	0,026	0,23	0,025	0,425	0,031	0,274	0,022
8	0,459	0,059	0,492	0,031	0,285	0,032	0,491	0,035	0,344	0,038
9	0,557	0,07	0,578	0,035	0,351	0,04	0,563	0,039	0,404	0,045
10	0,654	0,081	0,67	0,041	0,429	0,05	0,647	0,045	0,486	0,054
11	0,778	0,097	0,81	0,05	0,529	0,063	0,779	0,055	0,592	0,066
12	0,918	0,116	0,929	0,057	0,649	0,079	0,893	0,065	0,766	0,127
13	1,039	0,132	1,038	0,063	0,736	0,09	1,005	0,076	0,867	0,088
14	1,172	0,144	1,183	0,072	0,856	0,108	1,137	0,088	1,017	0,107

SAF: arreglos agroforestales

SE: Error Estandar

Considerando estos elementos de análisis, se estableció la preponderancia de los resultados obtenidos para:

La especie abarco con un volumen promedio de 1,17 m³ por árbol a los 14 años de edad en dos arreglos evaluados,

La especie achapo con registros de volumen de 0,86 m³ 1,14 m³ y 1,02 m³ por árbol a los 14 años de edad en tres sistemas evaluados.

Se establecieron proyecciones del volumen a la edad de aprovechamiento forestal, para el caso del abarco y el achapo a los 20 años de edad, proyectando un volumen por árbol de 1,8 m³ y 2,4 m³.

Se estableció que los valores de volumen para el achapo obtenidos con los registros medidos de las variables diámetro y altura se ajustaron mejor a la ecuación generada y esto permitió que en la proyección a los 20 años de edad, la obtención de mayor volumen que la registrada para la especie abarco a esa similar edad proyectada.

La importancia de conocer el volumen por árbol de las diferentes especies establecidas en arreglos agroforestales, radica en el conocimiento de la oferta total de volumen de madera por hectárea, dependiendo del número de árboles establecidos; para estos arreglos de la Inspección de Cerritos establecidos en 1995, se presentan en el ítem respectivo, los valores por hectárea del volumen de madera a los 14 años de edad y la proyección a los 20 años de edad y los respectivos cálculos de los ingresos por la venta de la madera.

Se determinó un segundo grupo de especies maderables, macano y milpo, que a la edad de aprovechamiento a los 28 años de edad registraron en proyección volúmenes entre 0,5 m³ y 1,3 m³ respectivamente.

Estos valores para macano y milpo, aunque de menor magnitud que los registrados para las especies abarco y achapo, si contribuyen a la cantidad de madera obtenida en los arreglos productivos, en especial porque éstas especies registraron altos valores de permanencia en el tiempo.

Para las especies nocuito y roble, aunque registraron valores superiores a los obtenidos en los ensayos evaluados en la Estación Experimental del Instituto Sinchi, no alcanzaron volúmenes aprovechables a la edad de corta señaladas para los dos grupos de especies anteriormente mencionadas. Para estas especies, como se refirió en los análisis de diámetro y altura, es necesario establecer

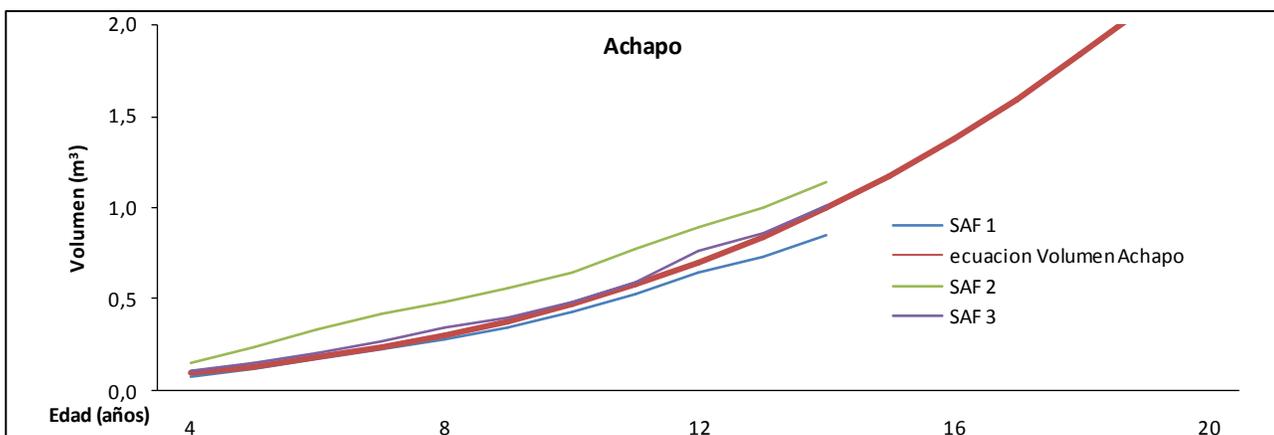
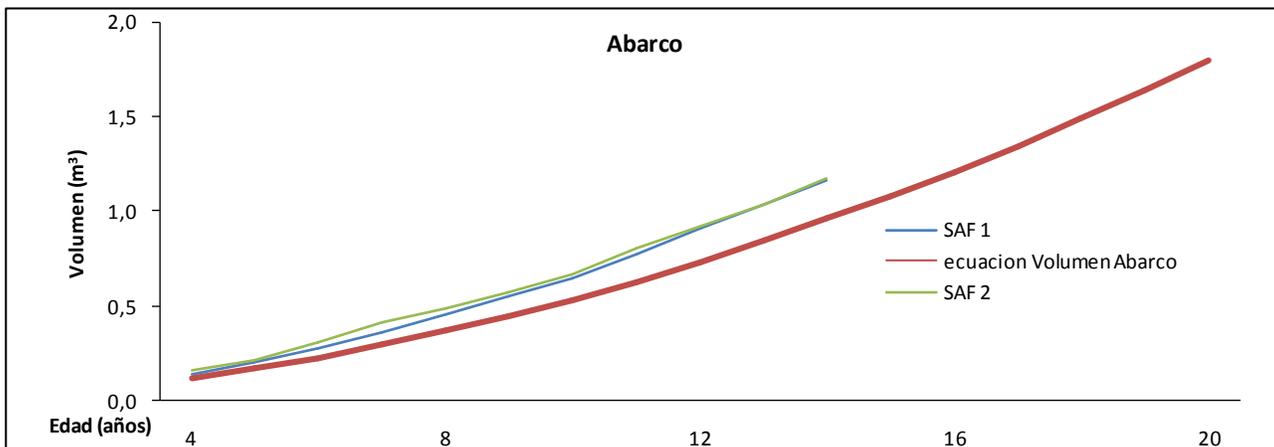
La especie abarco con un volumen promedio de 1,17 m³ por árbol a los 14 años de edad en dos arreglos evaluados, La especie achapo con registros de volumen de 0,86 m³ 1,14 m³ y 1,02 m³

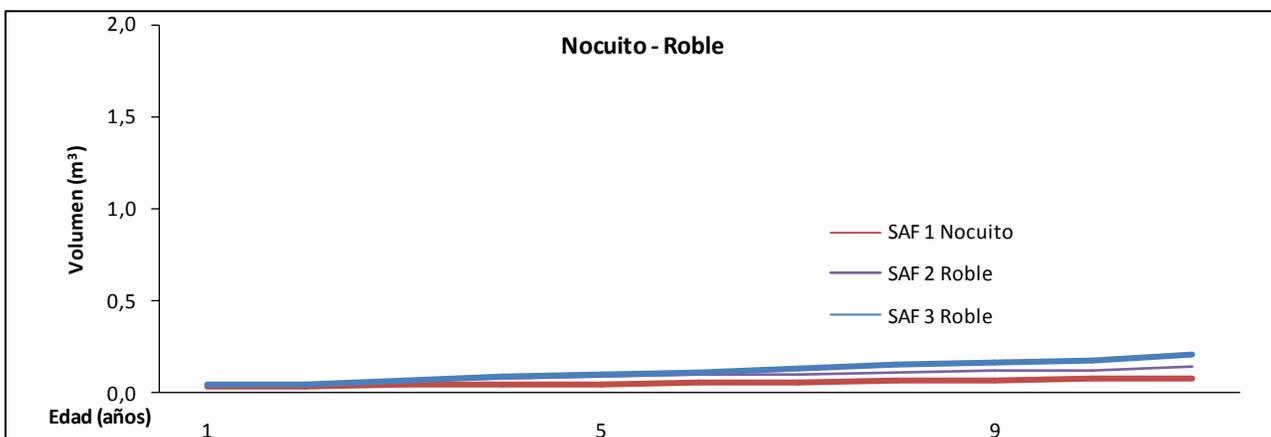
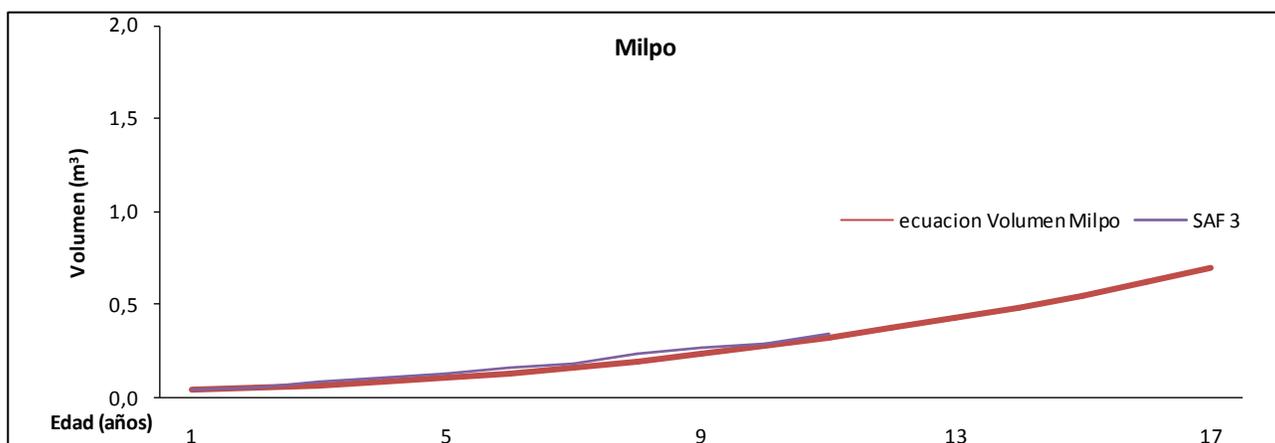
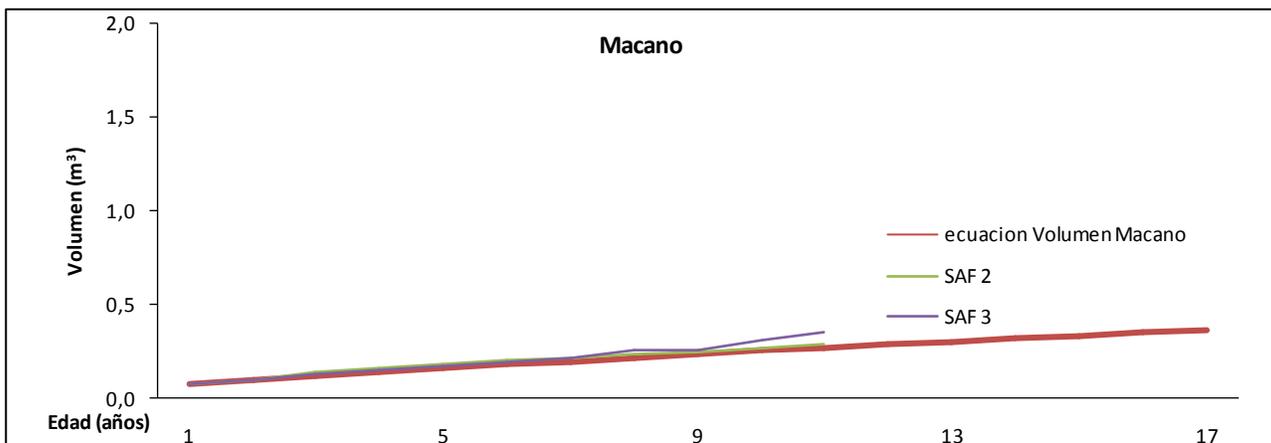
y aplicar planes de manejo silvicultural para el mejoramiento de su rendimiento en los primeros cinco años, en los cuales son suprimidos por las otras especies asociadas.

La especie nocuito en promedio de volumen por árbol para el ensayo establecido en la Estación Experimental registró a la edad de 14 años de edad valores de $0,075 \text{ m}^3$ y en el arreglo SAF 1 en la Inspección de Cerritos a esa misma edad alcanzó $0,082 \text{ m}^3$.

La especie roble en la Estación Experimental registró en promedio de volumen por árbol valores de $0,078 \text{ m}^3$ y $0,114 \text{ m}^3$ en dos diferentes ensayos los 14 años de edad; en el arreglo SAF 1 en Cerritos registró un valor medio de $0,206 \text{ m}^3$

Figura 20. Volumen por árbol de especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos.





En la gráfica los marcadores representan el valor promedio real medido.
 La línea roja es construida con los valores obtenidos del modelo de regresión.
 SAF: arreglos agroforestales

la especie abarco, a los 14 años de edad el 50% del total de los individuos superan el valor de volumen de 1,0 m³ por árbol.

En esta evaluación de volumen medio por árbol, se destacaron los resultados registrados para la especie abarco, en cuanto a la distribución de sus individuos en uno de los arreglos establecidos. En la tabla 32 para el arreglo agroforestal SAF 1, se presentó para la edad 14 años, la distribución de clases de la variable volumen.

Se estableció que en los arreglos agroforestales establecidos en Cerritos, que para la especie abarco, a los 14 años de edad el 50% del total de los individuos superan el valor de volumen de 1,0 m³ por árbol.

Se destacó de igual manera, para estos arreglos agroforestales que algunos árboles de abarco a los 14 años de edad alcanzaron volúmenes de 4,3 m³ y 3,9 m³.

Estos valores medios de volumen de 1,0 m³ por árbol a los 14 años de edad, se consideran como una excelente respuesta en la producción forestal y permiten inferir la cantidad total de madera por hectárea que se obtiene de los arreglos productivos agroforestales a las edades de aprovechamiento.

Estos valores de volumen promedio aproximados a 1,0 m³ por árbol, para arreglos con más de 250 individuos permiten la obtención de rendimientos por hectárea en madera fina de 250 m³, que como se analizó en el ítem de evaluación económica de los arreglos, es posible la obtención de altas tasas de retorno derivados de esta actividad productiva forestal.

En la tabla 33, se realizó la comparación del volumen por árbol obtenida en diversas fuentes con estudios en América tropical y subtropical, que aunque no reportaron la edad (generalmente por ser evaluaciones de inventarios en bosques naturales), permitieron ver la importancia de los valores registrados para las especies forestales de estos arreglos en la Inspección de Cerritos establecidos en el año de 1995 y además, permitieron establecer la importancia de la valoración del volumen en función de la edad. (Segura & Kanninen (2005), UN Medellín (s. f.), UNMedellín b (s. f.))

Tabla 32. Distribución de clases de volumen por árbol para abarco en arreglo agroforestal, Cerritos Guaviare, edad 14 años

Clase Volumen por árbol (m³)	Número de individuos	% individuos
0,001 - 0,499	15	31,30%
0,500 - 0,999	9	18,80%
1,000 - 1,499	8	16,70%
1,500 - 1,999	8	16,70%
2,000 - 2,499	3	6,30%
2,500 - 2,999	3	6,30%
3,000- 3,499	0	0,00%
3,500 - 3,999	1	2,10%
4,000- 4,499	1	2,10%

Tabla 33. Volumen por árbol para especies forestales en diferentes sitios en América

Tipo	Especie	País	edad (años)	Diámetro (cm)	Altura (m)	Volumen árbol total (m³)	Referencia
plantaciones	<i>C. guianensis</i>	4		94,7	32,7	15,600	51
plantaciones	<i>L. procera</i>	4		79,5	39,0	13,000	51
plantaciones	<i>V. ferruginea</i>	4		84,0	29,0	11,500	51
plantaciones	<i>P. macroloba</i>	4		88,0	19,5	11,100	51
plantaciones		4		81,3	27,9	10,900	51
bosques		3		104,2	15,3	10,610	53
bosques		3		128,5	12,0	8,737	53
plantaciones	<i>I. coruscans</i>	4		73,6	26,3	8,700	51
plantaciones	<i>S. microstachyum</i>	4		67,0	31,0	8,000	51
plantaciones	<i>T. guianensis</i>	4		70,1	26,7	6,900	51
bosques		3		79,5	19,3	6,875	53
bosques		3		52,9	13,0	2,240	53
bosques		3		47,0	12,0	1,356	53
plantaciones	<i>Acacia mangium</i>	3		19,4	15,1	0,188	52
plantaciones	<i>Acacia mangium</i>	3		17,7	14,6	0,172	52
plantaciones	<i>Acacia mangium</i>	3		14,2	12,0	0,098	52
plantaciones	<i>Acacia mangium</i>	3		13,4	14,4	0,098	52
Cerritos 1995 SAF 1	<i>Cariniana pyriformis</i>	3	20	42,6	30,1	1,798	99
Cerritos 1995 SAF 1	<i>Cariniana pyriformis</i>	3	14	33,5	21,9	1,172	99
Cerritos 1995 SAF 1	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	3	14	31,2	21,1	0,856	99
Cerritos 1995 SAF 1	<i>Acacia auriculiformis</i>	3	14	15,9	17,3	0,167	99

Tipo	Especie	País	edad (años)	Diámetro (cm)	Altura (m)	Volumen árbol total (m ³)	Referencia
Cerritos 1995 SAF 1	<i>Vitex orinocensis</i>	3	20	13,2	14,1	0,106	99
Cerritos 1995 SAF 1	<i>Vitex orinocensis</i>	3	14	10,1	10,1	0,082	99
Cerritos 1995 SAF 2	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	3	20	47,9	31,8	2,388	99
Cerritos 1995 SAF 2	<i>Cariniana pyriformis</i>	3	14	36,9	24,6	1,183	99
Cerritos 1995 SAF 2	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	3	14	36,5	23,2	1,137	99
Cerritos 1995 SAF 2	<i>Tabebuia rosea</i>	3	20	23,8	16,3	0,323	99
Cerritos 1995 SAF 2	<i>Terminalia amazonia</i>	3	14	20,2	17,2	0,289	99
Cerritos 1995 SAF 2	<i>Tabebuia rosea</i>	3	14	14,7	13,3	0,141	99
Cerritos 1995 SAF 2	<i>Acacia auriculiformis</i>	3	14	12,9	12,0	0,099	99
Cerritos 1995 SAF 3	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	3	14	36,5	22,0	1,020	99
Cerritos 1995 SAF 3	<i>Erismia uncinatum</i>	3	20	31,4	21,0	0,696	99
Cerritos 1995 SAF 3	<i>Terminalia amazonia</i>	3	20	23,9	18,3	0,365	99
Cerritos 1995 SAF 3	<i>Terminalia amazonia</i>	3	14	22,4	17,3	0,350	99
Cerritos 1995 SAF 3	<i>Erismia uncinatum</i>	3	14	23,9	15,4	0,348	99
Cerritos 1995 SAF 3	<i>Tabebuia rosea</i>	3	14	17,7	12,8	0,206	99

Referencia. 51: Segura y Kanninen (2005), 52: UN Medellín (sf), 53: UN Medellín b (sf), 99: Este estudio

País. 3: Colombia, 4: Costa Rica

SAF: arreglos agroforestales

1.4.2 Biomasa por árbol de especies forestales en arreglos agroforestales, establecidos en la Inspección de Cerritos 1995

Para las especies forestales establecidas en arreglos productivos agroforestales en 1995 en la Inspección de Cerritos, El Retorno, Guaviare, para la variable biomasa por árbol, similar al análisis realizado para el volumen, se registró por arreglo y por especie los valores de la variable y su respectivo incremento medio anual calculado para el periodo de medición y se construyeron los gráficos de la biomasa evaluada entre los 4 y 14 años de edad y la biomasa proyectada a los 15 y 20 años de edad. En la figura 21 está registrado el comportamiento de la variable biomasa media por árbol para las especies abarco, achapo, macano, nocuito, milpo y roble. Los datos promedios de la variable biomasa por árbol encontrados corresponden a:

La especie abarco con una variación de la biomasa desde 176,4 Kg a los 4 años de edad hasta 995,4 Kg a los 14 años de edad, y con biomasa proyectada a los 20 años de edad de 1653,0 Kg.

La especie achapo con promedios de biomasa por árbol para los 4, 14 y 20 años de edad, con valores respectivos de 137,5 Kg, 889,1 Kg y 2203,5 Kg.

Las especies el macano y el milpo, con variación en su biomasa promedio por árbol desde 41,6 kg a los 4 años de edad hasta 376,3 Kg a los 14 años de edad.

Esta magnitud de peso seco (biomasa) por árbol, es conjuntamente con el volumen los indicadores más precisos para la selección de arreglos y sus especies forestales; en esta evaluación se establecieron los excelentes valores de producción de las especies abarco y achapo.

En la tabla 34 se registró la biomasa promedio por árbol en el periodo de evaluación de 1999 a 2009, para los diferentes arreglos. El análisis para la biomasa sigue la tendencia registrada para las variables anteriormente registradas, ya que su determinación se realizó con base en los valores de diámetro y altura. Se confirmó que las especies abarco, achapo, macano y milpo, por sus importantes resultados de biomasa son las más importantes para el establecimiento en arreglos productivos agroforestales.

Se estableció igualmente, la necesidad de diseño y ejecución de planes de manejo silvicultural en los primeros años de establecimiento para las especies nocuito y roble que registraron valores de la biomasa por árbol menores a 250,0 Kg; Se estableció que estas dos especies presentan mayores requerimientos de entrada de luz para contrarrestar la competencia que le generan las otras especies consideradas en el modelo.

La especie achapo con promedios de biomasa por árbol para los 4, 14 y 20 años de edad, con valores respectivos de 137,5 Kg, 889,1 Kg y 2203,5 Kg.

Tabla 34. Biomasa promedio por árbol de especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare

Especie	Arreglo	Edad (años)				
		4	14	14	14	20
		Biomasa (Kg)	Biomasa (Kg)	Incremento medio anual en biomasa (Kg/año)	Promedio biomasa (Kg)	Biomasa proyección (Kg)
abarco	SAF 1	162,9464	963,6273	68,8305	995,776	1455,401
	SAF 2	189,9022	1027,9246	73,4232		
acacio	SAF 1	19,6945	205,2181	14,6584	162,5867	
	SAF 2	97,4225	119,9552	8,5682		
achapo	SAF 1	92,6004	765,2868	54,6633	889,5976	1818,8211
	SAF 2	183,8531	987,2111	70,5151		
	SAF 3	138,3322	916,295	65,4496		
macano	SAF 2	90,0068	318,2245	22,7303	346,9599	403,9126
	SAF 3	95,6752	375,6952	26,8354		
milpo	SAF 3	41,6367	376,2785	26,877	376,2785	684,8885
nocuito	SAF 1	17,4409	89,2262	6,3733	89,2262	132,0247
roble	SAF 2	31,4711	166,2669	11,8762	166,2669	364,6284
	SAF 3	37,6399	228,5573	16,3255	228,5573	

SAF: arreglos agroforestales

Las especies abarco y achapo a los 14 años de edad registraron en promedio valores de la biomasa por árbol de 1,0 tonelada. Estos importantes valores por árbol son claves para que en áreas definidas se logre la estimación rápida y precisa de la acumulación de la biomasa, que para arreglos agroforestales establecidos en la Amazonia norte, pueden llegar a 250 toneladas por hectárea al establecer 250 árboles maderables en arreglos productivos.

Las especies forestales de este arreglo evaluado Cerritos 1995, en la proyección a 20 años, sus valores de biomasa total están en concordancia con valores registrados por diferentes autores para especies forestales de América tropical, que aunque no se reporta sus edades (por ser resultados de inventarios en coberturas naturales), reflejan de acuerdo con el diámetro y la altura los valores de biomasa por árbol. En la tabla 35 se presenta un cuadro comparativo de esta información.

Tabla 35. Biomasa por árbol de especies forestales en diferentes sitios en América

País	Tipo	Especie	edad (años)	Diámetro (cm)	Altura (m)	Biomasa árbol total (Kg)	Referencia
2	bosques	<i>Enterolobium schomburgkii</i>		138,0	25,0	30060,000	29
2	bosques	39 arboles		98,0	41,4	25634,400	37
2	bosques	316 arboles		120,0	41,4	25634,400	37
2	bosques	<i>Ceiba pentandra</i>		86,0	21,0	18939,000	29
2	bosques	<i>Hymenolobium petraeum</i>		66,0	17,0	14695,000	29
4	plantaciones	<i>C. guianensis</i>		94,7	32,7	9600,000	51
13	bosques			90,0		9460,000	20
4	plantaciones	<i>L. procera</i>		79,5	39,0	9100,000	51
2	bosques	<i>Lauraceae</i>		67,0	18,0	8517,000	29
13	bosques			80,0		7610,000	20
2	bosques	<i>Terminalia catappa</i>		58,0	16,0	6833,000	29
4	plantaciones	<i>Promedio</i>		81,3	27,9	6700,000	51
4	plantaciones	<i>P. macroloba</i>		88,0	19,5	6600,000	51
4	plantaciones	<i>V. ferruginea</i>		84,0	29,0	6200,000	51
2	bosques	<i>Brosimopsis acutifolia</i>		56,0	24,0	6133,000	29
4	plantaciones	<i>I. coruscans</i>		73,6	26,3	6000,000	51
2	bosques	<i>Euplassa Pinata</i>		60,0	20,0	5754,000	29
2	bosques	<i>Chrysophyllum sp.</i>		44,0	24,0	5072,000	29
4	plantaciones	<i>S. microstachyum</i>		67,0	31,0	4800,000	51
13	bosques			70,0		4700,000	20
2	bosques	<i>Hancornia speciosa</i>		59,0	22,0	4700,000	29
4	plantaciones	<i>T. guianensis</i>		70,1	26,7	4000,000	51
2	bosques	<i>Chrysophyllum sp.</i>		49,0	18,0	3776,000	29
2	bosques	<i>Chrysophyllum sp.</i>		51,0	15,0	3636,000	29
2	bosques	<i>Thalia geniculata</i>		41,0	18,0	3521,000	29
2	bosques	<i>Chrysophyllum sp.</i>		41,0	21,0	3408,000	29
2	bosques	<i>Chrysophyllum excelsum</i>		48,0	20,0	3281,000	29
2	bosques	<i>Chrysophyllum sp.</i>		37,0	11,0	3175,000	29
2	bosques	<i>Manilkara amazonica</i>		36,0	21,0	2991,000	29
2	bosques	<i>Ocotea neesiana</i>		40,0	12,0	2613,000	29
2	bosques	<i>Fevillea uncipectala</i>		53,0	12,0	2494,000	29
2	bosques	<i>Inga fagifolia</i>		26,0	9,0	2377,000	29
11	sitio 2	<i>Aspidosperma quebracho-blanco</i>		50,0		2335,720	35
13	bosques			50,0		2280,000	20
2	bosques	<i>Protium heptaphyllum</i>		35,0	14,0	2169,000	29
2	bosques	<i>Chrysophyllum sp.</i>		29,0	15,0	2072,000	29

País	Tipo	Especie	edad (años)	Diámetro (cm)	Altura (m)	Biomasa árbol total (Kg)	Referencia
11	sitio 1	<i>Aspidosperma quebracho-blanco</i>		50,0		1997,040	35
2	bosques	<i>Eschweilera</i> Sp.		28,0	16,0	1980,000	29
2	bosques	<i>Licania heteromorpha</i>		30,0	13,0	1950,000	29
11	sitio 1	<i>Aspidosperma quebracho-blanco</i>		50,0		1885,000	35
11	sitio 2	<i>Aspidosperma quebracho-blanco</i>		50,0		1617,000	35
11	sitio 1	<i>Aspidosperma quebracho-blanco</i>		50,0		1363,090	35
2	bosques	<i>Inga marginata</i>		28,0	15,0	1351,000	29
2	bosques	<i>Parahancornia amapa</i>		31,0	14,0	1304,000	29
2	bosques	<i>Eschweilera mata-mata</i>		27,0	11,0	1213,000	29
11	sitio 2	<i>Aspidosperma quebracho-blanco</i>		50,0		1200,510	35

Tabla 35. Continuación. Cuadro comparativo de biomasa por árbol de especies forestales.

País	tipo	Especie	edad (años)	Diámetro (cm)	Altura (m)	Biomasa árbol total (Kg)	Referencia
14	plantación					1188,000	35
2	bosques	<i>Protium heptaphyllum</i>		26,0	12,0	1159,000	29
2	bosques	<i>Eschweilera mata-mata</i>		30,0	14,0	1111,000	29
2	bosques	<i>Protium heptaphyllum</i>		30,0	14,0	1108,000	29
13	bosques			40,0		950,000	20
11	sitio 1	<i>Aspidosperma quebracho-blanco</i>		40,0		791,590	35
11	sitio 2	<i>Aspidosperma quebracho-blanco</i>		40,0		705,430	35
13	bosques			30,0		680,000	20
16	plantación	<i>Aspidosperma quebracho-blanco</i>		50,0		573,000	35
16	bosque	<i>clon de caucho IAN-710</i>		31,0	22,0	506,300	47
20	plantación	<i>E. grandis</i>		30,0		360,000	24
11	sitio 1	<i>Aspidosperma quebracho-blanco</i>		30,0		340,650	35
10	bosques			25,0	22,0	326,000	25
11	sitio 2	<i>Aspidosperma quebracho-blanco</i>		30,0		287,060	35
20	plantación	<i>E. viminalis</i>		27,0		280,000	24
4	bosques			25,0	22,0	224,000	26

País	tipo	Especie	edad (años)	Diámetro (cm)	Altura (m)	Biomasa árbol total (Kg)	Referencia
20	plantación	<i>E. globulus</i>		23,0		210,000	24
11	sitio 2	<i>Aspidosperma quebracho-blanco</i>		10,0		114,540	35
11	sitio 1	<i>Aspidosperma quebracho-blanco</i>		10,0		100,890	35
2	bosques	38 arboles		9,5	11,4	63,900	37
4	bosques	<i>Cedrela</i>		15,0	16,0	52,700	26
4	bosques	<i>Cordia</i>		15,0	15,5	52,100	26
4	bosques	<i>Hyeronima</i>		15,0	13,1	45,000	26
2	bosques	315 arboles		5,0	5,6	9,100	37
13	bosques			60,0		3,170	20
3	Cerritos 1995 SAF 3	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	20	47,9	31,8	1818,821	99
3	Cerritos 1995 SAF 1	<i>Cariniana pyriformis</i>	20	42,6	30,1	1455,401	99
3	Cerritos 1995 SAF 2	<i>Cariniana pyriformis</i>	14	36,9	24,6	1027,925	99
3	Cerritos 1995 SAF 2	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	14	36,5	23,2	987,211	99
3	Cerritos 1995 SAF 1	<i>Cariniana pyriformis</i>	14	33,5	21,9	963,627	99
3	Cerritos 1995 SAF 3	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	14	36,5	22,0	916,295	99
3	Cerritos 1995 SAF 1	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	14	31,2	21,1	765,287	99
3	Cerritos 1995 SAF 3	<i>Erismia uncinatum</i>	20	31,4	21,0	684,889	99
3	Cerritos 1995 SAF 2	<i>Terminalia Amazonia</i>	20	23,9	18,3	403,913	99
3	Cerritos 1995 SAF 3	<i>Erismia uncinatum</i>	14	23,9	15,4	376,278	99
3	Cerritos 1995 SAF 3	<i>Terminalia Amazonia</i>	14	22,4	17,3	375,695	99
3	Cerritos 1995 SAF 2	<i>Tabebuia rosea</i>	20	23,8	16,3	364,628	99
3	Cerritos 1995 SAF 2	<i>Terminalia Amazonia</i>	14	20,2	17,2	318,225	99
3	Cerritos 1995 SAF 3	<i>Tabebuia rosea</i>	14	17,7	12,8	228,557	99
3	Cerritos 1995 SAF 1	<i>Acacia auriculiformis</i>	14	15,9	17,3	205,218	99
3	Cerritos 1995 SAF 2	<i>Tabebuia rosea</i>	14	14,7	13,3	166,267	99
3	Cerritos 1995 SAF 1	<i>Vitex orinocensis</i>	20	13,2	14,1	132,025	99
3	Cerritos 1995 SAF 2	<i>Acacia auriculiformis</i>	14	12,9	12,0	119,955	99
3	Cerritos 1995 SAF 1	<i>Vitex orinocensis</i>	14	10,1	10,1	89,226	99

Referencia. 20: Arreaga Gramajo (2002), 24: Carolina Sans *et al.*, (2007), 25: Chave *et al.*, (2005), 26: Cole &Ewel (2006), 29: Cummings *et al.*, (2001), 35: Gaillard de Benítez *et al.*, (2000), 37: Higuchi *et al.*, (sf), 47: Monroy &Návar (2004), 51: Segura &Kanninen (2005), 99: Este estudio.

País; 2: Brasil, 3: Colombia, 4: Costa Rica, 10: América, 11: Argentina, 13: Guatemala, 14: India, 16: México, 20: Uruguay.

SAF: arreglos agroforestales

La especie achapo registró el 46,2% de sus individuos superando valores de biomasa por árbol de 1000,0 kg a los 14 años de edad.

Para esta evaluación de especies forestales establecidas en arreglos productivos agroforestales en 1995 en la Inspección de Cerritos, El Retorno, Guaviare, en las categorías de biomasa encontradas se registró que a los 14 años:

La especie abarco con el 53,6% de sus individuos con promedios de biomasa por árbol superiores a 1000,0 kg a los 14 años de edad.

La especie achapo registró el 46,2% de sus individuos superando valores de biomasa por árbol de 1000,0 kg a los 14 años de edad.

La especie macano, presentó a los 14 años de edad, el 98.9% de sus individuos con la biomasa menor a 1000,0 Kg.

La especie milpo registró a los 14 años de edad el 77,4 % de sus individuos con la biomasa menor a 500,0 kg.

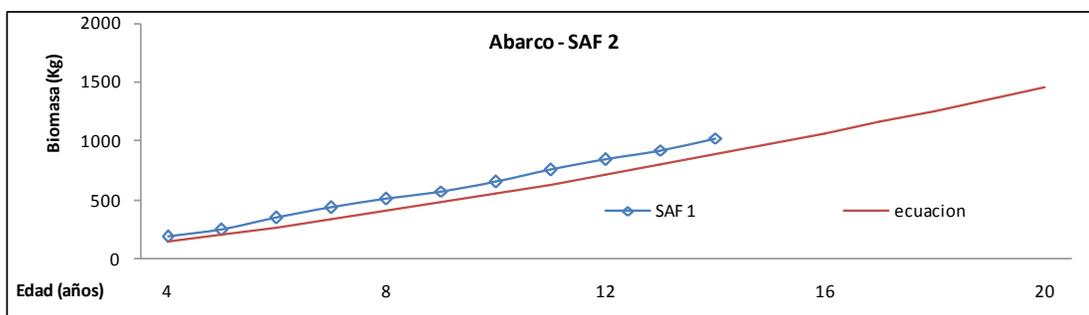
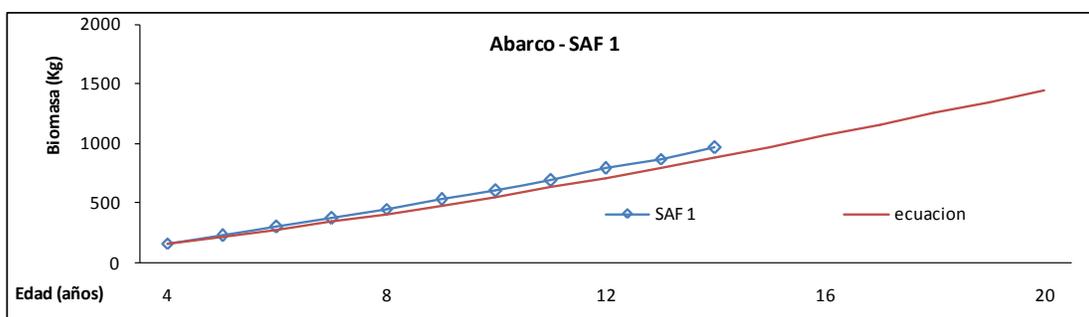
Como se ha reiterado, el conocimiento de estos valores medios es una importante herramienta para la fácil proyección de la producción de los arreglos productivos y además, permite realizar procesos de gestión para la obtención de recursos económicos por la acumulación de biomasa, carbono y CO₂.

Se analizó la alta variabilidad o dispersión de los valores de biomasa para las diferentes especies forestales, especialmente para el abarco que a los 14 años registró un individuo totalmente suprimido con tan solo 2,8 Kg de biomasa por árbol, mientras que en el extremo superior se registró un individuo con cerca de 3000,0 Kg de biomasa por árbol. Las evaluaciones en campo explicaron que este individuo de la especie abarco de tan bajo porte correspondió a un rebrote posterior de la caída del árbol establecido y como se ha observado y definido en publicaciones previas del Instituto Sinchi, el abarco comienza su reproducción para esta zona de Cerritos a los ocho años de edad. En la tabla 36 están registrados para las especies de este arreglo agroforestal los valores medios y los valores extremos de biomasa por árbol de los individuos a los 14 años de edad.

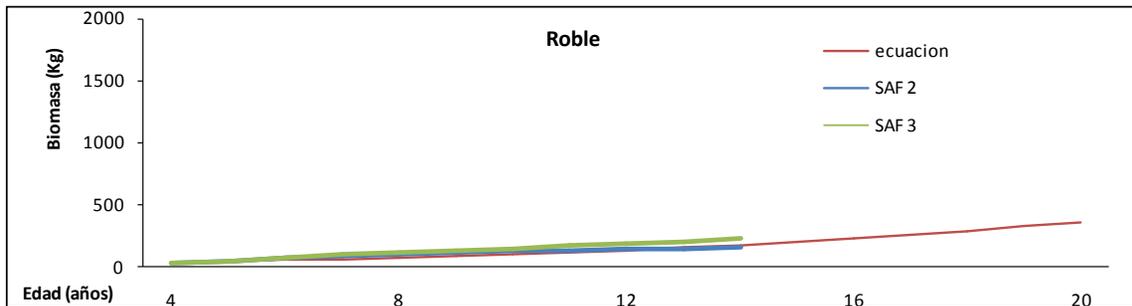
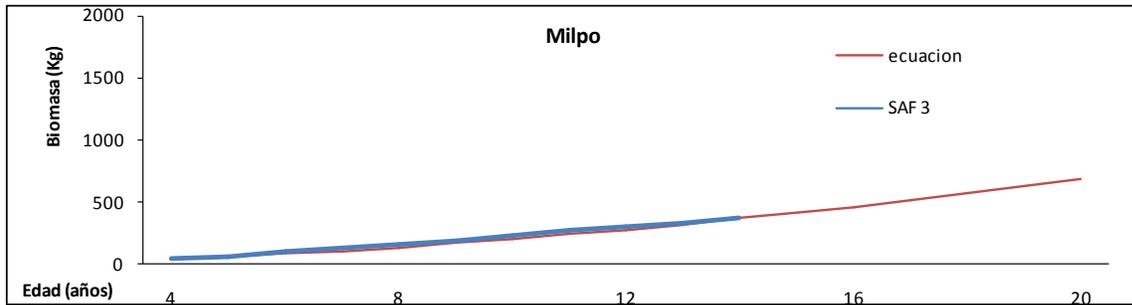
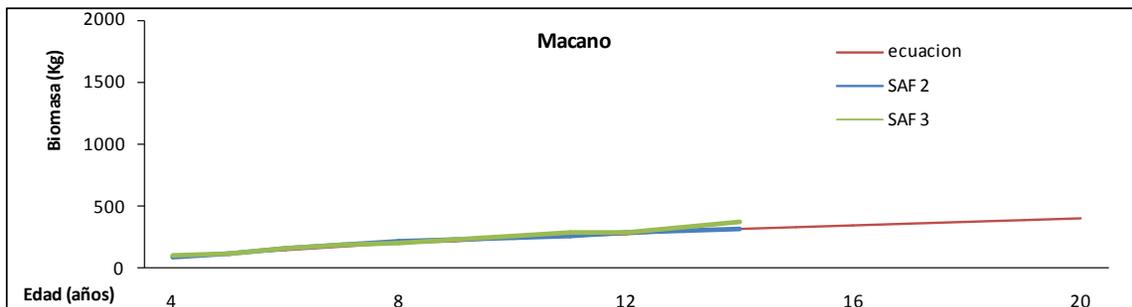
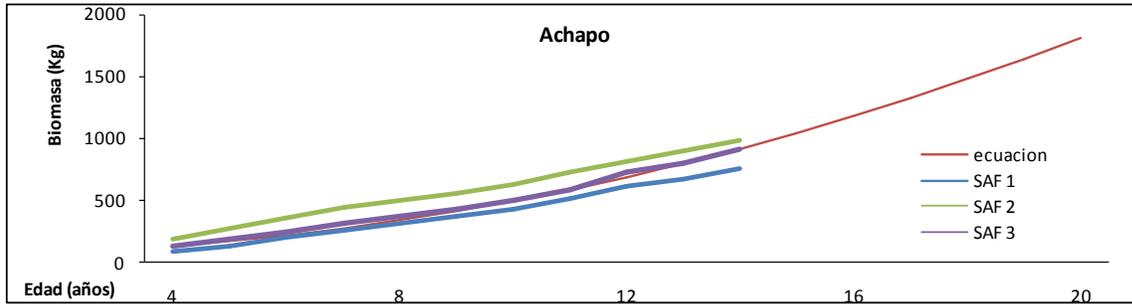
Tabla 36 Biomasa promedio, mínimo y máximo a los 14 años para las especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare.

	abarco	achapo	macano	milpo	nocuito	roble
Promedio Biomasa por árbol (Kg)	995,438	889,104	346,651	376,278	89,226	193,35
Valor máximo biomasa por árbol (Kg)	2924,621	1950,458	1132,128	851,933	347,585	796,235
Valor mínimo biomasa por árbol (Kg)	2,762	84,494	89,902	67,748	9,02	15,399

Figura 21. Biomasa por árbol de especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare, edades de 4 a 20 años



Continuación Figura 21



En la gráfica los marcadores representan el valor promedio real medido.
 La línea roja es construida con los valores obtenidos del modelo de regresión.
 SAF: Arreglos agroforestales

1.4.3 Volumen total de arreglos agroforestales, establecidos en la Inspección Cerritos 1995

Para las especies forestales establecidas en arreglos productivos agroforestales en 1995 en la Inspección de Cerritos, El Retorno, Guaviare, se definieron los sistemas de mayor volumen y biomasa (que incluye las variables diámetro, altura y número de individuos) como indicadores de producción, sobrevivencia y comportamiento del arreglo. En la figura 22, se registró la panorámica de un arreglo agroforestal con la dominancia de la especie abarco.

En los arreglos identificados y analizados de mayor volumen y por consiguiente de mayor incremento medio anual en volumen, a los 14 años, sobresalieron:

Arreglo SAF 2 conformado por las especies abarco, achapo, nocuito, arazá, borojó, a los 14 años de edad con volumen total de las especies forestales de 121,5 m³/1,5 ha;

Arreglo SAF1 conformado por las especies abarco, achapo, roble, macano, a los 14 años de edad con volumen total de 89,5 m³/1,5 ha.

Figura 22. Fotografía. Arreglo agroforestal en Cerritos, El Retorno Guaviare con dominancia de la especie abarco



Las especies abarco y achapo registraron en un área de 1,5 ha valores medios de volumen total superiores a 50 m³ a los 14 años de edad.

Para la evaluación de volumen total por área del conjunto de especies forestales establecidas en arreglos productivos agroforestales en 1995 en la Inspección de Cerritos, El Retorno, Guaviare se registró en la figura 23, los valores acumulados para todos los individuos; se estableció la tendencia progresiva de acumulación de volumen, con una pendiente fuerte desde la edad de la primera evaluación a los cuatro años hasta la edad promedio de aprovechamiento de las especies, a los 20 años. Estos sistemas además, presentaron las mejores valores de adaptación a las diferentes condiciones agroclimáticas con registros de sobrevivencia mayor del 75%. En la figura 24 está registrado el volumen para cada una de las especies por arreglo; se desprende de esta información, la importancia de:

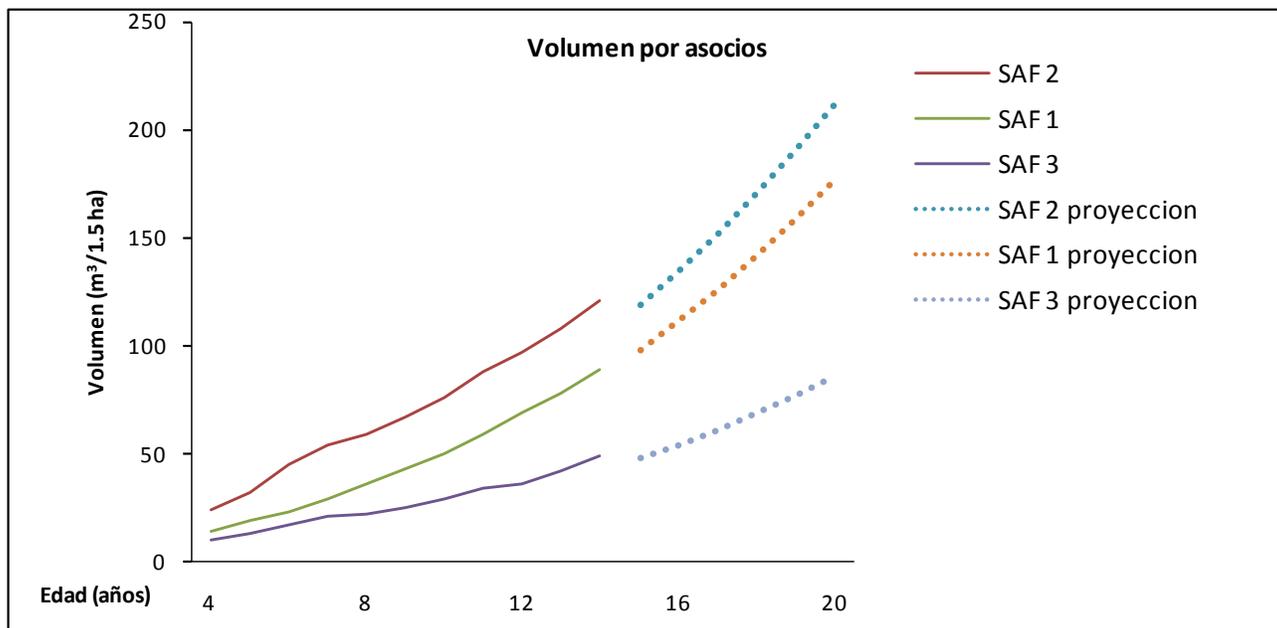
Las especies abarco y achapo que registraron en un área de 1,5 ha valores medios de volumen total superiores a 50 m³ a los 14 años de edad.

La especie abarco que en las proyecciones a los 20 años de edad, alcanza un volumen total de 86,3 m³/1,5 ha para el arreglo agroforestal SAF 1 y de 84,5 m³ /1,5 ha para el arreglo SAF 2.

La especie achapo registró a los 20 años de edad un volumen proyectado de 86,0 m³/1,5 ha, 98,0 m³/1,5 ha y 38,0m³/1,5 ha para los tres arreglos agroforestales valorados.

Estos valores son una importante expresión del potencial de estos arreglos productivos, que registraron valores excelentes de producción de madera por unidad de 1,5 ha, que considerando la oferta agroambiental de la región, permitieron la proyección y gestión de recursos para el desarrollo forestal y agroforestal. En la tabla 37 está registrada esta información.

Figura 23. Volumen total de arreglos agroforestales, Cerritos. Guaviare, edades entre 4 a 20 años

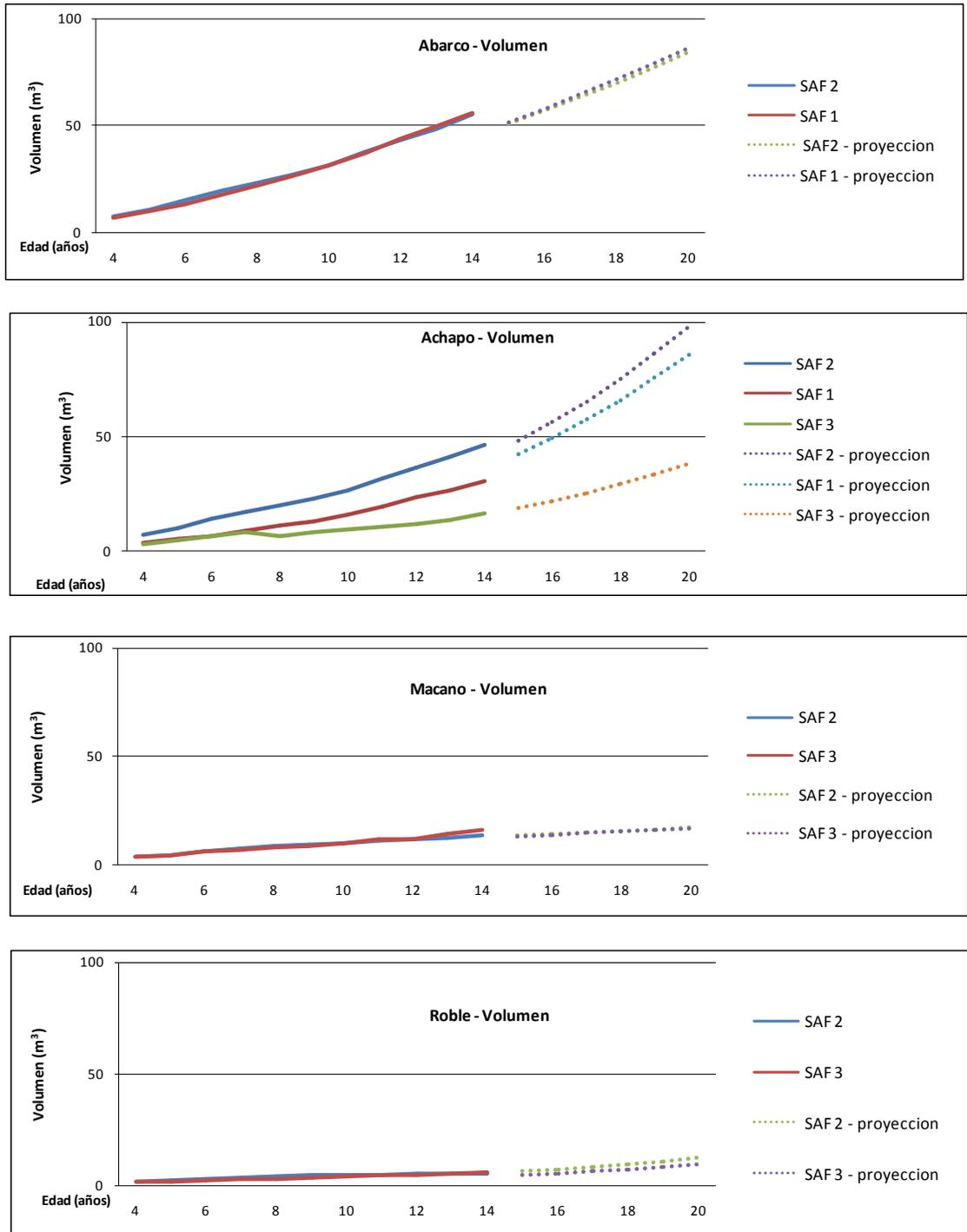


SAF: Arreglos agroforestales

Tabla 37. Volumen total proyectado 20 años para especies forestales y arreglos agroforestales, Cerritos. Guaviare

Arreglo (SAF)	Especie	Volumen (m³)
SAF 1	abarco	86,2785
SAF 1	achapo	85,957
SAF 1	nocuito	2,8492
SAF 2	abarco	84,481
SAF 2	achapo	97,8955
SAF 2	macano	17,1357
SAF 2	roble	12,5832
SAF 3	achapo	38,2031
SAF 3	macano	16,7711
SAF 3	milpo	21,5662
SAF 3	roble	9,6794

Figura 24. Volumen total por especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos. Guaviare, edades, entre 4 a 20 años



SAF: Arreglos agroforestales

1.4.4 Biomasa total de arreglos agroforestales, establecidos en la Inspección de Cerritos 1995

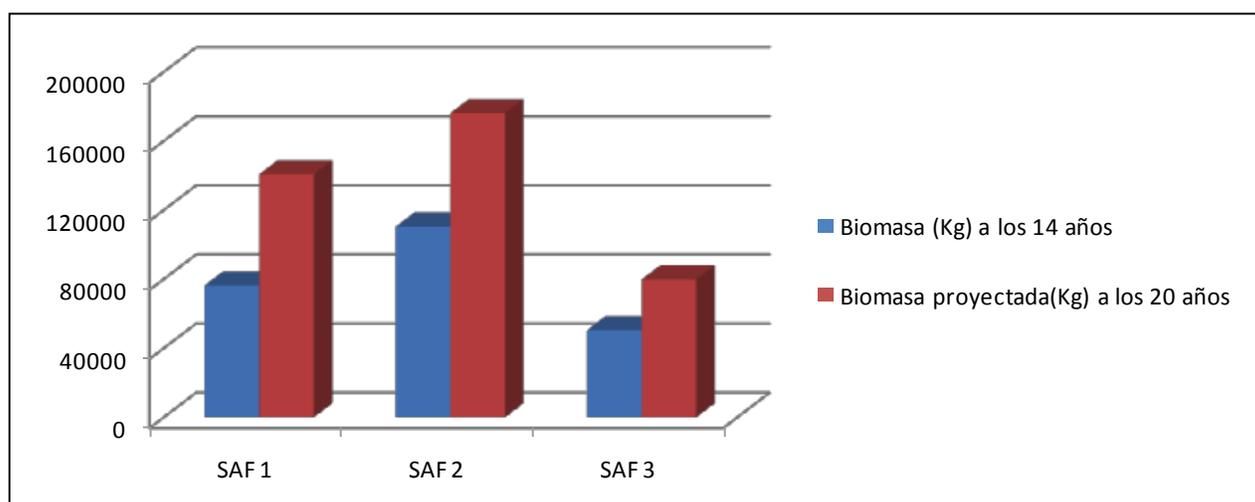
Para la valoración de la biomasa de sistemas productivos sostenibles establecidos en la Inspección de Cerritos desde 1995, se encontró que los sistemas agroforestales con las especies abarco y achapo presentaron los mayores valores, explicado esto por el excelente comportamiento de estas especies que a los 14 años registraron promedios de altura mayores de 18,0 m y de diámetro mayor de 24,0 cm. El promedio de acumulación de biomasa para los arreglos agroforestales fue:

Arreglos SAF 1, SAF 2, SAF 3 con biomasa total de 76,4 ton/1,5 ha, 110,5 ton/1,5 ha y 50,5 ton/1,5 ha, respectivamente, a los 14 años de edad

Arreglos SAF 1, SAF 2, SAF 3 con un rango de biomasa total entre 79,8 ton/1,5 ha y 176,2 ton/1,5 ha, a los 20 años de edad

Estos registros de biomasa se obtuvieron en función de la altura y el diámetro proyectado a la edad definida. En la figura 25 está registrada esta información

Figura 25. Biomasa total entre 4 y 20 años para arreglos agroforestales, Cerritos. Guaviare



Para la especie achapo se proyecta a los 20 años de edad, valores de biomasa aérea total de 74,6 ton/1,5 ha, 65,5 ton/1,5 ha y 29,1 ton/1,5 ha, en tres arreglos evaluados.

En esta evaluación de la biomasa de arreglos productivos sostenibles establecidos en la Inspección de Cerritos desde 1995, en el análisis de las especies se encontró:

Para la especie abarco se proyecta a los 20 años de edad, valores de biomasa aérea total de 69,9 ton/1,5 ha y 68,4 ton/1,5 ha en dos de los arreglos valorados.

Para la especie achapo se proyecta a los 20 años de edad, valores de biomasa aérea total de 74,6 ton/1,5 ha, 65,5 ton/1,5 ha y 29,1 ton/1,5 ha, en tres arreglos evaluados.

En la tabla 38, están registrados para las especies forestales de los diferentes arreglos agroforestales de Cerritos 1995, los valores de biomasa total. En la figura 26 y la figura 27 se registraron los valores de biomasa total por especies y por arreglo y en la figura 28 se representó el porcentaje de aporte de biomasa por especie a los 14 años de edad

Se analizó la importante contribución al arreglo de la biomasa de las especies abarco y achapo como los mayores porcentajes con valores entre 40% y el 35% y un segundo grupo con las especies macano, roble y milpo con una participación aproximada entre el 14% y 5% del total de la biomasa de los arreglos evaluados.

Tabla 38. Biomasa total a 14 años y proyecciones a 20 años de especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos, Guaviare

Especie – Arreglo (SAF)	Biomasa (Kg/1,5 ha) a los 14 años	Biomasa proyectada (Kg/1,5 ha) a los 20 años
abarco - SAF 1	46,3	69,9
abarco - SAF 2	48,3	68,4
achapo - SAF 1	27,6	65,5
achapo - SAF 2	40,5	74,6
achapo - SAF 3	14,7	29,1
macano- SAF 2	15,0	19,0
macano - SAF 3	17,3	18,6
milpo - SAF 3	11,7	21,2
nocuito - SAF 1	2,4	3,6
roble - SAF 2	6,5	14,2
roble- SAF 3	6,9	10,9

En estos sistemas productivos sostenibles seleccionados, se resaltó la adaptación de especies forestales de maderas finas, utilizadas por los agricultores del Guaviare y las frutales que ya tienen un trabajo adelantado de conocimiento y transformación de sus productos.

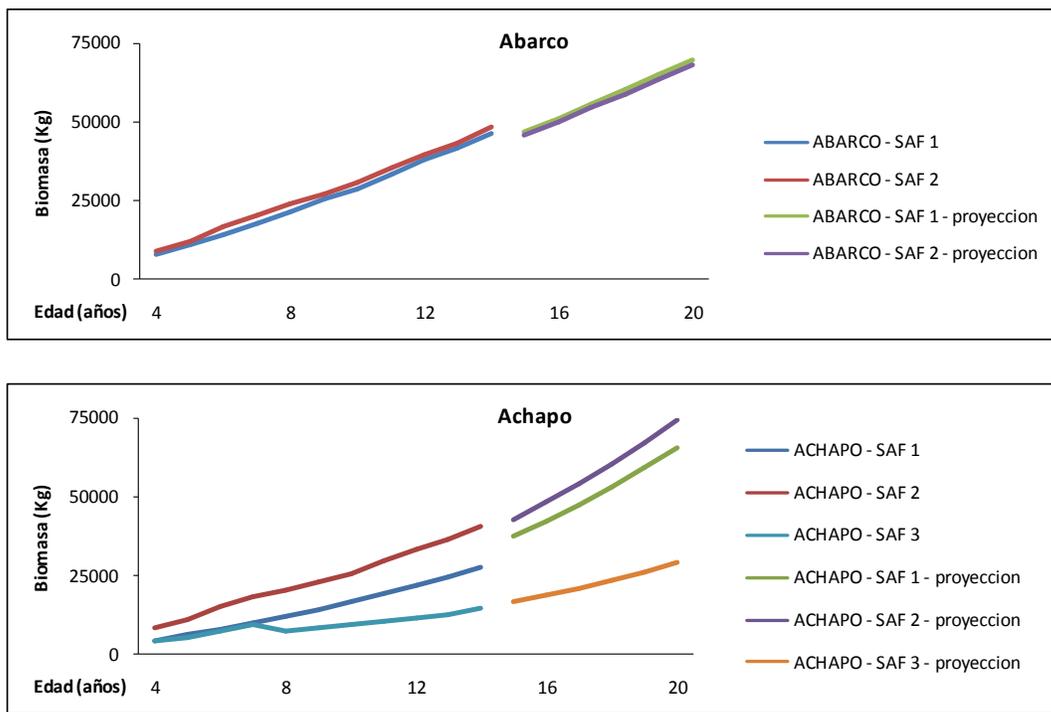
Las especies frutales correspondieron a: arazá y borojó.

Las especies forestales principales correspondieron a: abarco, achapo, macano, milpo.

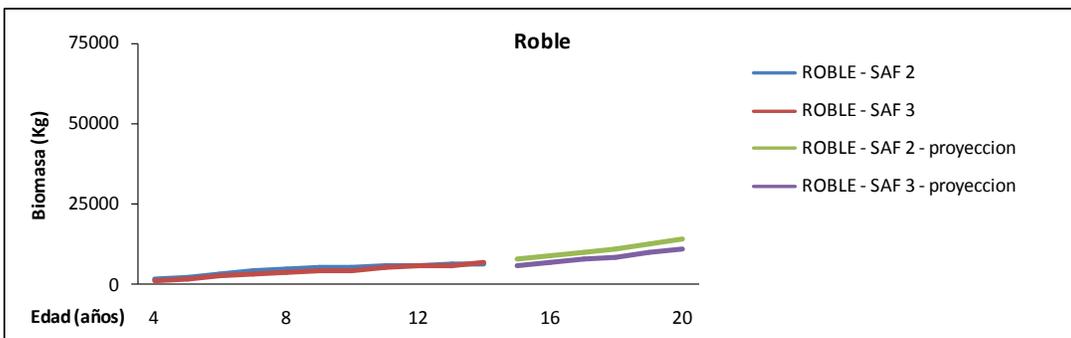
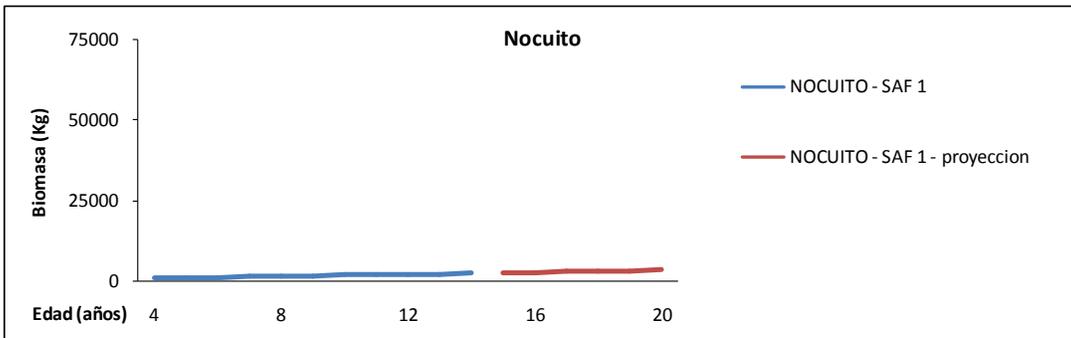
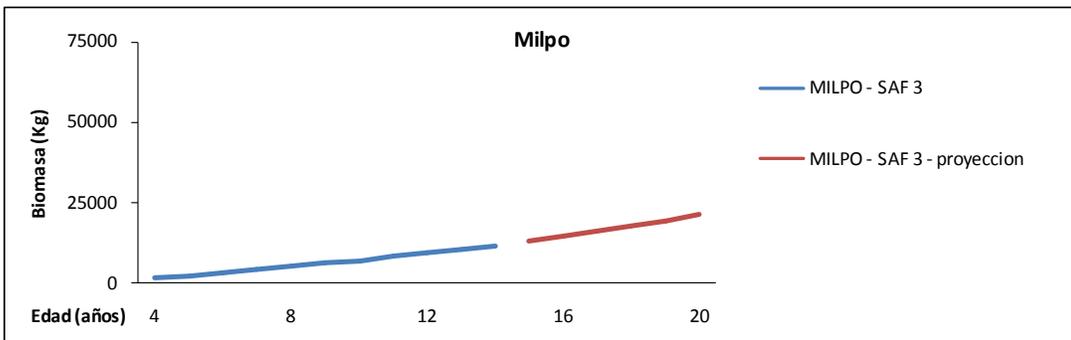
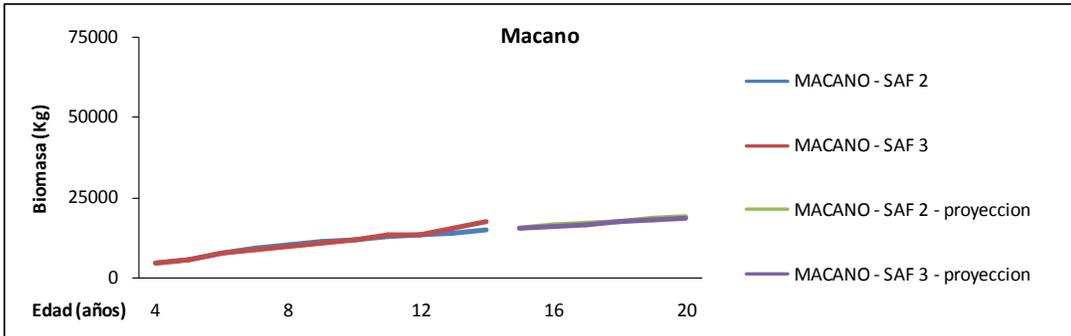
Este primer grupo de arreglos agroforestales valorados a los 14 años de edad, permitió identificar regionalmente las opciones para el cultivo de especies forestales maderables, que con los manejos realizados por los agricultores registraron valores de biomasa aproximados a 100 ton/ 1,5 ha, lo que permite a los productores y entidades regionales adelantar con alta posibilidad la gestión de recursos a través de proyectos de reservorios de carbono. Este desarrollo de investigación, consolidó el proceso de investigación realizado por el Instituto Sinchi en la región amazónica y permitió definir los principales arreglos productivos.

