

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
SUBDIRECCIÓN GENERAL ADJUNTA DE ENSEÑANZA
PROGRAMA DE POSGRADO

COMPORTAMIENTO EN PLANTACIÓN DE MANGIUM (*Acacia mangium*
Willd) Y ARIPIIN (*Caesalpinia velutina* (ByR) Standl)
EN AMÉRICA CENTRAL

Tesis sometida a consideración del Comité Técnico Académico
del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y
Recursos Naturales del Centro Agronómico Tropical de
Investigación y Enseñanza, para optar al grado de

MAGISTER SCIENTIAE

Por

EDWIN OLIVA HURTARTE

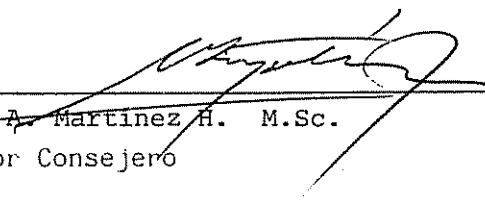
Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
Turrialba, Costa Rica

1990

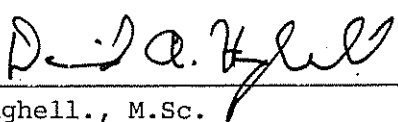
Esta tesis ha sido aceptada, en su presente forma, por la Coordinación del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales Renovables del CATIE, y aprobada por el Comité Asesor del estudiante como requisito parcial para optar el grado de:

MAGISTER SCIENTIAE

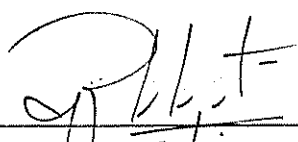
COMITE ASESOR:



Héctor A. Martínez H. M.Sc.
Profesor Consejero

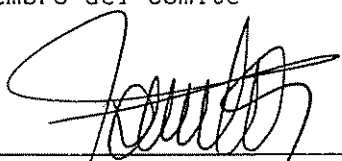


David Hughell., M.Sc.
Miembro del Comité

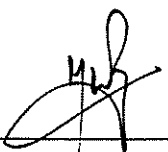


Rodolfo Salazar E., Ph.D.
Miembro del Comité

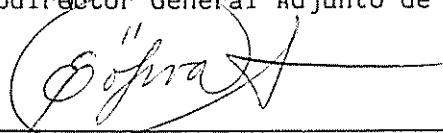
Miembro del Comité



Ramón Lastra Rodríguez, Ph.D.
Coordinador, Programa de Estudios de Posgrado



Dr. José Luis Parisí
Subdirector General Adjunto de Enseñanza



Edwin Oliva Hurtarte
Candidato

AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer a:

Mis padres: Arturo Oliva Sagastume y Edelmira Hurtarte Dubón.

Héctor A. Martínez H., M.Sc.; David Hughell, M.Sc.; y Rodolfo Salazar, Ph.D., miembros del Comité Asesor de Tesis, por su asesoría en la elaboración de este documento.

Leyla González, por su apoyo y estímulo durante la realización de este trabajo.

Ian D. Hutchinson, B.S. y Miguel Angel Musalem, Ph.D., por sus acertados comentarios y sugerencias durante la realización del trabajo de tesis.

Al Proyecto "Cultivo de Arboles de Uso Múltiple (MADELENA)", que con fondos de AID-ROCAP me financió los estudios de maestría.

Al personal del Proyecto Madeleña y a todas las personas que de una u otra manera me prestaron su colaboración.

BIOGRAFIA

El autor nació en San Antonio Suchitepéquez, Guatemala.

En 1977 ingresó a la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, donde se graduó de Ingeniero Agrónomo en 1982.

De 1983 a 1987 laboró en el Insituto Nacional Forestal (hoy Dirección General de Bosques y Vida Silvestre), donde ocupó cargos en la Unidad de Parques Nacionales y Vida Silvestre y en los Proyectos "Leña y Fuentes Alternas de Energía" y "Cultivo de Arboles de Uso Múltiple".

En septiembre de 1987 ingresó al Programa de Posgrado del CATIE en Turrialba, Costa Rica, donde obtuvo el grado de Magister Scientiae en febrero de 1990.

INDICE

| | Página |
|---|--------|
| RESUMEN | viii |
| SUMMARY | x |
| LISTA DE CUADROS | xii |
| LISTA DE FIGURAS | xv |
| LISTA DE ANEXOS..... | xvii |
| 1. INTRODUCCION | 1 |
| 1.1 Objetivos | 3 |
| 1.1.1 General | 3 |
| 1.1.2 Específicos | 3 |
| 2. REVISION DE LITERATURA | 4 |
| 2.1 Descripción de las especies | 4 |
| 2.1.1 Acacia mangium | 4 |
| 2.1.1.1 Distribución | 4 |
| 2.1.1.2 Descripción | 4 |
| 2.1.1.3 Usos | 5 |
| 2.1.1.4 Requerimientos ambientales | 6 |
| 2.1.1.5 Silvicultura de la especie | 7 |
| 2.1.1.5.1 Regeneración natural | 8 |
| 2.1.1.5.2 Regeneración artificial | 8 |
| 2.1.1.6 Crecimiento de la especie | 9 |
| 2.1.1.7 Plagas, enfermedades y factores limitantes | 10 |
| 2.1.2 Caesalpinia velutina | 11 |
| 2.1.2.1 Distribución | 11 |
| 2.1.2.2 Descripción de la especie | 12 |
| 2.1.2.3 Usos | 12 |
| 2.1.2.4 Requerimientos ambientales | 13 |
| 2.1.2.5 Silvicultura de la especie | 14 |
| 2.1.2.5.1 Regeneración natural | 14 |
| 2.1.2.5.2 Regeneración artificial | 15 |
| 2.1.2.6 Crecimiento de la especie | 16 |
| 2.1.2.7 Factores limitantes | 16 |

| | Página |
|---|-----------|
| 2.2 Ensayos de especies forestales | 16 |
| 2.3 Parcelas de muestreo permanente | 17 |
| 2.3.1 Tamaño y forma de las parcelas permanentes de rendimiento | 18 |
| 2.4 Evaluación de la calidad de sitio | 19 |
| 2.4.1 Métodos para cuantificar la calidad de sitio | 19 |
| 2.4.1.1 Métodos directos para clasificar los sitios | 20 |
| 2.4.1.1.1 Estimación de la calidad de sitio por registros de rendimiento históricos | 20 |
| 2.4.1.1.2 Estimación de la calidad de sitio basada en datos de volumen del rodal | 20 |
| 2.4.1.1.3 Estimación de la calidad de sitio mediante datos de altura del rodal | 21 |
| 2.5 Modelos de crecimiento y rendimiento | 23 |
| 3. MATERIALES Y METODOS | 25 |
| 3.1 Localización de las parcelas de crecimiento y del área de estudio | 25 |
| 3.2 Metodología | 31 |
| 3.2.1 Parcelas de medición | 31 |
| 3.2.2 Toma de datos de crecimiento | 31 |
| 3.2.3 Toma de datos de rendimiento | 32 |
| 3.2.4 Análisis de suelo | 34 |
| 3.2.5 Análisis de los datos de crecimiento | 36 |
| 3.2.6 Cálculo de índices de sitio | 37 |
| 3.2.7 Análisis de los datos de rendimiento | 42 |
| 3.2.8 Incorporación de la serie de ecuaciones al modelo global | 43 |
| 3.2.9 Verificación de los modelos | 44 |

| | Pagina |
|---|--------|
| 4. RESULTADOS Y DISCUSION | 46 |
| 4.1 Crecimiento de las parcelas estudiadas | 46 |
| 4.2 Estimación del índice de sitio | 48 |
| 4.3 Estimación de la altura y el diámetro | 52 |
| 4.4 Correlación entre variables de los sitios e índices de sitio | 56 |
| 4.4.1 Acacia mangium | 56 |
| 4.4.2 Caesalpinia velutina | 59 |
| 4.5 Estimación de la producción | 60 |
| 4.5.1 Acacia mangium | 60 |
| 4.5.2 Caesalpinia velutina | 63 |
| 4.6 Tablas de rendimiento | 66 |
| 4.7 Verificación de los modelos | 78 |
| 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 80 |
| 6. BIBLIOGRAFIA | 84 |
| 7. ANEXOS | 90 |

OLIVA HURTARTE, E. 1990. Comportamiento en plantación de mangium (*Acacia mangium* Willd) y aripín (*Caesalpinia velutina* (ByR) Standl) en América Central. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 117 p.

Palabras claves: *Acacia mangium* Willd, *Caesalpinia velutina* (ByR) Standl, plantación, índice de sitio, modelos de crecimiento y rendimiento, tablas de volumen y producción de biomasa.

RESUMEN

Mangium (*Acacia mangium* Willd) y aripín (*Caesalpinia velutina* (ByR) Standl) son especies forestales de rápido crecimiento, originarias de Australia, Papua Nueva Guinea y el este de Indonesia la primera de ellas, y del sur de México y Guatemala la segunda.

La madera de ambas especies puede ser utilizada como leña, carbón, en ebanistería, carpintería, contrachapado y construcciones ligeras.

En la región centroamericana existe información de mediciones de plantaciones forestales provenientes de una red de parcelas instaladas en todos los países por los proyectos "Leña y Fuentes Alternas de Energía" (1980-1985) y "Cultivo de Arboles de Uso Múltiple" (Madeleña) (1986-1991) de CATIE-ROCAP, con la colaboración de las instituciones forestales de cada país.

En este estudio se utilizó la información colectada por estos proyectos para evaluar el crecimiento y rendimiento en la región de dos especies, a saber, mangium y aripín, establecidas en plantaciones puras y sin intervenciones en la forma de aclareos.

Se encontraron incrementos medios anuales (IMA) en diámetro a la altura del pecho (dap) y altura de 3,26 cm y 2,03 m para mangium, y 1,52 cm y 1,43 m para aripín respectivamente.

Los modelos de crecimiento (dap y altura) se desarrollaron en función de la edad de las plantaciones y del índice de sitio (el cual se define como la altura dominante que tendría un rodal a una edad base), para ambas especies los modelos seleccionados tienen coeficientes de determinación (R^2) superiores al 79%. Se desarrollaron modelos matemáticos para estimar el rendimiento por árbol (peso seco de biomasa y volumen) en función del dap y la altura, para ambas especies los modelos seleccionados tienen coeficientes de determinación (R^2) superiores al 80%.

En rodales promedio a la edad de 4 años y 2000 árboles/ha mangium puede producir 15 tm/ha/año de leña y 39 m³/ha/año de volumen total con corteza; aripín puede producir en rodales de 5 años y 2183 árboles/ha 10,4 tm/ha/año de leña y 13,3 m³/ha/año de volumen total con corteza.

OLIVA HURTARTE, E. 1990. Behavior in plantation of mangium (*Acacia mangium* Willd) and aripín (*Caesalpinia velutina* (ByR) Standl) in Central América. Mag. Sc. Thesis. Turrialba, C.R., CATIE. 117 p.

Key words: *Acacia mangium* Willd, *Caesalpinia velutina* (ByR) Standl, plantation, site index, growth and yield models, volume tables and biomass production.

SUMMARY

Mangium (*Acacia mangium* Willd) and aripín (*Caesalpinia velutina* (ByR) Standl) are rapid growth tree species, being the former original from Australia, Papua New Guinea and the east of Indonesia, while the second is from the south of Mexico and Guatemala.

The wood from both species is used as firewood and charcoal, in carpentry, plywood and light constructions (or buildings).

In the Central American region there is information from forest plantation measurements made in plots belonging to the projects "Lefía y Fuentes Alternas de Energía" (1980-1985) and "Cultivo de Árboles de Uso Múltiple" (Madeleña) (1986-1991) which are carried out by CATIE and ROCAP, with the cooperation of forestry agencies from each country.

This study used the information gathered by those projects in order to evaluate both species growth and yield, on pure plantations and without thinning treatments.

Among the principal findings, the diameter at breast height (dbh) and height mean annual increments were 3.26 cm and 2.03 m for mangium and 1.52 cm and 1.43 m for aripín.

Height and dbh growth models were developed based on plantation age and site index (that is defined as the stand dominant height at a specific age), the selected models for both species have determination coefficient higher than 79%. Mathematics models were developed to determine or estimate individual tree yield (biomass dry weight and volume) as a

dbh and height function, which in this case have determination coefficients above 80%.

In average stand, 4 year old and 2000 trees per hectare, mangium can produce 15 mT/ha/year of firewood and 39 m³/ha/year of total volume including bark; while aripin in 5 year stand with 2183 trees/ha can produce 10.4 mT/ha/year of firewood and 13.3 m³/ha/year of total volume with bark.

LISTA DE CUADROS

| Cuadro No. | | Pagina |
|------------|--|--------|
| 1 | Crecimiento de <i>Acacia mangium</i> en algunos países tropicales | 10 |
| 2 | Crecimiento de <i>Caesalpinia velutina</i> en algunos sitios de América Central | 17 |
| 3 | Ubicación de las parcelas de <i>Acacia mangium</i> en América Central | 28 |
| 4 | Ubicación de las parcelas de <i>Caesalpinia velutina</i> en América Central | 30 |
| 5 | Ambito de las variables incluidas para los resúmenes por medición para las parcelas de <i>Acacia mangium</i> en América Central | 47 |
| 6 | Ambito de las variables incluidas para los resúmenes por medición para las parcelas de <i>Caesalpinia velutina</i> en América Central | 48 |
| 7 | Ambitos de las variables incluidas para estimar los índices de sitio de <i>Acacia mangium</i> y <i>Caesalpinia velutina</i> en América Central | 52 |
| 8 | Valores de los coeficientes para estimar el índice de sitio de las parcelas de <i>Acacia mangium</i> y <i>Caesalpinia velutina</i> en América Central | 52 |
| 9 | Coeficientes de regresión para los modelos de crecimiento en altura para <i>Acacia mangium</i> y <i>Caesalpinia velutina</i> en América Central | 53 |
| 10 | Ambito de edades e índices de sitio utilizados para desarrollar los modelos de crecimiento en altura de <i>Acacia mangium</i> y <i>Caesalpinia velutina</i> en América Central | 54 |
| 11 | Coeficientes de regresión para los modelos de crecimiento en dap para <i>Acacia mangium</i> y <i>Caesalpinia velutina</i> en América Central | 55 |
| 12 | Ambito de edades e índices de sitio usados para desarrollar los modelos de crecimiento en dap de <i>Acacia mangium</i> y <i>Caesalpinia velutina</i> en América Central | 56 |

Cuadro No.

Página

| | | |
|----|---|--|
| 13 | Valores de los coeficientes y sus respectivos errores estándar para estimar el índice de sitio de <i>Acacia mangium</i> en función de características del sitio en América Central ..58 | |
| 14 | Coefficientes de regresión y determinación de los modelos para estimar la producción por árbol de <i>Acacia mangium</i> en América Central61 | |
| 15 | Ambito de valores de dap utilizados para desarrollar los modelos de volúmenes y biomasa en función de la edad para <i>Acacia mangium</i> en América Central62 | |
| 16 | Tabla de volúmenes (m ³) y Pesos secos de biomasa (kg) por árbol de <i>Acacia mangium</i> en América Central62 | |
| 17 | Coefficientes de regresión y determinación de los modelos para estimar la producción por árbol de <i>Caesalpinia velutina</i> en América Central 64 | |
| 18 | Ambito de diámetros y alturas utilizados en la confección de los modelos de volumen y peso de leña de <i>Caesalpinia velutina</i> en América Central65 | |
| 19 | Tabla de volumen con corteza total en m ³ por árbol de <i>Caesalpinia velutina</i> en América Central65 | |
| 20 | Tabla de volumen total sin corteza en m ³ por árbol de <i>Caesalpinia velutina</i> en América Central66 | |
| 21 | Tabla de producción de leña seca (fuste + ramas) de <i>Caesalpinia velutina</i> en América Central66 | |
| 22 | Predicción del rendimiento de mangium para tres índices de sitio en América Central68 | |
| 23 | Predicción del rendimiento de arripín para tres índices de sitio en América Central69 | |
| 24 | Resultados de la verificación de los modelos para estimar la altura, el dap y el peso seco de leña de mangium en América Central79 | |

Cuadro No.

Página

| | |
|----|---|
| 25 | Resultados de la verificación de los modelos para estimar la altura, el dap y el peso seco de leña de aripín en América Central79 |
|----|---|

LISTA DE FIGURAS

| Figura No. | | Página |
|------------|--|--------|
| 1 | Mapa de localización de las parcelas de <i>Acacia mangium</i> en América Central | 26 |
| 2 | Mapa de localización de las parcelas de <i>Caesalpinia velutina</i> en América Central | 27 |
| 3 | Crecimiento en dap (cm) con respecto a la edad (meses) de las parcelas de <i>Acacia mangium</i> en América Central | 49 |
| 4 | Crecimiento en altura media (m) con respecto a la edad (meses) de las parcelas de <i>Acacia mangium</i> en América Central | 49 |
| 5 | Crecimiento en dap (cm) con respecto a la edad (meses) de las parcelas de <i>Caesalpinia velutina</i> en América Central | 50 |
| 6 | Crecimiento en altura media (m) con respecto a la edad (meses) de las parcelas de <i>Caesalpinia velutina</i> en América Central | 50 |
| 7 | Gráfico del modelo en dap de curvas anamórficas para plantaciones de <i>Acacia mangium</i> en América Central | 71 |
| 8 | Gráfico del modelo en altura media para plantaciones de <i>Acacia mangium</i> a edad base de 48 meses en América Central | 71 |
| 9 | Producción en volumen (con corteza) de <i>Acacia mangium</i> para los índices de sitio de 12, 9 y 6 m y densidad de plantación de 2500 árboles/ha en América Central | 72 |
| 10 | Producción en pes seco de leña (PSL) de <i>Acacia mangium</i> para los índices de sitio de 12, 9 y 6 m y densidad de plantación de 2500 árboles/ha en América Central | 72 |
| 11 | Incremento medio anual (IMA) e Incremento corriente anual (ICA) en peso seco de leña (PSL) de <i>Acacia mangium</i> para un índice de sitio de 12 m y densidad de plantación de 2500 árboles/ha en América Central | 73 |

| Figura No. | Pagina |
|------------|--|
| 12 | Incremento medio anual (IMA) e Incremento corriente anual (ICA) en peso seco de leña (PSL) de <i>Acacia mangium</i> para un índice de sitio de 9 m y densidad de plantación de 2500 árboles/ha en América Central73 |
| 13 | Incremento medio anual (IMA) e Incremento corriente anual (ICA) en peso seco de leña (PSL) de <i>Acacia mangium</i> para un índice de sitio de 6 m y densidad de plantación de 2500 árboles/ha en América Central74 |
| 14 | Gráfico del modelo en dap de curvas anamorficas para plantaciones de <i>Caesalpinia velutina</i> en America Central74 |
| 15 | Grafico del modelo en altura media para plantaciones de <i>Caesalpinia velutina</i> a edad base de 60 meses en América Central75 |
| 16 | Producción en volumen (con corteza) de <i>Caesalpinia velutina</i> para los índices de sitio de 12, 9 y 6 m y densidad de plantación de 2500 árboles/ha en América Central75 |
| 17 | Producción en peso seco de leña (PSL) de <i>Caesalpinia velutina</i> para los índices de sitio de 12, 9 y 6 m y densidad de plantación de 2500 árboles/ha en América Central76 |
| 18 | Incremento medio anual (IMA) e Incremento corriente anual (ICA) en peso seco de leña (PSL) de <i>Caesalpinia velutina</i> para un índice de sitio de 12 m y densidad de plantación de 2500 árboles/ha en América Central76 |
| 19 | Incremento medio anual (IMA) e Incremento corriente anual (ICA) en peso seco de leña (PSL) de <i>Caesalpinia velutina</i> para un índice de sitio de 9 m y densidad de plantación de 2500 árboles/ha en América Central77 |
| 20 | Incremento medio anual (IMA) e Incremento corriente anual (ICA) en peso seco de leña (PSL) de <i>Caesalpinia velutina</i> para un índice de sitio de 6 m y densidad de plantación de 2500 árboles/ha en América Central77 |

LISTA DE ANEXOS

| Anexo No. | | Página |
|-----------|--|--------|
| 1 | Formularios empleados en la recolección de la información de campo | 91 |
| 2 | Datos de análisis de suelo de ensayos de mangium en América Central. Profundidad 0-40 cm | 96 |
| 3 | Análisis de suelo de ensayos de arripín en América Central. Profundidad 0-40 cm | 97 |
| 4 | Parcelas de <i>Acacia mangium</i> utilizadas para analizar el crecimiento en altura de la especie en función de la edad y del índice de sitio en América Central | 99 |
| 5 | Parcelas de <i>Acacia mangium</i> utilizadas para el análisis del crecimiento en diámetro de la especie en función de la edad y del índice de sitio en América Central | 101 |
| 6 | Parcelas de <i>Caesalpinia velutina</i> utilizadas para el análisis del crecimiento en altura de la especie en función de la edad e índice de sitio en América Central | 102 |
| 7 | Parcelas de <i>Caesalpinia velutina</i> utilizadas para analizar el crecimiento en diámetro de la especie en función de la edad e índice de sitio en América Central | 103 |
| 8 | Parcelas de <i>Acacia mangium</i> utilizadas para estimar los índices de sitio en América Central | 104 |
| 9 | Parcelas de <i>Caesalpinia velutina</i> utilizadas para estimar los índices de sitio en América Central | 105 |
| 10 | Archivo CALID1.WK1 para mangium | 106 |
| 11 | Hoja de rendimiento de mangium | 107 |
| 12 | Hoja de verificación de los modelos de mangium | 108 |
| 13 | Crecimiento e incrementos medios anuales en dap, altura media y altura dominante para las parcelas de mangium e Índices de sitio | 109 |

| Anexo No. | Pagina |
|-----------|---|
| 14 | Incrementos medios anuales en dap, altura media y altura dominante para las parcelas de aripín e Indices de sitio112 |
| 15 | Matriz de correlación de los factores del sitio con el índice de sitio para <i>Acacia mangium</i> en América Central116 |
| 16 | Matriz de correlación de los factores del sitio con el índice de sitio para <i>Caesalpinia velutina</i> en América Central117 |

1. INTRODUCCION

En América Central(*) las presiones de la población creciente y las economías en expansión están provocando la sobreexplotación de los Recursos Naturales a su disposición, como consecuencia se ocasionó una reducción alarmante de la cobertura forestal.

Leonard (1986) estima que dos terceras partes de los bosques talados desde la colonización centroamericana hasta 1980 fueron cortados a partir de 1950, indica además que el 49% de la región estuvo en 1970 bajo bosque natural cerrado y bosque natural abierto; y para 1980 ese porcentaje disminuyó a 41%, lo que equivale a una reducción de 36 220 km² de cubierta boscosa.

De no aplicarse un sistema de manejo apropiado del bosque remanente y establecer plantaciones forestales en los próximos años, la región perderá todos sus bosques naturales.

Las causas que originan esta situación son numerosas y complejas, dentro de ellas se pueden mencionar el corte de madera para aserrío, la estructura de tenencia de la tierra que provoca movimientos de colonización y agricultura migratoria, el desempleo rural, falta de planificación del uso de la tierra, el uso de madera como combustible, etc.

Aproximadamente el 72% de la población centroamericana y el 31% de la pequeña industria emplean leña

(*)En este trabajo América Central comprende los territorios de Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá.

como fuente de energía (CATIE 1986). En el 38% del área el abastecimiento de leña se encuentra en una situación que va de crítica a muy crítica, con una disponibilidad real de entre 0 y 3 m³/persona/año, lo que no asegura el abastecimiento futuro de este combustible (CATIE, 1986).

Ante esta situación, el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), firmó en 1979 un convenio con la Oficina Regional para Programas Centroamericanos de la Agencia para el Desarrollo Internacional de los Estados Unidos de América (ROCAP/AID) para desarrollar el Proyecto "Leña y Fuentes Alternas de Energía" en la región centroamericana, con la participación de las instituciones forestales respectivas de cada país.

El Proyecto pretendió evaluar la situación leñera en la región, identificar especies y procedencias de rápido crecimiento y desarrollar técnicas apropiadas para la reforestación con especies aptas para producción de leña.

El Proyecto Leña finalizó en diciembre de 1985. En enero de 1986 se inició el Proyecto "Cultivo de Árboles de Uso Múltiple" (Madeleña), el cual continuó desarrollando la investigación iniciada por el Proyecto anterior.

Durante la gestión de ambos Proyectos fueron establecidos ensayos para evaluar el comportamiento de varias especies de árboles de uso múltiple, entre ellas *Acacia mangium* Willd (mangium) y *Caesalpinia velutina* (ByR) Standl (aripín), especies consideradas con potencial para establecer plantaciones con fines energéticos y otros usos.

1.1 Objetivos

1.1.1 General

Evaluar el potencial productivo en plantaciones de mangium (*Acacia mangium* Willd) y aripín (*Caesalpinia velutina* (ByR) Standl) en América Central.

1.1.2 Específicos

a) Estudiar el crecimiento de mangium y aripín en la región centroamericana, con base en la altura, el diámetro a la altura del pecho (dap) y la edad de los árboles.

b) Relacionar los parámetros de crecimiento del árbol (altura y dap) con el rendimiento (volumen y producción de biomasa), para desarrollar funciones que permitan predecir el rendimiento de ambas especies.

c) Determinar, para cada una de las especies, los índices de sitio, e identificar los factores del sitio (edáficos, climáticos o topográficos) que influyen en los mismos.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 Descripción de las especies

2.1.1 *Acacia mangium*

Nombre científico: *Acacia mangium* Willd

Familia: Leguminosae

Sub-familia: Mimosoideae

Sinónimos: *Acacia glaucescens* sensu Kanehira and Hatusima

Nombre común: mangium

2.1.1.1 Distribución

Mangium es nativa del noreste de Australia, Papua Nueva Guinea y el este de Indonesia, desde 0°50' sur (Indonesia) hasta 19° sur en Queensland, Australia (COSTA RICA, DGF, CATIE, ROCAP, 1986; CATIE, 1986).

Fue introducida a Sabah, Malasia en 1966 (Yap, 1987), en 1985 a Ruvu, Tanzania (Kessy, 1987), en 1980 a Sri Lanka (Midgley y Vivekanandan, 1987), en 1979 a la República Popular de China (Zhigang y Minquan, 1987), y en 1979 a América Central en Turrialba, Costa Rica, de donde posteriormente fué diseminada a la región (CATIE, 1986).

2.1.1.2 Descripción

Mangium es un árbol que puede alcanzar entre 15m y 30 m de altura (Skelton, 1987), en condiciones de bosque natural se han observado diámetros de hasta 90 cm (CATIE, 1986).

