	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

**CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA
CORPOICA**

INFORME TÉCNICO FINAL DE PRODUCTO

INSTITUCIONES PARTICIPANTES

CORPOICA-MADR-CIAT

FINANCIADO POR: MADR

Título del Macroproyecto:

Desarrollo Integral de la Altillanura

Nombre del Producto:


Variables de crecimiento (altura, diámetro) y de desarrollo índice de sitio (relaciones entre parámetros de crecimiento y volumen de madera de metros cúbicos) de especies: Acacia mangium, E pellita y P caribe en plantaciones de tres edades en la Altillanura Colombiana.

Investigador Principal

Albert julesmar Gutierrez Vanegas

Sede (s): La Libertad

Fecha: Abril de 2013


	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

Datos del producto

Entidad Financiadora:	MADR
Entidad(es) ejecutora(s):	CORPOICA-CIAT
Número del convenio	1782
Red de Producto	Red de cultivos permanentes
Gestor de Innovación	Fernando García Rubio
Fecha de iniciación	Mayo 2012 (Desembolso julio 2012)
Fecha de finalización	28 de febrero de 2013

Equipo ejecutor del producto:

Nombre del investigador	Sede	Red de Producto
Albert Julesmar Gutiérrez	C.I. La Libertad	permanentes
Fernando García Rubio	C.I. Tibaitata	permanentes
Lina Margarita Moreno	C.I. La Libertad	Transitorios

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

Nombre del investigador	Sede	Red de Producto
Nubia Stella Rodríguez	C.I. La Libertad	permanentes
Jaime Bernal Riobo	C.I. La Libertad	Transitorios
Orlando Arguello	C.I. La Libertad	permanentes

NOMBRE DEL PRODUCTO

Variables de crecimiento (altura, diámetro) y de desarrollo índice de sitio (relaciones entre parámetros de crecimiento y volumen de madera de metros cúbicos) de especies: *Acacia mangium*, *E pellita* y *P caribe* en plantaciones de tres edades en la Altillanura Colombiana.


	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

TABLA DE CONTENIDO

1	Resumen	12
2	Introducción	14
3	Materiales y Métodos.....	15
3.1	Plantaciones monitoreadas y selección de sitios	15
3.1.1	Recolección de información.....	16
3.1.2	Instalación de parcelas_ Unidad muestral	16
3.1.3	Marcado y numeración de arboles.....	16
3.1.4	Materiales	17
3.1.5	Evaluación de variables descriptivas	17
3.1.6	Evaluación de variables cuantitativas	18
3.2	Muestreo físico de suelos.....	18
3.2.1	Materiales	19
3.3	Muestreo químico de suelos	19
3.4	Muestreo microbiológico de suelos	20
3.4.1	Materiales	20
3.5	Muestreo foliar	20
3.5.1	Materiales	20
3.6	Cubicación	21

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

3.6.1	Marcado del árbol	21
3.6.2	Apeo y desrame de los árboles	21
3.6.3	Marcado de secciones.....	21
3.6.4	Variables a medir.....	22
3.6.5	Materiales	22
3.6.6	Estimación del volumen.....	22
3.6.7	Ajuste de modelos de volumen y de perfiles fustales	22
3.7	Desarrollo de modelos de crecimiento y rendimiento.....	23
3.7.1	Desarrollo de modelos de crecimiento.....	24
3.8	CLASIFICACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DE SITIO.....	27
3.8.1	Clase de sitio	28
3.9	Metodología estadística	29
4	Resultados y Discusión.....	31
4.1	Variables climáticas.....	31
4.2	Variables edáficas.....	32
4.3	Variables dasométricas	33
4.3.1	Modelo de volumen y ahusamiento seleccionado	33
4.3.2	Modelos de crecimiento y rendimiento ajustados	35
4.3.3	Clasificación de la productividad de sitio	41

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

4.4	Variables Químicas Suelos	44
4.5	Variables físicas de suelos	47
4.6	Variables microbiológicas del suelo	50
5	Transferencia	53
6	Conclusiones	53
7	Recomendaciones	56
8	Bibliografía citada	57
10.	Impactos del producto	61

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Formulario de recolección de información.....	62
Tabla 2. Códigos de variables descriptivas	63
Tabla 3. Formulario para la toma de datos en parcelas	64
Tabla 4. Propiedades físicas del suelo evaluadas y su metodología. (laboratorio de física de suelos CORPOICA C.I. La Libertad).....	65
Tabla 5. Propiedades químicas del suelo evaluadas y su metodología. (Laboratorio de química de suelos de Corpoica C.I. Tibaitata).....	65
Tabla 6. Propiedades foliares químicas evaluadas y su metodología. (Laboratorio de química de suelos de Corpoica C.I. Tibaitata).....	66
Tabla 7. Formulario para cubicación	67
Tabla 8. Distribución por especie, año de plantación y municipio de las parcelas permanentes de monitoreo.....	68
Tabla 9. Parámetros estimados para los modelos de volumen total de árboles individuales de A. mangium, E. pellita y P. caribaea.	69
Tabla 10. Parámetros estimados para el modelo de perfil fustal de árboles individuales de A. mangium, E. pellita y P. caribaea	70
Tabla 11. Parámetros estimados para el modelo de proyección de altura dominante y/o índice de sitio.	71
Tabla 12. Parámetros estimados para el modelo de proyección de área basal. ...	71
Tabla 13. Parámetros estimados para el modelo de inicialización de área basal.	71
Tabla 14. Parámetros estimados para el modelo de proyección de número de árboles.	71
Tabla 15. Parámetros estimados para el modelo auxiliar de altura-diámetro.....	72

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

Tabla 16. Parámetros estimados para los modelos auxiliares de diámetro medio (D), mínimo (Dmin) y dominante (Dd)	72
Tabla 17. Clasificación de las parcelas permanentes de <i>A. mangium</i> bajo cuatro clases de sitio en la Orinoquia Colombiana.	73
Tabla 18. Clasificación de las parcelas permanentes de <i>E. pellita</i> bajo cuatro clases de sitio en la Orinoquia Colombiana.	73
Tabla 19. Clasificación de las parcelas permanentes de <i>P. caribaea</i> bajo cuatro clases de sitio en la Orinoquia Colombiana.	73
Tabla 20. Estadística descriptiva de las variables químicas del suelo asociadas a 152 parcelas forestales de las especies <i>Acacia mangium</i> , <i>Eucalyptus pellita</i> y <i>Pinus caribaea</i> . (n= 152 parcelas).....	74
Tabla 21. Variabilidad de las variables independientes explicada por los parámetros químicos del suelo evaluados en parcelas forestales (test de Monte Carlo, n=157 parcelas).....	75
Tabla 22. Estadística descriptiva de las variables físicas del suelo asociadas a parcelas forestales de las especies <i>Acacia mangium</i> , <i>Eucalyptus pellita</i> y <i>Pinus caribaea</i> . (n= 107 parcelas).....	75
Tabla 23. Variabilidad de las variables independientes de acuerdo a las características físicas del suelo (test de Monte Carlo n=107 parcelas).....	76

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Diseño de parcelas de monitoreo y toma de muestras	77
Figura 2. Esquema metodológico para la cubicación de árboles.	78
Figura 3. Ubicación geográfica de las 159 parcelas de monitoreo establecidas en los municipios de Puerto López y Puerto Gaitán (Meta) y Cumaribo, La Primavera Y Puerto Carreño Vichada.	78
Figura 4. Comportamiento de los modelos seleccionados en la predicción de volúmenes con y sin corteza para <i>A. mangium</i> (a), <i>E. pellita</i> (b) y <i>P. caribaea</i> (c) respecto a la variable combinada (D^2H).	79
Figura 5. Comportamiento del modelo de Max y Burkhardt (1976) en la predicción de diámetros de sección con corteza y sin corteza de <i>A. mangium</i> (a), <i>E. pellita</i> (b) y <i>P. caribaea</i> (c), respectivamente.	80
Figura 6. Capacidad predictiva del modelo de Max y Burkhardt (1976) ajustado a partir de perfiles fustales de <i>A. mangium</i> (a), <i>E. pellita</i> (b) y <i>P. caribaea</i> (c).	81
Figura 7. Proyección de la altura dominante para <i>A. mangium</i>	81
Figura 8. Proyección de la altura dominante para <i>Eucalyptus pellita</i>	82
Figura 9. Proyección de la altura dominante para <i>Pinus caribaea</i>	82
Figura 10. Proyección del área basal para <i>Acacia mangium</i>	83
Figura 11. Proyección del área basal para <i>Eucalyptus pellita</i>	83
Figura 12. Proyección del área basal para <i>Pinus caribaea</i>	84
Figura 13. Proyección del número de árboles para <i>Acacia mangium</i>	84
Figura 14. Proyección del número de árboles para <i>Eucalyptus pellita</i>	85
Figura 15. Proyección del número de árboles para <i>Pinus caribaea</i>	85



	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013


Figura 16. Relación altura-diámetro para <i>A. mangium</i> (a), <i>E. pellita</i> (b) y <i>P. caribaea</i> (c).	86
Figura 17. Comportamiento de los diámetros, medio, mínimo y dominante para <i>A. mangium</i> (a), <i>E. pellita</i> (b) y <i>P. caribaea</i> (c).	87
Figura 18. Clases de productividad para <i>Acacia mangium</i> con una edad clave de 6 años.	88
Figura 19. Clases de productividad para <i>Eucalyptus pellita</i> con una edad clave de 8 años.	89
Figura 20. Clases de productividad para <i>Pinus caribaea</i> con una edad clave de 12 años.	90
Figura 30. Distribución de parámetros químicos del suelo de 152 parcelas forestales. A) Parámetros originales y B) parámetros normalizados.....	91
Figura 31. Proyección de las variables químicas en el suelo evaluadas en todos los puntos en el círculo de correlación en los componentes CP1 y CP2.....	91
Figura 32. Dispersión de las variables químicas del suelo evaluadas en 153 parcelas forestales de las especies (<i>Acacia mangium</i>), (<i>Eucalyptus pellita</i>) y (<i>Pinus caribaea</i>), en función de: A) plantaciones, B) unidades de suelos, C) municipios y D) densidad de plantación (número de árboles por ha).	92
Figura 33. Distribución de parámetros físicos del suelo de 107 parcelas forestales. A) Parámetros originales y B) parámetros normalizados.	93
Figura 34. Proyección de las variables físicas en el suelo evaluadas en todos los puntos en el círculo de correlación en los componentes CP1 y CP2.	93
Figura 35. Dispersión de las variables físicas del suelo evaluadas en 107 parcelas forestales de las especies (<i>Acacia mangium</i>), (<i>Eucalyptus pellita</i>) y (<i>Pinus</i>	

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

caribea), en función de: A) plantaciones, B) unidades de suelos, C) municipios y D) densidad de plantación.....	94
Figura 37. Número de esporas encontrado en los suelos donde se han establecido especies forestales de Acacia (<i>A. mangium</i>), Eucalipto (<i>Eucalyptus pellita</i>) y Pino (<i>Pinus caribea</i>)	95
Figura 38. Porcentaje de colonización de los hongos formadores de micorrizas arbusculares sobre las raíces de las especies forestales Acacia (<i>A. mangium</i>), Eucalipto (<i>Eucalyptus pellita</i>) y Pino (<i>Pinus caribea</i>).	95

LISTADO DE ANEXOS

Anexo 1. (Listado de Tablas).....	62
Anexo 2. (Listado de Figuras)	77

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

1 RESUMEN

En Colombia, en la actualidad se cuenta con un total de 352.204 hectáreas sembradas en 5 núcleos identificados, donde se encuentra la Zona Caribe, Antioquia, Orinoquia, Magdalena Medio Alto y Bajo y la Región Pacífica, que en los últimos cuatro años el incremento ha sido mayor al 40% del área cultivada en el país (MADR, 2012).

Sin embargo, este crecimiento no es garantía de la calidad en las plantaciones, pues existen múltiples tecnologías que se han venido aplicando para el establecimiento y manejo de las mismas. La heterogeneidad de suelos y los requerimientos naturales de las especies hace que la respuesta de éstas a las condiciones del sitio sean diversas proyectando diferentes desarrollos en cada localidad.

Uno de los factores que ha incidido desfavorablemente en el desarrollo de la reforestación es el desconocimiento de indicadores de productividad por sitio para la actividad silvícola. Al respecto, las condiciones de desarrollo en ocasiones no corresponden al período productivo de la plantación sino a las condiciones naturales del sitio y a la tecnología aplicada.

Se ha observado que a medida que se incorpora conocimiento en los sistemas productivos y en la producción, éstos mejoran sustancialmente su eficiencia para manejar recursos, su productividad y su competitividad en los mercados, de esta

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

manera se obtienen mejores dividendos y rentabilidad para las empresas y mejores beneficios económicos y sociales para las comunidades regionales o nacionales de las cuales ellas forman parte (MADR, 2007).

En el caso particular, con este proyecto se pretende obtener una evaluación de la “calidad de sitio forestal”; este criterio se utiliza para denotar la productividad relativa de un sitio para una especie forestal particular a una edad determinada (Rojas, 2003). Esta evaluación y diagnóstico se obtiene de la combinación de las condiciones tecnológicas aplicadas en el establecimiento y las características bióticas, climáticas, edáficas del área donde se establecieron las especies forestales.

Lo anterior servirá de marco orientador a reforestadores e inversionistas para conocer el estado de desarrollo de sus plantaciones en términos de: volumen de madera por unidad de superficie en un período de tiempo determinado; las condiciones de suelo vs el potencial de desarrollo de las especies y su proyección en el tiempo y en general obtener recomendaciones tecnológicas por sitio para el manejo y mejoramiento de plantaciones forestales comerciales en la Altillanura Colombiana; igualmente con el desarrollo de este producto parcial se busca validar y generar estándares para el monitoreo de plantaciones en diferentes regiones y diversas edades. La consolidación de estas alternativas permitirá generar un sector mucho más competitivo.

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

Para cumplir con las actividades propuestas se establecieron 159 parcelas de monitoreo permanente distribuidas en plantaciones comerciales ubicadas en los municipios de Puerto López y Puerto Gaitán en el departamento del Meta y en los municipios de Cumaribo, La Primavera y Puerto Carreño en el departamento del Vichada, donde se obtuvo las variables tecnológicas de 19 plantaciones, variables foliares, físicas, químicas, microbiológicas y dasométricas de 159 parcelas y la cubicación de 35 árboles de Acacia, 20 de Eucalipto y 29 de Pino.

Palabras claves: **Monitoreo, dasometría, cubicación, Índice de sitio, suelos**

2 INTRODUCCIÓN

La potencialidad y perspectivas de desarrollo que tiene el sector forestal como actividad empresarial en la Orinoquia, es tan inmensa como sus llanuras; así lo evidencia el acelerado proceso del incremento en inversiones públicas y privadas que en los últimos años se registra en nuevas plantaciones (Fonseca & García, 2007).

El proyecto busca obtener una evaluación de la “calidad de sitio forestal”; este término se utiliza para denotar la productividad relativa de un sitio para una especie forestal particular en una edad determinada (FAO 1985; citado por Alvarado & Raigosa, 2007). Esta evaluación y diagnóstico se obtiene de la combinación de las condiciones tecnológicas aplicadas en el establecimiento y de

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

las características bióticas, climáticas, edáficas del área donde se establecieron las especies forestales.

Lo anterior servirá de marco orientador a reforestadores e inversionistas para conocer el estado de desarrollo de sus plantaciones y obtener recomendaciones tecnológicas por sitio para el manejo y mejoramiento de plantaciones forestales comerciales en la Altillanura colombiana.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

Las parcelas se establecieron siguiendo el protocolo para la instalación y medición de la red de parcelas permanentes de monitoreo de crecimiento y rendimiento, adoptado por CONIF, y ajustado para la realización del proyecto por la institución ejecutora CORPOICA y CONIF como aliado estratégico.

3.1 Plantaciones monitoreadas y selección de sitios

Se monitorearon plantaciones forestales comerciales establecidas en la Altillanura Colombiana comprendida entre los departamentos de Meta y Vichada en los municipios de Puerto López, Puerto Gaitán, Cumaribo, Puerto Carreño y La Primavera. Donde se establecieron parcelas de monitoreo permanente en lotes de las especies: *Acacia mangium*, *Pino caribaea* y *Eucalipto pellita*, con diferentes edades de establecimiento para cubrir el mayor rango de condiciones, además se realizó la cubicación de árboles con el fin de generar las ecuaciones alométricas

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

de cada especie y generar el cálculo de volumen de madera en metros cúbicos de cada especie en cada plantación.

3.1.1 Recolección de información


Se aplicó una encuesta con el fin de recolectar información sobre el manejo de cada plantación: ubicación, área, diseño, preparación del terreno, época y método de establecimiento, manejo silvicultural entre otros (ver tabla 1).

3.1.2 Instalación de parcelas_ Unidad muestral

Para cada especie y edad se establecieron tres parcelas, cada una con radio de 12.61 metros con una área total de 500 m², cada una de las parcelas se georeferencia buscando un rango de distancia entre unas y otra de 200 m, teniendo en cuenta que la zona seleccionada sea representativa de las condiciones bajo las cuales se desarrolla la plantación a evaluar.

3.1.3 Marcado y numeración de arboles

Se ubican los arboles siendo el número uno el que se ubique en el norte, a partir de este se enumeran los demás árboles en forma secuencial en sentido de las manecillas del reloj teniendo en cuenta la visual de cada uno midiendo la distancia a partir del punto central de la parcela hasta la posición de cada árbol (Figura 1).

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

3.1.4 Materiales

GPS

Brújula

Pintura de color blanco, amarillo o rojo

Pincel o brocha

Cinta métrica de 30 mts

Plaquetas metálicas (para parcelas de árboles jóvenes que no tiene grosor suficiente para ser pintados)


Repujador (para parcelas de árboles jóvenes que no tiene grosor suficiente para ser pintados)

Hilo o terlenka (para parcelas de árboles jóvenes que no tiene grosor suficiente para ser pintados)

3.1.5 Evaluación de variables descriptivas

- Condición del árbol
- Posición sociológica
- Calidad fustal

Las variables descriptivas (Tabla 2) fueron evaluadas en todos los árboles que conforman la parcela.

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

3.1.6 Evaluación de variables cuantitativas

- En todos los árboles de la parcela se midió el DAP, diámetro a 1.30 m (*d*)
- Se seleccionó una submuestra de 16 árboles codominantes, cuatro por cuadrante a los cuales se les tomo la altura total (*h*) y altura de la copa (*hc*). Tabla 3.

3.1.6.1 Materiales


Vertex 5

Cinta Diamétrica Forestry Suppliers inc.

3.2 Muestreo físico de suelos

- Cerca al punto central de cada parcela se toma la muestra para determinación de densidad aparente, solo cuando la preparación del terreno se realizó en franjas se tomaron muestras en calle y surco.
- Cerca al punto central con un barreno se realiza el perfil de suelo para observar las características del suelo tales como moteados, presencia de capas endurecidas entre otras.
- Con un penetraógrafo se midió la resistencia que opone el suelo a la penetración (compactación).

Como una prueba adicional a las determinaciones de física en el laboratorio, se llevó a cabo en campo la evaluación de la resistencia mecánica a la penetración.

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

Estas pruebas, se realizaron también en todas las parcelas cerca al punto central.

3.2.1 Materiales

Muestreador de densidad aparente

Barreno


Cinta de costura

Medidor de Compactación de suelos SC-900 FieldScout

En laboratorio se determinó densidad aparente, densidad real, textura, conductividad hidráulica, humedad gravimétrica y contenido de humedad diferentes tensiones de acuerdo a los métodos establecidos por el laboratorio de suelos del CORPOICA C.I La Libertad (Ver tabla 4).