Este primer grupo de arreglos agroforestales valorados a los 14 años de edad, permitió identificar regionalmente las opciones para el cultivo de especies forestales maderables

Figura 26. Biomasa total, edades entre 4 a 20 años de especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos, Guaviare

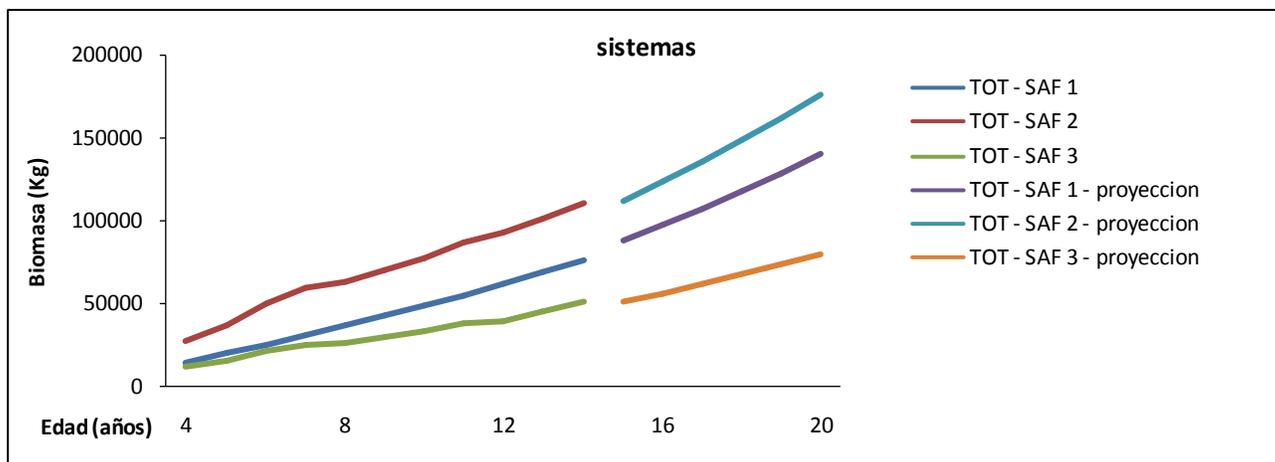


Continuación Figura 26



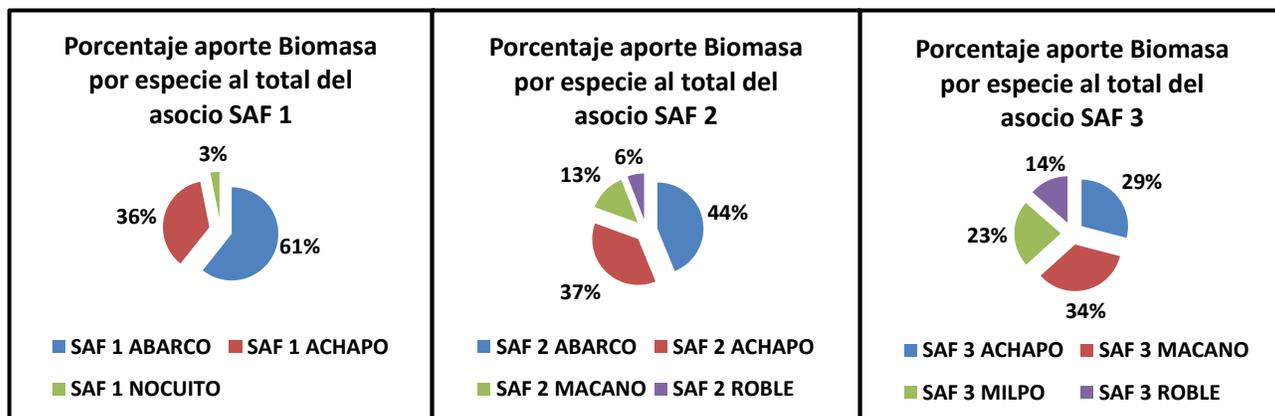
SAF: Arreglos agroforestales

Figura 27. Biomasa total, edades entre 4 a 20 años, arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare



SAF: Arreglos agroforestales

Figura 28. Contribución por especie a la biomasa total de los arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare, edad 14 años



SAF: Arreglos agroforestales

2 Resultados de arreglos agroforestales, establecidos en 1997 en la Inspección de Cerritos, El Retorno, Guaviare

2.1 Diámetro de especies forestales en arreglos agroforestales, establecidos en la Inspección de Cerritos en 1997

Con la última evaluación realizada en 2009 a los 12 años de edad para los arreglos productivos agroforestales de la Inspección de Cerritos en 1997, se estableció para la variable diámetro la existencia de diferencias entre sus valores medios por especie y por arreglo, como lo expresó los valores de significancia obtenidos del análisis de varianza (Ver tabla 39). Se estableció para el diámetro en el modelo que incluye los arreglos, los ensayos y los bloques del diseño, que esta variable presentó un coeficiente de variación del 12%, y como se ha reiterado en el anterior arreglo evaluado y los resultados obtenidos en la Estación Experimental del Instituto Sinchi, en la región norte amazónica, esto es reflejo de la diferenciación entre las especies en sus crecimientos por las condiciones de la fertilidad natural y por el manejo silvícola, además de las características genotípicas de las especies.

Para los arreglos agroforestales establecidos, se subrayó el crecimiento en diámetro de las especies: abarco, achapo, milpo, virola, roble, macano y caruto, que se adaptaron a las condiciones de siembra y mantenimiento del arreglo y registraron diámetros medios superiores a 13,1 cm, con tasas de incremento medio anual en diámetro desde 3,6 cm/año hasta 1,1 cm/año. De este grupo sobresalieron: abarco, achapo, milpo y virola con diámetros medios mayores a 20,0 cm a los 12 años de edad.

Tabla 39. Análisis de varianza para las variables altura, diámetro, biomasa y volumen de los arreglos agroforestales establecidos en Cerritos en 1997

Variable		Fuente de variación				
		Bloque	Edad	Arreglo	Bloque*Edad	Edad*Arreglo
Altura	Grados de libertad	17	10	7	170	70
	F calculado	75,14 **	186,16 **	183,44 **	1,24	5,62 **
Diámetro	Grados de libertad	17	8	7	136	56
	F calculado	21,23 **	22,12 **	302,87 **	0,24	0,58 **
Biomasa	Grados de libertad	17	8	7	136	56
	F calculado	15,70 **	28,33 **	242,49 **	0,48	4,06 **
Volumen	Grados de libertad	17	8	7	136	56
	F calculado	11,76 **	26,95 **	217,27 **	0,48	5,70 **

En la tabla 40, para las principales especies de estos arreglos agroforestales establecidos en 1997 en la Inspección de Cerritos, se realizó una primera comparación del crecimiento en diámetro a la última edad de evaluación, a 12 años; para esto se comparó el diámetro medio para el conjunto de las especies forestales con los registros obtenidos en los arreglos agroforestales establecidos en la Inspección de Cerritos en 1995 y los registros de los ensayos forestales de la Estación Experimental del Instituto Sinchi.

En este análisis de la variable diámetro, se observó que las especies forestales con las mejores respuestas de esta variable son: abarco, achapo, milpo, virola y roble, las cuales a los 12 años de edad registraron valores de incrementos medios anuales en diámetro respectivamente de 3,6 cm/año, 2,6 cm/año, 2,5 cm/año, 1,7 cm/año, 1,4 cm/año. Estos valores son superiores a los obtenidos en la Estación Experimental del Instituto, como quedó registrado en las tablas de comparación.

Esta primera comparación permitió identificar a las especies abarco, achapo, milpo, virola y roble como las más promisorias para diseño y establecimiento de arreglos productivos agroforestales. De igual manera, similar al análisis realizado para el arreglo Cerritos 1995, en estos ocho arreglos de Cerritos 1997, se establecieron los excelentes resultados de crecimiento y por consiguiente de incremento medio anual para seis de las especies forestales valoradas a los 12 años.

En la tabla 41, está registrado el cuadro comparativo con algunos resultados de diversas fuentes para América tropical y subtropical que permitieron resaltar los rangos de incremento obtenidos en los arreglos evaluados.

Tabla 40. Crecimiento en diámetro de especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare, edad 12 años

Especie - Arreglo	Diámetro (cm)	SE (Error estándar)	Incremento medio anual (cm/año)
abarco			
CER97 SAF 1	35,6	1,4	3
CER97 SAF 3	35,6	1,2	3
CER95 SAF 2	34,4	1,1	2,9
CER97 SAF 6	31,1	3,7	2,6
CER95 SAF 1	30,6	2,2	2,6
CER97 SAF 8	29,3	1,7	2,4
CER97 SAF 2	27,8	1,5	2,3
CER97 SAF 7	27,7	1,5	2,3
CER97 SAF 5	26	5,1	2,2
QS EE	23,6	0,8	2
CER97 SAF 4	22,9	1,9	1,9
achapo			
CER97 SAF 3	43,5	1,7	3,6
CER95 SAF 2	34,1	1,3	2,8
CER95 SAF 3	33	1,3	2,7
CER95	31,8		2,6
CER95 SAF 1	28,2	1,7	2,4
QS EE	23,3	2	1,9
caruto			
CER97 SAF 1	25,8	1	2,1
CER97 SAF 5	16,2	1	1,4
CER97	12,7		1,1
CER97 SAF 8	9	1,4	0,8
CER97 SAF 4	8,8	0,7	0,7
CER97 SAF 7	8,8	1,8	0,7
CER97 SAF 2	7,5	0,9	0,6

SAF: Arreglos agroforestales.

CER 97: Inspección de Cerritos 1997.

CER 95: Inspección de Cerritos 1995.

QS: ensayo Quince especies.

EE: Estación Experimental

Tabla 40. Continuación. Comparación del crecimiento en diámetro de especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare, edad 12 años

Especie - Arreglo	Diámetro (cm)	SE (Error estándar)	Incremento medio anual (cm/año)
macano			
CER95 SAF 3	20,4	0,7	1,7
CER95	20,1		1,7
CER95 SAF 2	19,8	0,8	1,6
CER97 SAF 4	18,9	0,9	1,6
CER97	15,2		1,3
IND1	14,3	0,8	1,2
CER97 SAF 2	14,1	0,8	1,2
CER97 SAF 8	14,1	1,4	1,2
CER97 SAF 7	13,6	1,5	1,1
milpo			
CER97 SAF 3	29,9	3,1	2,5
CER97	23,2		1,9
CER95	21,9		1,8
CER95 SAF 3	21,9	1,1	1,8
CER97 SAF 1	16,4	M	1,4
roble			
CER97	17,8		1,5
CER97 SAF 3	17,8	5	1,5
CER97	17,3		1,4
CER97 SAF 1	17,3	3	1,4
CER95 SAF 3	16,2	1,2	1,3
CER95	15		1,3
CER95 SAF 2	13,9	0,7	1,2
QS EE	13,4	0,6	1,1
virola			
CER97	20,2		1,7
CER97 SAF 5	20,2	1,4	1,7
IND1	14	0,5	1,2

SAF: Arreglos agroforestales.

CER 97: Inspección de Cerritos 1997.

CER 95: Inspección de Cerritos 1995.

QS: ensayo Quince especies.

EE: Estación Experimental

Tabla 41. Incrementos médios anuales en diámetro y altura para especies forestales en diferentes sitios de América

Tipo	Arreglo en este estudio	País	Especie	Incremento medio anual en diámetro (cm/año)	Incremento medio anual en altura (m/año)	Edad (años)	Referencia
4		6	<i>Vochysia guatemalensis</i>	4,6	1,7	12	6
5	CERRITOS 1997 SAF 3	1	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	3,6	1,8	12	17
4		6	<i>Cordia megalantha</i>	3,2	1,1	12	6
5	CERRITOS 1997 SAF 1	1	<i>Cariniana pyriformis</i>	3	1,3	12	17
5	CERRITOS 1997 SAF 3	1	<i>Cariniana pyriformis</i>	3	1,8	12	17
4		6	<i>Cedrela odorata</i>	2,9	1	12	6
5	CERRITOS 1995 SAF 2	1	<i>Cariniana pyriformis</i>	2,9	1,8	12	17
5	CERRITOS 1995 SAF 2	1	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	2,8	1,7	12	17
5	CERRITOS 1995 SAF 3	1	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	2,7	1,6	12	17
5	CERRITOS 1997 SAF 5	1	<i>Cedrela odorata</i>	2,7	1,7	12	17
5	CERRITOS 1997 SAF 6	1	<i>Cariniana pyriformis</i>	2,6	1,5	12	17
5	CERRITOS 1995 SAF 1	1	<i>Cariniana pyriformis</i>	2,6	1,7	12	17
4		6	<i>Swietenia macrophylla</i>	2,5	1	12	6
5	CERRITOS 1997 SAF 3	1	<i>Erisma uncinatum</i>	2,5	1,1	12	17
5	CERRITOS 1997 SAF 8	1	<i>Cariniana pyriformis</i>	2,4	1,3	12	17
4		4	<i>Terminalia amazonia</i>	2,4	2,4	12	7
5	CERRITOS 1997 SAF 3	1	<i>Calophyllum brasiliense</i>	2,4	1,6	12	17
5	CERRITOS 1995 SAF 1	1	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	2,4	1,6	12	17
5	CERRITOS 1997 SAF 2	1	<i>Cariniana pyriformis</i>	2,3	1,3	12	17
5	CERRITOS 1997 SAF 7	1	<i>Cariniana pyriformis</i>	2,3	1,3	12	17
5	CERRITOS 1997 SAF 5	1	<i>Cariniana pyriformis</i>	2,2	1,5	12	17
5	CERRITOS 1997 SAF 1	1	<i>Genipa americana</i>	2,1	1,2	12	17
5	CERRITOS 1997 SAF 1	1	<i>Pachira quinata</i>	2	0,8	12	17
5	CERRITOS 1997 SAF 4	1	<i>Cariniana pyriformis</i>	1,9	1,1	12	17
5	CERRITOS 1995 SAF 3	1	<i>Erisma uncinatum</i>	1,8	1,1	12	17
5	CERRITOS 1997 SAF 3	1	<i>Pachira quinata</i>	1,7	0,8	12	17
5	CERRITOS 1995 SAF 3	1	<i>Terminalia amazonia</i>	1,7	1,3	12	17
5	CERRITOS 1997 SAF 5	1	<i>Virola decorticans</i>	1,7	1,2	12	17
5	CERRITOS 1995 SAF 2	1	<i>Terminalia amazonia</i>	1,6	1,3	12	17
4		4	<i>Terminalia amazonia</i>	1,6	1,3	12	7
5	CERRITOS 1997 SAF 4	1	<i>Terminalia amazonia</i>	1,6	1,1	12	17
5	CERRITOS 1997 SAF 3	1	<i>Tabebuia rosea</i>	1,5	1	12	17
5	CERRITOS 1997 SAF 1	1	<i>Calophyllum brasiliense</i>	1,5	0,8	12	17
5	CERRITOS 1997 SAF 1	1	<i>Tabebuia rosea</i>	1,4	0,7	12	17
5	CERRITOS 1997 SAF 8	1	<i>Pachira quinata</i>	1,4	1,1	12	17
5	CERRITOS 1997 SAF 1	1	<i>Erisma uncinatum</i>	1,4	0,8	12	17

Referencia. 6: Fundación Hondureña de Investigación Agrícola 2008, 16: Ribeiro G. (sf), 17: Este estudio. Giraldo et al, 2002

Tipo. 4: Plantación pura, 5: Agroforestal, 6: Enriquecimiento

País.2: Brasil, 3: Colombia

SAF: Arreglos agroforestales

Tabla 41. Continuación. Comparación de incrementos médios anuales en diámetro y altura para especies forestales

Tipo	Arreglo en este estudio	PAIS	Especie	Incremento medio anual Diámetro (cm/año)	Incremento medio anual Altura (m/año)	EDAD (años)	REFERENCIA
5	CERRITOS 1997 SAF 5	1	<i>Genipa americana</i>	1,4	1,1	12	17
5	CERRITOS 1995 SAF 3	1	<i>Tabebuia rosea</i>	1,3	1	12	17
5	CERRITOS 1997 SAF 6	1	<i>Acacia auriculiformis</i>	1,3	1,5	12	17
5	CERRITOS 1997 SAF 2	1	<i>Terminalia amazonia</i>	1,2	0,8	12	17
5	CERRITOS 1997 SAF 8	1	<i>Terminalia amazonia</i>	1,2	0,8	12	17
5	CERRITOS 1995 SAF 2	1	<i>Tabebuia rosea</i>	1,2	1	12	17
5	CERRITOS 1997 SAF 7	1	<i>Terminalia amazonia</i>	1,1	0,9	12	17
5	CERRITOS 1995 SAF 1	1	<i>Acacia auriculiformis</i>	1,1	1,4	12	17
5	CERRITOS 1997 SAF 7	1	<i>Pachira quinata</i>	1,1	0,7	12	17
5	CERRITOS 1995 SAF 2	1	<i>Acacia auriculiformis</i>	1	1	12	17
4		4	<i>Terminalia amazonia</i>	1	0,7	12	7
5	CERRITOS 1997 SAF 1	1	<i>Tabebuia serratifolia</i>	0,9	0,6	12	17
5	CERRITOS 1997 SAF 2	1	<i>Carapa guianensis</i>	0,9	0,9	12	17
5	CERRITOS 1997 SAF 1	1	<i>Aspidosperma sp.</i>	0,9	0,6	12	17
5	CERRITOS 1997 SAF 5	1	<i>Vitex orinocensis</i>	0,9	0,8	12	17
5	CERRITOS 1997 SAF 5	1	<i>Aspidosperma sp.</i>	0,8	0,8	12	17
5	CERRITOS 1995 SAF 1	1	<i>Vitex orinocensis</i>	0,8	0,8	12	17
5	CERRITOS 1997 SAF 8	1	<i>Genipa americana</i>	0,8	0,6	12	17
5	CERRITOS 1997 SAF 4	1	<i>Genipa americana</i>	0,7	0,5	12	17
5	CERRITOS 1997 SAF 7	1	<i>Genipa americana</i>	0,7	0,6	12	17
5	CERRITOS 1997 SAF 3	1	<i>Aspidosperma sp.</i>	0,7	0,6	12	17
5	CERRITOS 1997 SAF 2	1	<i>Caryodendron orinocense</i>	0,7	0,6	12	17
5	CERRITOS 1997 SAF 8	1	<i>Vitex orinocensis</i>	0,7	0,6	12	17
5	CERRITOS 1997 SAF 7	1	<i>Calophyllum brasiliense</i>	0,7	0,7	12	17
5	CERRITOS 1997 SAF 3	1	<i>Vitex orinocensis</i>	0,7	0,5	12	17
5	CERRITOS 1997 SAF 2	1	<i>Genipa americana</i>	0,6	0,5	12	17
5	CERRITOS 1997 SAF 7	1	<i>Minquartia guianensis</i>	0,5	0,7	12	17
5	CERRITOS 1997 SAF 7	1	<i>Caryodendron orinocense</i>	0,5	0,5	12	17
5	CERRITOS 1997 SAF 8	1	<i>Minquartia guianensis</i>	0,4	0,4	12	17
5	CERRITOS 1997 SAF 2	1	<i>Minquartia guianensis</i>	0,4	0,4	12	17
5	CERRITOS 1997 SAF 6	1	<i>Aspidosperma sp.</i>	0,3	0,4	12	17
5	CERRITOS 1997 SAF 6	1	<i>Vitex orinocensis</i>	0,2	0,4	12	17

Referencia. 6: Fundación Hondureña de Investigación Agrícola 2008, 16: Ribeiro G. (sf), 17: Este estudio.

Tipo. 4: Plantación pura, 5: Agroforestal, 6: Enriquecimiento

Pais.2: Brasil, 3: Colombia

SAF: Arreglos agroforestales

La especie achapo que registró el 100% de sus individuos en clases de diámetro entre los 30,0 cm y los 60,0 cm, a los 12 años de edad

Considerando la distribución diamétrica absoluta y porcentual para las especies forestales evaluadas, se infiere que a los 12 años de edad las principales especies abarco, achapo, milpo, virola, roble, macano y caruto agruparon el 27% de sus individuos en la clase diamétrica de 10,0 cm a 20,0 cm; el 20,1 % en la clase de 20,0 cm a 30,0 cm y el 14,6 % en la clase de 30,0 cm a 40,0 cm reportando una excelente tasa de crecimiento homogéneo, que permitió establecer que un 80% de los individuos de estas especies alcanzan el diámetro mínimo de cortabilidad a una misma edad; esto es importante en el proceso de planificación del aprovechamiento de los arreglos. En este análisis de distribución del diámetro, a nivel individual se destaca:

La especie achapo que registró el 100% de sus individuos en clases de diámetro entre los 30,0 cm y los 60,0 cm, a los 12 años de edad.

La especie abarco que presentó el 70% de sus individuos en clases de diámetro entre 20,0 cm a 40,0 cm, a los 12 años de edad.

La especie macano que registró el 85% de sus individuos en clases de diámetro entre 20,0 cm y 30,0 cm, a los 12 años de edad.

En estos arreglos agroforestales establecidos en la Inspección de Cerritos en 1997, se identificaron las ecuaciones del diámetro en función de la edad en el periodo 1999-2009. Se ajustaron regresiones para abarco, achapo, milpo, virola, roble, macano y caruto. En la tabla 42 están registradas las ecuaciones generadas y los parámetros de estas ecuaciones. En la figura 29, se representó los individuos de la especie achapo, establecidos en el año de 1997 en un arreglo productivo agroforestal en Cerritos, Guaviare

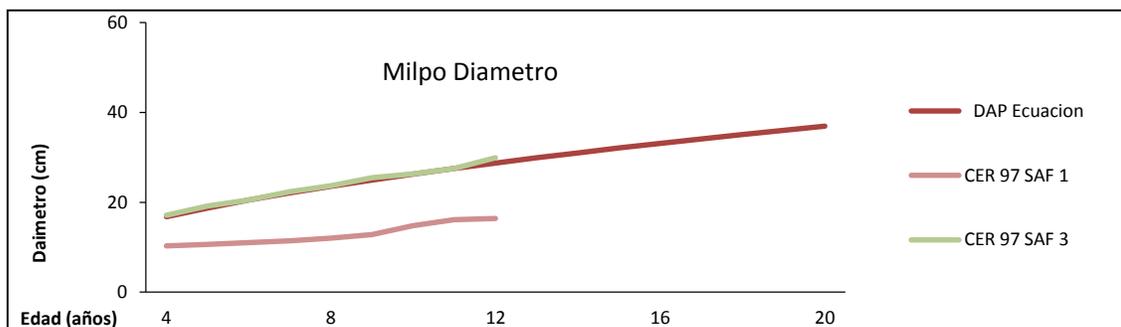
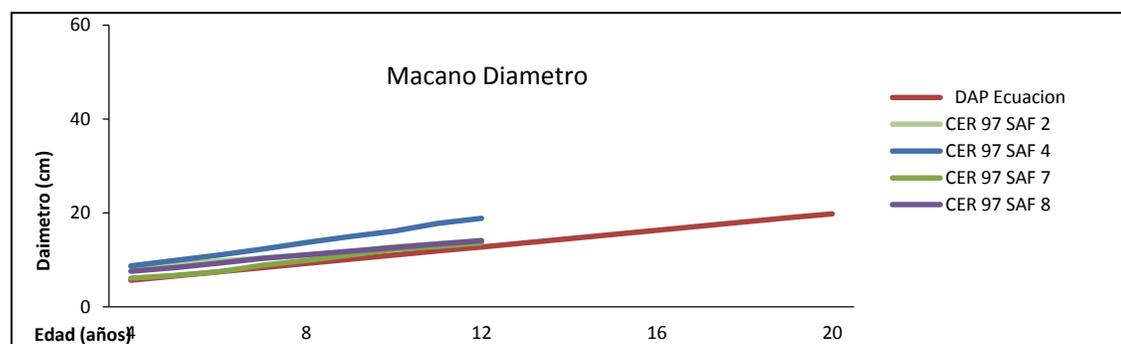
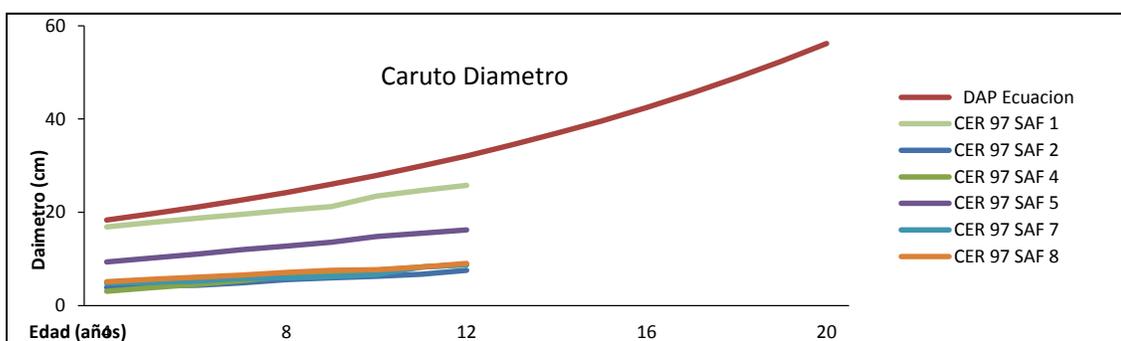
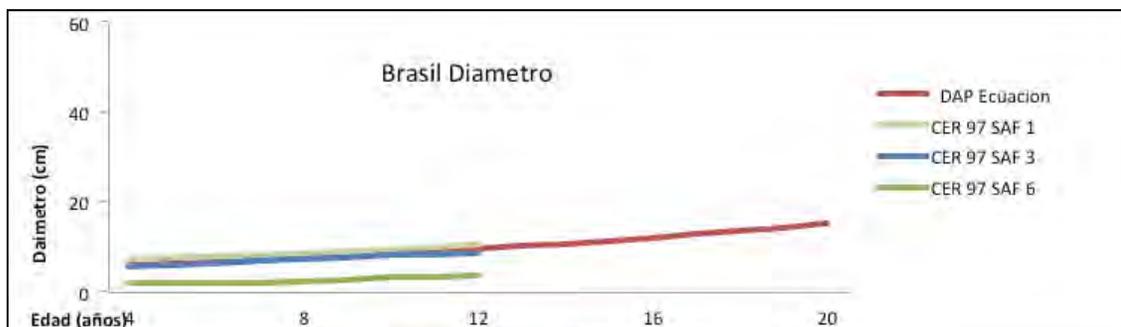
Similar al proceso de los sistemas establecidos en Cerritos en 1995, para la construcción de los modelos de crecimiento y sus respectivos análisis, para la variable diámetro, en el rango de edades de 4 a 12 años se tomaron los valores medios y el error estándar y se proyectó el diámetro en función de la edad, para las edades de 13 a 20 años. Se ensayaron diferentes modelos lineales y no lineales y se seleccionaron los modelos empleando calificadores como R², MSE Y AICc, En la figura 30 se registran el crecimiento en diámetro de las especies evaluadas en estos arreglos, que incluye los valores medios medidos (edades 4 a 12 años) y la proyección de crecimiento a edades de 13 a 20 años.

Tabla 42. Parámetros de calificación de ecuaciones de diámetro en función de edad para especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos, Guaviare

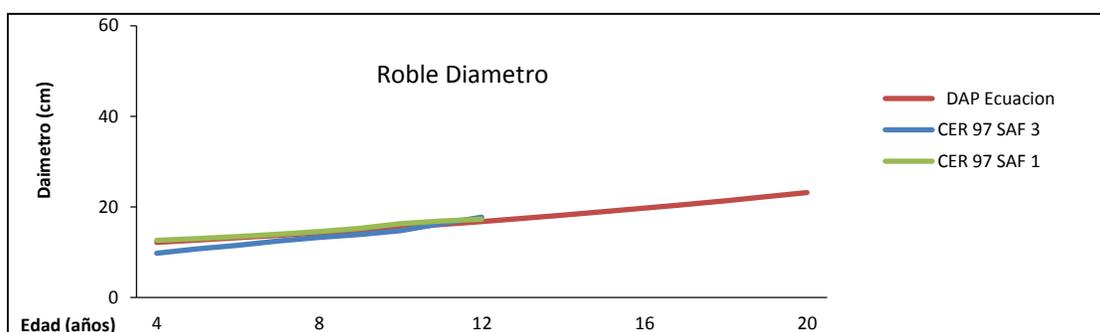
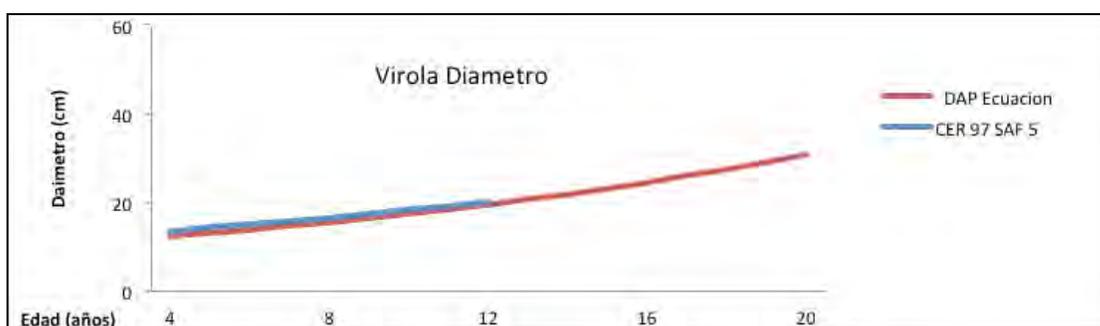
Especie	Número de ecuación	Ecuación
abarco	1	Diámetro=12,628*EXP(0,0712*Edad)
achapo	2	Diámetro=14,489*EXP(0,0897*Edad)
brasil	3	Diámetro=4,797*EXP(0,0581*Edad)
carapa	4	Diámetro=4,1564*EXP(0,0713*Edad)
caruto	5	Diámetro=7,9808*EXP(0,0663*Edad)
cedroma- cho	6	Diámetro=5,97422+(0,941*Edad)
cuyubí	7	Diámetro=0,5961*(Edad^0,8788)
inchi	8	Diámetro=2,9285*EXP(0,0702*Edad)
macano	9	Diámetro=3,0065*(Edad^0,6991)
milpo	10	Diámetro=8,5165*(Edad^0,4895)
nocuito	11	Diámetro=5,9874*EXP(0,0362*Edad)
roble	12	Diámetro=10,366*EXP(0,0402*Edad)
paloarco	13	Diámetro=6,7152*EXP(0,0451*Edad)
virola	14	Diámetro=10,001*EXP(0,0564*Edad)

Número de ecuación	Residual SS (SSE)	Residual MS (MSE)	Standard Deviation	Degrees of Freedom	AICc	Pseudo R-Squared	R-Squared	Adjusted R-Squared	PRESS
1	1015,8	14,511	3,8093	70	197	0,5516			
2	1584,8	36,857	6,071	43	167	0,7379			
3	703,9	10,055	3,171	70	171	0,1195			
4	62,6	2,503	1,5821	25	29,7	0,8924			
5	4064	28,619	5,3497	142	487	0,2801			
6		42,444	6,5149		173		0,1271	0,1068	1994
7	69	0,986	0,9927	70	3,3	0,5244			
8	51,1	2,045	1,43	25	24,3	0,3203			
9	618,8	7,032	2,6517	88	180	0,5805			
10	731	24,366	4,9362	30	107	0,7225			
11	481,9	4,968	2,2289	97	163	0,8481			
12	657,8	6,998	2,6454	94	191	0,6047			
13	361,2	8,4	2,8983	43	100	0,2173			
14	1388,8	15,782	3,9727	88	253	0,6622			

Continuación Figura 30



Continuación Figura 30



En la gráfica los marcadores representan el valor promedio real medido.
 Las líneas que acotan el valor promedio corresponden al error estándar.
 La línea roja es construida con los valores obtenidos del modelo de regresión.
 SAF: Arreglos agroforestales. CER 97: Cerritos 1997

Esta validación científica (construcción del modelo de crecimiento del diámetro en función de la edad) de las variables de crecimiento y producción de este grupo de especies forestales de este arreglo productivo agroforestal establecido en la Inspección de Cerritos, Guaviare, en el año de 1997, permite consolidar los resultados y definir de manera más precisa los arreglos y las especies que los conforman.

Para el grupo de especies forestales de estos arreglos agroforestales establecidos en 1997, el análisis permitió identificar las especies que alcanzaron el diámetro mínimo de cortabilidad y que son las principales en la selección para el diseño y establecimiento de arreglos productivos agroforestales.

Las especies principales corresponden a: achapo, abarco y cedroamarago, que alcanzaron diámetros superiores a 40,0 cm a los 20 años de edad.

Con el análisis del comportamiento del diámetro, se definió otro grupo de especies forestales, promisorias, con diferencias en crecimiento de acuerdo con las condiciones medioambientales (básicamente fertilidad natural de los suelos)

Este segundo grupo de importancia, de acuerdo con su crecimiento diamétrico corresponden a: milpo, virola y caruto. Estas especies con las tasas de incremento medio a los 12 años de edad, alcanzan los diámetros de corta (diámetro mayor a 40,0 cm) a los 25 años de edad.

Para este importante grupo de especies forestales, el resumen de sus valores de incremento a la última evaluación a los 12 años de edad, correspondieron a:

Las especies achapo, milpo y abarco con incrementos medios de diámetro superiores a 2,0 cm/año, a los 12 años de edad.

Las especies virola, roble, cedroamargo, cedromacho, macano y caruto con incrementos medios de diámetro entre 1,0 cm/año y 2,0 cm/año, a los 12 años de edad.

Las especies brasil, nocuito, inchi y cuyubí con incrementos medios de diámetro menores a 1,0 cm/año, a los 12 años de edad.

Con las especies achapo, milpo, abarco, virola, roble, cedroamargo, cedromacho, macano y caruto, se amplió el número de especies que ya se habían seleccionado del análisis de los arreglos previos de Cerritos 1995, en los que sobresalieron las especies abarco, achapo, macano y milpo.

Para el grupo de especies con incrementos medios menores a 1,0 cm/año, como se ha reiterado en este documento, es necesario el diseño y ejecución de un plan de manejo silvicultural para lograr equilibrar su crecimiento diamétrico.

Este análisis para este grupo de arreglos agroforestales permitió de igual manera la definición de las condiciones de las especies valoradas y la excelente posibilidad para el fomento en mayor escala de estos arreglos productivos agroforestales. En este sentido se destacaron las especies achapo, abarco, cedroamargo, milpo, virola y caruto, especies forestales que presentaron tasas de crecimiento más homogéneas.

En la figura 31, se muestra la especie caruto establecida a distancia de 8 m por 8 m en un arreglo agroforestal en la Inspección de Cerritos en 1997. La tabla 43 registró la información de crecimiento e incremento medio del diámetro y las proyecciones de crecimiento para la totalidad de las especies evaluadas.

Las especies achapo, milpo y abarco con incrementos medios de diámetro superiores a 2,0 cm/año, a los 12 años de edad

Figura 31. Fotografía. Especie caruto establecido a distancia de 8 m por 8 m en arreglo agroforestal, Cerritos, Guaviare



Tabla 43. Diámetro a diferentes edades para especies forestales en arreglos productivos agroforestales, Cerritos, Guaviare.

Especie	Edad (años)				
	4	12	20	24	25
Diámetro (cm)					
achapo	20,7	42,5	87,1		
abarco	18,3	32,1	56,2		
cedro amargo	18,3	32,1	56,2		
milpo	16,8	28,7	36,9	40,3	
virola	12,5	19,7	30,9		41,9
caruto	10,4	17,7	30,1		41,0
cedro macho	9,7	17,3	24,8		
macano	7,9	17,1	24,4		
roble	12,2	16,8	23,2		
carapa	5,5	9,8	17,3		
paloarco	8,0	11,5	16,5		
brasil	6,1	9,6	15,3		
nocuito	6,9	9,2	12,4		
inchi	3,9	6,8	11,9		
cuyubí	2,0	5,3	8,3		

2.2 Altura de especies forestales en arreglos agroforestales, establecidos en la Inspección de Cerritos en 1997

En el análisis de la variable altura para las especies: abarco, achapo, brasil, caruto, cedromacho, nocuito, macano y virola, establecidas en arreglos productivos agroforestales en La Inspección de Cerritos, en 1997, se obtuvieron sus parámetros de calificación estadística correspondientes a los 12 años de edad; este primer análisis estableció diferencias entre las medias de las alturas, que confirmaron la experiencia observada en campo, sobre la preponderancia de algunas especies para ser establecidas en sistemas productivos. Esta afirmación se validó mediante el análisis de varianza para la variable altura, que registró diferencias significativas al 0,0001 para las especies, para los arreglos para las edades.

Como ha sido la tendencia, la altura registró menor variación que el diámetro; registrándose valores de la varianza a los 12 años de edad entre 21,0 m y 2,7 m, que a su vez explicó el amplio rango de alturas para especies como caruto, abarco, nocuito y macano. En la tabla 44 quedaron registrados estos parámetros de calificación estadística

Como ha sido la tendencia, la altura registró menor variación que el diámetro; registrándose valores de la varianza a los 12 años de edad entre 21,0 m y 2,7 m.

Tabla 44. Parámetros de calificación estadística para altura, edad 14 años, para especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos, Guaviare

Especie	caruto	abarco	nocuito	macano	virola	brasil	cedromacho	achapo
Sobrevivencia	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8
Promedio	9,2	16,4	7,2	11,4	14,5	6,2	8,7	21,6
Desviación Estándar	4,6	4,2	4,1	3,6	3,1	3,0	2,5	1,6
Varianza	21,0	17,5	16,9	13,0	9,9	9,1	6,4	2,7
Error Estándar	0,4	0,3	0,5	0,4	0,7	0,5	0,5	0,5
C.V	0,5	0,3	0,6	0,3	0,2	0,5	0,3	0,1
Mínimo	1,5	1,0	1,0	4,8	8,5	1,0	4,8	19,0
Máximo	20,1	25,2	19,5	20,4	18,6	13,0	12,6	23,9

La evaluación de la altura consideró igualmente, establecer la relación existente entre esta variable y la edad y se realizó el procedimiento señalado para el diámetro, que permitió inferir sobre el comportamiento de la variable. (Ver figura 32)

Tabla 45. Altura a los 4, 12 y 20 años de especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare

Arreglo	especie	Edad (años)		
		4	12	20
		Altura (m)		
CER 97 SAF 1	abarco	9,7	15,2	22,7
CER 97 SAF 2	abarco	8,6	15,4	22,7
CER 97 SAF 3	abarco	9,6	21,2	22,7
CER 97 SAF 4	abarco	5,2	13,5	22,7
CER 97 SAF 5	abarco	7,9	17,9	22,7
CER 97 SAF 6	abarco	9,3	18,0	22,7
CER 97 SAF 7	abarco	5,5	15,8	22,7
CER 97 SAF 8	abarco	8,2	16,0	22,7
CER 97 SAF 3	achapo	9,3	21,6	28,7
CER 97 SAF 1	brasil	4,4	7,0	11,8
CER 97 SAF 3	brasil	4,4	7,3	11,8
CER 97 SAF 5	brasil	0,0	9,7	11,8
CER 97 SAF 6	brasil	2,5	4,4	11,8
CER 97 SAF 1	caruto	8,3	14,4	16,4
CER 97 SAF 2	caruto	3,1	6,3	16,4
CER 97 SAF 4	caruto	3,1	6,1	16,4
CER 97 SAF 5	caruto	7,1	13,1	16,4
CER 97 SAF 7	caruto	3,0	7,6	16,4
CER 97 SAF 8	caruto	4,2	7,7	16,4
CER 97 SAF 2	cuyubí	2,6	4,5	12,2
CER 97 SAF 7	cuyubí	3,4	9,0	12,2
CER 97 SAF 8	cuyubí	2,7	5,1	12,2
CER 97 SAF 2	macano	5,3	9,9	19,8
CER 97 SAF 4	macano	6,0	13,4	19,8
CER 97 SAF 7	macano	4,6	10,9	19,8
CER 97 SAF 8	macano	5,5	10,2	19,8
CER 97 SAF 1	milpo	1,0	9,6	17,8
CER 97 SAF 3	milpo	6,7	13,2	17,8
CER 97 SAF 3	nocuito	3,4	5,4	16,0
CER 97 SAF 5	nocuito	5,3	9,7	16,0
CER 97 SAF 6	nocuito	2,6	4,6	16,0
CER 97 SAF 8	nocuito	4,1	6,8	16,0
CER 97 SAF 5	virola	8,2	14,5	30,3
CER 97 SAF 3	roble	6,7	11,6	13,1
CER 97 SAF 1	roble	4,1	8,4	13,1

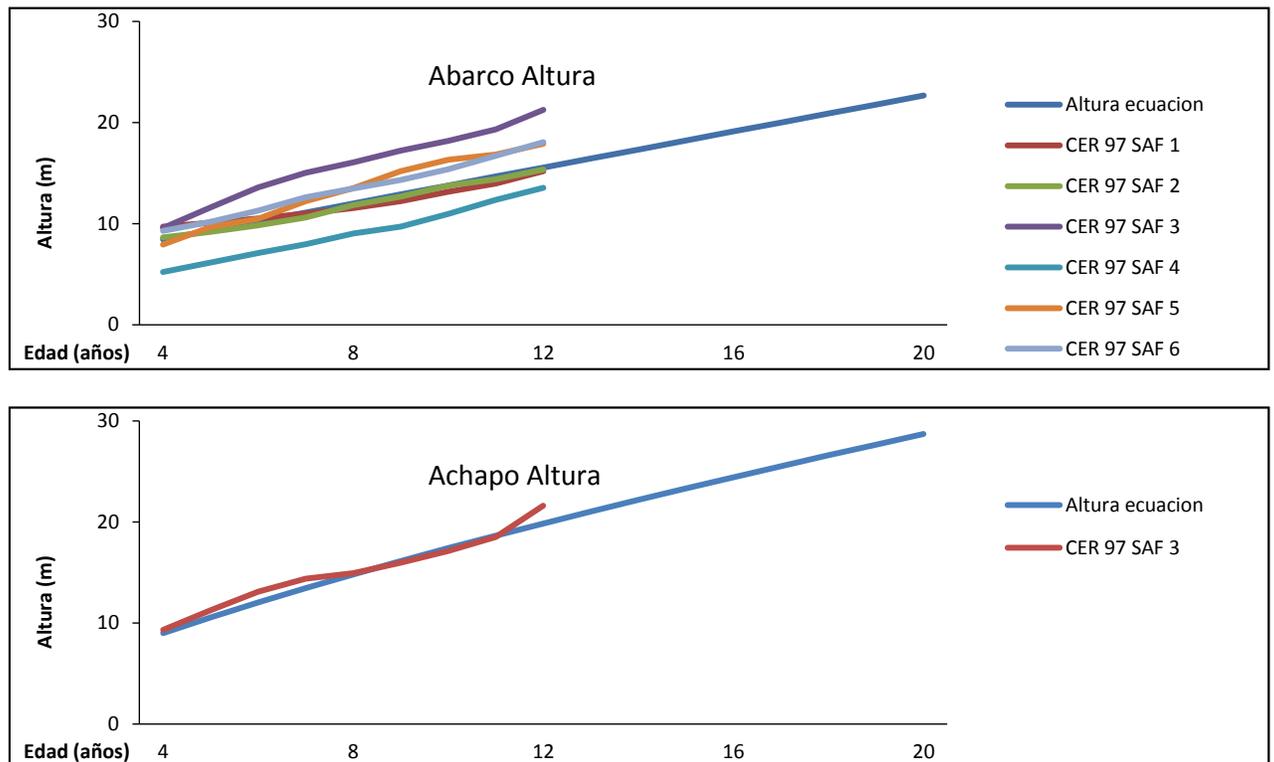
SAF: Arreglos agroforestales.

CER 97: Cerritos 1997

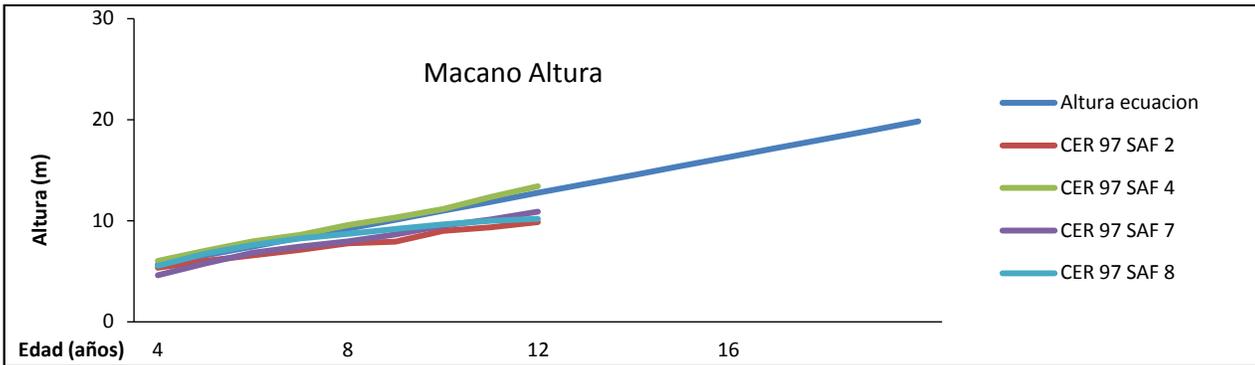
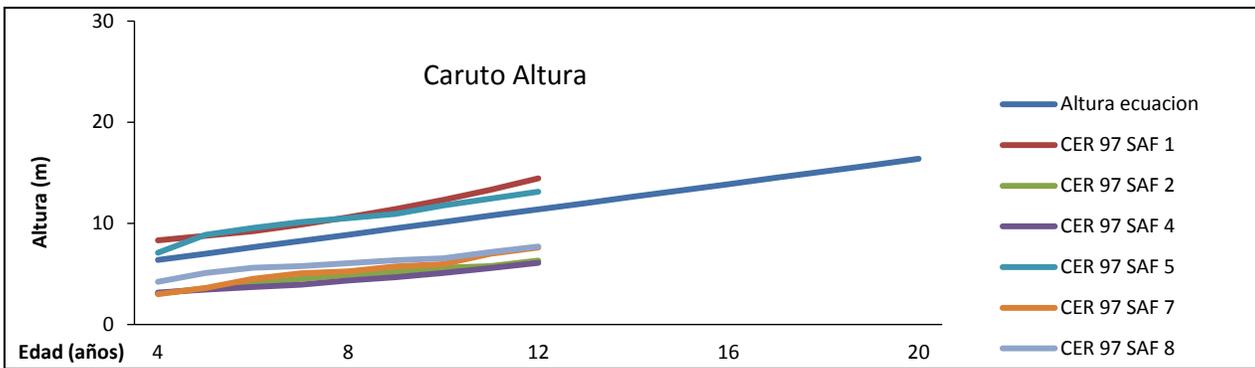
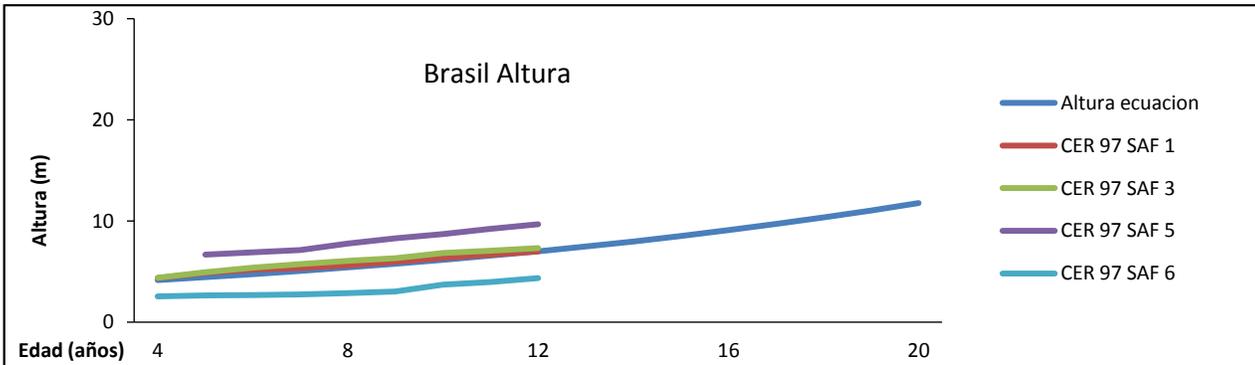
Con los resultados obtenidos se estableció la excelente respuesta de la variable para las especies forestales abarco, achapo, caruto, macano y virola, que en las condiciones del arreglo empleado registraron promedios superiores a los 12 años de edad de 13,4 m, que correspondieron a incrementos medios anuales entre 1,4 m/año a 2,4 m/año.

Considerando los valores obtenidos mediante la ecuación de altura en función de la edad, se proyectó para el año 20 valores medios superiores a 16,4 m, que como se ha señalado son relevantes por la magnitud de acumulación de volumen y biomasa. En la tabla 45 quedaron registrados los valores medios de altura de las principales especies establecidas en los arreglos agroforestales de Cerritos, en 1997 a las edades de 4 años, 12 años y 20 años.

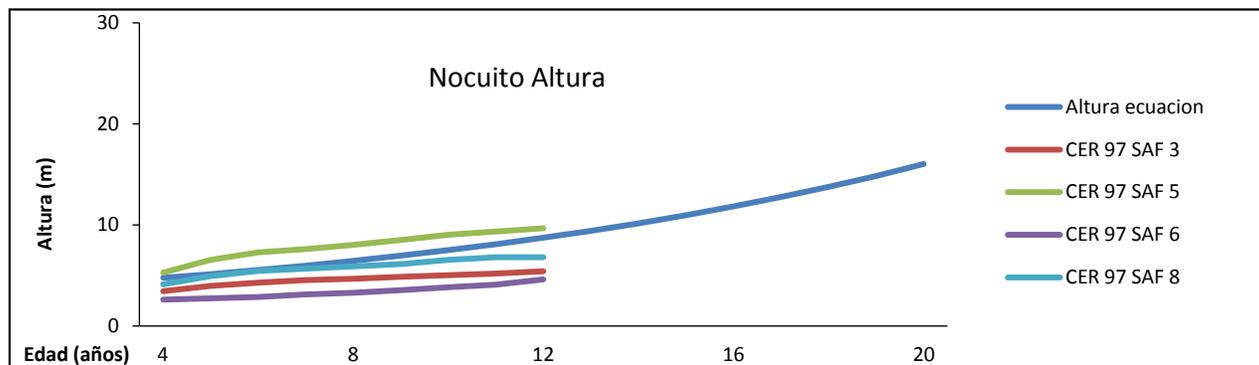
Figura 32. Altura, edades 4 a 20 años de especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos, Guaviare



Continuación Figura 32



Continuación Figura 32



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

SAF: Arreglos agroforestales.

CER 97: Cerritos 1997

abarco	$Altura=4.87449+(0.88936*Edad)$
achapo	$Altura=3.2999*Edad^{0.7219}$
brasil	$Altura=3.2087*EXP(0.065*Edad)$
caruto	$Altura=3.88386+0.62398*Edad$
macano	$Altura=2.146+0.83382*Edad$
nocuito	$Altura=3.5088*EXP(0.0759*Edad)$

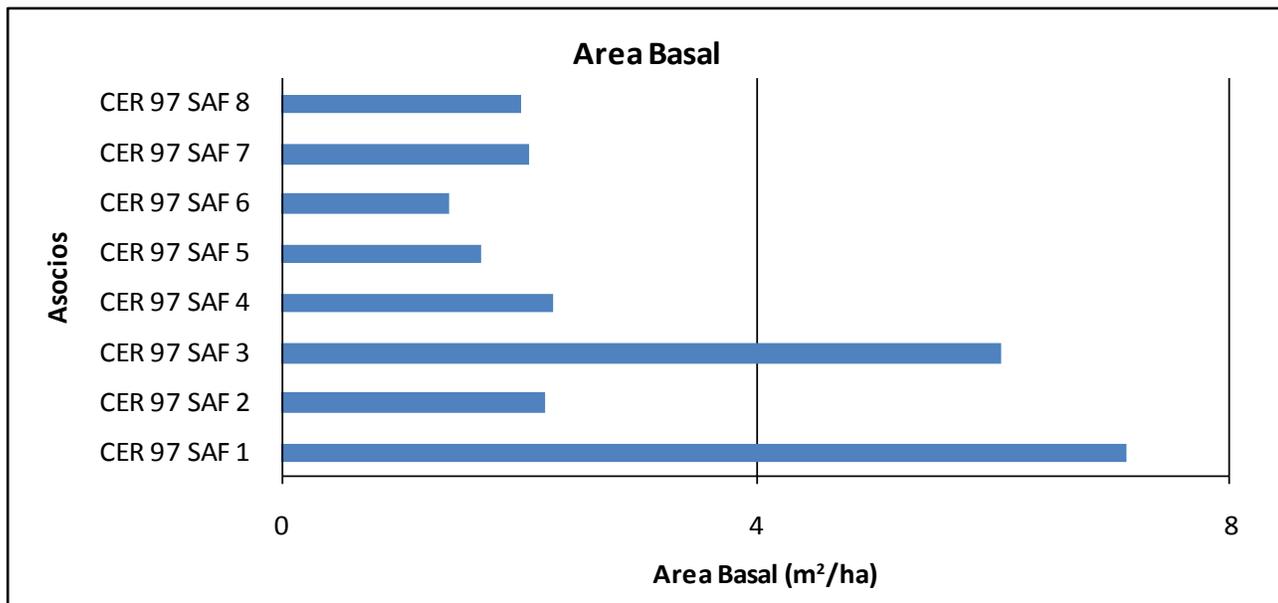
Residual SS (SSE)	Residual MS (MSE)	Standard Deviation	Degrees of Freedom	AICc	Pseudo R-Squared	R-Squared	Adjusted R-Squared	PRESS	Especie
	7,2112	2,6910		374,340		0,5247	0,5222	1368,400	abarco
453,81	8,5625	2,9262	53	122,540	0,9405				achapo
165,64	1,9260	1,3878	86	61,943	0,6467				brasil
	8,1092	2,8477		372,500		0,3269	0,3230	1443,300	caruto
	1,1341	1,0649		18,047		0,8620	0,8607	127,360	macano
228,95	1,9239	1,3871	119	83,368	0,7812				nocuito

En la medición a los 12 años de edad, se registró valores medios por hectárea entre 2,02 m² y 7,12 m²

2.3 Área basal de especies forestales en arreglos agroforestales, establecidos en la Inspección de Cerritos en 1997

Se obtuvo la expresión del área basal para cada uno de los arreglos agroforestales establecidos en la Inspección de Cerritos en 1997, esta área basal refleja el comportamiento del diámetro medio y el número de individuos por especie de cada arreglo. En la medición a los 12 años de edad, se registró valores medios por hectárea entre 2,02 m² y 7,12 m² para los diferentes arreglos valorados, considerando el total de las especies forestales y los individuos establecidos. Se destacaron los arreglos: agroforestal SAF 1 y agroforestal SAF 3. La figura 33 registró los promedios de área basa por hectárea para cada uno de los arreglos.

Figura 33. Área basal de arreglos agroforestales establecidos en la Inspección de Cerritos en 1997



SAF: Arreglos agroforestales. CER 97: Inspección de Cerritos 1997

En este análisis del área basal, se destacó la contribución en porcentaje para todos los arreglos de la especie abarco, la cual está entre el 96% y el 49% y explicó para los arreglos SAF 1 y SAF 3, los mayores valores de área basal, En particular, la espe-

cie abarco para el arreglo SAF 1 contribuyó con el 75% y para el arreglo SAF 3 con el 56%.

Otras especies importantes que contribuyeron a los mayores valores de área basal fueron: caruto, achapo, milpo, macano y virola; para el arreglo SAF 3 las especies abarco, achapo y milpo aportaron el 92% del total del área basal de este arreglo. Nuevamente, se destacó el papel de estas especies para diseño y establecimiento de arreglos productivos agroforestales.

Para el diámetro medio por arreglo, como indicador de homogeneidad o variabilidad del comportamiento de las especies forestales, se destacó el valor medio a los 12 años de edad para las especies achapo, abarco, cedroamargo, milpo, virola, roble y macano con valores entre 43,5 cm a 16,0 cm. En la figura 34 se registró el comportamiento en diámetro medio para cada uno de las especies valoradas en los diferentes arreglos en dos diferentes edades de evaluación. En la tabla 46 se registraron los diámetros y sus incrementos medios a los 12 años de edad.

Figura 34. Diámetro de especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos, Guaviare

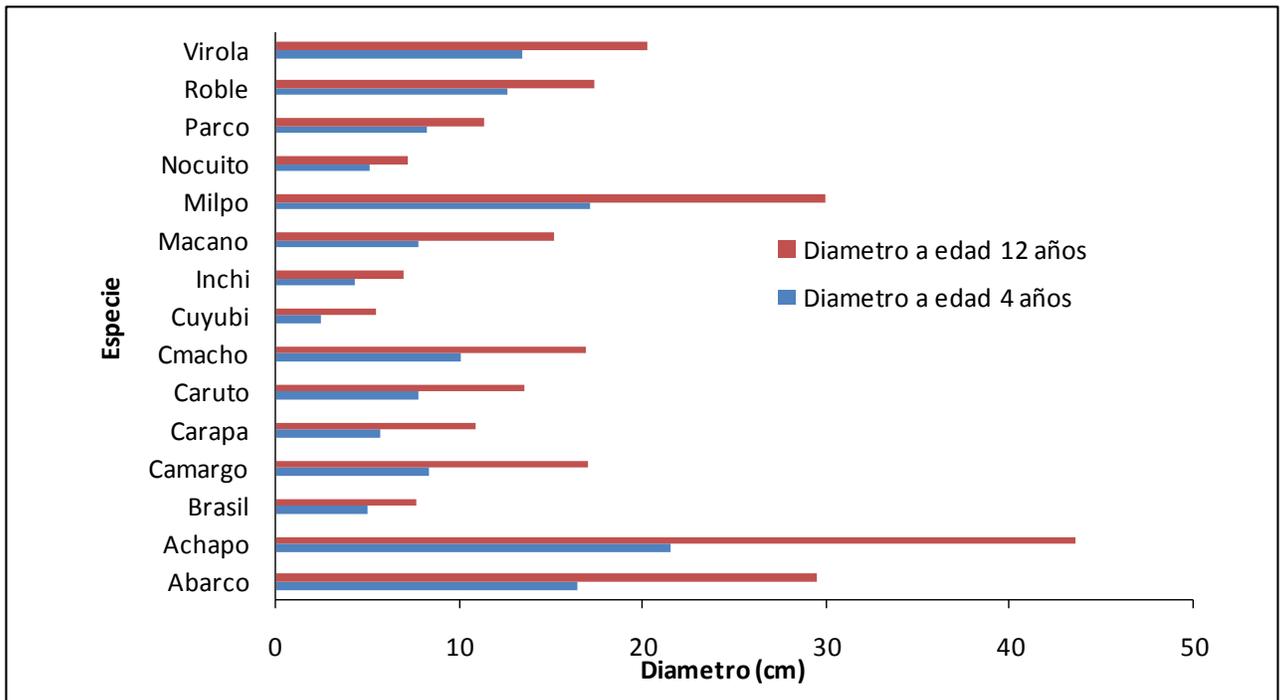


Tabla 46. Diámetro e incremento medio anual a los 12 años de especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos, Guaviare

Especie	Diámetro (cm)	Incremento medio anual (cm/año)
achapo	43,5	3,6
abarco	30,8	2,6
milpo	29,9	2,5
virola	20,2	1,7
roble	17,3	1,4
cedro amargo	16,9	1,4
macano	15,7	1,3
cedromacho	14,9	1,2
caruto	13,1	1,1
paloarco	11,3	0,9
carapa	10,8	0,9
nocuito	7,8	0,6
brasil	7,1	0,6
inchi	6,7	0,6

2.4 Volumen y biomasa de especies forestales y arreglos agroforestales establecidos en la Inspección de Cerritos en 1997

2.4.1 Volumen por árbol de especies forestales en arreglos agroforestales, establecidos en la Inspección de Cerritos en 1997

Para este grupo de especies forestales de arreglos productivos agroforestales establecidos en la Inspección de Cerritos, en 1997 (CERR97), se analizó el comportamiento del volumen por árbol que a su vez está expresado mediante las variables diámetro y altura. Se realizaron los cálculos para el periodo de medición, edades entre 4 y 12 años y la proyección del rendimiento en volumen por árbol para las edades entre 13 y 20 años. Para el análisis de esta variable para las especies: abarco, achapo, brasil, caruto, macano, milpo, nocuito y virola, se construyeron gráficos resumen. En la figura 35 quedó registrada esta información.