Tiene un fuste recto y libre de ramas en más de la mitad de la altura total. En árboles aislados la copa es abierta o redonda, en el caso de plantaciones la copa es de tipo columnar. La corteza es de color café oscuro, áspera, gruesa y surcada longitudinalmente. En plántulas recién germinadas las hojas son compuestas, a las pocas semanas son sustituidas por los filodios que se elongan y funcionan como una hoja. La inflorescencia es una espiga compuesta por flores pequeñas de color blanco o crema y de 10 cm de longitud. Las vainas están agrupadas en forma espiralada, presentan pocas semillas de color negro brillante, unidas a la vaina por un funículo de color anaranjado (CATIE, 1986; Boland, *et al.*, 1985; Little, *s.f.*; ENDA CARIBE, *s.f.*).

2.1.1.3 Usos

La madera de mangium tiene un buen potencial para ser usada como leña o carbón, con un poder calórico de 20 000 a 20 500 kJ/kg, que equivalen a 4770 - 4900 kcal/kg (U.S. National Academy of Science, 1984). La madera es moderadamente pesada (gravedad específica de 0,6 g/cm³ en rodales naturales y de 0,40 a 0,45 g/cm³ en plantaciones), lo cual la hace apta como madera de uso comercial y familiar (CATIE, 1986). Puede ser empleada en carpintería, ebanistería, construcciones, laminados y chapas de fibras y partículas. Puede obtenerse postes para cercas y varas para construcciones rurales como producto de podas y raleos. Mangium puede ser plantada como cortina rompevientos, en

sistemas agroforestales, para control de erosión, en caminos y cercas, como ornamental, para elaboración de pulpa, para esencias aromáticas y obtención de taninos, además los filodios (hojas) pueden emplearse como forraje animal (Grupo de Tecnología Apropriada, Panamá, 1984; Sedgley, 1987; Logan, 1987).

2.1.1.4 Requerimientos ambientales

En la región de origen de la especie, la precipitación varía de 1000 mm hasta más de 4500 mm anuales. En América Central se ha observado buen desarrollo en sitios con una precipitación media anual que va de 650 mm hasta 4 000 mm y más de cuatro meses de déficit hídrico (CATIE, 1986).

En el área de distribución natural la temperatura media anual varía de 22°C a 26°C. En América Central ha sido establecida en lugares con temperaturas medias anuales de hasta 26,6°C (Jiménez y Picado, 1987).

La especie se encuentra en forma natural en altitudes menores a 100 msnm, sin embargo, puede encontrarse en elevaciones de hasta 700 msnm. Crece bien en suelos aluviales profundos y con buena humedad disponible. En América Central la especie ha tenido comportamiento inicial bueno en suelos de los ordenes Ultisol, Entisol, Inceptisol, Alfisol y Andosol con pH ácido (de hasta 4,5), con contenidos de aluminio altos, contenidos de arcilla altos, poca profundidad efectiva y compactados por sobrepastoreo (CATIE, 1986). Una característica notable de la especie es su habilidad para

crecer en suelos ácidos, con pH hasta de 4,0 (Liang, 1987), por lo que es una especie muy adaptable a diversas condiciones de sitio.

2.1.1.5 Silvicultura de la especie

El espaciamiento óptimo de plantación aún no ha sido definido, no obstante es común usar de 2 x 2 m a 3 x 3 m (U.S. National Academy of Science, 1983).

Para obtener fustes aserrables a 15 años de edad (a un espaciamiento de 3 x 3 m) el rodal debe ser manejado, por lo que es recomendable realizar dos o tres raleos. Se deben efectuar podas para obtener fustes libres de nudos, la altura de la poda debe ser de 6 a 7 m (Udarbe y Hepburn, 1987).

El período de rotación varía de 9 a 15 años, dependiendo de los objetivos de la plantación. Udarbe y Hepburn (1987) reportaron un incremento medio anual en volúmen de 10 a 29 m³/ha en Sabah, Malasia. En los rodales promedio de esta región se obtuvo un rendimiento medio anual de 27 m³/ha, a la edad de 4 años y en los rodales mas productivos 44 m³/ha (U.S. National Academy of Science, 1983). En Costa Rica se han obtenido incrementos medios anuales que van desde 31 m³/ha en parcelas de tres años y densidades de 1250 árboles/ha hasta 47 m³/ha en parcelas de dos años y 2500 árboles/ha (Jiménez y Picado, 1987).

2.1.1.5.1 Regeneración natural

La regeneración natural de mangium en rodales naturales de Papua Nueva Guinea es abundante, debido a que es una especie pionera que aparece luego de haber sido talado o quemado el bosque natural (Skelton, 1987). En América Central debido a lo joven de las plantaciones aún no se ha podido observar el comportamiento de la regeneración natural.

2.1.1.5.2 Regeneración artificial

Un árbol produce un promedio de 0,4 kg de semilla por año, hay de 80 000 a 110 000 semillas/kg. De un kilogramo de vainas puede obtenerse 90 g de semilla limpia (Costa Rica, 1986). La maduración de la semilla en América Central sucede entre mediados y el final de la época seca (febrero-abril).

La micropropagación de mangium, a través de cultivo de tejidos provenientes de semillas fué probada exitosamente en Canberra, Australia por Crawford y Hartney (1987).

Las semillas no necesitan escarificación, pero es recomendable efectuar un tratamiento previo a la germinación de estas, el cual consiste en sumergirlas en agua caliente (no hirviendo), dejarlas enfriar y sumergirlas en agua a temperatura ambiente por 24 horas (Wotowiec y Martínez, 1984). La germinación se completa entre el octavo y décimo día. Poole (1987) reporta que en Sabah, Malasia, las plantas en vivero alcanzaron 25 cm de altura en un período de 12 semanas. Salazar (1988) reporta que en un estudio a nivel de

vivero sobre la variación genética de 16 procedencias de mangium (13 de Queensland, Australia, 2 de Papua Nueva Guinea y 1 de Cerán, Indonesia) en Turrialba, Costa Rica, a 3,5 meses de edad la altura de las plántulas varió de 17,7 cm a 34,6 cm.

Mangium puede plantarse por siembra directa, por estacas enraizadas en vivero o por trasplante de plántulas producidas en recipientes en vivero; y puede propagarse por acodo o injerto (Costa Rica, 1986; Sulaimán, 1987; U.S. National Academy of Science, 1983).

En plantaciones, dado el crecimiento inicial rápido de la especie y a la cobertura de la copa (produce sombra muy densa), se requieren pocos controles de malezas debido a que no crece mucha vegetación en el sotobosque, por lo que la especie no es muy buena para controlar la erosión del suelo.

2.1.1.6 Crecimiento de la especie

El Cuadro 1 presenta los resultados de crecimiento de mangium producida en bolsa en varios países.

Cuadro 1. Crecimiento de *Acacia mangium* en algunos países tropicales.

| Sitio | Edad (meses) | altura (m) | dap† (cm) | h IMA | dap IMA | Espaciamiento inicial (mxm) | Procedencia de semilla |
|---------------------------|-----------------|---------------|--------------|----------|------------|--------------------------------|---------------------------|
| El Zamorano, Honduras1/ | 32 | 3,50 | 3,90 | 1,31 | 1,46 | 2,0 x 2,0 | Queensland |
| Las Cabras, Panamá1/ | 24 | 3,80 | 4,20 | 1,90 | 2,10 | 2,0 x 2,0 | Sabah, Malasia |
| Turrialba, Costa Rica2/ | 36 | 9,90 | 10,30 | 3,30 | 3,43 | 2,0 x 2,0 | Queensland |
| Pakthongchai, Tailandia3/ | 24 | 5,15 | 5,20 | 2,58 | 2,60 | 2,0 x 2,0 | Desconocida |
| Sabah, Malasia4/ | 60 | 15,40 | 14,90 | 3,08 | 2,98 | | Sabah, Malasia |
| Sabah, Malasia5/ | 120 | 23,00 | 20,00 | 2,30 | 2,00 | 3,0 x 3,0 | Queensland |
| Guandong, China6/ | 18 | 5,29 | 4,64 | 3,53 | 3,09 | 2,0 x 2,0 | Queensland |
| S. del Rey, Rep. Dom.7/ | 44 | 14,20 | 13,60 | 3,87 | 3,71 | 2,5 x 2,5 | Desconocida |
| Los Jobos, Rep. Dom.7/ | 33 | 7,00 | 6,4 | 2,55 | 2,33 | 3,0 x 3,0 | Desconocida |
| La Caoba, Rep. Dom. 7/ | 44 | 14,5 | 15,7 | 3,95 | 4,28 | 2,5 x 2,5 | Desconocida |

* diámetro a 1,30 m

IMA = Incremento medio anual

Fuente: 1/ CATIE, 1986
 2/ Jiménez y Picado, 1987
 3/ Boontawee and Kuwalairat, 1987
 4/ Thomas and Kent, 1987
 5/ Salazar, 1988
 6/ Zhigang y Minquan, 1987
 7/ Morrobel, 1989

2.1.1.7 Plagas, enfermedades y factores limitantes

En Costa Rica se ha observado ataque de ratas (*Sigmodon* spp.) en las primeras etapas de desarrollo de las plantaciones, las cuales cortan los tallos o el ápice ocasionando cuantiosos daños. Además se ha observado el

ataque de hormigas defoliadoras (*Atta* spp.), las que no ocasionan daños serios (CATIE, 1986). A nivel de vivero se reporta ataques de hongos (*Cylindrocladium* spp., *Fusarium* spp., *Phyllosticta* spp. y *Pestalotia* spp.) los que se controlan a base de fungicidas cúpricos (CATIE, 1986). En Hawai se reporta ataque de semillas por mildiu polvoso (*Didium* sp.) (Costa Rica, 1986). En Sabah, Malasia se ha encontrado ataques ocasionales de babosas (*Agriolimax agrestis*), orugas y saltamontes en la etapa de vivero (Udarbe y Hepburn, 1987).

2.1.2 *Caesalpinia velutina*

Nombre científico: *Caesalpinia velutina* (B. y R.) Standl

Familia: Leguminosae

Subfamilia: Caesalpinoideae

Sinónimos: *Brasilettia velutina* Britt y Rose

Nombres comunes: aripín, palo colorado, totoposte, chaperno blanco (Guatemala), brasilito (Nicaragua) (Catie, 1986).

2.1.2.1 Distribución

Esta especie es propia de zonas secas. En forma natural se encuentra en Oaxaca, México; en las zonas de bosque seco subtropical y monte espinoso subtropical de Guatemala (departamentos de El Progreso, Huehuetenango, Zacapa, Chiquimula) desde 50 hasta 950 msnm, con precipitación que varía entre 400 y 1000 mm anuales y temperaturas de 24°C a

28°C. También se ha encontrado en Sébaco y Matagalpa, Nicaragua (Zanotti, 1983; Detlefsen, 1984; Martínez, 1985).

2.1.2.2 Descripción de la especie

El aripín es un árbol caducifolio de tamaño mediano, alcanza hasta 10-12 m de altura y 30 cm de diámetro.

El fuste es recto y ramificado, cuando no existe competencia presenta copa ancha. El tronco se caracteriza por tener la corteza de color blanco grisáceo lenticelado, la cual es desprendible en placas en los árboles adultos. Posee un sistema radicular profundo con una raíz pivotante y raíces secundarias laterales. Las hojas son bipinnadas, alternas, sin espinas, de 15 a 20 cm de longitud, con yemas axilares; las hojuelas tiernas son pubescentes, especialmente en el envés. La floración es abundante, de color amarillo, con producción alta de frutos, la que ocurre de noviembre a enero. Los frutos son unas legumbres de 10 - 15 cm de largo y 2 - 3 cm de ancho, persistentes, indehiscentes, de color verde claro cuando inmaduros y café oscuro cuando maduros. Cada vaina contiene de dos a diez semillas, redondeadas y aplanadas, de 5 a 7 mm de diámetro (CATIE, 1986; Standley y Steyermark, 1946).

2.1.2.3 Usos

La madera de aripín es empleada como leña y carbón por su densidad, es casi libre de nudos y tiene la ventaja de rajarse fácilmente y se quema lentamente con buena producción

de brasas, sin olor desagradable y produce poco humo; el poder calórico de la madera es de aproximadamente 20 000 kJ/kg (kJ/kg= 4 186 kcal/kg) (CATIE, 1986; Martínez, 1986; Martínez, 1982).

EL peso específico de la madera es 0,70 - 0,75 g/cm³, por lo que es usada en mueblería semifina, como vigas y horcones en las construcciones rurales, en carpintería rústica, para fabricar mangos de herramientas, yugos y arados primitivos (CATIE, 1986; Detlefsen, 1984).

Su potencial fué en primera instancia reconocido por Martínez y Zanotti (1982) en Guatemala, debido a su crecimiento rápido y fácil adaptabilidad en sistemas agroforestales, hoy es una de las especies recomendadas para el establecimiento de plantaciones en la región centroamericana (Ugalde, citado por Hughes y Styles, 1984).

2.1.2.4 Requerimientos ambientales

El arripín se encuentra en forma natural en zonas cuya precipitación media anual es de 450 a 1200 mm. Soporta sequías prolongadas, crece bien en sitios con precipitación superior a 600 mm anuales y 7- 8 meses de déficit hídrico; sin embargo en sitios con menos de 550 mm anuales y más de ocho meses de déficit hídrico el crecimiento es lento (CATIE, 1986; Martínez y Zanotti, 1982).

La especie es nativa de sitios con alta temperatura (mayor a 21°C). En América Central ha sido plantada con éxito en áreas con temperaturas superiores a 24°C (CATIE,

1986). Se encuentra naturalmente en sitios cuya altura va de 50 hasta 950 msnm; sin embargo, en América Central los mejores crecimientos a nivel de plantación, se han logrado en Guatemala y Nicaragua a menos de 500 msnm (CATIE, 1986).

Esta especie enraiza bien aún en suelos rocosos, aunque en suelos con capas endurecidas desarrolla un sistema radicular superficial. El mejor crecimiento de aripín se observa en suelos de los ordenes Alfisol y Mollisol, también se desarrolla en suelos de los órdenes Inceptisol y Entisol; el crecimiento es lento en suelos Vertisol. En forma natural la especie se localiza sobre suelos derivados de serpentinas y de origen calcáreo con pH superior a 5,5. No desarrolla muy bien en suelos arcillosos, prefiere suelos bien drenados, francos a franco-arenosos (CATIE, 1986).

2.1.2.5 Silvicultura de la especie

2.1.2.5.1 Regeneración natural

Al final de la estación lluviosa el aripín produce gran cantidad de vainas, las que permanecen colgadas durante la estación seca (hasta siete meses), cayendo sus semillas al iniciarse el invierno, asegurando así su sobrevivencia (Standley y Steyermark, 1946; CATIE, 1986).

Se reporta (CATIE, 1986) que en una parcela de regeneración natural de ocho años en Huité, Guatemala (350 msnm, 28°C, 512 mm/año, nueve meses de déficit hídrico), con

una población de 750 árboles/ha, se obtuvo un crecimiento promedio de 6,2 m de altura y 8,4 cm de diámetro a esa edad.

2.1.2.5.2 Regeneración artificial

La floración de aripín se produce entre marzo y mayo, la recolección de semilla se realiza entre noviembre y enero (CATIE, 1986); sin embargo, Wotowiec y Martínez (1984) indican que la época de recolección de semillas en la zona semiárida de Guatemala es de diciembre a mayo. El número de semillas por kilogramo es aproximadamente de 5 000 a 6 000 (Martínez, 1986).

Las semillas frescas no necesitan escarificación ni otro tipo de tratamiento previo, pero en el caso de semillas de un año o más hay que sumergirlas durante tres a cinco minutos en agua caliente (80°C) o bien sumergirlas en agua a temperatura ambiente por 24 horas (Wotowiec y Martínez, 1984). El Proyecto Leña en Costa Rica (Dirección General Forestal, 1983) recomienda sumergir las semillas por 10 minutos en agua a 50°C y luego dejarlas en agua a temperatura ambiente por 24 horas. La planta se puede producir en germinadores con posterior repique a bolsas plásticas, sin embargo, debido al tamaño de la semilla y al alto porcentaje de germinación, es preferible sembrarlas directamente en las bolsas a razón de dos a tres semillas por bolsa, o directamente en el sitio de plantación.

Si existe control de malezas, el aripín puede sembrarse directamente en el campo definitivo. En La Máquina,

Guatemala, en una plantación por siembra directa asociada inicialmente con maíz y con una densidad de 10000 árboles/ha, se obtuvo una supervivencia superior al 95% y más de 1,5 m de altura al final de la época seca(*). En Costa Rica (Muñoz Calvo, 1984) la siembra directa resultó exitosa, obteniéndose una germinación de 78 por ciento y una supervivencia de 100 por ciento al mes de sembrada. En América Central se ha plantado a distanciamientos de 2 m x 2 m, también a 1,5 m x 1,5 m y 3 m x 3 m, con planta producida en vivero.

2.1.2.6 Crecimiento de la especie

El Cuadro 2 presenta resultados de crecimiento de la especie en América Central.

2.1.2.7 Factores limitantes

En las primeras etapas de crecimiento la especie puede ver afectado su crecimiento por la presencia de malezas. No prospera bien en suelos compactados por sobrepastoreo o inundables, así como suelos vertisol.

2.2 Ensayos de especies forestales

Para conocer el manejo y rendimiento de especies forestales, es necesario realizar secuencialmente diferentes fases de investigación, a saber: de arboreto, eliminatoria de especies, prueba de especies y de comprobación de las

(*) Martínez H., H.A. Comunicación personal.

especies (Burley y Wood, 1979); para ello se torna necesario el establecimiento de parcelas de muestreo permanente (PMP).

Cuadro 2. Crecimiento de *Caesalpinia velutina* en algunos sitios de América Central

| Sitio | Edad (meses) | Altura (m) | dap* (cm) | h IMA | dap IMA | Espaciamiento inicial (mxm) | Procedencia de semilla |
|-----------------------|--------------|------------|-----------|-------|---------|-----------------------------|------------------------|
| Gualán, Guatemala | 32 | 5,4 | 4,2 | 2,0 | 1,6 | 2,0 x 2,0 | Zacapa, Guat. |
| La Máquina, Guatemala | 35 | 6,0 | 4,9 | 2,1 | 1,7 | 2,0 x 2,0 | El Progreso, Guat. |
| San Manuel, Honduras | 30 | 6,4 | 5,8 | 2,6 | 2,3 | 1,5 x 2,0 | El Progreso, Guat. |
| Sébaco, Nicaragua | 35 | 2,3 | 3,0 | 0,8 | 1,0 | 2,0 x 2,0 | El Progreso, Guat. |
| Las Cabras, Panamá | 24 | 3,2 | 3,3 | 1,6 | 1,7 | 2,0 x 2,0 | El Progreso, Guat. |

* diámetro a 1,30 m

IMA = Incremento medio anual

Fuente: CATIE, 1986.

2.3. Parcelas de muestreo permanente

Las parcelas de muestreo permanente (PMP) son definidas por Silva Salazar (1971) como las superficies de terreno (de forma cuadrangular, rectangular, circular o en faja) demarcadas en forma permanente para cumplir con los objetivos siguientes:

- a. Permitir la medición repetitiva de los árboles individuales durante la vida de la plantación.

b. Comparar el efecto de diversos espaciamientos iniciales, métodos y regímenes de aclareo - poda, a efecto de ayudar a definir el tratamiento más adecuado para una especie en particular.

c. Estudiar el comportamiento (crecimiento y producción) de una especie o una mezcla de ellas, bajo un manejo definido y continuo.

2.3.1 Tamaño y forma de las parcelas permanentes de rendimiento

Para Silva (1971) la forma de la parcela deberá ser preferiblemente cuadrada.

Se estima que el tamaño de las parcelas debe ser normalmente de 0,1 ha a 0,2 ha.

Es necesario dejar al menos una fila de árboles de borde (Stoate y Lane, 1938, citados por Cellier, 1979) para minimizar los efectos de borde dentro de la parcela, ya que los árboles compiten entre sí por luz, nutrimentos y humedad del suelo.

Wright (1962) demostró que la eficiencia estadística de un ensayo va disminuyendo a medida que se aumenta el número de árboles por parcela, esto porque parcelas grandes requieren bloques grandes, lo que implica un mayor rango de variación residual entre bloques.

2.4 Evaluación de la calidad de sitio

El sitio es definido por la Sociedad de Forestales Americanos como una área considerada en términos de su ambiente, que determina la calidad y el tipo de vegetación que en ella se pueda generar (US. Society of American Foresters, 1971).

La calidad de sitio puede ser definida, en terminos de manejo forestal, como el potencial de producción de madera de un sitio para determinada especie (Clutter et al, 1983).

2.4.1 Métodos para cuantificar la calidad de sitio

De acuerdo a Clutter *et al.* (1983) se pueden dividir así:

a. Métodos directos

a.1 Estimación a través del rendimiento por registros históricos.

a.2 Estimación basada en datos del volumen del rodal

a.3 Estimación basada en datos de altura del rodal

b. Métodos indirectos

b.1 Estimación a través de la relación de las especies del sotobosque.

b.2 Estimación a través de los factores climáticos, edáficos y topográficos.

A nivel mundial, los métodos directos son mas empleados que los indirectos para determinar la calidad de los sitios por ser mas fáciles de estimar y los resultados se ajustan mejor a la realidad, sin embargo los métodos indirectos

tienen la ventaja que no dependen de la presencia de la especie de interés.

2.4.1.1 Métodos directos para clasificar los sitios

2.4.1.1.1 Estimación de la calidad de sitio por registros de rendimiento históricos.

Clutter *et al.* (1983) indican que en empresas agrícolas la calidad de sitio para un cultivo determinado es generalmente medida por el promedio de los rendimientos anuales para ese cultivo; considera que es la mejor manera de evaluar la calidad de sitio.

En la actividad forestal es cuestionable la utilidad de este método, por cuanto los rendimientos de los bosques a una edad determinada son fuertemente afectados por la densidad del rodal, la composición de las especies, las prácticas culturales, etc.

2.4.1.1.2 Estimación de la calidad de sitio basada en datos de volumen del rodal

Una opción para determinar la calidad de sitio en rodales coetáneos, es estimarla a partir de las relaciones volumen - edad; pero se tiene el inconveniente que el volumen de un rodal a una edad determinada puede verse afectado por factores como raleos, densidad del rodal, etc. (Navarro, 1987).

2.4.1.1.3 Estimación de la calidad de sitio mediante datos de altura del rodal

La altura de un rodal uniforme a una edad dada, es un buen indicador del potencial productivo de ese tipo de bosque en el sitio particular. Para Voorhoeve y Schulz (1968) pueden emplearse dos criterios de altura para estimar la calidad de sitio:

- a. El promedio de la altura de los cien árboles de mayor diámetro por hectárea;
- b. El promedio de la altura de los cien árboles más altos por hectárea, llamada altura máxima o altura dominante.

Vincent (1970) estima que la altura dominante es una manifestación de la productividad del sitio, debido a que los árboles más altos son los más desarrollados y sufren menos competencia de sus vecinos.

De acuerdo con Clutter *et al.* (1983), la utilidad práctica de correlacionar el potencial de volumen y el crecimiento en altura estriba en el hecho de que el desarrollo de la altura de los árboles más grandes de un rodal coetáneo es poco afectada por la densidad del rodal y las cortas intermedias. La relación altura - edad - índice de sitio es básica para la predicción del crecimiento en bosques uniformes, a esta relación generalmente se le denomina curvas de índice de sitio.

La construcción de estas curvas puede hacerse por métodos gráficos o por métodos matemáticos (a través de análisis de regresión) (Alder, 1980).

Los métodos matemáticos se refieren a un modelo simple de crecimiento de altura, como la ecuación de Schumacher (1939):

$$H_o = H_{max} * \exp (b/A^K) \quad (1)$$

Donde H_o es la altura dominante, H_{max} es un parámetro a ser ajustado que representa la máxima altura que la especie podría alcanzar, "exp" indica que la expresión entre paréntesis es el exponente de la constante "e" (2,7128), b es la pendiente, K es un parámetro a ajustar y A es la edad del rodal.

Utilizando logaritmos naturales en ambos lados de la ecuación (1) se consigue:

$$\ln H_o = \ln H_{max} + b/A^K \quad (2)$$

Si se hace $a = \ln H_{max}$, entonces a y b pueden ajustarse por regresión lineal siempre que K sea conocido.

El parámetro "b" en la ecuación (2) es negativo, el parámetro "a" normalmente se hallará entre dos y siete. Para la mayor parte de las especies los valores apropiados de K varían entre 0,2 y 2. Dentro de los métodos matemáticos, el de la regresión jerárquica es apropiado para la construcción de curvas de índice de sitio por ser lo suficientemente simple para realizar el cálculo manual de los parámetros, y ajusta mejor cuando se tienen datos de varias mediciones, ya que el modelo explica la variación entre parcelas; pero tiene la restricción que los datos deben ser de varias mediciones

para las mismas parcelas. Para llegar a una ecuación que estime el índice de sitio con base en la edad y la altura máxima se aplica el método de la curva guía con la ecuación de Schumacher (Alder, 1980), el cual describe una familia de curvas de diferentes índices de sitio. Según este método existen dos modelos para describir la familia de curvas de índice de sitio; el modelo "a común" y el modelo "b común", los cuales describen familias de curvas polimórficas y anamórficas, respectivamente. Ambos modelos permiten estimar el índice de sitio (IS) con base en una altura dominante dada, o estimarla con base en un índice de sitio dado.

2.5 Modelos de crecimiento y rendimiento

El crecimiento de un rodal es un proceso complejo que involucra, a través del tiempo, cambios en parámetros como el número de árboles, altura, diámetro, volumen, peso, área basal, etc. Según Clutter (1963), estos procesos pueden ser expresados como funciones simples de calidad del sitio, tiempo y densidad del rodal.

Los modelos de crecimiento y rendimiento pueden ser específicos para cada especie y sitio en particular, pero en la mayoría de casos son desarrollados utilizando los mismos parámetros. Las estimaciones se basan generalmente en parámetros como dap, altura, edad, forma, volumen y cambios en el número de árboles por unidad de superficie (Bruce y Wensel, 1988).

Un bosque puede ser modelado a tres niveles básicos, a saber: a nivel del árbol individual, por rodal completo, y por categoría de grosor o clases diamétricas. En el primer caso se presentan dos variantes, una que toma en cuenta la distancia entre los árboles y otra que no la considera (Alder, 1980; Munro, 1984).

Un modelo es una aproximación del comportamiento real del árbol o del rodal, y solo puede estimar las condiciones promedio para una combinación determinada de parámetros y por lo tanto, deben esperarse diferencias entre los valores observados y los valores calculados por el modelo (Hepp, 1987). La magnitud de dichas diferencias va a depender de la consistencia de los datos empleados para generar el modelo y del tipo de rodal que se modelará (Bruce y Wensel, 1988). A pesar de ello, los modelos de predicción del crecimiento y rendimiento de un árbol en particular o del bosque no dejan de ser una herramienta útil para el silvicultor.

Cuando se emplean las estimaciones del crecimiento en combinación con un análisis financiero apropiado, se generan las decisiones sobre edad óptima de rotación, densidad de plantación, frecuencia de raleos y otras prácticas silvícolas (Clutter et al, 1983).