3.3 Muestreo químico de suelos

De los cuatro arboles por cuadrante se seleccionan dos y en la gotera de cada uno de estos árboles se toma una submuestra de suelo con barreno de 0-10 cm de profundidad para obtener una muestra compuesta. En laboratorio se determinó: pH, materia orgánica, saturación de aluminio, elementos mayores y menores, de acuerdo a los métodos establecidos por el laboratorio de química del CORPOICA C.I Tibaitata (Ver tabla 5).

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

3.4 Muestreo microbiológico de suelos

En el sitio de muestreo químico se tomó una muestra de 200gr de suelo tratando de sacar la mayor cantidad de raíces. Suelo rizósferico y raíces de plantas para la cuantificación del número de esporas de hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) siguiendo la metodología de tamizado y decantación (Genderman y Nicholson, 1963) y la determinación del porcentaje de colonización (Phillips y Hayman, 1970)

3.4.1 Materiales

Barreno

Bolsas plásticas de 2 Kg y 200 gr


3.5 Muestreo foliar

Sobre los mismos árboles se recolectó la submuestra foliar en la parte media de la copa seleccionando hojas bien formadas.

3.5.1 Materiales

Desjarretadora

Bolsas de papel de 1Kg

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

En laboratorio se determinó: análisis químico total (elementos mayores y menores), de acuerdo a los métodos establecidos por el laboratorio de química del CORPOICA C.I Tibaitata (Ver tabla 6).

3.6 Cubicación

El número de árboles cubicados dependió de la disposición de los propietarios de las plantaciones.

3.6.1 Marcado del árbol

Se seleccionaron los árboles que siempre deben ser dominantes y se marcaron con una x para identificarlos.

3.6.2 Apeo y desrame de los árboles

Con la motosierra se voltearon y desramaron todos los arboles seleccionados.

3.6.3 Marcado de secciones

Derribados los árboles se marcaron cada una de las secciones a medir a distancias de 1 m, desde la base del árbol tomando una medida adicional a los 50 cm de la altura del tocón (ver figura 2).

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

3.6.4 Variables a medir

En cada árbol que se seleccione para la cubicación se tomara el registro de diámetros con corteza y sin corteza en cada una de las secciones marcadas, midiendo además la altura del tocón y su diámetro con y sin corteza (Ver tabla 7).

3.6.5 Materiales

Motosierra

Pintura

Machete

Forcípula Haglof de 50 cm

Decámetro

3.6.6 Estimación del volumen

Para la estimación del volumen total de cada uno de los árboles, cada sección se cubica utilizando la fórmula de aproximación de *Smalian*; y a partir de la suma del volumen de cada una de las secciones de cada árbol se obtiene la base de datos para el ajuste de modelos de volumen. (Ver Anexo 3)

3.6.7 Ajuste de modelos de volumen y de perfiles fustales

Se ajustaran tres modelos de volumen, con y sin corteza para cada especie, del cual se selecciona el que presente los mejores estadísticos de ajuste, coeficiente

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

de determinación (R^2) y el error estándar de estimación (S_{yx}) y la mejor capacidad predictiva evaluada en forma gráfica. Modelo 1 (*Spurr, 1952*); modelo 2 (*Shumacher y Hall, 1993*) y modelo 3 (*Burkhart, 1977*) y para el modelo de perfil fustal o ahusamiento ajustado corresponde al modelo de Max y Burkhart (1976). (Ver Anexo 3)

Para la selección del modelo final se tiene en cuenta la significación de los parámetros, el coeficiente de determinación y el error estándar de la estimación. Los modelos se ajustaran utilizando regresión lineal, regresión múltiple, y regresión no lineal, empleando rutinas contenidas en SAS en el procedimiento REG y MODEL.

3.7 Desarrollo de modelos de crecimiento y rendimiento

Para el ajuste de modelos de crecimiento de *A. mangium*, *E. pellita* y *P. caribaea* se contó con tres bases de datos diferentes, la primera de ellas comprende la base de datos de crecimiento del proyecto “Red Nacional de Parcelas Permanentes” desarrollado por CONIF con financiamiento del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) finalizado en el 2002. Esta base de datos está integrada por 15 parcelas permanentes de crecimiento y rendimiento, siete de *E. pellita* y ocho de *P. caribaea*, la cual registra mediciones de diámetros y alturas de árboles en plantaciones de estas especies con edades entre 1,45 a 11 y 2,53 a 12 años, respectivamente. Estas parcelas están ubicadas en el municipio de

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

Villanueva, Casanare, tuvieron forma rectangular con una superficie fija de 1000 m² y cuentan con tres mediciones consecutivas.

La segunda base de datos empleada en el ajuste de modelos de crecimiento y rendimiento forestal proviene de una red de parcelas instalada por CONIF a comienzos del año 2012, a través del proyecto CIF – SEMILLAS entre CONIF y el MADR. Esta base de datos está integrada por 39 parcelas permanentes de *A. mangium* con registro de mediciones de diámetros y alturas, instaladas en plantaciones entre 0,5 y 3,6 años de edad. Estas parcelas cuentan con una única medición, tuvieron forma circular con una superficie de 500 m²

La tercera base de datos empleada en el ajuste de modelos hace parte integral del presente estudio, cuenta con 159 parcelas permanentes, 78 de *A. mangium*, 45 de *E. pellita* y 36 de *P. caribaea*, con edades entre 1,35 a 5,55, 1,10 a 5,31 y 0,90 a 5,55 años, respectivamente. Estas parcelas se instalaron en el segundo semestre de 2012, tuvieron forma circular de 500 m²

3.7.1 Desarrollo de modelos de crecimiento

Las variables de crecimiento estudiadas fueron: Altura dominante (H_d)/índice de sitio (IS); Área basal por hectárea (G); Mortalidad (N); Relación altura – diámetro ($H-D$); Modelos auxiliares de diámetros, medio (\bar{D}), mínimo (D_{min}) y dominante (D_d). (Ver Anexo 3)

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013


Las variables independientes, es decir, aquellas con las cuales se estiman las variables en estudio, fueron edad, índice de sitio, densidad, diámetro medio cuadrático y área basal. Los principios estadísticos para el desarrollo de ecuaciones fueron regresión lineal, regresión múltiple, y regresión no lineal, y regresión no lineal mixta. En todos los casos se empleó las rutinas contenidas en SAS en los procedimientos MODEL y NLMIXED.

3.7.1.1 Modelo de proyección de altura dominante

Técnicas estadísticas de modelamiento no lineal con efectos mixtos se utilizaron para obtener estimadores para el modelo de Chapman y Richards (1961). (Ver Anexo 3)

3.7.1.2 Modelo de proyección de área basal

El crecimiento en área basal de un rodal depende de su edad, de su densidad (definida por el número de árboles por hectárea o el área basal inicial) y de la productividad del sitio (Diéguez *et al.*, 2005). Debido a la escasa información disponible en el estudio se optó por el empleo de la función de Korf (1939). Al igual que el modelo de índice de sitio se empleó técnicas de regresión no lineal mixta en su ajuste. (Ver Anexo 3)


	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

3.7.1.3 Modelo de proyección de número de árboles

Una parte importante en los modelos de crecimiento y rendimiento a nivel de rodal es la ecuación de transición de número de árboles por hectárea (Zhao *et al.*, 2007). La predicción precisa de la mortalidad es esencial en la estimación de la productividad de un rodal, ya que está estrechamente relacionada con el área basal del rodal y el tamaño de los árboles. En el caso particular del presente estudio se ajustó el modelo de Woollons (1998), aplicando técnicas de regresión no lineal con efectos mixtos.

3.7.1.4 Modelo auxiliar de *H-D*

Las funciones que representan la relación existente entre la altura y el diámetro pueden ser de tipo local, ajustada para cada rodal o de tipo regional en la cual se incluyen parámetros de rodal como la altura y diámetro de dominantes, número de árboles, área basal, etc., con los cuales se busca incorporar en el modelo la variabilidad existente entre cada rodal, que afecta en cierta medida la relación existente entre la altura y el diámetro de cada árbol. Estas funciones son de gran utilidad dado que la altura es la variable de mayor complejidad de medir en las plantaciones forestales por lo que generalmente solo se toma la altura a una submuestra de árboles. El modelo seleccionado en el estudio corresponde al propuesto por Omule y Mac Donald (1991), el cual es un modelo de tipo regional o generalizado, incluye en su estructura parámetros de rodal como la altura y diámetro de dominantes, lo cual permite emplear una sola ecuación para la

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013


estimación de las alturas faltantes o su integración en un modelo de simulación de crecimiento y rendimiento forestal. (Ver Anexo 3)

3.7.1.5 Modelos auxiliares de diámetros, medio, mínimo y dominante

En el sistema de simulación de crecimiento y rendimiento empleado en el estudio se requiere contar con un set de ecuaciones que permitan estimar los diámetros medio, mínimo y dominante en cada edad de la plantación, los cuales están directamente relacionados con las variables de rodal como la altura dominante y el diámetro medio cuadrático. El diámetro mínimo y medio son requeridos para aplicar un algoritmo de recuperación de parámetros de la función de densidad de Weibull y el diámetro de dominante es requerido como variable independiente en el modelo de la relación altura-diámetro. (Ver Anexo 3)

3.8 CLASIFICACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DE SITIO

Para el análisis de la productividad de sitio se empleó la base de datos obtenida en la ejecución del presente proyecto. El procesamiento de las parcelas en este análisis consistió en la generación de las variables agregadas a nivel de rodal y la determinación del índice de sitio para cada parcela a partir de las funciones ajustadas para cada especie.

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

3.8.1 Clase de sitio

La técnica utilizada en el presente estudio, es la que se conoce como Índice de Sitio (IS). El IS se define como la altura dominante que pueden alcanzar los árboles de un rodal a una edad determinada, la cual se toma como edad base (Vásquez y Ugalde, 1995). A partir del índice de sitio estimado para cada parcela estimado utilizando la ecuación de índice de sitio ajustada en el presente estudio, se construyeron cuatro clases de sitio para cada especie. Esta clasificación se construyó a partir del valor del índice de sitio promedio (percentil 50) de las parcelas de cada especie y los percentiles 25 y 75 de su distribución. El propósito de emplear esta clasificación es identificar los grupos de parcelas que presentan un desarrollo similar y hacer una estratificación de la productividad, las clases de sitio se definieron como:

Clase I: se ubican las parcelas que presentaron los índices de sitio más altos, con crecimientos por encima del percentil 75 de la distribución de índices de sitio de cada especie.

Clase II: se ubican las parcelas que presentaron índices de sitio medio alto, las cuales están por encima de la línea promedio (percentil 50) y por debajo de la línea demarcada por el percentil 75.

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013


Clase III: se ubican las parcelas que presentaron índices de sitio medio bajo estando entre la línea de índice sitio promedio (percentil 50) y la línea descrita por el percentil 25.

Clase IV: se ubican las parcelas que presentaron los índices de sitio más bajos estando por debajo de la línea de índice de sitio representada por el percentil 25.

3.9 Metodología estadística

De otra parte, los datos fueron sometidos a análisis de componentes principales, técnica estadística multivariadas, aplicada a las variables registradas (Castaño y Moreno 1994). Se considera como una herramienta estadística adecuada ya que por medio de él, es posible crear el indicador (Rodríguez; Lavelle *et. al.* 2012), como la combinación lineal de características que es capaz de explicar la mayor parte de la variabilidad del conjunto de variables originales. Para realizar el análisis multivariado y de componentes principales se ha utilizado el programa R el cual es de libre acceso. (<http://www.r-project.org/>)

Las pruebas estadísticas de precisión permiten obtener un nivel de significancia exacto, sin confiar en supuestos que los datos podrían no cumplir, es el caso de la prueba de Monte Carlo. Se requiere contar con el paquete de datos ADE4 (análisis de datos ecológicos y ambientales con procedimientos exploratorios euclidianos) que permite realizar la prueba de Monte Carlo.

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

Mediante una prueba Monte Carlo la significancia de una prueba estadística observada es evaluada comparándola con una prueba estadística obtenida mediante la generación de números aleatorios utilizando algún modelo probabilístico asumido (Manly 1998) citado por Orozco, 2003.

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se establecieron 159 parcelas de monitoreo permanente distribuidas en plantaciones comerciales ubicadas en los municipios de Puerto López y Puerto Gaitán en el departamento del Meta y en los municipios de Cumaribo, La Primavera y Puerto Carreño en el departamento del Vichada, donde se obtuvo las variables tecnológicas de 19 plantaciones, variables foliares, físicas, químicas, microbiológicas y dasométricas de 159 parcelas y la cubicación de 35 árboles de Acacia, 20 árboles de Eucalipto y 29 de Pino. (Tabla 8 y Figura 3)


De la tabla 8 se tiene que de las 159 parcelas, 78 son de la especie Acacia (*A. mangium*), 45 de Eucalipto (*E. pellita*) y 36 de Pino (*P. caribea*).

4.1 Variables climáticas

Las parcelas de acuerdo (IGAC, 1998; Worldclim, 2000) se encuentran distribuidas en tres unidades bioclimáticas, a saber:

AmiB2 (Tropical lluviosos de bosque moderadamente húmedo, que presenta una precipitación entre 2251 mm y 2647mm; temperatura mínima promedia multianual de 22.1°C y temperatura máxima promedia multianual de 31.4°C.

AwiB1 (Tropical lluvioso de sabana ligeramente húmedo) que presenta una precipitación entre 2269 mm y 2706mm; temperatura mínima promedia multianual de 22.0°C y temperatura máxima promedia multianual de 31.3°C.

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013


Awic2 (Tropical lluvioso de sabana semihúmedo) que presenta una precipitación entre 2161 mm y 2550mm; temperatura mínima promedio multianual de 23.0°C y temperatura máxima promedio multianual de 32.6°C.

4.2 Variables edáficas

Como cada una de las parcelas tiene su localización geográfica (latitud Norte, longitud Oeste), se localizaron en los mapas de unidades de suelos de los departamentos de Meta y Vichada encontrándose que las parcelas se localizan en tres unidades de suelo Altillanura, Lomerío y Peniplanicie. Las parcelas 159 parcelas se encuentran distribuidas así:

78 parcelas de la especie *A. mangium*, 54 están en suelos de altillanura distribuidas en 7 unidades cartográficas de paisaje (AVAa1, AVBc1, AVBd2, AVDa, AVDbi, AVFb y AVGaz) ; 12 en suelos de lomerío distribuidas en 3 unidades cartográficas de paisaje (LVHdc2, LVJbc1 y LVKbc1) y 12 en suelos de peniplanicie distribuidas en 1 unidad cartográfica de paisaje (SVAb1).

45 parcelas de la especie *E. pellita*, 35 están en suelos de altillanura distribuidas en 6 unidades cartográficas de paisaje (AVAa, AVAa1, AVBc1, AVBd2, AVDa, y AVGaz); 4 en suelos de lomerío distribuida en 1 unidad cartográfica de paisaje (LVGdc2) y 6 en suelos de peniplanicie distribuidas en 1 unidad cartográfica de paisaje (SVAb1);

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

36 parcelas de la especie *P. caribea*, 30 están en suelos de altillanura distribuidas en 5 unidades cartográficas de paisaje (AVAa, AVAa1, AVBc1, AVBd2 y AVCa) y 6 en suelos de lomerío distribuidas en 2 unidades cartográficas de paisaje (LVHdc2 y LVKbc1).

4.3 Variables dasométricas


Este ítem en particular fue desarrollado, analizado por CONIF dentro del marco de un convenio de cooperación técnica entre CORPOICA y esta Corporación. Del informe técnico (Anexo 3) “**Crecimiento y rendimiento de plantaciones de *Acacia mangium*, *Eucalyptus pellita* y *Pinus caribea* en la Orinoquia Colombiana**” se toman apartes para la el desarrollo de este ítem.

4.3.1 Modelo de volumen y ahusamiento seleccionado

Se presentan los resultados del ajuste de modelos de volumen y ahusamiento para *A. mangium*, *E. pellita* y *P. caribaea*, con sus respectivas medidas ajuste, coeficiente de determinación (R^2), error estándar de la estimación (S_{yx}) y los parámetros para cada modelo.

4.3.1.1 Modelo de volumen ajustado

Los modelos seleccionados para la estimación de volúmenes con y sin corteza de árboles de *A. mangium*, *E. pellita* y *P. caribaea* se presentan en la tabla 4. Los


	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

modelos presentan un buen ajuste a los datos como se puede observar en la figura 4. Todos los parámetros de los modelos dieron significativos y presentaron R^2 desde 0,88 a 0,98.

4.3.1.2 Modelo de ahusamiento ajustado

Los coeficientes ajustados del modelo de ahusamiento aplicado en la predicción de diámetros de sección con corteza y sin corteza en árboles de *A. mangium*, *E. pellita* y *P. caribaea* se presentan en la tabla 10. Todos los parámetros de la función de ahusamiento de Max y Burkhardt (1976) dieron significativos. Como se puede observar este modelo se ajusta satisfactoriamente a los datos de perfiles fustales de las tres especies, explicando hasta un 97% la variabilidad de los diámetros a diferentes alturas. El comportamiento de este modelo en la estimación de diámetros con y sin corteza de árboles de *A. mangium*, *E. pellita* y *P. caribaea* se puede apreciar en la figura 5.

El modelo predice diámetros de manera consistente y sin entrecruzamientos de los perfiles, también es importante resaltar que el modelo estima valores de diámetros coherentemente aun en árboles de pequeñas dimensiones. (Figura 6)

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013


4.3.2 Modelos de crecimiento y rendimiento ajustados

4.3.2.1 Modelo de proyección de altura dominante

Los parámetros ajustados de los modelos de altura dominante o índice de sitio de *A. mangium*, *E. pellita* y *P. caribaea* se presentan en la tabla 6, el comportamiento de estos modelos se puede apreciar en las figuras 7, 8 y 9, en los que se observa cómo se describen las tendencias observadas en la evolución de la altura dominante con la edad para las tres especies. Todos los parámetros de la función de altura dominante fueron significativos y los valores del parámetro b_0 son consistentes biológicamente al representar la asíntota (altura dominante máxima) para cada especie; para *A. mangium* se muestra que la especie puede llegar hasta una altura de 19 metros, *E. pellita* 30 metros y *P. caribaea* 24 metros.

Es de anotar que a partir de estos modelos se puede obtener directamente la altura dominante a una edad futura a partir de la altura dominante a la edad actual. También permiten estimar la altura dominante a una edad determinada a partir del índice de sitio y la edad de referencia.

En la figura 7 se presentan los pares de datos de altura dominante con respecto a la edad de *A. mangium* con las trayectorias del modelo, mostrando que existe gran variabilidad en los datos, por ejemplo para una edad de 1,5 años se encuentran alturas dominantes desde 2 hasta 10 metros, con promedios de 5 metros para el departamento del Vichada y de 6,6 metros en el departamento del Meta para esta misma edad. Para una edad de aproximadamente 4 años igual

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

se presenta un mayor crecimiento de altura dominante en las parcelas ubicadas en el departamento del Meta con un promedio de 14 metros comparado con las parcelas instaladas en el departamento del Vichada con 11 metros en promedio

En la figura 8 se presentan los pares de datos de altura dominante con respecto a la edad de *E. pellita* y las trayectoria de crecimiento en altura dominante de las parcelas instaladas por CONIF en el año 2002, empleadas en el estudio para el ajuste de las funciones, con el objeto de dar mayor consistencia y capacidad predictiva al modelo. En esta figura se puede observar que los datos de las parcelas instaladas durante el 2012-2013 tienen una tendencia en crecimiento en altura dominante más baja comparada a las monitoreadas en el departamento del Casanare. Al evaluar gráficamente las tendencias del modelo de altura dominante de *E. pellita* se concluye que tiene un buen ajuste al set de datos empleados y tiene la capacidad de proyectar la variabilidad en altura dominante muestreada en terreno

En la figura 9 se presentan los pares de datos de altura dominante con respecto a la edad de *P. caribaea* y las trayectoria de crecimiento en altura dominante de las parcelas instaladas por CONIF en el año 2002. En esta figura se observa que los datos de las parcelas instaladas durante el periodo 2012-2013 tienen una tendencia en crecimiento en altura dominante más baja comparada a las monitoreadas en el departamento del Casanare. Para esta especie hay solo dos parcelas instaladas en el departamento del Meta que presentan una tendencia de crecimiento en altura dominante igual a las del Casanare alcanzando una altura

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013


de casi 14 metros a los cinco años de edad. El modelo de altura dominante de *P. caribaea* presenta un buen ajuste al conjunto de datos empleados y tiene una buena capacidad predictiva para el rango de datos muestreados en terreno.