Para el volumen medio por árbol, se infiere que a los 12 años de edad las especies principales para el desarrollo agroforestal en la región norte amazónica, fueron:

La especie achapo con un valor medio de volumen por árbol de 1,4 m³ para los arreglos evaluados, a los 12 años de edad

La especie abarco con valores medios de volumen por árbol entre 0,95 m³ y 0,33 m³, a los 12 años de edad

La especie milpo con valores medios de volumen por árbol entre 0,44 m³ y 0,11 m³, a los 12 años de edad

La especie macano con valores medios de volumen por árbol entre 0,2 m³ y 0,1 m³. a los 12 años de edad

Las proyecciones a 20 años de edad registraron volumen por árbol entre 7,1 m³ a 0,41 m³.

En este primer grupo de especies, se resalta las proyecciones a 20 años en volumen medio para las especies achapo, abarco y milpo. En la tabla 47 se registran los valores medios y el error estándar, para la variable volumen por árbol a las edades entre 12 años y 20 años, para las principales especies evaluadas.

El otro grupo de especies conformado de acuerdo con su segundo lugar en la producción forestal, en términos de volumen correspondió a las especies virola, cedromacho, roble, macano y caruto con valores medios a los 12 años de edad entre 0,247 m³ y 0,122 m³.

El tercer grupo, con las especies de menores valores de producción (volúmenes menores a 0,07 m³) correspondieron a paloarco, brasil, nocuito, cuyubí y como se ha señalado previamente para estas especies es necesario acciones de manejo para mejorar las condiciones de competencia por luz y densidad de siembra.

Esta información registrada para los arreglos y especies forestales establecidas en 1997 en la Inspección de Cerritos, permitieron una muy buena definición de la cantidad de madera fina por hectárea y los ingresos proyectados de acuerdo con las especies establecidas y el número de individuos. En estos análisis se consideró la importancia del grupo de especies que registraron las mayores tasas de permanencia en el arreglo.

En este primer grupo de especies, se resalta las proyecciones a 20 años en volumen medio para las especies achapo, abarco y milpo

Tabla 47. Volumen medio por árbol para especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos, Guaviare, edades 12 y 20 años

	Volumen (m ³) edad 12 años	Error Estandar (SE)	Volumen (m ³) proyectado a 20 años
abarco			
CER 97 SAF 3	0,946	0,061	
CER 97 SAF 6	0,846	0,187	
CER 97 SAF 1	0,765	0,069	
CER 97 SAF 8	0,519	0,066	
CER 97 SAF 5	0,497	0,222	
CER 97 SAF 2	0,469	0,053	
CER 97 SAF 7	0,466	0,045	
CER 97 SAF 4	0,331	0,053	
			2,344
achapo			
CER 97 SAF 3	1,388	0,123	
			7,0804
caruto			
CER 97 SAF 1	0,361	0,031	
CER 97 SAF 5	0,167	0,022	
CER 97 SAF 8	0,061	0,013	
CER 97 SAF 4	0,048	0,004	
CER 97 SAF 7	0,047	0,009	
CER 97 SAF 2	0,046	0,007	
			0,5041
macano			
CER 97 SAF 4	0,204	0,019	
CER 97 SAF 7	0,126	0,023	
CER 97 SAF 8	0,112	0,024	
CER 97 SAF 2	0,102	0,013	
			0,408
milpo			
CER 97 SAF 3	0,439	0,083	
CER 97 SAF 1	0,109		
			0,8086

SAF: Arreglos agroforestales.

CER 97: Cerritos 1997

Para las principales especies se comparó su producción con valores de volumen obtenidos en los ensayos establecidos en la Estación Experimental y con los arreglos de Cerritos en 1995. Se definió abarco, achapo y caruto como las especies de mejor comportamiento bajo las condiciones definidas en Cerritos en

1997, en los cuales se asociaron un mayor número de especies y de individuos forestales frutales. (Ver tabla 48). En la tabla 49, se registró el volumen por árbol para las especies forestales en América tropical y subtropical, que aunque no se registró la edad a la cual se hizo el reporte de volumen, por los valores de diámetro y altura presentados, son un indicador de comparación con las especies forestales de este arreglo Cerritos 1997. Esta comparación permitió confirmar los buenos resultados obtenidos con la combinación de estas especies en arreglos productivos agroforestales

Tabla 48. Comparación de volumen por árbol, para especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos, Guaviare, edad 12 años

Arreglo	Volumen (m ³)	Error estándar SE	Incremento medio anual (m ³ /año)
abarco			
CER97 SAF 3	0,95	0,06	0,08
CER95 SAF 2	0,93	0,06	0,08
CER95 PROMEDIO	0,92		0,08
CER95 SAF 1	0,92	0,12	0,08
CER97 SAF 6	0,85	0,19	0,07
CER97 SAF 1	0,77	0,07	0,06
CER97 PROMEDIO	0,6		0,05
CER97 SAF 8	0,52	0,07	0,04
CER97 SAF 5	0,5	0,22	0,04
CER97 SAF 2	0,47	0,05	0,04
CER97 SAF 7	0,47	0,05	0,04
QS EE	0,4	0,03	0,03
CER97 SAF 4	0,33	0,05	0,03
achapo			
CER97 PROMEDIO	1,39		0,12
CER97 SAF 3	1,39	0,12	0,12
CER95 SAF 2	0,89	0,07	0,07
CER95 PROMEDIO	0,77		0,06
CER95 SAF 3	0,77	0,13	0,06
CER95 SAF 1	0,65	0,08	0,05
QS EE	0,35	0,07	0,03

SAF: Arreglos agroforestales.

CER 97: Inspección de Cerritos 1997.

CER 95: Inspección de Cerritos 1995.

QS: Ensayo Quince especies

IND 1: Ensayo Indígenas 1.

EE: Estación Experimental

Tabla 48. Continuación. Comparación de volumen por árbol, para especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos, Guaviare, edad 12 años

Arreglo	Volumen (m ³)	Error estándar SE	Incremento medio anual (m ³ /año)
caruto			
CER97 SAF 1	0,36	0,03	0,03
CER97 SAF 5	0,17	0,02	0,01
CER97 PROMEDIO	0,12		0,01
CER97 SAF 8	0,06	0,01	0,01
CER97 SAF 4	0,05	0	0
CER97 SAF 7	0,05	0,01	0
CER97 SAF 2	0,05	0,01	0
milpo			
CER95 SAF 3	0,25	0,02	0,02
CER95 PROMEDIO	0,25		0,02
CER95 SAF 2	0,25	0,03	0,02
CER97 SAF 4	0,2	0,02	0,02
CER97 PROMEDIO	0,14		0,01
IND1	0,14	0,01	0,01
CER97 SAF 7	0,13	0,02	0,01
CER97 SAF 8	0,11	0,02	0,01
CER97 SAF 2	0,1	0,01	0,01
macano			
CER95 SAF 3	0,25	0,02	0,02
CER95 PROMEDIO	0,25		0,02
CER95 SAF 2	0,25	0,03	0,02
CER97 SAF 4	0,2	0,02	0,02
CER97 PROMEDIO	0,14		0,01
IND1	0,14	0,01	0,01
CER97 SAF 7	0,13	0,02	0,01
CER97 SAF 8	0,11	0,02	0,01
CER97 SAF 2	0,1	0,01	0,01

SAF: Arreglos agroforestales.

CER 97: Inspección de Cerritos 1997.

CER 95: Inspección de Cerritos 1995.

QS: Ensayo Quince especies

IND 1: Ensayo Indígenas 1.

EE: Estación Experimental

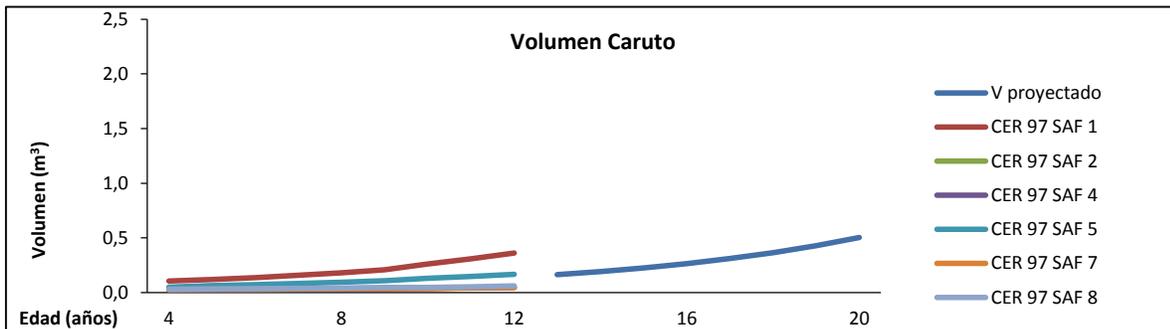
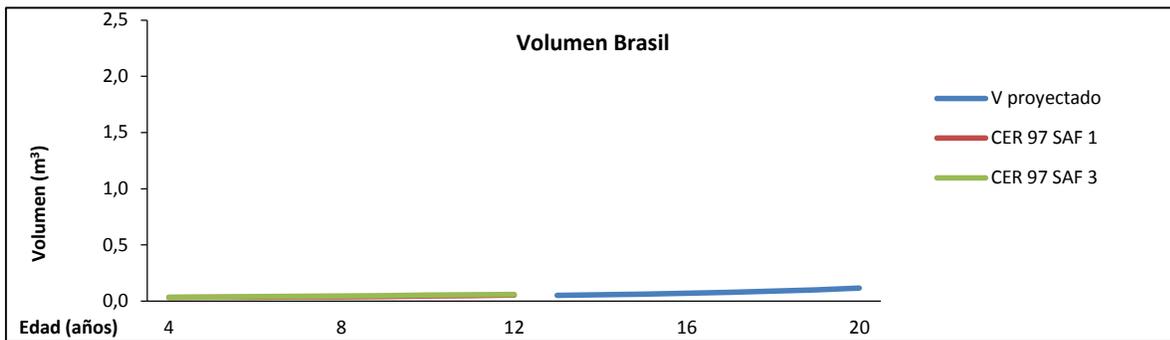
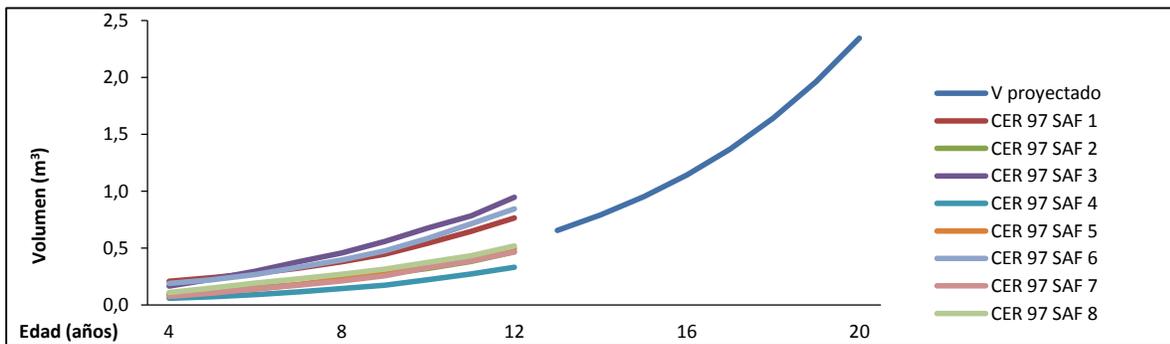
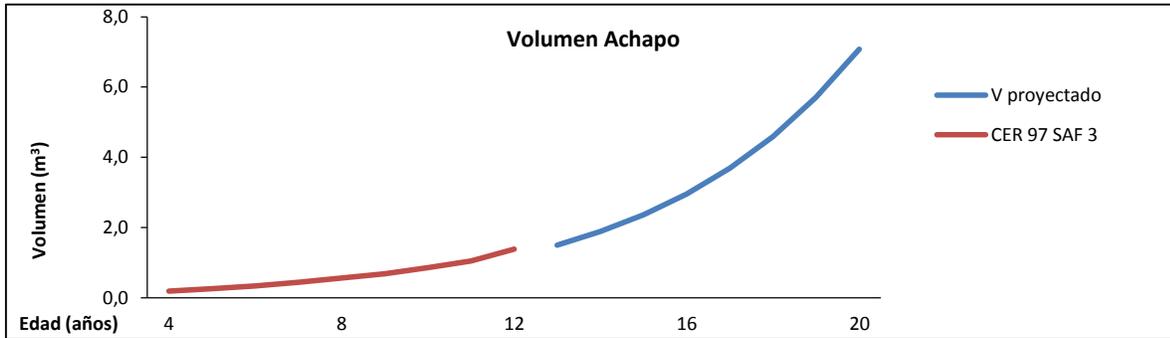
Tabla 49. Volumen por árbol para especies forestales em diferentes sitios de América

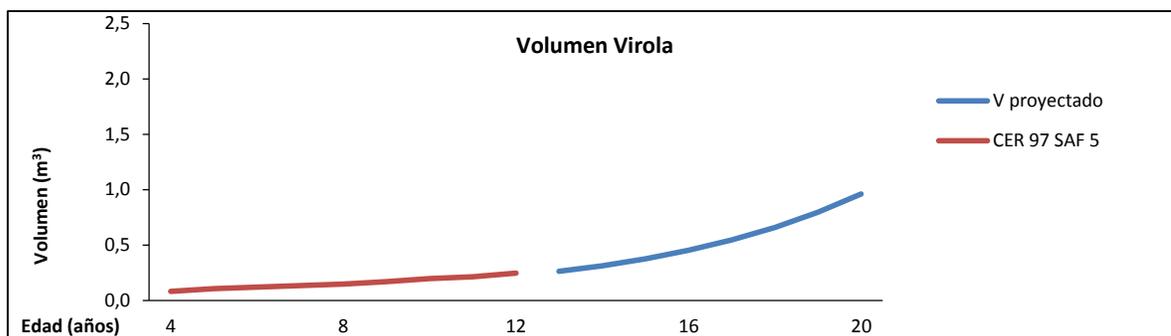
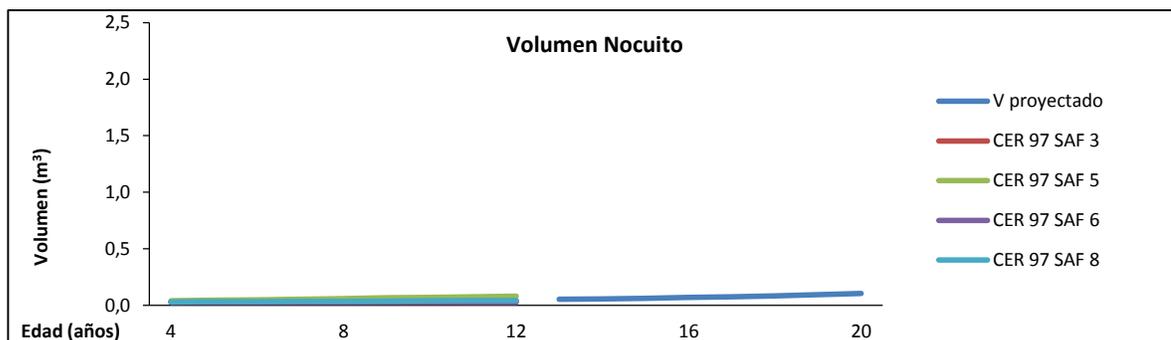
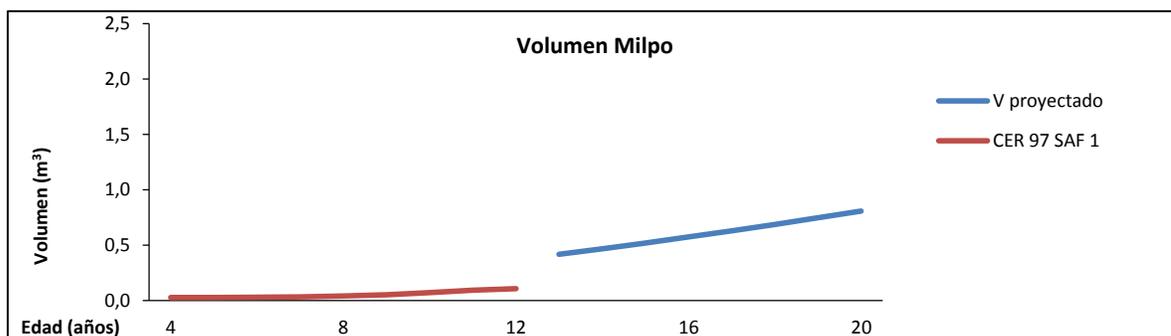
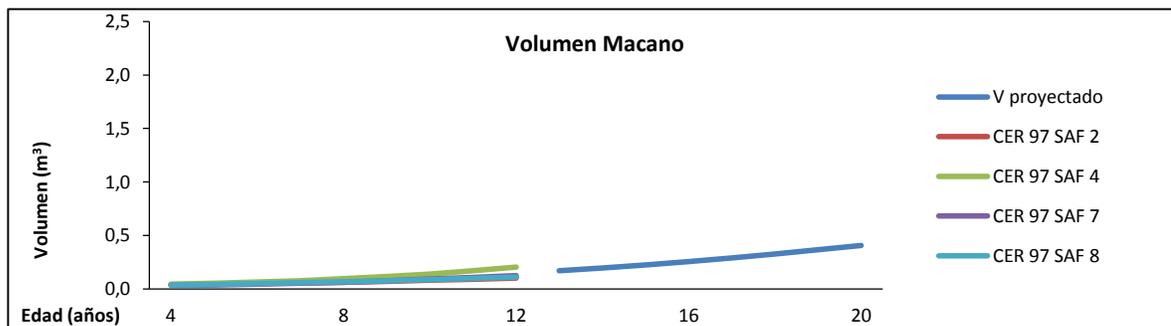
País	tipo	Especie	edad (años)	Diámetro (cm)	Altura (m)	Volumen árbol total (m ³)	Referencia
4	plantaciones	<i>C. guianensis</i>		94,7	32,7	15,600	51
4	plantaciones	<i>L. procera</i>		79,5	39,0	13,000	51
4	plantaciones	<i>V. ferruginea</i>		84,0	29,0	11,500	51
4	plantaciones	<i>P. macroloba</i>		88,0	19,5	11,100	51
4	plantaciones			81,3	27,9	10,900	51
3	bosques			104,2	15,3	10,610	53
3	bosques			128,5	12,0	8,737	53
4	plantaciones	<i>I. coruscans</i>		73,6	26,3	8,700	51
4	plantaciones	<i>S. microstachyum</i>		67,0	31,0	8,000	51
4	plantaciones	<i>T. guianensis</i>		70,1	26,7	6,900	51
3	bosques			79,5	19,3	6,875	53
3	bosques			52,9	13,0	2,240	53
3	bosques			47,0	12,0	1,356	53
3	plantaciones	<i>Acacia mangium</i>		19,4	15,1	0,188	52
3	plantaciones	<i>Acacia mangium</i>		17,7	14,6	0,172	52
3	plantaciones	<i>Acacia mangium</i>		14,2	12,0	0,098	52
3	plantaciones	<i>Acacia mangium</i>		13,4	14,4	0,098	52
3	Cerritos 97 SAF 3	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	20	87,1	28,7	7,080	99
3	Cerritos 97 SAF 1	<i>Cariniana pyriformis</i>	20	56,2	22,7	2,344	99
3	Cerritos 97 SAF 3	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	12	43,5	21,6	1,351	99
3	Cerritos 97 SAF 5	<i>Virola peruviana</i>	20	23,2	30,3	0,962	99
3	Cerritos 97 SAF 3	<i>Cariniana pyriformis</i>	12	35,6	21,2	0,897	99
3	Cerritos 97 SAF 1	<i>Cariniana pyriformis</i>	12	35,6	15,2	0,648	99
3	Cerritos 97 SAF 6	<i>Cariniana pyriformis</i>	12	31,1	18,0	0,589	99
3	Cerritos 97 SAF 1	<i>Caruto</i>	20	30,1	16,4	0,504	99
3	Cerritos 97 SAF 8	<i>Cariniana pyriformis</i>	12	29,3	16,0	0,471	99
3	Cerritos 97 SAF 3	<i>Cedro macho</i>	20	24,8	22,0	0,464	99
3	Cerritos 97 SAF 7	<i>Cariniana pyriformis</i>	12	27,7	15,8	0,418	99
3	Cerritos 97 SAF 5	<i>Cariniana pyriformis</i>	12	26,0	17,9	0,416	99
3	Cerritos 97 SAF 2	<i>Cariniana pyriformis</i>	12	27,8	15,4	0,409	99
3	Cerritos 97 SAF 8	<i>Terminalia amazonia</i>	20	24,4	19,8	0,408	99
3	Cerritos 97 SAF 3	<i>Erismia uncinatum</i>	12	29,9	13,2	0,407	99

Referencia. 51: Segura y Kanninen (2005), 52: UN Medellín (sf), 53: UN Medellín b (sf), 99: Este estudio.

País 3: Colombia, 4: Costa Rica.

Figura 35. Volumen por árbol, edades de 4 a 20 años para especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare





V: Volumen.

SAF: Arreglos agroforestales.

CER 97: Inspección de Cerritos 1997.

La especie achapo con biomasa de 1177,0 Kg/árbol, a los 12 años de edad

La especie abarco con biomasa de 580,0 Kg/árbol, a los 12 años de edad

2.4.2 Biomasa por árbol de especies forestales en arreglos agroforestales, establecidos en la Inspección de Cerritos en 1997

En el análisis de la biomasa media por árbol se registró el comportamiento de las especies forestales establecidas en Cerritos en 1997. Se resaltaron las especies abarco, achapo, virola y milpo con valores de biomasa por árbol superiores a 250,0 Kg/árbol.

Como se ha establecido en los análisis para este grupo de especies y para las diferentes variables de crecimiento y producción, sobresalieron nuevamente un grupo importante de especies:

La especie achapo con biomasa de 1177,0 Kg/árbol, a los 12 años de edad

La especie abarco con biomasa de 580,0 Kg/árbol, a los 12 años de edad

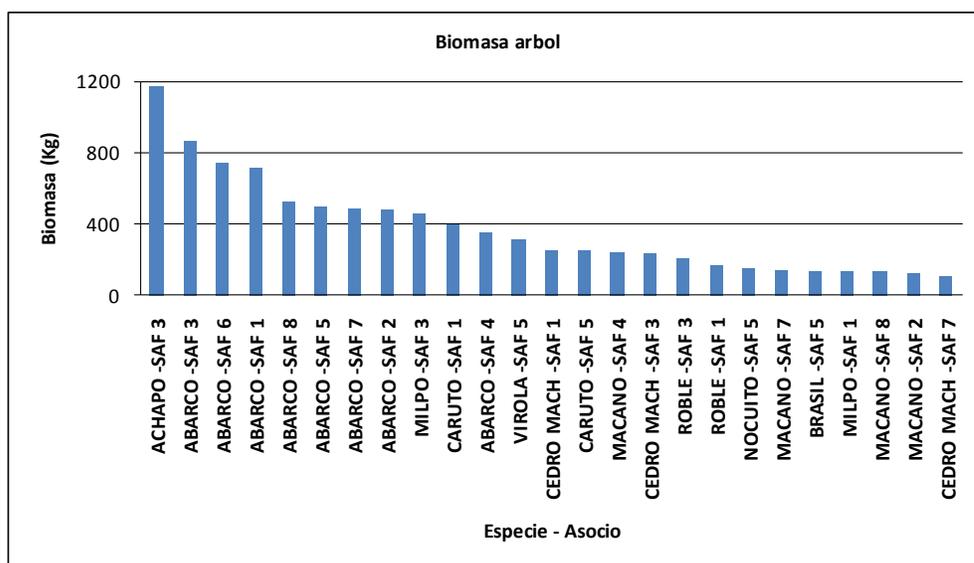
La especie virola con biomasa de 311,0 Kg/árbol, a los 12 años de edad

La especie milpo con biomasa de 298,0 Kg/árbol, a los 12 años de edad

Para las especies forestales abarco, achapo, milpo, virola, la proyección del rendimiento en biomasa registró a los 20 años valores aproximados a 1000,0 Kg/árbol

Como se ha establecido en los análisis de los otros arreglos valorados, la obtención a los 20 años de edad de biomasa cercana a 1000,0 Kg/árbol, en las condiciones medioambientales de la Amazonia norte colombiana, es un valor excelente de producción y permitió definir a este grupo de especies para su establecimiento en los arreglos productivos agroforestales. En la figura 36 se registró el comportamiento de la biomasa medio por árbol para estas especies.

Figura 36. Biomasa por árbol, edades de 4 a 20 años para especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare



SAF: Arreglos productivos agroforestales.

En la tabla 50 están registrados los valores medios de biomasa por árbol a los 12 años y sus respectivos incrementos medios anuales para las principales especies forestales.

Se registró para la especie abarco un valor de incremento medio anual de biomasa por árbol de 72,0 Kg/año, a los 12 años de edad

La especie achapo obtuvo valores de incremento medio de biomasa por árbol de 98,0 Kg/año, a los 12 años de edad

La especie caruto el incremento de biomasa por árbol fue de 33,0 Kg/año, a los 12 años de edad

La especie milpo registró incremento de biomasa por árbol de 38,0 Kg/año, a los 12 años de edad

La especie viola obtuvo un incremento medio de biomasa por árbol de 26,0 Kg/año, a los 12 años de edad.

En este análisis de la biomasa de las especies forestales establecidas en Cerritos en 1997, con los resultados de incrementos medios anuales, se establecieron las metodologías para hacer inferencias sencillas sobre la productividad de las especies y los arreglos donde

se establecen. Se destacó, un valor de referencia importante que correspondió a la biomasa por árbol aproximado a 1,0 tonelada/árbol a edades cercanas a 20 años. Con estas consideraciones, se confirmó el grupo de especies señalados como las más apropiadas para el diseño y establecimiento de arreglos productivos agroforestales.

Tabla 50. Biomasa promedio por árbol edades 12 y 20 años de especies forestales en arreglos agroforestales

Especie	Arreglo	Biomasa (Kg) edad 12 años	Incremento medio anual (Kg/año)	Desviación Standar	Promedio biomasa (Kg) proyectado a 20 años
abarco	CER 97 SAF 3	863,01	71,918	46,214	
	CER 97 SAF 6	738,69	61,558	138,44	
	CER 97 SAF 1	710,61	59,218	52,15	
	CER 97 SAF 8	524,75	43,729	56,737	
	CER 97 SAF 5	494,769	41,231	182	
	CER 97 SAF 7	481,69	40,141	41,278	
	CER 97 SAF 2	480,79	40,066	45,559	
	CER 97 SAF 4	347,67	28,973	48,322	
					1792,7
achapo	CER 97 SAF 3	1177,3	98,108	83,484	
					4248,4
caruto	CER 97 SAF 1	394,9	32,908	27,924	
	CER 97 SAF 5	247,06	20,588	18,603	
	CER 97 SAF 8	61,573	5,131	18,637	
	CER 97 SAF 7	46,283	3,857	16,28	
	CER 97 SAF 4	45,047	3,754	6,541	
	CER 97 SAF 2	40,141	3,345	10,211	
milpo	CER 97 SAF 3	460,3	38,358	77,525	
	CER 97 SAF 1	136,38	11,365		
					772,75
virola	CER 97 SAF 5	310,68	25,89	23,747	
					887,9

SAF: Arreglos agroforestales.

CER 97: Inspección de Cerritos 1997

2.4.3 Volumen total de arreglos agroforestales, establecidos en la Inspección de Cerritos en 1997

Se obtuvo la sumatoria de los volúmenes medios de todos los individuos de las diferentes especies establecidas en cada uno de los arreglos de Cerritos 1997. Con estos registros se construyeron las gráficas del volumen en el periodo de evaluación de edades de 4 a 12 años y las proyecciones de la sumatoria de volumen para edades entre 13 y 20 años. Del análisis para el año 12, sobresalieron los arreglos:

SAF 1 con el arreglo: abarco, brasil, caruto, paloarco, roble y arazá, borojó, con volumen total de las especies forestales a los 12 años de 55,0 m³/ha

SAF 3 con el arreglo: abarco, achapo, brasil, cedromacho, milpo, nocuito, virola, arazá, borojó, chontaduro y maraco con volumen total de las especies forestales a los 12 años de 52,81 m³/ha

SAF 8 con el arreglo: abarco, caruto, cedro amargo, cuyubí, macano, nocuito, arazá, borojó y caimaroná con volumen total de las especies forestales a los 12 años de 16,33 m³/ha.

Con las ecuaciones generadas se obtuvieron los valores de volumen proyectado a 20 años para los arreglos. Esta información fue consignada en la tabla 51. En la figura 37, están registrados los valores de volumen obtenidos para los diferentes arreglos, a las edades 4, 12 y 20 años

En la proyección a 20 años se obtuvo el volumen por hectárea para SAF 1, SAF 2, SAF 3, SAF 4 entre 174,214 m³/ha a 97,289 m³/ha.

De estos arreglos, sobresalió el SAF 3 con un volumen por hectárea de 174,214 m³, conformado por las especies forestales abarco, achapo, brasil, cedro macho, milpo, nocuito, virola. Este valor es de gran importancia por la posibilidad de obtención de ingresos económicos derivado de este tipo de arreglo productivo, en los cuales los mayores costos son los aportes en mano de obra de los productores.

En la proyección a 20 años se obtuvo el volumen por hectárea para SAF 1, SAF 2, SAF 3, SAF 4 entre 174,214 m³/ha a 97,289 m³/ha.

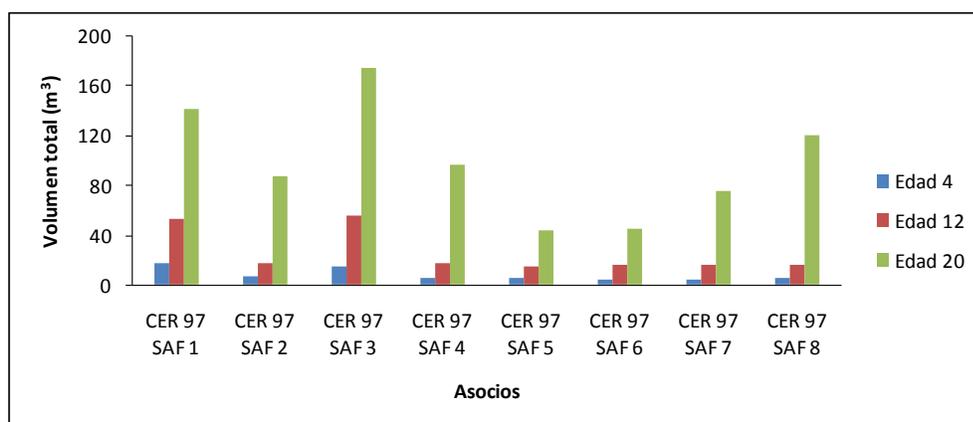
Tabla 51. Volumen total a 20 años para especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos, Guaviare

Arreglo	Volumen total (m ³ /ha)
CER 97 SAF 1	142,341
CER 97 SAF 2	87,394
CER 97 SAF 3	174,214
CER 97 SAF 4	97,289
CER 97 SAF 5	43,423
CER 97 SAF 6	44,929
CER 97 SAF 7	75,108
CER 97 SAF 8	120,881

SAF: Arreglos agroforestales.

CER 97: Inspección de Cerritos 1997

Figura 37. Volumen total de arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare, edades 4 a 20 años



SAF: Arreglos agroforestales.

CER 97: Inspección de Cerritos 1997

En el análisis del volumen total de arreglos agroforestales, establecidos en la Inspección de Cerritos en 1997, considerando los aportes de volumen por especie, se destacaron a los 12 años las siguientes especies:

La especie abarco a los 12 años de edad registró un volumen total para el arreglo SAF 1 de 41,31 m³/ha; su proyección a 20 años de edad fue de 126,6 m³ /ha para el volumen total.

La especie achapo a los 12 años de edad en el arreglo SAF 3, registró un volumen total de 16,6 m³ /ha y su proyección a 20 años de edad correspondió a 85,0 m³ /ha para el volumen total.

La especie caruto en el arreglo SAF 1 registró a las edades de 12 y 20 años valores de volumen total de 8,0 m³ /ha y 30,0 m³ /ha respectivamente.

En la tabla 52 quedó consignada la información del volumen de las principales especies forestales a los 12 años. En la figura 38 se registró el comportamiento de especies forestales establecidas en arreglos productivos agroforestales y permitió definir la importancia de las especies abarco, achapo, caruto, macano, virola para el fomento en la región norte amazónica de los arreglos agroforestales.

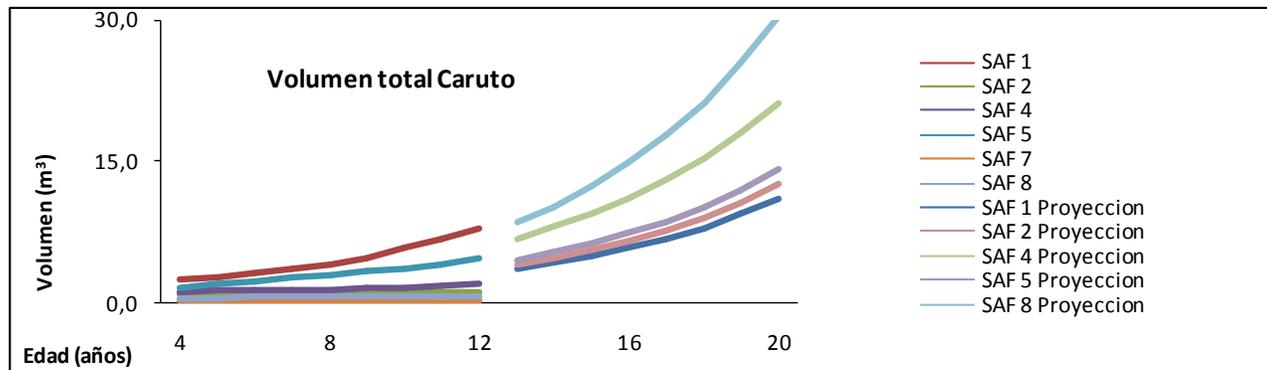
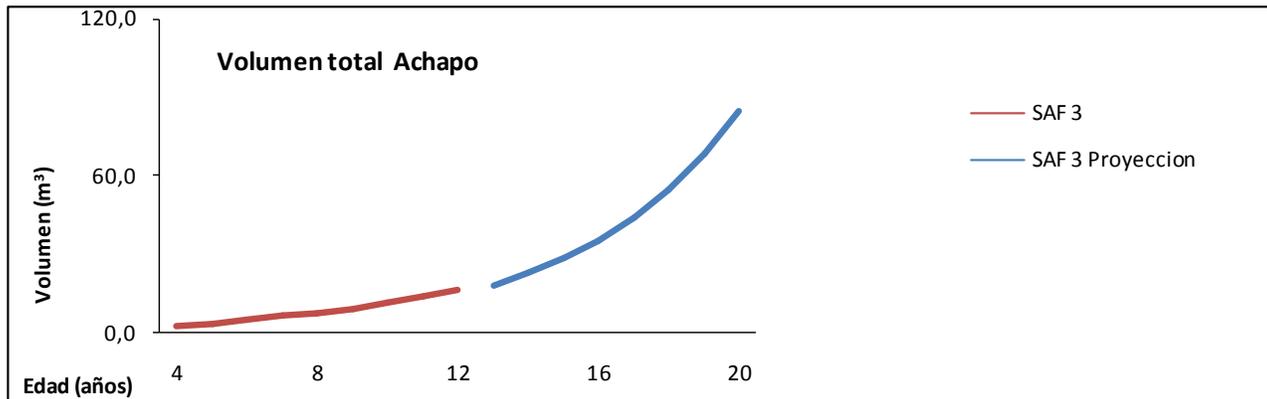
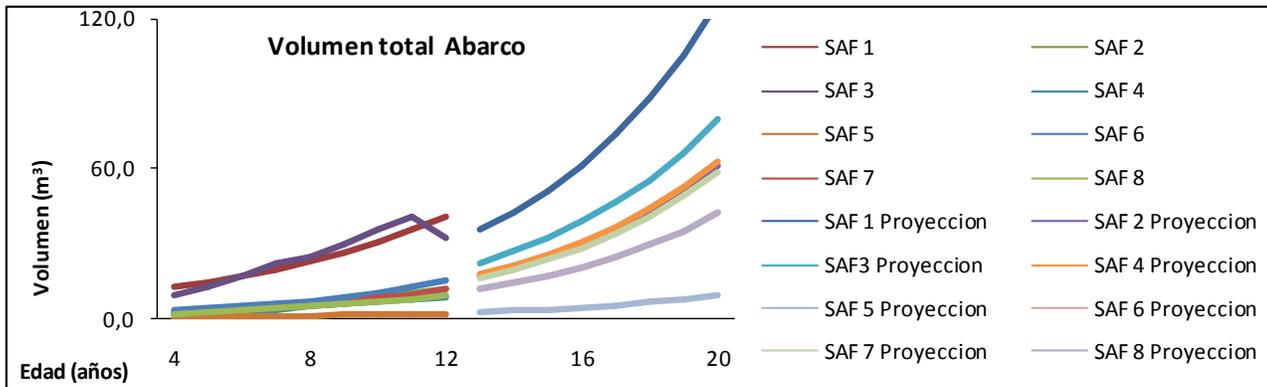
Tabla 52 Volumen total de especies forestales a los 12 años, en arreglos agroforestales, Cerritos, Guaviare

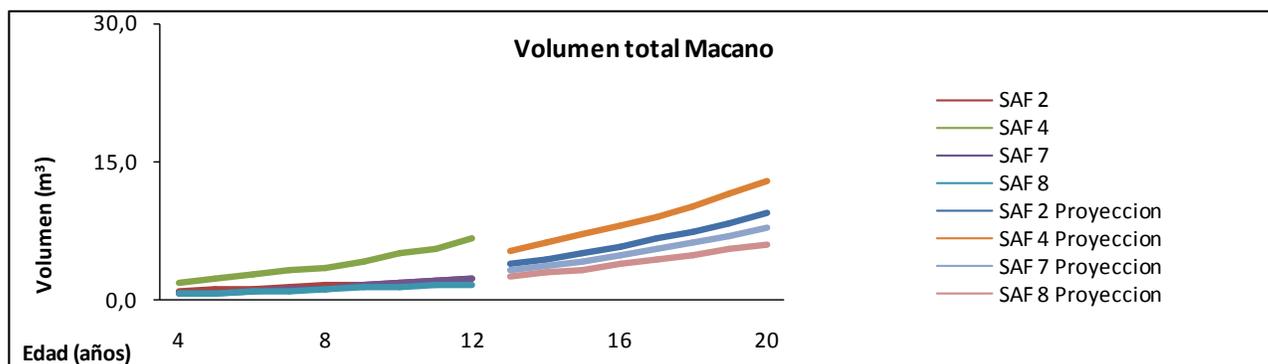
Arreglo	Especie	Volumen total por hectárea a los 12 años (m ³ /ha)
CER 97 SAF 1	abarco	41,313
CER 97 SAF 3	abarco	32,152
CER 97 SAF 3	achapo	16,651
CER 97 SAF 6	abarco	15,231
CER 97 SAF 2	abarco	12,182
CER 97 SAF 7	abarco	11,661
CER 97 SAF 8	abarco	9,337
CER 97 SAF 4	abarco	8,936
CER 97 SAF 1	caruto	7,944
CER 97 SAF 4	macano	6,717
CER 97 SAF 5	caruto	4,668
CER 97 SAF 5	virola	4,441
CER 97 SAF 8	cedro amargo	3,441
CER 97 SAF 3	milpo	2,631
CER 97 SAF 7	macano	2,4
CER 97 SAF 2	macano	2,349
CER 97 SAF 4	caruto	2,025
CER 97 SAF 5	nocuito	2,019
CER 97 SAF 5	abarco	1,989
CER 97 SAF 8	macano	1,673
CER 97 SAF 7	cedromacho	1,549

SAF: Arreglos agroforestales.

CER 97: Inspección de Cerritos 1997

Figura 38. Volumen total de arreglos agroforestales, Cerritos Guaviare, edades 6 a 20 años





SAF: Arreglos agroforestales.

CER 97: Inspección de Cerritos 1997

2.4.4 Biomasa total de arreglos agroforestales, establecidos en la Inspección de Cerritos en 1997

Las evaluaciones de biomasa de sistemas productivos sostenibles establecidos en la Inspección de Cerritos desde 1997, permitió obtener valores totales por arreglos entre 49680,0 Kg/ha a 13481,0 Kg/ha; en especial se destacaron los valores de biomasa a los 12 años para los arreglos con las especies abarco, achapo, cedro amargo, caruto, virola, macano y milpo. Para estos arreglos agroforestales proyectados a los 20 años, se obtuvo el promedio de acumulación de biomasa por hectárea

El arreglo SAF 3 a los 12 años de edad alcanzó un valor de biomasa total de 122,0 ton/ha

El arreglo SAF 1 a los 12 años de edad alcanzó un valor de biomasa total de 114,0ton/ha

El arreglo SAF 8 a los 12 años de edad alcanzó un valor de biomasa total de 95,0 ton/ha

El arreglo SAF 4 a los 12 años de edad alcanzó un valor de biomasa total de 85,0 ton/ha

Estos registros de biomasa se obtuvieron en función de la altura y el diámetro proyectado a la edad definida y el número de individuos que permanecen en el arreglo. En la tabla 53 quedaron registrados los valores proyectados a 20 años para las especies forestales establecidas en los diferentes arreglos productivos agroforestales.

El arreglo SAF 3 a los 12 años de edad alcanzó un valor de biomasa total de 122,0 ton/ha

Los registros proyectados de biomasa a 20 años, reportaron las excelentes condiciones de producción de la especie abarco, con valores superiores a 45,0 toneladas por hectárea en cinco de los 8 arreglos evaluados.

De estos arreglos evaluados, el denominado SAF 1 obtuvo valores de biomasa aproximados a 100,0 ton/ha, explicado por los 54 individuos de abarco que permanecen en el arreglo.

En general para los arreglos de mejores resultados en biomasa el número de individuos de abarco fue mayor a 25 individuos por hectárea.

Establecidos los análisis por arreglos para las dos últimas variables indicadoras de producción, el volumen y la biomasa, se definen el conjunto de especies forestales con mejores condiciones para establecer en los sistemas productivos agroforestales; se destacan:

Arreglo SAF 1 conformado por las especies forestales abarco, brasil, caruto, roble y paloarco,

Arreglo SAF 3 conformado por las especies forestales abarco, achapo, brasil, cedro macho, milpo, nocuito y virola,

Arreglo SAF 4 conformado por las especies forestales abarco, caruto y macano.

En la proyección a 20 años de los valores de biomasa total se destacó:

La especie abarco con biomasa aérea total de 96805,0 Kg/ha y 60951,0 Kg/ha en dos de los sistemas valorados, proyectado a 20 años de edad.

La especie achapo con biomasa aérea total de 50980,0 Kg/ha, proyectado a 20 años de edad

La especie caruto con biomasa aérea total de 23305,0 Kg/ha, proyectado a 20 años de edad

La especie cedroamargo con biomasa aérea total de 30476,0 Kg/ha, proyectado a 20 años de edad

Estos valores por hectárea proyectados a 20 años, establecieron la importancia de estas especies forestales y su priorización para la conformación de arreglos agroforestales, por su aporte de biomasa y por consiguiente de carbono y su tasa de retención de CO₂

La especie abarco con biomasa aérea total de 96805,0 Kg/ha y 60951,0 Kg/ha en dos de los sistemas valorados, proyectado a 20 años de edad.

Tabla 53. Biomasa total a 20 años de especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos, Guaviare

Especie	Arreglo	Biomasa total (Kg/ha) a 20 años
abarco	SAF 1	96805,221
	SAF 3	60951,435
	SAF 4	48402,610
	SAF 2	46609,921
	SAF 7	44817,232
	SAF 6	32268,407
	SAF 8	32268,407
	SAF 5	7170,757
achapo	SAF 3	50980,653
cedroamargo	SAF 8	30475,718
caruto	SAF 8	23304,961
	SAF 4	22159,295
	SAF 5	14772,863
	SAF 2	13190,057
	SAF 1	11607,250
cedromacho	SAF 7	8377,451
	SAF 3	2463,956
macano	SAF 4	14057,647
	SAF 2	10199,021
	SAF 7	8425,278
	SAF 8	6651,535
milpo	SAF 3	4636,505
nocuito	SAF 5	3265,213
	SAF 3	1828,519
	SAF 6	1697,911
	SAF 8	1697,911

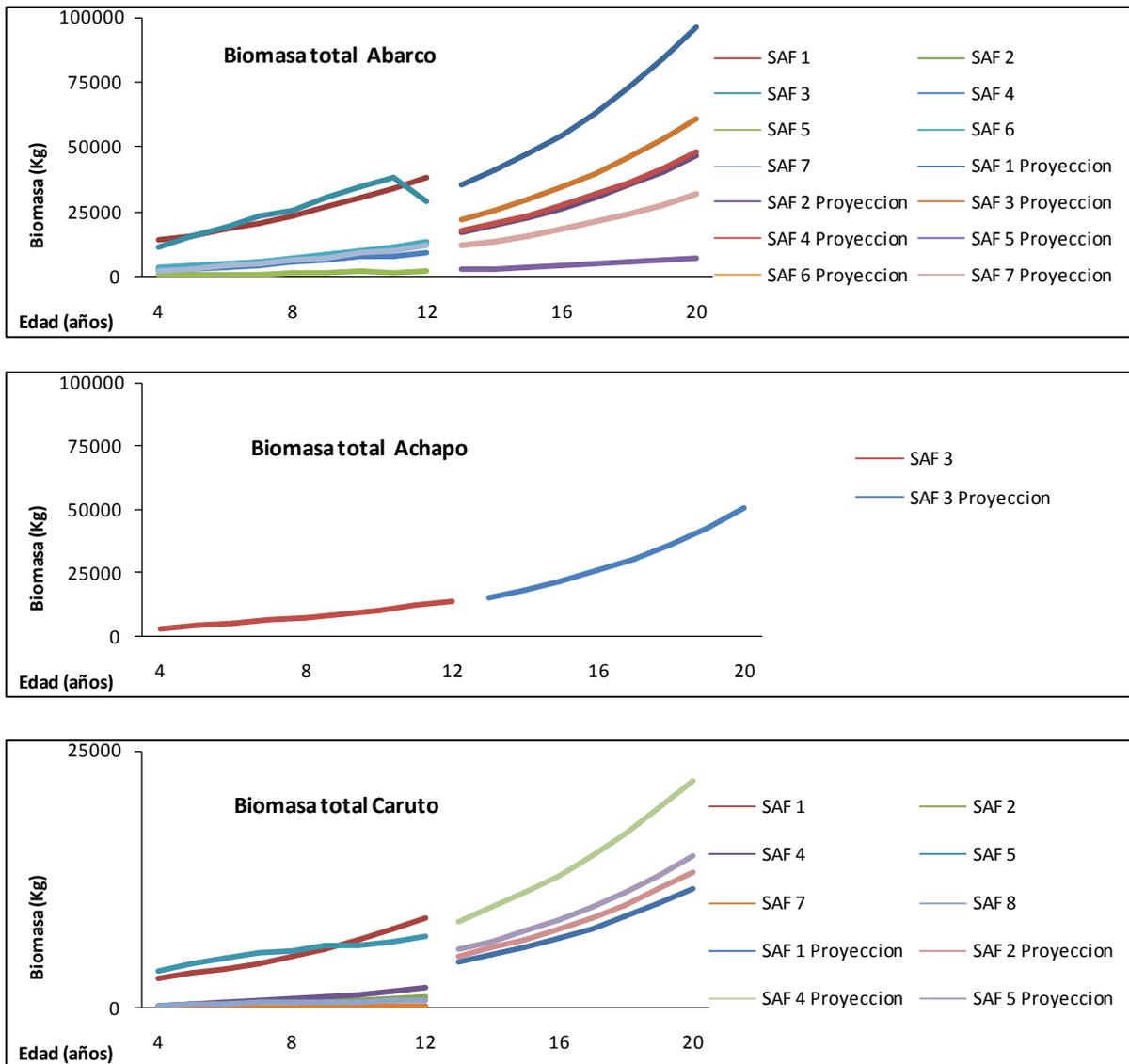
SAF: Arreglos agroforestales.

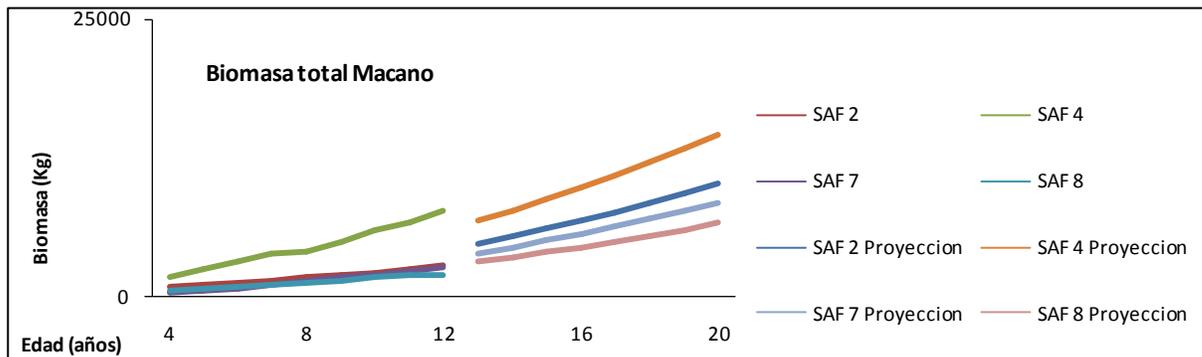
CER 97: Inspección de Cerritos 1997

En la figura 39 se registraron para las principales especies sus valores en el periodo de medición de 4 a 12 años y las proyecciones entre los 13 y 20 años. La valoración y conocimiento de las especies, la construcción de ecuaciones que expresaron la producción, brindó las bases para efectuar en estos arreglos productivos sostenibles los balances económicos y definir estrategias claras de financiación y planes de establecimiento a gran escala para la región norte amazónica.

Con estos elementos de investigación generados por el Instituto Sinchi, se hace posible para la región norte amazónica tener una mayor facilidad para el establecimiento de planes de largo plazo, ya que la valoración y estimación de los productos (madera, frutales, pan coger, servicios ecosistémicos), desarrollada por el Instituto, ofrece gran seguridad en la planeación. En la figura 40, se resaltan los diferentes componentes de un arreglo productivo agroforestal.

Figura 39. Biomasa total, edades de 4 a 20 años de especies forestales en arreglos agroforestales, Cerritos, Guaviare





SAF: Arreglo agroforestal

Figura 40. Fotografía. Arreglo productivo agroforestal



3 Resultados de arreglos agroforestales establecidos en el núcleo veredal La Tabla, El Retorno, Guaviare en 1999

3.1 Diámetro de especies forestales en arreglos agroforestales, establecidos en el núcleo veredal La Tabla en 1999

Siguiendo el procedimiento realizado previamente, para los arreglos productivos agroforestales establecidos en el núcleo veredal La Tabla, en 1999, se analizó cada una de las variables de crecimiento y producción, en el periodo de evaluación, correspondiente a las edades entre 6 y 10 años.

Para la variable diámetro, con los resultados obtenidos a los 10 años, se registraron diferencias estadísticas significativas, entre los valores medios por edad, especie y por arreglo, de acuerdo con el análisis de varianza. (Ver tabla 54). El diámetro promedio presentó un coeficiente de variación del 15% y es comparativamente mayor al encontrado para la variable altura, estableciendo una primera diferenciación en el grupo de especies, que como se ha expresado en los análisis previos, se debe a las características de competencia propia entre las especies y sus requerimientos de fertilidad natural y de manejo.

Tabla 54. Análisis de varianza para las variables altura, diámetro, biomasa y volumen de los arreglos agroforestales establecidos en núcleo veredal la Tabla en 1999

Variable		Fuente de variación			
		bloque	Edad	Arreglo	Arreglo*Edad
Altura	Grados de libertad	2	4	31	8
	F calculado	9,09 **	202,45 **	76,80 **	0,06
Diámetro	Grados de libertad	17	8	7	136
	F calculado	27,11 **	146,50 **	86,83 **	0,08
Biomasa	Grados de libertad	17	8	7	136
	F calculado	19,48 **	124,19 **	36,90 **	0,25
Volumen	Grados de libertad	17	8	7	136
	F calculado	20,43 **	133,34 **	36,62 **	0,36

En este primer análisis a los 10 años de edad se registró la importancia, calificada por sus mejores valores de crecimiento en diámetro, de las especies forestales abarco, acacio achapo, cachicamo, caruto, macano y que son reflejo de las características de adaptación a los sistemas establecidos.

Las especies forestales abarco, acacio achapo, cachicamo, caruto, macano presentaron tasas de Incremento medio anual en diámetro desde 3,0 cm/año hasta 2,2 cm/año.

Con la información de los sistemas previamente analizados (arreglo Cerritos establecido en 1995, arreglo Cerritos establecido en 1997 y los registros de ensayos establecidos en la Estación Experimental del Instituto Sinchi), se estableció un cuadro comparativo del crecimiento del diámetro a los 10 años de edad. (Ver tabla 55)

Los resultados indican que valores de incremento medio anual en diámetro superiores a 2,5 cm/año, presentados por especies como abarco, acacio, achapo, cachicamo,, macano, son las tasas de crecimiento diamétrico más representativas de la región norte amazónica y consolidan estas especies forestales para el diseño y establecimiento de sistemas productivos agroforestales.

Las especies forestales abarco, acacio achapo, cachicamo, caruto, macano presentaron tasas de Incremento medio anual en diámetro desde 3,0 cm/año hasta 2,2 cm/año.

Tabla 55. Diámetro de especies forestales en arreglos agroforestales, Guaviare, edad 10 años

Especie - Arreglo	Diámetro (cm)	Desviación Standar	Incremento medio anual (cm/año)
abarco			
CER97 SAF 3	32,1	1,0	3,2
CER97 SAF 1	31,8	1,4	3,2
CER95 SAF 2	30,8	1,0	3,1
TAB99 SAF 2	29,5		2,9
CER95 PROMEDIO	29,0		2,9
TAB99 SAF 6	28,9		2,9
CER97 SAF 6	27,4	3,4	2,7
CER95 SAF 1	27,1	2,0	2,7
TAB99 PROMEDIO	26,9		2,7
TAB99 SAF 1	26,5		2,6
CER97 SAF 8	26,4	1,5	2,6
CER97 PROMEDIO	26,0		2,6
CER97 SAF 7	24,1	1,4	2,4
CER97 SAF 2	23,7	1,4	2,4
TAB99 SAF 5	23,4		2,3

Especie - Arreglo	Diámetro (cm)	Desviación Standar	Incremento medio anual (cm/año)
CER97 SAF 5	22,9	3,3	2,3
CER97 SAF 4	19,7	1,7	2,0
acacio			
TAB99 SAF 4	29,8		3,0
TAB99 PROMEDIO	28,9		2,9
TAB99 SAF 3	28,1		2,8
CER95 SAF 2	22,5	2,0	2,3
CER95 PROMEDIO	19,0		1,9
CER95 SAF 1	15,5	2,3	1,6
CER97 SAF 6	14,3	0,7	1,4
CER97 PROMEDIO	14,3		1,4
achapo			
CER97 SAF 3	35,6	3,0	3,6
CER97 PROMEDIO	35,6		3,6
CER95 SAF 2	30,6	1,1	3,1
CER95 SAF 3	27,8	1,2	2,8
CER95 PROMEDIO	27,5		2,7
TAB99 SAF 6	26,3		2,6
TAB99 PROMEDIO	26,2		2,6
TAB99 SAF 5	26,1		2,6
CER95 SAF 1	24,1	1,4	2,4
Cachicamo			
CER97 SAF 3	26,1	4,2	2,6
TAB99 SAF 3	24,7		2,5
TAB99 PROMEDIO	19,5		1,9
TAB99 SAF 6	18,1		1,8
CER97 SAF 1	18,0	2,2	1,8
CER97 PROMEDIO	17,8		1,8
CER97 SAF 7	9,3	1,5	0,9
caruto			
CER97 SAF 1	23,5	0,8	2,3
TAB99 SAF 2	21,8		2,2
TAB99 SAF 3	20,5		2,1
TAB99 PROMEDIO	19,5		1,9
TAB99 SAF 4	16,8		1,7
CER97 SAF 5	14,8	0,9	1,5
CER97 PROMEDIO	11,1		1,1
TAB99 SAF 1	9,6		1,0
CER97 SAF 8	7,7	1,2	0,8
CER97 SAF 4	7,6	0,6	0,8
CER97 SAF 7	6,7	1,1	0,7
CER97 SAF 2	6,3	0,8	0,6

Espece - Arreglo	Diámetro (cm)	Desviación Standar	Incremento medio anual (cm/año)
cedroamargo			
TAB99 SAF 4	8,4		0,8
TAB99 PROMEDIO	8,4		0,8
CER97 SAF 5	32,2		3,2
CER97 PROMEDIO	23,2		2,3
CER97 SAF 8	14,2	1,5	1,4
cuyubí			
TAB99 SAF 3	6,4		0,6
TAB99 SAF 4	6,3		0,6
TAB99 PROMEDIO	6,2		0,6
TAB99 SAF 1	5,6		0,6
CER97 SAF 8	4,6	0,4	0,5
CER97 SAF 7	4,2	0,5	0,4
CER97 PROMEDIO	4,2		0,4
CER97 SAF 2	3,7	0,5	0,4
macano			
TAB99 SAF 3	25,4		2,5
TAB99 SAF 6	20,6		2,1
CER95 SAF 3	19,1	0,7	1,9
TAB99 SAF 2	19,0		1,9
CER95 PROMEDIO	19,0		1,9
CER95 SAF 2	18,8	0,7	1,9
TAB99 PROMEDIO	18,7		1,9
TAB99 SAF 5	17,9		1,8
CER97 SAF 4	16,1	0,8	1,6
CER97 PROMEDIO	13,4		1,3
IND1 SAF	13,3	0,8	1,3
TAB99 SAF 1	13,2		1,3
CER97 SAF 2	12,8	0,7	1,3
CER97 SAF 8	12,6	1,1	1,3
CER97 SAF 7	12,2	1,3	1,2
paloarco			
CER97 SAF 1	10,7	1,1	1,1
CER97 PROMEDIO	10,7		1,1
TAB99 SAF 5	5,8		0,6
TAB99 SAF 1	5,6		0,6
TAB99 PROMEDIO	5,6		0,6
TAB99 SAF 4	2,5		0,3

SAF: Arreglos agroforestales. CER 97: Inspección de Cerritos 1997. CER 95: Inspección de Cerritos 1995. TAB99: Núcleo veredal La Tabla 1999. QS: ensayo Quince especies. EE: Estación Experimental

La especie abarco a los 10 años de edad, para los tres diferentes arreglos agroforestales presentó mínima variación con valores de diámetro de 29,0 cm, 26,0 cm y 26,0 cm respectivamente.

En esta comparación con diferentes arreglos para Cerritos 1995, Cerritos 1997 y Tabla 1999, se identificaron las mejores condiciones de crecimiento en diámetro presentadas por las especies abarco, achapo, cachicamo, macano en condiciones de asociación con especies frutales y otras especies maderables.

Para los arreglos específicos del núcleo veredal La Tabla establecidos en 1999, se asociaron en promedio 288 individuos de especies maderables y especies frutales; a los 10 años se registró un porcentaje en promedio de permanencia del 70% para los individuos de los 8 arreglos agroforestales. En estos arreglos se registró en la última evaluación a los 10 años de edad (2009), 1214 individuos, con promedio de 202 individuos por hectárea.

De acuerdo con el análisis comparativo entre los promedios de los tres tipos de sistemas agroforestales evaluados (Cerritos 1995, Cerritos 1997 y Tabla 1999) y los ensayo de crecimiento de especies forestales en la Estación Experimental, se identificaron las especies que para la región norte amazónica no presentaron grandes diferencias entre sus promedios de diámetro, a los 10 años de valoración:

La especie abarco a los 10 años de edad, para los tres diferentes arreglos agroforestales presentó mínima variación con valores de diámetro de 29,0 cm, 26,0 cm y 26,0 cm respectivamente.

La especie achapo a los 10 años de edad, en los tres diferentes arreglos agroforestales registró respectivamente valores de diámetro de 27,5 cm, 35,6 cm y 26,2 cm.

La especie macano a los 10 años de edad, en los tres diferentes arreglos agroforestales no presentó grandes diferencias entre sus valores de diámetro

Estos resultados, como se ha reiterado en esta investigación consolidan un grupo importante de especies forestales para establecer en arreglos productivos en la región norte amazónica.

Una primera conclusión importante en esta evaluación del comportamiento del diámetro a los 10 años para los arreglos productivos agroforestales establecidos en el núcleo veredal La Tabla, en 1999, fue la definición y selección de las principales especies forestales

La especie abarco con diámetro medio de 27,1 cm, a los 10 años de edad.

La especie acacio con diámetro medio de 28,9 cm, a los 10 años de edad.

La especie achapo con diámetro medio de 26,2 cm, a los 10 años de edad.

La especie cachicamo con diámetro medio de 21,4 cm, a los 10 años de edad.

La especie caruto con diámetro medio de 17,2 cm, a los 10 años de edad.

La especie macano con diámetro medio de 19,2 cm, a los 10 años de edad.

En los diferentes arreglos productivos sobresalió de nuevo la especie abarco, esta especie en el arreglo denominado SAF 6 presentó un diámetro medio de 29,5 cm, con un incremento medio anual a los 10 años de 3,0 cm/año, uno de los valores más alto de crecimiento de especies forestales en la región norte amazónica.

La especie abarco en los arreglos agroforestales del núcleo veredal La Tabla registró una mínima variación entre los cuatro arreglos valorados con un rango de diferencia entre sus valores de diámetro de 6,1 cm.

En este núcleo veredal La Tabla, otra especie forestal importante fue el acacio que alcanzó incrementos medios de 3,0 cm/año en el arreglo SAF 4.

La especie nativa achapo, registró en los arreglos SAF 5 y SAF 6 del núcleo veredal La Tabla valores de diámetro mayores a 26,0 cm con una tasa de incremento de 2,6 cm / año.

En la tabla 56, está registrado el diámetro de las diferentes especies forestales en los arreglos productivos establecidas, a las edades de 6 y 10 años y la proyección del diámetro a los 20 años.