3. MATERIALES Y METODOS

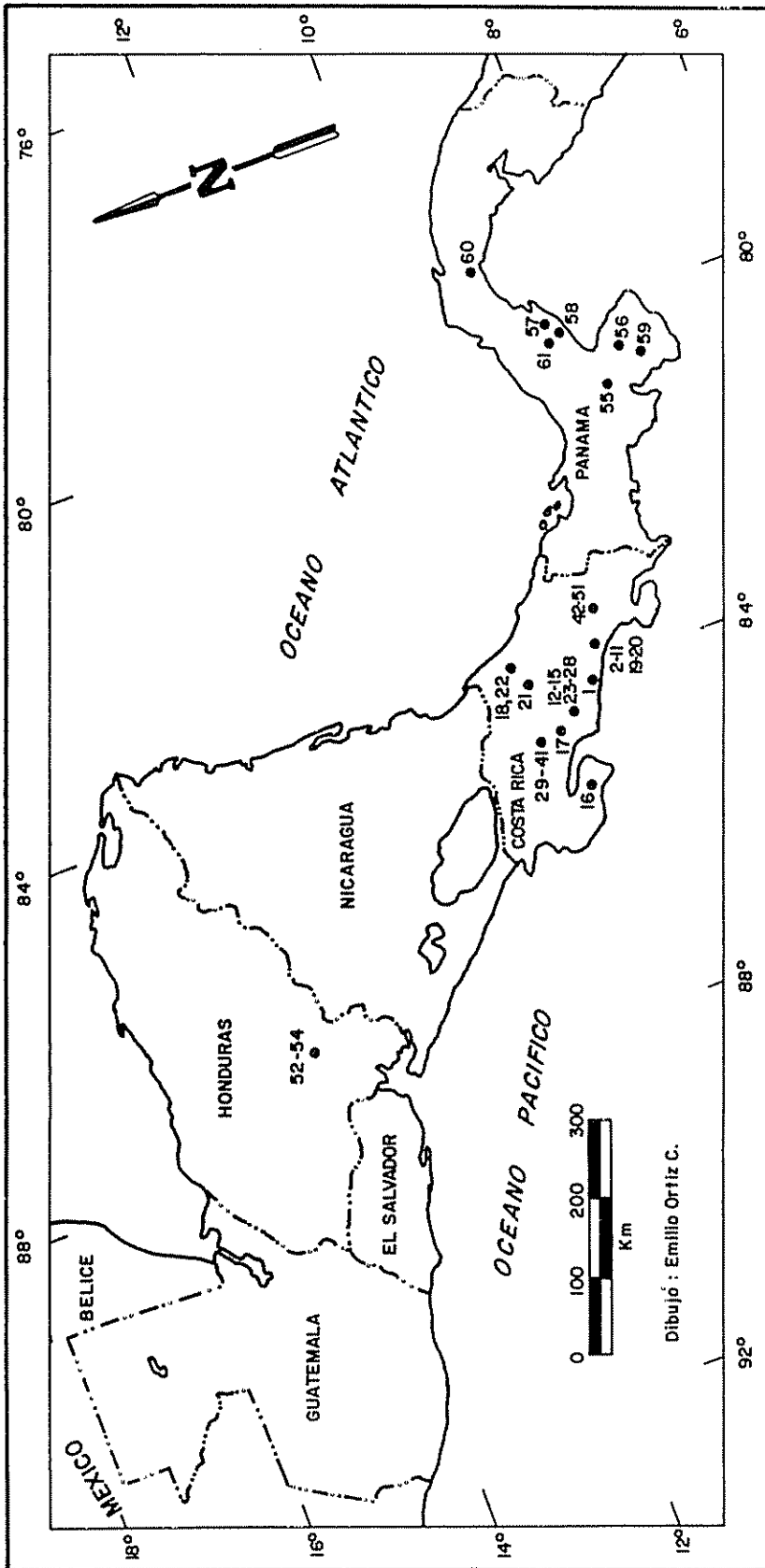
3.1 Localización de las parcelas de crecimiento y del área de estudio

Las parcelas de crecimiento utilizadas para la realización de este estudio se encuentran diseminadas a lo largo de la región centroamericana, donde se han venido desarrollando los Proyectos "Leña" y "Madeleña".

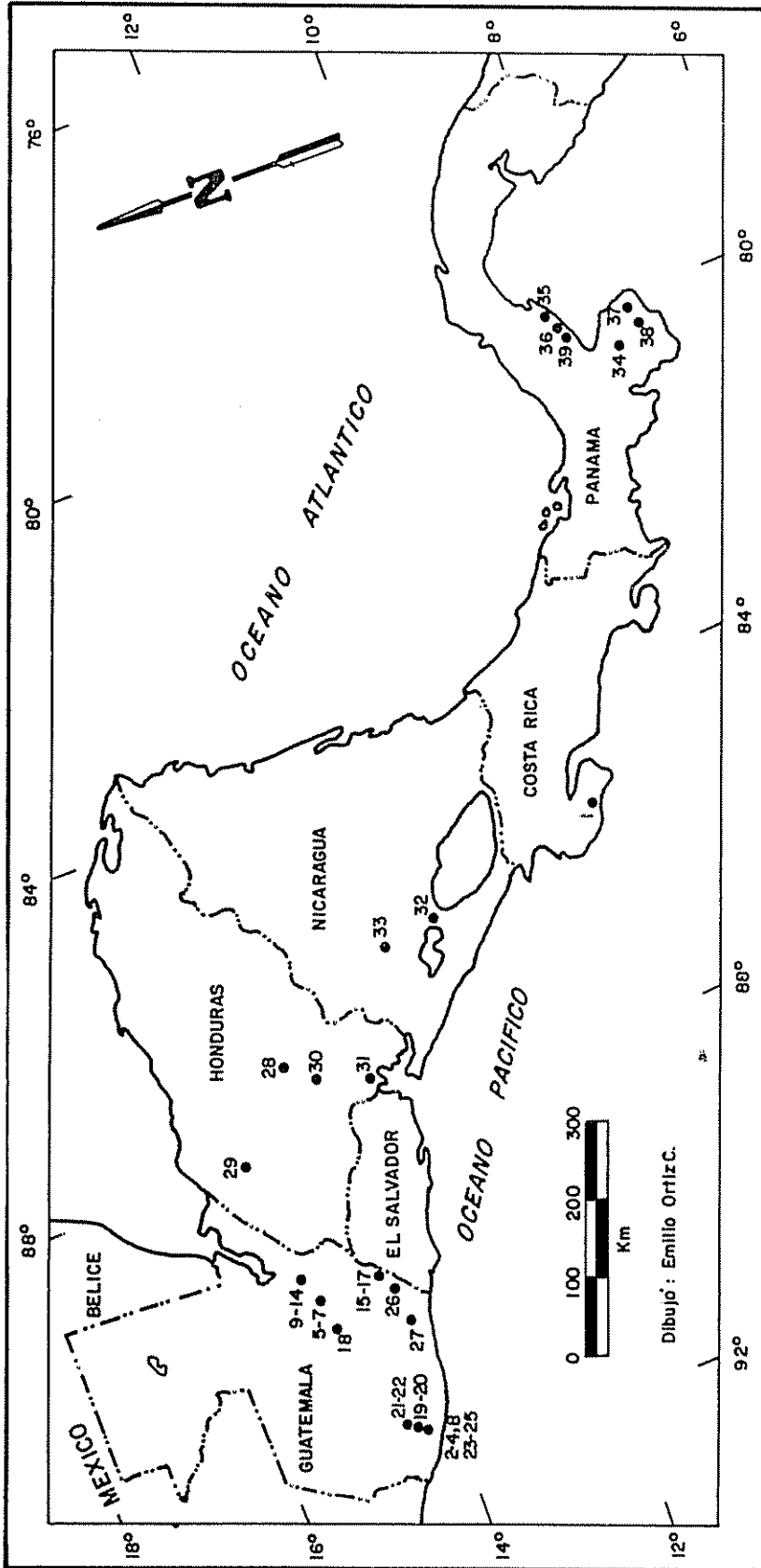
El istmo centroamericano se extiende desde los 7° a los 18° latitud norte, y está localizado dentro de la zona tropical, en el hemisferio norte; a pesar de ello, posee una amplia gama de climas como producto de la variación altitudinal y su ubicación entre dos grandes regímenes de clima oceánico. La corta de leña es la forma más importante de extracción de madera en América Central, por lo que el establecimiento de plantaciones con fines energéticos ha cobrado auge en la última década (FAO, CATIE 1987).

Las Figuras 1 y 2 muestran la ubicación de las parcelas de mangium y aripín respectivamente en América Central.

En los Cuadros 3 y 4 se presentan algunas características de los sitios que en su mayoría son de propiedad privada.



Nota : los números corresponden a los asignados a cada ensayo en el cuadro 3
Figura 1 Mapa de localización de las parcelas de Acacia mangium en América Central



Nota : los números corresponden a los asignados a cada ensayo en el cuadro 4

Figura 2 Mapa de localización de las parcelas de Caesalpinia velutina en América Central

Cuadro 3. Ubicación de las parcelas de *Acacia mangium* en América Central.

| No | Ensayo | Sitio | País | Ubicación Lat(n)xLon(o) | Area de Parcela (m ²) | Arboles Parcela | No. de Parcelas (#) | Precip. (mm) | Temp (°C) | Altura (m) | Procedencia de semilla |
|----|----------|-----------|------|----------------------------|---|--------------------|---------------------------|-----------------|--------------|---------------|---------------------------|
| 1 | CR001W02 | Coofru-2 | Cos | 9°28' x84°07' | 150 | 24 | 1 | 3035 | 26,5 | 220 | Sabah, Malasia |
| 2 | CR002W01 | Jorón-1 | Cos | 9°20' x83°41' | 100 | 25 | 1 | 3450 | 22,5 | 680 | Sabah, Malasia |
| 3 | CR002W02 | Jorón-2 | Cos | 9°20' x83°41' | 100 | 25 | 1 | 3450 | 22,5 | 680 | Sabah, Malasia |
| 4 | CR002W03 | Jorón-3 | Cos | 9°20' x83°41' | 100 | 25 | 1 | 3450 | 22,5 | 680 | Sabah, Malasia |
| 5 | CR002W04 | Jorón-4 | Cos | 9°20' x83°41' | 100 | 25 | 1 | 3450 | 22,5 | 680 | Sabah, Malasia |
| 6 | CR002W05 | Jorón-5 | Cos | 9°20' x83°41' | 100 | 25 | 1 | 3450 | 22,5 | 680 | Sabah, Malasia |
| 7 | CR002W06 | Jorón-6 | Cos | 9°20' x83°41' | 100 | 25 | 1 | 3450 | 22,5 | 680 | Sabah, Malasia |
| 8 | CR002W07 | Jorón-7 | Cos | 9°20' x83°41' | 100 | 25 | 1 | 3450 | 22,5 | 680 | Sabah, Malasia |
| 9 | CR002W08 | Jorón-8 | Cos | 9°20' x83°41' | 100 | 25 | 1 | 3450 | 22,5 | 680 | Sabah, Malasia |
| 10 | CR002W09 | Jorón-9 | Cos | 9°20' x83°41' | 100 | 25 | 1 | 3450 | 22,5 | 680 | Sabah, Malasia |
| 11 | CR002W10 | Jorón-10 | Cos | 9°20' x83°41' | 225 | 25 | 3 | 3450 | 22,5 | 680 | Sabah, Malasia |
| 12 | CR003W01 | San Juan1 | Cos | 9°51' x84°21' | 100 | 25 | 1 | 2470 | 21,5 | 1100 | Sabah, Malasia |
| 13 | CR003W02 | San Juan2 | Cos | 9°51' x84°21' | 100 | 25 | 1 | 2470 | 21,5 | 1100 | Sabah, Malasia |
| 14 | CR003W03 | San Juan3 | Cos | 9°51' x84°21' | 100 | 25 | 1 | 2470 | 21,5 | 1100 | Sabah, Malasia |
| 15 | CR003W04 | San Juan4 | Cos | 9°51' x84°21' | 100 | 25 | 1 | 2470 | 21,5 | 1100 | Sabah, Malasia |
| 16 | CR006W01 | Carmona | Cos | 9°56' x85°24' | 144 | 36 | 1 | 2470 | 21,5 | 1100 | Sabah, Malasia |
| 17 | CR007W01 | Copcane | Cos | 10°05' x84°29' | 100 | 16 | 1 | 2225 | 21,5 | 980 | Sabah, Malasia |
| 18 | CR008W01 | La Línea | Cos | 10°20' x83°37' | 84 | 21 | 1 | 4307 | 22,5 | 225 | Sabah, Malasia |
| 19 | CR009W01 | Palмира-1 | Cos | 9°21' x83°40' | 225 | 25 | 1 | 2441 | 22,0 | 720 | Sabah, Malasia |
| 20 | CR009W02 | Palмира-2 | Cos | 9°21' x83°40' | 144 | 16 | 1 | 2441 | 22,0 | 720 | Sabah, Malasia |
| 21 | CR012W01 | Coopel-1 | Cos | 10°15' x83°51' | 196 | 49 | 1 | 4307 | 22,5 | 240 | Sabah, Malasia |
| 22 | CR013W01 | Dario-1 | Cos | 10°20' x83°36' | 64 | 16 | 1 | 4307 | 22,5 | 225 | Sabah, Malasia |
| 23 | CR501C21 | Cortezal | Cos | 9°51' x84°22' | 144 | 16 | 5 | 2470 | 22,0 | 960 | Ceran, Indonesia |
| 24 | CR501C29 | Cortezal | Cos | 9°51' x84°22' | 144 | 16 | 5 | 2470 | 22,0 | 960 | Queensland |
| 25 | CR501C33 | Cortezal | Cos | 9°51' x84°22' | 144 | 16 | 5 | 2470 | 22,0 | 960 | Queensland |
| 26 | CR501C42 | Cortezal | Cos | 9°51' x84°22' | 144 | 16 | 5 | 2470 | 22,0 | 960 | Queensland |
| 27 | CR501C46 | Cortezal | Cos | 9°51' x84°22' | 144 | 16 | 5 | 2470 | 22,0 | 960 | Queensland |
| 28 | CR501C59 | Cortezal | Cos | 9°51' x84°22' | 144 | 16 | 5 | 2470 | 22,0 | 960 | Papua N. Guinea |
| 29 | CR601C21 | 214 | Cos | 10°21' x84°32' | 144 | 16 | 5 | 3403 | 26,8 | 170 | Indonesia |
| 30 | CR601C29 | 214 | Cos | 10°21' x84°32' | 144 | 16 | 5 | 3403 | 26,8 | 170 | Queensland |
| 31 | CR601C32 | 214 | Cos | 10°21' x84°32' | 144 | 16 | 5 | 3403 | 26,8 | 170 | Queensland |
| 32 | CR601C33 | 214 | Cos | 10°21' x84°32' | 144 | 16 | 4 | 3403 | 26,8 | 170 | Queensland |
| 33 | CR601C34 | 214 | Cos | 10°21' x84°32' | 144 | 16 | 5 | 3403 | 26,8 | 170 | Queensland |
| 34 | CR601C35 | 214 | Cos | 10°21' x84°32' | 144 | 16 | 5 | 3403 | 26,8 | 170 | Queensland |
| 35 | CR601C38 | 214 | Cos | 10°21' x84°32' | 144 | 16 | 5 | 3403 | 26,8 | 170 | Queensland |
| 36 | CR601C39 | 214 | Cos | 10°21' x84°32' | 144 | 16 | 3 | 3403 | 26,8 | 170 | Queensland |
| 37 | CR601C40 | 214 | Cos | 10°21' x84°32' | 144 | 16 | 5 | 3403 | 26,8 | 170 | Queensland |
| 38 | CR601C41 | 214 | Cos | 10°21' x84°32' | 144 | 16 | 5 | 3403 | 26,8 | 170 | Queensland |
| 39 | CR601C42 | 214 | Cos | 10°21' x84°32' | 144 | 16 | 5 | 3403 | 26,8 | 170 | Queensland |
| 40 | CR601C59 | 214 | Cos | 10°21' x84°32' | 144 | 16 | 5 | 3403 | 26,8 | 170 | Papua N. Guinea |
| 41 | CR601C60 | 214 | Cos | 10°21' x84°32' | 144 | 16 | 5 | 3403 | 26,8 | 170 | Papua N. Guinea |
| 42 | CR701C21 | 319 | Cos | 9°12' x83°19' | 144 | 16 | 5 | 3678 | 27,5 | 480 | Indonesia |
| 43 | CR701C32 | 319 | Cos | 9°12' x83°19' | 144 | 16 | 2 | 3678 | 27,5 | 480 | Queensland |
| 44 | CR701C34 | 319 | Cos | 9°12' x83°19' | 144 | 16 | 5 | 3678 | 27,5 | 480 | Queensland |

Cuadro 3. Cont.....

| No | Ensayo | Sitio | País | Ubicación Lat(n)xLon(o) | Área de Parcela (m ²) | Árboles Parcela | No. de Parcelas (#) | Precip. (mm) | Temp (°C) | Altura (m) | Procedencia de semillas |
|----|----------|-------|------|----------------------------|---|--------------------|---------------------------|-----------------|--------------|---------------|----------------------------|
| 45 | CR701C37 | 319 | Cos | 9°12' x 83°19' | 144 | 16 | 2 | 3678 | 27,5 | 480 | Queensland |
| 46 | CR701C38 | 319 | Cos | 9°12' x 83°19' | 144 | 16 | 2 | 3678 | 27,5 | 480 | Queensland |
| 47 | CR701C40 | 319 | Cos | 9°12' x 83°19' | 144 | 16 | 4 | 3678 | 27,5 | 480 | Queensland |
| 48 | CR701C41 | 319 | Cos | 9°12' x 83°19' | 144 | 16 | 5 | 3678 | 27,5 | 480 | Queensland |
| 49 | CR701C59 | 319 | Cos | 9°12' x 83°19' | 144 | 16 | 5 | 3678 | 27,5 | 480 | Papua N.Guinea |
| 50 | CR701C60 | 319 | Cos | 9°12' x 83°19' | 144 | 16 | 5 | 3678 | 27,5 | 480 | Papua N.Guinea |
| 51 | CR701C92 | 319 | Cos | 9°12' x 83°19' | 144 | 16 | 5 | 3678 | 27,5 | 480 | Queensland |
| 52 | HN043L05 | 105 | Hon | 14°00' x 87°02' | 100 | 25 | 1 | 1110 | 22,3 | 830 | Queensland |
| 53 | HN043L16 | 105 | Hon | 14°00' x 87°02' | 100 | 25 | 1 | 1110 | 22,3 | 830 | Queensland |
| 54 | HN043L85 | 105 | Hon | 14°00' x 87°02' | 100 | 25 | 1 | 1110 | 22,3 | 830 | Queensland |
| 55 | PA015L05 | 200 | Pan | 8°08' x 80°53' | 64 | 16 | 5 | 1975 | 26,7 | 230 | Sabah, Malasia |
| 56 | PA019L05 | 303 | Pan | 7°52' x 80°32' | 64 | 16 | 5 | 1382 | 27,2 | 60 | Sabah, Malasia |
| 57 | PA024L01 | 404 | Pan | 8°33' x 80°00' | 100 | 25 | 5 | 2457 | 26,6 | 110 | Sabah, Malasia |
| 58 | PA025L01 | 405 | Pan | 8°23' x 80°08' | 100 | 25 | 5 | 666 | 27,5 | 30 | Sabah, Malasia |
| 59 | PA033L01 | 810 | Pan | 7°39' x 80°37' | 64 | 16 | 5 | 2577 | 26,1 | 180 | Sabah, Malasia |
| 60 | PA06BL04 | 700 | Pan | 9°10' x 79°08' | 100 | 25 | 5 | 2179 | 26,4 | 30 | Queensland |
| 61 | PA073L01 | 413 | Pan | 8°37' x 80°13' | 64 | 16 | 3 | 1656 | 27,4 | 30 | Queensland |

(#) número de parcelas en el tratamiento

Cuadro 4. Ubicación de las parcelas de *Caesalpinia velutina* en América Central.

| No | Ensayo | Sitio | País | Ubicación Lat(N)xLon(W) | Area Parcela (m ²) | Arboles Parcela | No. Parcelas (*) | Precip. (mm) | Temp. (°C) | Altura (m) | Procedencia de semilla |
|----|----------|-------|------|----------------------------|--------------------------------------|--------------------|------------------------|-----------------|---------------|---------------|---------------------------|
| 1 | CR117L01 | 472 | Cos | 10°00' x85°23' | 50 | 25 | 1 | 2223 | 27,0 | 710 | El Progreso, Guat. |
| 2 | GT011L01 | 405 | Gua | 14°18' x91°33' | 245 | 49 | 1 | 1860 | 27,0 | 100 | El Progreso, Guat. |
| 3 | GT011L02 | 405 | Gua | 14°18' x91°33' | 245 | 49 | 1 | 1860 | 27,0 | 100 | El Progreso, Guat. |
| 4 | GT015L01 | 406 | Gua | 14°18' x91°33' | 192 | 48 | 1 | 1860 | 27,0 | 100 | El Progreso, Guat. |
| 5 | GT020L01 | 703 | Gua | 14°57' x89°44' | 64 | 36 | 1 | 595 | 26,8 | 350 | Huité, Guat. |
| 6 | GT020L02 | 703 | Gua | 14°57' x89°44' | 64 | 36 | 1 | 595 | 26,8 | 350 | Huité, Guat. |
| 7 | GT020L03 | 703 | Gua | 14°57' x89°44' | 64 | 36 | 1 | 595 | 26,8 | 350 | Huité, Guat. |
| 8 | GT022L01 | 408 | Gua | 14°18' x91°33' | 100 | 25 | 4 | 1860 | 27,0 | 100 | Huité, Guat. |
| 9 | GT048L01 | 706 | Gua | 15°06' x89°21' | 100 | 25 | 1 | 727 | 28,6 | 129 | Zacapa, Guat. |
| 10 | GT048L02 | 706 | Gua | 15°06' x89°21' | 64 | 16 | 1 | 727 | 28,6 | 129 | Zacapa, Guat. |
| 11 | GT048L03 | 706 | Gua | 15°06' x89°21' | 64 | 16 | 1 | 727 | 28,6 | 129 | Zacapa, Guat. |
| 12 | GT048L04 | 706 | Gua | 15°06' x89°21' | 64 | 16 | 1 | 727 | 28,6 | 129 | Zacapa, Guat. |
| 13 | GT049L01 | 706 | Gua | 15°06' x89°21' | 196 | 49 | 1 | 727 | 28,6 | 129 | Zacapa, Guat. |
| 14 | GT049L02 | 706 | Gua | 15°06' x89°21' | 196 | 49 | 1 | 727 | 28,6 | 129 | Zacapa, Guat. |
| 15 | GT052L01 | 603 | Gua | 14°11' x89°40' | 110 | 49 | 2 | 1591 | 26,0 | 654 | Zacapa, Guat. |
| 16 | GT052L02 | 603 | Gua | 14°11' x89°40' | 110 | 49 | 2 | 1591 | 26,0 | 654 | Zacapa, Guat. |
| 17 | GT053L02 | 604 | Gua | 14°11' x89°40' | 81 | 36 | 4 | 1591 | 26,0 | 654 | Zacapa, Guat. |
| 18 | GT057L08 | 508 | Gua | 14°55' x90°09' | 64 | 16 | 4 | 904 | 27,3 | 360 | El Progreso, Guat. |
| 19 | GT076L01 | 418 | Gua | 14°23' x91°35' | 100 | 25 | 4 | 1860 | 27,0 | 46 | Zacapa, Guat. |
| 20 | GT076L02 | 418 | Gua | 14°23' x91°35' | 100 | 25 | 4 | 1860 | 27,0 | 46 | Zacapa, Guat. |
| 21 | GT077L01 | 419 | Gua | 14°31' x91°30' | 196 | 49 | 1 | 2835 | 25,9 | 371 | El Rancho, Guat. |
| 22 | GT077L02 | 419 | Gua | 14°31' x91°30' | 196 | 49 | 1 | 2835 | 25,9 | 371 | El Rancho, Guat. |
| 23 | GT099L01 | 405 | Gua | 14°18' x91°33' | 100 | 25 | 1 | 1860 | 27,0 | 100 | El Rancho, Guat. |
| 24 | GT099L02 | 405 | Gua | 14°18' x91°33' | 100 | 25 | 1 | 1860 | 27,0 | 100 | El Rancho, Guat. |
| 25 | GT100L01 | 405 | Gua | 14°18' x91°33' | 120 | 30 | 1 | 1860 | 27,0 | 100 | El Rancho, Guat. |
| 26 | GT111L03 | 609 | Gua | 14°08' x90°00' | 56 | 25 | 4 | 1365 | 26,3 | 557 | Jutiapa, Guat. |
| 27 | GT113L11 | 611 | Gua | 14°05' x90°22' | 100 | 25 | 4 | 2630 | 25,1 | 430 | El Progreso, Guat. |
| 28 | HN061L01 | 119 | Hon | 14°25' x87°02' | 110 | 49 | 1 | 1083 | 22,3 | 820 | El Progreso, Guat. |
| 29 | HN080L01 | 423 | Hon | 15°16' x87°53' | 112 | 50 | 1 | 1205 | 25,4 | 40 | El Progreso, Guat. |
| 30 | HN085L06 | 128 | Hon | 14°05' x87°15' | 36 | 9 | 4 | 938 | 24,6 | 950 | El Progreso, Guat. |
| 31 | HN092L02 | 129 | Hon | 13°31' x87°26' | 36 | 9 | 4 | 1855 | 28,4 | 60 | El Progreso, Guat. |
| 32 | NI032L09 | 209 | Nic | 12°12' x86°01' | 100 | 25 | 4 | 1133 | 27,7 | 70 | El Progreso, Guat. |
| 33 | NI033L05 | 516 | Nic | 12°51' x86°06' | 100 | 25 | 4 | 889 | 25,7 | 480 | El Progreso, Guat. |
| 34 | PA019L04 | 303 | Pan | 7°52' 80°32' | 64 | 16 | 5 | 1382 | 27,2 | 60 | El Progreso, Guat. |
| 35 | PA024L | 404 | Pan | 8°33' 80°00' | 100 | 25 | 5 | 2457 | 26,6 | 120 | El Progreso, Guat. |
| 36 | PA025L | 405 | Pan | 8°23' 80°08' | 100 | 25 | 5 | 666 | 27,5 | 30 | El Progreso, Guat. |
| 37 | PA050L04 | 816 | Pan | 7°40' x80°07' | 100 | 25 | 5 | 1145 | 27,0 | 43 | El Progreso, Guat. |
| 38 | PA070L03 | 819 | Pan | 7°35' x80°23' | 64 | 16 | 4 | 1656 | 27,4 | 20 | El Progreso, Guat. |
| 39 | PA081L01 | 401 | Pan | 8°25' x80°14' | 108 | 27 | 1 | 1463 | 27,5 | 40 | El Progreso, Guat. |

(*) número de parcelas en el tratamiento.