4.3.2.2 Modelo de proyección de área basal

En la tabla 12 se presentan los resultados del ajuste de los modelos de proyección de área basal para las tres especies. Todos los parámetros de los modelos fueron significativos para un nivel de confianza del 95%. El parámetro b_0 , el cual representa la asíntota en área basal, presentó valores que se encuentran entre los rangos biológicamente esperados, aunque para *A. mangium*, el valor de este parámetro 16,46 resulta bajo siendo explicado por el reducido set de datos empleado, sin representatividad de edades superiores. Caso contrario se observó con *E. pellita* y *P. caribaea* para las que el parámetro b_0 presentó valores mucho más altos.

Los parámetros de los modelos de área basal de inicialización se presentan en la tabla 13. Se aprecia que los valores de R^2 oscilaron entre 0,81 y 0,88, lo cual demuestra que estos modelos tuvieron un ajuste aceptable a los datos observados, con errores medios entre 1,28 y 4,65 m²/ha.

La proyección del área basal para *A. mangium*, *E. pellita* y *P. caribaea* es representada en las figuras 10, 11 y 12, en las que se presentan el área basal de cada parcela y cuatro trayectorias de crecimiento en área basal obtenidas

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

empleando el modelo ajustado. En la figura 8 se buscó reflejar la variabilidad en área basal monitoreada en las parcelas de *A. mangium*, graficando trayectorias de crecimiento de 5, 8 ,11 y 14 m²/ha a una edad de 6 años. La figura muestra que un gran porcentaje de los rodales cuándo lleguen a los 6 años de edad alcanzarán como máximo un área basal de 11 m²/ha.

Para el caso de *E. pellita* en la figura 11, las trayectorias de crecimiento en área basal cubren desde 5, 12, 19, 26 m²/ha a una edad de 8 años, mostrando que para esta especie un gran porcentaje de las parcelas cuándo lleguen a los 8 años de edad alcanzarán un máximo de 12 m²/ha. Al observar las mediciones en área basal de las parcelas instaladas por CONIF en el 2002, se observa que las parcelas monitoreadas en el 2012-2013 presentan tendencias de desarrollo más bajas tanto para *E. pellita* como *P. caribaea* (figura 11 y 12).

Las trayectorias de crecimiento para *P. caribaea* reflejan un área basal de 30, 36, 42, 48 m²/ha a los 12 años, indicando que las parcelas empleadas en el estudio alcanzarán como máximo a los 12 años un área basal de 36 m²/ha, proyectándose un buen desarrollo de las plantaciones (figura 12).

4.3.2.3 Modelo de proyección de número de árboles

Los resultados del ajuste de los modelos de proyección de número de árboles para las tres especies son presentados en la tabla 14, mostrando un buen ajuste con


	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

parámetros significativos. Esta función de transición del sistema de simulación, estima la disminución del número de árboles en el rodal debido a la competencia intra-específica existente entre los individuos por agua, luz, nutrientes, etc.; en este modelo no se incluye un efecto de la disminución del número de árboles por efecto del manejo silvícola. En el empleo de estos modelos se debe tener en cuenta que la mayoría de los datos con que se construyeron solo tienen una medición, lo que representa una debilidad en la capacidad predictiva de la función ya que en el ajuste se emplearon diferentes parcelas que representan un punto en el tiempo y no la trayectoria en el tiempo de la variable.

En la figura 13 se presentan los datos empleados en el ajuste del modelo de proyección de número de árboles para *A. mangium* y las curvas estimadas de evolución en el tiempo del número de árboles por hectárea para rodales con 600, 850, 1050 y 1300 árb/ha a los 6 años.

En la figura 14 se presentan las curvas de proyección estimada del número de árboles por hectárea en función de la edad para rodales de *E. pellita* con 400, 600, 800 y 1000 árb/ha a los 8 años.

La figura 15 representa las curvas estimadas de proyección para el número de árboles por hectárea en el tiempo para rodales de *P. caribaea* con 500, 750, 1000 y 1250 árb/ha a los 12 años. En esta figura se observa que la pendiente de la curva es menor que para las otras dos especies reflejando que la mortalidad para *P. caribaea* es menor.

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

4.3.2.4 Modelo auxiliar de H-D

Los parámetros del modelo generalizado de altura-diámetro para las tres especies son presentados en la tabla 15. Todos los parámetros fueron significativos y tal como se muestra el ajuste en los tres casos es bueno alcanzado R^2 de 96% para *E. pellita* y *P. caribaea* y un 92% para *A. mangium* y un error máximo de 1,34 metros, lo cual indica que el modelo representa bien los datos y las estimaciones de altura que se realicen con este son confiables para las tres especies.

En la figura 16 se presenta el set de datos empleados en el ajuste del modelo generalizado de altura diámetro para *A. mangium*, en el que se emplearon los pares de datos de cada árbol y la altura y diámetro de los árboles dominantes de cada parcela. Se observa como los datos presentan una tendencia definida y la variabilidad de la altura a medida que los diámetros aumentan, observando alturas desde 8 hasta 17 metros para un DAP de 10 cm, igual comportamiento es observado para *E. pellita* y *P. caribaea*. Se observa que *E. pellita* presenta rangos de altura de 8 a 25 metros para un DAP de 15 cm y *P. caribaea* rangos de altura de 7 a 20 metros para un DAP de 20 cm

4.3.2.5 Modelos auxiliares de diámetros, medio, mínimo y dominante


En la tabla 16 se presentan los parámetros ajustados para los modelos auxiliares de diámetros medio, mínimo y dominante para las tres especies. El modelo de diámetro medio alcanzó ajustes satisfactorios con R^2 entre 0,98 y 0,99, y errores

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

estándar de estimación menores a 0,76 cm. Por su lado, el ajuste del modelo de diámetro mínimo obtuvo coeficientes de determinación entre 0,49 y 0,92, con errores entre 1,06 a 2,25 cm. Los modelos de diámetro dominante ajustados explican hasta un 99% la variabilidad observada para esta variable. La figura 17 presenta la distribución de los diámetros medio, mínimo y dominante para las tres especies y el comportamiento de los modelos ajustados.

4.3.3 Clasificación de la productividad de sitio


En la tabla 17 se presentan los IMA en DAP, altura total, altura dominante, área basal y volumen para cada clase por índice de sitio para *A. mangium*, de acuerdo con la metodología propuesta. De las 78 parcelas empleadas en el estudio, el 24% se encuentran ubicadas en la clase I, con índices de sitio iguales o superiores a 14,03 metros a una edad base de 6 años. Estas parcelas presentan el mayor incremento medio anual en volumen con 12,4 m³/ha/año y en altura dominante de alrededor 4,2 m/año. El 43,6% de las parcelas tienen índices de sitio iguales o superiores a la media (12,32 m), el porcentaje restante (56,4%) se encuentra por debajo del promedio, con desarrollos regulares a bajos. El mayor porcentaje de parcelas están ubicadas en la clase III con un total de 25 parcelas con IMA medios en volumen de 6,8 m³/ha/año. Torres y Del Valle (2007) encontraron en 49 parcelas establecidas en plantaciones de *A. mangium* ubicadas en los departamentos de Antioquia y Córdoba que la especie puede alcanzar índices de sitio superiores a 18,77 m a una edad base de 6 años. Los mismos

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

autores reportan crecimientos entre 20 a 35 m³/ha/año para la especie, muy superior a lo observado en el presente estudio.

En la figura 18 son presentados los datos de altura dominante con respecto a la edad de cada parcela de *A. mangium* y las clases de productividad a una edad clave de 6 años. En esta se observa que las parcelas que tienen un mejor desarrollo son la No. 26 y 7 localizadas en la calidad I, en el departamento del Meta, municipio de Puerto López, en la finca Rancho Victoria. En calidad IV la parcela No. 99 presenta con el índice de sitio igual a 6 m siendo el más bajo encontrado. A partir de esta figura se puede concluir que el desarrollo de la especie en esta región del país es heterogéneo y que el 56% de las parcelas instaladas y medidas presenta patrones de productividad por debajo del promedio de la zona, teniendo como referencia solo los datos colectados para el estudio.


La clasificación de las parcelas de *E. pellita* por su productividad de sitio es presentada en la tabla 18, con su respectivo incremento medio anual en DAP, altura total, altura dominante, área basal y volumen para cada clase, acorde con la metodología propuesta. Del total de 45 parcelas de *E. pellita* empleadas en el estudio 12 (26,6%) se encuentran ubicadas en la clase I, con índice de sitio mayor o igual a 18,3 m a una edad base de 8 años, e incrementos medios anuales en volumen de 7 m³/ha/año y en altura dominante de 3,7 m/año. El 51% de las parcelas de *E. pellita* tienen índices de sitio iguales o superiores a la media (16,33 m). En la clase IV se encuentran 12 parcelas con los crecimientos más bajos para *E. pellita* con índices de sitio menores a 14,19 m y un incremento en volumen de

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

2,2 m³/ha/año muy similar al encontrado en la clase III con 2,3 m³/ha/año.

En la figura 19 se presentan los datos de altura dominante con respecto a la edad de cada parcela de *E. pellita* y las clases de productividad a una edad clave de 8 años. En esta se observa que las parcelas que tienen un mejor desarrollo son la No. 106, 107 y 108 localizadas en la calidad I, ubicadas en el departamento del Vichada, municipio de Puerto Carreño, finca Tierra adentro. En esta figura se observa que las parcelas (58, 59, 60, 101, 102, 106, 107 y 108) instaladas en plantaciones sembradas durante el 2011 presentan tendencias de crecimiento mejores con un índice de sitio promedio de 23,6 m ubicadas en el departamento del Vichada en los municipios de Cumaribo y Puerto Carreño.

La clasificación de las parcelas de *P. caribaea* por su productividad de sitio es presentada en la tabla 19 con su respectivo incremento medio anual en DAP, altura total, altura dominante, área basal y volumen para cada clase de sitio. Del total de 32 parcelas de *P. caribaea* empleadas en el estudio 7 (22%) se encuentran ubicadas en la clase I, con índices de sitio mayor o igual a 20,17 m a una edad base de 12 años, e incrementos medios anuales en volumen de 14,7 m³/ha/año y de 2 m/año en altura dominante. En la clase II se ubican 9 parcelas (28%) con índices de sitio por encima del promedio. El 50% de todas las parcelas establecidas se encuentran por encima del índice de sitio promedio observado en la región. Los crecimientos en volumen varían entre 3,2 a 14,7

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

m³/ha/año, sin embargo, es de esperar que estos crecimientos mejoren cuando aumente la edad de estas plantaciones.

En la figura 20 se presenta la clasificación por productividad de índice de sitio de las parcelas de *P. caribaea* empleadas en el estudio, en estas se observa que las parcelas que se encuentran en la clase I (parcelas 10, 12, 13, 14,15, 17) en plantaciones de *P. caribaea* creciendo en el departamento del Meta, municipio de Puerto López distribuidas en dos predios Inmunizar del Llano y Rancho Viejo. De las 7 parcelas de esta clase solo una está ubicada en el departamento del Vichada (parcela 104) con un índice de sitio de 21 m. Las parcelas en la clase III son plantaciones en su mayoría ubicadas en el departamento del Vichada en los municipios de Puerto Carreño y La Primavera con índices de sitio promedio de 18 m. La parcela que presenta el índice de sitio más bajo para esta especie es la 121 ubicada en la finca La Liliana en la Primavera con 10 m. El mayor índice de sitio encontrado para *P. caribaea* en el área de estudio fue 21,87 m (a una edad de referencia de 12 años). Coincidiendo con los rangos encontrados por Vásquez y Ugalde (1995) en un estudio similar en Costa Rica, los cuales variaron entre 11,78 a 21,59 m a una edad base de 10 años.

4.4 Variables Químicas Suelos

Los análisis químicos fueron realizados en cada una de las parcelas de monitoreo por medio de una muestra compuesta de suelos metodología que se explica en el esquema de muestreo (Figura 1).


	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

Los indicadores químicos propuestos se refieren a condiciones de este tipo que afectan las relaciones suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo, la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas y microorganismos.

Los análisis químicos fueron realizados para 152 parcelas, para la profundidad 0-10cm (7 parcelas no se les realizó por suelos superficiales son plintitas y/o conchas petroferricas), se evaluaron los parámetros de: pH, Materia orgánica (M.O.) Fósforo (P), Azufre (S), Saturación de Aluminio (SAT_Al), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Potasio (K), Sodio (Na), Hierro (Fe), Cobre (Cu), Manganeseo (Mn), Zinc (Zn) y Boro (B).

Para efectos del análisis estadístico, las variables originales fueron normalizadas, para esto se utiliza la siguiente formula: $VAR_{(normalizada)} = 0.1 + ((Var_{(original)} - V_{(MIN)}) / (V_{(MAX)} - V_{(MIN)})) * 0.9$. En la columna generada se debe determinar el valor máximo y mínimo ($V_{(MAX)}$, $V_{(MIN)}$) de todos los datos que se ingresan en la formula. El valor 0.9 se utiliza para normalizar el indicador y que quede entre valores de 0 a 1. Es de anotar y resaltar que, este procedimiento no modifica los resultados obtenidos al realizar el ACP con los datos sin transformar y transformados (normalizados).

Los parámetros estadísticos y las distribuciones de las trece variables asociadas a las parcelas 153 parcelas (tabla 23 y figura 30); se observan notas más altas en pH, SAT_AL y K, notas medias en MO, S, Mg y Na y las demás variables

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

presentan notas bajas, en general en la distribución se observa una alta variabilidad, que se verifica con coeficientes de variación (C.V%), de 5.6% para el pH y 286% para el Zn, que indican una gran heterogenidad de las variables químicas de suelos donde se establecieron las plantaciones forestales de Acacia (*A. mangium*); Eucalipto (*Eucalyptus pellita*) y Pino (*Pinus caribea*), lo anterior debido en gran medida a: La forma de preparación de los suelos antes de establecer las plantaciones, sin discriminar el tipo de especie a establecer; a las cantidad y fuentes que aplican y el número de fertilizaciones que realizan.

El primer análisis correspondió a la generación del círculo de correlación (Figura 31), en él se observan dos grupos en posiciones opuestas, el correspondiente a pH y la saturación de aluminio (SAT_AL). Para el caso de los suelos oxisoles característicos de la Altillanura esta acidez, es debida principalmente a la presencia de aluminio intercambiable, por tanto esta separación, indica, que al incrementarse el pH en el suelo se reduce la acidez. Igualmente se observó una relación positiva entre el pH y los contenidos de calcio y magnesio. Esta relación se debe a que durante el proceso de acondicionamiento de los suelos de la Altillanura a la producción forestal, se les adiciona cal dolomítica, la cual tiene calcio y magnesio en una relación de 2:1.

El componente uno explica la variabilidad de todas las muestras en un 28.25% y el componente dos en un 23.03% para un total de 51.28 % explicando la variabilidad debida al comportamiento de las variables químicas en el suelo.

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

Igualmente la figura 31, muestra el efecto tamaño del primer factor (CP1), con coordenadas positivas con valores más altos en las variables pH, Sat_Al, Ca y Mg; mostrando además a las variables, K, MO, Cu y Mn con coordenadas negativas, como las más influyentes en el segundo eje (CP2).

Las variables químicas permitieron realizar una discriminación entre departamentos, municipios, unidad bioclimática, unidades de suelo, plantaciones, especies, densidad de plantación (número de árboles por ha), año de plantación y tipo de preparación del terreno (1: ahoyado, 2: mecanizado y 3: franjas). Luego de realizar la prueba de Monte Carlo, para los mismos parámetros se tiene que, las variables químicas explican una mayor variabilidad entre plantaciones 41.21 ($p < 0.0001$), unidades de suelo 30.10% ($p < 0.0001$), municipios 20.91% ($p < 0.0001$), densidad de plantación 16.56% ($p < 0.0001$), año de plantación 11.27% ($p < 0.0001$) y menor proporción tipo preparación de suelos, unidad bioclimática, especies y departamentos, con porcentajes de variabilidad explicada menores del 6.59%, como se observa en la tabla 24 y figura 32

4.5 Variables físicas de suelos

Las características físicas del suelo son una parte necesaria en la evaluación de las funciones hídricas del recurso suelo (Singer y Ewing, 2000). Las propiedades físicas que reflejan la manera en que este recurso acepta, retiene y transmite agua a las plantas, así como las relacionadas con el movimiento del agua dentro del perfil son la estructura, densidad aparente, estabilidad de agregados, infiltración,

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

profundidad del suelo superficial, capacidad de almacenamiento del agua y conductividad hidráulica.

Se integraron las variables de características físicas de suelos a saber: Densidad aparente-DA, Densidad real-DR, Saturación-SAT, Capacidad de campo-CC y Punto de marchitez permanente-PMP), porosidad total-PTAL y su distribución (Macroporos-MACRO, Mesoporos-MESO, y Microporos-MICRO), Arenas-A %, Limos-L %, y Arcillas-AR %.

Los parámetros estadísticos y las distribuciones de las once variables asociadas a las 107 parcelas (tabla 25 y figura 33); se observan notas más altas en Arena y Da, notas medias en MICRO y PTTAL y las demás variables presentan notas bajas, en general en la distribución se observa una alta variabilidad, que se verifica con coeficientes de variación (C.V%), de 9.4% para el DA y 54.9% para Limo, que indican una gran heterogenidad de las variables físicas de suelos donde se establecieron las plantaciones forestales de Acacia (*A. mangiun*); Eucalipto (*Eucalyptus pellita*) y Pino (*pinus caribea*).

Inicialmente se generó primero el círculo de correlación (Figura 34), el componente CP1 explica la variabilidad de todas las muestras en un 43.28% y el componente CP2 en un 23.85% para un total de 67.23% explicando la variabilidad debida al comportamiento de las variables físicas. Se observó la estrecha relación existente entre el contenido de agua disponible en el suelo en las profundidades de 0-10 cm con el contenido de mesoporos. Por otro lado se observó una relación negativa

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

entre el contenido de agua disponible con la densidad aparente y los valores de microporosidad presentes en el suelo, un incremento en la microporosidad ocasionó una disminución en los contenidos de agua disponible.

Igualmente la figura 34, muestra el efecto tamaño del primer factor (CP1), con coordenadas positivas con valores más altos en las variables, SAT, CC y coordenadas negativas, PMP y MICRO; mostrando además a las variables, ARENA y DA con coordenadas positivas, y la PPTAL con coordenadas negativas como las más influyentes en el segundo eje (CP2).

Las variables físicas permitieron realizar una discriminación entre departamentos, municipios, unidades de suelo, plantaciones, especies, densidad de plantación, año de plantación y tipo de preparación del terreno (1: ahoyado, 2: mecanizado y 3: franjas). Luego de realizar la prueba de Monte Carlo, para los mismos parámetros se tiene que, las variables físicas explican una mayor variabilidad entre plantaciones 53.87% ($p < 0.0001$), unidades de suelo 46.49% ($p < 0.0001$), Municipios 22.64% ($p < 0.0001$) y Densidad de plantación (número de árboles por ha) 13.82% ($p < 0.0001$), como se observa en la tabla 23 y figura 35.