En los diferentes arreglos productivos sobresalió de nuevo la especie abarco, esta especie en el arreglo denominado SAF 6 presentó un diámetro medio de 29,5 cm, con un incremento medio anual a los 10 años de 3,0 cm/año

Tabla 56. Diámetro de especies forestales en arreglos productivos agroforestales, núcleo veredal La Tabla Guaviare, edades 6, 10 y 20 años

Especie	Arreglo	Edad (años)		
		6	10	20 (proyección)
		Diámetro (cm)		
abarco	SAF 1	15,6	26,5	55,5
	SAF 2	17,5	29,5	
	SAF 5	14,1	23,4	
	SAF 6	16,6	28,9	
acacio	SAF 3	21,0	28,1	46,2
	SAF 4	18,7	29,8	
achapo	SAF 5	13,8	26,1	42,9
	SAF 6	13,5	26,3	
cachicamo	SAF 3	19,4	24,7	40,9
	SAF 6	10,3	18,1	
caruto	SAF 1	7,0	9,6	44,5
	SAF 2	12,7	21,8	
	SAF 3	13,9	20,5	
	SAF 4	10,7	16,8	
cedro	SAF 4		8,4	
cuyubí	SAF 1	2,0	5,6	21,2
	SAF 3	4,8	6,4	
	SAF 4	2,8	6,3	
guacamayo	SAF 1	4,4	5,6	
	SAF 2		6,0	
macano	SAF 1	9,5	13,2	43,5
	SAF 2	11,0	19,0	
	SAF 3	17,5	25,4	
	SAF 4	3,5		
	SAF 5	10,8	17,9	
	SAF 6	11,7	20,6	
paloarco	SAF 1	4,2	5,6	
	SAF 4	2,0	2,5	
	SAF 5	3,9	5,8	

SAF: Arreglos agroforestales.

Con la comparación realizada, se estableció que las especies de los arreglos del núcleo veredal La Tabla, presentaron valores superiores a los registrados en la Estación Experimental del Instituto, en condiciones de los ensayos de crecimiento y producción de estas especies, establecidas a distancia de siembra de 3,0 m por

3,0 m, que confirmaron las afirmaciones sobre las fuertes competencia por nutrientes y luminosidad que se presentaron a estas densidades altas. Se confirmó además, que estas especies forestales su mayor desarrollo se obtiene bajo sistemas multiestratos, como los diseñados en estos sistemas agroforestales.

Esta conclusión acerca de las distancias o densidades de siembra, es de gran valor para las condiciones de fertilidad natural de los suelos de la región norte amazónica, porque define que las condiciones más adecuadas para establecer especies maderables para producción de madera fina solo es posible en arreglos productivos agroforestales con distancias de siembra superiores a 8,0 metros por 6,0 metros.

Para complementar este análisis, se realizó un cuadro comparativo con los reportes de diferentes fuentes de América tropical y subtropical con edades cercanas a los 10 años, edad de la última evaluación en este estudio. En la tabla 57 se registró esta comparación del incremento medio anual en diámetro con las especies valoradas en este arreglo del núcleo veredal TABLA 1999. El análisis, permitió establecer la importancia de las especies forestales evaluadas para la región norte amazónica, que en general registran mejor comportamiento en crecimiento que las especies reportadas por estos estudios de referencia.

Tabla 57. Diámetro a los 10 años de edad de especies forestales en diferentes sitios de América

Tipo	Arreglo en este estudio	País	Especie	Incremento medio anual Diámetro (cm/año)	Incremento medio anual Altura (m/año)	Referencia
4		4	<i>Vochysia guatemalensis</i>	3,3	2,1	14
3		4	<i>Vochysia guatemalensis</i>	3	2,7	11
5	Tabla 1999 SAF 4	1	<i>Acacia auriculiformis</i>	3	1,6	17
5	Tabla 1999 SAF 2	1	<i>Cariniana pyriformis</i>	2,9	1,5	17
4		4	<i>Gmelina arborea</i>	2,9	2,2	11
5	Tabla 1999 SAF 6	1	<i>Cariniana pyriformis</i>	2,9	1,3	17
5	Tabla 1999 SAF 3	1	<i>Acacia auriculiformis</i>	2,8	1,3	17
3		4	<i>Jacaranda copaia</i>	2,7	2,6	11
5	Tabla 1999 SAF 1	1	<i>Cariniana pyriformis</i>	2,6	1,5	17
5	Tabla 1999 SAF 6	1	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	2,6	1,4	17
5	Tabla 1999 SAF 5	1	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	2,6	1,4	17
4		4	<i>Vochysia guatemalensis</i>	2,6	1,9	11
5	Tabla 1999 SAF 3	1	<i>Terminalia amazonia</i>	2,5	1,6	17
3		4	<i>Terminalia amazonia</i>	2,5	1,9	11
5	Tabla 1999 SAF 3	1	<i>Calophyllum brasiliense</i>	2,5	1,2	17
4		4	<i>Tectona grandis</i>	2,4	1,9	11
4		4	<i>Terminalia amazonia</i>	2,4	2	11
5	Tabla 1999 SAF 5	1	<i>Cariniana pyriformis</i>	2,3	1,2	17
4		4	<i>Vochysia guatemalensis</i>	2,3	1,8	11
4		4	<i>Terminalia amazonia</i>	2,2	1,8	11
5	Tabla 1999 SAF 2	1	<i>Genipa americana</i>	2,2	1,3	17
4		4	<i>Virola koschnyi</i>	2,2	1,9	11
4		4	<i>Jacaranda copaia</i>	2,1	2,1	11
4		4	<i>Cordia alliodora</i>	2,1	1,7	11
3		4	<i>Virola koschnyi</i>	2,1	1,6	11
5	Tabla 1999 SAF 6	1	<i>Terminalia</i>	2,1	1,2	17
5	Tabla 1999 SAF 3	1	<i>Genipa americana</i>	2,1	1,1	17
4		4	<i>Virola koschnyi</i>	2	1,4	11
3		4	<i>Hyeronima alchorneoides</i>	1,9	2	11
5	Tabla 1999 SAF 2	1	<i>Terminalia amazonia</i>	1,9	1,3	17
4		4	<i>Hyeronima alchorneoides</i>	1,9	1,7	11
5	Tabla 1999 SAF 6	1	<i>Calophyllum brasiliense</i>	1,8	1,1	17
5	Tabla 1999 SAF 5	1	<i>Terminalia amazonia</i>	1,8	1,2	17
4		4	<i>Vochysia ferruginea</i>	1,8	2,3	11
4		4	<i>Dipterix panamensis</i>	1,7	1,9	11

Tipo	Arreglo en este estudio	País	Especie	Incremento medio anual Diámetro (cm/año)	Incremento medio anual Altura (m/año)	Referencia
4		4	<i>Calophyllum brasiliense</i>	1,7	1,3	11
5	Tabla 1999 SAF 4	1	<i>Genipa americana</i>	1,7	1,1	17
4		4	<i>Hyeronima alchorneoides</i>	1,6	1,7	11
3		4	<i>Balizia elegans</i>	1,6	1,9	11
4		4	<i>Balizia elegans</i>	1,5	1,8	11
3		4	<i>Vochysia ferruginea</i>	1,5	1,9	11
4		4	<i>Calophyllum brasiliense</i>	1,5	1,3	11
5	Tabla 1999 SAF 1	1	<i>Terminalia amazonia</i>	1,3	1,2	17
3		4	<i>Calophyllum brasiliense</i>	1,1	1	11
4		4	<i>Genipa americana</i>	1,1	1,2	11
5	Tabla 1999 SAF 1	1	<i>Genipa americana</i>	1	0,7	17
5	Tabla 1999 SAF 4	1	<i>Cedrela odorata</i>	0,8	0,7	17
4		4	<i>Miconia guianensis</i>	0,8	0,3	8
4		4	<i>Miconia guianensis</i>	0,8	0,7	8
4		3	<i>Apeiba aspera Aubl</i>	0,7	0	13
5	Tabla 1999 SAF 3	1	<i>Miconia guianensis</i>	0,6	0,7	17
5	Tabla 1999 SAF 4	1	<i>Miconia guianensis</i>	0,6	0,5	17
5	Tabla 1999 SAF 2	1	<i>Apuleia molaris</i>	0,6	1,1	17
5	Tabla 1999 SAF 5	1	<i>Tabebuia serratifolia</i>	0,6	0,5	17
5	Tabla 1999 SAF 1	1	<i>Tabebuia serratifolia</i>	0,6	0,5	17
5	Tabla 1999 SAF 1	1	<i>Apuleia molaris</i>	0,6	0,8	17
5	Tabla 1999 SAF 1	1	<i>Miconia guianensis</i>	0,6	0,3	17
5	Tabla 1999 SAF 4	1	<i>Tabebuia serratifolia</i>	0,3	0,3	17
3		4	<i>Genipa americana</i>	0,3	0,2	11
4		2	<i>Genipa americana</i>	0,2	1	5

Referencia. 5: Francis, John K. 1994, 6: Fundación Hondureña de Investigación Agrícola 2008, 7: Montero M., M. CATIE. 2005, 8: OFI-CATIE. sf., 11: Piotta Daniel. CATIE 2001, 13: Saavedra, Eutimio y Melo, Omar Aurelio, 14: Solís C., Manuel; Moya R., Roger. Coseforma. 2001

Tipo. 3: Plantación mixta, 4: Plantación pura

País. 2: Brasil, 3: Colombia, 4: Costa Rica, 6: Honduras.

SAF: Arreglos agroforestales.

Tabla 1999: Núcleo veredal La Tabla 1999.

En la figura 41, se muestra la especie abarcao establecida a 8,0 m por 8,0 m en un arreglo agroforestal en el núcleo veredal La Tabla. Las características generales de los suelos de la región norte amazónica presentan alta acidez, bajos valores de sumatoria de bases totales y valores mínimos de materia orgánica, como se reportó en el ítem correspondiente de esta investigación, además, de ser condiciones generales para el paisaje de tierra firme de la Amazonia colombiana (Sinchi, 2000).

Figura 41. Fotografía. Abarcao establecido a 8 m por 8 m en un arreglo agroforestal, núcleo veredal La Tabla



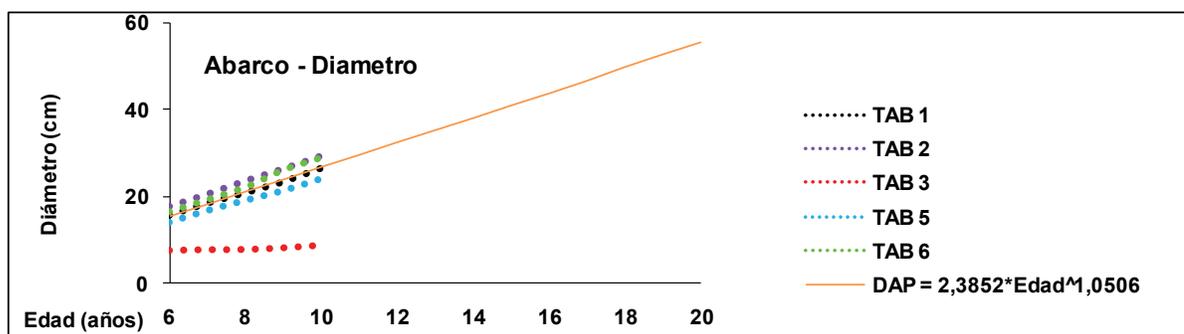
En estos sistemas agroforestales establecidos en el núcleo veredal La Tabla, municipio de El Retorno, se identificaron las ecuaciones del diámetro en función de la edad en el periodo de medición. Se ajustaron las regresiones para el grupo de especies forestales, se tomaron los valores medios y el error estándar y se proyectó el diámetro en función de la edad; se analizaron diferentes modelos lineales y no lineales y se seleccionaron los modelos empleando los calificadores R^2 , MSE Y AICc. La tabla 58 muestra las ecuaciones generadas y los parámetros de estas ecuaciones. En la figura 42 se registró el crecimiento en diámetro de las especies evaluadas en este arreglo, que incluye los valores medios medidos (edades 6 a 10 años) y la proyección de crecimiento a edades de 11 a 20 años.

Tabla 58. Parámetros de calificación de ecuaciones de diámetro en función de edad para especies forestales en arreglos agroforestales, núcleo veredal La Tabla Guaviare

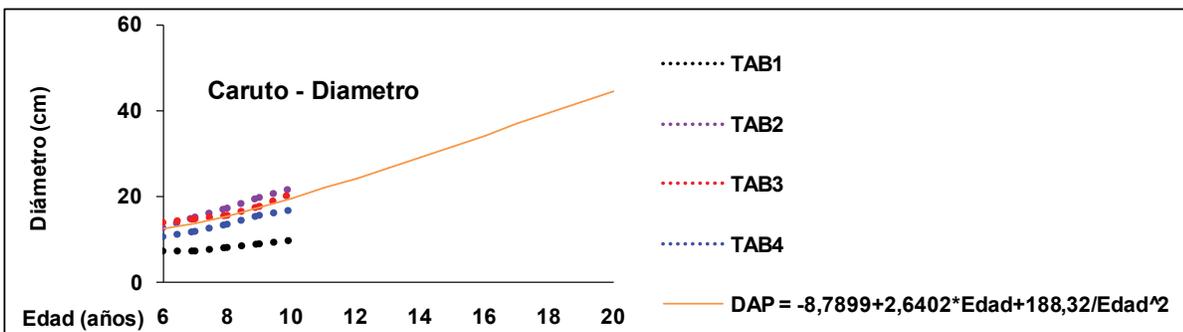
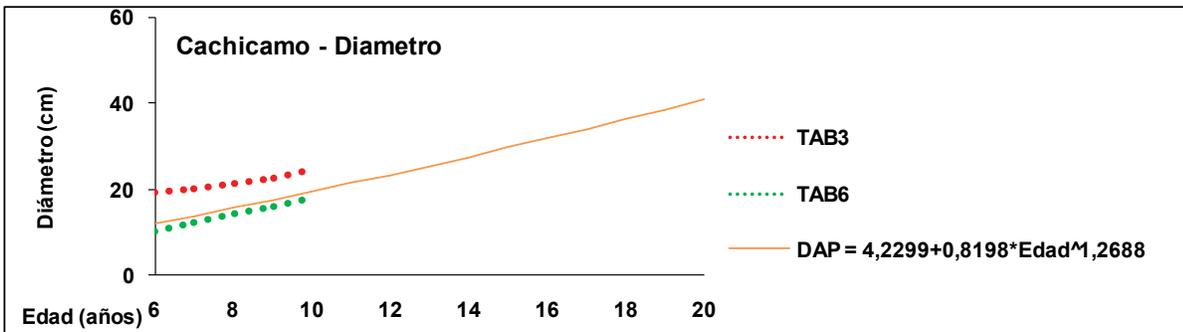
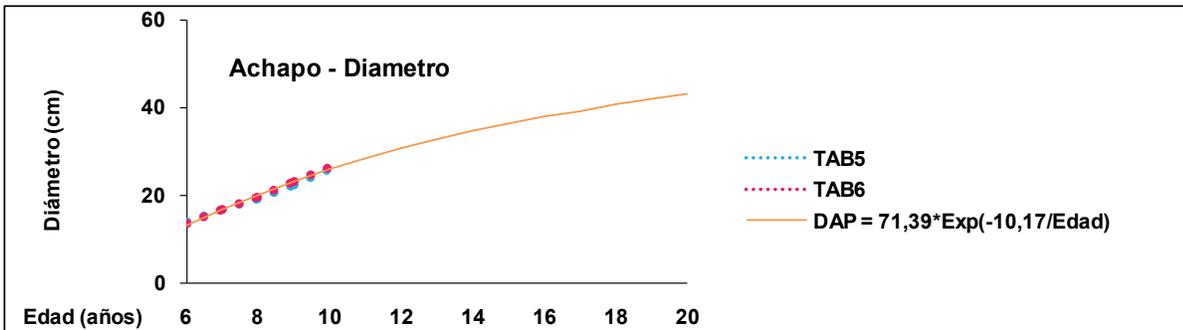
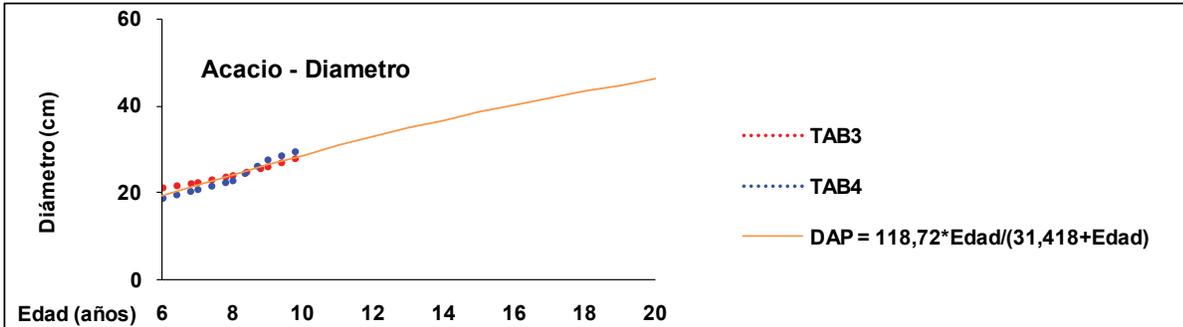
Especie	Ecuación
abarco	diámetro = $a \cdot \text{Edad}^b$
acacio	diámetro = $a \cdot \text{Edad} / (b + \text{Edad})$
achapo	diámetro = $a \cdot \text{Exp}(b / \text{Edad})$
cachicamo	diámetro = $a + b \cdot \text{Edad}^c$
caruto	diámetro = $a + b \cdot \text{Edad} + c / \text{Edad}^2$
cuyubí	diámetro = $a \cdot \text{Edad}^b$
macano	diámetro = $a + b \cdot \text{Edad} + c / \text{Edad}^2$

Especie	Residual SS (SSE)	Residual MS (MSE)	Standard Deviation	Degrees of Freedom	AICc	Pseudo R-Squared
abarco	37623	56	7,466	675	2726	0,2174
acacio	9289,8	44	6,667	209	804,71	0,1998
achapo	3402,9	50	7,074	68	278,24	0,2909
cachicamo	2312,4	20	4,446	117	363,37	0,255
caruto	4567,9	15	3,845	309	845,48	0,3128
cuyubí	129,91	27	1,645	48	54,264	0,4131
macano	12469	28	5,264	450	1509,8	0,1899

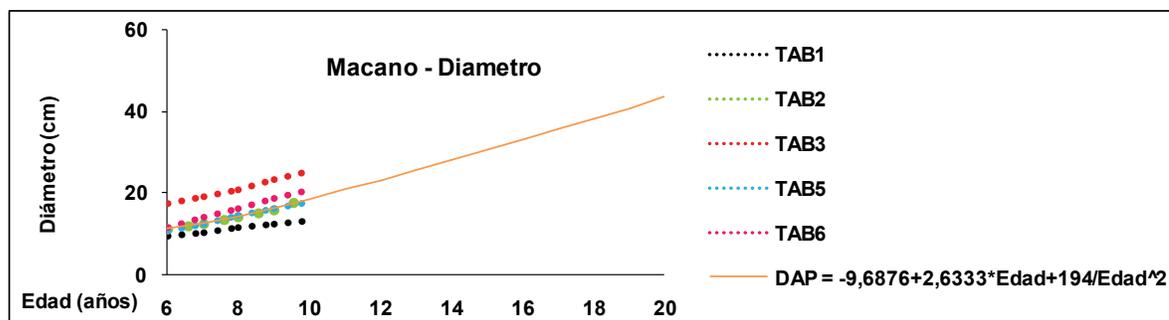
Figura 42. Diámetro, edades de 6 a 20 años de especies forestales en arreglos agroforestales, núcleo veredal La Tabla Guaviare



Continuación Figura 42



Continuación Figura 42



En la gráfica los marcadores representan el valor promedio real medido.
 Las líneas que acotan el valor promedio corresponden al error estándar.
 La línea roja es construida con los valores obtenidos del modelo de regresión
 TAB: Arreglo agroforestal
 DAP: Diámetro

Para este arreglo productivo agroforestal establecido en el núcleo veredal la Tabla en 1999, al definir los modelos de crecimiento en función de la edad, se establecieron valores de diámetro a la edad de 20 años (posible edad del turno biológico); las proyecciones encontradas para las especies forestales abarco, acacio achapo, cachicamo, caruto y macano, con valores entre 40,9 cm y 55,0 cm, las consolidan como las más importantes para establecer en estos tipos de arreglos y son la herramienta científica para definir de manera más precisa la productividad de los diferentes arreglos productivos. Para el grupo de especies forestales de estos sistemas agroforestales establecidos en núcleo veredal La Tabla en 1999, el análisis permitió resaltar los valores de diámetro de las especies proyectado a 20 años:

La especie abarco a los 20 años de edad, proyectó valores de diámetro medio de 55,5 cm.

La especie acacio a los 20 años de edad, proyectó valores de diámetro medio de 46,2 cm.

La especie achapo a los 20 años de edad, proyectó valores de diámetro medio de 42,9 cm.

La especie caruto a los 20 años de edad, proyectó valores de diámetro medio de 44,5 cm.

La especie abarco a los 20 años de edad, proyectó valores de diámetro medio de 55,5 cm.
La especie achapo a los 20 años de edad, proyectó valores de diámetro medio de 42,9 cm.

La proyección realizada a los 20 años de edad permitió además, identificar este grupo de especies forestales con valores de crecimiento en diámetro muy cercanos

Se definió un segundo grupo también importante por sus valores de crecimiento con las especies macano y cachicamo.

Se obtuvo además, un tercer grupo de importancia con las especies forestales: cuyubí, guacamayo y paloarco

Las especies de este tercer grupo presentaron valores muy bajos comparados con las otras especies mencionadas y tan solo alcanzaron diámetros medios de 4,4 cm a los 10 años, sin embargo, estas especies son importantes porque son aprovechadas por los productores de forma natural en los relictos de bosques de la región, considerando la necesidad de la continuación de su evaluación y definir manejos apropiados para mejorar sus tasas de crecimiento.

La proyección realizada a los 20 años de edad permitió además, identificar este grupo de especies forestales con valores de crecimiento en diámetro muy cercanos, premisa importante para la realización del aprovechamiento forestal y, como se ha indicado previamente, con estos valores de crecimiento se confirma las condiciones excelentes de crecimiento de estas especies forestales para un fomento en mayor escala de los arreglos productivos agroforestales. La tabla 59 registró esta información para la totalidad de las especies evaluadas.

Tabla 59. Diámetro de especies forestales en arreglos productivos agroforestales, núcleo veredal La Tabla Guaviare

Especie	Edad (años)		
	6	10	20 (proyección)
Diámetro (cm)			
abarco	15,9	27,1	55,5
acacio	19,8	28,9	46,2
achapo	13,6	26,2	42,9
cachicamo	14,8	21,4	40,9
caruto	11,1	17,2	44,5
cedroamargo		8,4	
cuyubí	3,2	6,1	21,2
guacamayo	4,4	5,8	
macano	10,7	19,2	43,5
paloarco	3,4	4,6	

3.2 Altura de especies forestales en arreglos agroforestales, establecidos en el núcleo veredal La Tabla en 1999

Para las especies forestales valoradas en el núcleo veredal La Tabla, El Retorno, Guaviare en arreglos productivos agroforestales a los 10 años de edad para la variable altura, se obtuvieron sus parámetros de calificación estadística. Igualmente, se realizó el análisis de varianza y se encontró que existen diferencias significativas al 000,1 para las especies, para los sistemas y para las edades.

En el análisis la variable altura registró una menor variación que el diámetro; se estableció que con excepción de cedroamargo y paloarco, el coeficiente de variación del diámetro es bajo, con valores menores a 32,0 m. Se analizó igualmente la menor variabilidad de la media de la altura para la mayoría de las especies a excepción del cedroamargo con valores de Error Estandar (SE) menor a 1,0. En la tabla 60 se registran los parámetros de calificación estadística para la altura.

Tabla 60. Parámetros de calificación de la altura para especies forestales en arreglos agroforestales, núcleo veredal La Tabla Guaviare, edad 10 años

	Mean	SD	Variance	SE Mean	C,V	Minimum	Maximum
acacio	14,6	3,6	12,7	0,6	24,4	9,4	24,2
abarco	14,3	3,9	15,4	0,3	27,4	1,8	21,7
achapo	13,7	2,3	5,2	0,6	16,7	9,4	17,4
macano	12,9	3,5	12,2	0,4	27,2	3,6	20,5
caruto	11,6	2,4	5,7	0,3	20,6	4,0	17,1
cachicamo	10,9	1,6	2,6	0,3	14,9	7,1	13,7
guacamayo	10,2	2,7	7,2	0,9	26,3	7,0	13,3
cedro	6,7	3,8	14,7	1,7	57,0	2,2	12,5
paloarco	4,9	1,8	3,3	0,3	37,3	1,4	9,1
cuyubí	4,9	1,5	2,4	0,5	31,8	2,5	6,8

Este primer elemento de análisis permitió calificar las principales especies tanto por sus altos valores medios de altura a los diez años de edad como también por las condiciones de menor dispersión en sus medidas, que informa sobre crecimientos más homogéneos, que se

Esta primera selección definió a las especies: acacio, abarco, achapo, macano, caruto y cachicamo, como las de mejor comportamiento en altura

constituyen en condiciones básicas para la selección, diseño y establecimiento de arreglos productivos agroforestales.

Esta primera selección definió a las especies: acacio, abarco, achapo, macano, caruto y cachicamo, como las de mejor comportamiento en altura.

En este análisis de la variable altura para las especies forestales valoradas en el núcleo veredal La Tabla, El Retorno, Guaviare, en arreglos agroforestales, se construyeron las ecuaciones para expresar la variable en función de la edad. En La figura 43 está registrado el comportamiento de la altura en el periodo de evaluación y las proyecciones a edades de 11 a 20 años. Los resultados destacaron la excelente respuesta de la altura para las especies forestales.

Las especies abarco, acacio achapo, cachicamo, caruto y macano, registraron valores medios de altura entre 16,2 m y 7,0 m, con incrementos medios anuales entre 1,62 m/año a 0,7 m/año, a los 10 años de edad.

Analizando individualmente para los diferentes arreglos del núcleo veredal La Tabla, se registró:

Para la especie abarco se obtuvieron valores de altura a los 10 años de edad de 15,4 m en el arreglo SAF 1 y de 14,9 m en el arreglo SAF 2.

Para la especie abarco a los 10 años, se registró incrementos medios de altura de 1,5 m/año.

Para la especie abarco la proyección de la altura a los 20 años de edad permitió obtener un valor medio de 21,8 m, con un incremento medio anual de 2,2 m/año.

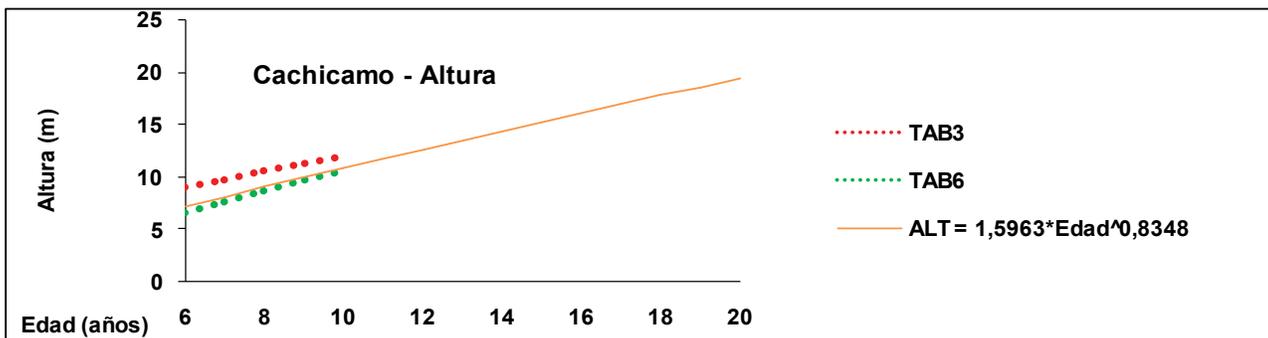
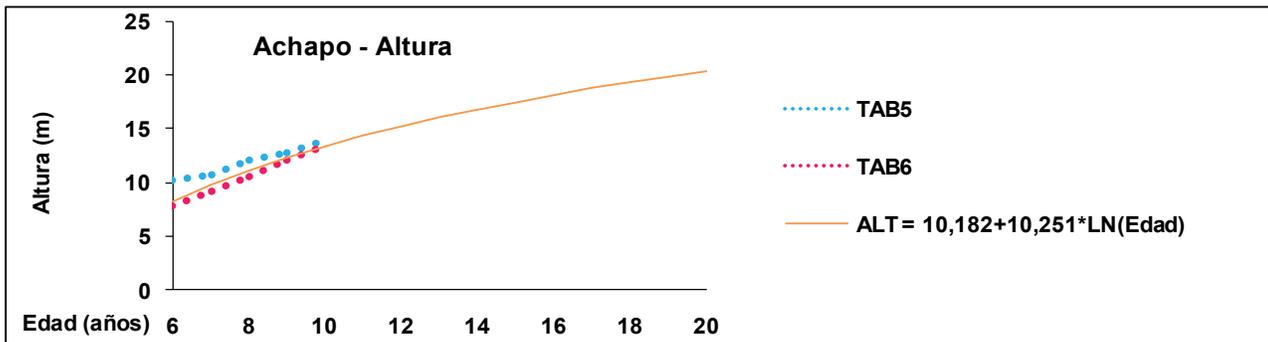
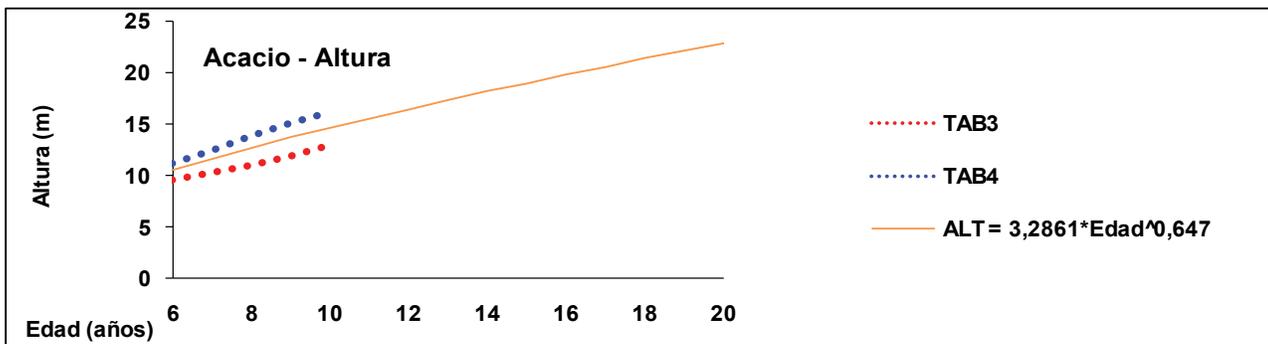
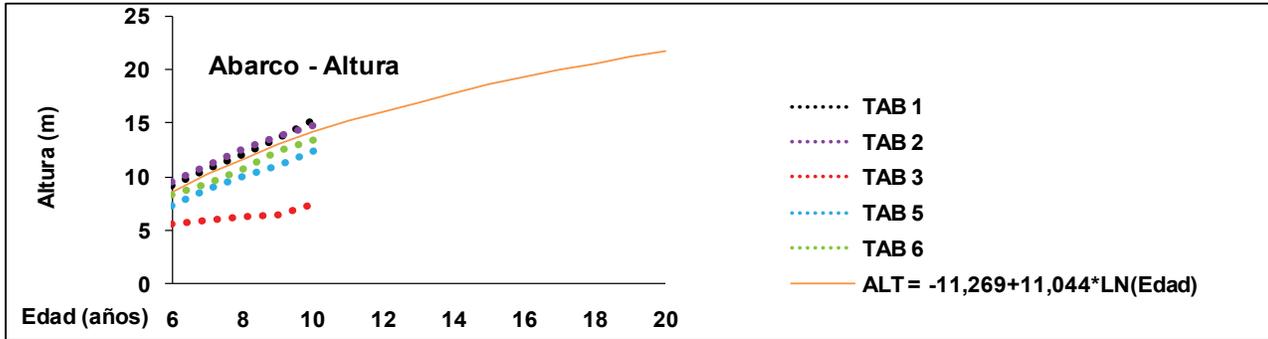
Las especies acacio, achapo, caruto y macano con valores superiores a 12,0 m en diferentes arreglos a los 10 años de edad permitieron obtener proyecciones a 20 años de alturas mayores a 20,0 m. Como se ha indicado previamente estas alturas aumentan considerablemente los valores de volumen y la biomasa. La Tabla 61, presenta los valores medios de altura de las principales especies establecidas en los arreglos agroforestales del núcleo veredal La Tabla a las edades de 4 años, 12 años y 20 años.

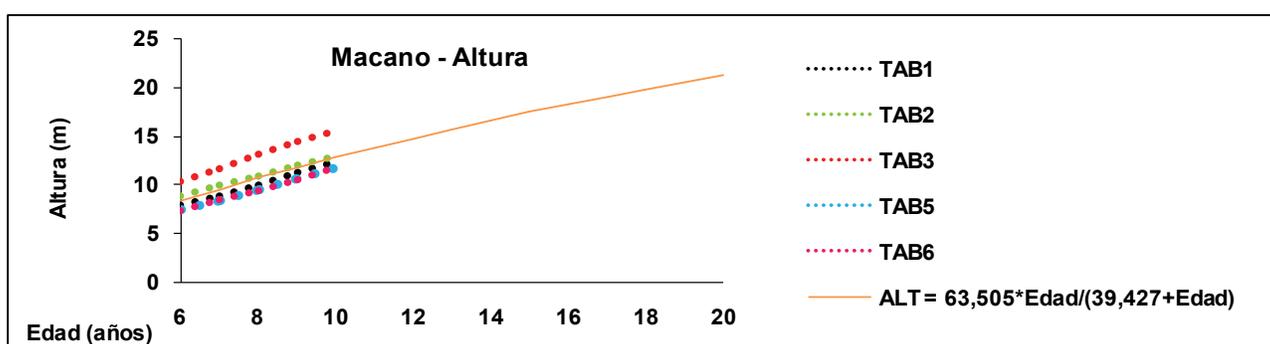
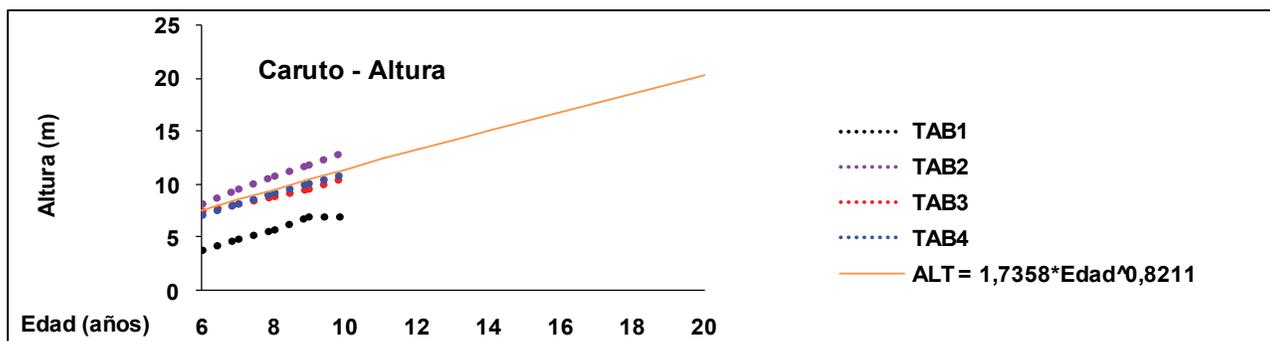
Tabla 61. Altura, edades 6, 10 y 20 años especies forestales en arreglos agroforestales, núcleo veredal La Tabla Guaviare

Especie	Arreglo	Edad (años)		
		6	10	20 (proyección)
		Altura (m)		
abarco	SAF 1	9,2	15,4	21,8
	SAF 2	9,5	14,9	
	SAF 5	7,2	12,1	
	SAF 6	8,4	13,5	
acacio	SAF 3	9,5	13	22,8
	SAF 4	11,2	16,2	
achapo	SAF 5	10,2	14	20,5
	SAF 6	7,9	13,6	
cachicamo	SAF 3	9	12	19,5
	SAF 6	6,7	10,6	
caruto	SAF 1	3,9	7	20,3
	SAF 2	8,3	13,1	
	SAF 3	7,5	10,6	
	SAF 4	7,2	11,1	
cedro	SAF 4	5	6,7	
cuyubí	SAF 1	2	3,1	15,4
	SAF 3	3,8	6,6	
	SAF 4	3	5,1	
guacamayo	SAF 1	4	7,6	
	SAF 2	8,1	11,5	
macano	SAF 1	7,9	12,4	21,4
	SAF 2	8,8	12,9	
	SAF 3	10,4	15,5	
	SAF 4	3,8		
	SAF 5	7,4	11,7	
	SAF 6	7,4	11,8	
paloarco	SAF 1	3,9	5,4	
	SAF 4	2	2,9	
	SAF 5	2,8	4,5	

SAF: Arreglo agroforestal

Figura 43. Altura, edades de 6 a 20 años de especies forestales en arreglos agroforestales, núcleo veredal La Tabla Guaviare





En la gráfica los marcadores representan el valor promedio real medido.
 Las líneas que acotan el valor promedio corresponden al error estándar.
 La línea roja es construida con los valores obtenidos del modelo de regresión
 TAB: Arreglo agroforestal
 ALT: Altura

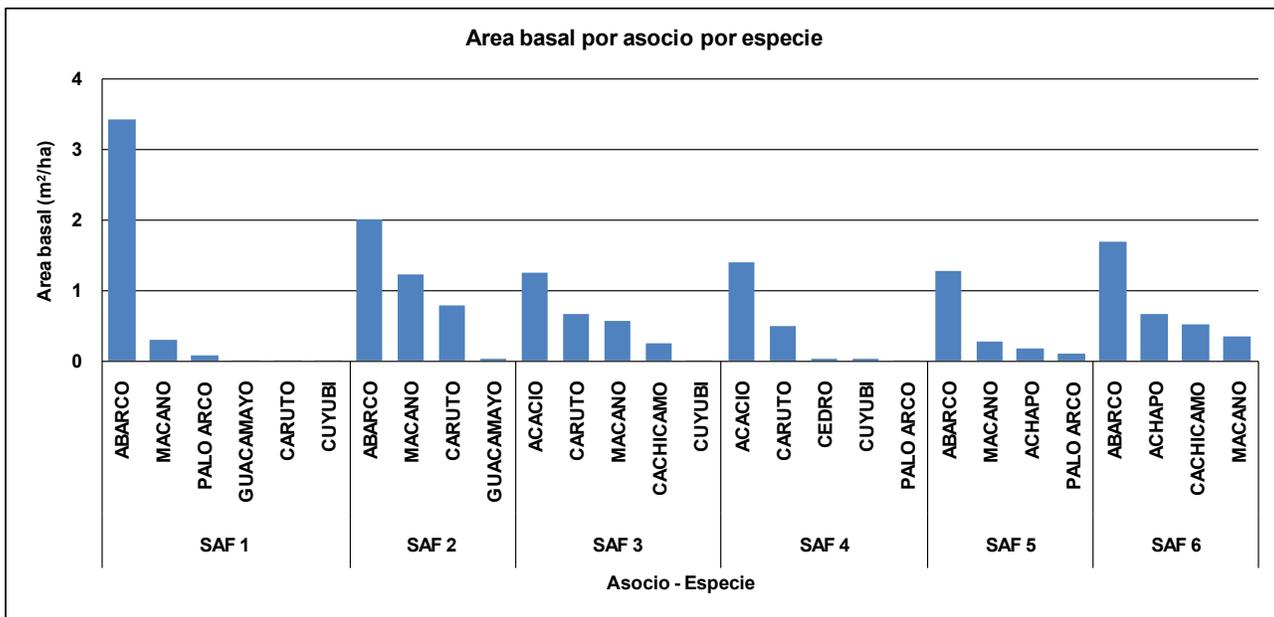
acacio	Altura = a*Edad^b
macano	Altura = a*Edad/(b+Edad)
abarco	Altura = a+b*Ln(Edad)
caruto	Altura = a*Edad^b
achapo	Altura = a+b*Ln(Edad)
cachicamo	Altura = a*Edad^b

Especie	Residual SS (SSE)	Residual MS (MSE)	Standard Deviation	Degrees of Freedom	AICc	Pseudo R-Squared
acacio	1832,5	8,7678	2,961	209	462,21	0,1919
macano	3816,7	8,4628	2,9091	451	971,51	0,2264
abarco	7292,2	1,0803	3,2868	675	1615,2	0,2698
caruto	1058,8	3,4155	1,8481	310	387,31	0,3628
achapo	401,12	5,8988	2,4287	68	128,57	0,3741
cachicamo	275,31	2,3332	1,5275	118	105,86	0,4389

3.3 Área basal de especies forestales en arreglos agroforestales, establecidos en el núcleo veredal La Tabla en 1999

En el cálculo del área basal para el grupo de especies forestales del arreglo agroforestal, núcleo veredal La Tabla, establecido en 1999, en la medición a los 10 años de edad, se registraron valores medios entre 4,005 m²/ha y 1,799 m²/ha .Se destacaron los arreglos agroforestal SAF 1 con las especies abarco, macano, paloarco, guacamayo, caruto y cuyubí con área basal de 3,800 m²/ha y el arreglo agroforestal SAF 2, con las especies abarco, macano, caruto y guacamayo, con 4,005 m²/ha . La figura 44 registró los promedios de área basal para cada uno de los arreglos.

Figura 44. Área basal a 10 años de arreglos agroforestales, núcleo veredal La Tabla Guaviare



SAF: Arreglo agroforestal

En este análisis del área basal, se indica la contribución para todos los arreglos de las principales especies forestales:

La especie abarco, presentó a los 10 años de edad valores de área basal entre 3,4072 m²/ha y 1,2682 m²/ha,

La especie acacio, presentó a los 10 años de edad valores de área basal entre 1,399 m²/ha y 1,243 m²/ha.

Las especies macano y caruto, presentaron a los 10 años de edad valores de área basal entre 1,223 m²/ha y 0,770 m²/ha.

En los arreglos agroforestales donde se combinan en los tres primeros años, especies de pan coger (maíz, yuca, plátano, tubérculos) y entre los 3 y 6 años, las especies frutales (arazá, borjón, chontaduro, guamo, champá, copoazú, uva caimaroná), estos valores de área basal de las especies maderables finas con registros menores a 5,0 m²/ha, indicaron que las especies forestales no establecieron competencia con los otros componentes del arreglo y permitieron rendimientos altos de estos otros componentes. Las áreas basales obtenidas a los 10 años de edad para estas especies forestales, se obtuvieron a partir de un promedio de 100 árboles maderables en una hectárea del arreglo.

3.4 Volumen y biomasa de especies forestales y arreglos agroforestales establecidos en el núcleo veredal La Tabla en 1999

3.4.1 Volumen por árbol de especies forestales en arreglos agroforestales, establecidos en el núcleo veredal La Tabla en 1999

Para este grupo de especies forestales del arreglo agroforestal, núcleo La Tabla, establecido en 1999, se analizó el comportamiento del volumen por árbol para el periodo de medición, edades entre 4 y 10 años y la proyección del rendimiento en volumen por árbol para las edades entre 11 y 20 años. Se construyeron gráficos resumen para las edades señaladas. En la figura 45 quedó registrada esta información. Para el volumen medio por árbol, a los 10 años de edad las especies principales corresponden a:

La especie abarco, a los 10 años de edad con valor medio de volumen entre 0,493 m³/árbol a 0,294 m³/árbol, para los arreglos evaluados.

La especie achapo, a los 10 años de edad con valor medio de volumen entre 0,393 m³/árbol a 0,332m³/árbol, para los arreglos evaluados.

La especie abarco, a los 10 años de edad con valor medio de volumen entre 0,493 m³/árbol a 0,294 m³/árbol, para los arreglos evaluados.

La especie acacio, a los 10 años de edad con valor medio de volumen entre 0,543 m³/árbol a 0,400 m³/árbol, para los arreglos evaluados.

La especie achapo, a los 10 años de edad con valor medio de volumen entre 0,393 m³/árbol a 0,332m³/árbol, para los arreglos evaluados.

La especie caruto, a los 10 años de edad con valor medio de volumen entre 0,243 m³ /árbol a 0,046 m³/árbol, para los arreglos evaluados.

La especie macano, a los 10 años de edad con valor medio de volumen entre 0,366 m³/árbol a 0,1323 m³/árbol para los arreglos evaluados.

Las proyecciones a 20 años de edad registraron para estas especies volumen medio por árbol para abarco con 2,178 m³, para acacio con 1,577m³, para achapo con 1,226m³, para caruto con 1,302 m³y para macano con 1,308 m³.

Como se ha expresado previamente en este estudio, estos excelentes valores de la proyección de volumen a 20 años (edad aproximada de aprovechamiento forestal), permitieron en un primer análisis rápido, la definición de las especies forestales productoras de maderas finas que cumplen una primera condición de alta rentabilidad y que pueden ingresar al diseño y establecimiento de arreglos productivos agroforestales.

El otro elemento importante de estos resultados, correspondió al alto porcentaje de especies forestales que superaron el valor de 1,0 m³ de madera por árbol, que como se ha indicado es un excelente valor de producción en las condiciones medioambientales de la Amazonia norte colombiana. En la tabla 62 quedaron registrados los valores medios y el error estándar, para el volumen por árbol a las edades de 6, 12 y 20 años.

Tabla 62. Volumen por árbol, edades 6, 10 y 20 años de especies forestales en arreglos agroforestales, núcleo veredal La Tabla, Guaviare

Especie	Arreglo	Edad (años)				
		6	10	10	10	20 (proyección)
		Volumen (m ³)	Volumen (m ³)	Promedio volumen (m ³)	Incremento medio anual volumen (m ³)	Volumen (m ³)
abarco	SAF 1	0,120	0,460	0,422	0,046	2,178
	SAF 2	0,139	0,493		0,049	
	SAF 5	0,088	0,294		0,029	
	SAF 6	0,129	0,442		0,044	
acacio	SAF 3	0,170	0,400	0,472	0,040	1,577
	SAF 4	0,175	0,543		0,054	
achapo	SAF 5	0,087	0,332	0,362	0,033	1,226
	SAF 6	0,098	0,393		0,039	
cachicamo	SAF 3	0,137	0,264	0,205	0,026	1,055
	SAF 6	0,051	0,147		0,015	
caruto	SAF 1	0,032	0,046	0,151	0,005	1,302
	SAF 2	0,073	0,243		0,024	
	SAF 3	0,078	0,178		0,018	
	SAF 4	0,055	0,138		0,014	
cedro	SAF 4	0,025	0,055	0,055	0,006	
cuyubí	SAF 1	0,026	0,028	0,032	0,003	0,225
	SAF 3	0,028	0,034		0,003	
	SAF 4	0,026	0,034		0,003	
guacamayo	SAF 1		0,034	0,036	0,003	
	SAF 2	0,025	0,039		0,004	
macano	SAF 1	0,056	0,132	0,214	0,013	1,308
	SAF 2	0,068	0,195		0,020	
	SAF 3	0,131	0,366		0,037	
	SAF 4	0,027				
	SAF 5	0,059	0,178		0,018	
	SAF 6	0,060	0,200		0,020	
paloarco	SAF 1	0,029	0,033	0,032	0,003	
	SAF 4	0,026	0,026		0,003	
	SAF 5	0,027	0,036		0,004	

SAF: Arreglo agroforestal

De esta forma se estableció que con un número de árboles forestales superiores a 100 por hectárea, y volúmenes por árbol superiores a 1,0 m³ permiten la obtención de volúmenes de madera mayores de 100,0 m³ por hectárea

Considerando los elementos de análisis de la variable volumen, la especie abarco presentó volumen proyectado a 20 años, mayor de 2,0 m³ por árbol, definiendo de nuevo esta especie como la de mayor aptitud para establecer en arreglos productivos agroforestales.

El otro elemento que se obtuvo del análisis fue el proceso para la cuantificación rápida del total de madera por hectárea, para estos arreglos. De esta forma se estableció que con un número de árboles forestales superiores a 100 por hectárea, y volúmenes por árbol superiores a 1,0 m³ permiten la obtención de volúmenes de madera mayores de 100,0 m³ por hectárea, que traducido a ingresos se constituyen en un importante recurso económico que ingresa al sistema finca.

En este análisis del volumen, se destacaron igualmente las especies acacio, achapo, cachicamo, caruto y macano, que corresponden al 80% de las especies forestales establecidas, estas especies que conformaron los arreglos agroforestales del núcleo veredal La Tabla, registraron valores proyectados a 20 años, mayores a 1,0 m³, que permitieron establecer su excelente condición para la conformación de arreglos productivos

Para las especies forestales evaluadas se realizó la comparación de su producción con valores obtenidos en los ensayos evaluados en la Estación Experimental El Trueno del Instituto Sinchi y en los diferentes arreglos agroforestales establecidos en los años de 1995 y 1997 en la Inspección de Cerritos, El Retorno, Guaviare.

Siguiendo la tendencia de las variables previamente analizadas (el diámetro y la altura), en el cuadro comparativo del volumen, se registró que para las principales especies forestales no se registraron diferencias importantes de producción para los tres sitios valorados. Se estableció que la especie abarco registró las mejores respuestas de la variable volumen en los arreglos de Cerritos 1995 y Cerritos 1997, donde alcanzo valores superiores a 0,586 m³/árbol. En la tabla 63, se estableció la comparación del volumen de especies forestales a los 10 años en diferentes arreglos agroforestales

Tabla 63. Volumen por árbol de especies forestales en arreglos agroforestales, Guaviare, edad 10 años

Especie - Arreglo	Volumen árbol (m ³)	SE	Incremento medio anual en volumen árbol (m ³ /año)
abarco			
CER97 SAF 3	0,677	0,039	0,068
CER95 SAF 2	0,670	0,041	0,067
CER95 SAF 1	0,654	0,081	0,065
CER97 SAF 6	0,586	0,133	0,059
CER97 SAF 1	0,544	0,049	0,054
TAB99 SAF 2	0,493		0,049
TAB99 SAF 1	0,460		0,046
TAB99 SAF 6	0,442		0,044
CER97 SAF 8	0,374	0,043	0,037
CER97 SAF 5	0,348	0,121	0,035
CER97 SAF 7	0,330	0,034	0,033
CER97 SAF 2	0,320	0,040	0,032
TAB99 SAF 5	0,294		0,029
CER97 SAF 4	0,223	0,033	0,022
acacio			
TAB99 SAF 4	0,543		0,054
TAB99 SAF 3	0,400		0,040
CER97 SAF 6	0,131	0,031	0,013
achapo			
CER97 SAF 3	0,855	0,105	0,086
CER95 SAF 2	0,647	0,045	0,065
CER95 SAF 3	0,486	0,054	0,049
CER95 SAF 1	0,429	0,050	0,043
TAB99 SAF 6	0,393		0,039
TAB99 SAF 5	0,332		0,033
cachicamo			
CER97 SAF 3	0,366	0,129	0,037
TAB99 SAF 3	0,264		0,026
TAB99 SAF 6	0,147		0,015
CER97 SAF 1	0,115	0,031	0,012
CER97 SAF 7	0,053	0,011	0,005
caruto			
CER97 SAF 1	0,263	0,021	0,026
TAB99 SAF 2	0,243		0,024
TAB99 SAF 3	0,178		0,018
TAB99 SAF 4	0,138		0,014

Especie - Arreglo	Volumen árbol (m ³)	SE	Incremento medio anual en volumen árbol (m ³ /año)
CER97 SAF 5	0,131	0,016	0,013
CER97 SAF 8	0,047	0,008	0,005
TAB99 SAF 1	0,046		0,005
CER97 SAF 4	0,040	0,003	0,004
CER97 SAF 2	0,039	0,005	0,004
CER97 SAF 7	0,036	0,005	0,004
cedro			
TAB99 SAF 4	0,055		0,006
cuyubí			
TAB99 SAF 4	0,034		0,003
TAB99 SAF 3	0,034		0,003
CER97 SAF 8	0,030	0,001	0,003
CER97 SAF 7	0,030	0,001	0,003
TAB99 SAF 1	0,028		0,003
CER97 SAF 2	0,028	0,001	0,003
macano			
TAB99 SAF 3	0,366		0,037
CER95 SAF 3	0,218	0,019	0,022
CER95 SAF 2	0,210	0,019	0,021
TAB99 SAF 6	0,200		0,020
TAB99 SAF 2	0,195		0,020
TAB99 SAF 5	0,178		0,018
CER97 SAF 4	0,139	0,013	0,014
TAB99 SAF 1	0,132		0,013
IND1 SAF	0,112	0,014	0,011
CER97 SAF 7	0,093	0,016	0,009
CER97 SAF 8	0,088	0,015	0,009
CER97 SAF 2	0,081	0,009	0,008
paloarco			
CER97 SAF 1	0,056	0,008	0,006
TAB99 SAF 5	0,036		0,004
TAB99 SAF 1	0,033		0,003
TAB99 SAF 4	0,026		0,003

SAF: Arreglos agroforestales.

CER 97: Inspección de Cerritos 1997.

CER 95: Inspección de Cerritos 1995.

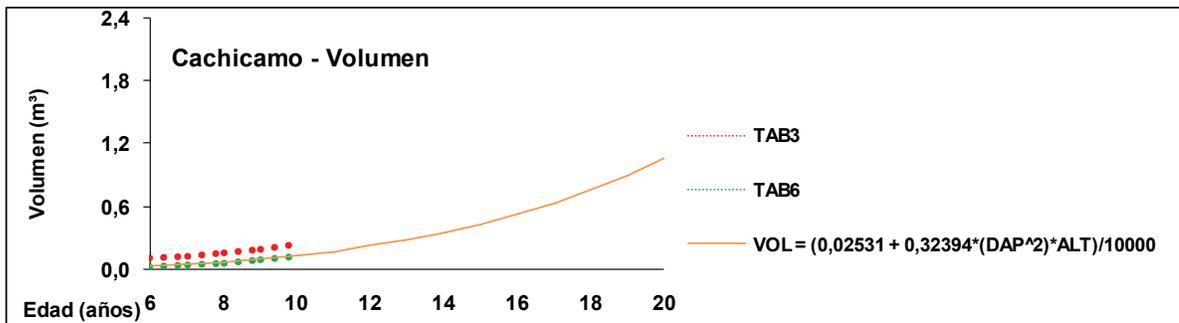
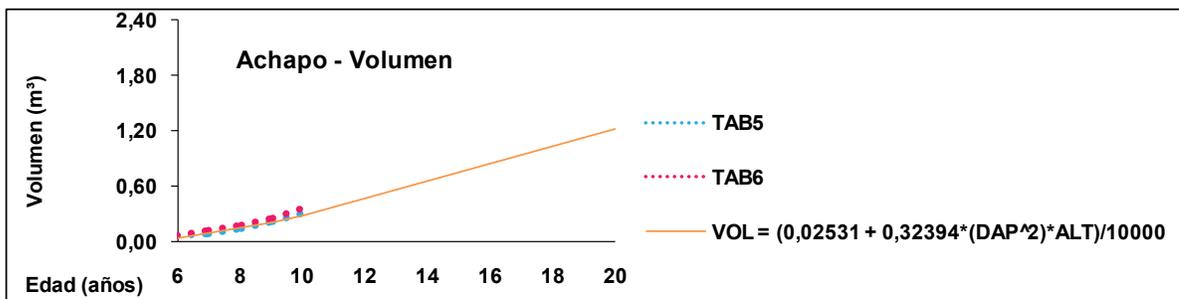
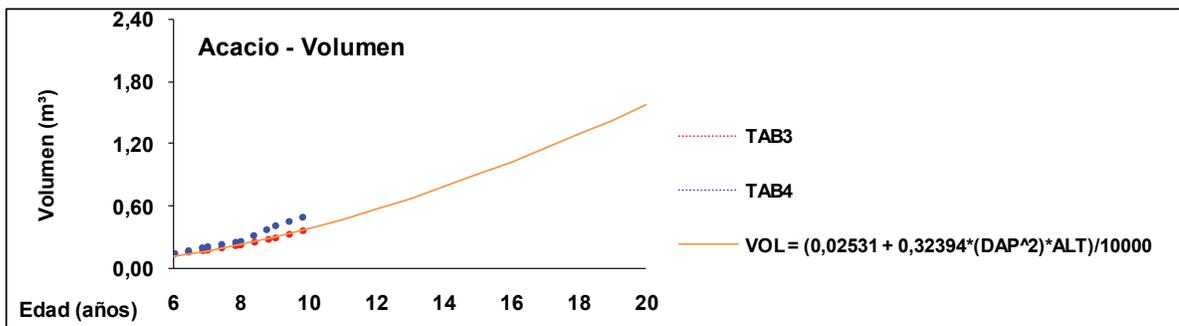
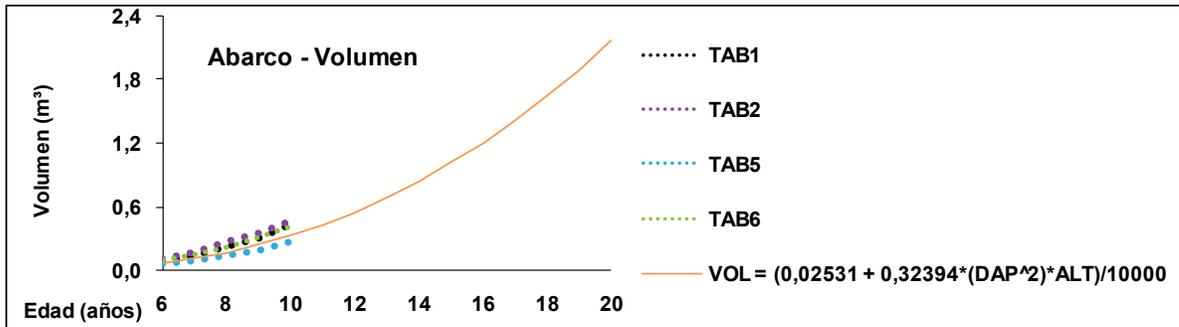
TAB99: Núcleo veredal La Tabla 1999.

QS: ensayo Quince especies.

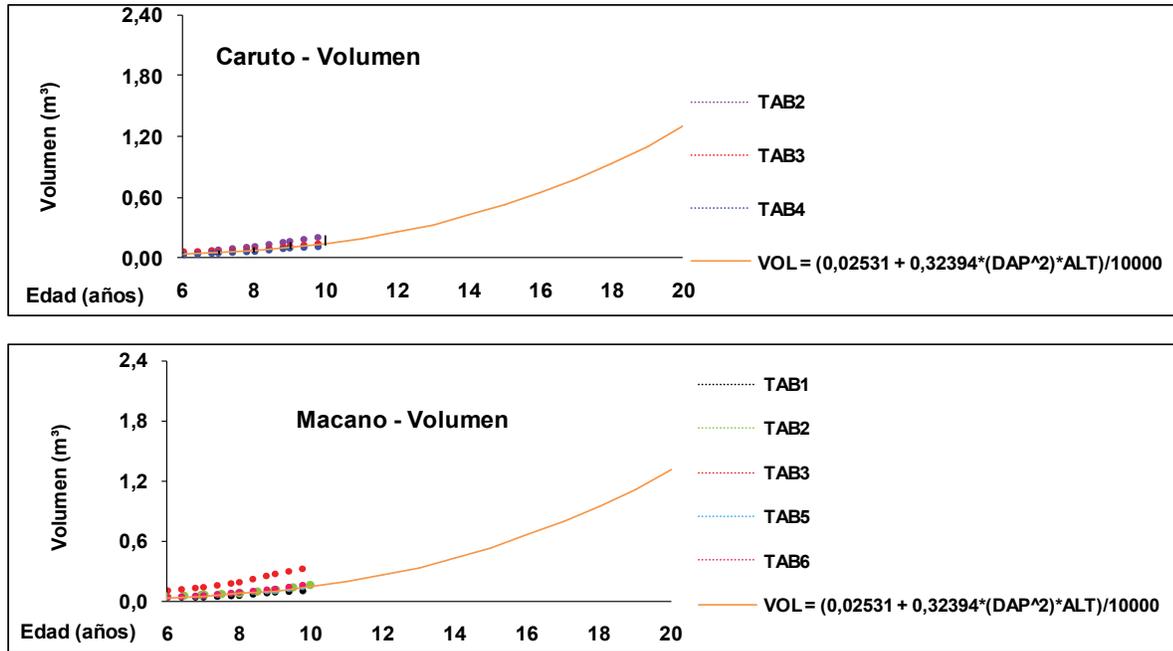
IND 1: Ensayo Indígenas 1

EE: Estación Experimental

Figura 45. Volumen por árbol, edades de 6 a 20 años de especies forestales en arreglos agroforestales, núcleo veredal La Tabla Guaviare



Continuación Figura 45



En la gráfica los marcadores representan el valor promedio real medido.
 Las líneas que acotan el valor promedio corresponden al error estándar.
 La línea roja es construida con los valores obtenidos del modelo de regresión
 TAB: Arreglos agroforestales.
 VOL: Volumen

3.4.2 Biomasa por árbol de especies forestales en arreglos agroforestales, establecidos en el núcleo veredal La Tabla en 1999

Para la variable biomasa media por árbol del grupo de especies forestales del arreglo agroforestal, núcleo veredal La Tabla, establecido en 1999, los resultados indicaron la importancia de las especies abarco, acacio, achapo, cachicamo,, caruto, macano con valores superiores a 177,0 Kg por árbol a los 10 años de edad en arreglos productivos agroforestales. Para la medición a los 10 años, de las especies evaluadas sobresalen:

La especie abarco, a los 10 años de edad con promedio de biomasa de 436,28 Kg por árbol.

La especie acacio, a los 10 años de edad con promedio de biomasa de 483,26 Kg/árbol.

La especie achapo, a los 10 años de edad con promedio de biomasa de 391,7 Kg/árbol.

La especie macano, a los 10 años de edad con promedio de biomasa de 244,3 Kg/árbol.

Para estas especies los valores de biomasa proyectada a los 20 años, presentaron valores para:

La especie abarco, con biomasa proyectada a los 20 años de edad de 996,3 Kg por árbol.

La especie acacio, con biomasa proyectada a los 20 años de edad de 808,8 Kg por árbol.

La especie achapo, con biomasa proyectada a los 20 años de edad de 1248,1 Kg por árbol.

La especie cachicamo, con biomasa proyectada a los 20 años de edad de 742,5 Kg por árbol.

La especie macano, con biomasa proyectada a los 20 años de edad de 503,5 Kg por árbol.

Como se ha reiterado en esta investigación, estos son muy importantes registros de producción (valores de biomasa por árbol cercano a 1000,0 Kg) confirmando a este grupo de especies evaluadas en las condiciones medioambientales del núcleo veredal La Tabla, para su establecimiento en los arreglos productivos agroforestales.

En la tabla 64 están registrados para las principales especies forestales, los valores medios de biomasa por árbol a los 6 y 10 años de edad calculado con los valores reales de diámetro y altura y la biomasa proyectada a los 20 años de edad. En la figura 46 se registró el comportamiento de la biomasa media por árbol para las especies forestales valoradas en el núcleo veredal La Tabla. De igual manera, se calcularon los respectivos incrementos medios anuales de biomasa por árbol, los cuales permitieron conocer de manera fácil y sencilla sobre la productividad de las especies y de los arreglos donde se establecieron.