3.2 Metodología

3.2.1 Parcelas de medición

En este estudio fueron utilizadas 192 y 93 parcelas (la unidad de estudio es el tratamiento, el cual puede ser de una o mas parcelas) de mangium y aripín respectivamente (cuadros 3 y 4). En el caso de la primera especie todas las parcelas son de forma cuadrada, tienen de 16 a 49 árboles y ocupan áreas que van de 64 a 225 m² (Cuadro 3).

Casi todas las parcelas de aripín son de forma cuadrada (con excepción de las de los ensayos 4,25,29 y 39 que son rectangulares), tienen de 9 a 49 árboles y ocupan áreas que van de 36 a 245 m² (Cuadro 4).

En casi todos los casos se dejó una hilera de árboles como borde alrededor de las parcelas.

3.2.2 Toma de datos de crecimiento

Para analizar el crecimiento de ambas especies, se utilizó la información de campo de varias mediciones, recopilada a partir de 1982 por el personal de los Proyectos Leña y Madeleña en América Central, quienes midieron en todos los árboles el diámetro a la altura del pecho (dap) a 1,3 m y la altura total, considerándose esta última como la distancia desde el suelo hasta la yema terminal o lateral mas alta. Para medir la altura se empleó vara telescópica de 15 m y en árboles de mayor altura se efectuó con clinómetro Suunto.

El dap se obtuvo directamente al medir la circunferencia con cinta diamétrica con precisión de 1 mm. En árboles bifurcados por debajo de 1,3 m cada eje se consideró como independiente al tomar los datos en el campo.

Ambas especies tuvieron poca bifurcación, y para tener un parámetro de crecimiento diamétrico de comparación entre las parcelas que tuvieron diferentes números de ejes por cada árbol, se utilizó el diámetro cuadrático medio (dcm) por árbol (Ecuación 3). El dcm representa el diámetro del árbol con el área basal promedio del mismo.

$$\text{diámetro cuadrático medio} = \sqrt{\frac{\sum \text{dap}_{eje}^2}{n \text{ árbol}}} \quad (3)$$

Para parcelas con árboles de un solo eje el dcm de la parcela es igual que el diámetro geométrico (Dg) de la parcela. En este estudio se utiliza el término "dap" para referirse este parámetro ya que la mayoría de árboles de las parcelas estudiadas tuvieron un solo eje.

En el Anexo 1 se muestran los formularios empleados para obtener la información de campo.

3.2.3 Toma de datos de rendimiento

En base a aprovechamientos realizados por personal del Proyecto Madeleña, se evaluó el rendimiento de ambas especies en términos de biomasa seca y volumen del fuste.

El análisis de biomasa en mangium se llevó a cabo en base a tres aprovechamientos (1 en Panamá y 2 en Costa Rica)

de 25, 12 y 4 árboles cada uno y 39, 26 y 26 meses de edad respectivamente; en el caso de aripín se realizaron 7 aprovechamientos en Guatemala de 25, 16, 16, 16, 18, 36 y 16 árboles cada uno y edades de 21, 32, 49, 60, 70, 92 y 82 meses respectivamente.

A cada árbol aprovechado se le midió la altura total, el dap y peso verde, determinandose el peso del fuste (diámetro mínimo de 5 cm), el peso de las ramas (diámetro mínimo de 2 cm) y del follaje por separado. El peso verde de cada sección del árbol fué tomado directamente en el campo con una balanza graduada en décimos de kilogramo. Para determinar el contenido de humedad de los árboles de aripín aprovechados, se muestrearon 4 árboles por aprovechamiento. En cada uno se tomó en el campo aproximadamente 100 g de materia fresca de diferentes partes del fuste, de las ramas y del follaje. Las muestras fueron pesadas y luego secadas en horno eléctrico del Instituto Nacional Forestal (hoy Dirección General de Bosques) de Guatemala durante 24 horas a 80 °C hasta peso constante. Por diferencia se obtuvo el contenido de humedad promedio para el fuste, las ramas y el follaje, el cual fué deducido del peso fresco para obtener la producción de biomasa seca de los árboles aprovechados. En el caso de mangium los porcentajes de humedad utilizados para cada parte del árbol fueron los obtenidos por Morrobel (1989) en la República Dominicana.

Para determinar el volúmen en mangium fueron cubicados los fustes de los árboles de los dos aprovechamientos de

Costa Rica y en aripín se hizo en 4 aprovechamientos en Guatemala, de 18, 36, 16 y 53 árboles cada uno y edades de 70, 92, 82 y 60 meses respectivamente; para ello se utilizó el formulario de tríos (Anexo 1).

3.2.4 Análisis de suelo

Para el estudio de suelos, el Proyecto Madelefta abrió una calicata en 20 sitios con mangium y 27 con aripín (Anexos 2 y 3 respectivamente). Se realizó la interpretación de las calicatas y el muestreo de suelos por horizonte en algunos casos y por profundidades en otros.

Debido a la diversidad de horizontes y profundidades de las muestras en ambas especies, se decidió uniformizar los resultados a una sola profundidad (0-40 cm).

Los resultados del análisis de suelo y algunos factores climáticos y físicos de los sitios fueron correlacionados con los índices de sitio de mangium y aripín respectivamente, para determinar qué factores influyen positiva o negativamente el comportamiento de las especies.

Los análisis de las muestras de suelo fueron realizados en el laboratorio de suelos del Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica. En dichos análisis se determinó el contenido de las siguientes variables:

| | |
|---------|---------------|
| arena | en porcentaje |
| limo | en porcentaje |
| arcilla | en porcentaje |
| pH | |

| | |
|--|------------------------|
| aluminio (Al) | en meq/100 ml de suelo |
| calcio (Ca) | en meq/100 ml de suelo |
| magnesio (Mg) | en meq/100 ml de suelo |
| potasio (K) | en meq/100 ml de suelo |
| fósforo (P) | en ppm |
| cinc (Zn) | en ppm |
| manganeso (Mn) | en ppm |
| cobre (Cu) | en ppm |
| capacidad de intercambio catiónico (CIC) | |
| | en meq/100 ml de suelo |
| materia orgánica (MO) | en porcentaje |

La textura fué determinada por el método de Bouyoucos usando como dispersante una mezcla de hexametáfosfato de sodio al 10 % y el pH en agua en relación 1:2.5. El contenido de materia orgánica fué medido utilizando la metodología de Walkley y Black.

La extracción de Ca, Mg, Al y Mn se hizo con cloruro de potasio (KCl) y el K con $\text{CH}_3\text{COONH}_4$. El Cu y el Zn fueron extraídos por el método ISFEIP.

Con respecto a las variables climáticas y físicas se consideró la altitud (msnm), pendiente (%), temperatura media anual ($^{\circ}\text{C}$), precipitación media anual (mm) y número de meses secos (precipitación menor a 100 mm).

Los resultados se presentan en el Anexo 2 para mangium y en el Anexo 3 para aripín.

3.2.5 Análisis de los datos de crecimiento

De los archivos "J.Palmer" (archivos planos o ASCII, que tienen los mismos campos para las variables estándares y pueden leerse con un procesador de texto, elaborados por John Palmer a partir de 1979) de ambas especies del banco de datos de Madeleña, se calcularon los valores promedio de las variables por parcela a través del programa RESUMENES.SAS (empleado por MADELENA, CATIE), que calcula entre otras variables, el número de árboles originales por hectárea, la supervivencia de los árboles, el dap promedio, la altura promedio, la altura dominante y el área basal (G/ha).

Utilizando los datos de resúmenes por medición, fueron elaborados gráficos de altura media, altura dominante, dap, área basal por hectárea, supervivencia, incrementos medios anuales (en altura media, área basal por hectárea y dap) contra la edad de las parcelas; además se graficó la altura media y la altura dominante contra el dap. Esto se hizo con la finalidad de observar el comportamiento de estos parámetros y determinar si existían valores que mostraran un comportamiento anormal en la serie de datos.

Para analizar el crecimiento, en primer lugar se desarrolló un modelo para estimar el índice de sitio (definido como la altura dominante de un rodal a una edad tomada como base) de ambas especies, luego se utilizó este modelo para calcular el índice de sitio para cada parcela. Finalmente utilizando regresiones múltiples se ajustaron modelos matemáticos para predecir el crecimiento de ambas

especies en dap y altura en función de la edad y el índice de sitio.

Tanto en mangium como en aripín la mayoría de parcelas fueron plantadas a una densidad de 2500 árboles por hectárea, por lo que en el modelo de crecimiento de dap solo se pudo analizar esta densidad. En los anexos 4 y 5 se presentan las parcelas de mangium usadas para los análisis de crecimiento en altura y en dap respectivamente y en los anexos 6 y 7 las de aripín.

3.2.6 Cálculo de índices de sitio

La metodología para calcular los índices de sitio (IS) fué:

- depuración del archivo de resúmenes por medición
- ejecución de la regresión jerárquica
- evaluación de los diferentes modelos
- selección del modelo con el ajuste mejor

En el caso de mangium se emplearon datos de 133 parcelas con edades que van de 12 a 74 meses y para aripín se emplearon datos de 62 parcelas con edades que van de 12 a 83 meses (Anexos 8 y 9).

Para calcular los índices de sitio se seleccionó como variable la altura máxima o altura dominante (altura promedio de los 100 árboles más grandes por hectárea), por considerar que es la que mejor refleja la calidad de sitio, debido a que es un buen indicador del potencial productivo de un tipo de bosque en un sitio en particular, además de que la altura

dominante es casi insensible a diferencias de densidades de los rodales; cosa que no sucede con la altura promedio, la cual es usualmente sensitiva no solo a la edad y a la clase de sitio, sino también a la densidad del rodal y las intervenciones (Alder, 1980 ; Clutter, 1986; Hughell, 1989).

Debido a que la mayoría de las parcelas tienen áreas entre una y dos centésimas de hectárea, para estimar la altura dominante solamente se tomó en cuenta el árbol mas grande. En el caso de varias repeticiones dentro de un tratamiento, la altura dominante del tratamiento es el promedio de las alturas dominantes de las repeticiones.

Para los cálculos respectivos se eliminaron las mediciones de parcelas menores de un año, así como aquellas que mostraron un crecimiento en altura dominante influido fuertemente por factores ajenos al sitio (mediciones con muy poco crecimiento para su edad, o con un crecimiento no consistente), así como los datos de parcelas con una sola medición.

Para llegar a una ecuación que estime el índice de sitio (IS) con base en la edad y altura dominante se aplicó el método de la "curva guía" con la ecuación de Schumacher (Alder, 1980):

$$\text{Ln}(H_{\text{dom}}) = a + b/(\text{edad})^k \quad (4)$$

En la ecuación H_{dom} es la altura dominante, \ln es el logaritmo natural y "a", "b" y "k" son coeficientes estimados por la regresión.

El primer paso es estimar el valor de los coeficientes a, b y k mediante una regresión. En este estudio en vez de una regresión simple se utilizó la regresión jerárquica, para obtener un ajuste mejor a datos de parcelas con mediciones de varias edades.

Para realizar la regresión jerárquica se utilizó el programa en Basic "CALID4.BAS" creado por David Hughell en 1985. Este programa lee directamente los archivos en dBase y realiza la regresión jerárquica con la ecuación de Schumacher.

Después se aplica el método de la "curva guía" para describir una familia de curvas de diferentes índices de sitio. Según este método existen dos modelos para describir la familia de curvas de índice de sitio: el modelo "a común" y el modelo "b común", los cuales describen familias de curvas polimórficas y anamórficas respectivamente. Ambos modelos permiten estimar el índice de sitio con base en una altura dominante dada (Ecuaciones 5 y 7), o estimar la altura dominante con base en un índice de sitio dado (Ecuaciones 6 y 8).

"a" común:

$$\ln(IS) = a + \text{edad}^k / \text{edad base}^k * [\ln(H_{dom}) - a] \quad (5)$$

$$\ln(H_{dom}) = a + \text{edad base}^k / \text{edad}^k * [\ln(IS) - a] \quad (6)$$

"b" común:

$$\text{Ln}(\text{IS}) = \text{Ln}(\text{Hdom}) + b \cdot (1/\text{edad base}^k - 1/\text{edad}^k) \quad (7)$$

$$\text{Ln}(\text{Hdom}) = \text{Ln}(\text{IS}) + b \cdot (1/\text{edad}^k - 1/\text{edad base}^k) \quad (8)$$

Basado en los índices de sitio calculados para cada parcela, la hoja electrónica CALID1.WK1 calcula la altura (Hdom) por medición para los modelos con "a" común y "b" común.

Para ambas especies en primer lugar se corrió el programa CALID4.BAS con la opción de estimar la constante "k", luego se corrió para realizar la regresión jerárquica con distintos valores seleccionados de esta constante. Todos los resultados fueron grabados para una posterior evaluación.

Para realizar la evaluación estadística de los diferentes modelos, primero se determinó la edad y altura a usar para calcular el índice de sitio con el modelo. Para ello se empleó un programa escrito en dBase llamado ISMED.PRG que identifica la medición más cercana a la edad base para cada parcela y pasa la edad y altura dominante de esta medición a los campos "ISEDAD" e "ISALT" dentro del archivo de datos para todas las mediciones de esta parcela (Anexo 10).

La edad y la altura grabadas en "ISEDAD" e "ISALT" fueron los valores utilizados posteriormente para calcular el índice de sitio para la parcela.

Posteriormente se incorporaron los datos dentro de la hoja electrónica CALID1.WK1 en lotus (Anexo 10), la cual calcula los índices de sitio para cada parcela basado en la

edad y la altura dominante de la medición más cercana a la edad base (ISEDAD e ISALT) para los modelos con "a" común y "b" común. En este estudio se utilizaron edades base de 48 y 60 meses para mangium y aripín respectivamente, por ser edades promedio alcanzadas por la mayoría de las parcelas.

La selección del modelo está basada en la suposición de que el índice de sitio es una característica del sitio y de la especie, y que no cambia con la edad de la parcela; por lo tanto, un buen modelo minimiza la variación de índice de sitio entre diferentes mediciones.

La evaluación de los modelos es entonces una comparación entre el índice de sitio calculado para la parcela (con la edad de medición más cercana a la edad base) y para la medición. El promedio de la diferencia, observado menos el calculado, representa el sesgo en el ajuste del modelo y la desviación estándar indica la precisión. Este proceso se repitió para diferentes valores de "k" para poder comparar el ajuste de los modelos "a" común y "b" común para cada valor de "k".

Se correlacionaron los datos del análisis de suelo y algunos factores del sitio con los índices de sitio (sólo en aquellos ensayos que tenían análisis de suelo, ver Anexos 2 y 3) para determinar qué factores estaban limitando o estimulando el crecimiento de la especie. Con los factores que correlacionaron mejor con el índice de sitio se contruyeron modelos de regresión para predecir los índices de sitio en función de esos factores.

3.2.7 Análisis de los datos de rendimiento

El rendimiento de ambas especies fué analizado en términos de producción de biomasa aérea seca y volumen. La importancia de conocer la producción de biomasa y volumen radica en que se pueden elaborar tablas de rendimiento por árbol en términos de producción de biomasa y volumen de madera, y se puede predecir la producción de un rodal. De esta manera se pueden formular proyectos de reforestación y estimar la producción de la plantación en un momento y en condiciones específicas dadas, así también se puede determinar el momento óptimo de aprovechamiento de un rodal o cuando deben hacerse intervenciones silvícolas al mismo.

Para el caso de mangium la biomasa aérea seca fué analizada en términos de biomasa total (fuste, ramas y follaje) y de biomasa leñosa (fuste y ramas) para tres aprovechamientos, dos en Costa Rica de 12 y 4 árboles cada uno y uno en Panamá de 25 árboles; mientras que para estimar el volumen se utilizaron los datos de los aprovechamientos de Costa Rica y se desarrollaron dos modelos matemáticos, para volúmenes totales con y sin corteza.

Para el caso de aripín la biomasa aérea seca fué analizada en términos de biomasa leñosa (fuste y ramas) y se utilizaron datos provenientes de cuatro aprovechamientos realizados en Huité (de 25, 16, 16 y 16 árboles), uno en Las Chapernas (18 árboles), uno en Gualán (36 árboles) y uno en La Máquina (16 árboles), todos en Guatemala. Para estimar el volumen se utilizaron los datos de cuatro aprovechamientos,

uno en las Chapernas (18 árboles), dos en Gualán (36 y 53 árboles), y uno en La Máquina (16 árboles), todos en Guatemala y se desarrollaron dos modelos matemáticos para volúmenes totales con y sin corteza.

En todos los casos se utilizó el paquete estadístico PSP (Palmer Statistical Package) para ajustar los modelos de estimación del volumen y la producción de biomasa aérea seca por árbol. Este paquete prueba simultáneamente 15 modelos matemáticos para predecir el rendimiento en función del diámetro y la altura.

Con base en los modelos seleccionados fueron desarrolladas tablas de volumen y producción de biomasa seca por árbol.

3.2.8 Incorporación de la serie de ecuaciones al modelo global

El último paso en la construcción del modelo para la predicción de crecimiento y rendimiento es incorporar todas estas ecuaciones al modelo global, de tal manera que permita confeccionar tablas de rendimiento para diferentes sitios y regímenes de manejo. Para ello Hughell (1989) diseñó una hoja electrónica (con el paquete de computación "Lotus 123") (Anexo 11) que contiene las ecuaciones, las condiciones iniciales (índice de sitio y densidad) y la tabla de rendimiento correspondiente a estas condiciones. Esta hoja electrónica permite al usuario seleccionar las condiciones

iniciales y recalcular una nueva tabla de acuerdo con estas condiciones.

3.2.9 Verificación de los modelos

En el área de modelaje se define la verificación como una comprobación del modelo con los mismos datos que fueron utilizados para construirlo, y se define validación como una comprobación del modelo con un grupo de datos independientes (Bruce y Wensel, 1988). En este estudio los modelos fueron verificados. Esta comprobación consiste en una comparación entre los valores calculados por el modelo y los valores observados para cada medición. Para realizar las evaluaciones Hughell (1989) diseñó una hoja electrónica con Lotus 123 (Anexo 12), la cual para cada medición estima con el modelo los parámetros del rodal Nactual, dap, altura y producción (volumen o biomasa) y calcula la diferencia entre este valor calculado y el valor observado (valor real). Las estadísticas presentadas que resumen la evaluación son el número de mediciones analizadas, el promedio de las diferencias, la desviación estándar de las diferencias, y el coeficiente de variación (cv) con base en el valor medio observado, así:

$$cv = \frac{\text{desviación estándar de la diferencia}}{\text{promedio del observado}} \quad (9)$$

El promedio de las diferencias indica si existe un sesgo (una tendencia a sub o sobre estimar los valores observados)

en los valores calculados con el modelo. Con una muestra representativa este estadístico casi siempre es cero o muy cercano a ello, ya que se utilizan mínimos cuadrados para construir el modelo. La desviación estándar representa la dispersión o precisión de las predicciones de las parcelas individuales alrededor del promedio. El coeficiente de variación representa la misma precisión o dispersión, pero en relación con el promedio de los valores observados. Este valor es útil para comparar la precisión de predecir entre diferentes parámetros del modelo o para comparar diferentes modelos.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Crecimiento de las parcelas estudiadas

El Anexo 13 muestra los crecimientos de *Acacia mangium* en dap, altura media (H), altura dominante (Hdom) y los respectivos incrementos medios anuales; mientras que en el Anexo 14 se muestran las mismas variables para *Caesalpinia velutina*.

Los promedios de los incrementos medios anuales de mangium de las últimas mediciones en dap y altura media para todos los ensayos son 3,26 cm y 2,03 m respectivamente; mientras que los mismos promedios para aripin son 1,52 cm y 1,43 m respectivamente.

Comparando los promedios de los incrementos medios anuales en dap y altura media del Anexo 13 con los del Cuadro 1 se puede notar que el crecimiento obtenido por mangium en la región centroamericana es similar al alcanzado en otras partes del mundo en cuanto a dap, pero es ligeramente inferior en altura

Mangium mostró relativamente poca bifurcación en la región centroamericana (1.1 ejes/árbol) en comparación con los resultados obtenidos en Costa Rica, donde se observó un promedio de 2,0 ejes por árbol (Jiménez y Picado, 1987); sin embargo el resultado es similar al encontrado por Morrobel (1989) en la República Dominicana, donde encontró 1,07 , 1,05

y 1,18 ejes/árbol en plantaciones en bloque, en línea y en árboles aislados respectivamente. La procedencia de Queensland, Australia mostró mayor bifurcación (1,16 ejes/árbol) que la de Sabah, Malasia (1,02 ejes/árbol).

Al igual que mangium, el aripín mostró poca bifurcación en los ensayos analizados, pues hubo 1,28 ejes/árbol.

El Cuadro 5 muestra el ámbito de las variables incluidas para los resúmenes por mediciones de las parcelas de mangium, mientras que el Cuadro 6 muestra el ámbito de las variables para aripín.

Cuadro 5. Ambito de las variables incluidas para los resúmenes por medición para las parcelas de *Acacia mangium* en América Central.

| Variable | Promedio | Ambito | |
|----------------------|----------|--------|--------|
| | | Mínimo | Máximo |
| Edad (meses) | 24 | 12 | 74 |
| Ninicial (n/ha) | 1696 | 1111 | 2500 |
| Nactual (n/ha) | 1378 | 431 | 2500 |
| Nejes (n/ha) | 1543 | 528 | 3020 |
| Sobrevivencia (%) | 81 | 55 | 100 |
| dap (cm) | 8,1 | 1,7 | 15,4 |
| altura (m) | 4,3 | 0,9 | 13,4 |
| altura dominante (m) | 5,3 | 1,1 | 15,5 |
| índice de sitio (m) | 11,6 | 6,2 | 19,8 |

Cuadro 6. Ambito de las variables incluidas para los resúmenes por medición para las parcelas de *Caesalpinia velutina* en América Central.

| Variable | Promedio | Ambito | |
|----------------------|----------|--------|--------|
| | | Mínimo | Máximo |
| Edad (meses) | 35 | 12 | 83 |
| Ninicial (n/ha) | 3080 | 2000 | 6875 |
| Nactual (n/ha) | 2916 | 1250 | 5781 |
| Nejes (n/ha) | 3767 | 1319 | 9909 |
| Sobrevivencia (%) | 87 | 50 | 100 |
| dap (cm) | 4,8 | 1,5 | 10,0 |
| altura (m) | 4,6 | 0,8 | 12,3 |
| altura dominante (m) | 6,4 | 1,4 | 13,8 |
| índice de sitio (m) | 8,9 | 5,3 | 13,0 |

Las Figuras 3 y 4 muestran los crecimientos en dap y altura media de las parcelas de *Acacia mangium*, mientras que las Figuras 5 y 6 muestran los de *Caesalpinia velutina*.

4.2 Estimación del índice de sitio

Para estimar el índice de sitio (IS) con base en la edad y altura dominante se utilizó el método de la "curva guía" con la ecuación de Schumacher:

$$\text{Ln (Hdom)} = a + b/(\text{edad})^k \quad (10)$$

En la Ecuación 10 Hdom es la altura dominante, Ln es el logaritmo natural y "a", "b" y "k" son coeficientes estimados por la regresión.

Dentro de método de la "curva guía" se seleccionó el modelo "a común" para estimar los índices de sitio de ambas especies, con la siguiente Ecuación:

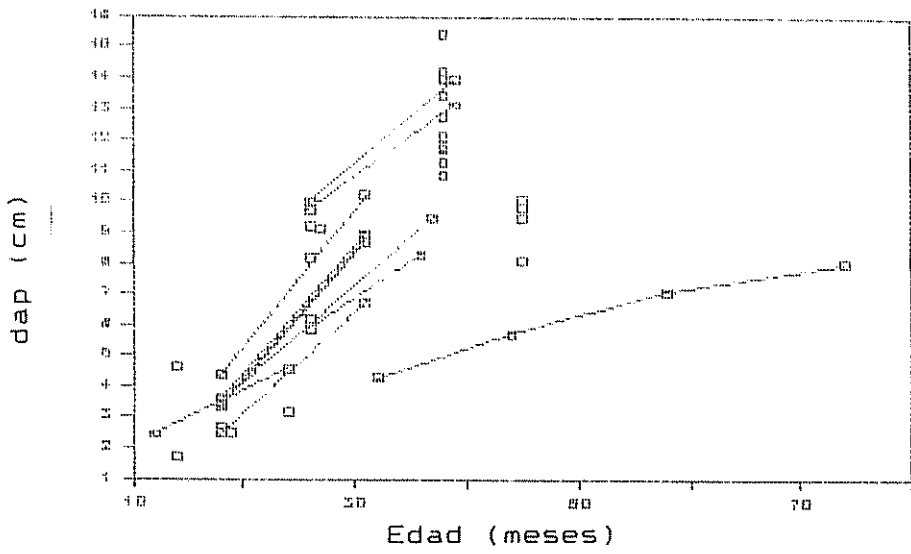


Figura 3. Crecimiento en dap (cm) con respecto a la edad (meses) de las parcelas de *Acacia mangium* en América Central.

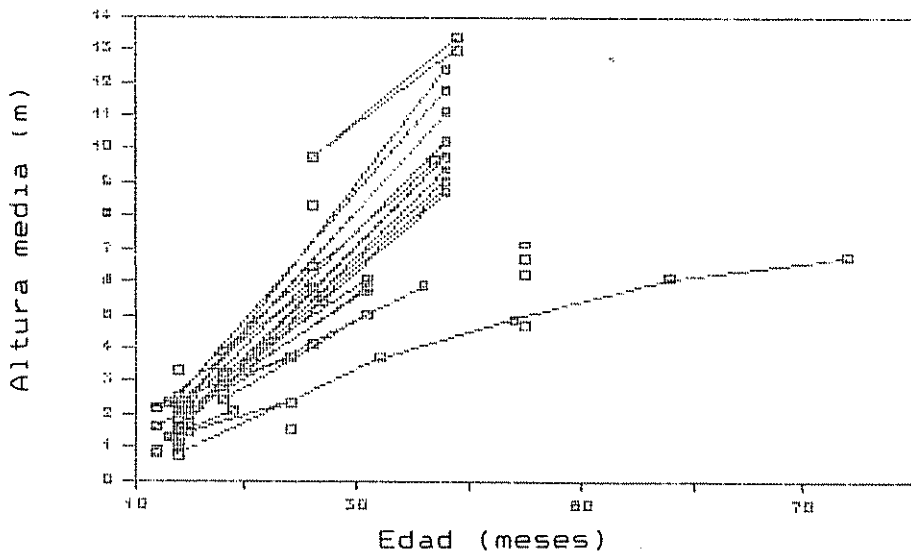


Figura 4. Crecimiento en altura media (m) con respecto a la edad (meses) de las parcelas de *Acacia mangium* en América Central.