Puerto López y Puerto Gaitán como localidades se encuentran más cercanos entre ellas con respecto a Carimagua. Al igual que el indicador químico, las variables físicas permiten discriminar claramente los sistemas transitorios de los otros sistemas de producción. Los cultivos transitorios debido a las prácticas de labranza y mecanización utilizadas para el acondicionamiento y preparación de

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013


los suelos para su establecimiento, generan cambios mayores en las variables físicas dinámicas del suelo, lo que ocasionó su agrupamiento diferencial con los otros sistemas.

4.6 Variables microbiológicas del suelo

En las parcelas se cuantificó la asociación de hongos formadores de micorrizas arbusculares con especies forestales Acacia (*A. mangium*), Eucalipto (*Eucalyptus pellita*) y Pino (*pinus caribea*).

Los hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) son microorganismos del suelo, se caracterizan por ser biótrophos obligados que necesitan establecer asociaciones simbióticas colonizando raíces de plantas hospedadoras para completar su ciclo de vida. Esta asociación conocida como micorriza (griego: Myco, que significa hongo y ryzha, raíz) se establece entre los HFMA y el 97% de las plantas terrestres y tiene un papel fundamental en muchos de los procesos microbiológicos y ecológicos que se dan en el suelo.


Estos hongos al colonizar las raíces de las plantas, aumentan la capacidad de absorción de nutrientes poco móviles como es el caso del fósforo, cobre, zinc, potasio, calcio, hierro y magnesio a través del micelio externo que forma en las raíces (Florez y Cuenca, 2004). Una especie vegetal que ha sido micorrizada puede tener ventajas como el incremento en la tasa fotosintética, tolerancia a la salinidad y al estrés hídrico, protección frente a patógenos de la raíz (Barea et al.

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

1998); adicionalmente los HFMA mejoran la agregación del suelo mediante la síntesis de una proteína conocida como Glomalina; esta glicoproteína ayuda a mantener unidas las partículas del suelo, protegiendo a las hifas de los hongos durante el transporte de nutrientes desde la planta hasta el extremo de la hifa, y desde el suelo hasta la planta; cuando cesa este transporte de nutrientes entre los dos organismos, la Glomalina que se ha producido en las células se libera al medio donde se acumula y puede actuar como un aglutinante de materia orgánica y minerales, mejorando la estructura del suelo.

Teniendo en cuenta los beneficios que proporcionan estos hongos y la relación que pueden tener con especies forestales de interés como es el caso de la Acacia, Pino y Eucalipto, en este trabajo se pretende conocer la dinámica microbiológica donde se han establecido estas plantaciones, como una herramienta útil que permita determinar y en caso dado, mejorar las condiciones nutricionales de los árboles y la fertilidad del suelo. Para esto se está evaluando el número de esporas y porcentaje de colonización de los HFMA en las raíces de las plantas hospedadas.

Las esporas asexuales formadas por los HFMA son estructuras de resistencia que se pueden encontrar en el suelo o en la raíz colonizada; al observar el análisis preliminar de los datos obtenidos para el número de esporas en las diferentes especies forestales se puede evidenciar que el mayor número de estas estructuras se encontró en los suelos donde se ha establecido el Pino caribe con un promedio

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

de 250 esporas/10 g-1 comparado con Acacia mangium y Eucalipto pellita donde los valores están por debajo de las 150 esporas/10 g-1 (Figura 37).

Las diferencias en la cantidad de esporas pueden estar influenciada por la especie vegetal, ya que existen plantas que son micotrófas obligadas que necesariamente deben asociarse con microorganismos para obtener nutrientes del medio y esto promueve la germinación y producción de las esporas. Dentro de las especies forestales, Pinus, Eucalipto y Acacia se caracterizan por asociarse con hongos ectomicorrizicos y endomicorrizicos nativos. Bledsoe (1992) encontró que plántulas de Eucalipto son colonizadas primero por hongos formadores de micorrizas arbusculares y posteriormente, pueden ser colonizados por hongos ectomicorrizicos cuando los árboles entran en estado de maduración, para obtener nutrientes como el fósforo en suelos con baja fertilidad.

Cuando se observó la colonización de los hongos formadores de micorrizas arbusculares en las raíces de las especies forestales, se pudo evidenciar que Pino caribe presentó los porcentajes más altos para esta variable con un 50%, seguido de Acacia mangium con un 40% y Eucalipto pellita donde se evidenció un porcentaje del 20% de colonización (Figura 38).

El porcentaje de colonización observado en las raíces de Pino caribe y Acacia mangium puede tener una correlación con el número de esporas encontrado en el suelo, sin embargo, es importante evaluar el beneficio de esta asociación en las plantas y que géneros de HFMA son los que están interactuando con los árboles

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

ya que dentro de estos puede haber especificidad con los hospederos; es decir, una especie de HFMA puede no colonizar o ser ineficiente para una especie vegetal en particular pero el mismo hongo puede conferirle un mayor beneficio a otra especie vegetal.


5 TRANSFERENCIA

El proyecto en esta fase no tenía contemplado desarrollar actividades de transferencia

6 CONCLUSIONES

A partir de los datos de 45 perfiles fustales colectados de *Acacia mangium*, 20 de *Eucalyptus pellita* y 29 de *Pinus caribaea* fue construida una función de volumen y de ahusamiento. Estas ecuaciones pueden ser empleadas en la determinación no solo de volúmenes de árboles en pie, a partir de la medición del diámetro a 1.3 m y la altura total, sino también, la estimación de volúmenes hasta diferentes índices de utilización y diferentes tipos de productos. Estas funciones presentaron un buen ajuste para el set de datos con las que fueron construidas, pero se debe tener en cuenta que estos provenían de árboles pequeños, lo que las limita para su uso en árboles de mayor tamaño


Se ajustó un conjunto de modelos de crecimiento y rendimiento para las tres especies en los que se incluyeron funciones de altura dominante (Hd)/índice de

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

sitio (IS), área basal por hectárea (G), mortalidad (\bar{N}), relación altura-diámetro (H-D) y modelos auxiliares de diámetros medio (\bar{D}), mínimo (Dmin) y dominante(Dd), a partir de los datos provenientes de 15 parcelas permanentes de crecimiento y rendimiento, siete de *E. pellita* y ocho de *P. caribaea*, que cuentan con tres mediciones consecutivas y 117 parcelas permanentes de *A. mangium*, 45 de *E. pellita* y 36 de *P. caribaea* con una única medición.

En el ajuste de la función de índice de sitio para las tres especies los parámetros presentaron valores consistentes biológicamente, el parámetro b_0 que representa la altura dominante máxima para cada especie, tomó valores para *A. mangium* de 19 metros, *E. pellita* 30 metros y *P. caribaea* 24 metros. Igual comportamiento se observó en el modelo de proyección de área basal ajustado para las tres especies, donde los valores del parámetro b_0 que representa el área basal máxima que puede alcanzar una hectárea de plantación dieron valores de 16,46 m²/ha para *A. mangium*, 42,3 m²/ha para *E. pellita* y 56,4m²/ha y *P. caribaea* .

El modelo que presentó el menor valor de R^2 es el modelo de diámetro mínimo con valores de 0,40 para *A. mangium*. Para el caso de los modelos de altura- diámetro y los modelos auxiliares de diámetro medio, mínimo y dominante presentaron buenos indicadores de ajuste con valores de R^2 que van desde 0,82 hasta 0,99.

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

El análisis de la información dasométrica de la primera medición para las tres especies no permitió observar diferencias en los patrones de crecimiento por departamentos. Aunque el índice de sitio promedio determinado para las parcelas de *A. mangium* ubicadas en el departamento del Meta fue un poco más alto con un promedio de 14,6 m y un rango de 8,2 a 19,1 m, comparado con los valores de índice de sitio estimado para las parcelas instaladas en el departamento del Vichada con un valor promedio de 11,7 y un rango de 5,9 a 16,2 m a una edad de referencia de 6 años. Para las parcelas de *E. pellita* los índices de sitio más altos fueron encontrados en el departamento del Vichada con un valor promedio de 17,2 m comparado con el índice de sitio promedio de las parcelas instaladas en las plantaciones de *E. pellita* en el departamento del Meta con un valor de 14,9 m a una edad de referencia de 8 años. El índice de sitio promedio para *P. caribaea* no presentó mayor diferencia entre departamentos siendo el valor promedio de 17,0 en el Meta y de 16,0 para Vichada, a una edad de referencia de 12 años.

Los parámetros estadísticos y las distribuciones de las trece variables químicas asociadas a las parcelas 153 parcelas; se observan notas más altas en pH, SAT_AL y K, notas medias en MO, S, Mg y Na, en general en la distribución se observa una alta variabilidad, que se verifica con coeficientes de variación (C.V%), de 5.6% para el pH y 286% para el Zn, que indican una gran heterogenidad de las variables químicas de suelos donde se establecieron las plantaciones forestales de Acacia (*A. mangium*); Eucalipto (*Eucalyptus pellita*) y Pino (*Pinus*

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

caribea), lo anterior debido en gran medida a: La forma de preparación de los suelos antes de establecer las plantaciones, sin discriminar el tipo de especie a establecer; a las cantidad y fuentes que aplican y el número de fertilizaciones que realizan.

7 RECOMENDACIONES

Es importante resaltar que los modelos y análisis presentados son preliminares y se requerirá de nuevos análisis, buscar e inferir interacciones entre los componentes dasométricos, químicos, físicos, microbiológicos del suelo para mejorar las predicciones y en general obtener recomendaciones tecnológicas por sitio para el manejo y mejoramiento de plantaciones forestales comerciales en la Altillanura Colombiana, dado que, se ha observado que a medida que se incorpora conocimiento en los sistemas productivos y en la producción, éstos mejoran sustancialmente su eficiencia para manejar recursos, su productividad y su competitividad en los mercados, de esta manera se obtienen mejores dividendos y rentabilidad para las empresas forestales y mejores beneficios económicos y sociales para las comunidades regionales o nacionales de las cuales ellas forman parte.

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

8 BIBLIOGRAFÍA CITADA


ALVARADO, A Y RAIGOSA, J. 2007. Nutrición y fertilización forestales en regiones tropicales. Centro de Investigaciones Agronómicas Universidad de Costa Rica. San José. Pág. 404

ANDERSON, J.M. AND INGRAM J.S.I.1993. TROPICAL SOIL BIOLOGY AND FERTILITY: A HANDBOOK OF METHODS, 2ND ED. CAB INTERNATIONAL, OXON . ANDERSON, JM & JSI, INGRAM. 1993. Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods, Second edition. CAB International. Wallingford, UK.

BAREA J, ANDRADE G, BIANCIOTTO V, DOWLING D, LOHRKE S, BONFANTE P, O’GARA F, AZCON-AGUILAR C.1998. Impact on arbuscular mycorrhiza formation of pseudomonas strains used as inoculants for biocontrol of soil-borne fungal plant pathogens. Appl Environ Microbiol. 64:2304-2307.

BLEDSON CS.1992. Physiological ecology of ectomycorrhizae. Implications for field application. En: Mycorrhizal functioning, an integrate plant-fungal process. Ed Michael F. Allen Chapman & Hall, Inc. p 423-437 (On line).

CASTAÑO, E. Y MORENO, H. 1994. Cuantificación de Variables Cualitativas y Análisis de Componentes Principales. En: Memorias Simposio de Estadística. Análisis Multivariado de Datos. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Matemáticas y Estadística. Santafé de Bogotá. D.C.

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

DAVEL, M. & TRINCADO, G. 2000. Evaluación de modelos fustales para *Pseudotsuga menziesii* en la Patagonia andina argentina. Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales, 9(1):103-116.


DIÉGUEZ-ARANDA,U.,CASTEDO,F.,& GONZALEZ,J.G. 2005. Funciones de crecimiento en área basimétrica para masas de *Pinus sylvestris* L. procedentes de repoblación en Galicia. Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales, 14(2): 253-266.

FLORES C, CUENCA G. 2004. Crecimiento y dependencia micorrízica de la especie pionera y polenectarífera *Oyedaea verbesinoides* (Tara amarilla), Asteraceae. Interciencia 29: 632-637.

GERDERMAN, J.W. & NICHOLSON, T. . (1963).Spores of mycorrhizal endogene species extracted from soil by wet sieving and decanting. Transactions of the british mycological society 46:235-244.

JIMÉNEZ, J., AGUIRRE, O., NIEMBRO, M., NAVAR, J., & DOMÍNGUEZ, A. 1994. Determinación de la forma externa de *Pinus hartwegii* Lindl. En el Noreste de México. Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales, 3(2): 175-182.

MAX, T.A. & BURKHART, H.E. 1976. Segmented polynomial regression applied to taper equations. Forest Science, 22: 283-289.

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL - MADR. (2012).
Dirección de cadenas productivas.


MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL - MADR. (2007).
Cadena productiva forestal tableros aglomerados y contrachapados muebles y productos de madera.

OMULE, S.A, & MACDONALD, R.N. 1991. Simultaneous curve for repeated height- diameter measurements. Canadian Journal of Forest Research, 21: 1418-1422.

OROZCO, O. 2003. Uso de la simulación para la comparación y selección de índices de diversidad. Tesis de maestría. Colegio de postgraduados, Institución de enseñanza e Investigación en Ciencias agrícolas. Instituto de Socio-economía, estadística e informática programa en estadística.

PECE, M. 1994. Tabla de volumen comercial para *Eucalyptus pellita* utilizando el método de la razón volumétrica. Quebracho, 2: 54-63.


PHILLIPS, JM, HAYMAN, DS. (1970). Improved procedure of clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Transaction of the British Mycological Society; 55, 159-161.

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

RODRIGUEZ, N.S.; LAVELLE, P.; PULIDO, X. GUTIÉRREZ, A. BERNAL, J.H. ARGUELLO, O.; BOTERO, C.; GÓMEZ, Y.; HURTADO M. del P.; LOAIZA, S.P.; RODRIGUEZ, E. ; RUBIANO, Y. (2012). Construcción de indicadores de eco-eficiencia para la altillanura plana en los municipios de Puerto López y Puerto Gaitán del departamento del Meta. En: Memorias XVI Congreso de la Ciencia del Suelo Riohacha Guajira.


ROJAS, ANGEL M. (2003). Ordenación forestal práctica. Universidad del Tolima. Facultad de ingeniería forestal.167 p.

SINGER, M.J. Y EWING, S. 2000. Soil Quality. En Handbook of Soil Science. Chapter 11 (ed.Sumner, M. E.), 271-298, CRC Press, Boca Raton, Florida

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013




10. IMPACTOS DEL PRODUCTO

Tipo de Producto	Nombre del producto	Indicadores	Descripción del producto*	Línea base	Resultado obtenido	Impacto **
Recomendaciones técnicas y prácticas de manejo	Índices edáficos de de sitio con base a: arboles dominantes y/o volumen de madera, asociados a: 1. Fertilidad de suelos (Química), 2. Funciones hídricas (Física), 3. Biodiversidad (micro fauna de suelo), Regulación climática en sus componentes de: 4. Almacenamiento de carbono y 5. Emisiones de GEI, y 6. Estabilidad estructural del suelo.	Técnico científicos		0	1	1
		Socioeconómicos				
		Ambientales				

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

Anexo 1. (Listado de Tablas)

Tabla 1. Formulario de recolección de información

					
PROYECTO PARCELAS PERMANENTES FORMULARIO DE CAMPO PARA RECOLECCION DE INFORMACION					
ID UNICO		ESTADO			
COORDENADAS X	04° 09' 24,6"	COORDENADA Y		072° 41' 58,2"	
DEPARTAMENTO	Meta	MUNICIPIO		Puerto López	
FINCA	Inmunizar del Llano	RODAL		El Tigrillo - Serranía.	
ESPECIE	Pino caribea	TIPO PLANTACION		No aplica	
PARCELA	500 m2	NPAR		1	
AÑO PLANTACION	2007-5año	FECHA PLANTACION		01/07/2007	
TOPOGRAFIA	1	DIST. DE SIEMBRA		2,5m X 2,5m	
SUPERFICIE	500 m2	N IND/PARCELA		74	
TIPO MATERIAL DE SIEMBRA	Semilla, vivero propio- Piamonte en Medellín.	PROC. DE MATERIAL DE SIEMBRA		Semilla de Refocosta	
PENDIENTE	1	PRE DEL TERRENO		1 Pase cincel + 1 pase de rastra + 1 pase cincel + 1 pase de rastra.	
N° DE FERTILIZACIONES	2 anuales, hasta el segundo año de establecido.	CANT. Y FUENTES DE FERTILIZACION		Dap + Sulpomag 100gr de mezcla/ árbol.	
FECHAS DE FERTILIZACION	Abril a Mayo y de Octubre a Noviembre	ALTURA DE PODA		Con machete, 1 Poda Anual al 50 % Sin cicatrización.	
ENTRESACA	No aplica	CONT. DE PLAGAS		Hormiga con Termonebulización	
CONT. MALEZA	Manual: Azadón y Químico: Glifosato.	AFECTACION POR EFECTOS		No aplica	
OBSERVACIONES	Para la preparación del terreno se realizó un pase de cincel y uno de rastra luego se realizó el encalado 25 bultos/ha de mezcla (Cal dolomita + Calfos), posteriormente se suministro un pase de cincel y uno de rastra. La fase de vivero se realiza en Medellín. El manejo de hongos se efectúa con oxiclورو de cobre, el control de hormigas se efectúa de manera previa a la preparación del terreno con la termonebulizadora: 12 Gal H ₂ O + 300cm ³ de Iorsban líquido + 1Lt de gasolina.				


	GESTIÓN DE PRODUCTOS	CÓDIGO: GP-F-04
	I+D+i	VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

Tabla 2. Códigos de variables descriptivas

PARÁMETRO	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
<u>Condición</u>	1	Vivo
	2	Muerto por insectos
	3	Muerto por hongos
	4	Extraído por intervenciones silvícolas
	5	Quebrado por viento
<u>Posición</u>	1	Dominante
	2	Codominante
	3	Intermedio
<u>Calidad fustal</u>	1	Bueno: árbol recto, cilíndrico, libre de ramas gruesas.
	2	Regular: árbol con inclinaciones leves, o un poco torcido.
	3	Malo: árbol con defectos de forma, bifurcaciones y muy torcidos.