La especie abarco, a los 10 años de edad con promedio de biomasa de 436,28 Kg por árbol.

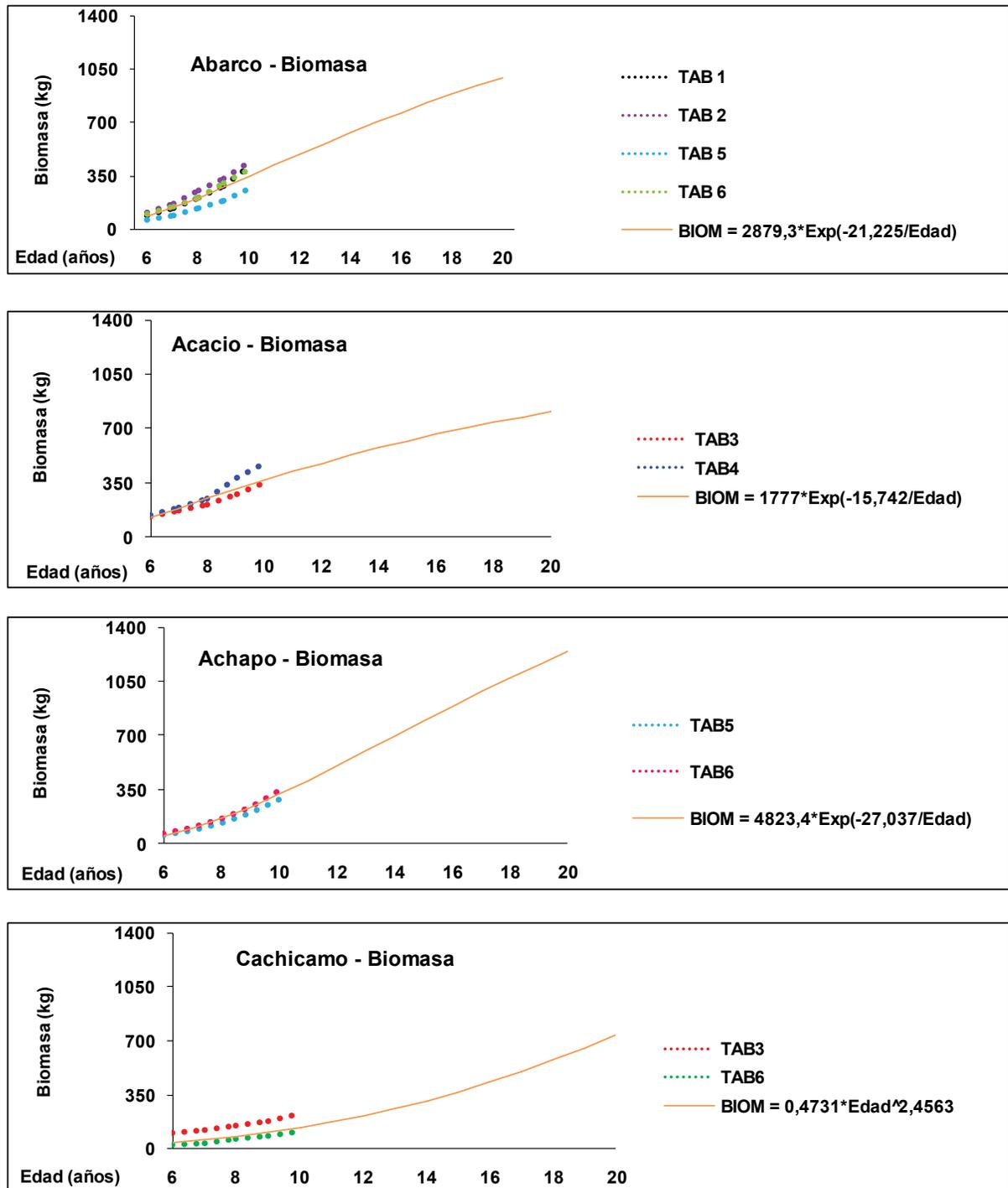
La especie achapo, a los 10 años de edad con promedio de biomasa de 391,7 Kg/árbol.

Tabla 64. Biomasa promedio por árbol edades 6, 10 y 20 años de especies forestales en arreglos agroforestales, núcleo veredal La Tabla, Guaviare

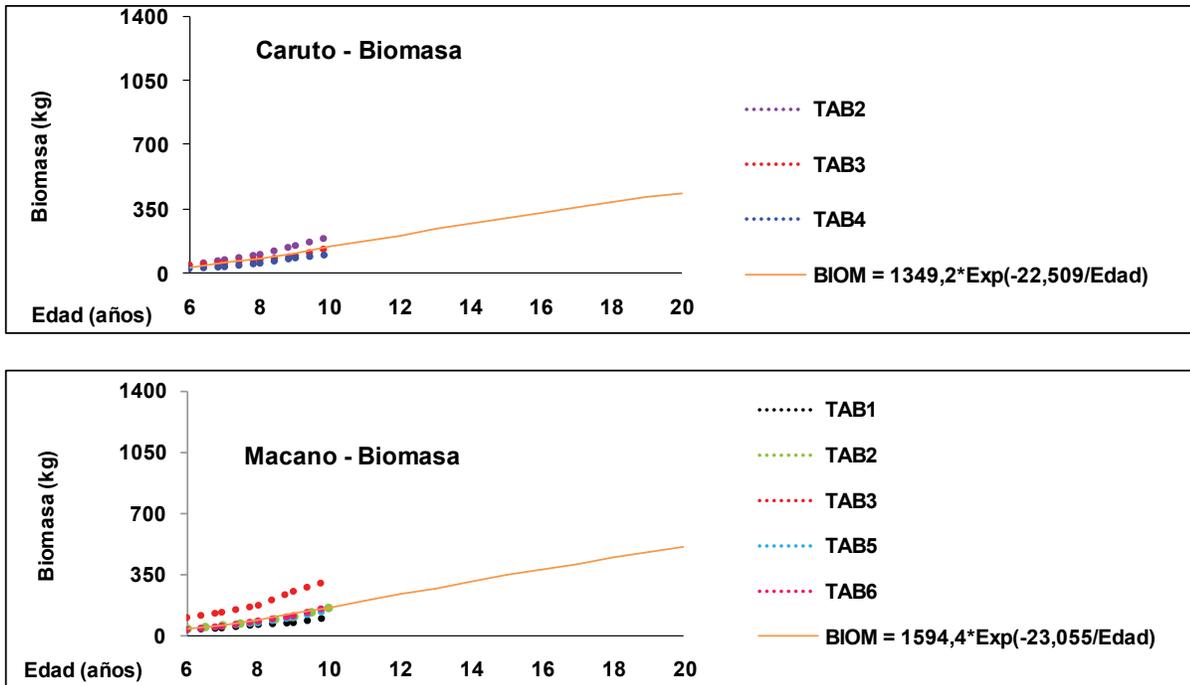
Especie	Arreglo	Edad (años)				
		6	10	10	10	20
		Biomasa (Kg)	Biomasa (Kg)	Promedio Biomasa (Kg)	Incremento medio anual en Biomasa (Kg/año)	Biomasa proyección (Kg)
abarco	SAF 1	139,131	462,936	436,273	46,294	996,304
	SAF 2	165,171	503,850		50,385	
	SAF 5	101,944	320,180		32,018	
	SAF 6	149,842	458,123		45,812	
acacio	SAF 3	203,842	422,440	483,263	42,244	808,824
	SAF 4	204,216	544,087		54,409	
achapo	SAF 5	108,117	372,623	391,703	37,262	1248,108
	SAF 6	110,143	410,782		41,078	
cachicamo	SAF 3	169,006	305,881	242,183	30,588	742,460
	SAF 6	52,765	178,486		17,849	
caruto	SAF 1	18,113	46,527	177,260	4,653	437,824
	SAF 2	86,179	280,830		28,083	
	SAF 3	92,425	214,079		21,408	
	SAF 4	59,716	167,604		16,760	
cedro	SAF 4	0,000	53,400	53,400	5,340	
cuyubí	SAF 1	1,547	10,508	18,851	1,051	104,690
	SAF 3	9,889	23,703		2,370	
	SAF 4	4,148	22,341		2,234	
guacamayo	SAF 1		22,186	27,721	2,219	
	SAF 2	0,000	33,256		3,326	
macano	SAF 1	57,974	148,666	244,341	14,867	503,459
	SAF 2	76,175	229,313		22,931	
	SAF 3	162,301	399,059		39,906	
	SAF 4	6,059				
	SAF 5	64,266	208,037		20,804	
	SAF 6	68,173	236,629		23,663	
paloarco	SAF 1	9,961	18,991	15,098	1,899	
	SAF 4	1,547	3,110		0,311	
	SAF 5	6,729	23,193		2,319	

SAF: Arreglo agroforestal

Figura 46. Biomasa por árbol, edades de 6 a 20 años de especies forestales en arreglos Agroforestales, núcleo veredal La Tabla Guaviare



Continuación Figura 46



En la gráfica los marcadores representan el valor promedio real medido.
 Las líneas que acotan el valor promedio corresponden al error estándar.
 La línea roja es construida con los valores obtenidos del modelo de regresión
 TAB: Arreglos agroforestales.
 BIOM: Biomasa

3.4.3 Volumen total de arreglos agroforestales, establecidos en el núcleo veredal La Tabla en 1999

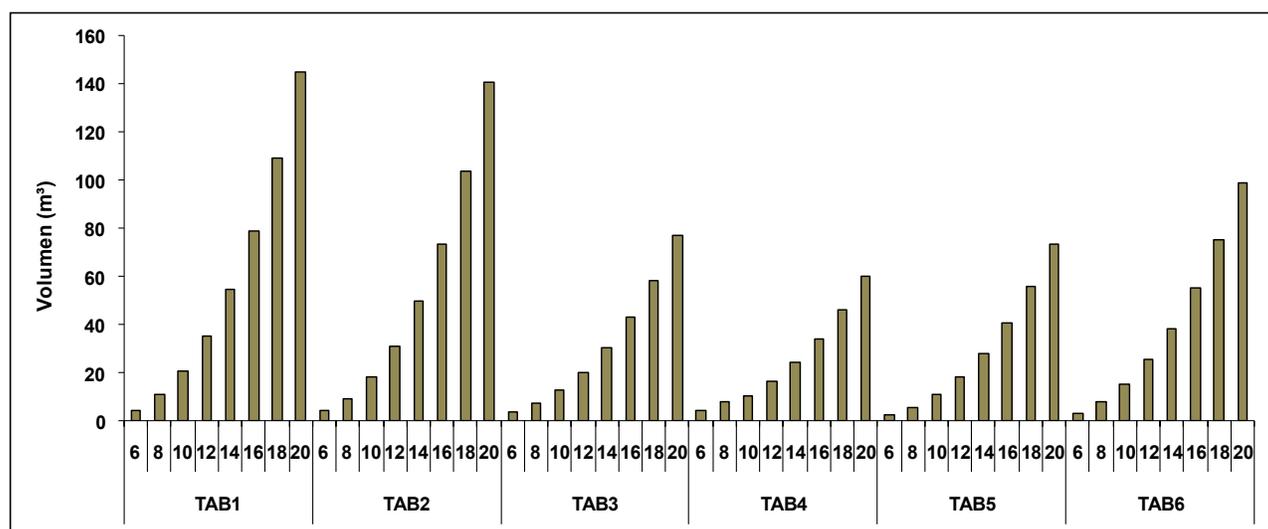
Se calculó la sumatoria de los volúmenes medios de todos los individuos de las diferentes especies forestales del arreglo agroforestal, núcleo La Tabla, establecido en 1999. Se obtuvieron los valores del volumen total por arreglos y por especies, considerando el número total de individuos, en el periodo de evaluación de edades de 6 a 10 años.

Con las proyecciones de diámetro y altura a las edades de 11 a 20 años, se registró la sumatoria del volumen, igualmente, por arreglo y por especie para esas edades. En la figura 47 está registrado el comportamiento el volumen por hectárea para el total

de especies forestales de cada uno de los arreglos, con esta información se estableció forma creciente de la línea de tendencia de incremento en volumen para los arreglos SAF 1, SAF 2 y SAF 6.

Para estos arreglos en la proyección obtenida a los 20 años se obtuvieron incrementos en volumen por árbol de 0,05 m³/año con producción a los 20 años de edad de 1,0 m³por árbol y para un número de individuos superior a 100 por hectárea, nos permite obtener más de 100 m³ por hectárea.

Figura 47. Volumen total, edades entre 6 a 20 años, de arreglos agroforestales, núcleo veredal La Tabla Guaviare



TAB: Arreglo agroforestal núcleo La Tabla

En este análisis del volumen total para los arreglos productivos agroforestales establecidos en el núcleo La Tabla, en 1999, para la medición a los 10 años de edad se destacaron los arreglos:

SAF 1: conformados por abarco, caruto, cuyubí, guacamayo, macano, palo arco, arazá, borojó, chontaduro, guamo y uva, con volumen total de las especies forestales a los 10 años de edad de 28,641 m³/ha.

SAF 2: conformados por abarco, caruto, guacamayo, macano, arazá, chontaduro, guamo y uva, con volumen total de las especies forestales a los 10 años de edad de 26,888 m³/ha.

Para los arreglos destacados SAF 1, SAF 2 y SAF 6, las proyecciones de volumen a los 20 años de edad se situaron en el rango entre 145 m³/ha a 99 m³/ha

SAF 6: conformados por abarco, achapo, cachicamo, macano, arazá, borojó, champa, chontaduro, con volumen total de las especies forestales a los 10 años de edad de 19,715 m³/ha.

Para los arreglos destacados SAF 1, SAF 2 y SAF 6, las proyecciones de volumen a los 20 años de edad se situaron en el rango entre 145 m³/ha a 99 m³/ha; estos son los volúmenes esperados de acuerdo con las condiciones de permanencia de los individuos forestales que están entre 100 a 120 individuos por hectárea. Estos arreglos sumados los individuos de las especies frutales registraron en total entre 200 a 250 individuos por hectárea.

Con las ecuaciones generadas se obtuvieron los valores de volumen proyectado a 20 años para los todos los arreglos. Esta información quedó registrada en la tabla 65. En la figura 48 se estableció la comparación entre las edades 10 y 20 años de los valores de volumen obtenidos para los diferentes arreglos y las especies que los conforman.

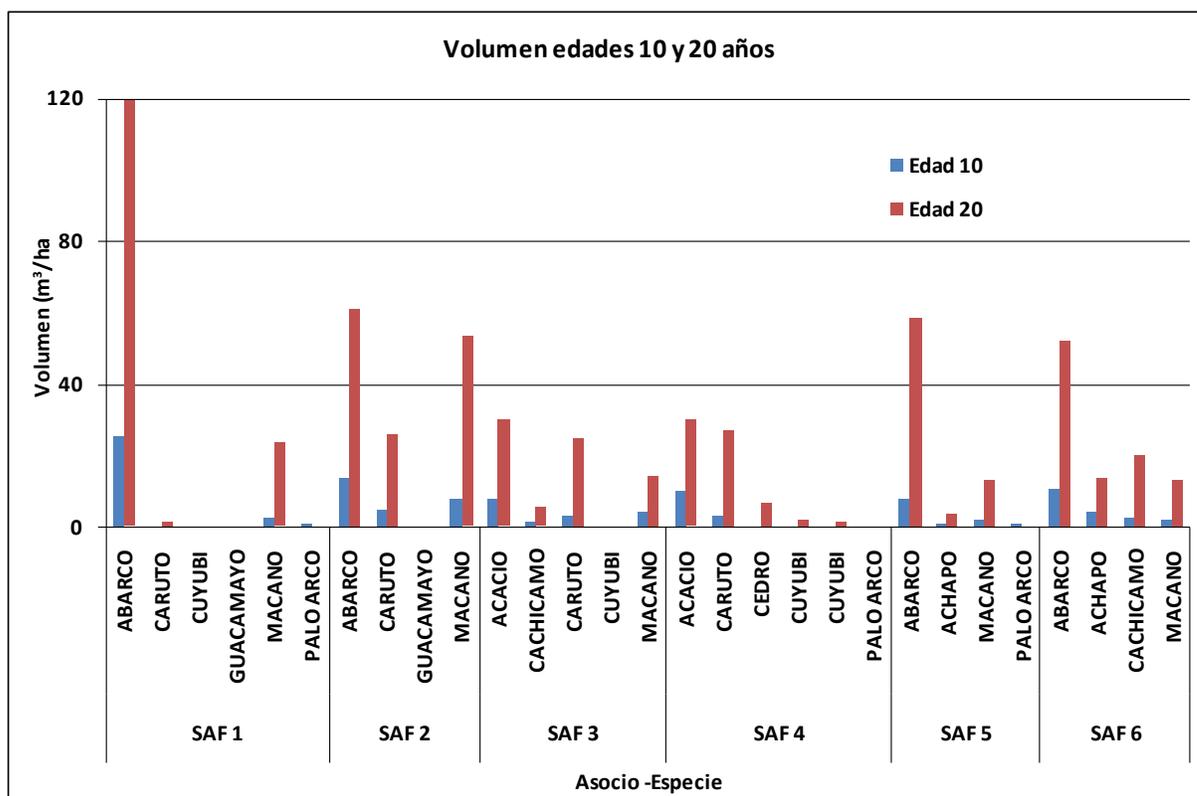
Tabla 65. Volumen total, edades 10 y 20 años de arreglos agroforestales, núcleo veredal La Tabla Guaviare

	Edad (años)	
	10	20 (proyección)
Arreglo	Volumen total / hectárea (m ³ /ha)	
TABLA99 SAF 1	28,641	145,071
TABLA99 SAF 2	26,888	140,644
TABLA99 SAF 3	16,359	74,589
TABLA99 SAF 4	13,826	66,923
TABLA99 SAF 5	11,547	75,556
TABLA99 SAF 6	19,715	98,879

SAF: Arreglos agroforestales.

TABLA99: Núcleo veredal La Tabla 1999.

Figura 48. Volumen total, edades 10 a 20 años de especies forestales en arreglos agroforestales, núcleo veredal La Tabla Guaviare



SAF: Arreglos agroforestales.

3.4.4 Biomasa total de arreglos agroforestales, establecidos en el núcleo veredal La Tabla en 1999

Para la valoración de la biomasa de sistemas productivos agroforestales establecidos en el núcleo veredal La Tabla, en 1999, se registraron valores totales por arreglos entre 92235,0 Kg/ha a 38441,0 Kg/ha; en especial se destacaron los valores de biomasa a los 10 años de edad para los arreglos:

SAF 1 conformados por abarco, caruto, cuyubí, guacamayo, macano, palo arco, arazá, borojó, chontaduro, guamo y uva, con biomasa total a los 10 años de edad de 89048,0 Kg/ha

SAF 2 conformados por abarco, caruto, guacamayo, macano, arazá, chontaduro, guamo y uva con biomasa total a los 10 años de edad de 92235,0 Kg/ha

Para los arreglos agroforestales SAF 1 y SAF 2 proyectados a los 20 años de edad, el valor de acumulación de biomasa forestal por hectárea se encuentra entre 422562,0 Kg/ha y 191238,0 Kg/ha.

Para los arreglos agroforestales SAF 1 y SAF 2 proyectados a los 20 años de edad, el valor de acumulación de biomasa forestal por hectárea se encuentra entre 422562,0 Kg/ha y 191238,0 Kg/ha.

Estos registros de biomasa se obtuvieron en función de la altura y el diámetro a la edad definida y el número de individuos que permanecen en el arreglo. En la tabla 66 se registra los valores evaluados a los 10 años de edad y los valores de la proyección a los 20 años de edad para las especies forestales establecidas en cada uno de los arreglos agroforestales.

En la figura 49 quedó registrado el comportamiento de las especies y los arreglos en la evaluación a los 10 años de edad y su proyección a los 20 años de edad. Los registros obtenidos para la variable biomasa a los 10 años de edad, establecieron de nuevo las excelentes condiciones de producción de las especies forestales

La especie abarco, a los 10 años de edad, con valores de biomasa total de 25461,5 Kg por hectárea en uno de los arreglos evaluados.

La especie Acacio, a los 10 años de edad, con valores de biomasa total de 10338 Kg/ha en el arreglo SAF 4.

La especie macano, a los 10 años de edad, con valores de biomasa total de 9401,0 Kg/ha en el arreglo SAF 6.

La especie caruto, a los 10 años de edad, con valores de biomasa total entre 3520,0 a 5617,0 Kg/ha en tres de los arreglos evaluados.

De este grupo, con un valor intermedio de producción de biomasa, se destacó la especie nativa caruto, de gran importancia para las condiciones de diseño de los sistemas productivos agroforestales.

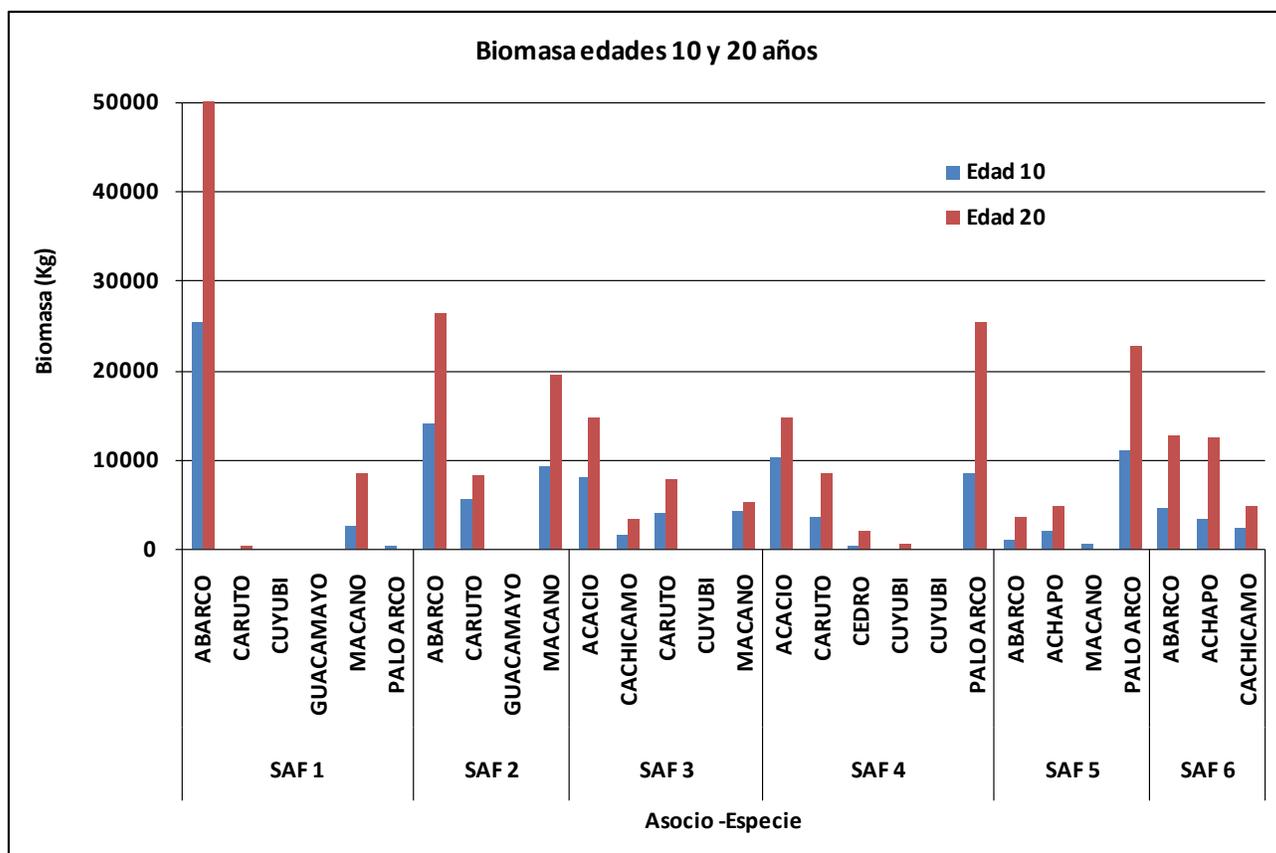
Tabla 66. Biomasa total a 10 y 20 años para arreglos agroforestales

Arreglo	Edad (años)	
	10	20 (proyección)
	Biomasa total / hectárea (Kg/ha)	
TABLA 1999 SAF 1	28708,391	60933,587
TABLA 1999 SAF 2	29325,799	54060,626
TABLA 1999 SAF 3	18036,601	31155,25
TABLA 1999 SAF 4	14309,284	26161,571
TABLA 1999 SAF 5	12376,536	33664,275
TABLA 1999 SAF 6	21271,08	52573,671

SAF: Arreglos agroforestales.

TABLA 1999: Núcleo veredal La Tabla 1999

Figura 49. Biomasa total, edades 10 a 20 años en arreglos agroforestales, núcleo veredal La Tabla Guaviare



SAF: Arreglos agroforestales

En general para los arreglos de mejores resultados en biomasa, se estableció que es necesaria la conformación de cuatro a seis especies forestales y que el número de individuos por cada una de las especies que permanecen en el arreglo después de los 10 años de edad debe ser mayor a 20 individuos por hectárea. Esto complementando con un número entre 100 a 150 de individuos de las especies frutales. Este número de especies y de individuos por especie que permanecen en el arreglo, permiten la obtención de estos importantes valores de acumulación de biomasa y se analizó que fue mínima la competencia entre los individuos y entre las especies.

Se consideró de gran importancia en términos de producción de biomasa el arreglo SAF 2, descrito previamente que presentó a los 10 años de edad, 41 individuos de la especie macano, 28 de abarco, 20 de caruto, 6 de cachicamo y 138 individuos de las especies frutales. En la tabla 67 quedaron registrados los valores de la biomasa forestal total por hectárea a los 10 años de edad de las especies en cada uno de los arreglos agroforestales.

Tabla 67. Biomasa total, a 10 años de arreglos agroforestales, núcleo veredal La Tabla Guaviare

Especie	Arreglo	Biomasa (Kg / ha) edad 10 años
abarco	SAF 1	25461,4943
	SAF 2	14107,8077
	SAF 5	8644,8649
	SAF 6	10994,9596
acacio	SAF 3	8026,3523
	SAF 4	10337,6597
achapo	SAF 5	1117,8677
	SAF 6	4518,6073
cachicamo	SAF 3	1529,4058
	SAF 6	3391,2248
caruto	SAF 1	46,5268
	SAF 2	5616,6046
	SAF 3	4067,4937
	SAF 4	3519,6791
cedro	SAF 4	266,9997
cuyubí	SAF 1	21,0168
	SAF 3	23,7032
	SAF 4	178,7256
guacamayo	SAF 1	66,5591
	SAF 2	199,5385
macano	SAF 1	2675,9897
	SAF 2	9401,8485
	SAF 3	4389,6463
	SAF 5	2080,3711
	SAF 6	2366,2888
paloarco	SAF 1	436,8039
	SAF 4	6,2197
	SAF 5	533,4327

SAF: Arreglos agroforestales

Capítulo 3

Valoración económica y ambiental de arreglos agroforestales

1 Servicio ecosistémico de secuestro de carbono en arreglos agroforestales

La remoción del carbón atmosférico y su almacenamiento en compartimientos terrestres es una de las opciones que han sido propuestas para disminuir la concentración de gases efecto invernadero en la atmosfera. Una forma de almacenamiento o reservorio es la agroforestería, en la cual se absorben grandes cantidades de carbono con la introducción de árboles en arreglos con cultivos y/o animales, mediante manejos adecuados. Considerando esta función, la agroforestería comienza a recibir un amplio reconocimiento en términos de agricultura sostenible y en su papel en el cambio climático. Existen evidencias históricas que la agroforestería ha sido ampliamente practicada a través del tiempo como un medio de agricultura sostenible y con muy bajo impacto en el suelo, en su degradación y desertificación. (Albrecht & Kandaji, 2003)

Albrecht & Kandaji (2003), en su investigación, reportaron que la concentración de CO₂ y de otros gases de efecto invernadero se han incrementado considerablemente en el último siglo y que se

Existen evidencias históricas que la agroforestería ha sido ampliamente practicada a través del tiempo como un medio de agricultura sostenible y con muy bajo impacto en el suelo, en su degradación y desertificación.

La significancia de la agroforestería como acción para contribuir al secuestre de carbono y su efectos en la mitigación de sus impactos ha sido ampliamente reconocida, pero ha sido muy poco cuantificada para sistemas específicos

presenta una tendencia de aumento de estas concentraciones, por lo que los autores plantearon como objetivo de su estudio, analizar el carbono almacenado en algunos sistemas agroforestales y definir el papel de estos en la reducción de las concentraciones de CO₂ en la atmosfera. El secuestre de carbono potencial de los sistemas agroforestales es estimado entre 12,0 a 228,0 ton/ha, con una media de 95,0 ton/ha. Estos autores en su investigación expresaron que la promoción de la agroforestería es una de las mejores y mayores oportunidades para acciones contra el calentamiento global.

La significancia de la agroforestería como acción para contribuir al secuestre de carbono y su efectos en la mitigación de sus impactos ha sido ampliamente reconocida, pero ha sido muy poco cuantificada para sistemas específicos. Albrecht & Kandaji, 2003, presentaron un resumen de los diferentes reportes sobre el secuestre de carbono (Ver tabla 68).

Tabla 68. Potencial de carbono almacenado en arreglos agroforestales en diferentes regiones de la tierra

Región	Ecorregión	Arreglo	carbono (ton/ha)
África	Tropical húmedo Alta	Agrosilvicultural	29 - 53
Sur América	Tropical húmedo baja	Agrosilvicultural	39 - 102
	Tierras bajas secas		39 - 195
Sudeste asiático	Tropical húmedo	Agrosilvicultural	12 - 228
	Tierras bajas secas		68 - 81
Australia	Tropical húmedo baja	Silvopastoril	28 - 51
Norte América	Tropical húmedo Alta	Silvopastoril	133 - 154
	Tropical húmedo baja	Silvopastoril	104 - 198
	Tierras bajas secas	Silvopastoril	90 - 175
Noreste asiático	Tropical húmedo baja	Silvopastoril	15 - 18

Fuente: Albrecht y Kandaji, 2003

2 Almacenamiento de carbono en algunas prácticas agroforestales

Diversos estudios en América tropical y subtropical plantean que existe alta variabilidad en el almacenamiento de carbono dependiendo de la complejidad del arreglo agroforestal ya que su pro-

ductividad depende de la edad, de la estructura y del tipo de manejo. De igual manera, a nivel de las especies, de la biomasa y del carbono almacenado sus respuestas dependen de las condiciones ambientales, del tipo de suelos, de la magnitud de la degradación de la tierra y de la amplitud o periodo de cultivo (Albrecht & Kandaji, 2003)

Albrecht & Kandaji, 2003, citan a Beer *et al.*, (1990), que estudiaron la productividad de arreglos agroforestales durante 10 años en Costa Rica, principalmente con las asociaciones de las especies cacao (*Theobroma cacao*) y laurel (*Cordia alliodora*) y con la asociación de cacao y poro (*Erythrina poeppigiana*). Para la totalidad de los componentes de los arreglos se obtuvo un valor de carbono secuestrado de 11,0 ton/ha/año; para los árboles se registró un valor de 6,0 ton/ha/año. Estos autores citan a Jensen (1993), que encontraron en Java valores de 16,0 ton/ha. De igual manera, Albrecht & Kandaji, reportaron los estudios de Lasco & Suson (1999), que obtuvieron valores de 4,0 ton/ha en el año 1 y de 64,0 ton/ha en el año 6 para arreglos agroforestales con *Leucaena leucocephala*. Los autores en su revisión establecieron de diversas fuentes que el valor promedio de acumulación de carbono en un periodo de 6 años era de 16 ton/ha.

En los sistemas agroforestales el secuestro de carbono es un proceso dinámico que puede ser dividido en fases. En el establecimiento muchos sistemas pueden ser fuente de gases de efecto invernadero. Luego se presenta una rápida acumulación y maduración en la cual toneladas de carbono son almacenadas en fustes, raíces de los árboles y en el suelo. Al final del periodo de cultivo, cuando los árboles son cosechados se presenta un retorno a las tierras del carbono y parte de él puede regresar a la atmósfera. (Dixon, 1995, citado por Albrecht & Kandaji, 2003)

Salgado (2010), en su estudio en Costa Rica y Nicaragua con el objetivo de valorar la fijación de carbono total y la rentabilidad financiera de sistemas agroforestales, al considerar la fijación de carbono como un servicio ecosistémico, retoma las afirmaciones elaboradas por Albrecht & Kandaji (2003), que establecieron que actividades como la agroforestería implementada en gran escala, pueden remover grandes cantidades de carbono de la atmósfera. Igualmente Salgado (2010), citando a Dzib (2003), expresó que

En los sistemas agroforestales el secuestro de carbono es un proceso dinámico que puede ser dividido en fases

Para la valoración ambiental de la fijación neta de carbono, se valora la acción de remover el CO₂ atmosférico en términos del costo de mitigación de ese proceso

en los sistemas agroforestales, se debe hacer la estimación de la biomasa de los árboles y establecer la magnitud del secuestro de carbono, ya que los árboles aportan el mayor porcentaje de la biomasa. Los análisis que se plantean permiten estimar para los sistemas agroforestales el pago por el servicio ambiental de secuestro de carbono que se genera. Para cuantificar el contenido de carbono en la biomasa se asume un valor de 0,5 de la biomasa total en peso seco (IPCC 1996).

Para la valoración ambiental de la fijación neta de carbono, se valora la acción de remover el CO₂ atmosférico en términos del costo de mitigación de ese proceso. Para valorar el secuestro de carbono se considera el valor de evitar que el carbono se libere a la atmosfera, es decir, se paga por evitar el cambio de uso de suelo y las emisiones potenciales de determinado uso del suelo. (Salgado, 2010)

Salgado (2010), para estimar el carbono fijado en la biomasa aérea de los arreglos agroforestales con café, en Costa Rica, evaluó previamente la biomasa aérea mediante un muestreo destructivo. Utilizó entre 20 y 50 individuos para cada una de las especies, valores de número de individuos que están de acuerdo con lo expresado por Segura y Andrade 2008 (citados por Salgado, 2010), que definen muestrear al menos 30 árboles distribuidos en todas las clases diamétricas.

Los resultados presentados por Salgado (2010), registraron para el tratamiento denominado Masatepe, en Nicaragua (entre los años 2000 – 2008), valores de la biomasa por árbol de la especie *Inga laurina* de 155,5 kg, con diámetros entre 10,0 y 38,0 cm; para la especie *Simarouba glauca*, reportó biomasa de 50,2 kg/árbol con diámetros entre 6,0 cm a 36,0 cm; para la especie *Samanea saman* encontró biomasa de 41,78 kg/árbol, con diámetros entre 8,0 y 18 cm y para la especie *Tabebuia rosea* registró biomasa de 99,6 kg/árbol con diámetros entre 8,0 y 18,0 cm

En la tabla 69, quedó registrada la biomasa total, para los diferentes tratamientos de los arreglos agroforestales con café valorados en Costa Rica. Salgado (2010), comparó estos resultados con diversas fuentes consultadas y reportó a Suarez (2002), en Nicaragua, que encontró para agroforestales con café valores de la biomasa de los maderables (diámetro mayor de 10 cm) entre 33,0

y 35,7 ton/ha. En Costa Rica, Ávila (2000), en arreglos agroforestales con café y *Eucalyptus deglupta*, calculó valores de la biomasa entre 17,9 y 27,9 ton/ha. Dzib (2003) registró valores de la biomasa entre 28,0 y 77 ton/ha.

Tabla 69. Biomasa total de las especies forestales en arreglos agroforestales con café, en Costa Rica

Tratamiento	Biomasa total (ton/ha)
1	104,72
2	100,03
3	69,4
4	57,87
5	52,92
6	70,48

Fuente: Salgado (2010)

Salgado (2010), en su investigación en arreglos agroforestales con la especie café en Nicaragua registró valores de 20,8 y 25,3 ton/ha de carbono, específicamente para el sitio de investigación denominado “Masatepe”. Para el sitio Turrialba, en Costa Rica, uno de los tratamientos evaluados registró acumulación de carbono entre 69,6 y 55,3 ton/ha. El autor estableció comparaciones con reportes de Dzib (2003), con registros de 66 ton/ha de carbono y Montero & Kanninen (2002) con 82 ton/ha de carbono.

Sobre el tema de carbono secuestrado, se presenta en este ítem los resultados obtenidos de su valoración en los arreglos productivos agroforestales evaluados en Guaviare entre los años de 1995 a 2009. Algunos resultados de referencia se presentaron en el ítem correspondiente a las evaluaciones de volumen y biomasa total de los arreglos y expresan los valores medios registrados para coberturas boscosas de América tropical y subtropical.

En general, en estos previos resultados provenientes de diferentes fuentes de América tropical y subtropical se reportaron registros de carbono almacenado por hectárea entre 600,0 ton/ha hasta 23,0 ton/ha. Exceptuando el registro reportado por Gayoso en el 2001 en Chile, los valores de carbono valorado por

resultados provenientes de diferentes fuentes de América tropical y subtropical se reportaron registros de carbono almacenado por hectárea entre 600,0 ton/ha hasta 23,0 ton/ha.

hectárea no superan las 260 ton/ha y en general para América tropical los valores en promedio son de 200 ton/ha. En la tabla 70 quedó consignado un cuadro comparativo con las diversas fuentes consultadas.

Tabla 70. Carbono almacenado por hectárea de coberturas boscosas en diferentes sitios de América tropical y subtropical

País	Tipo	carbono máximo (ton/ha)	carbono mínimo (ton/ha)	Fuente
Chile	1	600	190	Gayoso (2001)
Nicaragua	4	260,19	178,51	Medina (s.f.)
Nicaragua	5	235,65	121,78	Medina (s.f.)
América tropical	1	230	60	Brown <i>et ál.</i> , (1997)
Nicaragua	4	205,98	119	Medina (s.f.)
América tropical	5	204	20	Ibrahim, <i>et ál.</i> , (2005)
América tropical	1	190	25	Brown <i>et ál.</i> , (1997)
Nicaragua	1	183,2	145,6	Lagos & Venegas (2003)
Nicaragua	4	161,3		Medina (s.f.)
Guatemala		145		Fundación Solar (1999)
Costa Rica	1	137,8	111,4	Segura 1999)
Nicaragua	1	120,97	93,7	Medina (s.f.)
Guatemala	1	104,8		Arreaga Gramajo (2002)
Panamá	1	104,5		Kraenzel, <i>et ál.</i> , 2003)
Costa Rica	1	92,4		Ibrahim, <i>et al.</i> , (2007)
Guatemala	5	85		Winrock Internacional (1998)
Costa Rica	5	82		Montero y Kanninen(2002)
Costa Rica	5	69,6	55,3	Salgado (2010)
Costa Rica	5	66		Dzib(2003)
Costa Rica	1	37,9	33,8	Cubero & Rojas (1999)
Guatemala	5	35		Winrock Internacional (2000)
Guatemala	1	34		Winrock Internacional (1999)
Nicaragua	1	23		Ibrahim, <i>et al.</i> , (2007)
Nicaragua	5	25,3	20	Salgado (2010)

Tipo. 1. Bosques, 4: Plantaciones, 5: Agroforestal

3. Cuantificación de carbono y CO₂ de arreglos agroforestales establecidos en guaviare

Con la metodología reportada previamente, en la cual se obtiene el factor de conversión de biomasa a carbono de 0,5 y el factor de carbono a CO₂ de 3,6667, se obtuvo para la proyección a los 20 años, el carbono y el CO₂ acumulado en la biomasa aérea forestal de los arreglos agroforestales establecidos en los sistemas Inspección de Cerritos 1995, Inspección de Cerritos 1997 y Núcleo veredal La Tabla 1999. En la tabla 71, quedó registrada la composición de los diferentes arreglos. La tabla 72 registró los valores de carbono y CO₂ para todos los arreglos.

Tabla 71. Composición de los diferentes arreglos agroforestales en Guaviare

Nombre del arreglo	Número del arreglo	Especies forestales y frutales
TABLA 1999	1	abarco, caruto, cuyubí, guacamayo, macano, palo arco, arazá, borojón, chontaduro, guamo, uva,
TABLA 1999	2	abarco, caruto, guacamayo, macano, arazá, chontaduro, guamo, uva,
TABLA 1999	3	acacio, cachicamo,, caruto, cuyubí, macano, anón, arazá, borojón, champa,, chontaduro,
TABLA 1999	4	acacio, caruto,, cedro, cuyubí, macano, palo arco, arazá, borojón, champa,, chontaduro, uva,
TABLA 1999	5	abarco, achapo, macano, palo arco, arazá, borojón, champa,, chontaduro,
TABLA 1999	6	abarco, achapo, cachicamo,, macano, arazá, borojón, champa,, chontaduro,
CERRITOS 1997	1	abarco, brasil, caruto, palo arco,, roble, arazá, borojón,
CERRITOS 1997	2	abarco, carapa,, caruto, cuyubí, inchi,, macano, anón, arazá, borojón, caimarona,, champa,, chontaduro,
CERRITOS 1997	3	abarco, acacio, achapo, arenillo, brasil, cedro mach, milpo, nocuito, virola, anón, arazá, borojón, chontaduro, copoazú, maraco,
CERRITOS 1997	4	abarco, caruto, macano,
CERRITOS 1997	5	abarco, caruto, nocuito, virola, arazá, borojón, chontaduro, copoazú,
CERRITOS 1997	6	abarco, brasil, nocuito, anón, arazá, borojón, copoazú,
CERRITOS 1997	7	abarco, cedro mach, cuyubí, inchi,, macano, arazá, borojón, champa,, chontaduro,
CERRITOS 1997	8	abarco, caruto, cedro amar, cuyubí, macano, nocuito, anón, arazá, borojón, caimarona,
CERRITOS 1995	1	abarco, acacio, achapo, nocuito, arazá, borojón
CERRITOS 1995	2	abarco, acacio, achapo, macano, roble, arazá, borojón
CERRITOS 1995	3	achapo, macano, milpo,, roble, arazá, borojón

Tabla 72. Biomasa, carbono y CO₂ en arreglos agroforestales en Guaviare

Nombre del arreglo	Número del arreglo	Edad 20 años (proyección)			
		Biomasa por arreglo (ton/área)	Biomasa por hectárea (ton/ha)	Carbono (ton/ha)	CO ² (ton/ha)
La Tabla 1999	1	60,934	60,934	30,467	111,713
	2	54,061	54,061	27,03	99,112
	3	31,155	31,155	15,578	57,118
	4	26,162	26,162	13,081	47,963
	5	33,664	33,664	16,832	61,718
	6	52,574	52,574	26,287	96,386
Cerritos 1997	1	114,104	114,104	57,052	209,193
	2	75,209	75,209	37,604	137,884
	3	122,013	122,013	61,006	223,692
	4	84,62	84,62	42,31	155,137
	5	41,191	41,191	20,596	75,518
	6	35,693	35,693	17,847	65,439
	7	62,606	62,606	31,303	114,778
	8	95,366	95,366	47,683	174,839
Cerritos 1995	1	140,72	93,814	46,907	171,993
	2	176,18	117,453	58,727	215,333
	3	79,852	53,234	26,617	97,597

Los valores de biomasa total valorados para cada uno de los 17 arreglos agroforestales evaluados, establecen un rango entre 26,162 a 122,013 ton/ha de peso seco del componente aéreo de los arreglos. Para el carbono total almacenado se registró un rango entre 13,081 a 61,006 ton/ha de carbono, y para la acumulación de CO₂, se registró un rango entre 47,963 a 223,692 ton/ha de CO₂.

En esta valoración de los bienes y servicios se analizó que para los arreglos de la Inspección de Cerritos, establecidos entre los años de 1995 y 1997, se registraron las mayores tasas de acumulación tanto de la biomasa, el carbono y el CO₂, en concordancia con el mayor número de individuos de las especies forestales que permanecieron en el arreglo y además, por estar conformados con las especies de mayor capacidad de acumulación de biomasa, principalmente las especies abarco, achapo, macano, caruto (como se analizó previamente en las evaluaciones por arreglo).

De igual manera, complementario a este primer análisis, se estableció que los arreglos con mayor número de especies forestales, registraron mayores aportes de biomasa. Estas mayores acumulaciones de biomasa,

establecen directamente mayores contenidos de carbono y de acumulación de CO₂. Se identificó también, que los promedios de acumulación de carbono, están en concordancia con los reportes presentados que establecen registros desde 600,0 ton/ha hasta 23,0 ton/ha.

Se establecieron valores promedios por el tipo de arreglo valorado en este estudio (Inspección de Cerritos establecidos en 1995, Inspección de Cerritos establecidos en 1997 y núcleo veredal La Tabla establecidos en 1999), encontrando que Cerritos 1995 presentaron en promedio valores de carbono de 44,1 ton/ha, seguidos por Cerritos de 1997 con 39,1 ton/ha y para los arreglos del núcleo veredal la Tabla se registraron valores promedio de 21,5 ton/ha.

Esta acumulación de carbono y por consiguiente de reservorio de CO₂, se constituye en un servicio ecosistémico adicional a la oferta de los productos madera, frutales y pancoger que ofrecen los arreglos agroforestales. Se destacan arreglos productivos establecidos en la Inspección de Cerritos en 1995, con capacidad de almacenar contenidos de 98, 172 y 215 ton/ha de CO₂

4. Herramientas de valoración económica

Como antecedente a esta aproximación a la valoración económica de arreglos agroforestales, se referencian algunos estudios realizados sobre los aspectos a considerar para este propósito.

Campos Dos Santos (2002), en su estudio en la Amazonia occidental brasilera, planteó en su objetivo, evaluar la viabilidad económica de cuatro arreglos agroforestales situados en las zonas de la Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuarias – EMBRAPA. Para este propósito se analizaron cuatro modelos agroforestales, más un testigo en un área total de 4,5 ha. Se valoraron los arreglos:

ASP1: arreglo agrosilvopastoril de altos insumos. Componentes: milho (*Zea mays*) caupi (*Vigna unguiculata*), mandioca, parica (*Schizolobium amazonicum*), mogno (*Swietenia macrophylla*), inga (*Inga edulis*), desmodio (*Desmodium ovalifolium*), quicúio (*Brachiaria humidicola*), brizantao (*Brachiaria brizanta*).

ASP2: arreglo agrosilvopastoril de bajos insumos. Componentes: arroz, mandioca, Inga, mogno, parica, brachiaria, desmodio, gliricidia, quicúio.

Esta acumulación de carbono y por consiguiente de reservorio de CO₂, se constituye en un servicio ecosistémico adicional a la oferta de los productos madera, frutales y pancoger que ofrecen los arreglos agroforestales.

AS1: arreglo agrosilvicola bajos insumos con palmas. Componentes: arroz (*Oriza sativa*), copoazú (*Theobroma grandiflorum*), pupunheira (*Bactris gasipaes*), mandioca (*Manihot esculenta*), asaí (*Euterpe oleraceae*), gliricidia (*Gliricidia sepium*), columbrina (*Columbrina glandulosa*) especie maderable.

AS2: arreglo agrosilvicola bajos insumos multiestrato. Componentes: arroz (*Oriza sativa*), arazá (*Eugenia stipitata*), acerola (*Malpighia glabra*), copoazú (*Theobroma grandiflorum*), maracujá (*Passiflora edulis*), castaña (*Bertholletia excelsa*), inga (*Inga edulis*), gliricidia (*Gliricidia sepium*), mogno (*Swietenia macrophylla*), teca (*Tectona grandis*), genipapo (*Genipa americana*) especies maderables.

T: testigo con praderas abandonadas

Para este estudio, Campos Dos Santos en 2002 realizó la evaluación económica basada en el cálculo del valor presente líquido de los respectivos flujos de caja. La propuesta de evaluación económica para los cuatro modelos se realizó con base en: VPL (Valor Presente Líquido) y VET (Valor esperado de Tierra). En cada arreglo se obtuvieron los flujos de caja (anual) de entrada y salidas de cada tipo de componente. Los flujos de caja representa un estimativo de las entradas y salidas de recursos monetarios en un determinado proyecto productivo en un periodo largo de tiempo y su resultado líquido se calcula mediante la diferencia entre las salidas y las entradas. El autor, estableció como criterio de decisión la aceptación de los VPL positivos y el rechazo de los VPL negativos. Para diferentes proyectos, la selección se hace de acuerdo con el de mayor VPL.

El valor de VPL se calcula mediante la expresión: $VPL = \text{Sumatoria (de } i=0 \text{ hasta } n) \text{ de los costos al final de año en el periodo de tiempo } t (Rt) \text{ dividido entre } (1 + \text{ tasa de descuento})^t \text{, menos la Sumatoria (de } i=0 \text{ hasta } n) \text{ de las Entradas final al final de año en el periodo de tiempo } t (Ct) \text{ dividido entre } (1 + \text{ tasa de descuento})^t \text{. (N: duración del proyecto, en años).}$

De manera general, en el estudio de viabilidad económica realizado por Campos Dos Santos (2002), todos los arreglos agroforestales presentaron rentabilidad positiva, destacándose el arreglo AS2, debido a la mayor cantidad de especies con demandas de sus productos en los mercados locales y a la continuidad de la producción establecida en mediano y largo plazo. De acuerdo con los resultados el autor concluyó que, la viabilidad de los arreglos agro-

forestales analizados, indican que esta actividad puede ser utilizada como alternativa para la recuperación de áreas. El autor además observó que la adopción de arreglo agroforestales puede promover un flujo de caja de valores monetarios con mayor regularidad y ofrecer simultáneamente una variedad de productos maderables y no maderables, permitiendo a los agricultores mayor flexibilidad en la comercialización y racionalización de la mano de obra familiar.

Salgado (2010), en su investigación en Costa Rica con el objetivo de valorar la fijación de carbono total y la rentabilidad financiera de sistemas agroforestales con café planteó los elementos teóricos para el análisis de inversiones de los arreglos agroforestales, se determinó inicialmente los costos e ingresos de un proyecto, su permanencia, y se obtuvieron los indicadores financieros. Estos elementos son además útiles para la definición de flujos de fondos y de ingresos (análisis *ex-ante*), o señalan tiempos de ejecución de las actividades productivas y el flujo económico (análisis *ex-post*) (Gómez & Quirós 2000, citado por Salgado (2010)).

Salgado (2010), estableció que el análisis de inversiones en el tiempo de un proyecto, define la sostenibilidad de proyectos forestales y agroforestales. Esta sostenibilidad se establece si los proyectos generan utilidades mínimas que motivan en los productores el establecimiento y adopción de los sistemas, considerando los horizontes de tiempo de estos proyectos. Esto, establece el autor, genera indicadores de rentabilidad comparables (costo de oportunidad de la tierra) con indicadores de diferentes actividades productivas.

Para la valoración de los bienes y servicios de los arreglos agroforestales, se pueden utilizar los métodos directos (utilizan precios de mercado, tales como cambio en la productividad, costo de reemplazo, costo de sustitución, costo efectividad, costo de oportunidad y costos preventivos) e indirectos (no utilizan precios de mercado sino consideran la voluntad de pago por el bien o servicio) (Segura, 1999, citado por Salgado, 2010).

Uno de estos indicadores es el Costo de oportunidad que se considera como el beneficio al que se renuncia al utilizar un recurso escaso para una finalidad, en lugar de usarlo en otra actividad de mayor rentabilidad. (Banco Mundial, 2004). Para que esto sea posible, se deben generar subsidios a los productores que empleen sistemas de menor rentabilidad pero que generen servicios am-

Salgado (2010), estableció que el análisis de inversiones en el tiempo de un proyecto, define la sostenibilidad de proyectos forestales y agroforestales.

Salgado (2010), para su investigación, realizó un análisis *ex-post* sobre la rentabilidad de los sistemas agroforestales, mediante el indicador financiero de Valor Actual Neto (VAN)

bientales, contrario a productores con sistemas más rentables pero que no generan servicios ambientales, en este caso el servicio de fijación de carbono que se obtiene en los arreglos agroforestales

Salgado (2010), para su investigación, realizó un análisis *ex-post* sobre la rentabilidad de los sistemas agroforestales, mediante el indicador financiero de Valor Actual Neto (VAN), que calcula el valor actual neto de la inversión a partir de la tasa de interés y los pagos futuros (valores negativos) e ingresos (valores positivos), es decir, la sumatoria de los beneficios actualizados menos los costos actualizados (Gómez & Quirós 2001).

5. Indicadores económicos de arreglos agroforestales establecidos en fincas de productores en guaviare

Para la valoración económica y ambiental de los diferentes arreglos establecidos en Cerritos 1995, Cerritos 1997 y Tabla 1999, se realizó con base en la proyección de los ingresos en efectivo producto del aprovechamiento y venta de la madera fina de las especies forestales establecidas en los diferentes arreglos productivos agroforestales. Para esto, con la información previamente obtenida del total de madera por hectárea (en general el área de cada arreglo), se realiza el análisis de las Tasas internas de retorno (TIR), el VPN, el VPT de estos arreglos.

En cada uno de los arreglos se considera un único ingreso por venta de madera a los 20 años de edad, a la cual se le descuenta un costo de una cuarta parte del ingreso. Este costo está sobrevalorado, ya que reportes de U.N. (s. f.), establecieron para el departamento de Antioquia valores entre 1/10 a 3/10 del costo del aprovechamiento. En la tabla 73 y la tabla 74 quedaron registrados los valores de volumen e ingreso de la madera para todos los arreglos agroforestales y los indicadores calculados de TIR, VPN, VPT, Relación Beneficio – Costo.

En esta valoración económica de los diferentes arreglos establecidos en Cerritos 1995, Cerritos 1997 y Tabla 1999, además de los valores de ingreso por venta de la madera para cada arreglo, proyectada a los 20 años de edad, se consideraron los ingresos generados por las actividades de agricultura los tres primeros años y la cosecha de las

especies frutales de los arreglos; en los ingresos se consideró lo reportado en los primeros cinco años de estos arreglos productivos y se valoró para dos de las especies frutales establecidas. Esta información ya fue realizada previamente y está documentada en el libro publicado por el Instituto Sinchi en 2004, denominado Conservación, manejo y aprovechamiento sostenible del bosque en el área de colonización del Guaviare. Giraldo Benavides, Bernardo (Ed.) 2004.

En este análisis, similar a lo encontrado para carbono y CO₂, y en esta valoración del volumen de madera, los arreglos de mayor oferta y mayor ingreso corresponden a los de mayor permanencia de individuos y con mayor número de individuos de especies forestales. Esto permite establecer consideraciones importantes para el manejo de este tipo de arreglos y establecer recomendaciones de establecimiento por parte de las instituciones y los productores vinculados a programas de desarrollo agroforestal.

Tabla 73. Ingreso por venta de madera proyectada a los 20 años de edad para arreglos agroforestales en Guaviare

Nombre del arreglo	Numero arreglo	Área (ha)	Permanencia (%)	Volumen madera (m ³ /ha) total proyectado a 20 años	Ingresos por hectárea por venta de madera
CERRITOS 1995	1	1,5	55,6	177,472	47.325.964
	2	1,5	82,5	212,095	56.558.765
	3	1,5	60,0	86,220	22.991.940
CERRITOS 1997	1	1,0	50,3	142,341	56.936.480
	2	1,0	77,8	87,394	34.957.419
	3	1,0	60,1	97,289	38.915.621
	4	1,0	35,4	174,214	69.685.507
	5	1,0	42,4	43,423	17.369.250
	6	1,0	39,6	44,929	17.971.741
	7	1,0	61,5	75,108	30.043.244
	8	1,0	53,8	120,881	48.352.342
TABLA 1999	1	1,0	89,2	145,071	58.028.295
	2	1,0	80,9	140,644	56.257.494
	3	1,0	57,6	74,589	29.835.713
	4	1,0	67,7	66,923	26.769.084
	5	1,0	58,3	75,556	30.222.263
	6	1,0	67,7	98,879	39.551.667

Permanencia: Porcentaje de árboles por hectárea forestales y frutales que permanecen en el arreglo a la última evaluación realizada en 2009

Tabla 74. Indicadores económicos para arreglos agroforestales en Guaviare. Valores proyectados a los 20 años de edad. Tasa de oportunidad 8%

Sistema	Arreglo	TIR	VPN	B/C
La Tabla 1999	1	14%	\$ 1.210.260	1,58
	2	13%	\$ 841.760	1,54
	3	5%	-\$ 3.279.610	1,13
	4	4%	-\$ 3.917.930	1,05
	5	6%	-\$ 3.199.050	1,14
	6	9%	-\$ 1.998.010	1,28
Cerritos 1997	1	13%	\$ 983.000	1,56
	2	8%	-\$ 2.213.260	1,26
	3	10%	-\$ 1.389.020	1,36
	4	16%	\$ 3.637.140	1,83
	5	-	-\$ 5.185.300	0,89
	6	-	-\$ 5.059.760	0,91
	7	6%	-\$ 3.236.110	1,14
	8	11%	-\$ 804.200	1,37
Cerritos 1995	1	10%	-\$ 1.018.010	1,35
	2	13%	\$ 904.220	1,55
	3	3%	-\$ 4.014.240	1,05

Es importante resaltar que las distancias de establecimiento de los maderables de 8,0 m por 8,0 metros y los valores de cobertura de copa evaluados con registros cercanos a áreas de copas por árbol superior a 100 m², permiten la permanencia de las especies forestales pero disminuyen la producción total de frutales, por lo que a partir del año cinco no se reportan ingresos por esta actividad.

El análisis de la composición de estos arreglos productivos agroforestales, resaltan que a pesar del grado de cobertura del dosel, permanecen las especies frutales y cobertura boscosa de segundo crecimiento, que asemejan un arreglo de enriquecimiento forestal, contribuyendo al aumento de la biomasa total y en especial realizando la función de aporte de nutrientes a las especies forestales establecidas, además de otros beneficios ecosistémicos reportados

por diversas fuentes como son: protección fitosanitaria, polinización, protección del suelo.

Además de estos servicios que generan los arreglos agroforestales, las evaluaciones realizadas para los arreglos agroforestales en Cerritos 1995, Cerritos 1997 y Tabla 1999, se considera un importante servicio ambiental, como es la función de reservorio de carbono. Para esta investigación y de acuerdo con los reportes de investigación presentados previamente, la manera más fácil es su expresión y cálculo en función de la biomasa total por hectárea; valor que nos expresa de manera directa el carbono por hectárea acumulado en cada uno de los arreglos. Como lo reportan diferentes autores, la conversión es: $\text{Carbono} = \text{Biomasa} * 0.50$

Como aporte al análisis de estos sistemas agroforestales en cuanto a ingresos económicos y servicios ecosistémicos se presentan la tabla 75 y tabla 76, que reportan la información de diferentes fuentes consultadas sobre la producción de los bosques y plantaciones con especies forestales.

En estos cuadros comparativos de productividad, se establece que los valores son obtenidos de inventarios forestales generalmente con individuos mayores a 10,0 cm de diámetro y sin conocimiento de la edad de las especies valoradas. La importancia de su presentación en este documento tiene que ver con la magnitud de los valores tanto de volumen por hectárea como de biomasa por hectárea, y hacer inferencias aproximadas de la contribución de los arreglos agroforestales a estos conceptos.

Los resultados encontrados en los diferentes arreglos productivos agroforestales, de acuerdo a las proyecciones realizadas a los 20 años de edad, y considerando que a esta edad, los arreglos se conforman muy similar a sistemas de enriquecimiento forestal donde ya se observan coberturas adyacentes con alturas superiores a 10,0 metros, dan una idea de que estos volúmenes de madera y biomasa son un aporte más al total de los sistemas configurados.

En estos cuadros comparativos se estableció que los sistemas agroforestales establecidos en el departamento del Guaviare y que fueron objeto de este estudio, presentaron valores de biomasa por hectárea dentro del rango universal, de acuerdo con las diversas

Los resultados encontrados en los diferentes arreglos productivos agroforestales, de acuerdo a las proyecciones realizadas a los 20 años de edad, y considerando que a esta edad, los arreglos se conforman muy similar a sistemas de enriquecimiento forestal

fuentes consultadas, con la consideración, de que la mayoría de estas fuentes reportan la información para biomasa de coberturas naturales.

Es importante la consideración sobre la valoración del servicio ecosistémico de reservorio de carbono y CO₂ de los sistemas agroforestales establecidos en el departamento del Guaviare y la premisa de que este servicio se constituye en una fuente adicional a la madera, la producción de frutales y al servicio de autoabastecimiento con los productos del pan coger.