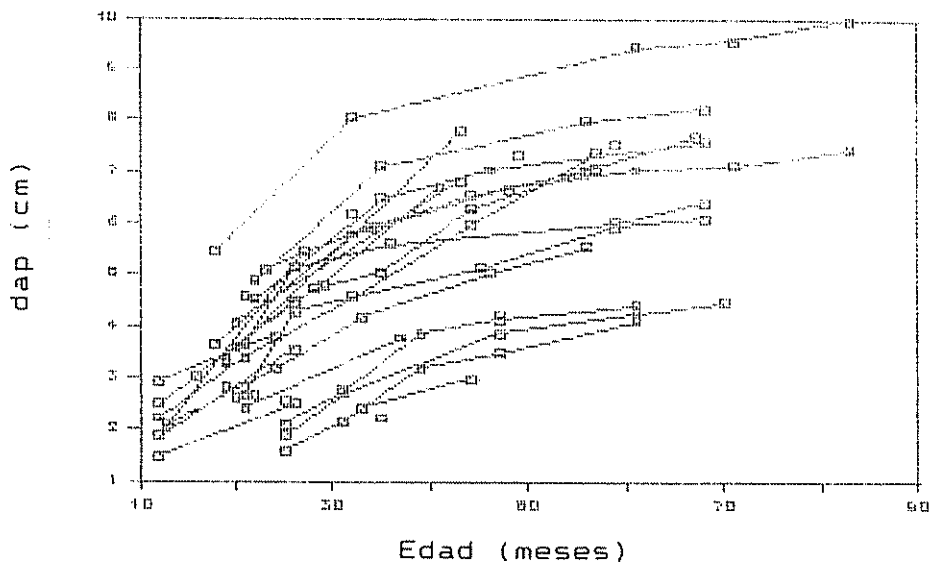


Figura 5. Crecimiento en dap (cm) con respecto a la edad (meses) de las parcelas de *Caesalpinia velutina* en América Central.

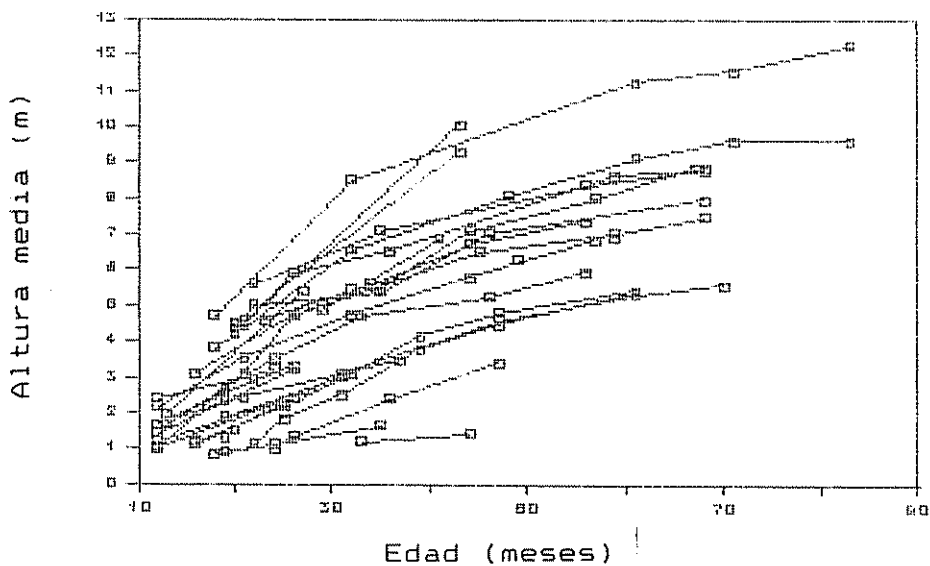


Figura 6. Crecimiento en altura media (m) con respecto a la edad (meses) de las parcelas de *Caesalpinia velutina* en América Central.

$$\text{Ln}(\text{IS}) = a + [\text{Ln}(\text{Hdom}) - a] * (\text{edad})^k / (\text{edad base})^k \quad (11)$$

Donde IS = índice de sitio (m)

Hdom = altura dominante (m)

Ln = logaritmo natural

Edad = edad de las parcelas (meses)

Edad base = edad base para calcular el índice de sitio

"a" y "k" = coeficientes estimados por la regresión.

Esta ecuación con sus respectivos coeficientes fué utilizada para estimar el índice de sitio de ambas especies.

Las edades base usadas fueron 48 meses para mangium y 60 meses para aripín.

En los Anexos 13 y 14 se presentan los índices de sitio para cada parcela de mangium y aripín respectivamente.

En el Cuadro 7 se presenta el ámbito de los valores de altura dominante y edad de las parcelas de mangium y aripín utilizados para estimar los índices de sitio respectivos. En el Cuadro 8 se presentan los valores de los coeficientes "a", "b" y "k" para mangium y aripín estimados por la regresión.

Cuadro 7. Ambitos de las variables incluidas para estimar los índices de sitio de *Acacia mangium* y *Caesalpinia velutina* en América Central.

| Variable | Promedio | Ambito | |
|-----------------------------|----------|--------|--------|
| | | Mínimo | Máximo |
| <i>Acacia mangium</i> | | | |
| Altura dominante (m) | 6,18 | 1,31 | 15,50 |
| Edad de parcelas (meses) | 27 | 12 | 74 |
| <i>Caesalpinia velutina</i> | | | |
| Altura dominante (m) | 6,68 | 1,15 | 13,80 |
| Edad de parcelas (meses) | 37 | 12 | 83 |

Cuadro 8. Valores de los coeficientes para estimar el índice de sitio de las parcelas de *Acacia mangium* y *Caesalpinia velutina* en América Central.

| Coefficiente | <i>A. mangium</i> | <i>C. velutina</i> |
|--------------|-------------------|--------------------|
| "a" | 5,8369 | 2,7105 |
| "b" | -11,0000 | -13,4520 |
| "k" | 0,30 | 0,80 |

4.3 Estimación de la altura y el diámetro

Para estimar el crecimiento en altura de ambas especies se encontró que el siguiente modelo matemático presentó un ajuste adecuado a los datos y está basado en principios biológicos (Schumacher, 1939):

$$\text{Ln (H)} = a + b/\text{edad} + c * \text{Ln (IS)} \quad (12)$$

Donde Ln = logaritmo natural

H = altura total (m)

edad = edad de la plantación (meses)

IS = índice de sitio (m)

Los resultados de la regresión se presentan en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Coeficientes de regresión para los modelos de crecimiento en altura para *Acacia mangium* y *Caesalpinia velutina* en América Central.

| Especie | n | a | b | c | R ² (%) |
|--|-----|---------------------|----------------------|--------------------|-----------------------|
| <u>Ln (H) = a + b/edad + c * Ln (IS)</u> | | | | | |
| <i>Acacia mangium</i> | 90 | 0,4799 (0,1324)* | -33,7643 (0,8079) | 0,9947 (0,0564) | 96 |
| <i>Caesalpinia velutina</i> | 111 | -1,1157 (0,3420) | -23,1366 (1,5114) | 1,5064 (0,1452) | 81 |

* Los valores entre paréntesis corresponden al error estándar

El Cuadro 10 presenta el ámbito de edades e índices de sitio utilizados para desarrollar el modelo para estimar el crecimiento en altura de ambas especies.

Cuadro 10. Ambito de edades e índices de sitio utilizados para desarrollar los modelos de crecimiento en altura de *Acacia mangium* y *Caesalpinia velutina* en América Central.

| Variable | Promedio | Ambito | |
|-----------------------------|----------|--------|--------|
| | | Mínimo | Máximo |
| <i>Acacia mangium</i> | | | |
| Edad de parcelas (meses) | 26 | 12 | 74 |
| Índice de sitio (m) | 11,13 | 6,17 | 17,96 |
| <i>Caesalpinia velutina</i> | | | |
| Edad de parcelas (meses) | 35 | 12 | 83 |
| Índice de sitio (m) | 9,20 | 5,75 | 12,97 |

Para estimar el crecimiento en dap para ambas especies fué seleccionado el siguiente modelo matemático:

$$dap = a * IS * (1 - \text{Exp}(-b * \text{edad}))^c \quad (13)$$

Donde dap = diámetro a la altura del pecho (cm)

IS = índice de sitio (m)

edad = edad de las plantaciones (meses)

El Cuadro 11 presenta los valores de los resultados de la regresión de ambas especies para estimar el crecimiento en dap.

Como puede observarse los coeficientes de determinación (R^2) para los modelos de crecimiento tanto en altura como en dap son bastante altos. En todos los casos los modelos predicen mas del 79% de la variación de la altura y del dap

en función de la edad y del índice de sitio, lo cual es considerado satisfactorio.

Cuadro 11 Coeficientes de regresión para los modelos de crecimiento en dap para *Acacia mangium* y *Caesalpinia velutina* en América Central.

| Especie | n | a | b | c | R ² (%) |
|--|----|---------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|
| <u>dap = a * IS * (1-Exp(-b*edad))^c</u> | | | | | |
| <i>A. mangium</i> | 43 | 1,4393 (0,1707)* | 0,0517 (0,0154) | 3,4763 (1,3346) | 80 |
| <i>C. velutina</i> | 74 | 0,7027 (0,0338) | 0,0590 (0,0164) | 1,7346 (0,6175) | 79 |

* Los valores entre paréntesis corresponden al error standard

El Cuadro 12 presenta el ámbito de edades e índices de sitio utilizados para desarrollar los modelos para estimar el crecimiento en dap de ambas especies.

Cuadro 12. Ambito de edades e índices de sitio usados para desarrollar los modelos de crecimiento en dap de *Acacia mangium* y *Caesalpinia velutina* en América Central

| Variable | Promedio | Ambito | |
|-----------------------------|----------|--------|--------|
| | | Mínimo | Máximo |
| <i>Acacia mangium</i> | | | |
| Edad de parcelas (meses) | 30 | 12 | 74 |
| Indice de sitio (m) | 9,23 | 6,17 | 14,24 |
| <i>Caesalpinia velutina</i> | | | |
| Edad de parcelas (meses) | 37 | 12 | 83 |
| Indice de sitio (m) | 9,52 | 5,75 | 12,97 |

4.4 Correlación entre variables de los sitios e índices de sitio

4.4.1 *Acacia mangium*

Se utilizó el programa SAS (Statistical Analysis System) para desarrollar una matriz de correlación entre los índices de sitio y los factores del sitio. Los factores correlacionados se muestran en el Anexo 2. A través de la matriz y de los coeficientes encontrados se identificaron algunos factores que influyen positiva o negativamente en el índice de sitio.

Se encontró una correlación (5%) (significativa con un nivel de error de 5%) de los siguientes factores con el

índice de sitio: el Potasio (K) correlacionó positivamente ($r=0,8014$), el número de meses secos (MS) (precipitación < 100 mm) correlacionó negativamente con el índice de sitio ($r=-0,7451$), el contenido de cobre (Cu) mostró una correlación positiva ($r=0,7420$), el contenido de aluminio (Al) correlacionó positivamente ($r=0,6363$), el contenido de Zinc (Zn) mostró una correlación positiva ($r=0,5171$) y el pH de los suelos correlacionó positivamente ($r=0,5035$).

Es interesante hacer notar que la correlación del índice de sitio con el número de meses secos fué negativa, lo que indica que la altura disminuye a medida que el número de meses secos aumenta.

La variable edáfica que mejor correlacionó con el índice de sitio fué el contenido de potasio (K), el coeficiente positivo indica que para los sitios estudiados con mayor contenido de potasio en el suelo el índice de sitio fué mas alto. Los contenidos de aluminio, zinc y cobre también tuvieron correlaciones positivas, lo que implica que a mayor contenido de estos elementos en el suelo serán mayores los índices de sitio. Finalmente la literatura indica que mangium crece mejor en suelos ligeramente ácidos, lo que se demostró al correlacionar positivamente el pH de los suelos con los índices de sitio de los mismos.

Los factores que mejor correlacionaron fueron utilizados para obtener modelos para predecir el índice de sitio, labor que se realizó mediante análisis de regresión múltiple a través del sistema Stepwise o regresión paso a paso.

El siguiente modelo utiliza los contenidos de cobre, potasio, aluminio y zinc, además el pH y el número de meses secos. Obtuvo un $R^2 = 79\%$ (ajustado); esto indica que el modelo explica el 79% de la variación en el índice de sitio con base en dichos factores.

$$R^2 = 79\% \text{ (ajustado)}$$

$$R^2 = 86\%$$

$$\begin{aligned} \text{IS} = & \quad (a) \quad (b) \quad (c) \quad (d) \\ & -1,2116 + 2,1773(\text{PH}) - 1,6977(\text{Al}) + 11,1417(\text{K}) \\ & \quad (e) \quad (f) \quad (g) \\ & + 0,8319(\text{Zn}) + 0,3397(\text{Cu}) - 0,6072(\text{meses secos}) \quad (14) \end{aligned}$$

El Cuadro 13 presenta los valores de los coeficientes y sus respectivos errores estandar

Cuadro 13. Valores de los coeficientes y sus respectivos errores estandar para estimar el índice de sitio de *Acacia mangium* en función de características del sitio en América Central.

| Coefficiente | Valor | Error estandar |
|--------------|---------|----------------|
| a | -1,2116 | 7,6969 |
| b | 2,1773 | 1,2840 |
| c | -1,6977 | 2,3433 |
| d | 11,1417 | 6,9601 |
| e | 0,8319 | 0,9724 |
| f | 0,3397 | 0,2041 |
| g | -0,6072 | 0,2792 |

En el Anexo 15 se presentan los resultados de las variables que tuvieron mayor correlación con el índice de sitio.

4.4.2 *Caesalpinia velutina*

Al relacionar los factores de sitio con el índice de sitio no se encontró correlación estadísticamente significativa (5%) para ninguna variable. Esto significa que el grado de asociación del índice de sitio con las variables del sitio estudiadas es bajo. Dada esta circunstancia no se presenta un modelo matemático para estimar el índice de sitio de aripín en funciones de los factores del sitio.

Todas las variables de suelo que aparecen en el Anexo 3 fueron correlacionadas con el índice de sitio; sin embargo en el Anexo 16 se presentan solo los resultados de las variables que tuvieron mayor correlación con el índice de sitio. El hecho de que la correlación del índice de sitio con los factores del sitio estudiados no fué significativa puede deberse a que no se tuvo un rango de observaciones suficientemente amplio para encontrar correlación significativa, y se estima que las diferencias de crecimiento pueden deberse a otros factores como compactación del suelo, control de malezas, uso anterior del suelo, edad de las plantaciones, etc.

Los coeficientes de correlación encontrados entre las variables del sitio y el índice de sitio para este estudio concuerdan con los informados en la literatura en estudios

similares. Covell y McClurkin (1964) observaron que ecuaciones para estimar el índice de sitio con base en factores del medio ambiente raras veces explican mas que 50% o 60% de la variación en el índice de sitio.

4.5 Estimación de la producción

4.5.1 *Acacia mangium*

Para estimar la producción por árbol de mangium en volumen y biomasa seca en función del diámetro, se utilizó el siguiente modelo logarítmico:

$$\text{Ln}(PoV) = a + b*\text{Ln}(dap) \quad (15)$$

Donde P = Volumen (m³) o Peso de biomasa seca (kg)

dap = Diámetro a la altura del pecho (cm)

Ln = Logaritmo natural

El Cuadro 14 presenta los coeficientes de regresión correspondientes al ajuste de este modelo para los volúmenes totales con y sin corteza, la producción de biomasa seca (fuste+ramas+follaje) y la producción de biomasa leñosa seca (fuste+ramas). Es importante hacer notar que la incorporación de la altura al modelo no resultó significativa.

Cuadro 14. Coeficientes de regresión y determinación de los modelos para estimar la producción por árbol de *Acacia mangium* en América Central.

| Tipo de producción estimada | n | a | b | R ² (%) |
|--------------------------------|----|----------|-----------------------|-----------------------|
| <u>Ln(PoV) = a + b*Ln(dap)</u> | | | | |
| Vol total con corteza | 16 | -8,28158 | 2,25339 (0,07622)* | 98 |
| Vol total sin corteza | 16 | -8,52880 | 2,28918 (0,09704) | 97 |
| Peso seco de biomasa | 35 | -1,58254 | 2,11714 (0,17973) | 80 |
| Peso seco biomasa leñosa | 35 | -1,99713 | 2,13791 (0,18425) | 80 |

* Los valores entre paréntesis corresponden al error standard

Como puede verse los coeficientes de determinación (R²) son altos. Es necesario indicar que el uso de los modelos y las tablas de producción presentados deben limitarse al rango de diámetros utilizados para la construcción de los mismos.

El Cuadro 15 muestra el ámbito de valores de dap utilizados para desarrollar los modelos.

Cuadro 15. Ambito de valores de dap utilizados para desarrollar los modelos de volúmenes y biomasa en función de la edad para *Acacia mangium* en América Central.

| Modelo | Variable | Promedio | Ambito | |
|--|----------|----------|--------|--------|
| | | | Máximo | Mínimo |
| Volumenes (con y sin corteza) | dap | 7,1 | 1,6 | 11,1 |
| Pesos (biomasa total y biomasa leñosa) | dap | 8,3 | 3,9 | 17,0 |

Haciendo uso de los modelos fueron confeccionadas tablas de producción de volumen y peso seco de biomasa. El Cuadro 16 presenta la tabla de una entrada con los volúmenes y pesos respectivos.

Cuadro 16. Tabla de volúmenes (m^3) y Pesos secos de biomasa (kg) por árbol de *Acacia mangium* en América Central.

| DAP (cm) | VCCT | VSCT | PBT | PL |
|----------|--------|--------|-------|-------|
| 1 | 0,0003 | 0,0002 | | |
| 3 | 0,0030 | 0,0025 | 2,23 | 1,51 |
| 5 | 0,0096 | 0,0080 | 6,56 | 4,50 |
| 7 | 0,0206 | 0,0173 | 13,38 | 9,23 |
| 9 | 0,0362 | 0,0308 | 22,79 | 15,80 |
| 11 | 0,0569 | 0,0488 | 34,85 | 24,27 |
| 13 | 0,0829 | 0,0715 | 49,63 | 34,68 |
| 15 | | | 67,20 | 47,09 |
| 17 | | | 87,58 | 61,54 |

VCCT= volumen con corteza total (m^3)

VSCT= volumen sin corteza total (m^3)

PBT= peso de biomasa seca total (fuste+ramas+follaje) (kg)

PL= peso de leña seco (fuste+ramas) (kg)

4.5.2 *Caesalpinia velutina*

Se encontró que para estimar la producción por árbol de aripín en volumen y biomasa seca en función del diámetro y la altura, el siguiente modelo logarítmico mostró un buen ajuste.

$$\text{Ln}(\text{PoV}) = a + b*\text{Ln}(\text{dap}) + c*\text{Ln}(H) \quad (16)$$

Donde PoV = Peso seco de biomasa (kg) o Volumen (m³)

dap = diámetro a la altura del pecho (cm)

H = altura total (m)

Ln = logaritmo natural

El Cuadro 17 presenta los coeficientes de regresión correspondientes de este modelo para los volúmenes totales con y sin corteza y el peso seco de la biomasa leñosa (fuste+ramas).

Cuadro 17. Coeficientes de regresión y determinación de los modelos para estimar la producción por árbol de *Caesalpinia velutina* en América Central.

| Tipo de producción estimada | n | a | b | c | R ² (%) |
|--|-----|---------|---------------------|---------------------|-----------------------|
| <u>Ln(PoV) = a + b*Ln(dap) + c*Ln(H)</u> | | | | | |
| Vol total con corteza | 123 | -9,0215 | 1,4263 (0,1279)* | 1,1430 (0,1179) | 86 |
| Vol total sin corteza | 123 | -9,1985 | 1,4890 (0,1312) | 1,1212 (0,1209) | 85 |
| Peso seco de leña | 146 | -2.7080 | 1,6155 (-0,1247) | 1,1209 (-0,1247) | 94 |

* Los datos entre paréntesis son el error estándar.

Como se observan los coeficientes de determinación (R²) son altos. Únicamente se analizó el peso seco de leña en virtud de que los aprovechamientos se hicieron en época seca que es cuando el arripín se defolia. Es necesario indicar que el uso de los modelos y las tablas de producción presentados deben limitarse al rango de diámetros y alturas utilizados para la construcción de los mismos.

El Cuadro 18 muestra el ámbito de diámetros (dap) y alturas utilizados en el desarrollo de los modelos de volumen y peso de *Caesalpinia velutina* en América Central.

Cuadro 18. Ambito de diámetros y alturas utilizados en la confección de los modelos de volumen y peso de leña de *Caesalpinia velutina* en América Central.

| Modelo | Variable | Promedio | Ambito | |
|-------------------------------|------------|----------|--------|--------|
| | | | Mínimo | Máximo |
| Volumenes (con y sin corteza) | dap (cm) | 7,8 | 4,7 | 12,7 |
| | altura (m) | 8,3 | 5,6 | 12,2 |
| Peso seco de leña | dap (cm) | 6,8 | 1,6 | 12,7 |
| | altura (m) | 7,6 | 2,3 | 12,2 |

Haciendo uso de los modelos fueron confeccionadas tablas de doble entrada de producción de volumen y peso de leña.

Los Cuadros 19, 20, y 21 muestran dichas tablas.

Cuadro 19. Tabla de volumen con corteza total en m³ por árbol de *Caesalpinia velutina* en América Central.

| dap (cm) | Altura (m) | | | | |
|----------|------------|--------|--------|--------|--------|
| | 5 | 7 | 9 | 11 | 13 |
| 4 | 0,0056 | 0,0082 | 0,0110 | | |
| 6 | 0,0100 | 0,0147 | 0,0196 | | |
| 8 | 0,0151 | 0,0222 | 0,0295 | 0,0371 | |
| 10 | 0,0207 | 0,0305 | 0,0406 | 0,0510 | 0,0618 |
| 12 | | | 0,0526 | 0,0662 | 0,0801 |
| 14 | | | 0,0656 | 0,0825 | 0,0998 |

Cuadro 20. Tabla de volumen total sin corteza en m³ por árbol de *Caesalpinia velutina* en América Central.

| dap (cm) | Altura (m) | | | | |
|----------|------------|--------|--------|--------|--------|
| | 5 | 7 | 9 | 11 | 13 |
| 4 | 0,0050 | 0,0072 | 0,0096 | | |
| 6 | 0,0091 | 0,0132 | 0,0175 | | |
| 8 | 0,0139 | 0,0203 | 0,0269 | 0,0337 | |
| 10 | 0,0194 | 0,0283 | 0,0375 | 0,0469 | 0,0566 |
| 12 | | | 0,0492 | 0,0616 | 0,0743 |
| 14 | | | 0,0619 | 0,0775 | 0,0934 |

Cuadro 21. Tabla de producción de leña seca (fuste+ramas) de *Caesalpinia velutina* en kg por árbol en América Central.

| dap (cm) | Altura (m) | | | | | | |
|----------|------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 |
| 1 | 0,1488 | 0,3236 | | | | | |
| 3 | 0,8778 | 1,9090 | 3,0074 | | | | |
| 5 | 2,0035 | 4,3572 | 6,8641 | 9,4760 | | | |
| 7 | 3,4503 | 7,5037 | 11,8209 | 16,3189 | 20,9562 | | |
| 9 | | | 17,7408 | 24,4913 | 31,4510 | 38,5822 | |
| 11 | | | | 33,8689 | 43,4934 | 53,3551 | 63,4182 |
| 13 | | | | 44,3614 | 56,9676 | 69,8844 | 83,0651 |

4.6 Tablas de rendimiento

Con base en los modelos desarrollados para estimar el crecimiento y la producción fueron elaboradas tablas de rendimiento para las plantaciones de ambas especies. En el

caso de mangium fueron hechas hasta una edad de 4 años y para aripín se hicieron a 5 años de edad, ello en virtud de ser edades alcanzadas por una buena parte de las parcelas estudiadas. Dichas tablas fueron confeccionadas para una densidad y tres índices de sitio; para este último se consideró el rango encontrado en los datos para esta variable y se eligió un valor alto, uno intermedio y otro bajo. En la confección de las tablas, para el primer año se empleó la supervivencia promedio para todas las parcelas, que fué de 80% y 87,3% para mangium y aripín respectivamente, dejándose constante para los demás años. Los cuadros 22 y 23 muestran las tablas de rendimiento en volumen (m^3/ha) y leña seca (tm/ha) para mangium y aripín respectivamente. Como era de esperarse los rendimientos son mas altos para los índices de sitio mayores.

Los incrementos medios anuales (IMA) de mangium a 4 años en producción de leña fueron 15,65 , 8,46 y 3,56 tm/ha para los índices de sitio de 12 , 9 y 6 m y densidades de plantación de 2500 árboles/ha respectivamente; y los incrementos corrientes anuales (ICA) en las mismas condiciones fueron 28,51, 15,41 y 6,48 tm/ha respectivamente (Cuadro 22).

En caso de aripín los incrementos medios anuales a 5 años en producción de leña fueron 10,36, 4,00 y 1,05 tm/ha para índices de sitio de 12, 9 y 6 m y densidades de plantación de 2500 árboles/ha respectivamente; los

Cuadro 22. Predicción del rendimiento de mangium para tres índices de sitio en América Central.

| ===== | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|-------------------|-------------|------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------|----------------|----------------|----------------|
| IS = 12 m NI = 2500 Árboles/ha | | | | | | | | | |
| edad (años) | N (#) (arb/ha) | dap (cm) | ALT (m) | G (m ² /ha) | VOL (m ³ /ha) | VOL (**) (m estéreos) | PSL (tm/ha) | IMA (tm/ha) | ICA (tm/ha) |
| 1 | 2000 | 1.2 | 1.1 | 0.2 | 0.73 | 1.17 | 0.39 | 0.39 | 0.39 |
| 2 | 2000 | 5.3 | 4.7 | 4.4 | 21.38 | 34.21 | 9.46 | 4.73 | 9.07 |
| 3 | 2000 | 9.6 | 7.5 | 14.4 | 82.54 | 132.06 | 34.09 | 11.36 | 24.63 |
| 4 | 2000 | 12.7 | 9.5 | 25.5 | 156.63 | 250.61 | 62.60 | 15.65 | 28.51 |
| ===== | | | | | | | | | |
| IS = 9 m NI = 2500 Árboles/ha | | | | | | | | | |
| edad (años) | N (#) (arb/ha) | dap (cm) | ALT (m) | G (m ² /ha) | VOL (m ³ /ha) | VOL (**) (m estéreos) | PSL (tm/ha) | IMA (tm/ha) | ICA (tm/ha) |
| 1 | 2000 | 0.9 | 0.9 | 0.1 | 0.38 | 0.61 | 0.21 | 0.21 | 0.21 |
| 2 | 2000 | 3.9 | 3.5 | 2.4 | 11.18 | 17.89 | 5.12 | 2.56 | 4.91 |
| 3 | 2000 | 7.2 | 5.6 | 8.1 | 43.16 | 69.06 | 18.43 | 6.14 | 13.31 |
| 4 | 2000 | 9.6 | 7.1 | 14.3 | 81.91 | 131.06 | 33.84 | 8.46 | 15.41 |
| ===== | | | | | | | | | |
| IS = 6 m NI = 2500 Árboles/ha | | | | | | | | | |
| edad (años) | N (#) (arb/ha) | dap (cm) | ALT (m) | G (m ² /ha) | VOL (m ³ /ha) | VOL (**) (m estéreos) | PSL (tm/ha) | IMA (tm/ha) | ICA (tm/ha) |
| 1 | 2000 | 0.6 | 0.6 | 0.1 | 0.15 | 0.24 | 0.09 | 0.09 | 0.09 |
| 2 | 2000 | 2.6 | 2.4 | 1.1 | 4.48 | 7.17 | 2.15 | 1.08 | 2.06 |
| 3 | 2000 | 4.8 | 3.8 | 3.6 | 17.31 | 27.70 | 7.74 | 2.58 | 5.59 |
| 4 | 2000 | 6.4 | 4.8 | 6.4 | 32.85 | 52.56 | 14.22 | 3.56 | 6.48 |
| ===== | | | | | | | | | |

(#) 80% de sobrevivencia

dap = diámetro a la altura del pecho

ALT= altura total

G= área basal

VOL= volumen con corteza total

VOL (**)= m³ de madera apilada, incluyendo los espacios aéreos.