	GESTIÓN DE PRODUCTOS		CÓDIGO: GP-F-04
	I+D+i		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL		Fecha de Aprobación: 20-02-2013

Tabla 3. Formulario para la toma de datos en parcelas

FORMULARIO PARA DATOS DE PARCELAS (PARCELA 1)											
ID UNICO	SP	# IND	ANG	DIST	DAP 2012	Cond 2012	Pos 2012	Cal fustal 2012	HT 2012	HC 2012	N° foto
	a_mangiun	1	0	10.6	4.8	1	2	1			
H	a_mangiun	2	15	11	6.3	1	2	2	5.2	1.2	
	a_mangiun	3	21	8.18	6	1	2	1			
	a_mangiun	4	30	12.4	4.7	1	3	1			
	a_mangiun	5	32	5.42	6	1	2	1			
	a_mangiun	6	40	9.9	5.7	1	3	1			
	a_mangiun	7	48	12.1	6.6	1	2	1			
	a_mangiun	8	51	7.9	4.8	1	4	1			
H	a_mangiun	9	61	3.5	5.5	1	2	1	6.7	1.4	0297
	a_mangiun	10	65	10.5	6.3	1	2	1	6.4	1.4	
	a_mangiun	11	72	6.45	5.2	1	2	1			
	a_mangiun	12	81	9.54	5	1	3	2			
	a_mangiun	13	100	9.6	8.7	1	2	1	6.9	1	
	a_mangiun	14	102	6.51	5.1	1	2	1			
	a_mangiun	15	115	10.4	5.1	1	2	1			
	a_mangiun	16	118	3.44	6.5	1	2	1	6.9	1.2	
	a_mangiun	17	125	7.7	4.2	1	4	1			
H	a_mangiun	18	129	12.1	7	1	2	1	6.7	1	
	a_mangiun	19	145	9.66	5.3	1	2	1			
H	a_mangiun	20	151	5.5	6.4	1	2	1	6.5	1	0298
	a_mangiun	21	153	12.3	6.4	1	2	1			
	a_mangiun	22	161	8.22	2.9	1	4	2			
	a_mangiun	23	165	11	6.8	1	1	2			
	a_mangiun	24	180	1.42	6.5	1	1	1			
	a_mangiun	25	181	10.6	7	1	2	1	7.1	1	
	a_mangiun	26	183	4.55	7.1	1	1	1			
	a_mangiun	27	184	7.58	6	1	3	1			
	a_mangiun	28	200	11	5.9	1	1	1			
	a_mangiun	29	208	8.05	5.9	1	2	1			
H	a_mangiun	30	210	12.3	6.1	1	2	1	6.6	1	
H	a_mangiun	31	218	5.38	6.6	1	2	1	7.2	1	0299
	a_mangiun	32	221	9.85	5.3	1	3	1			
	a_mangiun	33	230	10.9	5.3	1	2	1			
	a_mangiun	34	232	7.76	6.2	1	2	1	6.4	1.3	
	a_mangiun	35	241	10.4	5.3	1	2	1			
	acacia mangiun	36	250	3.7	5.4	1	3	2			
	acacia mangiun	37	258	6.3	6.6	1	2	1	7.6	4	
	acacia mangiun	38	262	9.63	4.5	1	3	2			


	GESTIÓN DE PRODUCTOS	CÓDIGO: GP-F-04
	I+D+i	VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

Tabla 4. Propiedades físicas del suelo evaluadas y su metodología. (laboratorio de física de suelos CORPOICA C.I. La Libertad)

ANÁLISIS	MÉTODO	DETALLE
Conductibilidad hidráulica.	Carga Constante	Característica del suelo en muestras sin disturbar, recolectada en un cilindro
Curva hidrofísica	Ollas a Presión	
Densidad Aparente	Cilindro de volumen conocido	
Densidad Real	Balón	
Contenido de humedad en el suelo	Gravimétrico	Característica del suelo en muestras disturbadas, recolectada en bolsa
Textura por Bouyoucos	Hidrómetro	

Tabla 5. Propiedades químicas del suelo evaluadas y su metodología. (Laboratorio de química de suelos de Corpoica C.I. Tibaitata)

VARIABLE	METODO UTILIZADO
pH relación	Potenciómetro. 1:1 (Agua:suelo)
S (mg/kg)	Azufre Extractable (Fosfato Ca) Turbidimetria.
Materia Orgánica	Walkley-Black – Espectrometría Molecular
K (cmol/kg)	Potasio Intercambiable. Espectrometría de absorción atómica
Ca (cmol/kg)	Calcio Intercambiable. Espectrometría de absorción atómica
Mg (cmol/kg)	Magnesio Intercambiable. Espectrometría de absorción atómica
Al (cmol/kg)	Aluminio Cambiable (KCl 1M) Volumetría
Na (cmol/kg)	Sodio Intercambiable. Espectrometría de absorción atómica
B (mg/kg)	Espectrometría Molecular
Fe (mg/kg)	Hierro Extract. Doble Acido Ab.At. Espectrometría de absorción atómica
Mn (mg/kg)	Manganeso Extract. Doble Acido Ab.At. Espectrometría de absorción atómica
Cu (mg/kg)	Cobre Extract. Doble Acido Ab.At. Espectrometría de absorción atómica
Zn (mg/kg)	Zinc Extract. Doble Acido Ab.At. Espectrometría de absorción atómica


	GESTIÓN DE PRODUCTOS	CÓDIGO: GP-F-04
	I+D+i	VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

Tabla 6. Propiedades foliares químicas evaluadas y su metodología. (Laboratorio de química de suelos de Corpoica C.I. Tibaitata)

VARIABLE	METODO UTILIZADO
P: Fosforo total (%)	Bray II (determinación Colorimétrica)
S: Azufre total (%)	Turbimetria
B: Boro (mg/kg)	(determinación Colorimétrica)
N: Nitrogeno total (%)	Determinacion Metodo Kjeldhl
Ca: Calcio(%)	Absorción atómica
Mg: Manganeso (%)	Absorción atómica
K: Potasio (%)	Absorción atómica
Na: Sodio (%)	Absorción atómica
Fe: Hierro (mg/kg)	Absorción atómica
Mn: Magnesio (mg/kg)	Absorción atómica
Cu: Cobre (mg/kg)	Absorción atómica
Z: Zinc (mg/kg)	Absorción atómica





 Corpoica <small>Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria</small>	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

Tabla 7. Formulario para cubicación

  							
FORMULARIO PARA LA CUBICACIÓN DE ÁRBOLES							
Departamento	VICHADA			Especie	Eucalipto pellita		
Municipio	LA PRIMAVERA			Posición	1		
Predio	LA PALMITA			Altitud	116 m.s.n.m.		
Lote	EUCALIPTO-2005			Topografía	PLANO		
Pendiente	0-15%			Tipo De Suelo			
Densidad	3,16mx3,16m			Fecha	22/02/2013		
Alt. Total	17,50m	Alt. Tocón	2 cm	Alt. C.V	8 m	Alt. Comercial	14 m
DAP	18,7	D. Tocón	26,6	D. Copa V	11,8	D Comercial	5,6
DAP SC	16,3	D. Tocón SC	23,4	D. Copa V SC	11,5	D Comercial SC	5,4
No. Sección	Altura Sección	Diámetro CC	Diámetro SC	Observaciones			
1	0	24,8	22,4				
2	0,60	19,5	17,4				
3	1	18	16,4				
4	1	16,2	15,8				
5	1	15,6	14,9				
6	1	14,4	13,7				
7	1	14,3	13,6				
8	1	13,4	12,9				
9	1	12,5	12,2				
10	1	11,8	11,5				
11	1	12	11,4				
12	1	10,8	10,3				
13	1	9,5	8,9				
14	1	8,8	8,4				
15	1	6,9	6,6				
16	1	5,6	5,4				
17	1	4,5	4,3				
18	1	1,9	1,5				
19	1	0,4	0,1				
20	0,50	0	0				
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							


	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

Tabla 8. Distribución por especie, año de plantación y municipio de las parcelas permanentes de monitoreo

	PLANTACION	MUNICIPIO	Acacia mangium			Eucalipto pellita				Pinus caribea			TOTAL
			año			año				año			
			2007	2008	2011	2007	2008	2009	2011	2007	2008	2011	
1	Campo Verde	Puerto López		3									3
2	Inmunizar del Llano	Puerto López								3	3	3	9
3	Rancho Victoria	Puerto López		3	3							3	9
4	Balmoral	Puerto López			3								3
5	Palestina	Puerto Gaitán			3			3					6
6	Maracaibo	Puerto Gaitán							3			3	6
7	Guayaquil	Cumaribo	3	3	3				3				12
8	El Lucero	Cumaribo			3								3
9	Lucitania	Cumaribo		3	3				3				9
10	Sinay	Puerto Carreño		3	3			3					9
11	Reflejo	Puerto Carreño		3	3			3					9
12	Fenicia	Puerto Carreño		3	3			3					9
13	La Diversión	Puerto Carreño		3	3			3					9
14	Los Eucaliptos	Puerto Carreño			3				3				6
15	La Pedregosa	Puerto Carreño			3			3	3			3	12
16	Tierra dentro	Puerto Carreño							3			3	6
17	La Palmita	La Primavera	6	6		3	6			6	6		33
18	La Jaula	La Primavera		3									3
19	La Liliana	La Primavera										3	3
TOTAL (Especie)			9	33	36	3	6	18	18	9	9	18	159


	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

Tabla 9. Parámetros estimados para los modelos de volumen total de árboles individuales de *A. mangium*, *E. pellita* y *P. caribaea*.

Especie	Modelo seleccionado	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	R ²	S _{yx}
<u>Con corteza</u>							
<i>A. mangium</i>	M1	0,005396	0,000033			0,97	0,00562
<i>E. pellita</i>	M2		0,000114	1,227533	1,371201	0,98	0,01070
<i>P. caribaea</i>	M1	0,007562	0,000034			0,90	0,01010
<u>Sin corteza</u>							
<i>A. mangium</i>	M1	0,002108	0,000028			0,96	0,00597
<i>E. pellita</i>	M2		0,000033	0,953268	2,043848	0,98	0,00861
<i>P. caribaea</i>	M1	0,002658	0,000024			0,88	0,00799


 Corpoica Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

Tabla 10. Parámetros estimados para el modelo de perfil fustal de árboles individuales de *A. mangium*, *E. pellita* y *P. caribaea*

Especie	Parámetro	Con corteza			Sin corteza		
		Estimador	R ²	S _{yx}	Estimador	R ²	S _{yx}
<i>A. mangium</i>	b ₁	-2,945923			-2,750721		
	b ₂	1,442788			1,378880		
	b ₃	-0,459671	0,96	0,9323	-0,810749	0,96	0,8363
	b ₄	323,320134			194,860781		
	a ₁	0,760134			0,703225		
	a ₂	0,056567			0,054812		
<i>E. pellita</i>	b ₁	-3,641947			-3,165638		
	b ₂	1,819200			1,588873		
	b ₃	-1,165520	0,96	1,1555	-1,160039	0,96	1,0133
	b ₄	240,928977			143,586298		
	a ₁	0,774653			0,741541		
	a ₂	0,071052			0,056545		
<i>P. caribaea</i>	b ₁	-3,059628			-2,364012		
	b ₂	1,517645			1,189249		
	b ₃	-0,347308	0,97	1,1199	-0,673856	0,97	0,9051
	b ₄	113,353937			66,605460		
	a ₁	0,826385			0,714194		
	a ₂	0,082570			0,073255		


	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

Tabla 11. Parámetros estimados para el modelo de proyección de altura dominante y/o índice de sitio.

Especie	b0	b2	Log Verosimilitud	AIC
<i>A. mangium</i>	19,274371	0,700688	500,7	510,7
<i>E. pellita</i>	29,941184	1,303724	280,6	290,6
<i>P. caribaea</i>	23,772876	1,744528	177,9	187,9

Tabla 12. Parámetros estimados para el modelo de proyección de área basal.

Especie	b0	b2	Log Verosimilitud	AIC
<i>A. mangium</i>	16,464622	0,837094	469,3	479,3
<i>E. pellita</i>	42,343967	0,696381	264,1	274,1
<i>P. caribaea</i>	56,402737	1,582350	252,5	262,5

Tabla 13. Parámetros estimados para el modelo de inicialización de área basal.

Especie	b0	b1 Syx	b2	R2	Especie
<i>A. mangium</i>	16,464622	35,579918	0,837094	0,81	1,2843
<i>E. pellita</i>	42,343967	97,537918	0,696381	0,83	2,2153
<i>P. caribaea</i>	56,402737	341,347945	1,582350	0,88	4,6527

Tabla 14. Parámetros estimados para el modelo de proyección de número de árboles.

Especie	b0	Log Verosimilitud	AIC
<i>A. mangium</i>	0,796785	1550,8	1558,8
<i>E. pellita</i>	1,387272	860,7	868,7
<i>P. caribaea</i>	0,128957	758,8	766,8


	GESTIÓN DE PRODUCTOS	CÓDIGO: GP-F-04
	I+D+i	VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

Tabla 15. Parámetros estimados para el modelo auxiliar de altura-diámetro

Especie	b0	Syx	R²
<i>A. mangium</i>	0,552979	0,92	0,9137
<i>E. pellita</i>	0,982459	0,96	1,3464
<i>P. caribaea</i>	1,077862	0,96	1,1154

Tabla 16. Parámetros estimados para los modelos auxiliares de diámetro medio (D), mínimo (Dmin) y dominante (Dd)

Especie	b0	b1	R²	Syx
<u><i>A. mangium</i></u>				
<i>D</i>	-2,378930	0,055588	0,99	0,0925
<i>Dmin</i>	-1,145210	1,188191	0,49	1,5273
<i>Dd</i>	0,424609	0,919811	0,96	0,6020
<u><i>E. pellita</i></u>				
<i>D</i>	-1,151850	0,042832	0,98	0,7658
<i>Dmin</i>	-3,328760	1,956991	0,92	1,0604
<i>Dd</i>	0,768507	0,822878	0,96	1,3249
<u><i>P. caribaea</i></u>				
<i>D</i>	-0,843030	-0,035010	0,99	0,1648
<i>Dmin</i>	-3,153680	1,885806	0,86	2,2523
<i>Dd</i>	0,640372	0,855514	0,99	0,6251


	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

Tabla 17. Clasificación de las parcelas permanentes de *A. mangium* bajo cuatro clases de sitio en la Orinoquia Colombiana.

CLASE	No PARCELA	IS (m)	IMA-DAP (cm/año)	IMA-H (m/año)	IMA-H _d (m/año)	IMA-G (m ² /ha/año)	IMA-V (m ³ /ha/año)
I	19	> 14,03	3,3 ± 1,3	3,7 ± 1,0	4,2 ± 1,2	2,3 ± 0,9	12,4 ± 4,9
II	15	12,32– 4,03	2,8 ± 1,0	3,0 ± 0,7	3,3 ± 0,9	1,6 ± 0,4	8,2 ± 1,7
III	25	10,72– 2,32	2,2 ± 0,5	2,4 ± 0,6	2,7 ± 0,7	1,3 ± 0,4	6,8 ± 1,3
IV	19	< 10,72	1,7 ± 0,4	2,0 ± 0,5	2,3 ± 0,6	0,9 ± 0,4	5,5 ± 1,0

Tabla 18. Clasificación de las parcelas permanentes de *E. pellita* bajo cuatro clases de sitio en la Orinoquia Colombiana.

CLASE	No PARCELA	IS (m)	IMA-DAP (cm/año)	IMA-H (m/año)	IMA-H _d (m/año)	IMA-G (m ² /ha/año)	IMA-V (m ³ /ha/año)
I	12	> 18,30	3,0 ± 1,2	2,9 ± 1,0	3,7 ± 0,9	1,7 ± 0,7	7,0 ± 3,6
II	11	16,33 – 18,30	1,7 ± 0,4	1,7 ± 0,2	2,2 ± 0,2	0,9 ± 0,6	4,6 ± 3,5
III	10	14,19 – 16,33	1,3 ± 0,4	1,3 ± 0,2	1,9 ± 0,1	0,6 ± 0,4	2,3 ± 1,7
IV	12	< 14,19	1,3 ± 0,3	1,2 ± 0,2	1,5 ± 0,3	0,7 ± 0,4	2,2 ± 1,3

Tabla 19. Clasificación de las parcelas permanentes de *P. caribaea* bajo cuatro clases de sitio en la Orinoquia Colombiana.

CLASE	No PARCELA	IS (m)	IMA-DAP (cm/año)	IMA-H (m/año)	IMA-H _d (m/año)	IMA-G (m ² /ha/año)	IMA-V (m ³ /ha/año)
I	7	> 20,17	1,8 ± 1,2	1,5 ± 0,9	2,0 ± 0,5	2,3 ± 2,6	14,7 ± 14,1
II	9	18,61 – 20,17	1,5 ± 0,9	1,1 ± 0,5	1,6 ± 0,3	0,9 ± 0,9	5,1 ± 2,6
III	7	17,69 – 18,61	1,9 ± 1,0	1,2 ± 0,4	1,5 ± 0,3	1,1 ± 0,7	4,9 ± 1,9
IV	9	< 17,69	1,5 ± 1,1	1,0 ± 0,5	1,1 ± 0,5	0,9 ± 0,7	3,2 ± 2,5


 <small>Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria</small>	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

Tabla 20. Estadística descriptiva de las variables químicas del suelo asociadas a 152 parcelas forestales de las especies *Acacia mangium*, *Eucalyptus pellita* y *Pinus caribea*. (n= 152 parcelas)

Variable	Mínimo	Máximo	Promedio	Mediana	Desviación estándar	Coef. Var (%)	Cuartil 25%	Cuartil 75%
pH	4.2	5.7	4.8	4.8	0.3	5.6	4.6	5.0
MO (%)	0.9	8.1	2.6	2.3	1.3	48.5	1.9	3.0
P (mg/kg)	0.4	87.3	4.5	1.7	10.9	243.0	1.3	2.8
S (mg/kg)	1.5	17.9	4.7	3.5	3.2	68.1	2.6	5.3
SAT_AL (%)	0.0	76.4	38.3	37.4	17.9	46.7	26.0	50.8
Ca (Cmol(+) / kg)	0.2	1.6	0.3	0.2	0.2	60.7	0.2	0.3
Mg (Cmol(+) / kg)	0.1	0.3	0.1	0.1	0.1	52.2	0.1	0.1
K (Cmol(+) / kg)	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	41.9	0.0	0.0
Na (Cmol(+) / kg)	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	44.4	0.0	0.0
Fe (mg / kg)	9.0	221.6	42.8	32.4	34.8	81.3	24.9	43.2
Cu (mg / kg)	0.1	1.4	0.3	0.2	0.2	62.4	0.2	0.3
Mn (mg / kg)	0.1	5.1	0.6	0.5	0.6	100.9	0.3	0.7
Zn (mg / kg)	0.1	14.7	0.5	0.3	1.4	286.5	0.2	0.4
B (mg / kg)	0.0	0.6	0.2	0.2	0.1	46.5	0.1	0.2


	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

Tabla 21. Variabilidad de las variables independientes explicada por los parámetros químicos del suelo evaluados en parcelas forestales (test de Monte Carlo, n=157 parcelas)

VARIABLES INDEPENDIENTES	VARIABILIDAD (%)	PROBABILIDAD (p<)
Departamento	2.11	0.005
Municipio	20.91	0.0001
Unidad bioclimática	5.22	0.0001
Unidad de suelos	30.10	0.0001
Plantaciones	41.21	0.0001
Especies	4.51	0.0001
Densidad de plantación	16.56	0.0001
Año de plantación	11.27	0.0001
Tipo preparación terreno	6.59	0.0001

Tabla 22. Estadística descriptiva de las variables físicas del suelo asociadas a parcelas forestales de las especies *Acacia mangium*, *Eucalyptus pellita* y *Pinus caribea*. (n= 107 parcelas)

Variable	SAT	CC	PMP	DA	MACRO	MESO	MICRO	PTTAL	ARENA	LIMO	ARCILLA
	%			gr/cm ³	%						
Mínimo	20.4	13.0	5.7	1.0	3.8	2.9	8.8	30.4	35.0	4.0	4.5
Máximo	70.2	50.8	41.7	1.9	40.4	33.0	44.5	60.0	89.5	50.5	35.0
Promedio	33.6	23.9	15.4	1.5	14.0	12.6	22.7	44.2	68.6	20.3	11.1
Mediana	32.0	21.9	13.9	1.5	13.0	10.2	21.3	44.2	75.0	16.0	9.0
Desviación estándar	7.7	6.3	6.4	0.1	6.7	6.7	7.8	4.8	13.3	11.2	5.7
Coef. Var. (%)	23.1	26.3	41.7	9.4	47.6	53.2	34.2	10.9	19.4	54.9	51.8
max/min	3.4	3.9	7.3	1.9	10.6	11.4	5.1	2.0	2.6	12.6	7.8
Cuartil 25%	28.1	20.0	11.7	1.4	9.6	8.0	17.6	41.4	60.5	12.0	7.0
Cuartil 75%	36.6	26.3	18.1	1.6	16.6	15.7	27.8	47.1	77.3	28.0	13.0



	GESTIÓN DE PRODUCTOS	CÓDIGO: GP-F-04
	I+D+i	VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