En el cuadro comparativo el 25% de los reportes de biomasa están en los rangos registrados para Guaviare. Del análisis se reportó para Colombia el estudio de Lopera y Gutiérrez (2000), con un promedio de biomasa de 97 ton/ha a los 30 años de edad, valor comparable con los resultados en Guaviare, a menor edad

Para las comparaciones de volumen total por hectárea con excepción de los datos registrados para bosques en Chile con valores superiores a 300 m³/ha, los datos de volumen de los arreglos establecidos en Guaviare, están dentro del rango general. Con la consideración que los reportes analizados son de plantaciones en monocultivos, en los cuales no se registraron los otros elementos de bienes y servicios ecosistémicos que aportan los arreglos agroforestales

En el cuadro comparativo para volumen por hectárea, se analizó que el 45% de los datos de referencia están en el rango de volumen valorado en los arreglos establecidos en Guaviare. Se destacan 7 de los arreglos agroforestales establecidos en Guaviare con valores de volumen por hectárea superiores a 100 m³/ha, que permiten la obtención de mayor productividad que algunos de los monocultivos forestales reportados

**Se destacan
7 de los arreglos agroforestales establecidos en Guaviare con valores de volumen por hectárea superiores a 100 m³/ha**

Tabla 75. Biomasa total por hectárea para diferentes coberturas en diferentes sitios de América tropical y subtropical

Sistema	País	edad (años)	Biomasa total (ton/ha)	Referencia
Bosques	2		563,0	23
Plantaciones Con Manejo	3	6,5	559,6	45
Bosques	2		534,0	19
Bosques Densos	2		533,0	29
Bosques	2		513,0	23
Plantaciones Con Manejo	3		437,8	45
Bosques	2		436,0	41
Ecotonos Forestales	2		422,0	29
Bosques	2		402,0	21
Bosques	2		397,0	23
Bosques	2	6,5	395,0	41
Bosques	2		376,0	23
Bosques Abiertos	2		346,0	29
Bosques	2		335,0	29
Bosques	2		335,0	42
Bosques	2		332,0	23
Amazonia	2		327,0	33
Bosques	2		319,9	32
Bosques	2		307,0	32
Bosques	4		292,0	50
Bosques	2		289,0	23
Bosques	15		288,0	22
Plantación	16	50	287,0	38
Bosques	2		268,0	23
Bosques	10		260,0	22
Bosques	2		227,0	23
Bosques	2		226,0	32
Bosques	13		209,4	20
Bosques	2		169,585	19
Bosques	2		162	23
Plantaciones Sin Manejo	3	29,6	149,3	45
Bosques	2		142,3	32
Bosque secundarios	16	15	100	38
Plantaciones Sin Manejo	3	29,6	97	45
Bosques	13		78	18

Sistema	País	edad (años)	Biomasa total (ton/ha)	Referencia
Bosques	3		61,826	27
Bosques	4	4	41,7	49
Plantación De Maderables	19	4	40	38
Arreglo agroforestal CERRITOS 1997	3	20	122,013	99
Arreglo agroforestal CERRITOS 1995	3	20	117,453	99
Arreglo agroforestal CERRITOS 1997	3	20	114,104	99
Arreglo agroforestal CERRITOS 1997	3	20	95,366	99
Arreglo agroforestal CERRITOS 1995	3	20	93,814	99
Arreglo agroforestal CERRITOS 1997	3	20	84,62	99
Arreglo agroforestal CERRITOS 1997	3	20	75,209	99
Arreglo agroforestal CERRITOS 1997	3	20	62,606	99
Arreglo agroforestal TABLA 1999	3	20	60,934	99
Arreglo agroforestal TABLA 1999	3	20	54,061	99
Arreglo agroforestal CERRITOS 1995	3	20	53,234	99
Arreglo agroforestal TABLA 1999	3	20	52,574	99
Arreglo agroforestal CERRITOS 1997	3	20	41,191	99
Arreglo agroforestal CERRITOS 1997	3	20	35,693	99
Arreglo agroforestal TABLA 1999	3	20	33,664	99
Arreglo agroforestal TABLA 1999	3	20	31,155	99
Arreglo agroforestal TABLA 1999	3	20	26,162	99

Referencia. 18: Aguilar (2002), 19: Araujo et al (1998), 20: Arreaga Gramajo (2002), 21: Brown et al (1981), 22: Brown y Iverson (1992), 23: Brown y Lugo (1992), 27: Cuartas (1993), 29: Cummings et al. (2001), 32: Fearnside (1982a), 33: Fearnside, 1994), 38: Hughes et al. (1999), 41: Jordán (1978), 42: Kauffman (1995) y Guild et al. (1998), 43: Klinge and Rodríguez, 1973; Brown et al., 1992; Brown et al., 1995), 45: Lopera y Gutiérrez (2000), 49: Perez y Kanninen (2002), 50: Segura (1999), 99: Este estudio

País. 2: Brasil, 3: Colombia, 4: Costa Rica, 10: América tropical, 13: Guatemala, 15: Malasia, 16: México, 19: Puerto Rico.

Tabla 76. Volumen total por hectárea para diferentes coberturas en diferentes sitios de América tropical y subtropical

Sistema	País	edad (años)	volumen total (m ³ /ha)	Referencia
Bosque	12		510	31
Bosque	12		350	31
Monocultivo forestal	4	27	314,75	48
Monocultivo forestal	4	26	303,61	48
Bosque	12		300	31
Monocultivo forestal	4	25	292,31	48
Monocultivo forestal	4	24	280,83	48
Monocultivo forestal	4	23	269,19	48
Monocultivo forestal	4	22	257,38	48
Monocultivo forestal	4	21	245,42	48
Monocultivo forestal	4	20	233,32	48
Monocultivo forestal	4	19	221,08	48
Monocultivo forestal	4	18	208,71	48
Monocultivo forestal	4	17	196,24	48
Monocultivo forestal	4	16	183,68	48
Monocultivo forestal	4	15	171,05	48
Monocultivo forestal	4	14	158,37	48
Monocultivo forestal	4	13	145,67	48
Monocultivo forestal	4	12	132,98	48
Monocultivo forestal	3		125,873	52
Monocultivo forestal	3		122,954	52
Monocultivo forestal	4	11	120,35	48
Monocultivo forestal	4	10	107,81	48
Monocultivo forestal	3		104,03	52
Monocultivo forestal	3		80,226	52
Monocultivo forestal	3		70,676	52
Monocultivo forestal	3		36,834	52
Arreglo agroforestal CERRITOS 1997	3	20	174,214	99
Arreglo agroforestal TABLA 1999	3	20	145,071	99
Arreglo agroforestal CERRITOS 1997	3	20	142,341	99
Arreglo agroforestal CERRITOS 1995	3	20	141,397	99
Arreglo agroforestal TABLA 1999	3	20	140,644	99
Arreglo agroforestal CERRITOS 1997	3	20	120,881	99
Arreglo agroforestal CERRITOS 1995	3	20	118,315	99
Arreglo agroforestal TABLA 1999	3	20	98,879	99
Arreglo agroforestal CERRITOS 1997	3	20	97,289	99

230 Bases técnicas para el desarrollo forestal en el departamento del guaviare amazonia colombiana

Arreglo agroforestal CERRITOS 1997	3	20	87,394	99
Arreglo agroforestal TABLA 1999	3	20	75,556	99
Arreglo agroforestal CERRITOS 1997	3	20	75,108	99
Arreglo agroforestal TABLA 1999	3	20	74,589	99
Arreglo agroforestal TABLA 1999	3	20	66,923	99
Arreglo agroforestal CERRITOS 1995	3	20	57,48	99
Arreglo agroforestal CERRITOS 1997	3	20	44,929	99
Arreglo agroforestal CERRITOS 1997	3	20	43,423	99

Referencia. 31: Donoso (1981), 48: Perez (2005), 52: UN Medellín (sf), 99: Este estudio. País. 3: Colombia, 4: Costa Rica, 12: Chile.

Capítulo 4

Crecimiento, rendimiento y valoración económica de sistemas de enriquecimiento forestal de rastrojos periodo 2004 a 2009

1 Composición crecimiento y rendimiento de arreglos de enriquecimiento forestal periodo 2004 a 2009

1.1 Introducción

La pérdida de cobertura forestal continúa a ritmo preocupante en América Latina y el Caribe, contribuyendo a que la pobreza persista en los países de la región. La cifra de cuatro millones de hectáreas de bosques nativos deforestados anualmente en América Latina que revela el Programa de Evaluación Forestal Mundial (FRA 2010 por sus siglas en inglés) para el período 2005/2010, lo evidencia. Pero esta cifra no mide el paralelo y aún más grave proceso de degradación de los bosques que tiene entre sus principales causas el cambio del uso del suelo

Los bosques naturales en Colombia cubren un poco más de la mitad de su territorio y en ellos reside nuestra megabiodiversidad; desafortunadamente estos bosques están desapareciendo rápidamente. En los últimos años se ha demostrado que la tasa anual de deforestación es superior a 300.000 hectáreas y algunos

especialistas afirman que ha aumentado a más de 500.000 ha, lo cual implica que en el siguiente siglo, dentro de tres generaciones, ya no habría bosques en el país (Carrizosa, 2011).

En el Foro sobre bosques del año 2011, El Viceministro de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de esa época, alertó acerca de la posibilidad de que en alrededor de 100 años no existan bosques en el territorio colombiano e informó que las áreas más afectadas son Cauca, Nariño, el Piedemonte amazónico, la Serranía de San Lucas y el noroccidente de Caquetá. Los datos presentados indicaron que en el Chocó la cobertura arbórea desaparecerá en alrededor de 70 años y en 15 años desaparecen los últimos restos de bosque en la región Caribe. Entre los principales factores que contribuyen a este problema se destaca el reducido reconocimiento político de los bienes y servicios que prestan los bosques a la humanidad y que conlleva a la conversión hacia otros usos, la falta de planificación territorial, problemas de tenencia de la tierra, el crecimiento demográfico y una débil gobernanza (Raison, 2002).



Es incuestionable la contribución de los bosques a la mitigación de la pobreza de las zonas rurales. La Declaración de Buenos Aires del XIII Congreso Forestal Mundial realizado en octubre de 2009 fue enfática en afirmar que “los bosques juegan un papel importante en el alivio de la pobreza”. Sin embargo, esa función debiera ser mejor documentada, porque la mayor parte de la aportación de los bosques a las familias pobres no está recogida en las estadísticas nacionales por presentarse a niveles de subsistencia o por rentas basada en mercados locales (Raison, 2002).

En Colombia, la magnitud de los procesos de deforestación unidos a los de cambio climático puede implicar para la población que presenciemos modificaciones muy significativas en los ecosistemas que hoy contienen los bosques (más de la mitad del territorio del país. Estas modificaciones pueden afectar se-

riamente la calidad de vida de muchos compatriotas, reducir la biodiversidad del territorio colombiano y alterar las estructuras y las funciones de los ecosistemas y de los servicios que prestan. Estas posibilidades deben ser consideradas y estudiadas por la sociedad colombiana para tomar las decisiones políticas adecuadas.

Por lo expuesto, el significado actual del manejo forestal sostenible va mucho más allá de la problemática de la deforestación y reforestación. Tiene que ver con las sociedades y las personas y la necesidad de que ellas mismas deban y puedan mantener y aumentar los servicios, beneficios económicos y la salud de los bosques para su desarrollo y mejor calidad de vida (Raison, 2002).

Se estima que en el mundo existe una superficie de bosques cercana a los 3.870 millones de hectáreas, de las cuales el 95% corresponden a bosques naturales, integrados por bosques autóctonos, el restante 5% corresponde a plantaciones forestales. Actualmente la demanda maderera es suplida tanto por los bosques naturales como por las plantaciones, aunque se presenta una tendencia relativamente reciente a aumentar estas últimas y a depender de ellas en mayor medida como fuente de madera industrial (Espinal, *et al.*, 2006).

Se estima que en el mundo existe una superficie de bosques cercana a los 3.870 millones de hectáreas, de las cuales el 95% corresponden a bosques naturales

1.2 Contribución del sector forestal a la economía

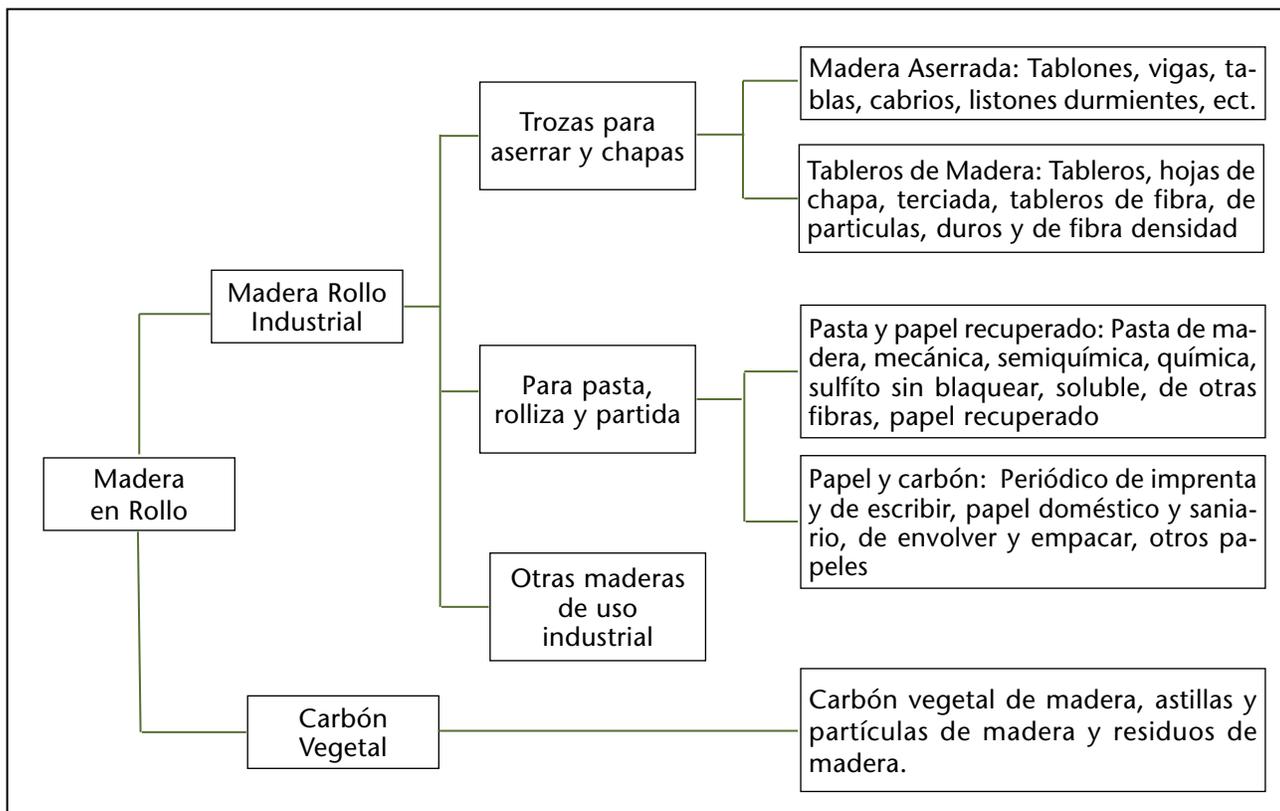
El sector forestal es una de las actividades económicas más importantes a nivel mundial. De acuerdo a la información forestal de la FAO en el 2000, el sector empleaba aproximadamente el 0,4 por ciento de la población activa, contribuía alrededor del 1,2 por ciento al PIB y representaba aproximadamente el 2,3 por ciento del comercio mundial de mercancías. Para el 2004 el valor del mercado de los productos forestales alcanzó US\$ 327.000 millones de dólares, participando con el 3,7 % del comercio mundial de productos básicos, esto la ubica al sector en el tercer lugar de importancia económica a nivel mundial, después del petróleo y el gas.

La explotación de madera se puede realizar a través del aprovechamiento de los bosques naturales o de plantaciones comerciales. En este sentido, se estima que la superficie de bosques en el mundo es de 3.952 millones de hectáreas, de las cuales el 95% corresponden a bosques naturales y el 5% restante son plantaciones forestales (FAO, 2009). Rusia, con 809 millones de hectáreas bosques

que representan el 21 % del total, es el país con más bosques en el mundo, seguido de Brasil con 544 millones de hectáreas, que representa el 14,1 % de la superficie en bosque a nivel mundial.

A partir de la madera se ha desarrollado un sector industrial con un amplio y variado portafolio de productos, que alimenta y se conecta con otro tipo de industrias manufactureras. Teniendo en cuenta las definiciones de productos con valor agregado realizado por la FAO, el siguiente diagrama (figura 50) muestra la estructura de los principales usos e industrias relacionados con el mercado de la madera. Inicialmente, de la producción de los bosques naturales o plantados se extrae la madera en rollo, la cual se destina principalmente a la industria manufacturera o al uso como combustible vegetal

Figura 50. Estructura de los principales usos e industrias relacionados con el mercado de la madera en rollo



Elaboración : Alvarez, 2007

La industria de pasta y papel realiza la contribución mayor al PIB, representando aproximadamente la mitad del valor agregado bruto total en el sector forestal. En ese orden, la industria de la madera es el segundo contribuyente con una participación del 30 por ciento del total y las actividades forestales representan el 20 por ciento restante del valor agregado bruto en el sector forestal. En el 2004 la producción de madera en rollo de uso industrial llegó a 1.600 millones de metros cúbicos. El 93% de la madera se destinó al consumo interno de los países productores y solo el 7%; es decir, unos 120 millones de metros cúbicos, se destinaron a la exportación. (FAO, 2009)

El comercio de los productos madereros primarios representa el 21 % del valor del comercio de productos forestales y los productos de papel primarios el 34%. Los productos secundarios, como muebles o libros, representaron el resto.

1.3 Antecedentes sobre la industria de madera en Colombia

En el 2005 la extracción de madera y las actividades de silvicultura representaron el 0,14 % del PIB nacional, de los cuales el 80% se derivó de la elaboración de productos con alto valor agregado del sector industrial tales como muebles, accesorios para la construcción, tableros, pulpa, papel y cartón. La participación que tuvo la silvicultura en el PIB agropecuario para el año 2005 fue del 1,2% (DANE, 2005). El sector forestal y su industria generaron 57.615 empleos que representaron al 1,7 % del empleo agropecuario y agroindustrial (Martínez, 2005)

De acuerdo a la encuesta nacional agropecuaria (DANE 2005), de las 114 millones de hectáreas del territorio nacional, el 48% corresponde a bosques naturales y plantados; es decir 54,7 millones de hectáreas. Sin embargo, se estimó que solo 7,7 millones de hectáreas de bosques naturales y plantados son susceptibles de aprovechamiento, debido principalmente las características de los suelos, la localización y accesibilidad al territorio. Las plantaciones forestales en el 2002 en Colombia ocuparon 231.912 hectáreas, que en términos porcentuales solo representaron el 3% del total de bosques colombianos. La mayor parte de los bosques naturales se encuentran en región Amazónica (70%), el 12,6% en la Región Andina, el 10,3% en la Orinoquía, el 6,5% en el Pacífico y el 0,6% en el Caribe (Martínez, 2005).

De acuerdo a la encuesta nacional agropecuaria (DANE 2005), de las 114 millones de hectáreas del territorio nacional, el 48% corresponde a bosques naturales y plantados

Presiones ambientalistas han hecho que los esfuerzos a nivel mundial estén encaminados a reducir la extracción de madera en los bosques naturales, mejorar las prácticas de extracción, reducir las actividades forestales ilegales y fortalecer la ordenación forestal comunitaria. Asimismo se prevé que en el futuro la mayor demanda de madera se cubrirá con árboles sembrados para tal fin (Espinal et al., 2005).

El mercado de productos forestales tiene una magnitud considerable, ocupa hoy en día el tercer lugar en el mundo, después del petróleo y el gas, con un valor anual de transacciones que se aproxima a los US\$ 80 billones. Este mercado se encuentra altamente concentrado en los países desarrollados, tanto en la producción como en el consumo, sin embargo, durante los últimos años la estructura de la oferta ha presentado ciertos cambios significativos, países tradicionalmente productores como Canadá y Estados Unidos han cedido frente a nuevos países como Nueva Zelanda, Brasil y Chile (Espinal et al., 2005).

El enriquecimiento es un método adecuado para bosques sobre-explotados, donde la regeneración natural es insuficiente y donde se puede incrementar el volumen de especies de alto valor comercial

1.4 Antecedentes del enriquecimiento forestal

El arreglo de enriquecimiento en fajas es el arreglo de plantación, más extendido en la Amazonia (Nalvarte, 2004). Este método es un arreglo de regeneración artificial de bosques, mediante el cual la regeneración natural es complementada con la plantación de especies forestales comercialmente valiosas (Flores, 2002), siendo éste, un arreglo poco intensivo de plantación (Whitmore, 1999). Se encuentran en zonas donde se ha practicado la extracción selectiva de madera, es decir, donde se han cosechado sólo aquellos pies de valor comercial, dejando en pie el resto de árboles, o bien en zonas por las que por algún motivo la regeneración natural no funcionó (Flores, 2002).

El enriquecimiento es un método adecuado para bosques sobre-explotados, donde la regeneración natural es insuficiente y donde se puede incrementar el volumen de especies de alto valor comercial (Ådjers, et al., 1995, Korpelainen, et al., 1995, Montagnini, et al., 1997). Sin embargo, los costos de establecimiento de la plantación y de control de malezas son muy elevados. En muchos casos, los resultados del enriquecimiento no son convincentes o sólo se le considera financieramente atractivo cuando se desarrolla a pequeña escala (Bertault et al., 1995, Montagnini et al., 1997, Appanah et al., 2000).

En el sureste asiático, el enriquecimiento se ha desarrollado a lo largo de vías de extracción de madera que sufrían procesos de erosión. Al disponer de un acceso directo para la maquinaria, se pueden plantar individuos hasta de 2,0 m de altura, en hoyos con una capacidad de 1,0 m³ y con posibilidades de fertilización. Esto permite un crecimiento muy rápido y la disminución de los costos del control de malezas (Appanah *et al.*, 2000; Raja *et al.*, 2000). Hasta 1996, la superficie total de fajas de enriquecimiento en Malasia era de 23000 ha (Majid, *et al.*, 2000).

El arreglo consiste en el establecimiento de árboles en líneas paralelas espaciadas a intervalos iguales (Flores, 2002). Para algunos autores el objetivo de estas plantaciones de enriquecimiento es incrementar la proporción de árboles valiosos en un bosque degradado (Evans, 1992), mientras que para otros autores la finalidad de tal intervención es la de convertir un bosque natural degradado en una plantación valiosa en la madurez, cuando los árboles plantados formen un dosel homogéneo (Lamprecht 1990; Withmore 1998).

1.5 Resultados de arreglos de enriquecimiento forestal, establecidos en núcleos veredales del departamento del Guaviare (periodo 2004 – 2009)

Para la elección de las especies en una plantación forestal tropical, es fundamental fijar primero el propósito u objetivo e identificar las características del lugar donde se va a realizar la plantación. Asimismo también se debe elegir entre especies de rápido crecimiento con un turno corto o las de lento crecimiento con un turno más largo. Aun así, también es posible compatibilizar las dos opciones en la misma plantación obteniendo las ventajas de ambos turnos (Piotto, 2007). En este caso las especies de rápido crecimiento ofrecen cobijo a las de lento crecimiento y cuando llega su turno, lo que sería un aclareo se convierte en una corta, dejando el espacio necesario para el desarrollo de las especies de turno más largo.

La elección de las especies depende de los objetivos del silvicultor, que tiene a su disposición un buen abanico de especies donde elegir (Giraldo *et al.*, 2013). Existen estudios que permiten aconsejar la especie a utilizar en función del terreno donde se va a ubicar la plantación, aun así cabe destacar la falta de estudios

Para este ejercicio se seleccionaron 50 fincas de 23 veredas agrupadas en 9 núcleos veredales

financieros para las diferentes especies (Nalvarte, 2004) que facilite la elección del silvicultor

1.5.1 Métodos y análisis de la información

Para este ejercicio se seleccionaron 50 fincas de 23 veredas agrupadas en 9 núcleos veredales, núcleos descritos previamente en el capítulo 1 y que en resumen su conformación obedece a factores bioclimáticos y socioeconómicos. En la tabla 77 se relacionaron los núcleos de trabajo y se estableció la nomenclatura para facilitar el análisis de los arreglos de cada núcleo.

Tabla 77. Núcleos veredales del departamento del Guaviare con arreglos de enriquecimiento forestal establecidos en 2004

Municipio	Núcleo veredal	Veredas	Nomenclatura del Núcleo veredal
San José del Guaviare	Guacamayas	Guacamayas	N1
	Caño Blanco	Santa Lucia	N2
Santa Rita			
El Retorno	Caño Bonito	Bajo Jordán	N3
		Caño Bonito	
		Floresta	
San José del Guaviare	Caracol	Caracol	N4
El Retorno	Cerritos	Cerritos	N5
		Mirolindo	
El Retorno	El Macano	La Marina	N6
		Palmeras	
		Palmeras 1	
		Palmeras 2	
		San Isidro	
		San Isidro Alto	
San José del Guaviare	La Leona	Agua bonita	N7
		La Fuguita	
		La Leona	
		La Pizarra	
San José del Guaviare	Nuevo Tolima	Nuevo Tolima	N8
		Triunfo 1	
San José del Guaviare	Puerto Arturo	El Retiro	N9

1.5.2 Estructura de la vegetación de los bosques enriquecidos

Los arreglos de enriquecimiento forestal establecidos en núcleos veredales del departamento del Guaviare en 2003, se establecieron en zonas de coberturas boscosas de fincas de productores, en los cuales se realizó la caracterización (estructura y composición), los resultados generales que se refieren a la estructura vertical del dosel arbóreo, presentaron una estructura pluri-estratificada y en todos los casos corresponde a una matriz forestal intervenida.

En cada una de las fincas de los productores, que establecieron los arreglos de enriquecimiento forestal, antes del establecimiento de los arreglos, en 2003, se realizaron inventarios florísticos mediante parcelas de 0,1 hectáreas, en estas parcelas se colectaron, describieron y posteriormente se clasificaron todos los individuos forestales mayores a 10 cm de diámetro. A todos los individuos mayores a 10 cm de diámetro, se les midió el diámetro, altura total y altura comercial, diámetros en eje X y eje Y de las copas, se identificó el estado fenológico y la presencia de deformaciones, lianas y bejucos. Esta información se realizó con base en el protocolo elaborado por el Instituto Sinchi en su programa de Biodiversidad y recursos del ecosistema. En la tabla 78 se registraron los principales valores de estructura y de composición analizados para cada uno de los núcleos veredales de trabajo.

Los arreglos de enriquecimiento forestal establecidos en núcleos veredales del departamento del Guaviare en 2003, se establecieron en zonas de coberturas boscosas de fincas de productores

Tabla 78. Caracteres estructurales de las coberturas boscosas de los núcleos veredales con arreglos de enriquecimiento forestal

	No Individuos	No de especies	Área basal(m ²)	Volúmenes (m ³)	Biomasa (ton)	No Palmas por 1000 m ² .	Clase I (Ind< 30 cm.)
Núcleo 1	59	31	2,00	17,20	5,14	11	58
Núcleo 2	64	31	2,22	18,18	4,83	11	63
Núcleo 3	61	34	2,72	23,54	6,58	11	60
Núcleo 4	68	44	2,42	22,39	7,55	8	67
Núcleo 5	63	35	2,99	26,91	9,46	13	61
Núcleo 6	60	32	2,58	23,75	8,29	9	59
Núcleo 7	52	30	2,30	17,25	3,12	6	51
Núcleo 8	64	37	2,94	28,06	9,61	6	63
Núcleo 9	62	28	2,52	18,91	3,73	10	61

**Según
Kabakoff
& Chazdon
(1996) uno de
los factores
más determi-
nantes en la
dinámica de
los bosques
intervenidos
es el acceso a
la luz**

Según Kabakoff & Chazdon (1996) uno de los factores más determinantes en la dinámica de los bosques intervenidos es el acceso a la luz, pues la cantidad que logra ingresar más allá del dosel es limitada por causa de la heterogeneidad del bosque; esto conlleva a complejos mecanismos de competencia durante las diferentes etapas de la sucesión (Fetcher, *et al.*, 1994, Chazdon, *et al.*, 1996). Debido a esta heterogeneidad o estratificación de ambientes, las plantas desarrollan diferentes estrategias para obtener un mejor acceso a los recursos (Lambers, *et al.*, 1998)

Esta heterogeneidad de ambientes, especialmente ambientes lumínicos dentro de un bosque afectan de manera directa otros procesos de suma importancia para las plantas como la estructura y la productividad (Englund. *et al.*, 2000). Por lo tanto, el conocer la estructura de un área permitirá determinar la forma en que las plantas tratan de aprovechar los recursos (Hogan & Machado 2002) derivando en grandes variaciones estructurales que pueden ser cuantificadas de manera directa o indirecta (Svenning, 1999). Los caracteres estructurales permiten evaluar de manera aproximada estas variaciones en la disponibilidad de recursos.

En términos generales estos relictos presentan bosques que van desde altos y densos hasta medios y medianamente densos, muy heterogéneos (mayor a 50 especies/ha), la abundancia promedio es 614 árbol/ha (con diámetro mayor a 10cm) y el área basal promedio de 25,1 m²/ha. Las especies características son *Pseudolmedia laevis*, *Astrocaryum chambira*, *Euterpe precatoria*, *Socratea exorrhiza*, *Iriartea deltoidea*, *Oenocarpus bataua*, *Perebea xanthochyma*, *Crepidosperrum rhoifolium*, *Cecropia sciadophylla* y *Protium aracouchini*.

Los caracteres estructurales de la vegetación de relictos de bosque asociada a los enriquecimientos forestales muestran variaciones importantes entre núcleos. El núcleo 8 sobresale por el valor más alto de biomasa y área basal encontrado al igual que el núcleo 5. En contraste los núcleos 7 y 9 presentaron los valores más bajos en estos dos caracteres. El número total de especies e individuos para cada núcleo en el bosque natural presentó datos muy variables para número de especies que no muestran una tendencia definida. Respecto al número total de individuos, los valores varían entre un valor máximo de 68 y un mínimo de 52.

Esta estructura y composición de estos relictos de bosque, con la alta variabilidad presentada, hace que este proceso de enriquecimiento forestal de rastrojos sea de mayor importancia ya que indica que los arreglos se ubican en aquellos terrenos que ya han sido intervenidos y confirma la vertiente restauradora que tiene este tipo de práctica forestal en la región. Por consiguiente se debería descartar a las plantaciones forestales como causantes de degradación o deforestación, ya que estas tienen, más bien, una vocación de devolver la cubierta forestal en aquellos territorios que la han perdido

Esta estructura y composición de estos relictos de bosque, con la alta variabilidad presentada, hace que este proceso de enriquecimiento forestal de rastrojos sea de mayor importancia

1.5.3 Composición de los arreglos de enriquecimiento por veredas

Para las diferentes veredas seleccionadas y de acuerdo con las acciones de concertación con los productores, se definieron los arreglos y las diferentes especies forestales que se establecieron en cada una de las fincas de productores de las 23 veredas de los nueve núcleos veredales. En general, se estableció un grupo básico de especies, de acuerdo con su importancia regional y los registros de adaptación, crecimiento y rendimiento obtenidos en investigaciones realizadas por el Instituto Sinchi. La tabla 79, registra las especies forestales y el número de individuos por especie que se establecieron en 2003 en cada una de las veredas del departamento del Guaviare en las zonas objetos de esta investigación.

Tabla 79. Especies forestales y número de individuos establecidos en arreglos de enriquecimiento forestal en Guaviare

VEREDAS	Especies																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
AGUA BONITA	417	80	36	10	38	34		103		43		363	3	31	12	131	47		5	151		
BAJO JORDAN	61	31		15	41							14									25	
CAÑO BONITO	154	77		47	22							97					1				20	
CARACOL	36	28		31				25				67									34	
CERRITOS	321	81	17	59			11	1				205	20			66	27				48	
EL RETIRO	95	158			24			8				160	2				2	1			49	
FLORESTA	401	155		131	143		1	46	9			252				10	73	2			3	
GUACAMAYAS	135	48		24	23			15				138				47	58					
LA FUGUITA	132	37	35	22	36	37		34		7		127	5	53	1	73	49				9	22
LA LEONA	168	112		32							31	193	3	12		2	44	1			112	

VEREDAS	Especies																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
LA MARINA	102	23		19	24	1				1	2	47			2	6	38			20	
LA PIZARRA	204	12		10								56				32	42			32	
MIROLINDO	75	16		32					10			36				39	1				
VEREDAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
NVO TOLIMA	39	26		22	1			25		11	10	72			1	37	8				
PALMERAS	222	73	36	22	37				7			84			2	87	21	4		167	
PALMERAS I	71	10										22				24	12			58	
PALMERAS II	272	15	81		45				1	80	21	83	1		2	6	40	17		64	
SAN ISIDRO	214	55	35	12	43				1			135				27	32			108	
SAN ISIDRO ALTO	130	10										31				11	8			53	
SANTA LUCIA	120	57		65			40	34				131	10	1		9	16				
SANTA RITA	159	43		38			14	46		15		123		8		2	21	9		32	
TRIUNFO I	81	7		21	1			23				40	2			2			1	5	
UNION ALTA	74	37		36	37			19				114			4	2	40			2	
Total	3683	1191	240	648	515	72	66	379	28	157	64	2590	46	105	24	613	580	34	6	992	22

1	ABARCO
2	ACHAPO
3	AMARILLO
4	BRASIL
5	CACHICAMO
6	CAOBA
7	CARAPA

8	CARUTO
9	CAYA
10	CEDRO AMARGO
11	CEDRO MACHO
12	CUYUBI
13	GUACAMAYO
14	INCHI

15	JUAN SOCO
16	MACANO
17	MILPO
18	NOCUITO
19	OCOBO
20	PALO ARCO
21	ZAPATO



1.5.4 Establecimiento de las fajas de enriquecimiento.

Los árboles fueron establecidos una vez se realizó la caracterización boscosa de sitio y la caracterización de los suelos donde se implementó el arreglo, esto constituye un gradiente ambiental que permite evaluar la respuesta de las especies a las diferentes condiciones del medio donde se desarrolle.

En cada tipo de arreglo se definió una especie principal con 72 individuos por finca y cinco o seis especies asociadas con 36 individuos cada una. Las especies seleccionadas para estos arreglos fueron: *Cariniana pyriformis* (abarco), *Cedrelinga cateniformis* (achapo), *Terminalia amazonia* (macano), *Erisma uncinatum* (milpo), *Tabebuia serratifolia* (paloarco), *Calophyllum brasiliense* (cachicamo), *Aspidosperma verruculosum* (brasil), *Minquartia guianensis* (cuyubí) y *Genipa americana* (caruto).

De este grupo de especies forestales y de acuerdo con el modelo establecido, se realizó una primera selección de las condiciones para la valoración de los modelos; en algunos arreglos de enriquecimiento, por características de adaptación de las especies, su número de individuos en las evaluaciones anuales disminuyó de manera radical, estas especies con un número muy bajo de individuos no fueron consideradas en el presente análisis.

En cada una de las fincas de los productores, en zonas con cobertura de rastrojos jóvenes (entre 3 y 4 años de edad) en un área de 2,0 ha por finca, se establecieron 252 individuos a una distancia de siembra de 9,0 m entre fajas y 8,0 m entre plantas. Para el establecimiento se abrieron y limpiaron picas o fajas de 2,0 a 3,0 m de ancho, y se realizó las labores de ahoyado y siembra de las plántulas.

De acuerdo con los resultados obtenidos del comportamiento de 22 especies forestales en la Estación El Trueno del Instituto Sinchi en El Retorno, Guaviare (Giraldo, et al., 2013), se seleccionaron tres especies para ser establecidas como especies principales en todos los arreglos, ellas fueron *Cariniana pyriformis* (abarco), *Cedrelinga cateniformis* (achapo) y *Minquartia guianensis* (cuyubí). Esta especie cuyubí, aunque en las evaluaciones registró incrementos medios en crecimiento en diámetro y altura muy bajos, es una de las especies de mayor aceptación por los productores y ha sido señalada como componente principal en todos los procesos de re-

En cada tipo de arreglo se definió una especie principal con 72 individuos por finca y cinco o seis especies asociadas con 36 individuos cada una

La información registrada durante el periodo de evaluación 2005-2010 consistió en sobrevivencia (%) y altura total (m) a partir de la cual se estimó mediante el uso de ecuaciones alométricas

poblamiento forestal desarrollados en la región norte amazónica. El conjunto de especies definidas en cada arreglo o arreglo tiene como destino final la comercialización y producción de madera de alta calidad para ebanistería, construcción dada su durabilidad y resistencia (Giraldo, 2004).

La información registrada durante el periodo de evaluación 2005-2010 consistió en sobrevivencia (%) y altura total (m) a partir de la cual se estimó mediante el uso de ecuaciones alométricas ya reportadas para cada especie (Giraldo, *et al.*, 2013) la Biomasa (Kg) y el Volumen (m^3) que se logra durante este periodo de evaluación.

El rango de ambientes climáticos y edáficos en los que se establecieron los arreglos, puede provocar respuestas diferenciales del comportamiento de las especies en los diferentes ambientes como resultado de la interacción planta por ambiente. La interacción indica que el comportamiento de las especies no fue consistente a través de los ambientes (Ferreira *et al.*, 2006). Campbell & Jones (2005) definen la interacción como la respuesta diferencial de las especies para una determinada característica en diferentes ambientes. Borém & Miranda (2009) señalan que las especies cultivadas en ambientes diferentes pueden tener comportamientos diferentes.

El concepto de ambiente ha sido discutido ampliamente por gran número de investigadores. Allard (1960) lo expresó como la suma de todas las condiciones externas que afectan el crecimiento y desarrollo de un organismo. Según Lin, *et al.*, (1986), el efecto ambiental sobre un genotipo depende del suelo y de las condiciones atmosféricas. Para estos investigadores el suelo permanece casi constante de año en año y puede ser, a pesar de todo, considerado como un efecto fijo. El tiempo atmosférico es más complejo, porque tiene una parte predecible representada por la zona climática general y una parte no predecible representada por la variación del clima, año en año.

Para evaluar estos efectos se realizó un análisis combinado para identificar la existencia o no de la interacción especie x ambiente. Esta fuente de variación permite determinar la estabilidad fenotípica de las especies a través de los 9 núcleos de producción definidos empleando el Modelo propuesto por Eberhart & Russell (1966). Los datos se analizaron siguiendo un arreglo de tratamientos en bloques completos al azar, donde se analizó el efecto del núcleo

y la edad sobre las variables de respuesta de Biomasa (Kg) y el Volumen (m³).

Para la asignación de los errores apropiados en la significancia estadística de las fuentes de variación, es pertinente anotar que los núcleos y las especies se consideraron como efectos fijos. Este método permitió estimar los parámetros de estabilidad para cada especie a partir del siguiente modelo de regresión lineal:

$$Y_{ij} = \mu_i + \beta_i I_j + \delta_{ij},$$

Donde Y_{ij} es la media de la especie I en el ambiente j ; μ_i corresponde a la media del i -ésimo especie en todos los ambientes; β_i o coeficiente de regresión lineal, mide la respuesta del i -ésimo especie con la variación del ambiente; I_j corresponde al índice ambiental que se obtiene a partir de la diferencia de la media del j -ésimo ambiente con la correspondiente media general; δ_{ij} es la desviación de la regresión lineal del i -ésimo especie en el j -ésimo ambiente.

Para cada especie se realizó un análisis de regresión, comparando las líneas de regresión de más de dos grupos utilizando la edad en la interacción núcleo x especie como la variable independiente y el rendimiento total en Volumen de madera o Biomasa como variable dependiente. El análisis arrojó 4 casos:

- a) Que las líneas se intercepten en un punto cualquiera, ya que tendrían diferente intercepto y pendiente.
- b) Que las líneas sean paralelas (homogeneidad de pendientes).
- c) Que las líneas tengan el mismo intercepto con el eje Y pero distintas pendientes (homogeneidad de interceptos).
- d) Que las tres líneas coincidan

Se llevó a cabo una prueba de F para comparar las pendiente con un $P < 0,01$ y probar la hipótesis Nula donde el modelo satisface que las líneas son paralelas, tienen el mismo intercepto o coinciden contra la hipótesis alterna que dicta que las líneas se interceptan. Estas hipótesis demuestran si hay homogeneidad entre los 9 núcleos donde se establecieron los arreglos de enriquecimiento forestal. En la tabla 80 se presentan los resultados de la prueba de F efectuada para comparación de líneas de regresión. Se encontraron diferencias significativas entre núcleos y la interacción núcleo x especie para las tres variables evaluadas (Tabla 81)

Tabla 80. Prueba de F para comparación de pendientes en curvas de regresión de especies forestales de nueve núcleos de producción, edad 10 años

Variable	Valor de F	Grados de Libertad	P
Volumen	5,07	114	0,0000
Biomasa	5,79	78	0,0000

Tabla 81. Análisis de varianza para cuatro variables seleccionadas en la evaluación de especies y núcleos en arreglos de enriquecimiento forestal

Variable	Fuente de variación			
	Bloque (B)	Edad (E)	Núcleo (N)	Interacción (N x spp)
	(gl=25)	(gl=3)	(gl=8)	(gl=91)
Altura	6,82**	132,27**	60,87**	51,80**
Biomasa	5,98**	102,59**	53,63**	40,59**
Volumen	6,07**	105,28**	54,38**	41,61**

Nota: Nueve 9 especies evaluadas en nueve 9 núcleos de producción fueron comparados. Los datos de la tabla son el valor de F; gl para el error = 5544; *P<0,05, ** P<0,01

Este comportamiento es un indicativo de la plasticidad en crecimiento que tiene el abarco, especie introducida al ecosistema amazonico

En el análisis por especies, para el abarco, se observó que las líneas tienen el mismo intercepto con el eje Y pero distintas pendientes, y no se interceptaron en punto alguno. Sobresalió el núcleo 8 con el mejor comportamiento y es el responsable de las diferencias estadísticamente significativas encontradas. Los otros núcleos tuvieron similar pendiente lo que demuestra una respuesta homogénea a los ambientes evaluados, siendo el ambiente menos favorable para la especie abarco el núcleo 4. Este comportamiento es un indicativo de la plasticidad en crecimiento que tiene el abarco, especie introducida al ecosistema amazonico, la cual evidenció su capacidad de adaptación y aclimatación a los ambientes diversos de paisaje. En la figura 51 se muestran las líneas de regresión para la biomasa de la especie abarco en los 9 núcleos de producción.

Figura 51. Comparación de líneas de regresión para biomasa y volumen de la especie abarco en un horizonte de evaluación de 10 años

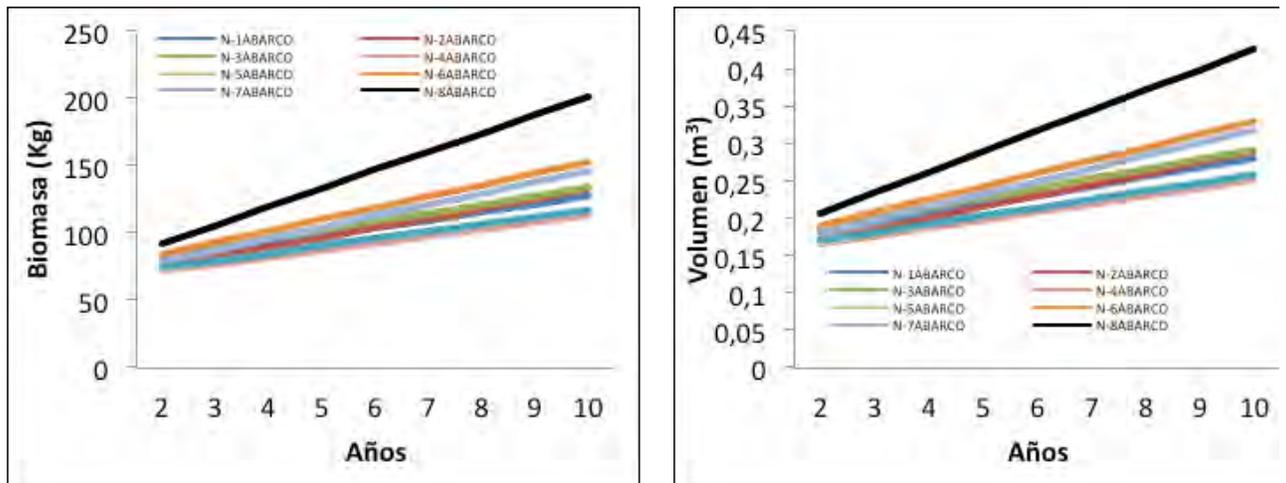
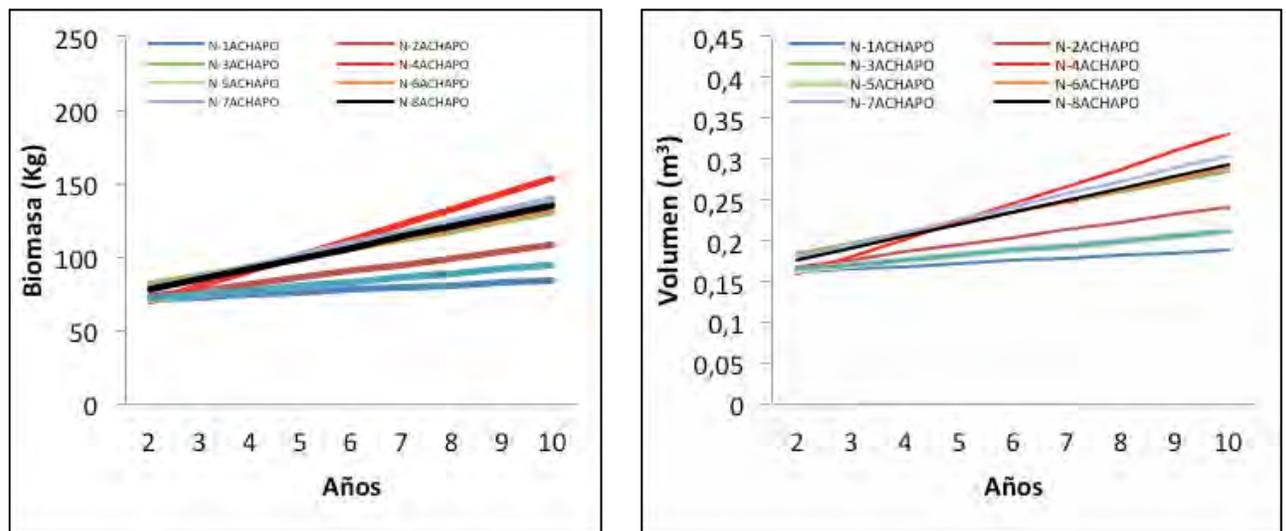


Figura 52. Comparación de líneas de regresión para biomasa y volumen de la especie achapo en un horizonte de evaluación de 10 años



En el caso del *Cedrelinga cateniformis* (achapo), figura 52, las líneas se interceptaron en cinco de los núcleos a partir del año 5 en la acumulación de biomasa y volumen de madera. Aunque las

El achapo no exhibió un amplio rango de plasticidad en crecimiento y fue afectado sensiblemente por el ambiente bajo el cual se desarrolló.

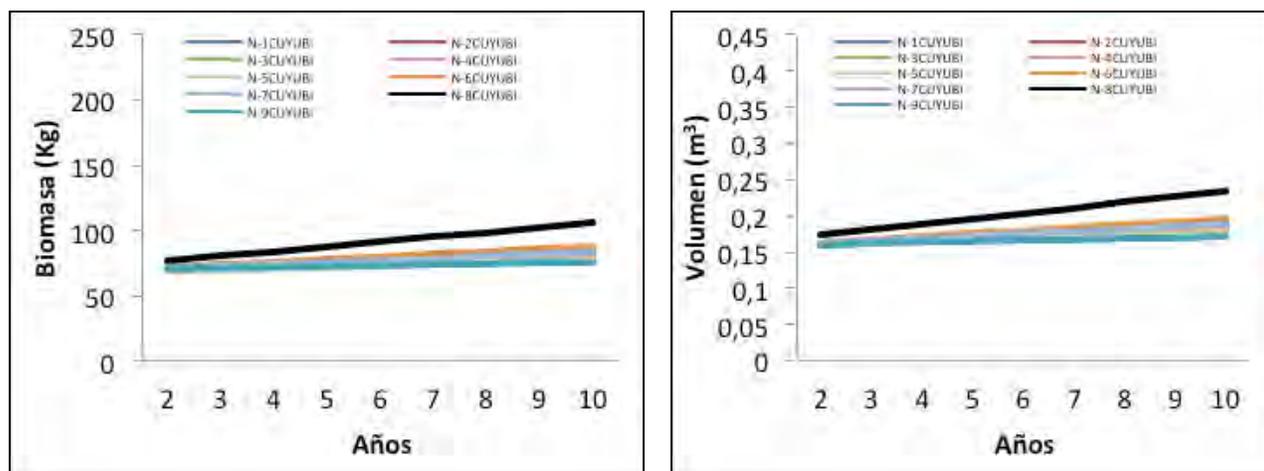
líneas de tienen el mismo intercepto la pendiente cambió con el tiempo lo cual reflejó la heterogeneidad en la respuesta de esta especie a los ambientes donde se desarrolló. Al final del periodo de evaluación sobresalió el desarrollo que obtuvo el achapo en el núcleo 4, mientras que el comportamiento más bajo se presentó en el núcleo 1. El achapo no exhibió un amplio rango de plasticidad en crecimiento y fue afectado sensiblemente por el ambiente bajo el cual se desarrolló.

La especie achapo, es una especie de turno intermedio con grandes exigencias de luz que ha presentado crecimientos altos en diámetro, en los ensayos realizados en la estación experimental Alexander Von Humboldt, en Perú donde sus resultados sobresalieron al resto con un diámetro de 24 cm a los 10,5 años (Nalvarte, 2004). En evaluaciones posteriores, en la edad cercana al turno de aprovechamiento forestal, 30 años, los crecimientos fueron de 46 cm y una altura de 30 m siendo su incremento medio anual de diámetro de 2,1 cm (Angulo, 2006). En fajas de 5m, a la edad de 26 años el desarrollo en altura fue de 30,0 m y el diámetro de 53,0 cm, mientras que en plantaciones puras a campo abierto a la edad de 21 años el crecimiento ha sido de 23,0 m en altura y 31,9 cm de diámetro.

Debido al éxito de su domesticación en Perú, se promovió mucho su plantación, por sus fustes rectos y rápidos crecimientos en grosor y altura (Flores, 2002). Los mejores resultados se han dado en plantaciones puras pero sus crecimientos en fajas, sobretodo de 5 m, también han dado muy buen resultado, no apareciendo plagas en ninguna de ellas. La madera es de gran calidad y durabilidad y debido a que se trabaja bien es un madera muy demanda, sobretodo en el mercado nacional, donde se usa en carpintería, ebanistería y construcción (Reynel, 2003).

Minquartia guianensis (cuyubí), (Ver figura 53) exhibió un comportamiento homogéneo en todos los ambientes evaluados, sobresaliendo el núcleo 8 con una mayor pendiente. No hay interceptación de líneas de regresión con esta especie y el comportamiento más bajo se encontró en el núcleo 9. Esta especie nativa de la Amazonia mostró cierta plasticidad en el crecimiento y buena capacidad de respuesta a los ambientes de la región bajo el cual se lleva a cabo su producción.

Figura 53. Comparación de líneas de regresión para biomasa y volumen de la especie cuyubí en un horizonte de evaluación de 10 años



En cuanto a la especie *Tabebuia serratifolia* (paloarco), se observó al igual que en casos anteriores un comportamiento homogéneo en los ambientes o núcleos desarrollados donde la especie sobresalió en el aumento de volumen y la acumulación de biomasa. En los ambientes donde el comportamiento fue más irregular se observó interceptación de curvas indicando respuestas más heterogéneas a estos ambientes. Este resultado indicó que el paloarco es una especie sensible a los diferentes ambientes de producción de la región y su capacidad de adaptación y aclimatación es más limitada. En la figura 54 se registró su comportamiento.

La especie paloarco posee una madera dura y pesada, siendo una de las maderas amazónicas más densas por lo que es muy apreciada. Además, ha sido muy utilizada en la cuenca del Aguaytia en Perú, porque esta es su zona óptima de desarrollo natural, por lo que se ha confiado que en sistemas artificiales tenga el mismo comportamiento que de manera natural, ya que estudios en otras zonas cifran su incremento de volumen de unos 6,5 m³ por ha/año (Pereira, 1982 cit. en Reinal, 2003). En este estudio se ha reportado un crecimiento normal del roble a los 4 años de edad de 6,0 m en altura y 11,0 cm en diámetro.

Figura 54. Comparación de líneas de regresión para biomasa y volumen de la especie paloarco en un horizonte de evaluación de 10 años

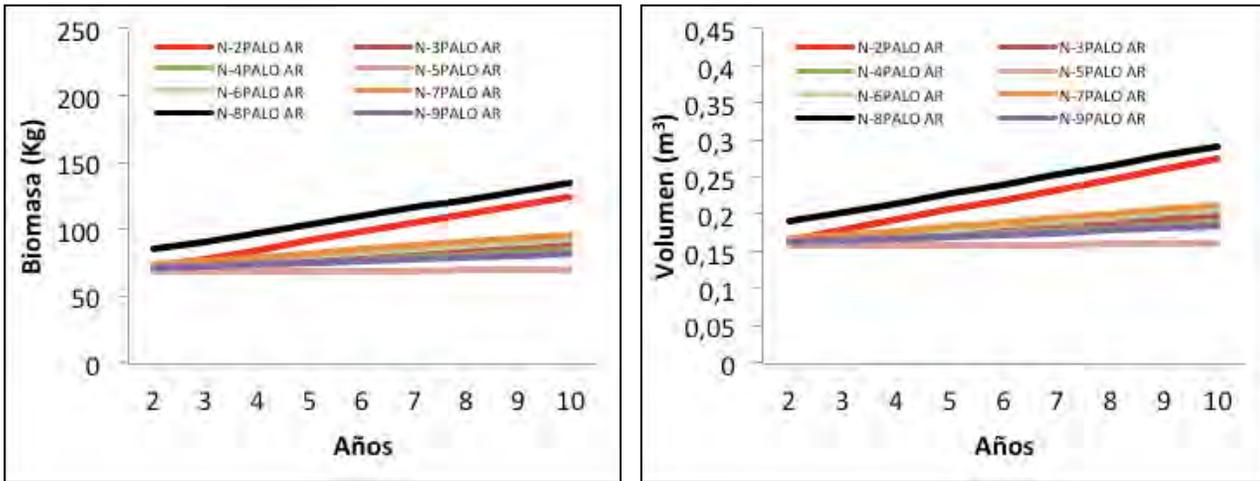
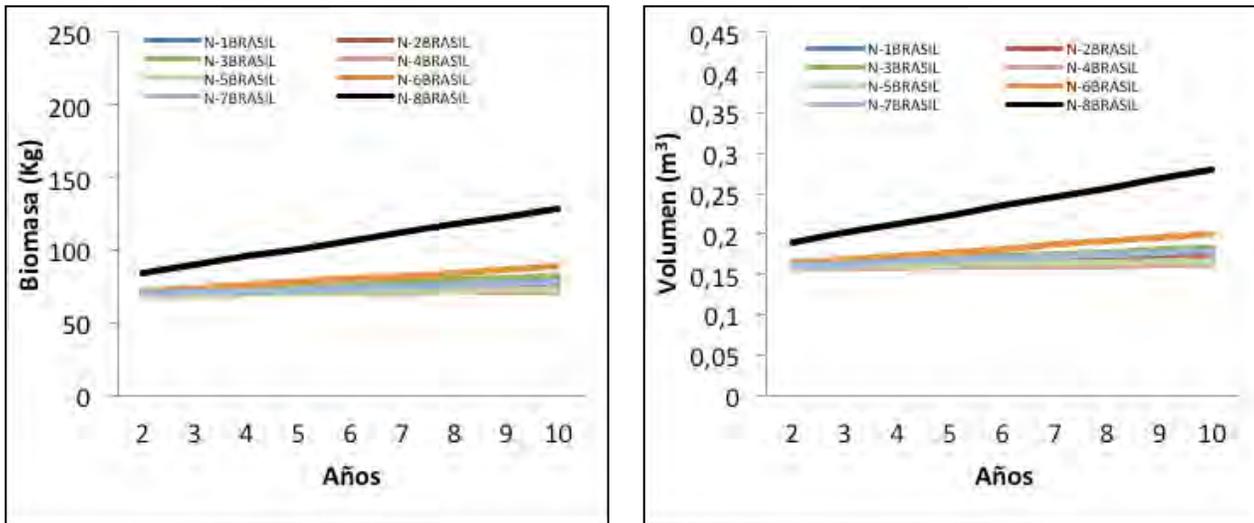


Figura 55. Comparación de líneas de regresión para biomasa y volumen de la especie brasil en un horizonte de evaluación de 10 años



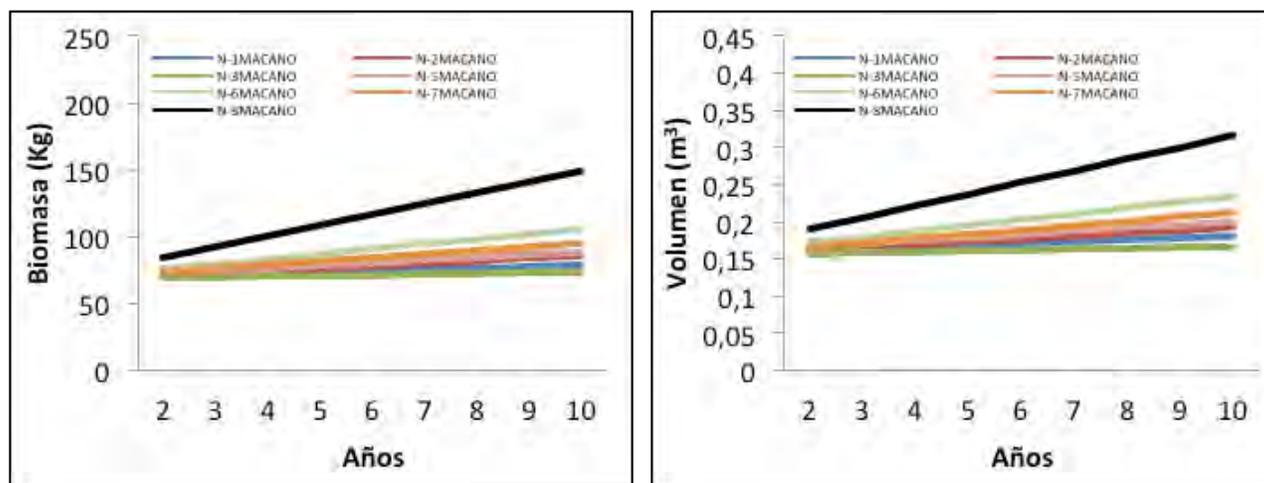
La especie *Aspidosperma aaf. Verruculosum* (brasil), presentó respuestas homogéneas al ambiente del núcleo 8 en la capacidad de producción de volumen de madera y acumulación de biomasa,

la figura 55 representa estas respuestas de esta especie forestal. La respuesta se consideró homogénea a los ambientes evaluados y solo la pendiente del núcleo 8 sobresalió por su mejor comportamiento. Este resultado indicó que la especie brasil se comporta de manera similar en todos los ambientes donde se cultiva, pero puede dar mejor desarrollo si se produce bajo un ambiente definido como el del núcleo 8.

La especie *Terminalia amazonia* (macano) expresó un comportamiento similar a las especies anteriores en lo que respecta al crecimiento en volumen y acumulación de biomasa. Nuevamente el núcleo 8 sobresalió de entre los demás con una mayor pendiente y no hubo interceptación de curvas lo cual indicó una respuesta homogénea al ambiente. En este caso el comportamiento más bajo se obtuvo en el núcleo 3. (Ver figura 56).

la especie brasil se comporta de manera similar en todos los ambientes donde se cultiva, pero puede dar mejor desarrollo si se produce bajo un ambiente definido

Figura 56. Comparación de líneas de regresión para biomasa y volumen de la especie macano en un horizonte de evaluación de 10 años



En la figura 57, para la especie forestal cachicamo *Calophyllum brasiliense*, se observó el mismo comportamiento que las otras especies evaluadas. Las líneas muestran el mismo intercepto en el eje Y y las pendientes aunque de diferente magnitud no se traslapan. En el núcleo 8 esta especie exhibió un comportamiento sobresaliente en relación a los demás núcleos.

Figura 57. Comparación de líneas de regresión para biomasa y volumen de la especie cachicamo en un horizonte de evaluación de 10 años

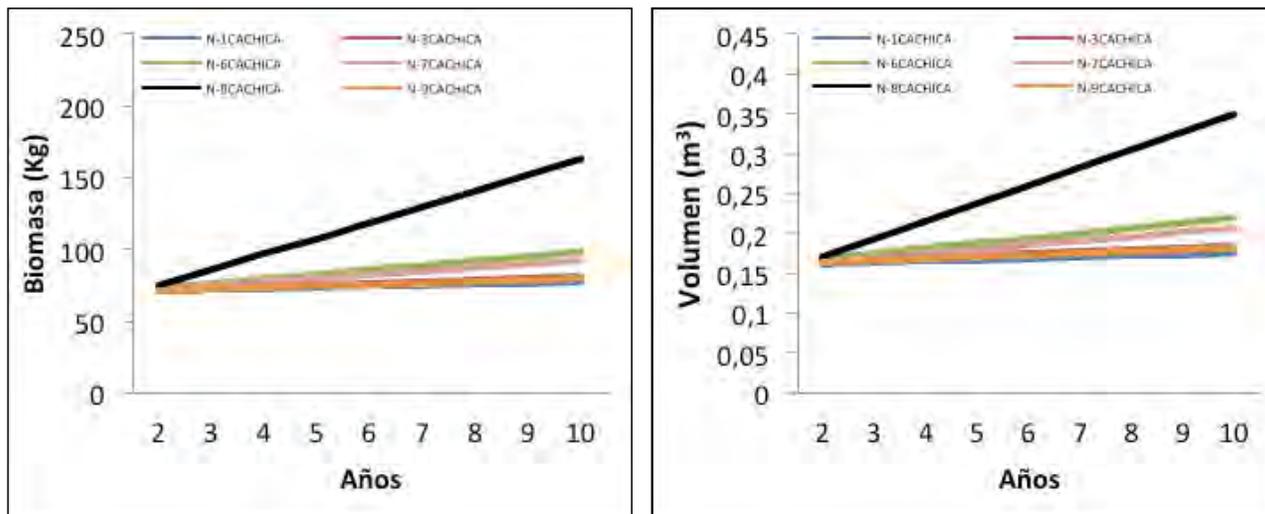
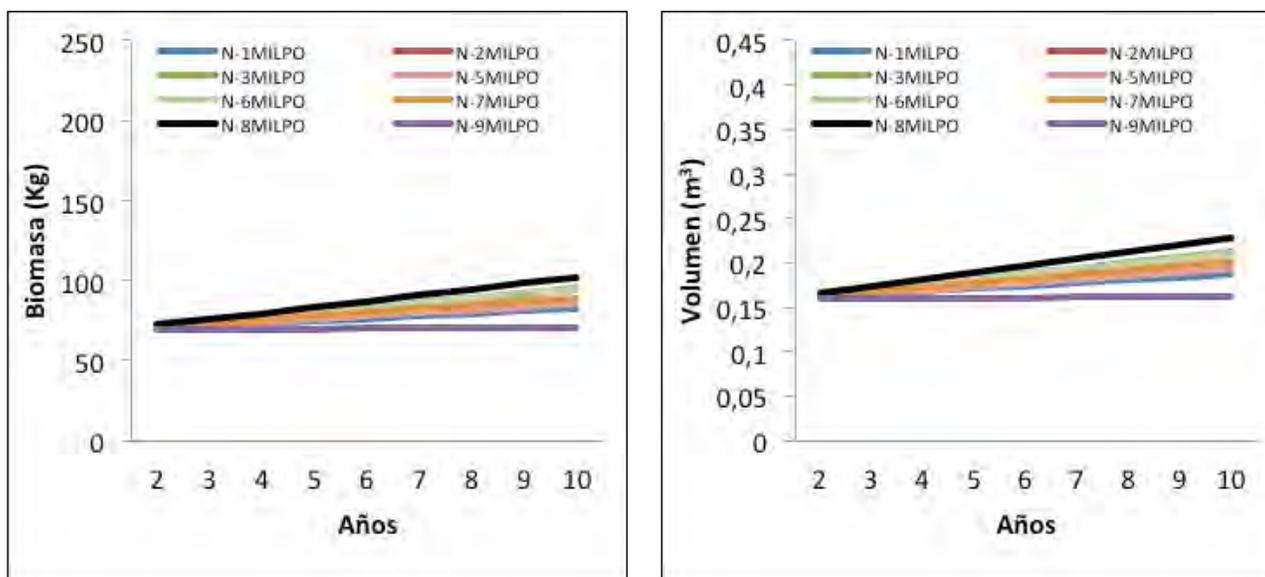


Figura 58. Comparación de líneas de regresión para biomasa y volumen de la especie milpo en un horizonte de evaluación de 10 años



2. Producción de arreglos de enriquecimiento forestal, en ocho núcleos veredales del departamento del Guaviare

2.1 Composición inicial y sobrevivencia arreglos de enriquecimiento forestal, núcleos veredales, Guaviare

Como bien se mencionó con anterioridad en cada tipo de arreglo se define una especie principal con 72 individuos por finca y cinco o seis especies asociadas con 36 individuos cada una. La tabla 82 refleja la composición de cada arreglo de enriquecimiento forestal. Las especies seleccionadas para estos arreglos fueron: *Cariniana pyriformis* (abarco), *Cedrelinga cateniformis* (achapo), *Terminalia amazonia* (macano), *Erismia uncinatum* (milpo), *Tabebuia serratifolia* (paloarco), *Calophyllum brasiliense* (cachicamo), *Aspidosperma* aff. *Verruculosum* (brasil), *Miconia guianensis* (cuyubí) y *Genipa americana* (caruto).