1 m³ sólido = 1.6 m estéreos (Martínez, 1986a)

PSL= peso seco de leña

IMA = Incremento medio anual

ICA = Incremento corriente anual

Cuadro 23. Predicción del rendimiento de arripin para tres índices de sitio en América Central.

| ===== | | | | | | | | | |
|--------------------------------|-------------------|-------------|------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------|----------------|----------------|----------------|
| IS = 12 m NI = 2500 arboles/ha | | | | | | | | | |
| edad (años) | N (#) (arb/ha) | dap (cm) | ALT (m) | G (m ² /ha) | VOL (m ³ /ha) | VOL (**) (m estéreos) | PSL (tm/ha) | IMA (tm/ha) | ICA (tm/ha) |
| ----- | | | | | | | | | |
| 1 | 2183 | 2.6 | 2.0 | 1.2 | 2.29 | 3.66 | 1.49 | 1.49 | 1.49 |
| 2 | 2183 | 5.2 | 5.3 | 4.6 | 18.57 | 29.71 | 13.50 | 6.75 | 12.01 |
| 3 | 2183 | 6.8 | 7.3 | 7.8 | 38.92 | 62.27 | 29.51 | 9.84 | 16.01 |
| 4 | 2183 | 7.6 | 8.5 | 9.9 | 55.15 | 88.24 | 42.59 | 10.65 | 13.08 |
| 5 | 2183 | 8.0 | 9.4 | 11.0 | 66.53 | 106.45 | 51.80 | 10.36 | 9.21 |
| ===== | | | | | | | | | |
| IS = 9 m NI = 2500 arboles/ha | | | | | | | | | |
| edad (años) | N (#) (arb/ha) | dap (cm) | ALT (m) | G (m ² /ha) | VOL (m ³ /ha) | VOL (**) (m estéreos) | PSL (tm/ha) | IMA (tm/ha) | ICA (tm/ha) |
| ----- | | | | | | | | | |
| 1 | 2183 | 1.9 | 1.3 | 0.7 | 0.93 | 1.49 | 0.58 | 0.58 | 0.58 |
| 2 | 2183 | 3.9 | 3.4 | 2.6 | 7.51 | 12.02 | 5.22 | 2.61 | 4.64 |
| 3 | 2183 | 5.1 | 4.7 | 4.4 | 15.73 | 25.17 | 11.41 | 3.80 | 6.19 |
| 4 | 2183 | 5.7 | 5.5 | 5.6 | 22.29 | 35.66 | 16.46 | 4.12 | 5.05 |
| 5 | 2183 | 6.0 | 6.1 | 6.2 | 26.89 | 43.02 | 20.02 | 4.00 | 3.56 |
| ===== | | | | | | | | | |
| IS = 6 m NI = 2500 arboles/ha | | | | | | | | | |
| edad (años) | N (#) (arb/ha) | dap (cm) | ALT (m) | G (m ² /ha) | VOL (m ³ /ha) | VOL (**) (m estéreos) | PSL (tm/ha) | IMA (tm/ha) | ICA (tm/ha) |
| ----- | | | | | | | | | |
| 1 | 2183 | 1.3 | 0.7 | 0.3 | 0.26 | 0.42 | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| 2 | 2183 | 2.6 | 1.9 | 1.2 | 2.09 | 3.34 | 1.37 | 0.69 | 1.22 |
| 3 | 2183 | 3.4 | 2.6 | 2.0 | 4.39 | 7.02 | 2.99 | 1.00 | 1.62 |
| 4 | 2183 | 3.8 | 3.0 | 2.5 | 6.22 | 9.95 | 4.31 | 1.08 | 1.32 |
| 5 | 2183 | 4.0 | 3.3 | 2.8 | 7.50 | 12.00 | 5.24 | 1.05 | 0.93 |
| ===== | | | | | | | | | |

(*) 87,3% de sobrevivencia

dap = diámetro a la altura del pecho

ALT= altura total

G= área basal

VOL= volumen total con corteza

VOL (**)= m³ de madera apilada, incluyendo los espacios aéreos.

1 m³ sólido = 1.6 m estéreos (Martínez, 1986a)

PSL= peso seco de leña

IMA = incremento medio anual

ICA = incremento corriente anual

incrementos corrientes anuales en las mismas condiciones fueron 9,21, 3,56 y 0,93 tm/ha respectivamente (Cuadro 23).

En las Figuras 7, 8, 9, 10, 11, 12 y 13 se muestran las curvas de crecimiento de *Acacia mangium* en dap, altura media, los rendimientos en volumen y peso seco de leña y los incrementos medios anuales y corrientes anuales para tres índices de sitio (12, 9 y 6 m) y densidades de plantación de 2500 árboles/ha respectivamente. Debido a que las parcelas de mangium utilizadas tuvieron una edad bastante joven, en las figuras 11, 12 y 13 se observa que las curvas de los incrementos (medio anual y corriente anual) aún no se cruzan a los 4 años de edad; por lo que bajo las condiciones en que se desarrollaron las tablas de rendimiento el turno o una intervención silvícola (raleo) para la producción de madera o leña en tamaños pequeños debe hacerse a edades mayores a 4 años.

En las Figuras 14, 15, 16, 17, 18, 19 y 20 se muestran las curvas de crecimiento de *Caesalpinia velutina* en dap, altura media, los rendimientos en volumen y peso seco de leña y los incrementos medios anuales y corrientes anuales para tres índices de sitio (12, 9 y 6 m) y densidades de plantación de 2500 árboles/ha respectivamente.

Los incrementos graficados en las Figuras 18, 19 y 20 demuestran que, bajo las condiciones en que se elaboraron las tablas de rendimiento, el turno o una intervención silvícola (raleo) para la producción de madera o leña en tamaños pequeños es alrededor de los 5 años.

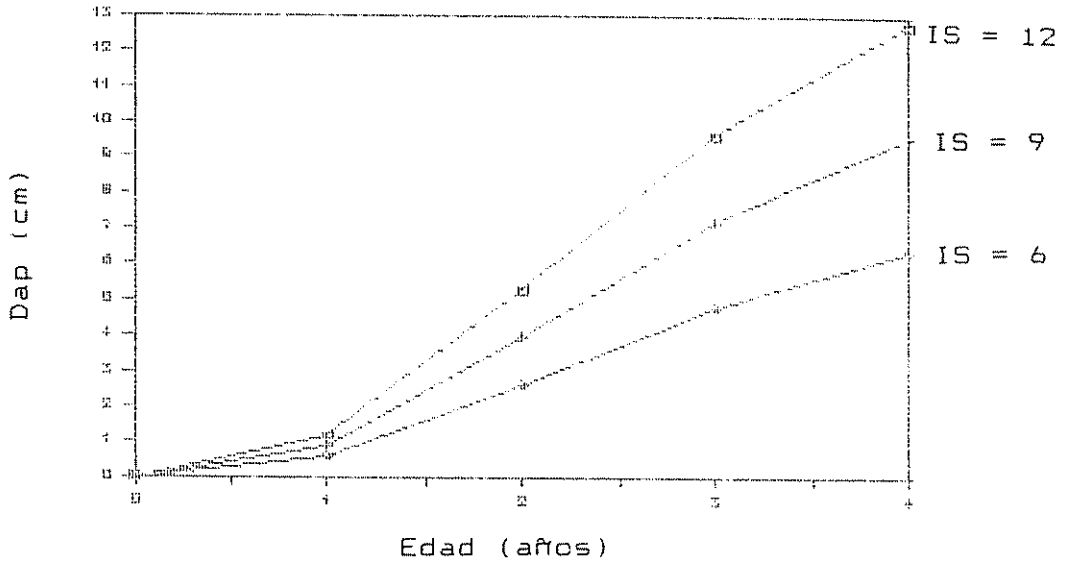


Figura 7. Gráfico del modelo en dap de curvas anamórficas para plantaciones de *Acacia mangium* en América Central.

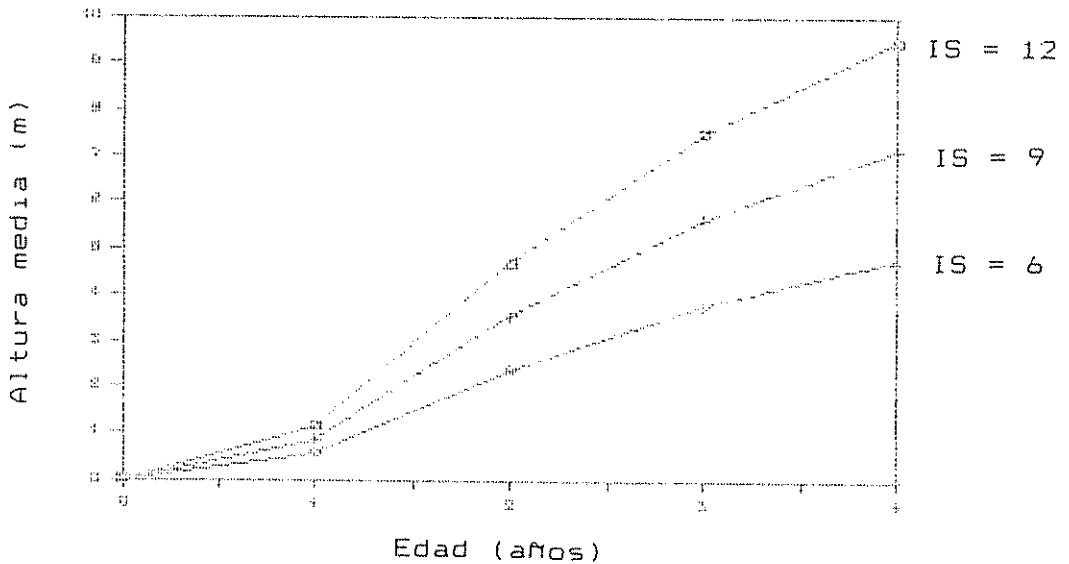


Figura 8. Gráfico del modelo en altura media para plantaciones de *Acacia mangium* a edad base de 48 meses en América Central.

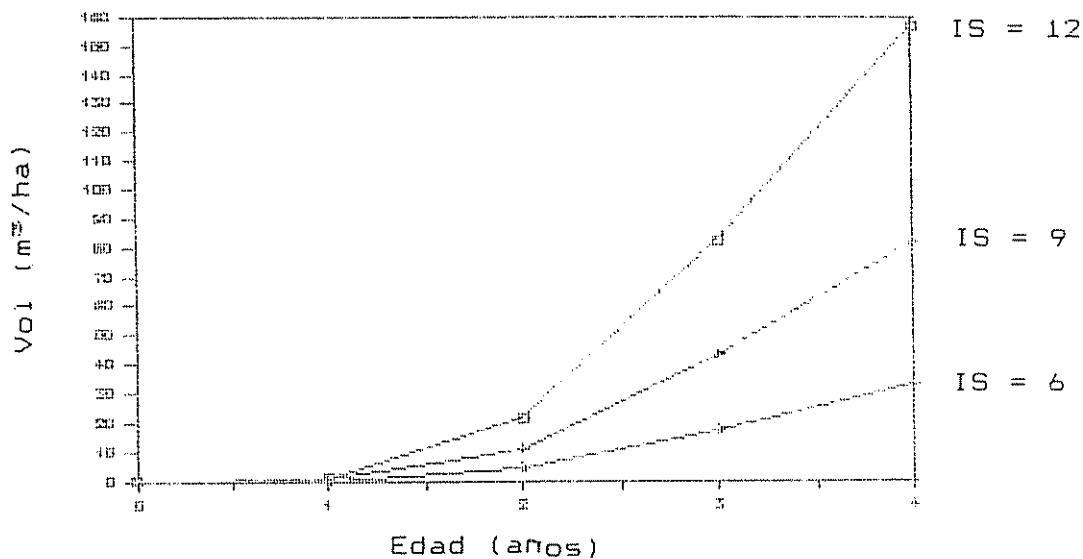


Figura 9. Producción en volúmen (con corteza) de *Acacia mangium* para los índices de sitio de 12, 9 y 6m y densidad de plantación de 2500 árboles/ha en América Central.

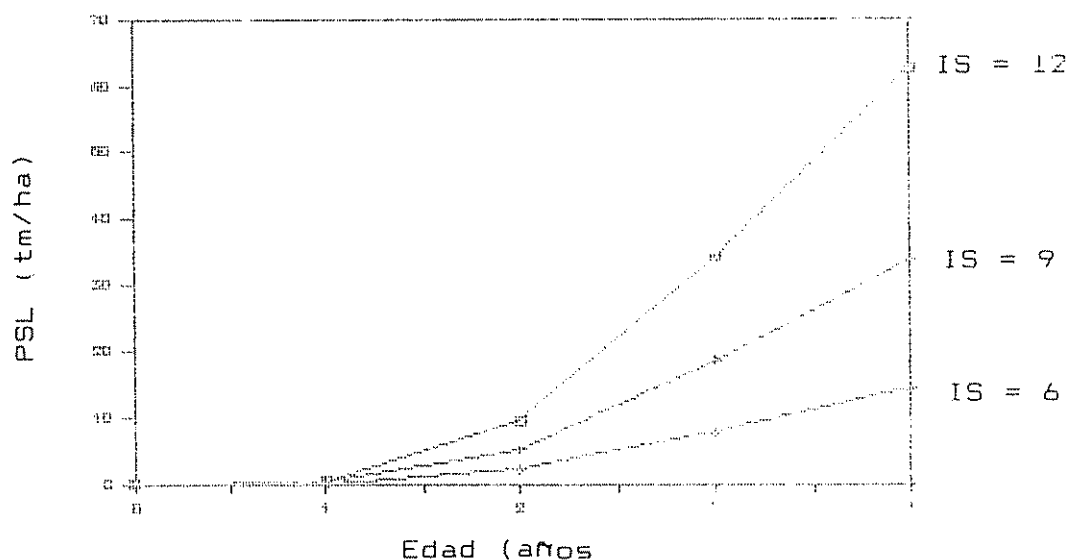


Figura 10. Producción en peso seco de leña (PSL) de *Acacia mangium* para los índices de sitio de 12, 9 y 6m y densidad de plantación de 2500 árboles/ha en América Central.

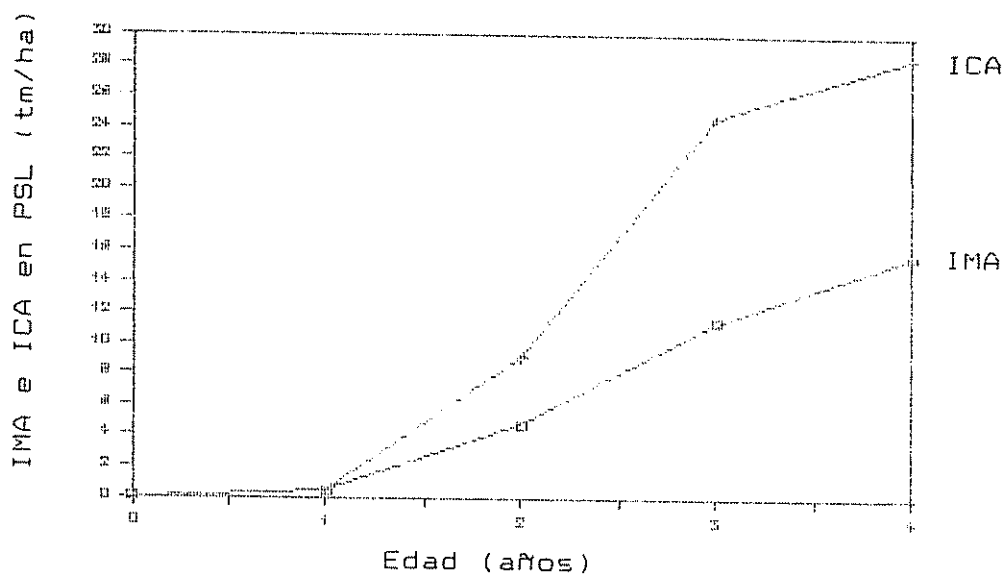


Figura 11. Incremento medio anual (IMA) e Incremento corriente anual (ICA) en peso seco de leña (PSL) de *Acacia mangium* para un índice de sitio de 12 m y densidad de plantación de 2500 árboles/ha en América Central.

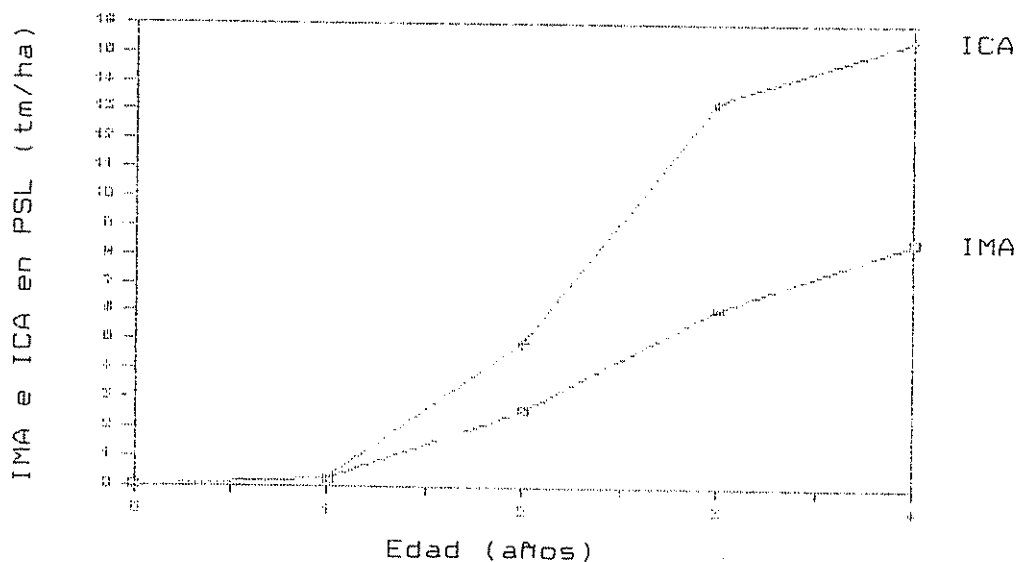


Figura 12. Incremento medio anual (IMA) e Incremento corriente anual (ICA) en peso seco de leña (PSL) de *Acacia mangium* para un índice de sitio de 9 m y densidad de plantación de 2500 árboles/ha en América Central.

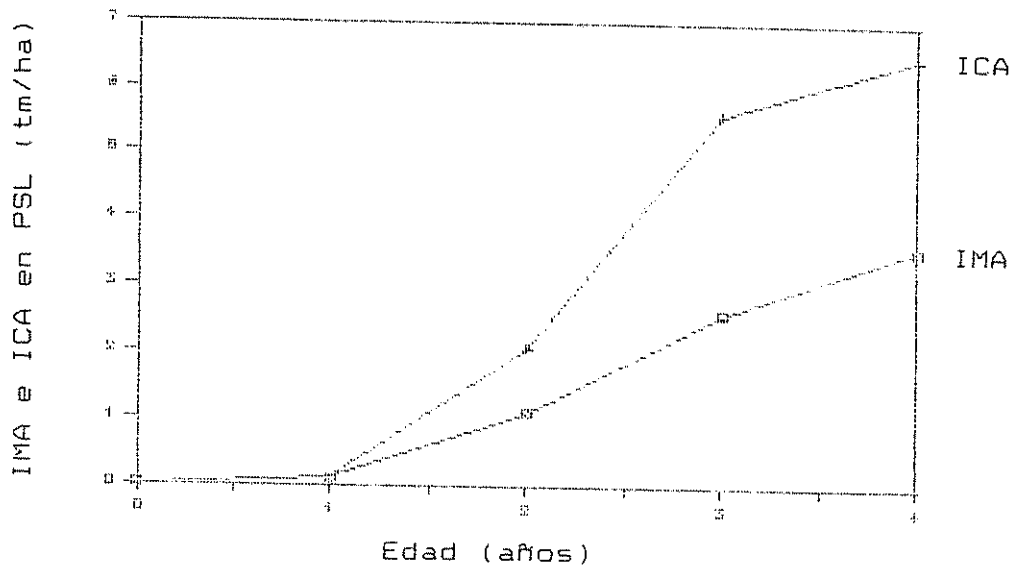


Figura 13. Incremento medio anual (IMA) e Incremento corriente anual (ICA) en peso seco de leña (PSL) de *Acacia mangium* para un índice de sitio de 6 m y densidad de plantación de 2500 árboles/ha en América Central.

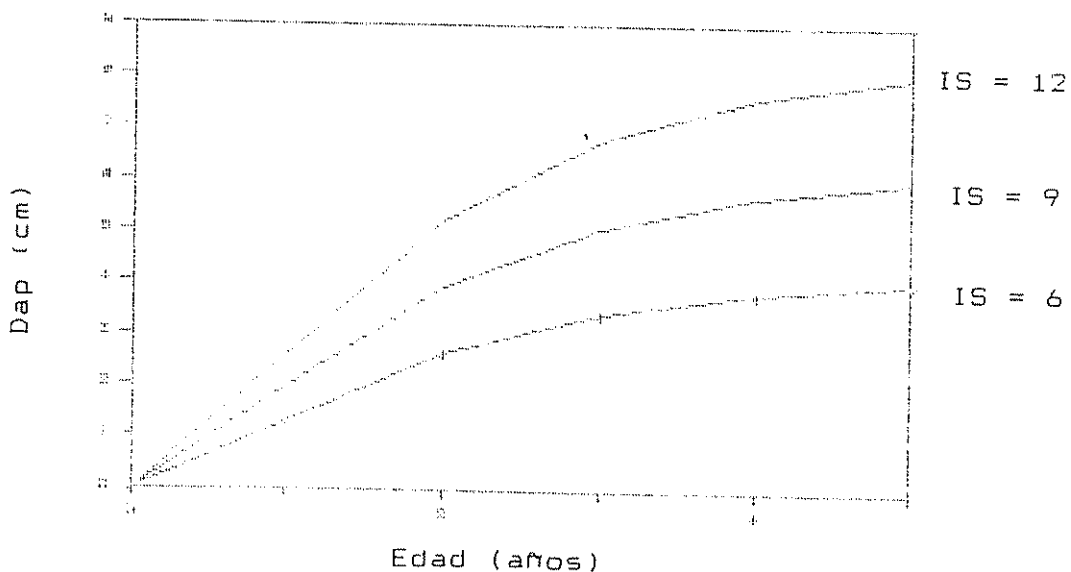


Figura 14. Gráfico del modelo en dap de curvas anamórficas para plantaciones de *Caesalpinia velutina* en América Central.

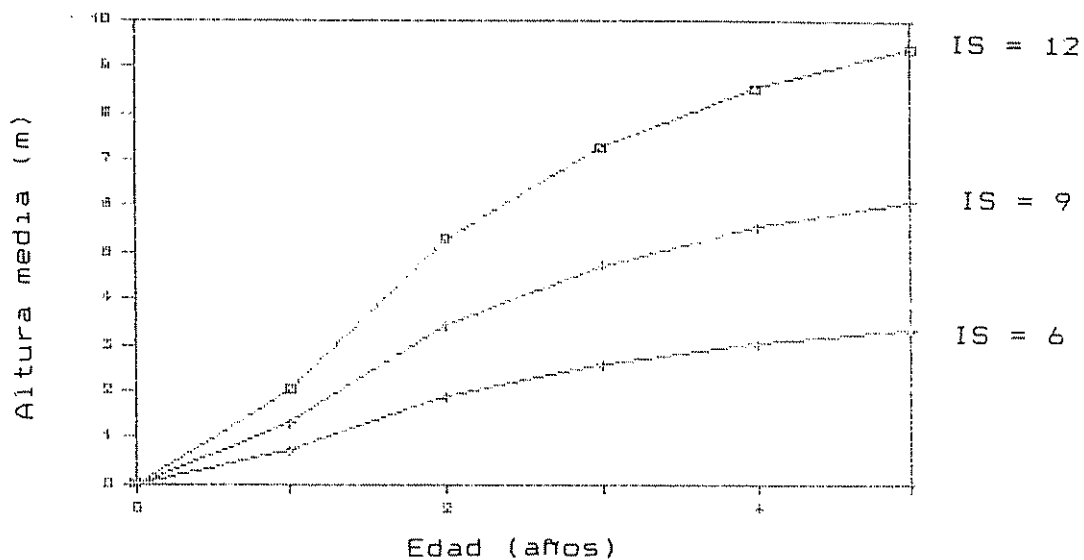


Figura 15. Grafico del modelo en altura media para plantaciones de *Caesalpinia velutina* a edad base de 60 meses en America Central.

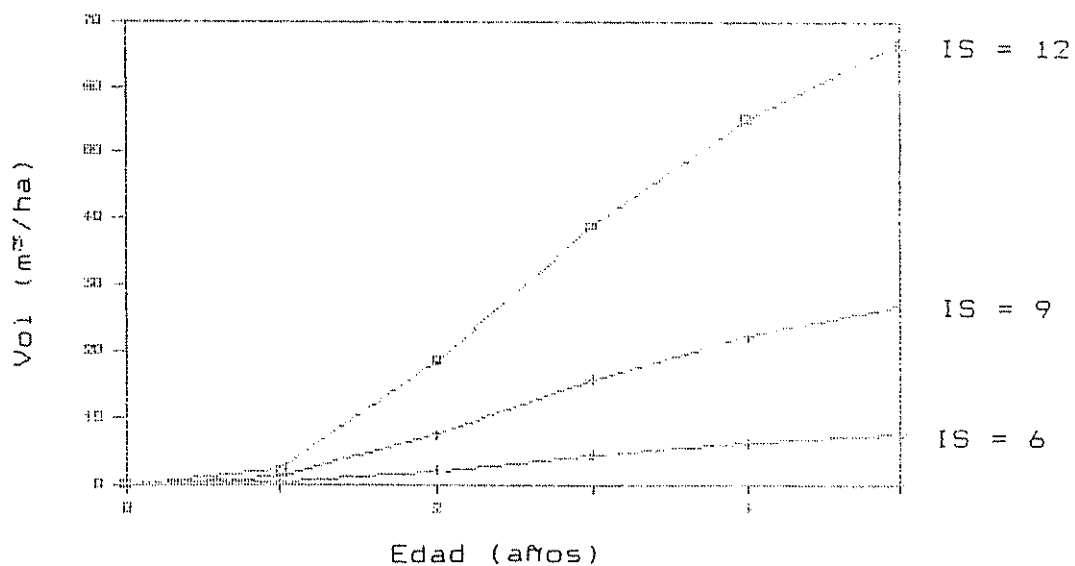


Figura 16. Producción en volúmen (con corteza) de *Caesalpinia velutina* para los índices de sitio de 12, 9 y 6m y densidad de plantación de 2500 árboles/ha en América Central.