Tabla 23. Variabilidad de las variables independientes de acuerdo a las características físicas del suelo (test de Monte Carlo n=107 parcelas)

VARIABLES INDEPENDIENTES	VARIABILIDAD (%)	PROBABILIDAD (p<)
Departamento	9.37	0.0001
Municipio	22.64	0.0001
Unidad de suelos	46.49	0.0001
Plantaciones	53.87	0.0001
Especie	7.19	0.001
Densidad de plantación	13.82	0.0001
Año de siembra	7.49	0.004
Tipo preparación terreno	9.09	0.002

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

Anexo 2.(Listado de Figuras)

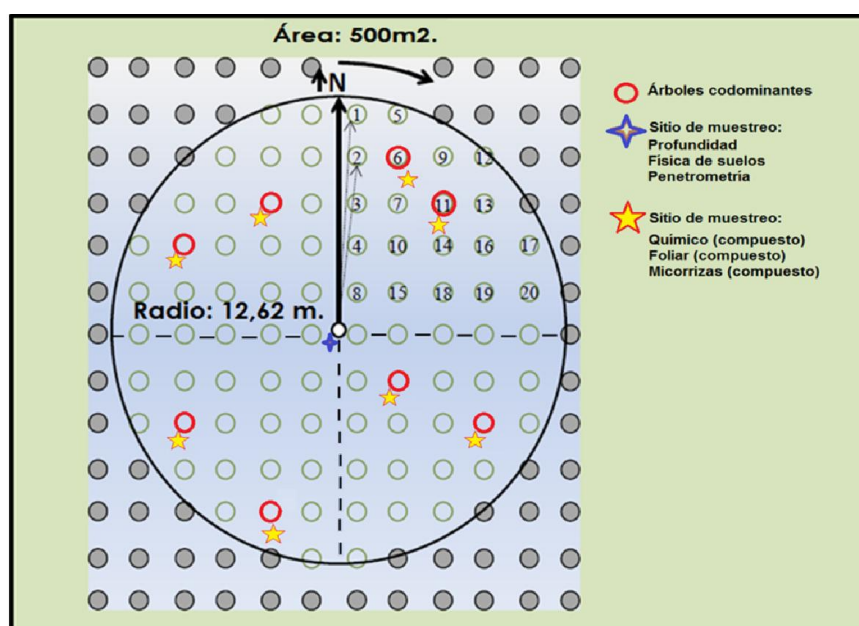
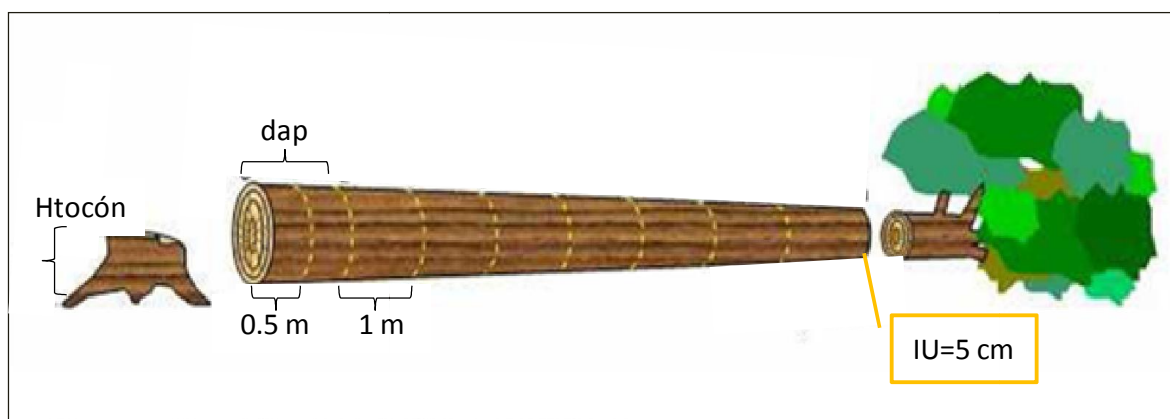


Figura 1. Diseño de parcelas de monitoreo y toma de muestras




	GESTIÓN DE PRODUCTOS	CÓDIGO: GP-F-04
	I+D+i	VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

Figura 2. Esquema metodológico para la cubicación de árboles.

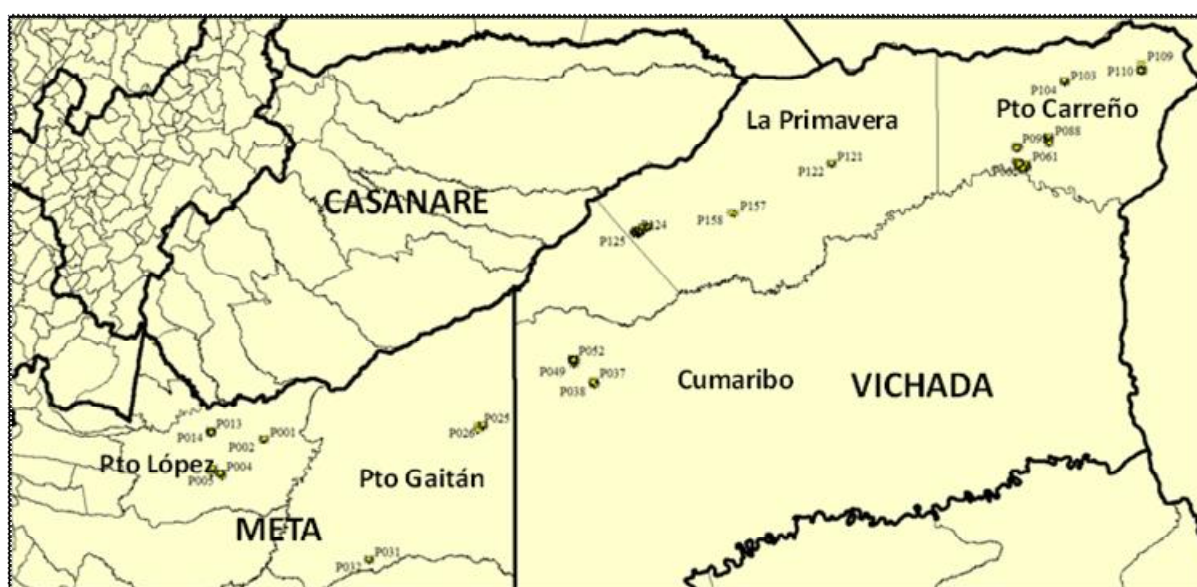



Figura 3. Ubicación geográfica de las 159 parcelas de monitoreo establecidas en los municipios de Puerto López y Puerto Gaitán (Meta) y Cumaribo, La Primavera Y Puerto Carreño Vichada.

	GESTIÓN DE PRODUCTOS	
	I+D+i	
	INFORME TÉCNICO FINAL	
		CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
		Fecha de Aprobación: 20-02-2013

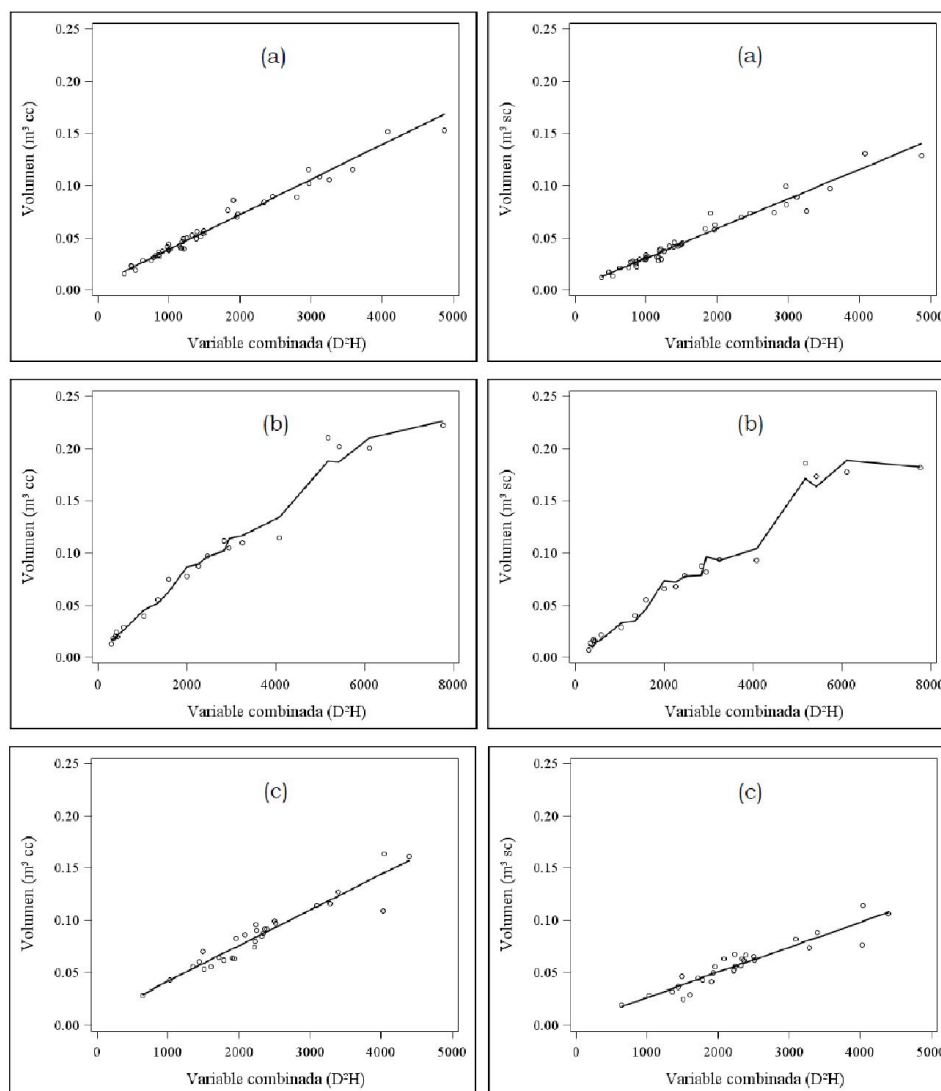



Figura 4. Comportamiento de los modelos seleccionados en la predicción de volúmenes con y sin corteza para *A. mangium* (a), *E. pellita* (b) y *P. caribaea* (c) respecto a la variable combinada (D^2H).

	GESTIÓN DE PRODUCTOS	
	I+D+i	
	INFORME TÉCNICO FINAL	
		CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
		Fecha de Aprobación: 20-02-2013

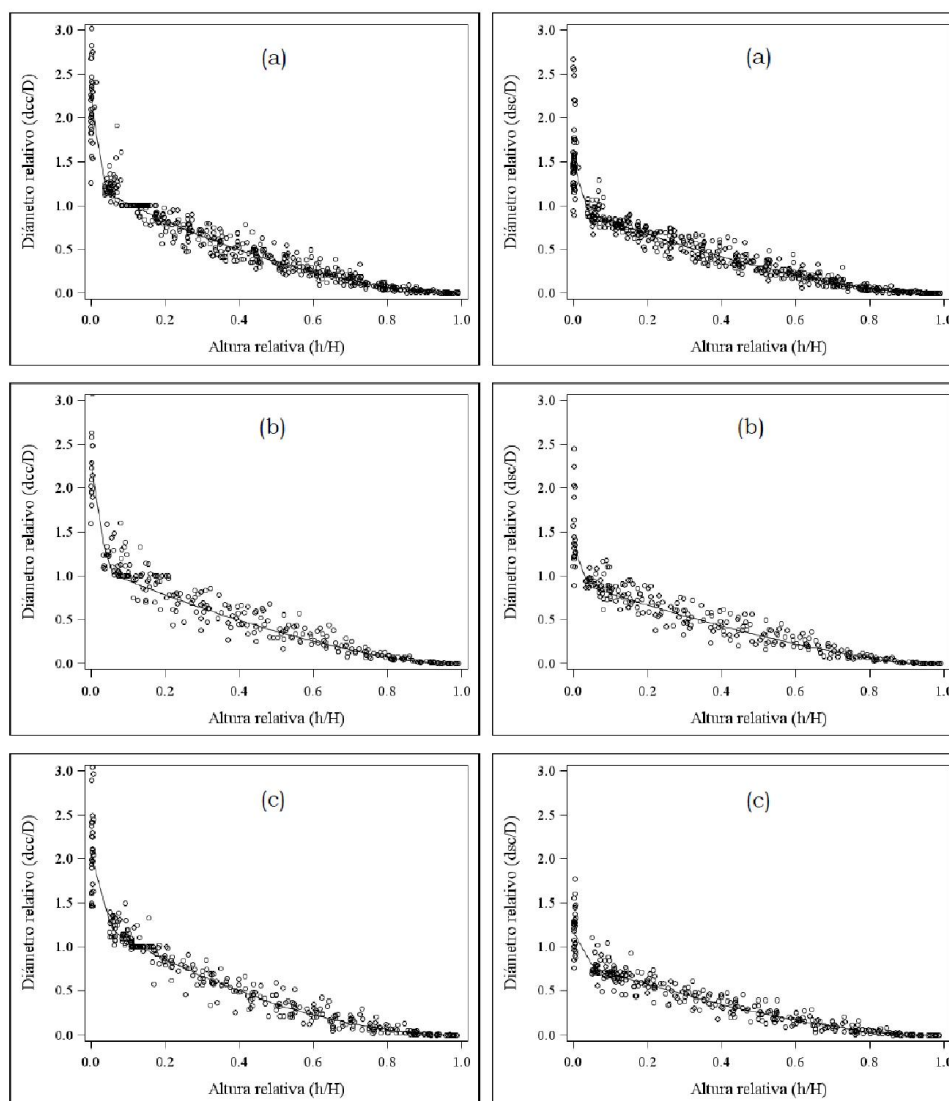



Figura 5. Comportamiento del modelo de Max y Burkhardt (1976) en la predicción de diámetros de sección con corteza y sin corteza de *A. mangium* (a), *E. pellita* (b) y *P. caribaea* (c), respectivamente.

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

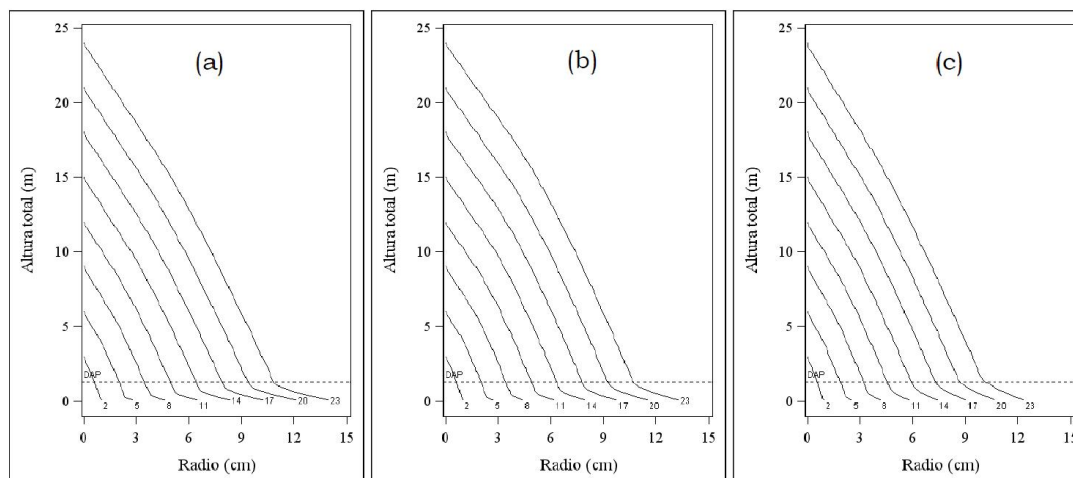


Figura 6. Capacidad predictiva del modelo de Max y Burkhardt (1976) ajustado a partir de perfiles fustales de *A. mangium* (a), *E. pellita* (b) y *P. caribaea* (c).

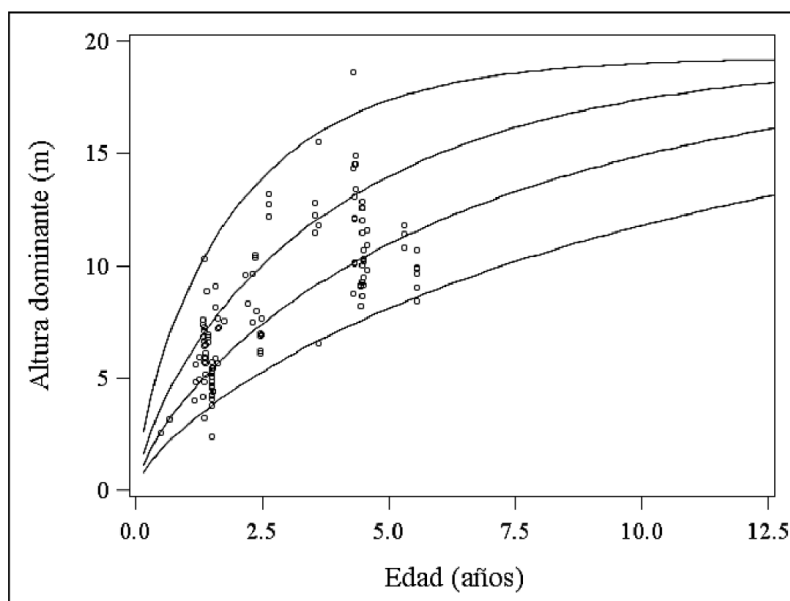



Figura 7. Proyección de la altura dominante para *A. mangium*.

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
	INFORME TÉCNICO FINAL	VERSIÓN 2
		Fecha de Aprobación: 20-02-2013

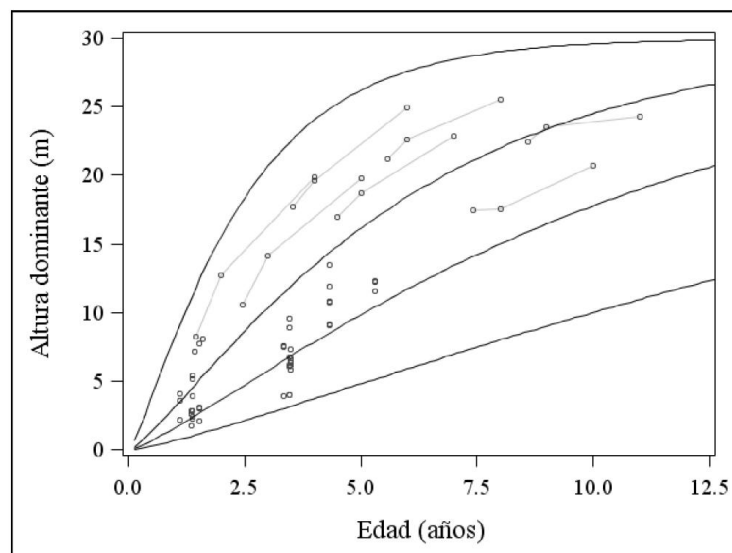


Figura 8. Proyección de la altura dominante para *Eucalyptus pellita*

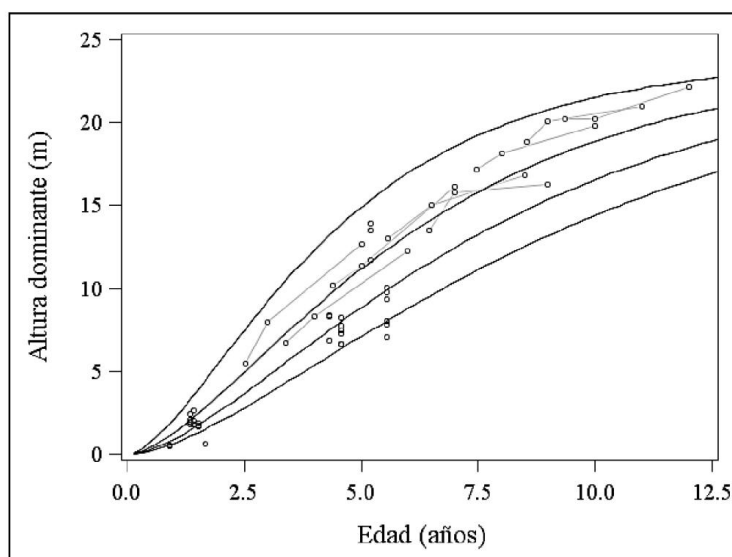



Figura 9. Proyección de la altura dominante para *Pinus caribaea*.