Tabla 82. Especies forestales y arreglos de enriquecimiento de rastrojos establecidos en Guaviare

Nomenclatura del arreglo	Especies que componen el arreglo
A1	abarco cuyubí achapo milpo paloarco macano brasil
A2	abarco cuyubí achapo milpo paloarco macano cachicamo
A3	abarco cuyubí achapo milpo paloarco macano caruto
A5	abarco cuyubí achapo milpo paloarco brasil caruto
A7	abarco cuyubí achapo paloarco macano cachicamo brasil
A8	abarco cuyubí achapo paloarco macano cachicamo caruto
A9	abarco cuyubí achapo paloarco brasil caruto cachicamo
A11	abarco cuyubí achapo paloarco brasil milpo macano cedro amargo

En general este tipo de sistemas tienen una matriz compuesta por 2 o 3 especies de alto valor comercial y 3 o 4 especies de interés particular para cada agricultor. El manejo de estas plantaciones es complejo debido al control del régimen de luz que requiere cada especie plantada, ya que los árboles adyacentes a la faja cierran el dosel a una cierta altura, lo cual es conocido como “efecto túnel” (Lozada et al., 2003).

Se han publicado varios resultados de este método silvicultural. Según Taylor (1962), en Costa de Marfil se obtuvieron tasas de crecimiento apropiadas con *Khaya ivorensis* (3 cm/año a los 5 años), *Lovoa klaineana* (1,9 cm/año a los 4 años) y *Mimas opseckelii* (1,3 cm/año a los 4 años). Conif (1986) informa que lograron un incremento diametral de 4,5, 3,4 y 2,8 cm/año para las especies *Jacaranda copaia*, *Cordia alliodora* y *Apeiba aspera*, respectivamente, a los 4 años de edad, en la Región de Tumaco, Colombia. También hubo resultados satisfactorios utilizando *C. alliodora* en Veracruz, México (Ramos & Del Amo, 1992).

En la región paranaense (Argentina), Montagnini, *et al.*, (1997) señalan un crecimiento diametral a los 7 años de 1,6 y 1,5 cm/año para *Enterolobium contrisiliquum* y *Bastardiopsis densiflora*, respectivamente. En el Amazonas brasileiro, Dünisch *et al.* (2002) reportaron un crecimiento de 1,4 cm/año para *Carapa guianensis*, con una sobrevivencia de 80%. Así mismo, Abdu, *et al.*, (2008) indicaron que en Malaysia obtuvieron crecimientos de 8 cm/año y 0,7 m³/ha/año para *Shorea pauciflora* y 7 cm/año y 1 m³/ha/año para *Shorea macroptera*. Álvarez y Lara (2008) también reportaron un desarrollo conveniente de *Nothofagus dombeyi* en Valdivia, Chile.

En Colombia en el departamento del Guaviare la sobrevivencia de las especies forestales de los arreglos de enriquecimiento establecidos registraron una tasa de 83% a los 3 años de edad. La tabla 83 muestra los resultados por especie en cada finca donde fueron establecidos los arreglos. Se observó que las especies *Cariniana pyriformis* (abarco), *Minquartia guianensis* (cuyubí) y *Tabebuia serratifolia* (paloarco) tiene los más altos porcentajes de sobrevivencia, mientras que el *Calophyllum brasiliense* (cachicamo), presentó el más bajo nivel de sobrevivencia.

Para el análisis se evaluaron los nueve arreglos definidos previamente en este capítulo y se toman en consideración las variables volumen y la biomasa total del arreglo de acuerdo con las especies que lo componen. Para el cálculo se utilizó el método de regresión no lineal donde se determinó el volumen y la biomasa en función del tiempo tomando en consideración la sumatoria de los volúmenes y biomasa individuales de las diferentes especies del arreglo. En todos los casos los coeficientes de regresión fueron superiores a 0,60.

Tabla 83. Porcentaje de individuos por especie que permanecen en cada finca a los cinco años de establecimiento de arreglos de enriquecimiento de rastrojos en el Guaviare

Finca No	abarco	achapo	brasil	cachicamo	caruto	cuyubi	macano	milpo	palo arco	cedro amargo
1	99,1%	100,0%		100,0%		100,0%		100,0%	94,1%	
2	79,3%	75,6%		30,0%		89,1%		100,0%	95,0%	
3	96,0%	45,0%		41,2%		73,5%		100,0%	89,5%	
4	83,8%	45,8%	45,0%	58,3%	45,0%	60,0%		83,3%	100,0%	
5	96,2%	100,0%	100,0%	100,0%	86,4%	95,0%	100,0%		100,0%	
6	91,7%	55,6%	55,6%	81,3%	87,1%	79,4%	88,9%	100,0%		
7	93,7%	88,9%				87,1%	72,7%	75,0%	90,4%	
8	70,0%	66,7%				80,0%	50,0%		43,2%	
9	57,0%	58,3%	76,0%	54,5%		51,1%		100,0%	63,6%	
10	95,0%	85,7%			80,0%	76,9%	70,6%	61,5%	80,0%	
11	98,2%		100,0%	86,8%		96,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
12	88,2%	69,2%			0,0%	80,5%	74,1%	71,4%		91,2%
13	75,0%	50,0%	40,0%	70,6%	100,0%	59,6%				
14	97,4%	100,0%	100,0%		100,0%	94,8%		90,9%		
15	81,8%		100,0%	100,0%		81,1%	46,2%	67,9%	100,0%	85,7%
16	77,9%	100,0%		81,8%		100,0%	100,0%	81,3%	91,3%	
17	87,0%	90,9%				96,4%		100,0%	93,5%	
18	92,9%	94,1%	86,4%		87,0%	88,1%		86,7%		
19	96,1%	82,6%				58,8%	77,8%		76,6%	
20	93,8%	85,0%	77,3%	20,0%		96,8%	86,1%	88,9%	96,1%	
21	83,6%	59,3%	80,0%	58,3%		78,6%			79,2%	
22	97,4%	66,7%	63,2%			93,3%		100,0%	84,6%	
23	74,2%	100,0%				81,4%	59,4%	57,1%	75,0%	
24	96,2%	100,0%	0,0%	83,3%		87,2%		84,6%	73,9%	
25	96,5%	100,0%			73,5%	81,0%	100,0%	100,0%	91,7%	
26	95,8%	50,0%	82,4%	47,8%	86,7%	95,2%		75,0%		
27	75,0%	50,0%	90,5%	59,5%		57,9%	100,0%	51,6%	100,0%	
28	94,5%	48,7%	81,8%	50,0%		83,0%			71,4%	
29	82,5%	100,0%	68,2%	50,0%		72,6%		51,6%	100,0%	
30	97,4%	84,6%	86,4%	100,0%	80,0%	98,6%	71,4%	100,0%		100,0%
31	93,8%	81,3%	65,6%			72,2%	72,7%	100,0%		
32	98,6%	100,0%				90,9%	95,8%	50,0%	66,0%	
33	100,0%	85,7%	89,5%	100,0%		93,6%	100,0%	92,1%	100,0%	100,0%
34	98,1%	74,4%	53,8%			71,7%	100,0%	100,0%	61,5%	

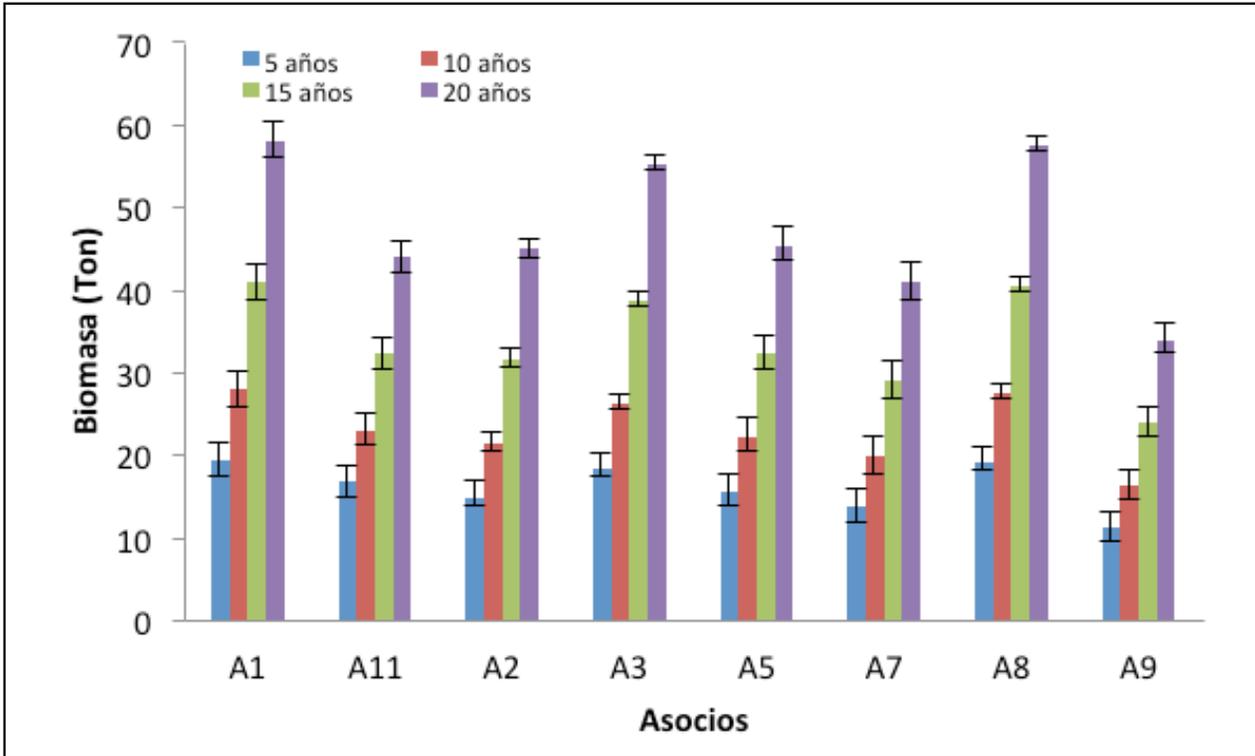
Finca No	abarco	achapo	brasil	cachicamo	caruto	cuyubi	macano	milpo	palo arco	cedro amargo
35	83,1%	65,2%	82,8%	45,5%	42,9%	78,1%		66,7%	100,0%	
36	82,8%	84,8%		46,2%	75,0%	92,3%			86,2%	
37	82,5%	81,5%			51,6%	81,8%	35,5%	100,0%	79,3%	
38	98,7%	100,0%		100,0%		95,5%			100,0%	97,5%
39	96,6%	84,8%	90,9%			95,7%	50,0%	92,1%	93,9%	
40	100,0%	92,0%	93,8%		100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	93,3%
41	85,2%	42,3%				76,5%	65,4%	80,0%	72,1%	
42	100,0%	70,6%	93,5%		74,2%	92,0%	55,6%	100,0%		
43	97,3%	73,9%	66,7%		100,0%	67,6%		100,0%	68,4%	
44	90,6%	90,0%	54,2%			63,6%	84,6%	100,0%	100,0%	
45	100,0%	92,9%				89,4%	95,7%	91,3%		
46	95,3%	50,0%		68,8%		74,0%		100,0%	78,6%	
47	97,9%	95,5%	100,0%	87,8%	55,6%	100,0%	100,0%	85,7%		
48	97,1%	85,7%	66,7%		71,4%	90,0%				
49	88,9%	56,5%	75,0%		60,0%	88,9%			66,7%	
50	90,7%	100,0%	40,0%			78,3%	43,8%	70,0%	75,0%	
51	94,6%	93,3%				84,2%	93,3%	100,0%	100,0%	
	91,0%	73,2%	75,7%	68,9%	74,3%	84,2%	73,9%	80,2%	82,5%	95,5%

2.2 Biomasa de arreglos de enriquecimiento forestal, establecidos en núcleos veredales del departamento del Guaviare.

Para el análisis de la biomasa, se evaluaron las 50 fincas de productores que establecieron arreglos de enriquecimiento forestal. En estas fincas de 9 núcleos veredales del departamento del Guaviare, se obtuvieron los valores promedios para el periodo de medición de edades de 2 a 5 años, se construyeron las funciones para expresar diámetros, volumen y biomasa en función de la edad y se proyectaron los valores de producción en biomasa hasta la edad de 20 años. En este análisis, se observa que durante los primeros años los arreglos no manifiestan diferencias significativas entre sí; solamente a partir del año 10 algunos arreglos toman ventaja en la acumulación de biomasa donde al final de los 20 años sobresalen los arreglos A1, A3 y A8. La figura 60 muestra este comportamiento de los diferentes arreglos. Hubo diferencias significativas entre arreglos donde se destacan las diferencias entre los arreglos A1 y A9, A3 y A9 y A8 y A9 (Valor de Scheffe: 2,079; gl: 140; Alfa: 0,05). (Ver tabla 84)

Para el análisis de la biomasa, se evaluaron las 50 fincas de productores que establecieron arreglos de enriquecimiento forestal

Figura 60. Biomasa proyectada para los diferentes arreglos de enriquecimiento forestal en Guaviare



Estos arreglos de enriquecimiento forestal establecidos en 9 núcleos veredales del departamento del Guaviare presentan la característica de regirse bajo el arreglo de fajas de enriquecimiento con diferentes especies y presenta dos factores que ponen en evidencia bajas tasas de incremento anual en su crecimiento y producción. En primer lugar y se considera una causa importante, es que en estos arreglos se realiza un mínimo manejo silvicultural por parte de los productores; y la segunda causa producto de la primera, es la poca cantidad de luz que ingresa al arreglo. De los análisis de suelos no se encuentra ningún parámetro extremadamente deficitario, así que se considera que su estado actual es el responsable de no obtener mejores crecimientos.

Tabla 84. Análisis de varianza para 2 variables seleccionadas en la evaluación de arreglos de enriquecimiento forestal

Variable	Edad (E)	Arreglo (A)	Interacción (A x E)
	(gl=3)	(gl=7)	(gl=21)
Biomasa	100,76**	8,34**	0,52 ^{ns}
Volumen	103,90**	8,53**	0,46 ^{ns}

Nota: Nueve 9 arreglos de enriquecimiento fueron comparados. Los datos de la tabla son el valor de F ; gl para el error = 140; * $P < 0,05$, ** $P < 0,01$, ^{ns} No Significativo

En este análisis estadístico queda reflejado que el sotobosque no beneficia a la plantación e incide sobre la supervivencia de la misma, lo que al mismo tiempo está relacionado con la intensidad de manejo. Existe una relación clara entre supervivencia, sotobosque e intensidad de manejo. En resumen, lo que importa en esta prueba es que se demuestra que el comportamiento del crecimiento, tanto en volumen como en biomasa, depende de la especie forestal utilizada y de la parcela donde están ubicadas, así se podrá cumplir el objetivo de diferenciar rendimientos en función de la especie y de la parcela ya que podremos calcular cuales han sido las mejores experiencias.

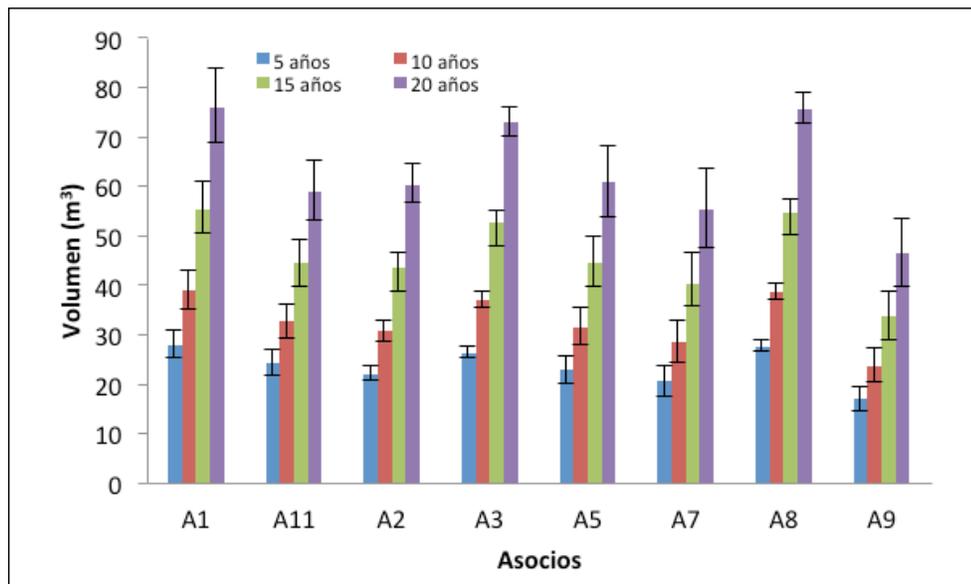
2.3 Volumen de arreglos de enriquecimiento forestal establecidos en núcleos veredales en el departamento del Guaviare.

Para la valoración del volumen, similar a lo realizado para la biomasa del conjunto de arreglos de enriquecimiento forestal establecidos en 9 núcleos veredales del departamento del Guaviare, considerando el área de plantación de 2,0 ha, se observa en la figura 61 que los arreglos A1, A3 y A8 sobresalen por el rendimiento, los arreglos A11, A2, A5 y A7 presentan un rendimiento muy parecido y el arreglo A9 exhibe el rendimiento más bajo. Este arreglo con el peor desempeño puede estar asociado a que la luz no puede penetrar hasta las plantas y la competencia por ramas laterales es muy grande. Esta variabilidad en el comportamiento de las plantaciones podría atribuirse a los siguientes factores:

Existe una relación clara entre supervivencia, sotobosque e intensidad de manejo

1. Las diferencias ecológicas entre los sitios evaluados donde se desarrollaron los arreglos,
2. Mantenimiento inadecuado, que expone a algunos individuos plantados al ataque de malezas herbáceas, arbustivas o trepadoras.
3. Falta de aclareos para evitar la competencia temprana entre los individuos plantados o con el bosque remanente. Este último genera el “efecto túnel” que suprime la entrada de luz a la faja y con ello puede limitar las condiciones de crecimiento de la plantación (Lozada et al., 2003)
4. En conjunto, los factores 2 y 3 pueden conducir a que algunos individuos resulten localmente favorecidos al encontrar mejores condiciones para su desarrollo, rompiendo con el principio de homogeneidad. Estos elementos corresponden directamente al esfuerzo técnico de las agricultores, las especies y en ocasiones a características del sitio.

Figura 61. Volumen proyectado para los diferentes arreglos evaluados en los sistemas de enriquecimiento forestal del Guaviare



Las barras corresponden al error estándar de medias

Estimaciones realizadas por (Lozada et al., 2003) da cuenta de una tasa de aprovechamiento estimada en $5,3 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$, lo que proyecta un volumen de $106 \text{ m}^3/\text{ha}$, con 100 árboles por hectárea en modelos de enriquecimiento forestal en la Guayana Venezolana. Los sistemas de enriquecimiento evaluados muestran en el mejor de los casos un rendimiento de $38 \text{ m}^3/\text{ha}$ con 90 árboles por ha sobrevivientes. Esto es una proyección de rendimiento del 50% respecto a los reportes. Esta disminución se explicaría en parte por las características fisionómicas del dosel amazónico donde la dinámica sucesional del bosque es rápida y la competencia entre individuos es alta. Se deduce que el efecto túnel que menciona Lozada, 2003 tiene marcada influencia en el desempeño de las especies y ello afecta los rendimientos.

El enriquecimiento es una herramienta para la recuperación de bosques muy degradados con poco potencial de regeneración natural de las especies deseables. Es un arreglo muy extendido, particularmente en los trópicos. Lamentablemente existe un sinnúmero de ejemplos con resultados negativos por falta de mantenimiento después de la plantación en el bosque. Por ello, sólo es recomendable este arreglo de manejo cuando el mantenimiento esté asegurado.

Grulke, 2007 menciona que en la práctica lamentablemente muchos enriquecimientos fracasan, pudiéndose encontrar tres razones principales:

- Falta de mantenimiento: Por la fuerte competencia con la vegetación en la línea de plantación y por el cierre de las líneas después de poco tiempo (“efecto túnel”) los individuos plantados frecuentemente no sobreviven.

- Mala selección de las especies utilizadas: Muchas veces se opta por especies fáciles de conseguir en el momento, sin considerar el micrositio y los objetivos de producción.

- Las plantaciones en líneas suelen llevar a una densidad demasiado baja de individuos plantados por hectárea (alrededor de 200 plantas por ha). Cuanto más extensivas han sido las plantaciones, tanto más limitadas serán las posibilidades de una posterior selección de árboles futuros.

Por ello Grulke (2007), recomienda con énfasis optar por el arreglo en fajas, con densidades entre 300 a 1.250 plantas por

El enriquecimiento es una herramienta para la recuperación de bosques muy degradados con poco potencial de regeneración natural de las especies deseables

hectárea. Estas plantaciones de menor tamaño dentro del bosque nativo deben ser cuidadas como plantaciones en campo abierto. La densidad relativamente alta influye positivamente en el crecimiento. Este tipo de plantaciones están extendidas por todo el trópico (Flores, 2002) y han reportado grandes éxitos así como sonoros fracasos. El resultado dependerá de la pericia del silvicultor en controlar los siguientes factores: Elección de especie, apertura del dosel superior y las tareas de mantenimiento.

Así pues, en las fajas, el factor modificable más importante es la anchura de la faja, donde se juega principalmente con la cantidad de luz que penetra hasta la planta, lo que incidirá en las especies competidoras y el volumen de trabajo.

2.4 Valoración económica de arreglos de enriquecimiento forestal

Lo que diferencia a la economía forestal de otras ramas de la economía, está directamente influenciado por características de la producción forestal, que deben ser bien comprendidas y consideradas, ya que la toma de cualquier decisión en materia de manejo forestal está supeditada a estas particularidades.

Los árboles componen una comunidad, por lo tanto, las condiciones ambientales en las que se desarrolla cada individuo están directamente influenciadas por los individuos adyacentes. Es por esto, que al momento de tomar decisiones de manejo es imprescindible considerar los factores ecológicos que rigen el crecimiento de los árboles y afectan ineludiblemente características de los productos finales como sanidad, forma, tamaño, tiempo de espera para la cosecha, etc. (Gregersen, *et al.*, 1979).

Debe considerarse que la toma de decisiones en proyectos forestales es particularmente delicada, debido a que el objeto de trabajo es un ecosistema natural, en el que las intervenciones de manejo representan cambios en las condiciones ambientales en las que se desarrollan los árboles, afectando directamente las características de los productos que se espera obtener (Gregersen, *et al.*, 1979).

Los economistas utilizan los criterios de rentabilidad como uno de sus principales indicadores para la evaluación de proyectos

Los árboles componen una comunidad, por lo tanto, las condiciones ambientales en las que se desarrolla cada individuo están directamente influenciadas por los individuos adyacentes

(“*capital budgeting*” en inglés). El Valor Actual Neto (VAN) (en inglés NPV) convierte una serie de flujos de ingresos periódicos en un sólo número que se puede utilizar para comparar inversiones mutuamente excluyentes, en un mismo horizonte, a una tasa determinada de descuento (costo de capital)

La Tasa Interna de Retorno (TIR; IRR in inglés) se define como la tasa de descuento que hace que el valor presente de los ingresos iguale el valor presente de los costos de un proyecto. Para inversiones individuales, la TIR es usualmente comparada con alguna tasa alternativa de retorno. Alternativas de proyectos que tengan TIR más altas que una tasa de retorno alternativa son consideradas aceptables disponiendo del capital adecuado. La relación *Beneficio/Costo* es utilizada para comparar los ingresos totales descontados con los costos totales descontados. Cuando esta relación es mayor a 1,0 indica que los ingresos descontados superan a los costos descontados, lo que hace que el proyecto sea aceptable.

Para la posterior evaluación económica se debe contar con los rendimientos volumétricos de cada esquema de manejo dentro de un período de tiempo razonable. En este ejercicio se considera una proyección de volumen de madera a un horizonte de corta de 20 y 21 años, basado en los resultados obtenidos para las especies evaluadas en la estación experimental El Trueno en el Retorno Guaviare, bajo modelos de producción similares (Giraldo *et al.*, 2013).

En esta evaluación económica de los arreglos de enriquecimiento forestal establecidos en 9 núcleos veredales del departamento del Guaviare, se establece que los arreglos A1, A3 y A8 presentan los mejores indicadores de rentabilidad en un horizonte de evaluación de 20 y 21 años. Está claro que los mejores resultados financieros se logran por un mejor volumen de madera a aprovechar producto de un comportamiento sobresaliente de las especies involucradas en estos arreglos y del manejo silvicultural efectuado. El arreglo A9 presenta los indicadores más bajos consistente con un volumen más bajo de madera a aprovechar. Estos resultados se presentan en la tabla 85.

Tabla 85. Indicadores económicos estimados para arreglos de enriquecimiento forestal

Arreglo	Vol. Madera (m ³ /Ha)	TIR	VPN	Rel B/C
A1	76,02	13%	\$ 4.965.000	2,66
A2	60,28	11%	\$ 2.365.000	2,11
A3	72,95	12%	\$ 4.462.900	2,55
A5	60,82	11%	\$ 2.454.800	2,13
A7	55,38	10%	\$ 1.554.200	1,94
A8	75,67	13%	\$ 4.913.160	2,65
A9	46,65	8%	\$109.000	1,63
A11	59,05	10%	\$ 2.161.700	2,07

TIR: Tasa Interna de Retorno; VPN: Valor presente neto; Rel B/C: Relación Beneficio/costo; Tasa de oportunidad: DTF+2,25%=8%, Horizonte de evaluación: 21 años

Al asumir que las condiciones de sitio donde se desenvuelven los arreglos son similares, la caracterización productiva de cada uno ellos se proyectan como resultado de las distintas intervenciones silviculturales realizadas hasta el momento de la medición, es decir 6 años después del establecimiento. Es claro que el manejo de la plantación de enriquecimiento es un factor clave a la hora de lograr mejores indicadores de rendimiento y productividad.

Estos resultados son clara evidencia que los arreglos que se presentan en la tabla 86 y tabla 87 son los que mejores indicadores de volumen de madera y rentabilidad muestran para las condiciones de la Amazonia norte colombiana.

Tabla 86. Arreglos y especies de enriquecimientos forestales más sobresalientes, departamento del Guaviare

Arreglo	Especies
a1	<i>Cariniana pyriformis</i> (abarco) + <i>Minquartia guianensis</i> (cuyubí) + <i>Cedrelinga cateniformis</i> (achapo) + <i>Erismia uncinatum</i> (milpo) + <i>Tabebuia serratifolia</i> (palo arco) + <i>Terminalia amazonia</i> (macano) + <i>Aspidosperma aff. Verruculosum</i> (brasil)
A3	<i>Cariniana pyriformis</i> (abarco) + <i>Minquartia guianensis</i> (cuyubí) + <i>Cedrelinga cateniformis</i> (achapo) + <i>Erismia uncinatum</i> (milpo) + <i>Tabebuia serratifolia</i> (palo arco) + <i>Terminalia Amazonia</i> (macano) + <i>Genipa americana</i> (caruto).
A8	<i>Cariniana pyriformis</i> (abarco) + <i>Minquartia guianensis</i> (cuyubí) + <i>Cedrelinga cateniformis</i> (achapo) + <i>Erismia uncinatum</i> (milpo) + <i>Tabebuia serratifolia</i> (palo arco) + <i>Terminalia Amazonia</i> (macano) + <i>Genipa americana</i> (caruto) + <i>Calophyllum brasiliense</i> (cachicamo).

Tabla 87. Esquema de arreglo para el establecimiento de los arreglos más sobresalientes del departamento del Guaviare

Especies	ARREGLO		
	Número de árboles por hectárea		
	A1	A3	A8
<i>Cariniana pyriformis</i> (abarco)	72	72	72
<i>Minuartia guianensis</i> (cuyubí)	36	36	36
<i>Cedrelinga cateniformis</i> (achapo)	36	36	36
<i>Erisma uncinatum</i> (milpo)	36	36	36
<i>Tabebuia serratifolia</i> (palo arco)	36	36	36
<i>Terminalia amazonia</i> (macano)	36	36	36
<i>Aspidosperma aff. Verruculosum</i> (brasil)	36		
<i>Genipa americana</i> (caruto).		36	36
<i>Calophyllum brasiliense</i> (cachicamo).			36
Total			

Capítulo 5

Estructura diversidad y composición florística de los bosques relictuales objeto de enriquecimiento forestal del área de sustracción de la Reserva Forestal de la amazonia, en el departamento del Guaviare

1 Introducción

La gran masa boscosa y las plantas útiles como fuente de alimento, medicina o materias primas merecen ser integradas en los sistemas productivos actuales y futuros. Estos recursos, a través de la integración del conocimiento tradicional y el conocimiento científico pueden generar formas innovadoras y sostenibles para su aprovechamiento, en beneficio de los habitantes de la región.

Para la gran masa boscosa de la Amazonia, en la actualidad, la fragmentación, la deforestación y la praderización, del territorio representan los mayores factores de riesgos para su conservación. Estos factores conllevan a la pérdida de biodiversidad, explotación inadecuada y manejo insostenible de los recursos naturales, alteración de la estructura, composición y funcionalidad del suelo, la disminución de los cauces de los ríos y sus principales drenajes. (Pungetti, 2003).

Para la región del Guaviare, se han presentado grandes cambios, el 11,8% del territorio que en un pasado estaba cubierto de bosques y vegetación silvestre hoy ha sido remplazado por pastos, rastrojos, arboladas dispersas, algunos cultivos y asentamientos

Para la gran masa boscosa de la Amazonia, en la actualidad, la fragmentación, la deforestación y la praderización, del territorio representan los mayores factores de riesgos para su conservación

humanos; esta transformación se observa principalmente en el área de sustracción y circundando las planicies de inundación de los ríos Guaviare e Inírida y la áreas circundantes del casco urbano de Miraflores.

Para el año 2007 la superficie del departamento del Guaviare estaba cubierta por 4.627.824 ha de bosque alto denso lo que representa el (83%) siendo la cobertura predominante; El bosque bajo, los Palmares, Herbazales y Arbustales; ocupaban 212.978 ha (3,8%) y las cubiertas antrópicas cubrían 660.113 ha (11,88%); del cual, 433.828 ha están dedicadas a pastos y 1.980 ha al uso agropecuario, siendo la siembra de yuca y maíz las de mayor importancia; los asentamientos humanos y áreas urbanas cubrían 760 ha y un mosaico de parches de bosque, rastrojos altos en una matriz de pastos, cuya área alcanza a cubrir 128.460 ha. Según la información disponible, entre el año 2002 y el año 2007 en el departamento del Guaviare se han perdido 131.525,58 ha lo cual da como resultado una tasa media anual de 26.305,12 ha.

En general el área más deteriorada es la zona de sustracción con 493.773,23 ha y donde se encuentran los principales centros urbanos, se destaca el remplazo del bosque de tierra firma por pastizales, con una ganadería extensiva. Las zonas menos deterioradas son la que se localizan en lugares inaccesibles y/o tiene baja oferta ambiental.

En el departamento del Guaviare y principalmente en el área de estudio ha sido uno de los escenarios más conflictivos en el país mostrando una dinámica socio-económica cambiante en las ultimas cincuenta décadas. Los diferentes procesos de colonización del departamento, la violencia política de la década de los 40, la reforma agraria que se realiza en los 70, el fortalecimiento de la guerrilla en los 80s y el incremento de los cultivos ilícitos en los 90s y las fuertes fumigaciones en 2000; han hecho que la población presente, una dinámica tan cambiante que han conllevado a un inadecuado uso y manejo del territorio manifestado en la intensa deforestación y el uso inadecuado del recurso suelo.

Este marco social es la referencia de las principales causas del estado de amenazas y conflictos tan fuerte que se ha desarrollado en el área de estudio; en la actualidad se observa, un reemplazo

En general el área más deteriorada es la zona de sustracción con 493.773,23 ha y donde se encuentran los principales centros urbanos

rápido de los bosques por una nueva matriz dominada y definida por el uso humano. La matriz dominante de los paisajes intervenidos son pastos dentro de los cuales se encuentran embebidos fragmentos de bosque y una repentina transición del bosque a zonas de cultivos u otros hábitats modificados.

Las estrategias de conservación de la naturaleza pueden constituir alternativas, si se enfocan tanto al paisaje como a la sociedad, y su éxito estará determinado por la integración de las necesidades de desarrollo antrópico en los objetivos ambientales. Esta integración puede ser sin embargo, alcanzada sólo mediante la cooperación e interrelación real entre los actores implicados, incluyendo entre ellos la naturaleza (Pungetti, 2003).

2 Antecedentes sobre estructura diversidad y composición florística

La caracterización local de la vegetación representa el primer paso hacia el entendimiento de la estructura y dinámica de un bosque, lo que a su vez es fundamental para comprender los diferentes aspectos ecológicos, incluyendo el manejo exitoso de los bosques tropicales (Bawa y McDade 1994). La información básica sobre los ecosistemas constituye una herramienta importante para la implementación de medidas adecuadas para su conservación efectiva y manejo en un largo plazo, especialmente en áreas reducidas o fragmentadas. No obstante, la continua reducción y fragmentación de los bosques por deforestación constituyen amenazas contra la integridad de los ecosistemas, de los cuales en su mayoría no se cuenta con información básica para su adecuado uso, y un manejo a futuro que garantice los servicios ambientales que en la actualidad prestan y que mejoren las condiciones de vida de los habitantes que viven en contacto directo con este tipo de ecosistema.

Este capítulo describe los resultados de un inventario florístico realizado en dos diferentes periodos en los años 2003 y 2009 en el área de colonización del departamento del Guaviare; a partir del estudio de 226 parcelas de 0,1ha; en las cuales se registraron árboles mayores de 10 cm de diámetro y se determinaron los si-

Este capítulo describe los resultados de un inventario florístico realizado en dos diferentes periodos en los años 2003 y 2009 en el área de colonización del departamento del Guaviare

Se registró densidad de 598 árboles/ha de los individuos con diámetros mayores de 10 cm, con un máximo de 1050 árboles/ha y un mínimo de 290 árboles/ha

guientes resultados: 13.534 individuos, que corresponden a 2.575 palmas y 10.959 árboles, pertenecientes a 851 especies, las cuales se agruparon en 288 géneros y 72 familias de plantas vasculares.

Las familias mejor representadas en número de especies fueron Mimosaceae (70), Moraceae (65), Melastomataceae (50), Lauraceae (46) Fabaceae (43), Euphorbiaceae (42), Rubiaceae (41), Burseraceae (37), Sapotaceae (36) y Myrtaceae (32).

Se registró densidad de 598 árboles/ha de los individuos con diámetros mayores de 10 cm, con un máximo de 1050 árboles/ha y un mínimo de 290 árboles/ha. Las diez especies con mayor valor del Índice de Importancia y por lo tanto con mayor peso ecológico en la vegetación de porte arbóreo, fueron: *Pseudolmedia laevis* (leche perra) con 3,42% *Astrocaryum chambira* (palma cumare) con 3,35%; *Socratea exorrhiza* (palma zancona) con 2,76%; *Euterpe precatoria* (palma asaí) con 2,43%; *Iriartea deltoidea* (palma barrigona) con 2,02%; *Terminalia amazonia* (macano) con 1,94% *Oenocarpus bataua* (palma mil pesos) con 1,42 *Cecropia sciadophylla* (yarumo) con 1,36%; *Perebea xanthochyma* (lechero) con 1,28% *Micropholis guyanensis* (caimo) con 1,09%.

Las 10 especies que presentaron el mayor número de individuos sumaron 3.741 árboles, lo que representó el 27,6% del total de los individuos muestreados. Además, las tres especies más abundantes: *Pseudolmedia laevis* y *Astrocaryum chambira* y *Euterpe precatoria* sumaron 1.807 individuos, es decir, el 13% del total de los individuos.

En general los bosques altos densos heterogéneos del departamento del Guaviare están conformados por una amplia cantidad de individuos que pertenecen a las primeras clases diamétricas y gran abundancia de palmas con árboles gruesos aislados; esta situación expresó una baja vocación forestal maderable.

En términos de estructura, diversidad y composición florística, se reflejó una alta pluralidad y diferencias de paisajes, expresando potencialidades diferentes en un espacio muy cercano de vecindad, lo cual debe tenerse en cuenta para la generación de políticas adecuadas de manejo y conservación.

El objetivo principal de este capítulo fue la caracterización de la vegetación arborescente de los bosques relictuales del área de colonización del departamento del Guaviare. Se analizó y describió la composición florística y estructura de este ecosistema con

el propósito de generar información descriptiva básica que sea de utilidad para el diseño y el seguimiento de medidas adecuadas para su protección y conservación futura.

3 Metodología

Para definir la estructura diamétrica, la diversidad y la composición florística de los bosques del área de sustracción de la reserva forestal del departamento del Guaviare se tomó como información primaria los levantamientos de 250 parcelas de 0,1ha realizados para la determinación de la estructura y la caracterización florística de los bosques del área de estudio en el desarrollo de los proyectos: “*Conservación, manejo y aprovechamiento sostenible del bosque en el área de colonización del Guaviare*”. Giraldo (2004) y el proyecto “*Ordenación forestal y gestión a través del manejo y aprovechamiento sostenible de los recursos maderables y no maderables del bosque, bajo modelos de fortalecimiento organizacional como estrategia de desarrollo en los municipios de San José del Guaviare y El Retorno, Departamento del Guaviare*”, Giraldo, et al., (2008).

Depurada esta información se trabajó con un total de 250 parcelas de 0,1ha, en las que se determinaron 13.534 individuos arbóreos mayores de 10 cm de la variable diámetro. De este total correspondieron 2.575 palmas y 10.959 árboles, pertenecientes a 851 especies, las cuales se agruparon en 288 géneros y 72 familias de plantas vasculares.

La metodología para el levantamiento de las parcelas de 0,1 ha, está basada en los protocolos de inventarios desarrollados por el Grupo de Biodiversidad y Ecosistemas del Instituto Sinchi. En general, La unidad de muestreo establecida corresponde a una parcela de forma rectangular con un área de 0,1 ha (100m x 10m), la cual se subdivide en diez sub-parcelas cuadradas contiguas de 10m x 10m en cada una de estas subparcelas se efectuaron los estudios de composición y estructura vegetal, registrando aquellos individuos mayores de 10 cm de diámetro; para cada individuo se registró el hábito de crecimiento (arbusto, árbol, liana), altura comercial, altura total, diámetro, uso, nombres locales y su respectiva colección vegetal.

La metodología para el levantamiento de las parcelas de 0,1 ha, está basada en los protocolos de inventarios desarrollados por el Grupo de Biodiversidad y Ecosistemas del Instituto Sinchi

3.1 Variables evaluadas para determinar la estructura diamétrica, diversidad y composición florística

Variables Directas

Abundancia o Densidad: Número de individuos sobre el área total muestreada.

Altura: Distancia vertical entre el suelo y la parte más alta de la planta.

Altura del Fuste: La altura del fuste se refiere a la altura que tiene el individuo desde la base hasta la primera rama.

Diámetro: Medido a 1.30 m altura del suelo aproximadamente, permite calcular otras variables como áreas basales o volúmenes.

Variables indirectas

Área basal: Es la superficie de una sección transversal del tallo o tronco del individuo a determinada altura del suelo. Se expresa en unidades de área por unidad de superficie de terreno.

$$\text{Área basal} = \text{PI}/4 \times (\text{Diámetro})^2$$

Volumen comercial: Se define como volumen de madera hasta la primera ramificación del árbol, se expresa en metros cúbicos

$$\text{Volumen comercial} = \text{AB} \times \text{Hf} \times \text{ff}$$

Donde:

AB: Área basal

Hf: Altura del fuste o primera ramificación del árbol

ff: factor forma (factor de corrección aplicado, debido a que los troncos de los árboles no son cilindros perfectos).

Volumen total: Se define como volumen de madera hasta la superficie superior de la copa del árbol.

$$\text{Volumen total} = \text{AB} \times \text{Ht} \times \text{ff}$$

Biomasa aérea: Se define como el peso seco hasta la superficie superior de la copa del árbol.

Frecuencia. Es la probabilidad de encontrar una especie en un área determinada.

Frecuencia relativa. Es la relación expresada en porcentaje entre la frecuencia absoluta y la sumatoria de las frecuencias absolutas de todas las especies que aparecen en las parcelas.

Dominancia. Se define como la sumatoria de las áreas basales de la misma especie, presentes dentro del área muestreada. Es un indicativo de la productividad del bosque.

Dominancia relativa. Está dada por la relación entre el área basal de una especie y el área basal de todas las especies encontradas dentro de la muestra.

Índice de Valor de Importancia Simplificado (IVIS). Está constituido por la suma de los parámetros frecuencia, abundancia y dominancia relativas. $IVIS = \text{Frecuencia relativa (\%)} + \text{Abundancia relativa (\%)} + \text{Dominancia relativa (\%)}$

Índices de similitud. Es una medida que indica el grado de afinidad entre diferentes unidades muestrales.

Índice de similitud de Jaccard:

$$Isj = \frac{C}{(A+B)-C} \times 100$$

Donde:

A= Número de especies en el levantamiento A

B= Número de especies en el levantamiento B

C= Número de especies comunes en los dos levantamientos.

3.2 Colecciones botánicas

Para determinar la especie de cada individuo inventariado en las parcelas, se tomaron muestras botánicas respectivas; excepto en los casos en donde una misma especie se presentó en una frecuencia alta y cuya determinación en campo fue sencilla. Se colectó la mayor información posible acerca de los nombres locales o un morfotipo que se establezca en campo o la familia a la que podría pertenecer.

La determinación taxonómica de los ejemplares botánicos se realizó en el Herbario Amazónico Colombiano (COAH) del Instituto Sinchi, con base en el sistema filogenético propuesto por Arthur Cronquist en 1981; con el empleo de claves descriptivas y monografías de diferentes grupos taxonómicos y por comparación con los ejemplares depositados en la colección general del herbario.

3.3 Métodos Estadísticos

Para los análisis estadísticos se tuvo en cuenta una matriz de nueve (9) variables que se determinaron para cada una de las 226 parcelas, las variables fueron: Número de Individuos, Número de especies, Área basal(m²/ha), Volumen (m³), Biomasa (Kg), Número de palmas, Número de individuos con diámetro menor a 40 cm (clase I), Número de individuos con diámetro entre 40 y 60 cm (clase II), Número de individuos con diámetro mayor a 60 cm (clase III). Basados en esta matriz se construyó un dendrograma de distancia euclidiana y un análisis de componentes principales para determinar los grupos de similitud entre las parcelas ya que la muestra de estudio no se realizó bajo un criterio ecológico y la selección de los bosques fueron los que se encontraban en las fincas inscritas en los proyectos realizados por el Instituto Sinchi.

A partir de las 226 parcelas como unidad de muestreo en las que se registraron 13.534 individuos pertenecientes a 851 especies, se realizó una curva del número de especies de árboles en función del número de parcelas muestreadas.

El número de individuos varió entre 29 y 105, el número de familias entre 6 y 29, el número de especies entre 8 y 50

4 Resultados

4.1 Estructura Diamétrica

Se analizaron 226 parcelas de 0,1 ha, registrando los individuos arbóreos mayores a 10 cm de diámetro. El número de individuos varió entre 29 y 105, el número de familias entre 6 y 29, el número de especies entre 8 y 50. El número de palmas varió entre 0 y 47, el valor total del área basal varió entre 0,48 m² y 5,44 m², el valor total del volumen entre 2,46 m³ y 62,90 m³ y el valor de la biomasa

entre 0,278 y 62,90 toneladas. Debido a la importancia de uso de las palmas en la región se incluyeron sus registros y otros valores de su estructura diamétrica. Se calcularon los valores extremos, promedios y totales. (Ver tabla 88).

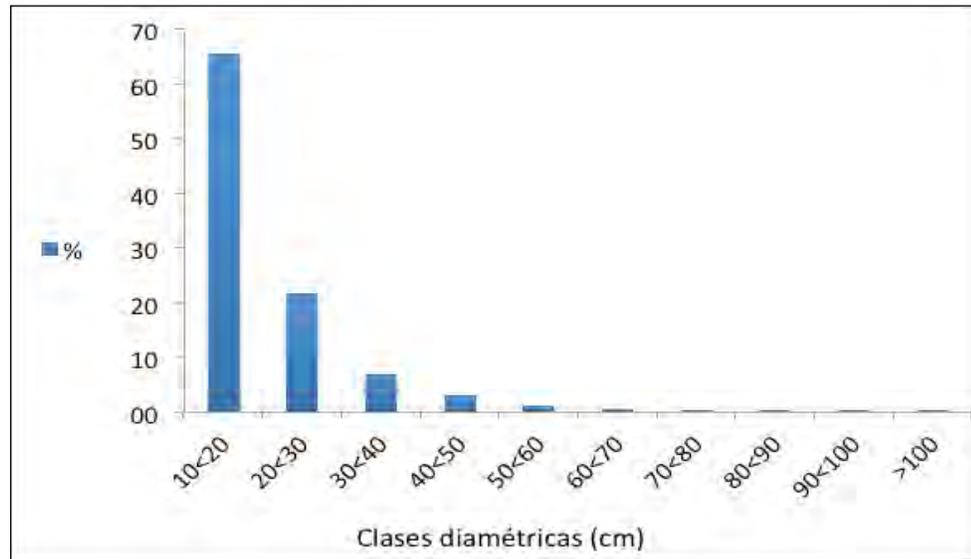
Tabla 88. Datos generales de estructura y composición en 226 parcelas de 0,1 ha

	Muestra total	Promedio(0,1 ha)
No. de individuos	13534	60
No. de familias	72	18
No. de especies	851	31
Área Basal (m ²)	559,11	2,47
Volumen (m ³)	4932,67	21,82
Biomasa (toneladas)	1567,68	6,93
No. de palmas	2562	11,3
No. de árboles (<40 cm d.a.p).	13331	58,9
No. de árboles (40> 60 cm d.a.p)	133	0,58
No. de árboles (>60 cm d.a.p).	70	0,30

La distribución de individuos por clase diamétricas (Figura 62), representó la curva clásica en forma de J invertida (exponencial negativa) característica de los bosques tropicales. Se estableció que la mayor densidad de individuos se encontró en dos de las primeras clases diamétricas, entre las clases diamétricas de 10 y 30 cm, que representan el 87,3% del total. En la distribución, posteriormente se presenta una rápida caída del número de individuos desde la clase diamétrica mayores de 50 cm. Como aspecto a destacar se presentó la escasez de árboles de gran porte, solamente se registró 117 individuos (1,5%) que superaron los 60 cm de diámetro. Las especies con más individuos en este rango fueron: *Terminalia amazonia* (23); *Goupia glabra* (11); *Aspidosperma excelsum* (9); *Cedrelinga cateniformis* (8); *Parkia discolor* (8); *Dialium guianense* (7); *Erismia uncinatum* (6). Las demás especies que se encontraron entre los árboles de gran porte, presentaron abundancia menor a 5 individuos y solamente catorce árboles representados en doce especies registraron diámetros mayores a 100 cm

Las especies con más individuos en este rango fueron: *Terminalia amazonia* (23); *Goupia glabra* (11); *Aspidosperma excelsum* (9); *Cedrelinga cateniformis* (8); *Parkia discolor* (8); *Dialium guianense* (7); *Erismia uncinatum* (6)

Figura 62 Distribución de los árboles en clases diamétricas presentes en relictos de bosques del departamento del Guaviare



4.2 Diversidad y Riqueza florística de los bosques del Departamento del Guaviare

En las 226 parcelas de 10 m x 100 m (1000 m²) distribuidas en los diferentes bosques del área de sustracción del departamento del Guaviare, se registraron 13534 individuos representados por 851 especies agrupadas en 288 géneros y 72 familias de plantas vasculares.

4.2.1 Composición de Familias

Las familias mejor representadas en número de especies fueron Mimosaceae (70), Moraceae (65), Melastomataceae (50), Lauraceae (46) Fabaceae (43), Euphorbiaceae (42), Rubiaceae (41), Burseraceae (37), Sapotaceae (36), y Myrtaceae (32). En la figura 63 está registrada esta información. Las 10 familias más diversas, representan el 75% de todas las especies identificadas en las 226 parcelas. La familia Mimosaceae fue la más diversa de toda la muestra total. Las 10 familias que presentaron el mayor número de individuos sumaron 3.332, lo que representó el 68,1% del número total de individuos muestreados en las parcelas de la cobertura boscosa. Además, entre las familias Arecaceae y Moraceae, sumaron 1.359 individuos, lo que representó el 27,8% del total de individuos muestreados.

Las 10 familias más diversas, representan el 75% de todas las especies identificadas en las 226 parcelas. La familia Mimosaceae fue la más diversa de toda la muestra total

4.2.2 Composición de Especies

La curva de acumulación de especies muestra que las áreas inventariadas reflejan solo una parte de la diversidad de la zona, ya que la curva tiene una tendencia lineal y no parece tener un punto de inflexión (Ver figura 64).

Figura 63. Número de Especies de las Familias más representativas presentes en relictos de bosques del departamento del Guaviare

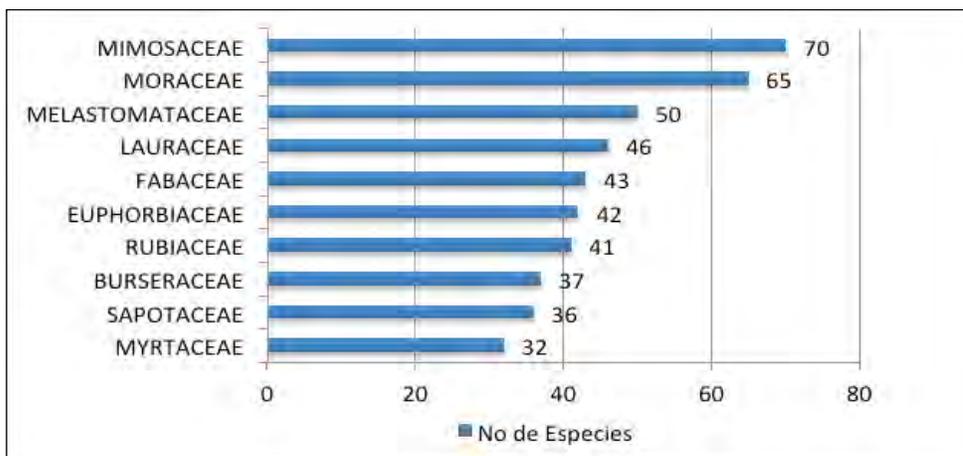
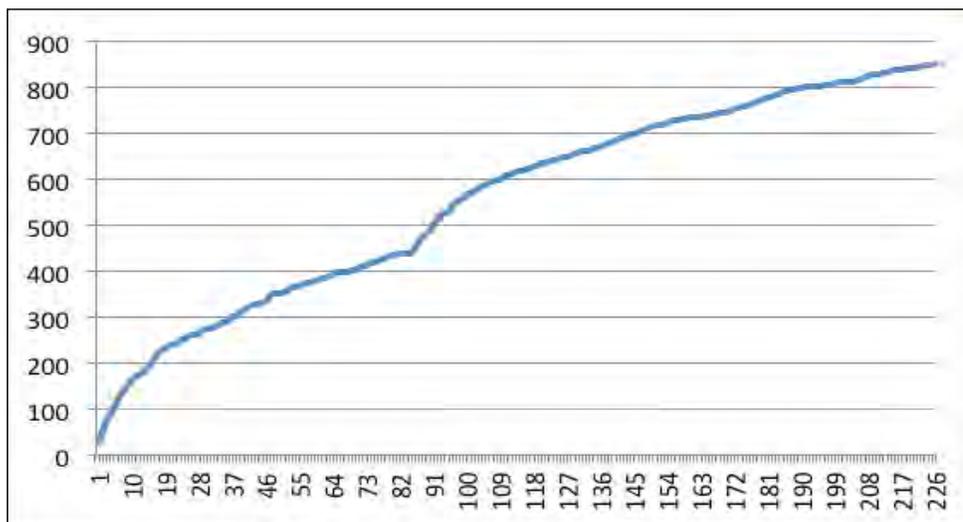


Figura 64. Número de especies en función del área muestreada presentes en relictos de bosques del departamento del Guaviare



Las 10 especies que presentaron el mayor número de individuos sumaron 5.391 árboles

4.3 Densidad florística de la muestra total

Las 10 especies que presentaron el mayor número de individuos sumaron 5.391 árboles, lo que representó el 27,6% del total de los individuos muestreados. Las especies más abundantes en los bosques altos denso del departamento fueron *Pseudolmedia laevis* y *Astrocaryum chambira*. En la tabla 89 están registradas las especies con mayor número de individuos encontrados en los relictos de bosques del Guaviare.

Tabla 89. Especies con mayor número de individuos de relictos de bosques del Guaviare

Especie	Número de individuos	Porcentaje (%)
<i>Pseudolmedia laevis</i>	906	4,6
<i>Astrocaryum chambira</i>	851	4,3
<i>Socratea exorrhiza</i>	844	4,3
<i>Euterpe precatória</i>	843	4,3
<i>Iriartea deltoidea</i>	570	2,9
<i>Oenocarpus bataua</i>	363	1,8
<i>Perebea xanthochyma</i>	306	1,5
<i>Crepidospermum rhoifolium</i>	242	1,2
<i>Cecropia sciadophylla</i>	243	1,2
<i>Protium aracouchini</i>	227	1,1

4.4 Índice de Valor de Importancia (IVI)

Las especies con mayor valor de importancia y por lo tanto con mayor peso ecológico en la vegetación de porte arbóreo fueron *Pseudolmedia laevis* (leche perra) con 3,42% *Astrocaryum chambira* (cumare) con 3,35%, *Socratea exorrhiza* (zancona) con 2,76%, *Euterpe precatória* (asaí) con 2,43% *Iriartea deltoidea* (barrigona) con 2,02%, *Terminalia amazonia* (macano) con 1,94%, *Oenocarpus bataua* (mil pesos) con 1,42%, *Cecropia sciadophylla* (yarumo) con 1,36%, *Perebea xanthochyma* (lechero) con 1,28% y *Micropholis guyanensis* (caimo) con 1,09%.

En la composición de los relictos de bosques analizados en el departamento del Guaviare, las especies más importantes fueron las palmas. La especie *Pseudolmedia laevis* (leche perra) presentó el mayor Índice de Valor de Importancia (IVI), aunque en la región no se considera como especie maderable fina, además que

en el comercio tiene un bajo valor y es de difícil trabajabilidad. Las otras especies arbóreas aunque presentaron pocos individuos con los diámetros de corte permitido, se consideran de gran importancia regional.

4.5 Análisis de Agrupamiento

Por medio de un análisis de agrupamiento se puede apreciar el grado de similitud que hay entre las parcelas. Se establecieron cinco grupos de parcelas que comparten cualidades de composición y estructura, e igualmente, son muy diferentes del resto de las parcelas. Sin embargo el análisis de componentes principales, refleja una alta semejanza entre ellas.

Capítulo 6

Fenología reproductiva de las especies arbóreas del bosque tropical de la Estación Experimental El Trueno, Guaviare, Colombia

1 Introducción

La fenología puede contribuir a la solución de algunos problemas forestales, ya que sienta bases para comprender la biología de la reproducción de las especies, la dinámica de las comunidades, las interacciones planta-animal y la evolución de la historia de vida de los animales que dependen de las plantas para su alimentación (Talora & Morellato 2000; Vélchez & Rocha 2004). Este conocimiento proporciona información sobre la disponibilidad de recursos a lo largo del año y permite determinar las estrategias de recolecta de frutos, lo que puede favorecer la calidad y cantidad de semillas para la producción de nuevas plántulas (Mantovani, *et al.*, 2003).

A través del estudio de la fenología, se trata de establecer las posibles causas de la presencia o ausencia de factores de la reproducción con relación a factores bióticos y abióticos (Talora y Morellato 2000, Vélchez y Rocha 2004).

Entre los factores abióticos que pueden influir en la variación temporal de la fenología reproductiva de las especies, se ha enfa-

A través del estudio de la fenología, se trata de establecer las posibles causas de la presencia o ausencia de factores de la reproducción con relación a factores bióticos y abióticos

tizado en las horas de brillo solar, la humedad relativa, la temperatura y la precipitación, siendo ésta última, la principal variable estudiada en la fenología tropical (Vílchez & Rocha, 2004).

En estudios reportados sobre las relaciones de factores reproductivos de las especies vegetales con factores medioambientales, se revisó el estudio de Longino (1986), realizado en el Parque Corcovado en Costa Rica, en el que se encontró una correlación negativa entre la cantidad de lluvia y la producción de brotes de *Passiflora pittieri*.

Otro estudio, el de Sun, *et al.*, (1996), realizado en Rwanda con 49 especies arbóreas, mencionan que el pico de fructificación ocurrió durante la estación más húmeda entre marzo y mayo, pero ésta, permaneció alta durante el periodo de sequía.

Vílchez, *et al.*, (2004) en un estudio realizado en Costa Rica, en el que se evalúa la época reproductiva de cinco especies forestales del bosque secundario tropical, encontraron baja correlación entre la precipitación y las fenofases estudiadas.

El conocimiento de las épocas de floración y fructificación es importante para la conservación de recursos genéticos y el manejo forestal de bosques primarios, secundarios pues marca los meses en los que ocurre, ayudando a la planificación de colectas de semilla y la detección de las mejores procedencias de germoplasma (Plana, 2000; Vílchez, *et al.*, 2004).

De igual manera, el conocimiento de los sistemas de reproducción de las especies es muy importante en los trópicos, ya que en éstos, muchas especies presentan baja densidad natural, la cual se acentúa por actividades de extracción selectiva (Plana, 2000). Por otra parte, se sabe que los ritmos anuales de los árboles responden a los cambios en el tiempo o condiciones climáticas, por ello, el estudio de la fenología es de interés especial por los efectos de calentamiento climático sobre la condición del bosque (Chuine & Beaubien 2001, ICP-Forest 2006).

A pesar de la gran importancia del conocimiento fenológico de las especies, éste aún es muy escaso y fragmentario particularmente en las regiones tropicales (Fournier & Charpantier 1975; Mantovani, *et al.*, 2003). Hasta la fecha, en Colombia sólo se reportan cinco estudios de fenología para la Amazonia, por ello resulta de particular importancia profundizar en el conocimiento

El conocimiento de las épocas de floración y fructificación es importante para la conservación de recursos genéticos y el manejo forestal de bosques primarios

de la fenología de la flora nativa y sus posibles relaciones con las variables climáticas zonales. En este marco, el objetivo de este trabajo fue el de caracterizar la fenología reproductiva de las especies de árboles más comunes de los bosques de La Estación Experimental El Trueno, para sentar bases para su manejo y conservación de los bosques del área de Colonización del departamento del Guaviare.

2. Área de estudio: 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 Investigaciones 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 esta situada en la vereda San Antonio, a 2 Km de desviación de la Trocha San Antonio, esta trocha inicia en el kilómetro 24 en un ramal terciario de la vía San José del Guaviare – El Retorno.

Posee una extensión de 119 hectáreas, donde se localizan 12,5 ha en áreas de ensayos y colecciones biológicas de especies vegetales, establecidas para la conservación y estudio de especies forestales y frutales en condiciones *Ex situ* y además, donde 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.

2.2 Características climáticas.

Presenta un clima cálido-húmedo, la temperatura media anual oscila entre 25,5 y 27 °C. En el periodo de los años 2007- 2009; la precipitación media anual fue de 2.590 mm; enero (69,83 mm) y febrero (51,33 mm); corresponden al bimestres de menor precipitación; mayo (329,33 mm) y junio (437,33 mm) concuerdan con el bimestre más lluvioso.

2.3. Condiciones de 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).

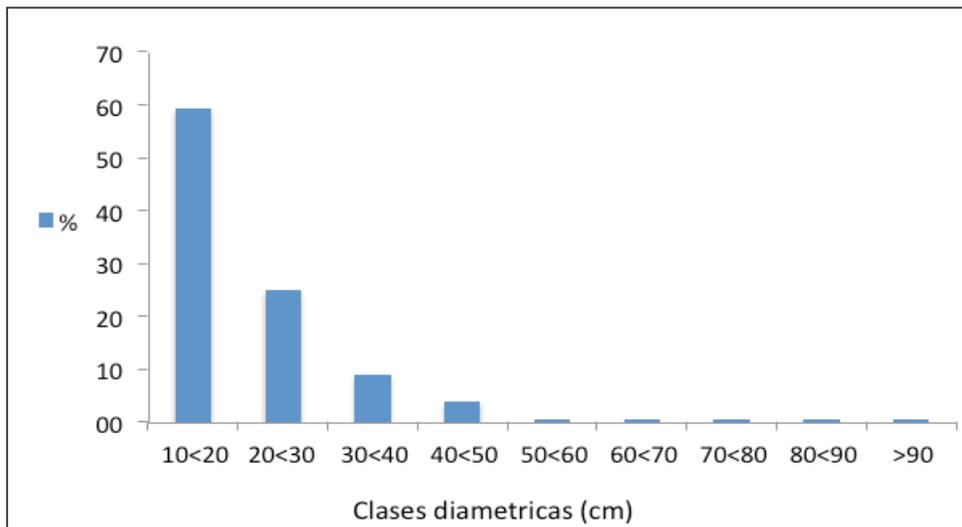
Fisiográficamente el sector de la Estación Experimental pertenece a la unidad geomorfológica denominada Superficie de Denudación. Los suelos se caracterizan por ser ácidos, de baja fertilidad natural y potencial de toxicidad por aluminio intercambiable y una baja a muy baja disponibilidad de bases intercambiables 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 petroférrica 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 búsqueda del horizonte (A) donde se encuentran disponibles la materia orgánica y algunos minerales. (Cachique, 1985)

3 Composición florística de la Estación Experimental El Trueno

Aunque los árboles de dosel representan el 30% de la flora de los bosques tropicales (Phillips, *et al.*, 2003), estos son un parte esencial de la estructura del bosque y son hábitat para numerosos organismos. En el inventario de la Estación Experimental El Trueno se registraron los árboles mayores de 10 cm de diámetro, en 12 parcelas de 10 m x 100 m (1000 m²); para el análisis de la vegetación se registraron un total de 764 individuos, pertenecientes a 160 especies, las cuales se agrupan en 106 géneros y 45 familias de plantas vasculares. La altura media del dosel fue de 14 m, con emergentes que alcanzaron los 30 metros (m), de las especies *Coussapoa orthoneura* (35m) *Ocotea aciphylla* (34m), *Aspidosperma cf. Spruceanum* (32m), *Pourouma minor* (30m), *Trattinnickia lawrancei* (30m), *Schefflera morototoni* (30m) *Croton matourensis* (30 m).