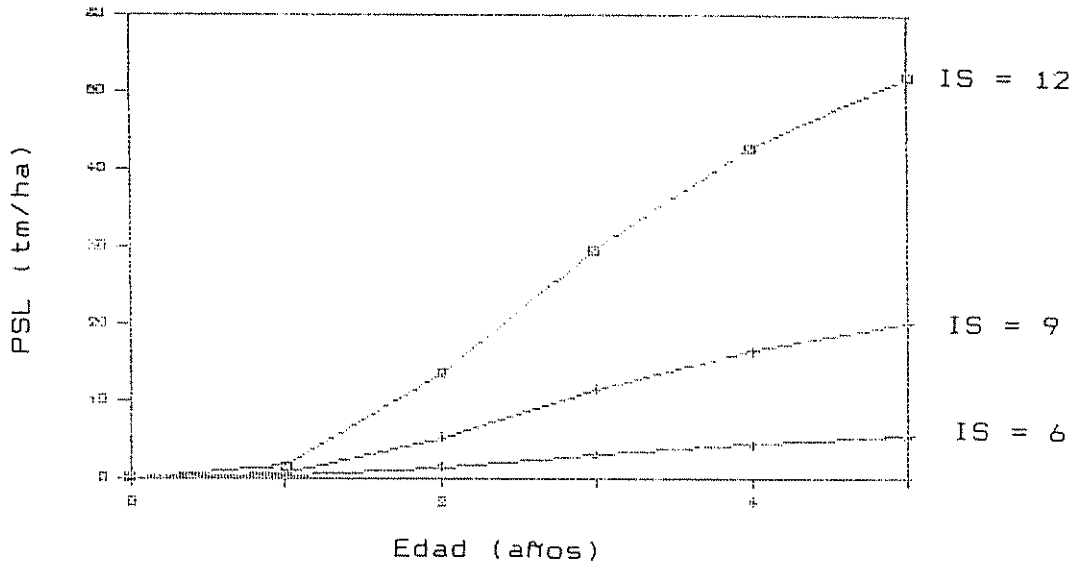


Figura 17. Producción en peso seco de leña (PSL) de *Caesalpinia velutina* para los índices de sitio de 12, 9 y 6 m y densidad de plantación de 2500 árboles/ha en América Central.

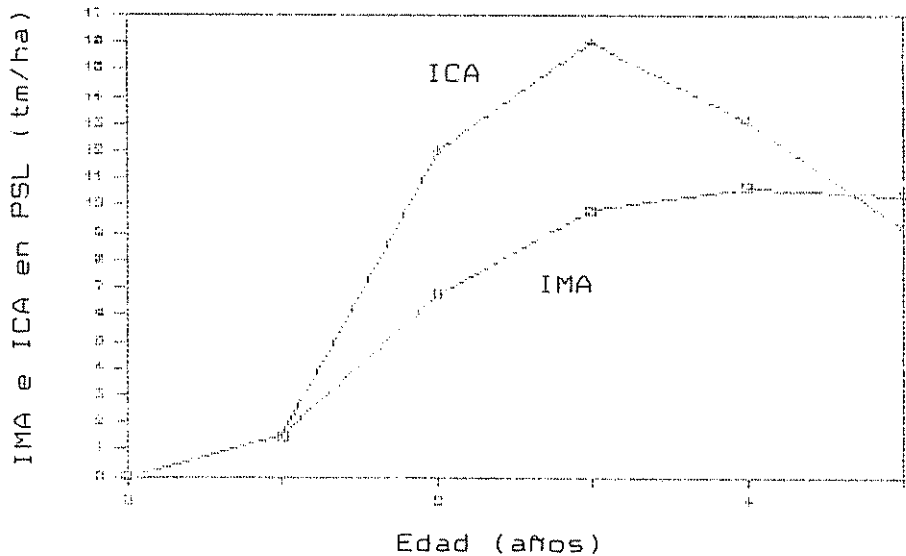


Figura 19. Incremento medio anual (IMA) e Incremento corriente anual (ICA) en peso seco de leña (PSL) de *Caesalpinia velutina* para un índice de sitio de 12 m y densidad de plantación de 2500 árboles/ha en América Central.

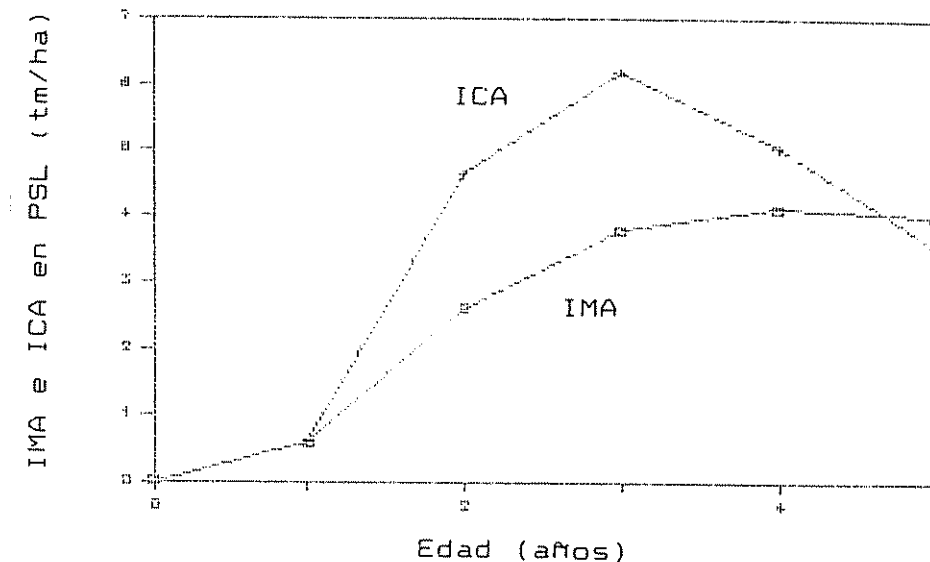


Figura 19. Incremento medio anual (IMA) e Incremento corriente anual (ICA) en peso seco de leña (PSL) de *Caesalpinia velutina* para un índice de sitio de 9 m y densidad de plantación de 2500 árboles/ha en América Central.

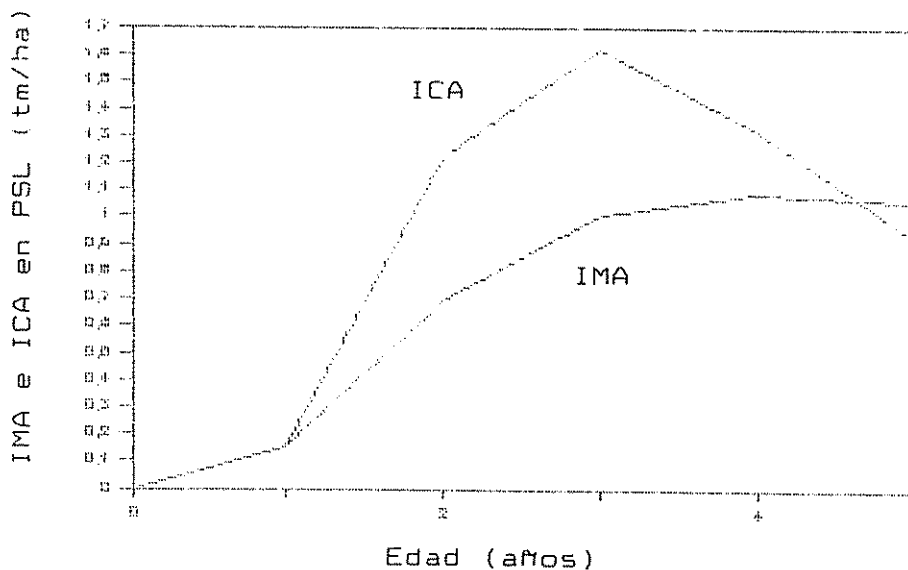


Figura 20. Incremento medio anual (IMA) e Incremento corriente anual (ICA) en peso seco de leña (PSL) de *Caesalpinia velutina* para un índice de sitio de 6 m y densidad de plantación de 2500 árboles/ha en América Central.

4.7 Verificación de los modelos

Los Cuadros 24 y 25 presentan los resultados de la verificación de los modelos de predicción del crecimiento y rendimiento para mangium y aripín respectivamente. La verificación se realizó con los datos utilizados para la construcción de los modelos. Las estadísticas en estas tablas corresponden a la diferencia entre el valor calculado (o predicho) con el modelo y el valor observado (real).

Los valores pequeños en los promedios de las diferencias demuestran que, en general, los modelos no subestiman ni sobreestiman los valores reales. Además, la precisión para estimar el crecimiento de parcelas individuales es adecuada, ya que los coeficientes de varicación (cv) de 13 a 18% son bastante bajos. La poca precisión encontrada en la estimación del peso seco de leña (cv de 40,1 y 47,4% para mangium y aripín respectivamente) es causada por el efecto complementario del desajuste para estimar los parámetros que se usan para calcular el peso (Nactual, dap y altura).

Cuadro 24. Resultados de la verificación de los modelos para estimar la altura, el dap y el peso seco de leña de mangium en América Central.
(Las estadísticas corresponden a las diferencias entre el valor calculado y el valor observado.)

| Estadística | Parámetros del crecimiento | | | |
|----------------------|----------------------------|------------|-------------|---------------|
| | Nactual (n/ha) | ALT (m) | dap (cm) | PSL (t/ha) |
| Tamaño de la muestra | 43 | 43 | 43 | 47 |
| Promedio | -10.9 | 0.0 | -0.2 | 7.8 |
| Desviación estandar | 375.85 | 0.45 | 1.20 | 8.4 |
| cv % (*) | 19.0 | 15.1 | 18.0 | 47.1 |

Cuadro 25. Resultados de la verificación de los modelos para estimar la altura, el dap y el peso seco de leña de arripin en América Central.
(Las estadísticas corresponden a las diferencias entre el valor calculado y el valor observado.)

| Estadística | Parámetros del crecimiento | | | |
|----------------------|----------------------------|------------|-------------|---------------|
| | Nactual (n/ha) | ALT (m) | dap (cm) | PSL (t/ha) |
| Tamaño de la muestra | 74 | 74 | 74 | 74 |
| Promedio | -9.3 | -0.3 | 0.0 | -1.3 |
| Desviación estandar | 287.28 | 0.86 | 0.92 | 9.47 |
| cv % (*) | 13.6 | 15.2 | 17.2 | 47.4 |

PSL = peso seco de leña

cv = coeficiente de variación = desviación estandar de 1 diferencia dividido por el valor medio

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con base en los resultados del comportamiento en plantación de mangium y arripin en América Central, se pueden establecer las siguientes conclusiones y recomendaciones:

Conclusiones

1- Se observó que en las primeras etapas de crecimiento ambas especies mostraron buena adaptación a las condiciones de América Central, y tuvieron buena aceptación por parte de los agricultores; por lo que se considera que estas especies pueden tener buen potencial para ser usadas en planes de reforestación.

2- Los modelos para predecir los crecimientos en altura y diámetro con base a edad y a los índices de sitio, resultaron satisfactorios para ambas especies, pues se obtuvo coeficientes de determinación altos en ambos casos ($R^2 > 80\%$ y $R^2 > 79\%$ para altura y dap respectivamente). Es necesario indicar que el uso de estos modelos está restringido al rango de edades, alturas, diámetros, índices de sitio y manejo que fueron utilizados para confeccionarlos.

3- Tanto mangium como arripin mostraron poca bifurcación en las parcelas analizadas (1,1 ejes/árbol en mangium y 1,28 ejes/árbol en arripin). Sin embargo es necesario indicar que esta situación puede deberse a las fuentes de semilla utilizadas.

4- Existe correlación (significativa con un nivel de error de 5%) entre los contenidos de potasio ($r = 0,80$), cobre ($r = 0,74$), aluminio ($r = 0,63$), zinc ($r = 0,52$), con el índice de sitio de mangium, por lo que la presencia de estos elementos en el suelo es favorable para el crecimiento de la especie.

5- La literatura reporta que mangium prefiere suelos ligeramente ácidos para desarrollar mejor, hecho que se confirmó al existir correlación (5%) entre el pH ($r = 0,50$) y el índice de sitio para esta especie.

6- Hubo correlación (5%) negativa ($r = -0,74$) entre el número de meses secos y el índice de sitio para mangium. El crecimiento de la especie se ve afectado al haber un número de meses secos por año (precipitación $<$ a 100 mm) igual o mayor a 6.

7- Aunque la correlación entre el índice de sitio y los factores de suelo no fue significativa en caso del aripín, no se puede afirmar en términos absolutos que dichos factores no estén afectando el crecimiento de la especie positiva o negativamente, por el hecho de que el análisis se realizó con muy pocas observaciones (27).

8- Los modelos para estimar la producción (volumen y biomasa) de ambas especies en función de los diámetros y las alturas tuvieron coeficientes de determinación altos en todos los casos ($R^2 >$ a 84%); sin embargo, las tablas de volumen y producción de biomasa de estas especies deben ser de uso

limitado a los rangos de diámetros , alturas y condiciones de sitio usados para su elaboración.

9- Se desconoce la variabilidad genética de mangium y aripín, y se considera que las variaciones mostradas por las especies en cuanto a crecimiento y rendimiento pueden deberse en parte a ella.

10- Debido a las características comunes de crecimiento para ambas especies, los modelos de predicción del crecimiento y rendimiento tuvieron el mismo patrón.

Dicho patrón consiste en una serie de ecuaciones matemáticas que estiman los diferentes parámetros del rodal, el cual ha sido incorporado dentro de una hoja electrónica para generar las tablas de rendimiento.

11- Las verificaciones de los modelos demostraron dispersiones altas en las diferencias entre el rendimiento en peso seco de leña calculado y observado para ambas especies, lo que se debe a la gran variedad de condiciones y tratamientos entre las parcelas analizadas y al efecto complementario de los errores al predecir la densidad actual, dap y la altura, así como el error en predecir el rendimiento.

Recomendaciones

1- Dado el buen potencial de ambas especies para usarse en planes de reforestación, es recomendable identificar las mejores parcelas de la región y convertirlas en rodales semilleros.

2- Se recomienda la continuación de las mediciones e instalación de parcelas permanentes a efecto de tener una mayor cantidad de sitios y mediciones que ayuden a mejorar la información y exactitud de los análisis de este estudio.

3- Se recomienda no realizar plantaciones de mangium en zonas con un número alto de meses secos (igual o mayor a 6), debido al poco rendimiento de la especie en esas condiciones.

4- Es recomendable realizar análisis foliares en plantaciones de ambas especies, a fin de ahondar sobre los requerimientos fisiológicos de éstas y poder aclarar muchas de las correlaciones encontradas en este estudio.

5- Debido al amplio rango de distribución de mangium, se recomienda efectuar ensayos de procedencias para determinar las mejores fuentes de semilla.

6- Debido a que los postes para construcciones rurales y varas para tutores constituyen una demanda fuerte en la región, se recomienda plantar las especies en bloques a espaciamientos que van de 2m x 2m a 3m x 3m, a efecto de hacer raleos a partir del segundo o tercer año; no obstante hay que establecer ensayos de espaciamientos para determinar el distanciamiento óptimo de plantación, de acuerdo con los objetivos de la plantación.

7- Se recomienda para futuros estudios incluir otros factores del sitio como compactación, drenaje, profundidad del suelo, etc., al correlacionar los índices de sitio con los factores del sitio.

6. BIBLIOGRAFIA

- ALDER, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento. Vol 2. Predicción del rendimiento. FAO. Forestry Paper no. 22/2. 195 p.
- BOLAND, D.J.; BROOKER, M.I.H.; CHIPPENDALE, G.M.; HALL, N.; HYLAND, B.P.M.; JOHNSTON, R.D.; KLEINIG, D.A.; URNER, J.D. 1985. Forest trees of Australia. 4 ed. Australia, CSIRO. 687 p.
- BOONTAWEE, B.; KUWALAIRAT, P. 1987. Introduction of *Acacia mangium* to Thailand. In Australian acacias in developing countries; proceedings of an international workshop, Gympie, Queensland, 1986. Ed. J.W. Turnbull. Canberra, Australia, ACIAR. p. 149-150. (ACIAR Proceedings no. 16)
- BRUCE, D.; WENSEL, L.C. 1988. Modelling forest growth: approaches, definitions and problems. In Forest growth modelling and prediction; proceedings of the IUFRO conference, Minneapolis, Minnesota, 1987. Ed. A.R. Ek; S.R. Shifley; T.E. Burk. U.S. Department of Agriculture. North Central Forest, Experimentation. General technical report NC-120. V.1, p. 1-8.
- BURLEY, J.; WOOD, P.J. 1979. Manual sobre investigaciones de especies y procedencias con referencia especial a los trópicos. Trad. del inglés por Jacqueline M. Benson. Commonwealth Forestry Institute. Tropical Forestry Papers no. 10 y 10A. 297 p.
- CELLIER, K.M. 1979. Single tree plots in forest research. Australian Forest Research (Australia) 9(2):77-89.
- CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEMANZA. DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES. 1986. Silvicultura de especies promisorias para producción de leña en América Central: resultados de cinco años de investigación. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico no. 86. 228 p.
- CLUTTER, J.L. 1963. Compatible growth and yield models for loblolly pine. Forestry Science (EE.UU.) 9:354-371.
- CLUTTER, J.L.; FORTSON, J.C.; PIENAAR, L.V.; BRISTER, G.H.; BAILEY, R.L. 1983. Timber management: a quantitative approach. New York, J. Wiley. 333 p.

- COSTA RICA. DIRECCION GENERAL FORESTAL; CATIE; ROCAP. 1986. Informe silvicultural de especies para leña en Costa Rica. San José, C.R., Proyecto Leña y Fuentes Alternas de Energía DGF-CATIE-ROCAP. 109 p.
- COVELL, R.; McCLURKIN, D. 1964 Site index of loblolly pine on Ruston soils in the southern Coastal Plain. Journal of Forestry (EE.UU.) 65:263-264.
- CRAWFORD, D.F.; HARTNEY, V.J. 1987. Micropropagation of *Acacia mangium* and *Acacia stenophylla*. In Australian acacias in developing countries; proceedings of an international workshop, Gympie, Queensland, 1986. Ed. J.W. Turnbull. Canberra, Australia, ACIAR. p. 64-65. (ACIAR Proceedings no. 16)
- DETLEFSEN R., G. 1984. Comportamiento inicial de tres especies forestales para producción de leña con y sin asocio de maíz (*Zea mays* L.) en La Máquina, Suchitepéquez, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 104 p.
- DIRECCION GENERAL FORESTAL. CATIE. 1983. Informe Técnico Anual 1983. Proyecto Leña, DGF/CATIE, Costa Rica. 181 p
- ENDA CARIBE. s.f. *Acacia mangium*: un árbol maderable de crecimiento rápido. Santo Domingo, República Dominicana. s.p. (Agroforestería y Conservación. estudios y experiencias)
- FAO.CATIE. 1987. Plan de acción forestal tropical. Subregión Centroamérica y Panamá. CATIE, Turrialba (C.R.). 174 p.
- GRUPO DE TECNOLOGIA APROPIADA. PANAMA. 1984. Arboles para leña y madera combinados con cultivos anuales. Panamá. 24 p.
- HEPP, T.E. 1987. The shortcomings of models. The Compiler (EE.UU.) 5(4):9-12.
- HUGHELL, D. 1989. Curvas de índice de sitio de *Gliricidia sepium*. Informe de trabajo. CATIE, Turrialba, C.R. 13 p.
- HUGHES, C.E.; STYLES, B.T. 1984. Exploration and seed collection of multiple-purpose dry zones trees in Central América. International Tree Crops Journal (G.B.) 3:1-31.

- JIMENEZ, V.; PICADO, W. 1987. Algunas experiencias con *Acacia mangium* en Costa Rica. *Silvoenergía (C.R.)*. No. 22:s.p.
- KESSEY, B.S. 1987. Growth of Australian acacias in Tanzania. In Australian acacias in developing countries; proceedings of an international workshop, Gympie, Queensland, 1986. Ed. J.W. Turnbull. Canberra, Australia, ACIAR. p. 123-125. (ACIAR Proceedings no. 16)
- LEONARD, H.J. 1986. Recursos naturales y desarrollo económico en América Central. Un perfil ambiental regional. Traducción del inglés por Gerardo Budowski y Tirso Maldonado. CATIE, San José, C.R. 267 p.
- LIANG, S.B. 1987. Research on *Acacia mangium* in Sabah: a review. In Australian acacias in developing countries; proceedings of an international workshop, Gympie, Queensland, 1986. Ed. J.W. Turnbull. Canberra, Australia, ACIAR. p. 164-166. (ACIAR Proceedings no. 16)
- LITTLE, E.L. s.f. Common fuelwood crops: a handbook for their identification. Morgantown, West Virginia, Communi-Tech Associates. 354 p.
- LOGAN, A.F. 1987. Australian acacias for pulpwood. In Australian acacias in developing countries; proceedings of an international workshop, Gympie, Queensland, 1986. Ed. J.W. Turnbull. Canberra, Australia, ACIAR. p. 89-94. (ACIAR Proceedings no. 16)
- MARTINEZ, H.A. 1982. Estudio sobre leña en hogares, pequeña industria y distribuidores de Guatemala. CATIE. Informe Técnico no. 27. 64 p. (Proyecto CATIE/ROCAP no. 596-0089)
- _____.; ZANOTTI, R. 1982. Informe anual Proyecto Leña. Guatemala, INAFOR/CATIE. 72 p.
- _____. 1985. Crecimiento inicial de *Caesalpinia velutina* en zonas secas de Guatemala. *Silvoenergía (C.R.)*. No. 7:5 p.
- _____. 1986. Silvicultura de algunas especies de árboles de uso múltiple. *El Chasqui (C.R.)* no. 12:4-11.
- _____. 1986 (a). Producción de leña en la zona seca de Guatemala. In Técnicas de producción de leña en fincas pequeñas y recuperación de sitios degradados por medio de la silvicultura intensiva, Turrialba (C.R.), 1985. Ed. Rodolfo Salazar. Turrialba (C.R.). pp. 77-89.

- MIDGLEY, S.J.; VIVEKANANDAN, K. 1987. Australian acacias in Sri Lanka. In Australian acacias in developing countries; proceedings of an international workshop, Gympie, Queensland, 1986. Ed. J.W. Turnbull. Canberra, Australia, ACIAR. p. 132-135. (ACIAR Proceedings no. 16)
- MORROBEL DIAZ, J.C.; 1989. Comportamiento de *Acacia mangium* Willd en diferentes sistemas de plantación manejados por pequeños agricultores en Zambrana, Cotuí, República Dominicana. Tesis M.Sc. CATIE, Turrialba, C.R. 84 p.
- MUNRO, D.D. 1984. Growth modelling for fast-growing plantations: a review. In Symposium on site and productivity of fast growing plantations (1984, Pretoria, South Africa). Proceedings. Pretoria, South African Forest Research Institute. v.1, p. 333-344.
- MUNOZ CALVO, R. 1984. Ensayos de siembra directa y tratamientos pregerminativos para siete especies forestales recomendadas para leña. Tesis Ing. For. Cartago, C.R., Instituto Tecnológico de Costa Rica. 155 p.
- NAVARRO P., C. 1987. Evaluación del crecimiento y rendimiento de *Bombacopsis quinatum* (Jacq) Dugand en 14 sitios en Costa Rica. Indices de sitio y algunos aspectos financieros de la especie. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., UCR/CATIE. 136 p.
- POOLE, B.R. 1987. Nursery and establishment practices for *Acacia mangium* in Sabah. In Australian acacias in developing countries; proceedings of an international workshop, Gympie, Queensland, 1986.. Ed. J.W. Turnbull. Canberra, Australia, ACIAR. p. 170-172. (ACIAR proceedings no. 16)
- SALAZAR, R. 1988. Genetic variation of 16 provenances of *Acacia mangium* at nursery level in Turrialba, Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba (C.R.). 17 p.
- SCHUMACHER, F.X. 1939. A new growth curve and its application to timber yield studies. Journal of Forestry (EE.UU.) 37:819-820.
- SEDGLEY, M. 1987. Reproductive biology of acacias. In Australian acacias in developing countries; proceedings of an international workshop, Gympie, Queensland, 1986. Ed. J.W. Turnbull. Canberra, Australia, ACIAR. p. 54-56. (ACIAR proceedings no. 16)

- SILVA SALAZAR, R. 1971. Metodología para la investigación en parcelas permanentes de aclareo y rendimiento en plantaciones forestales. Boletín del Instituto Forestal Latinoamericano de Investigación y Capacitación (Ven.) no.38:59-89.
- SKELTON, D.J. 1987. Distribution and ecology of Papua New Guinea acacias. In Australian acacias in developing countries; proceedings of an international workshop, Gympie, Queensland, 1986. Ed. J.W. Turnbull. Canberra, Australia, ACIAR. p. 64-65. (ACIAR Proceedings no. 16)
- STANDLEY, P.C.; STEYERMARK, J.A. 1946. Flora of Guatemala. Chicago, Chicago Natural History Museum. p. 103-104. (Fieldiana Botany, v. 24, part 5)
- SULAIMAN, R. 1987. Survival rates of direct seedling and containerised planting of *Acacia mangium*. In Australian acacias in developing countries; proceedings of an international workshop, Gympie, Queensland, 1986. Ed. J.W. Turnbull. Canberra, Australia, ACIAR. p. 173-175. (ACIAR Proceedings no. 16)
- THOMAS, K.I.; KENT, G.A. 1987. Growth of *Acacia mangium* throughout Sabah. In Australian acacias in developing countries; proceedings of an international workshop, Gympie, Queensland, 1986. Ed. J.W. Turnbull. Canberra, Australia, ACIAR. p. 160-163. (ACIAR Proceedings no. 16)
- UDARBE M.P.; HEPBURN, A.J. 1987. Development of *Acacia mangium* as a plantation species in Sabah. In Australian acacias in developing countries; proceedings of an international workshop, Gympie, Queensland, 1986. Ed. J.W. Turnbull. Canberra, Australia, ACIAR. p. 157-159. (ACIAR Proceedings no. 16)
- US. NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE. 1983. Innovation in tropical reforestation. Mangium and other fast-growing acacias for the humid tropics. Washington, D. C., National Academy Press. 62 p.
- _____. 1984. Especies para leña: arbustos y árboles para la producción de energía. Trad. de la edición inglesa por Vera Arguello de Fernández y TRADINSA. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 344 p.
- US. SOCIETY OF AMERICAN FORESTERS. 1971. Terminology of forest science, technology practice and products: english-language version. Ed. F.C. Ford-Robertson. Washington, D.C. 349 p. (The multilingual forestry terminology series, no. 1)

- VINCENT, L.W. 1970. Plantaciones de *Pinus caribaea* var. hondurensis en Surinam con referencia especial a la calidad de sitio. Revista Forestal Venezolana (Ven.) 13(19/20):27-59.
- VOORHOEVE, A.G.; SCHULZ, J.P. 1968. La necesidad de parcelas permanentes de clareo y rendimiento en plantaciones forestales. Boletín del Instituto Forestal Latinoamericano de Investigación y Capacitación (Ven) no. 27/28:3-17.
- WOTOWIEC, P.; MARTINEZ H., H.A. 1984. Estudios silviculturales con especies para producción de leña en la zona semiárida de Guatemala, Informe Preliminar. Guatemala, INAFOR-CATIE. 86 p.
- WRIGHT, J.W. 1962. Genetics of forest tree improvement. FAO. Forestry and Forest Products Studies no. 16. 399 p.
- YAP, S.K. 1987. Introduction of *Acacia* species to Peninsular Malayasia. In Australian acacias in developing countries; proceedings of an international workshop, Gympie, Queensland, 1986. Ed. J.W. Turnbull. Camberra, Australia, ACIAR. p. 151-153. (ACIAR Proceedings no. 16)
- ZANOTTI, R. 1983. Ensayo de seis especies leguminosas forestales para producción de leña. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 72 p.
- ZHIGANG, P.; MINQUAN, Y. 1987. Australian acacias in The People's Republic of China. In Australian acacias in developing countries; proceedings of an international workshop, Gympie, Queensland, 1986. Ed. J.W. Turnbull. Camberra, Australia, ACIAR. p. 136-138. (ACIAR Proceedings no. 16)

7. ANEXOS

Anexo 1. Formularios empleados en la recolección de la información de campo.