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
	INFORME TÉCNICO FINAL	VERSIÓN 2
		Fecha de Aprobación: 20-02-2013

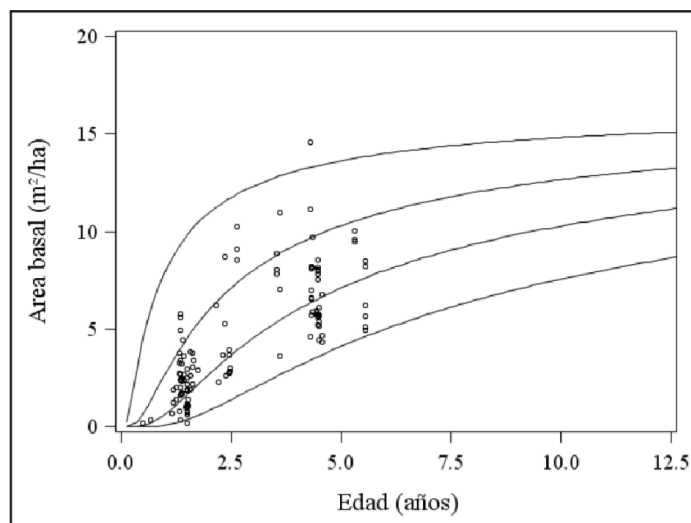


Figura 10. Proyección del área basal para *Acacia mangium*.

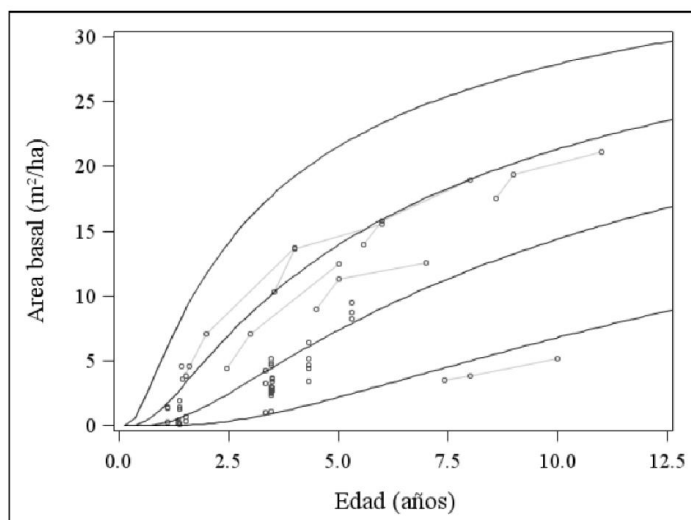



Figura 11. Proyección del área basal para *Eucalyptus pellita*.

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
	INFORME TÉCNICO FINAL	VERSIÓN 2
		Fecha de Aprobación: 20-02-2013

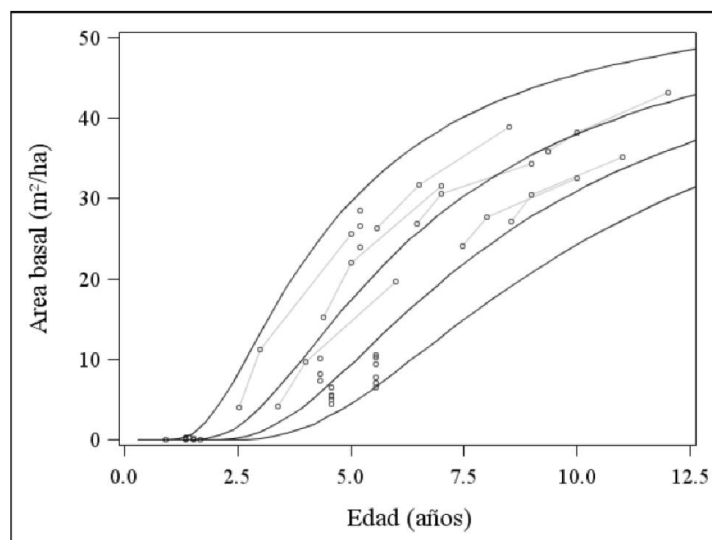


Figura 12. Proyección del área basal para *Pinus caribaea*.

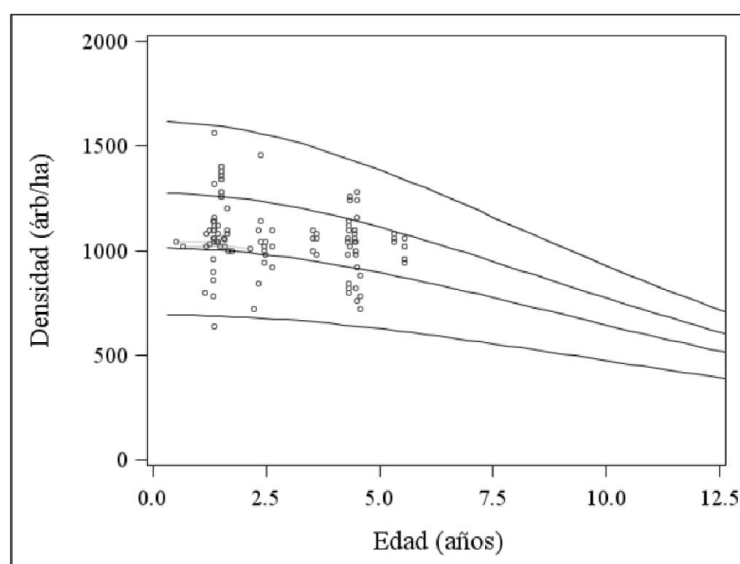



Figura 13. Proyección del número de árboles para *Acacia mangium*.

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
	INFORME TÉCNICO FINAL	VERSIÓN 2
		Fecha de Aprobación: 20-02-2013

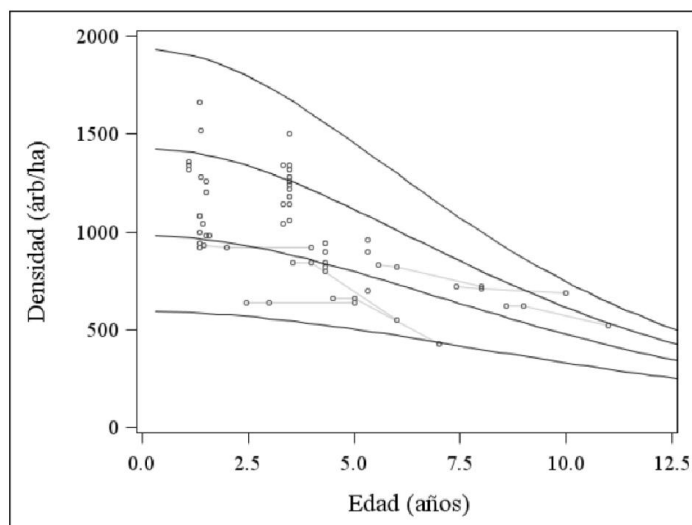


Figura 14. Proyección del número de árboles para *Eucalyptus pellita*.

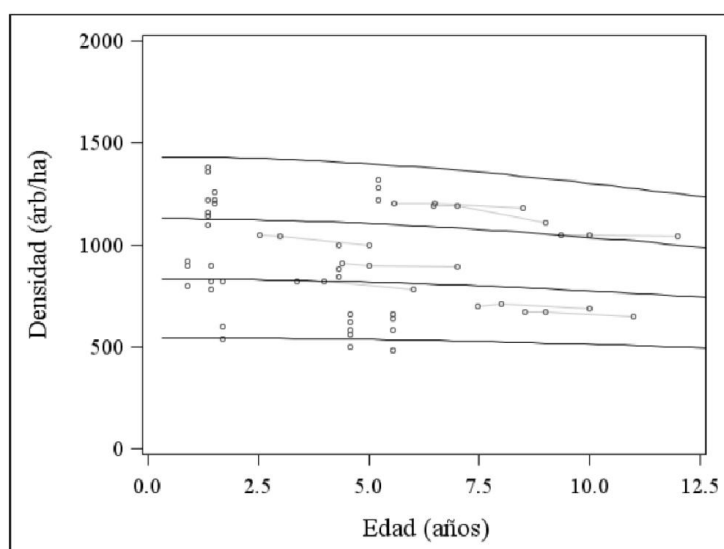



Figura 15. Proyección del número de árboles para *Pinus caribaea*

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
	INFORME TÉCNICO FINAL	VERSIÓN 2
		Fecha de Aprobación: 20-02-2013

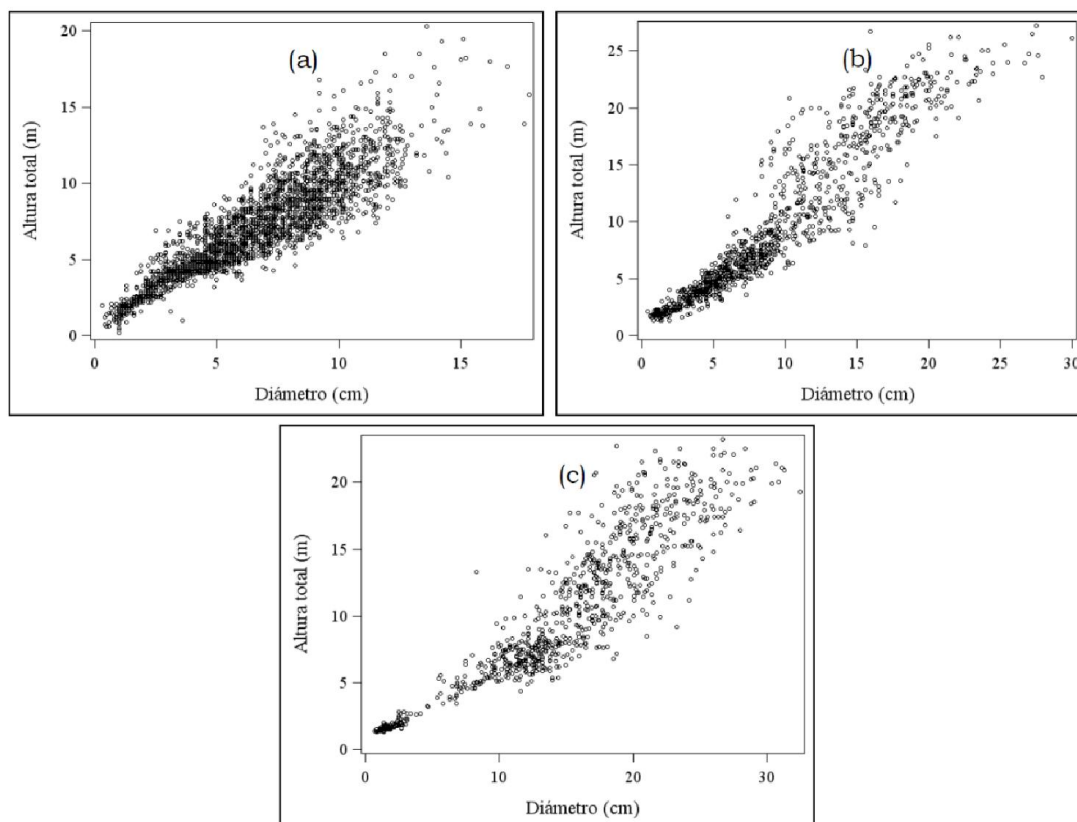



Figura 16. Relación altura-diámetro para *A. mangium* (a), *E. pellita* (b) y *P. caribaea* (c).

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

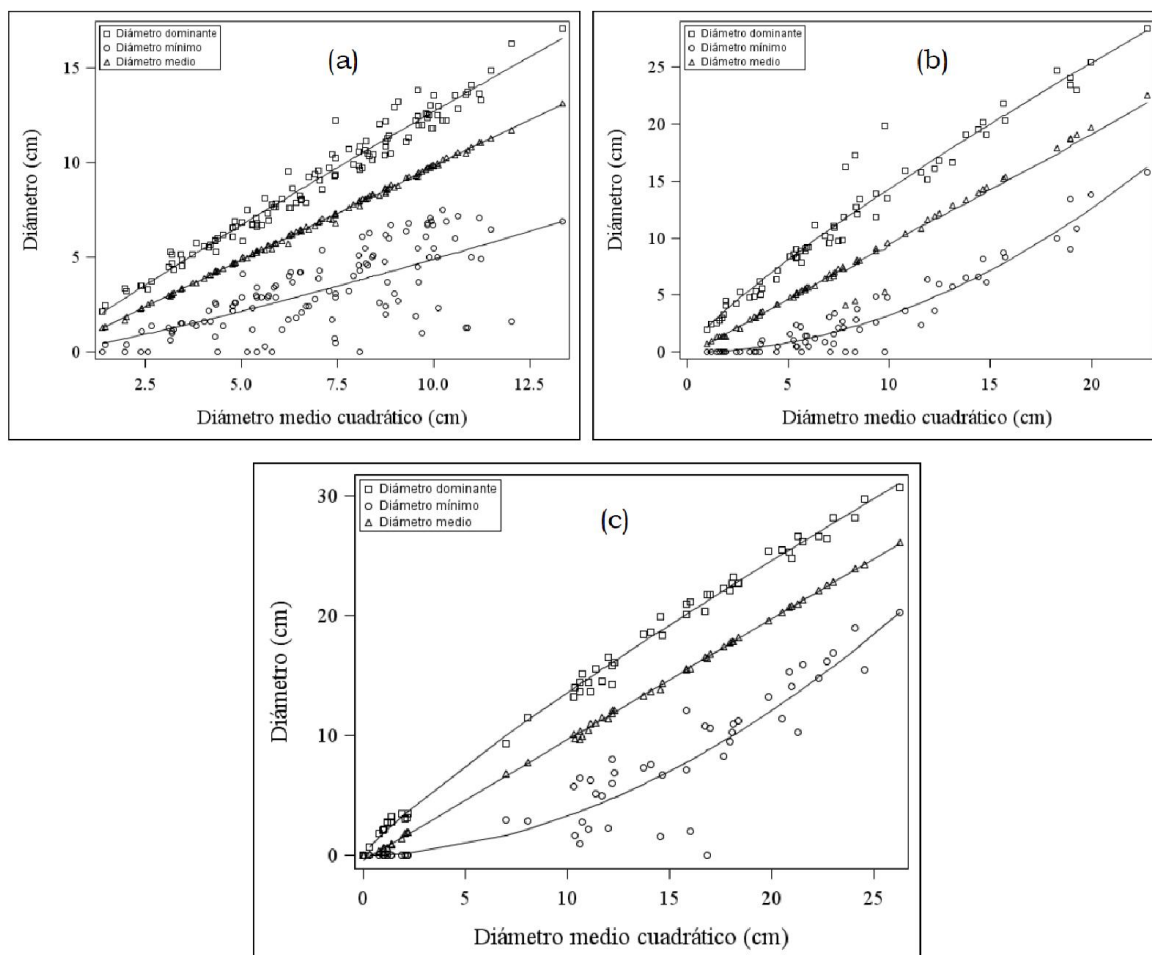



Figura 17. Comportamiento de los diámetros, medio, mínimo y dominante para *A. mangium* (a), *E. pellita* (b) y *P. caribaea* (c).

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

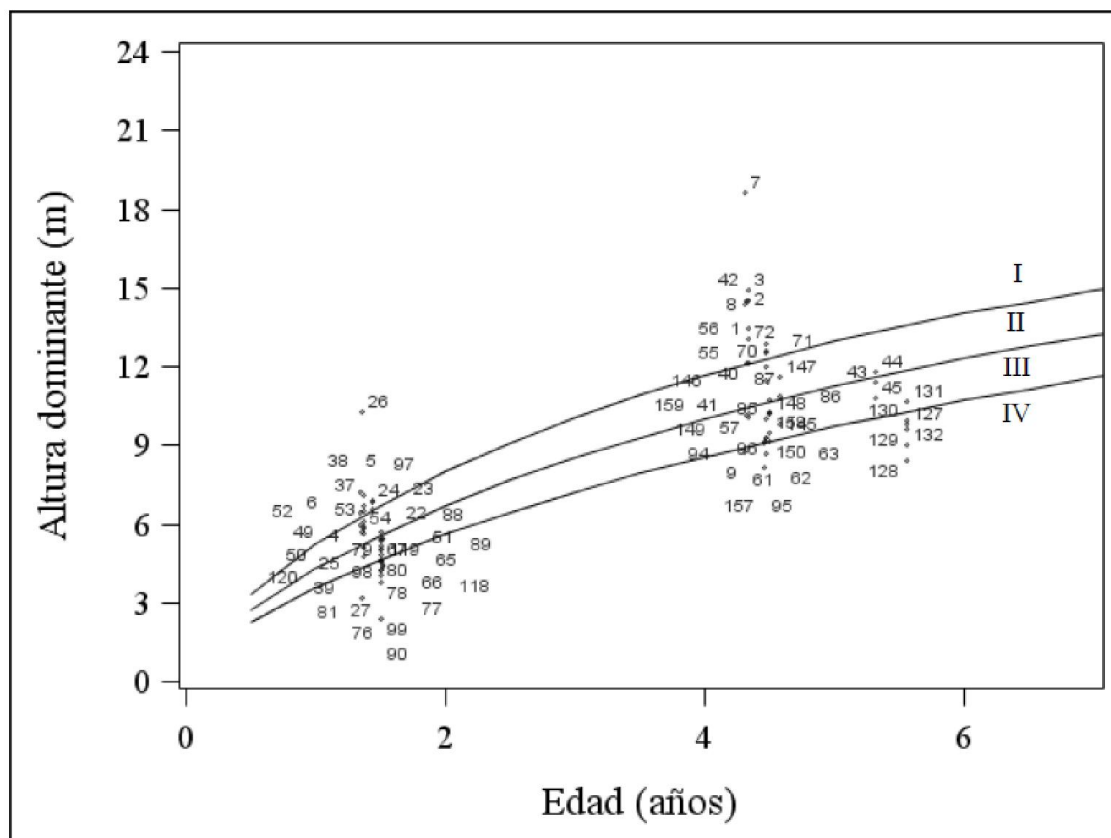



Figura 18. Clases de productividad para *Acacia mangium* con una edad clave de 6 años.