Los árboles grandes son a menudo dominantes y son importantes fuentes de alimento y refugio para las poblaciones de animales (Richards, 1998). 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). No obstante el 94 % de los árboles registrados, presentaron diámetros menores a 40 cm. (Ver figura 65).

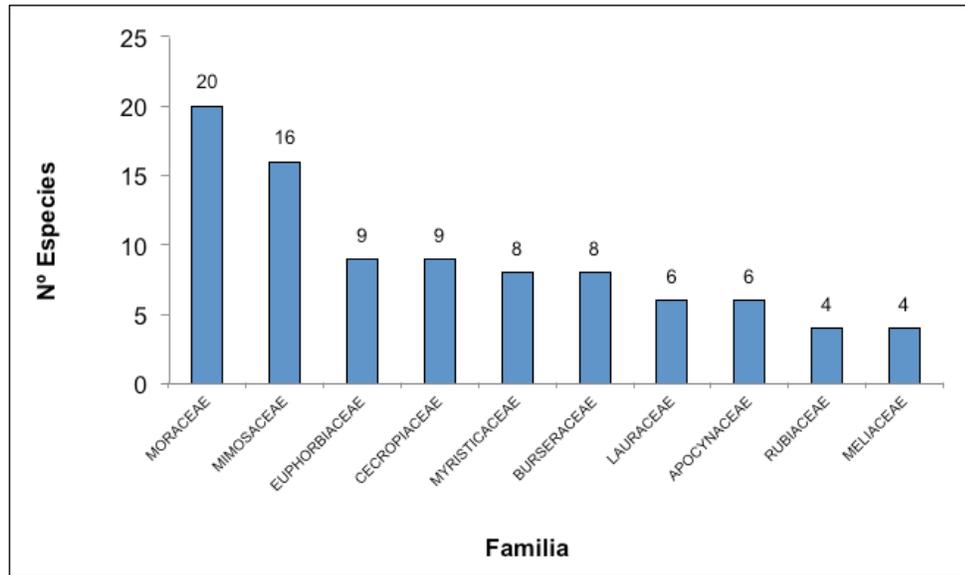
Figura 65. Distribución de los árboles en clases diamétricas presentes en la Estación Experimental El Trueno, El Retorno, departamento del Guaviare.



Las especies que registraron el mayor número de individuos fueron *Iriartea deltoidea* (61), *Virola elongata* (38), *Croton matourensis* (37), *Pseudolmedia laevis* (22), *Jacaratia spinosa* (21), *Crepidospermum goudotianum* (19) *Oenocarpus bataua* (17), *Pourouma minor* (17), *Cecropia sciadophylla* (15) *Batocarpus orinocensis* (14). Las 10 especies con mayor número de individuos representaron el 34,2% del total de los individuos muestreados. Además, las palmas representaron el 13% de todos los individuos siendo *Iriartea deltoidea* la más abundante.

Las familias mejor representadas en número de especies son Moraceae (20), Mimosaceae (16), Euphorbiaceae (9), Cecropiaceae (9), Myristicaceae (8), Burseraceae (8), Lauraceae (6), Apocynaceae (6), Rubiaceae (4), Meliaceae (4). (Ver figura 66).

Figura 66. Número de Especies de las Familias más representativas presentes en la Estación Experimental El Trueno, El Retorno, departamento del Guaviare.



Las 10 familias que presentan un mayor número de individuos suman 556 árboles, lo que representa el 72,7% del número total de individuos muestreados. Las familias más comunes son en su orden *Arecaceae*, *Euphorbiaceae* y *Moraceae*, las tres suman 251 individuos, lo que representa el 32,8% del total de individuos muestreados.

Se establecieron 8 bloques de diferentes tamaños encerrando un área total de 70 hectáreas de a bosque que se encuentran en la Estación Experimental El Trueno

4. Metodología para las evaluaciones fenológicas en la Estación Experimental El Trueno

Se establecieron 8 bloques de diferentes tamaños encerrando un área total de 70 hectáreas de a bosque que se encuentran en la Estación Experimental El Trueno. Los procesos de floración y fructificación se evaluaron 83 especies con 471 árboles con diámetro mayor a 10 cm, para tratar de asegurar que los árboles ya estuvieran en su fase reproductiva (Fournier & Charpantier 1975).

Los árboles seleccionados fueron marcados con etiquetas de aluminio repujadas con un número consecutivo para facilitar la localización y las evaluaciones mensuales, (Preuhsler, *et al.*, 2006). (Justiniano & Fredericksen, 2000; Talora y Morellato 2000)

Se evaluaron los aspectos fenológicos con periodicidad mensual entre el mes de abril del año de 2007 hasta el mes de diciembre del año de 2009. En las evaluaciones mensuales para identificar la presencia de flores y frutos se utilizaron binoculares. De acuerdo con las metodologías consultadas, se estableció que si alguno de los individuos de la especie tenía flores o frutos, la especie como un todo fue considerada como en floración o fructificación en ese mes de la valoración (Justiniano & Fredericksen, 2000; Bencke & Morellato, 2002). Cada árbol fue censado, registrando su diámetro, su nombre común y la especie. Se realizó la colecta botánica de cada especie, y se identificaron las especies en el Herbario Amazónico Colombiano -COAH- del Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas, Sinchi

Para estudiar la posible relación de las fases reproductivas con la precipitación y brillo solar, se recolectaron datos de la estación meteorológica ubicada dentro de La Estación Experimental "El Trueno". Se realizaron correlaciones de Pearson $p < 0,05$ (Zar, 1999) entre el número de especies en cada fenofase, por mes y las variaciones de precipitación y brillo solar en el mismo período. Como porcentaje de precipitación se consideró, el promedio de la cantidad de lluvia del mes correspondiente con respecto al total de la precipitación anual. El porcentaje de fenofase se tomó como la cantidad de especies en floración/fructificación expresado en porcentaje mensual de especies en la fenofase.

5. Resultados de la investigación fenológica de especies forestales de La Estación Experimental El Trueno.

En la muestra estudiada, para el seguimiento de la fenología de los bosques de la Estación Experimental El Trueno; se registraron un total de 471 individuos pertenecientes a 30 familias, 73 géneros y 83 especies. Las familias mejor representadas fueron:

Se evaluaron los aspectos fenológicos con periodicidad mensual entre el mes de abril del año de 2007 hasta el mes de diciembre del año de 2009

Moraceae (8), Mimosaceae (7), Apocynaceae (6), Burseraceae (5), Caesalpinaceae (5), Fabaceae y Lecythydaceae (4 especies cada una). (Ver tabla 90).

Tabla 90. Número de especies arbóreas por familia botánica con seguimiento fenológico en la Estación Experimental El Trueno

FAMILIAS	Número de especies
Moraceae	8
Mimosaceae	7
Apocynaceae	6
Burceraceae, Caesalpinaceae	5
Fabaceae, Lecythydaceae	4
Arecaceae, Bignoniaceae, Bignoniaceae, Myristicaceae, Rubiaceae, Sapotaceae, Tiliaceae, Vochysiaceae.	3
Bombacaceae Cecropiaceae Lauraceae Sterculiaceae Ulmaceae	2
Anacardiaceae Araliaceae Boraginaceae Clusiaceae Combretaceae Elaeocarpaceae Euforbiaceae Flacourtiaceae Olacaceae Indeterminada	1

5.1 Características de la floración de especies en la Estación Experimental El Trueno

El número de especies que florece no fue significativamente diferente en el periodo 2007 y 2008, sin embargo en el año 2009 ($\chi^2=16,47$, $p<0,005$, $gl=5$). La floración fue monomodal con un periodo de mayor floración en los inicios de la temporada seca noviembre y diciembre (24 especies cada mes) y de acuerdo con la información meteorológica es el periodo de mayor brillo solar. En la figura 67 y en la figura 68, se registró la correlación entre los estados de floración y las condiciones de precipitación y brillo solar en la Estación Experimental El Trueno para el periodo de evaluación.

Figura 67. Número de Especies en estado de floración y el promedio de precipitación mensual, en la Estación Experimental El Trueno

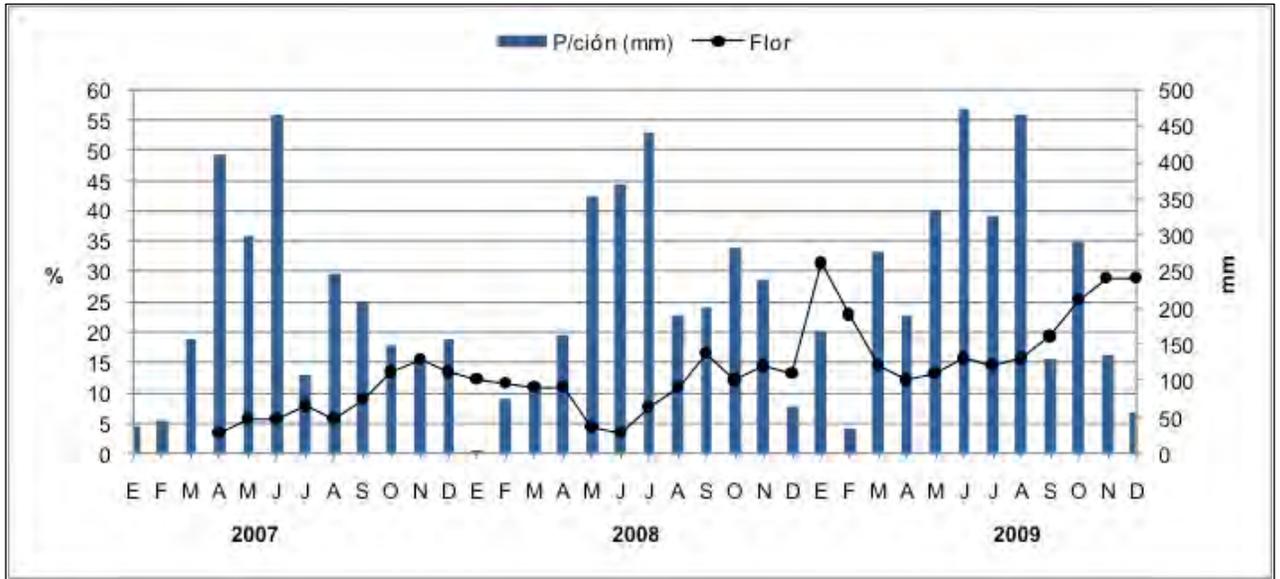
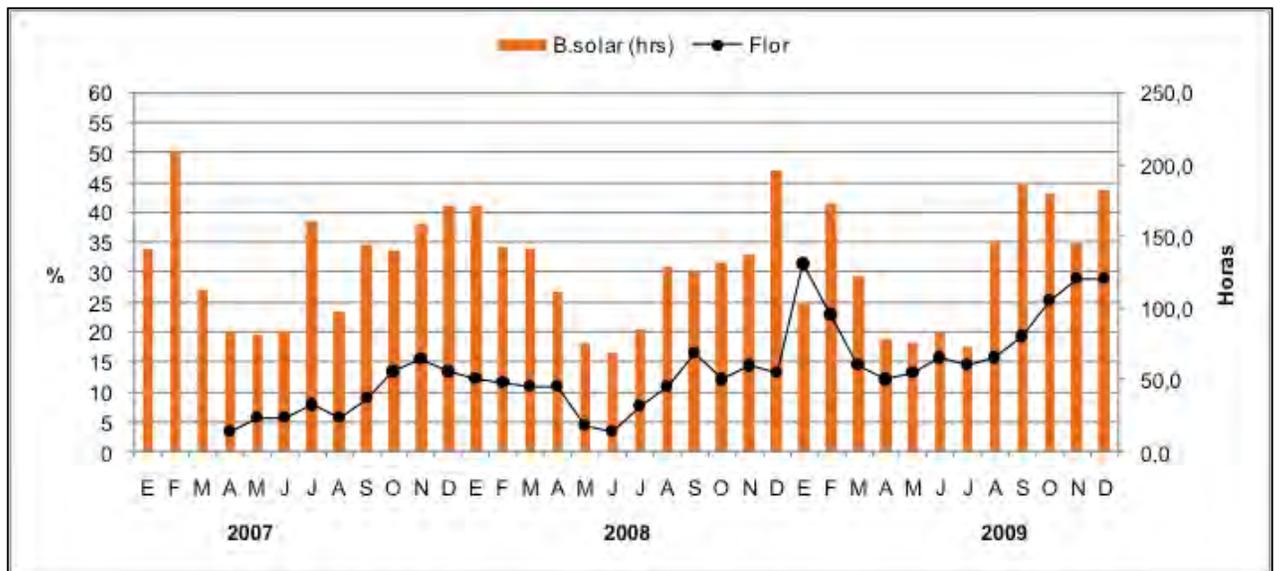


Figura 68. Número de Especies en estado de floración y el promedio de brillo solar mensual, en la Estación Experimental El Trueno



5.2. Características de la fructificación de especies en la Estación Experimental El Trueno

El número de especies que fructificaron no varió significativamente a lo largo de los años 2007 y 2008; sin embargo, en el año 2009 se registró un porcentaje alto de especies fructificando a lo largo del año, teniendo mayor número de especies con fruto entre los bimestres: marzo–abril y mayo-junio, por otra parte, el mayor porcentaje de frutos se observó en la temporada de menor brillo solar. En la figura 69 y en la figura 70, están representadas las correlaciones entre los estados de fructificación y las condiciones de precipitación y brillo solar en la Estación Experimental El Trueno para el periodo de evaluación.

Figura 69. Número de Especies en estado de fructificación y el promedio de precipitación mensual, en la Estación Experimental El Trueno

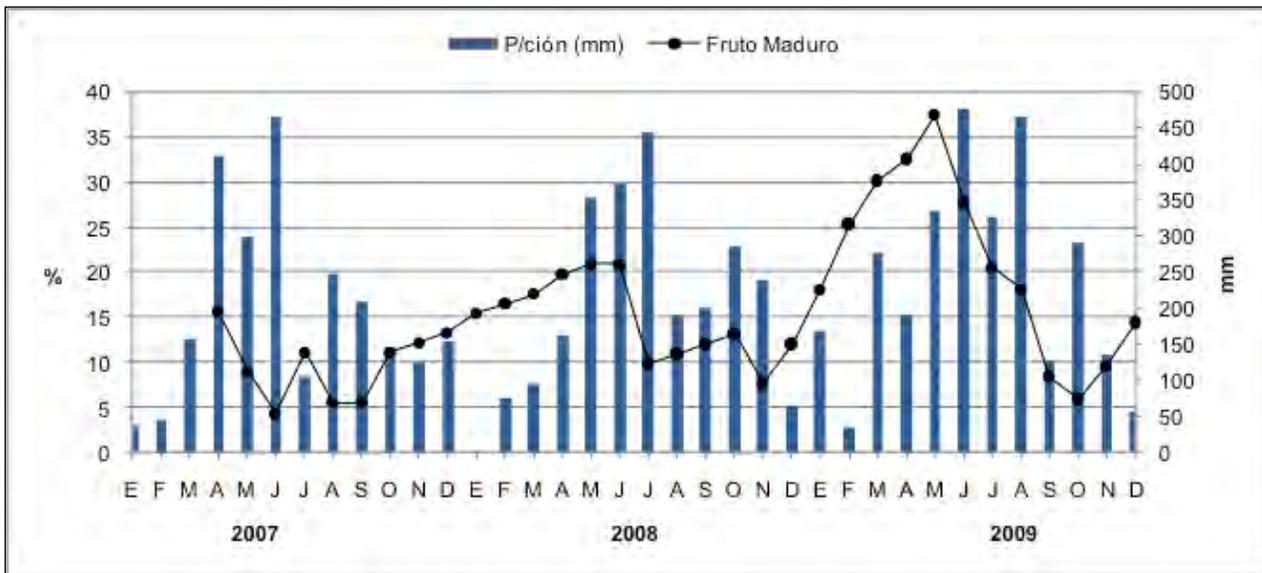
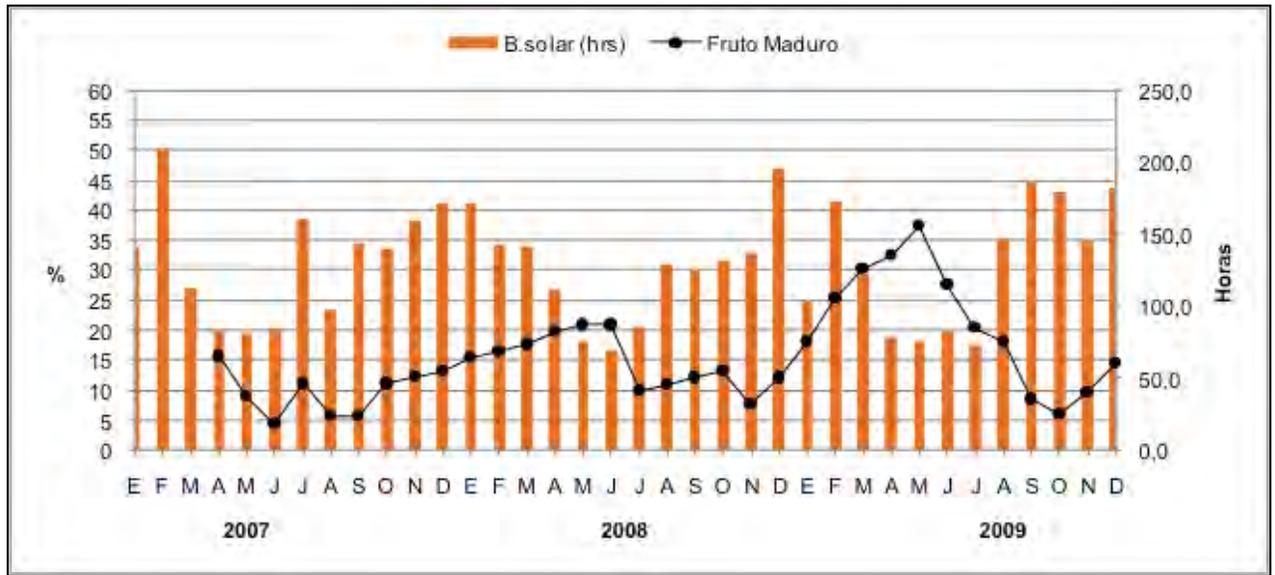


Figura 70. Número de Especies en estado de floración y promedio de brillo solar mensual, en la Estación Experimental El Trueno



5.3. Resumen de las relaciones entre las condiciones meteorológicas y la fenología.

De manera general para el periodo de investigación de 2007 a 2009, en la Estación Experimental El Trueno no se encontró ninguna relación significativa entre el número de especies floreciendo o fructificando con la cantidad de lluvia mensual. Similar resultado se obtuvo considerando las diferencias entre los años de evaluación.

Se estableció que aunque no se encontró una relación significativa entre la fenología reproductiva y la precipitación, el pico de floración coincide en la época de menor precipitación, lo cual concuerda con lo reportado para especies arbóreas por Ochoa-Gaona & Domínguez-Vázquez (2000) en la Selva Lacandona, en el Estado de Chiapas, México.

Wright & van Schaik (1994) en un trabajo realizado también con especies arbóreas en Barro Colorado, mencionan que la coincidencia de un periodo de mayor floración en el periodo de mayor sequía se corresponde con una fase de mayor irradiación y de menores niveles de plagas por artrópodos.

Se estableció que aunque no se encontró una relación significativa entre la fenología reproductiva y la precipitación, el pico de floración coincide en la época de menor precipitación

con los registros del 2009 podría establecerse que el trimestre noviembre, diciembre y enero es el periodo de mayor floración

Morellato, *et al.*, (2000) en un estudio realizado con especies arbóreas en los bosques tropicales del Atlántico del sureste de Brasil, encontraron que el periodo de floración y de producción de hojas nuevas ocurrió poco antes del periodo de mayor humedad, relacionándolo con la longitud del día y temperatura.

En esta valoración fenológica en la Estación Experimental El Trueno se encontró que los picos de floración no fueron significativos con relación a la cantidad de especies floreciendo en los otros meses, en el periodo evaluado entre el año 2007 y el año 2008, no obstante con los registros del 2009 podría establecerse que el trimestre noviembre, diciembre y enero es el periodo de mayor floración. Esto puede deberse a que corresponde con el periodo de menor precipitación y el mayor brillo solar.

Para las condiciones agroclimáticas de la Estación Experimental El Trueno y en general para las especies forestales en el departamento del Guaviare, el periodo de fructificación de las especies se manifiesta a lo largo del año, no obstante el pico de fructificación es el bimestre de transición entre la temporada seca y la lluviosa, esto puede coincidir con la mejor temporada favorable para la germinación de la semillas; los frutos al caer encuentran el suelo húmedo y se logre un mayor éxito en el desarrollo y establecimiento de plántulas. Cabe señalar, que cuando se analizaron los periodos de floración y fructificación de manera separada para cada año correlacionándola con la precipitación mensual del año correspondiente, los patrones difirieron notablemente entre los dos años.

En particular para la Estación Experimental El Trueno, durante los años involucrados, el promedio de la precipitación anual fue ligeramente mayor a los 3000 mm, sin embargo, los periodos de sequía y mayor precipitación variaron entre años, mostrando patrones diferentes.

En esta región del norte amazónico, específicamente para el departamento del Guaviare, solamente los meses de enero y febrero se consideran como meses secos, ya que normalmente registran valores por debajo de los 50 mm de precipitación, similar a lo expresado por Vílchez & Rocha, 2004, que establecieron que este valor de precipitación se puede tomar como referencia para determinar si un mes es o no es considerado como seco. Para el

departamento del Guaviare, no obstante el mes de enero fue atípico en el año de 2009, pues se registró un aumento de lluvias considerable, repercutiendo en el aumento de floración de los individuos.

En el departamento del Guaviare y específicamente en la Estación Experimental El Trueno se presenta una estacionalidad marcada, un periodo seco entre noviembre, diciembre, enero y febrero y el resto del año lluvioso siendo los meses más lluviosos mayo junio y julio. En la temporada de mayor brillo solar y finalización del periodo lluvioso, comienza el aumento del número de especies en floración y entre la transición del periodo seco y el periodo lluvioso se presentan el mayor pico de fructificación.

No se hicieron análisis de correlación de la fenología de las especies con la temperatura, ya que en las regiones tropicales esta variable es estadísticamente similar a lo largo del año. La disponibilidad de agua a través de la precipitación suele fluctuar en mayor o menor grado siendo ésta la variable de mayor peso a medir en los estudios fenológicos en el bosque tropical (Vílchez, *et al*, 2004).

Cuando se hizo el análisis de la fenología por familia botánica, se encontró que cada una presenta patrones fenológicos particulares, que no necesariamente coinciden con el patrón general observado. Asimismo, se puede observar, que cada especie presenta un patrón propio. Por ello, para comprender la relación de las especies con los factores ambientales que regulan el inicio y el final de sus fases fenológicas, son necesarios estudios más detallados para especies de interés, tratando de establecer su posible relación con polinizadores u otra relación interespecífica (Sakai, 2001; Vílchez, *et al.*, 2004). En este sentido, Plana (2000) señala que algunas especies, especialmente las pioneras, florecen a lo largo del año mientras que las especies de fases sucesionales tardías pueden presentarse en periodos marcados anualmente o incluso cada dos o tres años, tardando periodos de hasta varios años para la primera actividad reproductiva.

En el departamento del Guaviare y específicamente en la Estación Experimental El Trueno se presenta una estacionalidad marcada, un periodo seco entre noviembre, diciembre, enero y febrero y el resto del año lluvioso siendo los meses más lluviosos mayo junio y julio

Consideraciones finales

Anivel de resultados prácticos de crecimiento y producción del componente forestal, se determinó en el **primer tipo de arreglo establecido en la Inspección de Cerritos en el año de 1995**, que las especies forestales abarco y achapo, a los 14 años de edad presentaron valores de altura promedio superiores a 22,0 m, con un Incremento medio anual en altura de 1,5 m/año, con este incremento anual la proyección a los 20 años de edad de la altura para las especies abarco y achapo es de 30,0 metros, magnitud importante porque permite mayor acumulación del volumen y de la biomasa de los individuos de las especies forestales. Para la variable diámetro se registraron valores superiores a 34,0 cm, que corresponde a una tasa de crecimiento anual, de 2,5 cm/año, que además permiten en la proyección a los 20 años de edad, de valores de diámetro de 50,0 cm, valor considerado óptimo para el aprovechamiento forestal.

Igualmente, el análisis estableció que las especies forestales milpo y macano, alcanzaron tasas de crecimiento diamétrico anual entre 1,7 cm/año y 1,5 cm/año, por lo que lograrían el diámetro mínimo de cortabilidad de 40 cm a los 28 años. Estos primeros

elementos de análisis permitió definir un desempeño regional de las especies abarco, achapo, macano y milpo, para su establecimiento en arreglos productivos agroforestales.

En este tipo de arreglos productivos agroforestales establecidos en la Inspección de Cerritos en el año de 1995 a los 14 años de edad para el volumen, la especie abarco registró un valor promedio de 1,17 m³ por árbol, el achapo tuvo valores de volumen entre 0,86 m³ a 1,14 m³ por árbol. En estos arreglos agroforestales establecidos en Cerritos, el 50% del total de los individuos de la especie abarco superan el valor de volumen de 1,0 m³ por árbol a los 14 años de edad.

Las especies maderables, macano y milpo, en la proyección a los 28 años de edad de corta, registró volúmenes entre 0,5 m³ y 1,3 m³. Estas especies forestales se constituyen en parte importante de los arreglos ya que registraron altos valores de permanencia en el arreglo y contribuyen para la acumulación de la producción, no obstante que su volumen de madera es de menor magnitud que el de las especies abarco y achapo, si favorecen turnos de corta diferentes generando mayores ingresos.

En los arreglos agroforestales establecidos en la Inspección de Cerritos en el año de 1995 a los 14 años de edad para la variable biomasa, la especie abarco alcanzó en promedio 995,4 Kg/árbol, la especie achapo registró 889,1 Kg/árbol, las especies macano y milpo, obtuvieron en promedio 376,3 Kg/árbol. Se resalta en los resultados a la especie abarco con el 53,6% de sus individuos y la especie achapo con el 46,2% de sus individuos con promedios de biomasa por árbol superiores a 1000,0 kg. En las proyecciones de acumulación de biomasa efectuadas para los 20 años de edad, el abarco registró en promedio por árbol 1653,0 Kg y el achapo en promedio por árbol acumuló 2203,5 Kg.

Los valores medios de volumen de 1,0 m³ por árbol, y de 1,0 tonelada de biomasa por árbol se consideran como una respuesta apropiada en la producción forestal y permiten inferir la cantidad total de madera y biomasa por hectárea que se obtiene de los arreglos productivos agroforestales a las edades de aprovechamiento. Este conocimiento se consolida como una de las más importantes contribuciones para la planificación de la producción agroforestal regional y permite encontrar valores rápidos y precisos de estas variables de producción para áreas definidas.

Considerando el total de los individuos de las especies forestales en el total del área establecida de 1 hectárea, se calculó el volumen total de los arreglos agroforestales, establecidos en la Inspección Cerritos 1995. Se encontró para el arreglo agroforestal clasificado como número 2 conformado por las especies abarco, achapo, nocuito, arazá y borjón, un volumen total de las especies forestales de $121,5 \text{ m}^3/1,5 \text{ ha}$ a los 14 años de edad. Para el arreglo agroforestal clasificado como número 1 conformado por las especies abarco, achapo, roble, macano, arazá y borjón se logra un volumen total de las especies forestales de $89,5 \text{ m}^3/1,5 \text{ ha}$.

En cuanto a la biomasa total de los arreglos agroforestales de los individuos de las especies forestales por unidad de área, establecidos en la Inspección Cerritos 1995, se encontró que los arreglos agroforestales clasificados con los números 1, 2, 3 la biomasa total oscilo entre $110,5 \text{ ton}/1,5 \text{ ha}$ a $50,5 \text{ ton}/1,5 \text{ ha}$, a los 14 años de edad. Estos arreglos agroforestales en la proyección a los 20 años de edad reportan valores entre $79,8 \text{ ton}/1,5 \text{ ha}$ a $176,2 \text{ ton}/1,5 \text{ ha}$.

El segundo tipo de arreglos valorados, los arreglos agroforestales establecidos en el año de 1997 en la Inspección de Cerritos, el Retorno, Guaviare, a los 12 años de edad, en lo que respecta a los valores de crecimiento y producción del componente forestal se obtuvo para la variable diámetro que el achapo presentó el 100% de sus individuos en clases de diámetro entre los 30,0 cm y los 60,0 cm, el abarco, presentó el 70% de sus individuos en clases de diámetro entre 20,0 cm a 40,0 cm, y el macano registró el 85% de sus individuos en clases de diámetro entre 20,0 cm y 30,0 cm. A los 12 años de edad, las especies achapo, milpo y abarco registraron valores de Incrementos medios de diámetro superiores a $2,0 \text{ cm/año}$, las especies virola, roble, cedro amargo, cedro macho, macano y caruto alcanzaron Incrementos medios de diámetro entre $1,0 \text{ cm/año}$ y $2,0 \text{ cm/año}$ y finalmente las especies brasil, nocuito, inchi y cuyubí alcanzaron Incrementos medios de diámetro menores a $1,0 \text{ cm/año}$.

Con los resultados de los arreglos agroforestales establecidos en el año de 1997 en la Inspección de Cerritos, el Retorno, Guaviare, se destaca un primer grupo de arreglos valorado con las especies forestales abarco, achapo, macano y milpo se seguido de especies las forestales roble, virola y caruto. Estas tres especies con sus tasas

de incremento diamétrico a los 12 años de edad, alcanzan sus diámetros de corta (diámetro mayor a 40,0 cm) a los 25 años de edad.

En los arreglos agroforestales denominados Cerritos 1997 a los 12 años de edad, para la variable volumen por árbol se encontró para la achapo un valor promedio de 1,4 m³ para los arreglos evaluados, el abarco registró valores de volumen por árbol entre 0,95 m³ y 0,33 m³, el milpo registro entre 0,44 m³ y 0,11 m³, y el macano valores entre 0,2 m³ y 0,1 m³.

A los 12 años de edad para la variable biomasa por árbol se obtuvo para la especie achapo 1177,0 Kg/árbol (incremento medio anual -IMA de 98,0 Kg/año), el abarco registro un valor de 580,0 Kg/árbol, (IMA de 72,0 Kg/año), el virola registró 311,0 Kg/árbol (IMA de 26,0 Kg/año), y el milpo alcanzó un valor de 298,0 Kg/árbol.

En los arreglos agroforestales establecidos en el año de 1997 en la Inspección de Cerritos, el Retorno, Guaviare, para las especies forestales abarco, achapo, milpo, virola, la proyección del rendimiento en biomasa reporta a los 20 años valores aproximados a 1000,0 Kg/árbol

Estableciendo la sumatoria del volumen por hectárea para todas las especies forestales de los diferentes arreglos establecidos en Cerritos 1997 a los 12 años de edad, se obtuvieron valores de volumen por hectárea de 55,0 m³/ha para el arreglo denominado SAF 1, de 52,81 m³/ha para el arreglo denominado SAF 3 y de 16,33 m³/ ha para el arreglo denominado SAF 4. Para los arreglos agroforestales valorados, su proyección a los 20 años de edad reportan volúmenes por hectárea entre 174,214 m³/ha a 97,289 m³/ha. En la sumatoria de la biomasa por hectárea para todas las especies forestales de los diferentes arreglos establecidos en Cerritos 1997 a los 12 años de edad, se obtuvieron valores de biomasa por hectárea entre 85,0 ton/ha y 122,0 ton/ha.

Se consideraron por sus valores de producción de madera fina (volumen) y peso seco (biomasa) los siguientes arreglos agroforestales como los más promisorios de este grupo de arreglos, ellos son: arreglo SAF 1 (con las especies forestales abarco, brasil, caruto, roble, paloarco), arreglo SAF 3 (con las especies forestales abarco, achapo, brasil, cedro macho, milpo, nocuito, virola), y arreglo SAF 4 (con las especies forestales abarco, caruto, macano).

Para el **tercer grupo de arreglos evaluados establecidos en el núcleo veredal La Tabla en 1999**, a los 10 años de edad en la variable incremento medio anual en diámetro para las especies forestales abarco, acacio achapo, cachicamo, caruto y macano, estas presentaron tasas de Incremento medio anual en diámetro desde 2,2 cm/año hasta 3,0 cm/año. Este grupo de especies forestales con promedio de incremento medio anual en diámetro superior a 2,5 cm/año, destacan a estas especies como las de mejor respuesta en crecimiento y las consolidan como las más importantes para el diseño y establecimiento de estos sistemas productivos agroforestales.

En los arreglos agroforestales del núcleo veredal La Tabla en 1999 a los 10 años de edad para la variable volumen por árbol se encontró para el abarco, registros entre 0,294 m³/árbol y 0,493 m³/árbol, el acacio con valores entre 0,400 m³/árbol a 0,543 m³/árbol, el achapo registro entre a 0,332m³/árbol a 0,393 m³/árbol, la especie caruto acumuló a los 10 años valores entre 0,046 m³/árbol a 0,243 m³/árbol y la especie macano, valores entre a 0,1323 m³/árbol a 0,366 m³/árbol. Las proyecciones a 20 años de edad registraron para estas especies un volumen medio por árbol para abarco con 2,178 m³, para acacio con 1,577m³, para achapo con 1,226m³, para caruto con 1,302 m³ y para macano con 1,308 m³.

En los arreglos agroforestales establecidos en el núcleo veredal La Tabla para la variable biomasa por árbol a los 10 años de edad, el abarco, registró un promedio de 436,28 Kg por árbol, el acacio, un promedio de 483,26 Kg/árbol, el achapo, un promedio de 391,7 Kg/árbol y el macano, un promedio de 244,3 Kg/árbol. En la proyección de la biomasa a los 20 años de edad, para las especies abarco, acacio, achapo cachicamo y macano se registró biomasa entre 503,5 Kg a 1248,1 Kg por árbol.

Para las variables volumen total y biomasa total de los arreglos agroforestales establecidos en el núcleo veredal La Tabla en 1999, a los 10 años de edad, se obtuvieron resultados para el arreglo denominado SAF 1, conformados por abarco, caruto, cuyubí, guacamayo, macano, palo arco, arazá, borjój, chontaduro, guamo y uva, un volumen total de las especies forestales de 28,641 m³/ha, y una biomasa total de las especies forestales de 89048,0 Kg/ha y para el arreglo denominado SAF 2: conformados por abarco,

caruto, guacamayo, macano, arazá, chontaduro, guamo y uva, un volumen total de las especies forestales de 26,888 m³/ha, y una biomasa total de las especies forestales de 92235,0 Kg/ha

Considerando el conjunto de los 17 arreglos agroforestales evaluados en sus aspectos de crecimiento y producción, se desarrolló **en el tercer capítulo de este libro a la cuantificación y comparación entre los arreglos del almacenamiento de carbono y de CO₂**. Para esto se partió de los valores de biomasa total encontrados los cuales se ubicaron en un rango entre 26,162 ton/ha a 122,013 ton/ha, estos valores se corresponden directamente a rangos entre 13,081 a 61,006 ton/ha de carbono, y entre 47,963 a 223,692 ton/ha para la acumulación de CO₂, los mayores registros correspondieron a los arreglos de la Inspección de Cerritos, establecidos entre los años de 1995 y 1997, que son los arreglos con el mayor número de individuos y con las especies forestales que además presentaron la mayor capacidad de acumulación de biomasa, en especial las especies abarco, achapo, macano y caruto.

Para los promedios de acumulación de carbono de estos arreglos agroforestales establecidos entre 1995 a 1999 en Guaviare, Colombia sus valores están en concordancia con los reportes de 600.0 ton/ha hasta 23,0 ton/ha que se han valorado en América tropical y subtropical. Se destacan arreglos productivos establecidos en la Inspección de Cerritos en 1995, con capacidad de almacenar contenidos de 98,172 y 215 ton/ha de CO₂

En la valoración del volumen, en la proyección de su valor a 20 años de edad, planteado como el turno de aprovechamiento de la mayoría de las especies forestales establecidas en los arreglos agroforestales en el departamento del Guaviare, similar a lo encontrado para carbono y CO₂ los arreglos agroforestales de mayor oferta y mayor ingreso corresponden a los de mayor permanencia de individuos y con mayor número de individuos de especies forestales.

En la valoración de volumen y de ingresos, se obtuvieron para el arreglo denominado SAF 2 de la inspección de Cerritos del año de establecimiento de 1995 compuesto por las especies abarco, acacio, achapo, macano, roble, arazá, borojón, valores a los 20 años de edad de un volumen total de madera de las especies forestales de 212 m³/ha, y un ingreso del total de los componentes de 57 millones de pesos (valores a 2013), para el arreglo denominado

SAF 1 de la inspección de Cerritos del año de establecimiento de 1995 compuesto por las especies abarco, acacio, achapo, nocuito, arazá, borojó, valores a los 20 años de edad de un volumen total de madera de las especies forestales de 177 m³/ha y un ingreso del total de los componentes de 47 millones de pesos (valores a 2013)

En los arreglos agroforestales valorados en el departamento del Guaviare, establecidos a distancias de 8,0 m por 8,0 m entre los maderables, se registraron áreas de copas por árbol superior a 100 m², que como se mencionó previamente, limitan la producción de las especies frutales, las cuales sin embargo, hasta el año 5 de edad, contribuyen a la generación de ingresos económicos. No obstante la limitación en producción ocasionada por las especies forestales, las especies frutales permanecen en los arreglos productivos agroforestales, contribuyendo al aumento de la biomasa total y en especial realizando la función de aporte de nutrientes a las especies forestales establecidas, además de otros beneficios ecosistémicos reportados por diversas fuentes como son: protección fitosanitaria, polinización, protección del suelo.

En el **capítulo 4 de este libro se evaluó el cuarto tipo de arreglo productivo, el arreglo de enriquecimiento forestal de rastrojos**, considerando las variables de crecimiento, rendimiento y valoración económica de sistemas de enriquecimiento forestal de rastrojos en el periodo entre los años 2004 a 2009. En estos arreglos de enriquecimiento forestal de rastrojos se evaluó la composición y la estructura de los relictos de bosque donde se establecieron las especies forestales que enriquecieron tales relictos y se encontró en general que las principales especies con mayor peso ecológico son: *Pseudolmedia laevis*, *Astrocaryum chambira*, *Euterpe precatória*, *Socratea exorrhiza*, *Iriartea deltoidea*, *Oenocarpus bataua*, *Perebea xanthochyma*, *Crepidospermum rhoifolium*, *Cecropia sciadophylla* y *Protium aracouchini*.

En estos arreglos productivos de enriquecimiento forestal de rastrojos a los 5 años de edad, en el análisis por especies, para el abarco, se observó que en todos los núcleos o ambientes evaluados, a excepción del núcleo 8 correspondiente a veredas del municipio de San José del Guaviare, su respuesta en las variables de volumen y biomasa fueron homogéneas, e indicaron que la especie abarco presentó alta plasticidad, y aunque es una especie introducida al

ecosistema amazónico, registró excelentes condiciones de adaptación y aclimatación a los ambientes diversos de paisaje. La especie achapo reflejó en los ambientes donde se desarrolló alta heterogeneidad en las respuestas de las variables valoradas, y un amplio rango de plasticidad que demostró su sensibilidad de acuerdo con el ambiente bajo el cual se estableció.

De igual manera, en los arreglos productivos de enriquecimiento forestal de rastrojos evaluados en el departamento del Guaviare a los 5 años de edad para las variables volumen y biomasa, la especie cuyubí fue de comportamiento homogéneo en todos los ambientes evaluados, para las especies paloarco, brasil, macano, milpo y caruto, igualmente se observó el comportamiento homogéneo en los ambientes o núcleos desarrollados, aunque la especie paloarco registró mayor sensibilidad a los diferentes ambientes y su capacidad de adaptación y aclimatación es más limitada.

Bibliografía

- Ådjers G, Hadenggan S, Kuusipalo J, Nuryanto K, Vesa L (1995) Enrichment planting
- Abdu, A., S. Tanaka, S. Jusop, N. Majid, Z. Ibrahim, M. Wasli y K. Sakurai. 2008. Assessment on soil fertility status and growth performance of planted dipterocarp species in Perak, Peninsular Malaysia. *Journal of Applied Sciences* 8(21): 3795-3805.
- Allard, R. W., 1960. *Principles of Plant Breeding*. John Wiley & Sons London, 485 pp.
- Albrecht, Alain y Kandji, Serigne T. 2003. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. En: *Agriculture, Ecosystems and Environment* 99 (2003) 15–27
- Álvarez, A. 2007. Caracterización oferta y demanda de productos maderables y no maderables. Informe técnico proyecto binacional manejo integral y sostenible de los bosques de Tarapacá (Colombia) y río algodón (Perú). Instituto Sinchi. Inédito.
- Álvarez, C. y A. Lara. 2008. Crecimiento de una plantación joven en fajas con especies nativas en la Cordillera de Los Andes de la provincia de Valdivia. *Bosque* 29(3): 181-191.

- Álvarez, Gustavo. 2008. Modelos alométricos para la estimación de biomasa aérea de dos especies nativas en plantaciones forestales del trópico de Cochabamba, Bolivia. Tesis Mag. Sc. Escuela de Posgrado. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 89 p
- AnguloRuiz, W. 2006. Crecimiento, productividad y análisis financiero de plantaciones de Tornillo. Revista Agroforestal AgroIniea. Dic-2006. N°4. Pág. 20 a 25. INIA. Perú.
- Appanah S, Krishnapillay B, Dahlan, M (2000) Sustainable production of forest products in the humid tropics of Southeast Asia: latest developments. XXI IUFRO World Congress. Kuala Lumpur, Malasia. Vol 1. pp. 201-210.
- Araujo et al (1998). Comparison of formulae for biomass content determination in atropical rain forest site in the state of Para, Brazil. En: ForestEcology and Management 117 (1999) 43 - 52
- ArreagaGramajo, W. E. 2002. Almacenamiento del carbono en bosques con manejo forestal sostenible en la Reserva de Biosfera Maya, Petén, Guatemala. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). Programa de Enseñanza para el Desarrollo y la Conservación. Escuela de Posgrado. Turrialba, Costa Rica 2002. 73 p
- Bencke, C.S.C. & L.P.C. Morellato. 2002. Comparação de dois métodos de avaliação da fenologia de plantas, interpretação e representação. Rev. Bras. Bot.25: 269-275.
- Bertault J, Dupuy B, Maître H (1995) Silviculture for sustainable management of tropical moist forest. Unasyuva 46: 3-9.
- Borchert, R. 1998. Responses of tropical trees to rainfall seasonality and its long term changes. ClimaticChange 39: 381-393.
- Borém, A. y G.V. Miranda, 2009. Melhoramiento de plantas. Viçosa, Editora UFV. 529 pp.
- Budowski, G. 1954. La identificación en el campo de los árboles forestales más importantes de la América Central. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Turrialba, Costa Rica.
- Cabrera, E., M. Sousa & O. Téllez. 1982. Imágenes de la flora Quintanarroense. Centro de Investigaciones de Quintana Roo. México D.F., México.
- Campbell, B.T. and M.A. Jones, 2005. Assessment of genotype x environment interactions for yield and fiber quality in cotton performance trials. Euphytica 144:69- 78.

- Carrizosa, J. 2011 Informe grupo consultor técnico para la ley forestal Colombiana. Colciencias. Inédito.
- Chazdon, R.L., R.W. Pearcy, D.W. Lee & N. Fetcher. 1996. Photosynthetic responses of Tropical Forest plants to contrasting light environments. In: S.S. Mulkey, R.L. Chazdon & A.P. Smith (eds.). *Tropical Forest Plant Ecophysiology*. Chapman & Hall. Nueva York. U.S.A. 675 p.
- Chuine, I. & E.G. Beaubien. 2001. Phenology is a major determinant of tree species range. *Ecol. Lett.* 4:500-510.
- Cole, T. G., Ewel, J. J. 2006. Allometric equations for four valuable tropical tree species. En: *Forest Ecology and Management* 229 (2006) 351–360 (www.elsevier.com/locate/foreco)
- Colinvaux, P.A. 1980. Especies comunes y especies raras, p. 573-597. In P.A. Colinvaux (ed.). *Introducción a la Ecología*. Limusa, México D.F., México.
- Concha, Juanita Y. *et al.* 2007. Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de *Theobroma cacao* L. en el departamento de San Martín, Perú. En: *Ecología Aplicada*, diciembre, año/vol. 6, número 1-2. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. pp. 75-82
- CONIF. 1986. Resultados del comportamiento de especies forestales plantadas en líneas de enriquecimiento en Bajo Calima, San José del Guaviare y Tumaco, Colombia. Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal. Serie Técnica 19. Bogotá, Colombia. 33 p.
- Croat, T.B. 1978. *Flora of Barro Colorado Island*. University of Stanford, Stanford, California, EEUU.
- Cummings *et al.* (2001). Aboveground biomass and structure of rainforest in the southwestern Brazilian Amazon. En: *Forest Ecology and Management* 163 (2002) 293-307
- De Carvalho Soares et al, (sf). O desenvolvimento da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* h.b.k.) em plantios agroflorestais no município de Manacapuru, Amazonas, Brasil Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, AM. <http://www.inpa.gov.br/cpca/johannes/Emidio-Curitiba-2004.pdf>
- Delgado *et al.* 2003. Crecimiento de especies forestales nativas en la zona norte de Costa Rica. En: *Agronomía costarricense*,

- enero – junio, año/vol. 27, número 001. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. pp 63-78.
- Departamento Nacional de Planeación. 2005. Análisis de cadenas productivas, generalidades de la Cadena Madera y muebles de madera. http://www.dnp.gov.co/01_CONT/POLITICA/Cadenas_Productiva.htm
- Dünisch, O. Schwarz T y Neves E. 2002. Nutrient fluxes and growth of *Carapaguianensis* Aubl. in two plantation systems in the central Amazon. *Forest Ecology and Management* 166: 55-68.
- Eberhart S. A. Russell W.A 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science* 6:36-40.
- Englund, S., J. O'Brian & D. Clark. 2000. Evaluation of digital and film hemispherical photography and spherical densiometry for measuring forest light environments. *Can. J. For. Res.* 30: 1999-2005.
- Espinal, G.C., Martínez C. y González, D.H. (2006) Características y estructura del sector forestal-madera-muebles en Colombia: Una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005. Tomado de: <http://www.agrocadenas.gov.co>.
- Evans, J. 1992. *Plantation forestry in the tropics: tree planting for industrial, social, environmental, and agroforestry purposes.* Oxford University Press. 403 pp. 2º edición. EE.UU.
- FAO. Situación de los bosques del mundo, 2001. Departamento de Montes de la FAO.
- FAO (2009) Situación de los bosques del mundo. Roma: Italia. Recuperado de: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/i0350s/i0350s.pdf>
- Ferreira, D.F.; C.G.B. Demetrio, B.F.J. Manly, A.A. Machado and R. Vencovsky, 2006. Statistical models in agriculture: biometrical methods for evaluating phenotypic stability in plant breeding. *Cerne* 12:373-388.
- Fetcher, N., S.F. Oberbauer & R.L. Chazdon. 1994. Physiological ecology of plants at La Selva. In: McDade, L., K.S. Bawa, H.A. Hespenheide & G.S Hartshorn (eds.). *La Selva: Ecology and natural history of a Neotropical Rainforest.* University of Chicago Press. Chicago, U.S.A. 486 p.
- Finney, D.J. 1980. *Statistics for biologists.* Chapman and Hall, Nueva York, EE.UU.

- Flores Bendezú, Y. 2002. Crecimiento y productividad de seis especies forestales nativas de 20 años de edad en el Bosque Alexander Von Humboldt, Amazonia Peruana. CATIE. 137 pp.
- Fournier, L.A. & C. Charpantier. 1975. El tamaño de la muestra y la frecuencia de observaciones en el estudio de las características fenológicas de los árboles tropicales. Turrialba 25: 45-48.
- Fundación Solar, 1999. Perfil técnico de proyecto de fijación de carbono en plantaciones de hule. Fundación Solar. Guatemala.
- Fundación Solar. 2000. Elementos Técnicos para inventarios de carbono en usos del suelo. Edición: Lilian Márquez. Guatemala. 36 p.
- Gaillard de Benítez *et al.* (2000). Biomasa aérea de ejemplares de quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*) en dos localidades del Parque Chaqueño Seco En: Quebracho 9: 115-127. Santiago del Estero, Argentina. 13 p.
- Galindo, A.A., S. del C. Ruíz A., C.E. Zenteno R., A. SolS., C. Bouchot C. & M. Izquierdo R. 2000. Sustento técnico del documento de propuesta de decreto del área natural protegida denominada "Sierra de Tenosique" UJAT-SEDESPA, Gobierno del estado de Tabasco, Villahermosa, Tabasco, México.
- Gayoso Aguilar, Jorge (2001) medición de la capacidad de captura de carbono en bosques nativos y plantaciones de Chile. Universidad Austral de Chile
- Gentry, J.L. Jr. & P.C. Standley. 1974. Flora of Guatemala. Fieldiana: Botany 24, Part X, Numbers 1 and 2.
- Giraldo, B. Vargas, G. Zubieta, M. Barrera, J. 2012. Bases técnicas para el desarrollo agroforestal de la Amazonia Norte Vol. 2. Instituto Sinchi. En Edición
- Gregersen, Hans M. and Arnoldo H. Contreras. 1979. Economic Analysis of Forestry Projects. FAO Forestry Paper 17. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. 193 p.
- Grulke, M., Hoh, A., Ortiz, R. (2007): 10 años de observación de la dinámica de bosques bajo diferentes regímenes de manejo en la región oriental del Paraguay. Inédito.
- Heuvelodp. J. *et al.* Sistemas agroforestales de café (*Coffea arábica*) con laurel (*Cordia alliodora*) y café con poro (*Erythrina poeppigiana*) en Turrialba, Costa Rica. II Producción agrícola

- maderable y de residuos vegetales. En Revista Interamericana de Ciencias Agrícolas – TURRIALBA. 35(4) 347 – 357.
- Higuchi *et al.* (sf) Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra firme da amazonia brasileira. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, AM
- Hogan, K. & J. Machado: La luz solar, consecuencias biológicas y su medición. In: Guariguata, M. R. y G. H. Catan. 2002. Ecología y conservación de bosques neotropicales. Editorial Tecnológica de Costa Rica. 692 p.
- Holdridge, L.R. 1970. Manual dendrológico para 1 000 especies arbóreas en la República de Panamá. Inventarización y demostraciones forestales. Informe Técnico No.1. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Panamá, Panamá.
- Hubbell, S.P. & R.B. Foster. 1986. Commonness and rarity in a Neotropical forest: implications for tropical tree conservation, p. 204-231. In M. Soulé (ed.). Conservation biology: the science of scarcity and diversity. Sinauer, Sunderland, Massachusetts,
- Ibrahim *et al.* (2007). Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. En: Agroforesteria En las Américas No. 45/2007
- Izko, Xavier y Burneo, Diego. 2003. Herramientas para la valoración y manejo forestal sostenible de los bosques sudamericanos UICN-Sur. Oficina Regional para América del Sur. Programa de Conservación de bosques. Quito Ecuador. 171 p.
- Justiniano, M.J. & T.S. Fredericksen. 2000. Phenology of tree species in Bolivian dry forests. Biotropica 32:276–281.
- Kabakoff, R. & R. Chazdon. 1996. Effects on canopy species dominance on understory light availability in low-elevation secondary forest stands in Costa Rica. J. Trop. Ecol. 12: 779-788.
- Korpelainen H, Ådjers G, Kuusipalo J, Nuryanto K, Otsamo A (1995) Profitability of rehabilitation of overlogged dipterocarp forest: a case study from South Kalimantan, Indonesia. Forest Ecol. Manag. 79: 207-215.
- Lambers, H.; F. Chapin III & T. Pons. 1998. Plant Physiological Ecology. Springer - Verlag. New York, U.S.A. 540 p.

- Lamprecht H (1990) *Silvicultura en los trópicos*. GTZ. Eschborn, Alemania. 335pp.
- Lin, C.S.; M.R. Binns and L.P. Lefkovitch, 1986. Stability analysis: where do we stand. *CropScience* 26:894-900.
- Longino, J.T. 1986. A negative correlation between growth and rainfall in a tropical liana. *Biotropica*18: 195-200.
- Lozada, J. R Moreno, J y Suescun R. 2003. Plantaciones en fajas de enriquecimiento. Experiencias en 4 unidades de manejo forestal de la Guayana venezolana. *Interciencia*. Oct 2003, VOL. 28 N° 10.
- Majid NM, Vasquez E, Azani M (2000) Role of forestry in landscape rehabilitation: Malaysian experience. XXI IUFRO World Congress. Kuala Lumpur, Malasia. Vol 1. pp. 297-309.
- Mantovani, M., A.R. Ruschel, M. Sedrez dos Reis, A. Puchalski & R.O. Nodari. 2003. Fenología reproductiva de especies arbóreas em uma formação secundária da floresta Atlântica. *Rev. Árvore* 27: 451-458.
- Martínez, H. (2005) *La cadena forestal y madera en Colombia: Una mirada global de su estructura y dinámica, 1991 – 2005*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Observatorio Agrocadenas. Bogotá: Colombia. Recuperado de: http://201.234.78.28:8080/dspace/bitstream/123456789/875/1/20051121663_caracterizacion_forestal.pdf.
- Medina Benavides Cristóbal, et al. 2008. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas productivos promovidos por el programa socioambiental forestal. *REVISTA LA CALERA* VOL 11 NO 17. Departamento de Gestión Ambiental, Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua
- Melo Cruz, Omar Aurelio y Vargas Ríos, Rafael Evaluación ecológica y silvicultural de ecosistemas boscosos/ Universidad del Tolima, CRQ, CARDER, CORPOCALDAS, CORTOLIMA, 2002/ 235 P, il.
- Montagnini F, Eibl B, Grance L, Maiocco D, Nozzi D (1997) Enrichment planting in overexploited subtropical forests of the paranaense region of Misiones, Argentina. *Forest Ecol. Manag.* 99: 237-246.
- Monroy Rivera, A. y Návar Chaidez, J. 2004. Ecuaciones de aditividad para estimar componentes de biomasa de *Hevea brasiliensis*.

- ses Muell.Arg., en Veracruz, México. Universidad Autónoma del Estado de México En: *Madera y Bosques* 10(2), 2004: 29-43. Xalapa, México. ([www.Redalyc.Uaemex .mx.](http://www.Redalyc.Uaemex.mx))
- Morellato, L.P.C., D.C. Talora, A. Takahasi, C.C. Bencke, E.C. Romero & V.B. Zipparro. 2000. Phenology of Atlantic rain forest trees: a comparative study. *Biotropica* 32: 811-823
- Nalvarte, W.; Sabogal, C.; Galván, O.; Marmillod, D.; Angulo, W.; Córdova, N.; Colán, V. 2004. *Silvicultura en la Amazonia peruana. Diagnóstico de experiencias en la región de Ucayali y la provincia de Puerto Inca.* CIFOR, INRENA, INIA, UN. 105 pp. Pucallpa. Perú.
- Navar, Jose. 2009. Allometric equations for tree species and carbon stocks for forests of northwestern Mexico. En: *Forest Ecology and Management* 257 (2009) 427–434
- Nash, D.L. & L.O. Williams. 1976. *Flora of Guatemala.* Fieldiana: Botany 24, Part XII. Field Museum of Natural History, Chicago, EEUU.
- Pattie, Preston S. et al. 2003. *Valoración de los Bosques Tropicales de Bolivia Documento Técnico 130/2003 Proyecto de Manejo Forestal Sostenible BOLFOR.* Santa Cruz, Bolivia. 44 p.
- Pennington, T.D. & J. Sarukhán. 2005. *Árboles tropicales de México.* Universidad Nacional Autónoma de México y Fondo de Cultura Económica, México D.F., México.
- Pérez Cordero, Luis Diego y Kanninen, Markku. 2002. Wood specific gravity and aboveground biomass of *Bombacopsis quinata* plantations in Costa Rica. En: *Forest Ecology and Management* 165 (2002) 1–9
- Pérez Molina Aparicio, 2009. *Caracterización y evaluación preliminar de plantaciones forestales en la cuenca del río aguaytia, Amazonía peruana.* Tesis. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Escuela técnica superior de ingenieros agrónomos. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA.
- Pérez Sánchez, Edwin. Septiembre 2005. *Análisis de inversión en una plantación de Amarillón (Terminalia amazonia) en la finca Los Tucanes, Limón, Costa Rica.* CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA CATIE. Curso Economía e Inversiones Forestales. 15 p.

- Piotto, D. 2007. A meta-analysis comparing tree growth in monocultures and mixed plantations. Yale University, School of forestry and Environmental Studies. Forest Ecology and Management n° 255. Pág. 781-786. EE.UU.
- Raison, R. J. 2002. Environmental Sustainability. IN: Richardson, J.; Bjorheden, R.,;Hakkila, P., Lowe, A.T.; and Smith, C.T. Bioenergy from Sustainable Forestry: Guiding Principles and Practice. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers: 159-164.
- Raja RS, Ibrahim S, Appanah S, Chong P, Otham J, Musa I (2000) Restorative planting of degraded sites in a logged hill dipterocarp forest using new approach and new method. XXI IUFRO WorldCongress. Kuala Lumpur, Malasia. Vol. 3. p. 110.
- Ramos, J. y S. Del Amo. 1992. Enrichment planning in a tropical secondary forest in Veracruz, México. Forest Ecology and Management 54: 289-304.
- Reynel, C.; Pennington, R. T.; Flores, C.; Daza, A. 2003. Árboles útiles de la Amazonia Peruana. ICRAF. 50 pp. Iquitos. Perú.
- Ribeiro, Gabriel. (2010) Desenvolvimento de modelos alométricos para estimar biomassa e carbono de mudas de espécies arbóreas, em áreas atingidas por tempestades de vento em Manaus, (AM). Tesis Mag. Sc. INPA (Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia). Divisao dos Cursos de Pos-graduacao. Coordenacao de Pesquisa em silvicultura Tropical. (CPST). Laboratorio de manejo Forestal (LMF), CNPq. Manaus, Amazonas, Brasil
- Salgado Vásquez, J. L. 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
- Sakai, S. 2001. Phenological diversity in tropical forests. Popul. Ecol. 43: 77-86.
- Salas Estrada, J.B. 1993. Árboles de Nicaragua. Instituto Nicaragüense de Recursos Naturales y del Ambiente, Managua, Nicaragua.
- Sans, Carolina *et al.* 2007. determinación de parámetros y ecuaciones para estimar biomasa en plantaciones forestales. Informe Final. MGAP, INIA España e INIA Uruguay. Uruguay . 30 p.
- Santos, Mario Jorge Campos dos. 2000. Avaliacao económica de quatro modelos agroflorestais em áreas degradadas por pasta-

- gensna amazonia occidental. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de Sao Paulo. Piracicaba, 2000
- Segura, Milena; Andrade, y Hernán J. 2008. ¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes. *Agroforestería en las Américas* N° 46 (2008) 89 - 96
- Segura, M. y Kanninen, M. 2005. Allometric Models for Tree Volume and Total Aboveground Biomass in a Tropical Humid Forest in Costa Rica. En: *Biotropica* 37(1): 2–8 2005
- Silva, Roseana Pereira. 2007. Alometria, estoque e dinâmica da biomassa de florestas primárias e secundárias na região de Manaus (AM) / Roseana Pereira da Silva .--- Manaus :[s.n.], 2007. 152 p. : il. Tese (doutorado)-- INPA/UFAM, Manaus, 2007
- Standley, P.C. & J.A. Steyermark. 1946-1960. Flora of Guatemala. *Fieldiana: Botany* 24, Parts. I, II, III, IV, V y VI . Field Museum of Natural History, Chicago, EEUU.
- Standley, P.C. & L.O. Williams. 1961-1975. Flora of Guatemala. *Fieldiana: Botany* 24, Part VII, VIII, IX, XI. Field Museum of Natural History, Chicago, EEUU.
- Steyermark, J.A. 1950. Flora of Guatemala. *Ecology* 31:368-372.
- Sun, C., B.A. Kaplin, K.A. Kristensen, V. Munyaligoga, J.
- Svenning, J.C. 1999. Recruitment of tall arborescent palms in the Yasunoa National Park, Amazonian Ecuador: are large treefall gaps important? *J. Trop. Ecol.* 15: 355-366.
- Talora, D.C. & P.C. Morellato. 2000. Fenología de especies arbóreas em floresta de planície litorânea do sudeste do Brasil. *Rev. Bras. Bot.* 23: 13-26.
- Taylor, CH. 1962. Tropical forestry, with particular reference to West Africa. Oxford University Press. London. 163 p.
- Thais Maia Araujo *et al.* 1999. Comparison of formulae for biomass content determination in a tropical rain forest site in the state of Para, Brazil. En: *Forest Ecology and Management* 117 (1999) 43±52
- Vílchez, B. & O. Rocha. 2004. Fenología y biología reproductiva del nazareno (*Peltogyne purpurea* Pittier) en un bosque intervenido de la Península de Osa, Costa Rica, América Central. *Kurú: Rev. For.* 1: 1-14.

- Vílchez, B., R. Chazdon & A. Redondo. 2004. Fenología reproductiva de cinco especies forestales del bosque secundario tropical. *Kurú: Rev. For* 1: 1-10.
- Whitmore, J. L. 1999. The social and environmental importance of forest plantations with emphasis on Latin America. *Tropical Forest Science*. Pág. 255-269. EE.UU.
- Wright, S.J. & C.P. van Schaik. 1994. Light and the phenology of tropical trees. *Am. Nat.* 143: 192-199.
- Zar, J.H. 1999. *Biostatistical analysis*. Prentice Hall, Nueva Jersey, EEUU.

En el contexto nacional y regional la presente publicación ofrece ejemplos reales de aplicación de enfoques y prácticas técnicas y científicas en el manejo agroforestal en el departamento del Guaviare región del norte amazónico colombiano bajo los diversos contextos y condiciones en que ocurren, resaltando los aspectos o factores que facilitaron e impulsaron el éxito del manejo agroforestal, de tal manera que los resultados se puedan seguir o usar como ejemplo y guía. Asimismo, se propone contribuir a un proceso de construcción o fortalecimiento de políticas forestales en distintos niveles de implementación en Colombia y en especial para la Amazonia.

El estudio que se presenta en este libro comenzó a desarrollarse en el año 1995 como seguimiento a recomendaciones de la Corporación Nacional de Fomento Forestal CONIF y está basado en el conocimiento de las especies forestales y frutales que el Instituto Sinchi ha desarrollado, y sigue desarrollando en su Estación Experimental “El Trueno” y en predios de productores, y que se presenta de manera consistente en el Volumen 1 de la presente serie.

ISBN: 978-958-8317-76-2



9 789588 317762