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

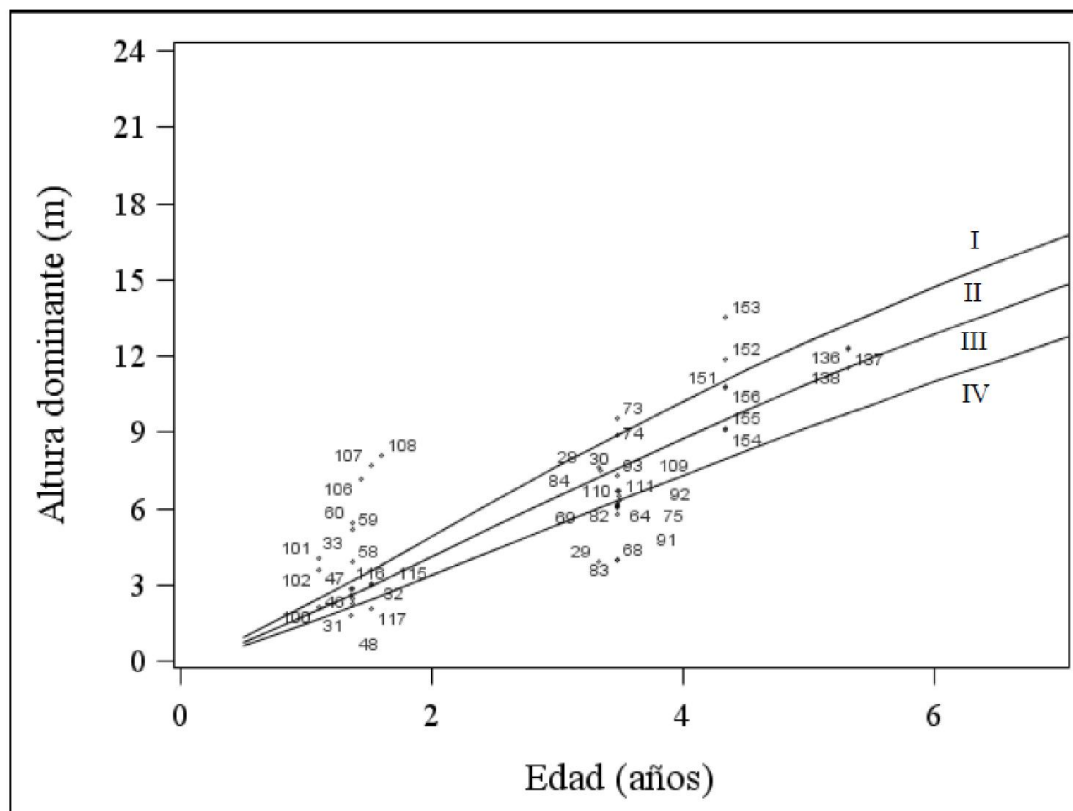



Figura 19. Clases de productividad para *Eucalyptus pellita* con una edad clave de 8 años.

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

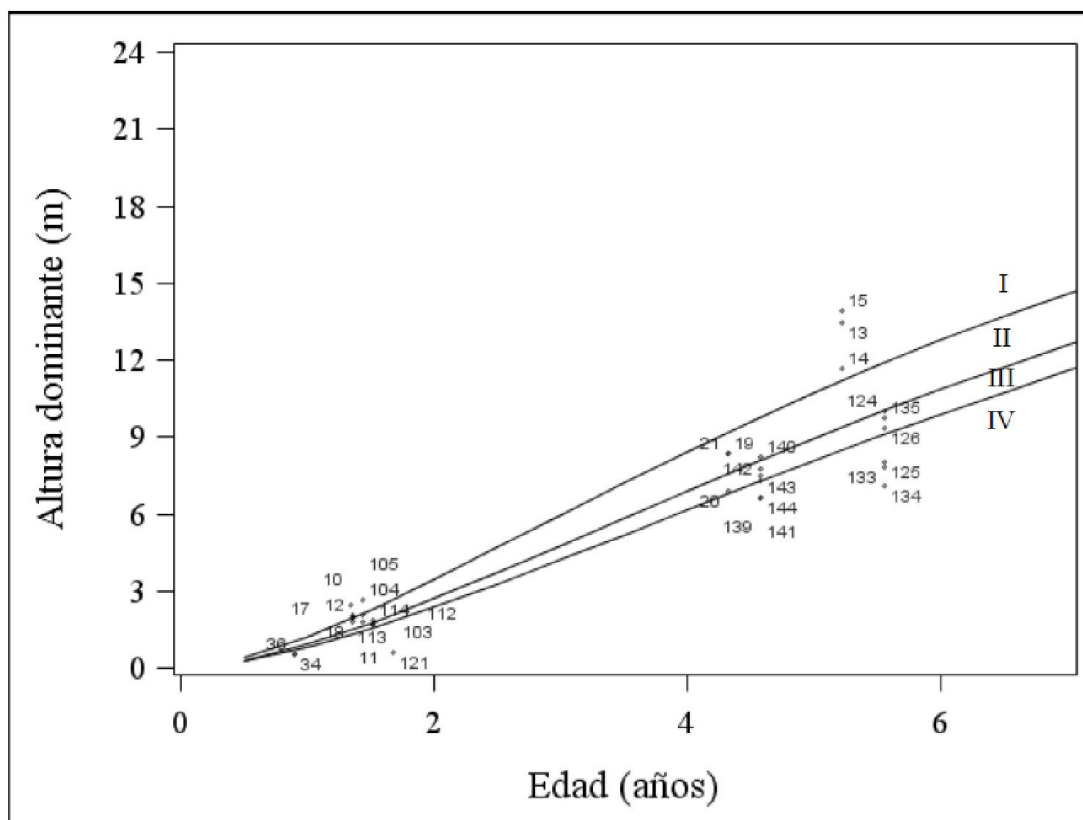



Figura 20. Clases de productividad para *Pinus caribaea* con una edad clave de 12 años.

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i		CÓDIGO: GP-F-04
			VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL		Fecha de Aprobación: 20-02-2013

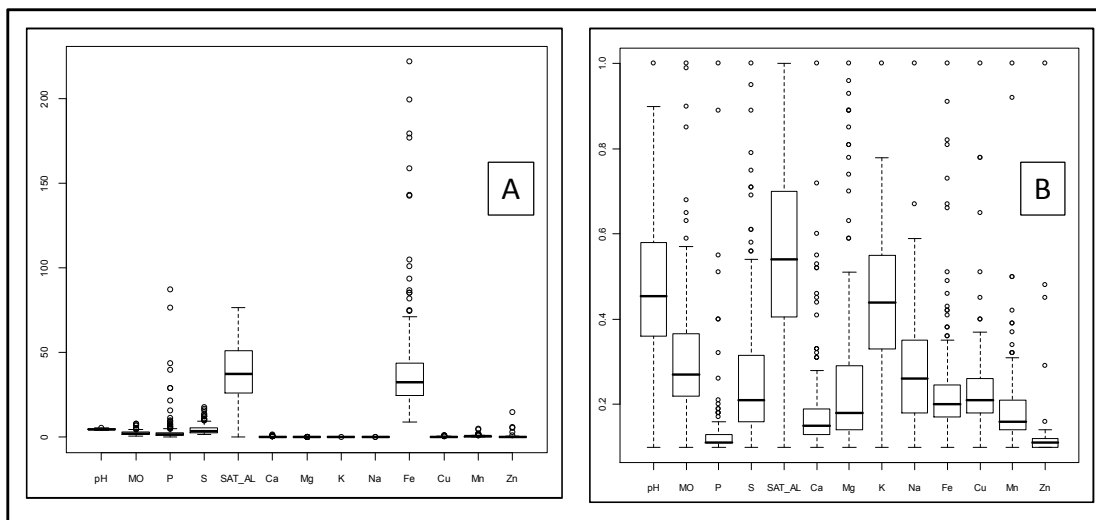


Figura 21. Distribución de parámetros químicos del suelo de 152 parcelas forestales. A) Parámetros originales y B) parámetros normalizados.

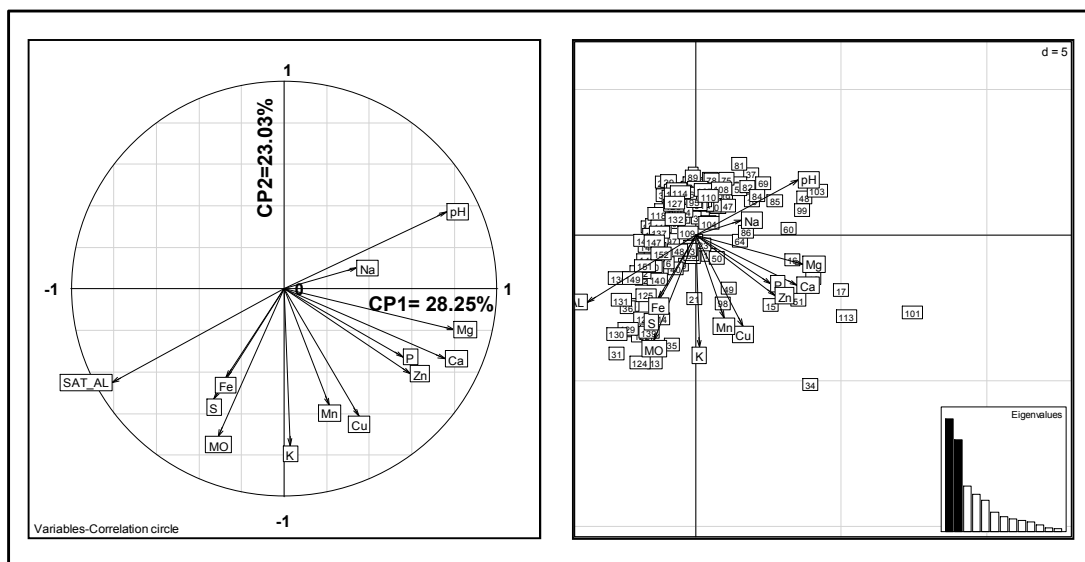



Figura 22. Proyección de las variables químicas en el suelo evaluadas en todos los puntos en el círculo de correlación en los componentes CP1 y CP2.

	GESTIÓN DE PRODUCTOS I+D+i	CÓDIGO: GP-F-04
		VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

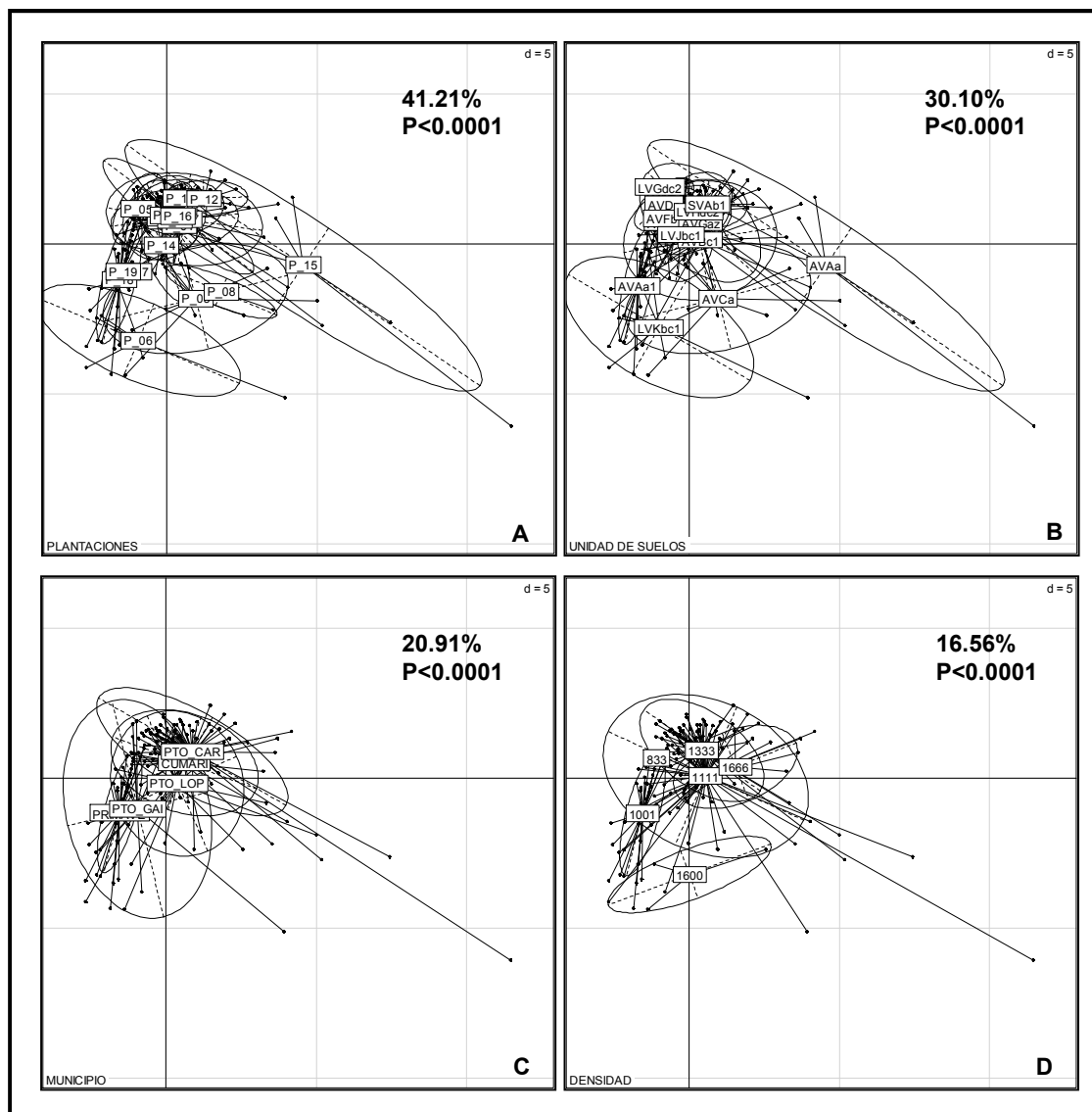



Figura 23. Dispersión de las variables químicas del suelo evaluadas en 153 parcelas forestales de las especies (*Acacia mangium*), (*Eucalyptus pellita*) y (*Pinus caribea*), en función de: A) plantaciones, B) unidades de suelos, C) municipios y D) densidad de plantación (número de árboles por ha).

	GESTIÓN DE PRODUCTOS	
	I+D+i	
	INFORME TÉCNICO FINAL	
	CÓDIGO: GP-F-04	VERSIÓN 2
	Fecha de Aprobación: 20-02-2013	

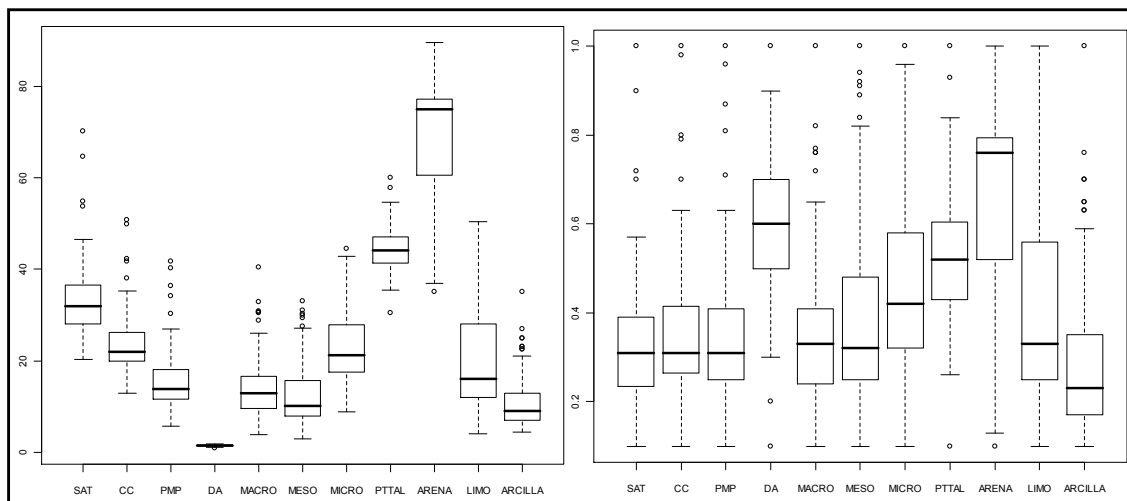


Figura 24. Distribución de parámetros físicos del suelo de 107 parcelas forestales. A) Parámetros originales y B) parámetros normalizados.

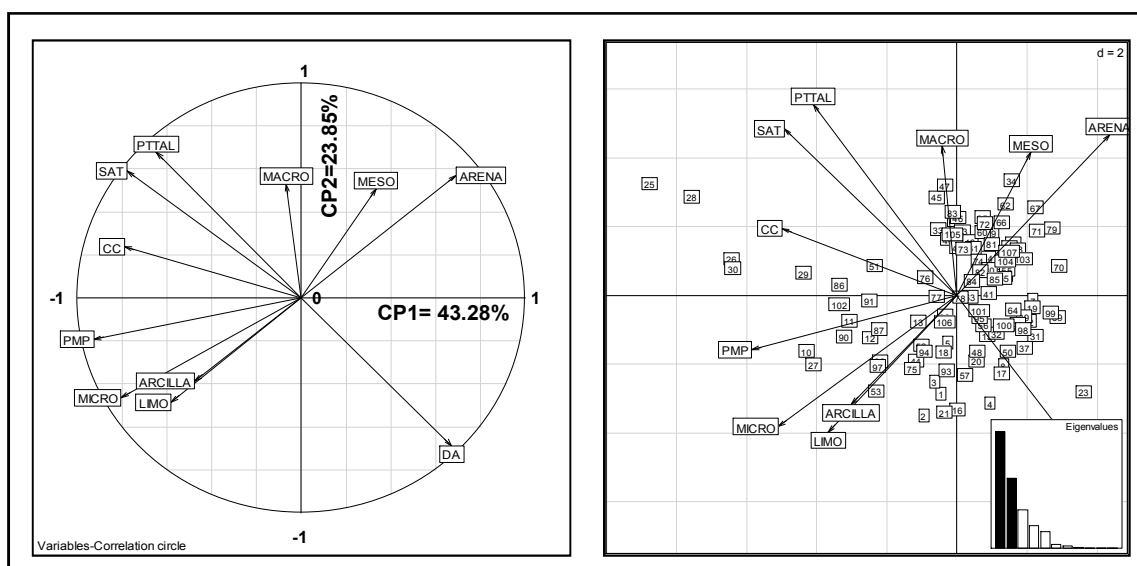



Figura 25. Proyección de las variables físicas en el suelo evaluadas en todos los puntos en el círculo de correlación en los componentes CP1 y CP2.

	GESTIÓN DE PRODUCTOS	CÓDIGO: GP-F-04
	I+D+i	VERSIÓN 2
	INFORME TÉCNICO FINAL	Fecha de Aprobación: 20-02-2013

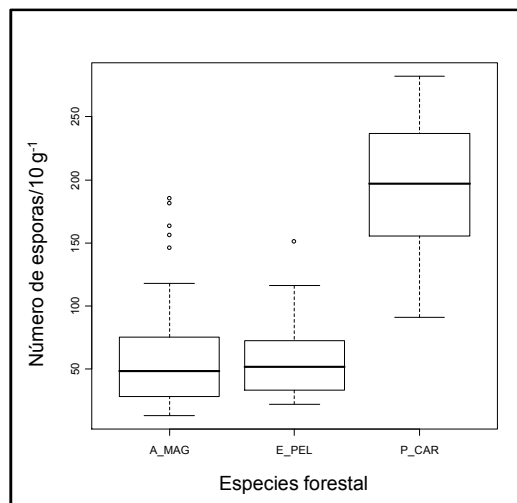


Figura 27. Número de esporas encontrado en los suelos donde se han establecido especies forestales de Acacia (*A. mangium*), Eucalipto (*Eucalyptus pellita*) y Pino (*Pinus caribea*)

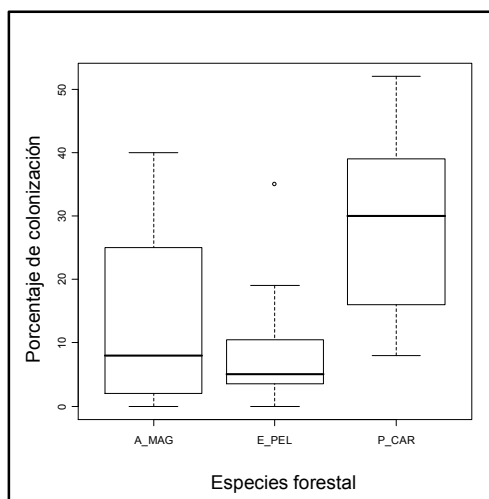


Figura 28. Porcentaje de colonización de los hongos formadores de micorrizas arbusculares sobre las raíces de las especies forestales Acacia (*A. mangium*), Eucalipto (*Eucalyptus pellita*) y Pino (*Pinus caribea*).