UNICA MEDICION DE ARBOLES INDIVIDUALES

CATIE Form-11
D.R.N.R. Rev. Setiembre 83

País Sitio

Experimento

Especie/variedad

Lote Repetición Parcela o tratamiento

Fecha de plantación (día, mes, año) Área de parcela (m²)

Número de árboles originales en la parcela de evaluación

Fecha de medición (día, mes, año) Masa medida

Nombre y firma del anotador:

| Árbol No | DAP (mm) | Altura (dm) | Forma del fuste y defectos ^{1/} | | | | | | | | | | | | Árbol No | DAP (mm) | Altura (dm) | Forma del fuste y defectos ^{1/} | | | | | | | | | | | |
|----------|----------|-------------|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----------|----------|-------------|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | A | B | C | | | | D | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | A | B |
| 1 | | | | | | | | | | | | | | 26 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | 27 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | | | | 28 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | | | | 29 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | | | | 30 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | | | 31 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | 32 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | | | | 33 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | | | | 34 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | | | | 35 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | | | | | | | 36 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | | | | | | | 37 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | | | | | | | | 38 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | | | | | | | | 39 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | | | | | | | | | | | | | | 40 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | | | | | | | | 41 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | | | | | | | | | | | | | | 42 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | | | | | | | 43 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | | | | | | | | | | | | | | 44 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | | | | | | | | | | | | | | 45 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 21 | | | | | | | | | | | | | | 46 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22 | | | | | | | | | | | | | | 47 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 23 | | | | | | | | | | | | | | 48 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 24 | | | | | | | | | | | | | | 49 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 25 | | | | | | | | | | | | | | 50 | | | | | | | | | | | | | | | |

^{1/}: 1 cola de zorro; 2 poco sinuoso; 3 muy sinuoso; 4 torcedura basal;
5 bifurcado; 6 inclinado; 7 enfermo; 8 con plagas; 9 copa asimétrica;
A tallo quebrado con recuperación; B tallo quebrado sin recuperación;
C sin copa; D replantación.
- Anote los códigos en sus propias columnas.

- Ver las instrucciones al dorso del formulario.

Anexo 2. Datos de análisis de suelo de ensayos de mangium en América Central. Profundidad 0-40 cm.

| Expto | Sitio | Indice Sitio (%) | Arena (%) | Limo (%) | Arcilla (%) | Ph | RI | Ca | Mg | K |
|----------|----------|------------------|-----------|----------|-------------|------|------|-------|-------|------|
| PA019L05 | 303 | 11.59 | 22.70 | 46.30 | 31.00 | 6.30 | 0.15 | 23.33 | 13.30 | 0.17 |
| PA024L01 | 404 | 8.31 | 18.70 | 36.60 | 44.70 | 5.87 | 0.40 | 2.33 | 0.73 | 0.04 |
| PA025L01 | 405 | 9.93 | 49.00 | 20.00 | 31.00 | 5.80 | 0.18 | 5.50 | 2.45 | 0.18 |
| CRO02W01 | 1JORON-1 | 10.14 | 31.00 | 27.00 | 42.00 | 5.50 | 0.22 | 1.33 | 0.30 | 0.10 |
| CRO02W02 | 1JORON-2 | 10.47 | 31.00 | 27.00 | 42.00 | 5.50 | 0.22 | 1.33 | 0.30 | 0.10 |
| CRO02W03 | 1JORON-3 | 12.22 | 31.00 | 27.00 | 42.00 | 5.50 | 0.22 | 1.33 | 0.30 | 0.10 |
| CRO02W04 | 2JORON-4 | 9.80 | 31.00 | 27.00 | 42.00 | 5.50 | 0.22 | 1.33 | 0.30 | 0.10 |
| CRO02W05 | 2JORON-5 | 7.66 | 31.00 | 27.00 | 42.00 | 5.50 | 0.22 | 1.33 | 0.30 | 0.10 |
| CRO02W06 | 2JORON-6 | 8.40 | 31.00 | 27.00 | 42.00 | 5.50 | 0.22 | 1.33 | 0.30 | 0.10 |
| CRO02W07 | 3JORON-7 | 8.83 | 31.00 | 27.00 | 42.00 | 5.50 | 0.22 | 1.33 | 0.30 | 0.10 |
| CRO02W08 | 3JORON-8 | 8.94 | 31.00 | 27.00 | 42.00 | 5.50 | 0.22 | 1.33 | 0.30 | 0.10 |
| CRO02W09 | 3JORON-9 | 10.14 | 31.00 | 27.00 | 42.00 | 5.50 | 0.22 | 1.33 | 0.30 | 0.10 |
| CRO02W10 | OJORON10 | 12.50 | 31.00 | 27.00 | 42.00 | 5.50 | 0.22 | 1.33 | 0.30 | 0.10 |
| CRO01W02 | COOFRU-2 | 14.24 | 30.00 | 37.00 | 33.00 | 5.80 | 0.18 | 2.75 | 0.80 | 0.23 |
| CRO12W01 | COOPEL-1 | 19.75 | 28.50 | 24.50 | 47.00 | 5.90 | 0.97 | 1.67 | 0.67 | 0.23 |
| CRO07W01 | COPCANE | 16.10 | 19.00 | 34.00 | 47.00 | 6.30 | 1.15 | 2.75 | 1.35 | 0.23 |
| CRO13W01 | DARIO-1 | 18.35 | 61.60 | 31.70 | 6.70 | 6.50 | 0.18 | 5.17 | 1.10 | 0.35 |
| CRO08W01 | LA LINEA | 18.69 | 24.30 | 16.40 | 59.30 | 5.50 | 1.67 | 2.00 | 0.83 | 0.34 |
| CRO09W01 | PALMIRAI | 13.78 | 37.00 | 35.00 | 28.00 | 6.30 | 0.20 | 4.75 | 0.75 | 0.08 |
| CRO09W02 | PALMIRAI | 13.30 | 37.00 | 35.00 | 28.00 | 6.30 | 0.20 | 4.75 | 0.75 | 0.08 |

| Expto | Sitio | P | Zn | Mn | Cu | Altitud (m) | Temp (°C) | Precip MSecas (mm) |
|----------|----------|------|------|-------|-------|-------------|-----------|--------------------|
| PA019L05 | 303 | 4.70 | 1.50 | 4.30 | 5.00 | 60 | 27.20 | 1382 |
| PA024L01 | 404 | 2.30 | 1.10 | 22.00 | 2.00 | 110 | 26.60 | 2457 |
| PA025L01 | 405 | 7.50 | 2.40 | 15.00 | 4.00 | 30 | 27.50 | 666 |
| CRO02W01 | 1JORON-1 | 6.00 | 0.80 | 1.00 | 3.70 | 680 | 22.50 | 3450 |
| CRO02W02 | 1JORON-2 | 6.00 | 0.80 | 1.00 | 3.70 | 680 | 22.50 | 3450 |
| CRO02W03 | 1JORON-3 | 6.00 | 0.80 | 1.00 | 3.70 | 680 | 22.50 | 3450 |
| CRO02W04 | 2JORON-4 | 6.00 | 0.80 | 1.00 | 3.70 | 680 | 22.50 | 3450 |
| CRO02W05 | 2JORON-5 | 6.00 | 0.80 | 1.00 | 3.70 | 680 | 22.50 | 3450 |
| CRO02W06 | 2JORON-6 | 6.00 | 0.80 | 1.00 | 3.70 | 680 | 22.50 | 3450 |
| CRO02W07 | 3JORON-7 | 6.00 | 0.80 | 1.00 | 3.70 | 680 | 22.50 | 3450 |
| CRO02W08 | 3JORON-8 | 6.00 | 0.80 | 1.00 | 3.70 | 680 | 22.50 | 3450 |
| CRO02W09 | 3JORON-9 | 6.00 | 0.80 | 1.00 | 3.70 | 680 | 22.50 | 3450 |
| CRO02W10 | OJORON10 | 6.00 | 0.80 | 1.00 | 3.70 | 680 | 22.50 | 3450 |
| CRO01W02 | COOFRU-2 | 1.00 | 1.70 | 16.50 | 7.50 | 220 | 26.50 | 3035 |
| CRO12W01 | COOPEL-1 | 3.70 | 1.80 | 9.00 | 17.00 | 240 | 22.50 | 4307 |
| CRO07W01 | COPCANE | 7.00 | 1.50 | 20.50 | 15.00 | 980 | 21.50 | 2225 |
| CRO13W01 | DARIO-1 | 3.00 | 0.70 | 2.00 | 3.00 | 225 | 22.50 | 4307 |
| CRO08W01 | LA LINEA | 3.00 | 2.60 | 5.70 | 15.33 | 225 | 22.50 | 4307 |
| CRO09W01 | PALMIRAI | 6.00 | 1.80 | 1.50 | 4.00 | 720 | 22.00 | 2441 |
| CRO09W02 | PALMIRAI | 6.00 | 1.80 | 1.50 | 4.00 | 720 | 22.00 | 2441 |

Anexo 3. Análisis de suelo de ensayos de eripin en América Central. Profundidad 0-40 cm.

| Expto | Sitio | Indice Sitio | Arena (%) | Limo (%) | Arcilla (%) | Ph | Al | Ca e | Mg e | K e | P |
|----------|-------|--------------|-----------|----------|-------------|------|------|-------|-------|------|-------|
| CR117L01 | 472 | 9.50 | 18.00 | 38.00 | 44.00 | 6.20 | 0.18 | 18.25 | 4.90 | 0.10 | 5.50 |
| GT011L01 | 405 | 12.87 | 13.50 | 43.50 | 43.00 | 6.95 | 0.10 | 13.75 | 4.25 | 1.32 | 7.00 |
| GT011L02 | 405 | 12.97 | 13.50 | 43.50 | 43.00 | 6.95 | 0.10 | 13.75 | 4.25 | 1.32 | 7.00 |
| GT015L01 | 406 | 10.85 | 26.70 | 41.30 | 32.00 | 6.50 | 0.13 | 17.17 | 5.63 | 0.40 | 7.70 |
| GT020L01 | 703 | 6.53 | 32.70 | 30.80 | 36.50 | 6.20 | 0.20 | 10.13 | 6.75 | 0.37 | 5.80 |
| GT020L02 | 703 | 7.63 | 32.70 | 30.80 | 36.50 | 6.20 | 0.20 | 10.13 | 6.75 | 0.37 | 5.80 |
| GT020L03 | 703 | 6.93 | 32.70 | 30.80 | 36.50 | 6.20 | 0.20 | 10.13 | 6.75 | 0.37 | 5.80 |
| GT022L01 | 408 | 9.49 | 18.70 | 43.00 | 38.30 | 6.80 | 0.10 | 19.17 | 3.90 | 1.40 | 24.70 |
| GT049L01 | 706 | 10.25 | 37.60 | 31.70 | 30.70 | 6.60 | 0.20 | 23.00 | 13.80 | 0.17 | 4.30 |
| GT049L02 | 706 | 9.66 | 37.60 | 31.70 | 30.70 | 6.60 | 0.20 | 23.00 | 13.80 | 0.17 | 4.30 |
| GT052L01 | 603 | 8.60 | 48.50 | 30.50 | 21.00 | 6.45 | 0.20 | 20.75 | 6.65 | 0.55 | 8.50 |
| GT052L02 | 604 | 9.62 | 48.50 | 30.50 | 21.00 | 6.45 | 0.20 | 20.75 | 6.65 | 0.55 | 8.50 |
| GT053L02 | 604 | 7.86 | 30.00 | 48.50 | 21.50 | 6.35 | 0.20 | 16.50 | 5.35 | 0.74 | 13.00 |
| GT057L08 | 508 | 6.58 | 32.30 | 49.70 | 18.00 | 6.90 | 0.20 | 14.00 | 6.43 | 0.07 | 5.70 |
| GT076L01 | 418 | 8.09 | 25.00 | 43.00 | 32.00 | 7.45 | 0.10 | 22.00 | 2.20 | 0.86 | 19.50 |
| GT076L02 | 418 | 9.02 | 25.00 | 43.00 | 32.00 | 7.45 | 0.10 | 22.00 | 2.20 | 0.86 | 19.50 |
| GT099L01 | 405 | 8.95 | 14.70 | 42.30 | 43.00 | 6.90 | 0.10 | 13.17 | 3.73 | 0.31 | 3.70 |
| GT099L02 | 405 | 9.74 | 14.70 | 42.30 | 43.00 | 6.90 | 0.10 | 13.17 | 3.73 | 0.31 | 3.70 |
| GT100L01 | 405 | 10.22 | 14.70 | 42.30 | 43.00 | 6.90 | 0.10 | 13.17 | 3.73 | 0.31 | 3.70 |
| GT113L11 | 611 | 8.24 | 19.50 | 44.50 | 36.00 | 6.00 | 0.15 | 10.00 | 2.90 | 0.44 | 3.00 |
| HN061L01 | 119 | 5.25 | 14.70 | 61.30 | 24.00 | 6.10 | 0.15 | 8.50 | 2.47 | 0.26 | 7.00 |
| HN092L02 | 129 | 4.93 | 35.00 | 44.00 | 21.00 | 6.80 | 0.15 | 10.00 | 1.90 | 1.82 | 6.00 |
| NI032L09 | 209 | 8.50 | 24.70 | 50.30 | 25.00 | 6.30 | 0.15 | 19.50 | 9.77 | 0.81 | 6.30 |
| NI033L05 | 516 | 4.87 | 48.00 | 37.00 | 15.00 | 7.25 | 0.15 | 23.50 | 5.20 | 0.69 | 13.50 |
| PA019L04 | 303 | 8.11 | 22.70 | 46.30 | 31.00 | 6.30 | 0.15 | 23.33 | 13.30 | 0.17 | 4.70 |
| PA024L | 404 | 5.32 | 18.70 | 36.70 | 44.60 | 5.90 | 0.40 | 2.33 | 0.73 | 0.04 | 2.30 |
| PA025L | 405 | 7.97 | 49.00 | 20.00 | 31.00 | 5.80 | 0.18 | 5.50 | 2.45 | 0.18 | 7.50 |

Anexo 3. Cont.....

| Expto | Sitio | Zn | Mn | Cu | CIC | M.D. | altitud (msnm) | Pend (%) | Temp (oC) | Precip (mm) | MSecos |
|----------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------------------|-------------|--------------|----------------|--------|
| CR117L01 | 472 | 4.00 | 8.00 | 12.00 | 41.72 | 3.69 | 710 | 15 | 27.00 | 2229 | 5 |
| GT011L01 | 405 | 1.40 | 10.50 | 3.00 | 24.35 | 1.83 | 100 | 15 | 27.00 | 1860 | 6 |
| GT011L02 | 405 | 1.40 | 10.50 | 3.00 | 24.35 | 1.83 | 100 | 15 | 27.00 | 1860 | 6 |
| GT015L01 | 406 | 2.70 | 9.30 | 4.70 | 31.57 | 3.33 | 100 | 2 | 27.00 | 1860 | 6 |
| GT020L01 | 703 | 1.60 | 14.00 | 5.30 | 35.85 | 2.98 | 350 | 25 | 26.80 | 595 | 9 |
| GT020L02 | 703 | 1.60 | 14.00 | 5.30 | 35.85 | 2.98 | 350 | 25 | 26.80 | 595 | 9 |
| GT020L03 | 703 | 1.60 | 14.00 | 5.30 | 35.85 | 2.98 | 350 | 25 | 26.80 | 595 | 9 |
| GT022L01 | 408 | 2.70 | 8.70 | 2.70 | 27.40 | 2.49 | 100 | 15 | 27.00 | 1860 | 6 |
| GT049L01 | 706 | 1.40 | 22.00 | 2.00 | 38.52 | 1.78 | 129 | 40 | 28.00 | 727 | 9 |
| GT049L02 | 706 | 1.40 | 22.00 | 2.00 | 38.52 | 1.78 | 129 | 40 | 28.00 | 727 | 9 |
| GT052L01 | 603 | 1.60 | 38.00 | 2.00 | 42.27 | 3.39 | 654 | 2 | 26.00 | 1591 | 6 |
| GT052L02 | 603 | 1.60 | 38.00 | 2.00 | 42.27 | 3.39 | 654 | 2 | 26.00 | 1591 | 6 |
| GT053L02 | 604 | 2.30 | 56.00 | 2.50 | 42.80 | 3.15 | 654 | 5 | 26.00 | 1591 | 6 |
| GT057L08 | 508 | 1.10 | 15.70 | 3.00 | 33.88 | 2.83 | 360 | 35 | 27.30 | 904 | 6 |
| GT076L01 | 418 | 1.80 | 2.00 | 3.00 | 30.77 | 2.68 | 46 | 20 | 27.00 | 1860 | 6 |
| GT076L02 | 418 | 1.80 | 2.00 | 3.00 | 30.77 | 2.68 | 46 | 20 | 27.00 | 1860 | 6 |
| GT099L01 | 405 | 3.50 | 10.70 | 4.30 | 24.07 | 1.97 | 100 | 6 | 27.00 | 1860 | 6 |
| GT099L02 | 405 | 3.50 | 10.70 | 4.30 | 24.07 | 1.97 | 100 | 6 | 27.00 | 1860 | 6 |
| GT100L01 | 405 | 3.50 | 10.70 | 4.30 | 24.07 | 1.97 | 100 | 6 | 27.00 | 1860 | 6 |
| GT113L11 | 611 | 1.40 | 69.00 | 8.00 | 32.55 | 4.30 | 460 | 10 | 25.10 | 2630 | 6 |
| HN061L01 | 119 | 2.50 | 27.70 | 4.30 | 25.03 | 1.90 | 820 | 60 | 22.30 | 1083 | 7 |
| HN092L02 | 129 | 0.60 | 8.00 | 4.00 | 26.78 | 2.97 | 60 | 5 | 28.40 | 1855 | 6 |
| NI032L09 | 209 | 2.50 | 5.30 | 16.00 | 47.26 | 2.93 | 70 | 1 | 27.70 | 1139 | 7 |
| NI033L05 | 516 | 3.30 | 5.00 | 2.50 | 38.52 | 1.09 | 480 | 1 | 25.70 | 889 | 9 |
| PR019L04 | 303 | 1.50 | 4.30 | 5.00 | 47.44 | 2.28 | 60 | 35 | 27.20 | 1382 | 5 |
| PR024L | 404 | 1.10 | 22.00 | 2.00 | 10.88 | 1.49 | 110 | 0 | 26.60 | 2457 | 5 |
| PR025L | 405 | 2.40 | 15.00 | 4.00 | 15.52 | 1.96 | 30 | 0 | 27.50 | 666 | 11 |

Anexo 4. Parcelas de *Acacia mangium* utilizadas para analizar el crecimiento en altura de la especie en función de la edad y del índice de sitio en América Central.

| No. Ensayo | Sitio | País | Ubicación Lat(N)xLon(W) | Area de Parcela (m ²) | Arboles Parcela | No. de Parcelas | |
|------------|----------|------------|----------------------------|---|--------------------|--------------------|---|
| 1 | CR001W02 | Coofru-2 | Costa Rica | 9°28'x84°07' | 150 | 24 | 1 |
| 2 | CR002W01 | Jorón-1 | Costa Rica | 9°20'x83°41' | 100 | 25 | 1 |
| 3 | CR002W02 | Jorón-2 | Costa Rica | 9°20'x83°41' | 100 | 25 | 1 |
| 4 | CR002W03 | Jorón-3 | Costa Rica | 9°20'x83°41' | 100 | 25 | 1 |
| 5 | CR002W04 | Jorón-4 | Costa Rica | 9°20'x83°41' | 100 | 25 | 1 |
| 6 | CR002W05 | Jorón-5 | Costa Rica | 9°20'x83°41' | 100 | 25 | 1 |
| 7 | CR002W06 | Jorón-6 | Costa Rica | 9°20'x83°41' | 100 | 25 | 1 |
| 8 | CR002W07 | Jorón-7 | Costa Rica | 9°20'x83°41' | 100 | 25 | 1 |
| 9 | CR002W08 | Jorón-8 | Costa Rica | 9°20'x83°41' | 100 | 25 | 1 |
| 10 | CR002W09 | Jorón-9 | Costa Rica | 9°20'x83°41' | 100 | 25 | 1 |
| 11 | CR002W10 | Jorón-10 | Costa Rica | 9°20'x83°41' | 225 | 25 | 3 |
| 12 | CR003W01 | San Juan-1 | Costa Rica | 9°51'x84°21' | 100 | 25 | 1 |
| 13 | CR003W02 | San Juan-2 | Costa Rica | 9°51'x84°21' | 100 | 25 | 1 |
| 14 | CR003W03 | San Juan-3 | Costa Rica | 9°51'x84°21' | 100 | 25 | 1 |
| 15 | CR003W04 | San Juan-4 | Costa Rica | 9°51'x84°21' | 100 | 25 | 1 |
| 16 | CR006W01 | Carmona | Costa Rica | 9°56'x85°24' | 144 | 36 | 1 |
| 19 | CR009W01 | Palairá-1 | Costa Rica | 9°21'x83°40' | 225 | 25 | 1 |
| 20 | CR009W02 | Palairá-2 | Costa Rica | 9°21'x83°40' | 144 | 16 | 1 |
| 23 | CR501C21 | Cortezal | Costa Rica | 9°51'x84°22' | 144 | 16 | 5 |
| 24 | CR501C29 | Cortezal | Costa Rica | 9°51'x84°22' | 144 | 16 | 5 |
| 25 | CR501C33 | Cortezal | Costa Rica | 9°51'x84°22' | 144 | 16 | 5 |
| 26 | CR501C42 | Cortezal | Costa Rica | 9°51'x84°22' | 144 | 16 | 5 |
| 27 | CR501C46 | Cortezal | Costa Rica | 9°51'x84°22' | 144 | 16 | 5 |
| 28 | CR501C59 | Cortezal | Costa Rica | 9°51'x84°22' | 144 | 16 | 5 |
| 30 | CR601C29 | 214 | Costa Rica | 10°21'x84°32' | 144 | 16 | 5 |
| 31 | CR601C32 | 214 | Costa Rica | 10°21'x84°32' | 144 | 16 | 5 |
| 32 | CR601C33 | 214 | Costa Rica | 10°21'x84°32' | 144 | 16 | 4 |
| 33 | CR601C34 | 214 | Costa Rica | 10°21'x84°32' | 144 | 16 | 5 |
| 35 | CR601C38 | 214 | Costa Rica | 10°21'x84°32' | 144 | 16 | 5 |
| 37 | CR601C40 | 214 | Costa Rica | 10°21'x84°32' | 144 | 16 | 5 |
| 38 | CR601C41 | 214 | Costa Rica | 10°21'x84°32' | 144 | 16 | 5 |
| 39 | CR601C42 | 214 | Costa Rica | 10°21'x84°32' | 144 | 16 | 5 |
| 40 | CR601C59 | 214 | Costa Rica | 10°21'x84°32' | 144 | 16 | 5 |
| 41 | CR601C60 | 214 | Costa Rica | 10°21'x84°32' | 144 | 16 | 5 |
| 42 | CR701C21 | 319 | Costa Rica | 9°12'x83°19' | 144 | 16 | 5 |
| 43 | CR701C32 | 319 | Costa Rica | 9°12'x83°19' | 144 | 16 | 2 |
| 44 | CR701C34 | 319 | Costa Rica | 9°12'x83°19' | 144 | 16 | 5 |
| 45 | CR701C37 | 319 | Costa Rica | 9°12'x83°19' | 144 | 16 | 2 |
| 46 | CR701C38 | 319 | Costa Rica | 9°12'x83°19' | 144 | 16 | 2 |

Anexo 4. Cont...

| No | Ensayo | Sitio | País | Localización Lat(N)xLon(W) | Área Parcela (m ²) | Árboles Parcela | No. de Parcelas |
|----|----------|-------|------------|-------------------------------|--------------------------------------|--------------------|--------------------|
| 47 | CR701C40 | 319 | Costa Rica | 9°12' x 83°19' | 144 | 16 | 4 |
| 48 | CR701C41 | 319 | Costa Rica | 9°12' x 83°19' | 144 | 16 | 5 |
| 49 | CR701C59 | 319 | Costa Rica | 9°12' x 83°19' | 144 | 16 | 5 |
| 50 | CR701C60 | 319 | Costa Rica | 9°12' x 83°19' | 144 | 16 | 5 |
| 51 | CR701C92 | 319 | Costa Rica | 9°12' x 83°19' | 144 | 16 | 5 |
| 52 | HN043L05 | 105 | Honduras | 14°00' x 87°02' | 100 | 25 | 1 |
| 53 | HN043L16 | 105 | Honduras | 14°00' x 87°02' | 100 | 25 | 1 |
| 54 | HN043L85 | 105 | Honduras | 14°00' x 87°02' | 100 | 25 | 1 |
| 55 | PA015L05 | 200 | Panamá | 8°08' x 80°53' | 64 | 16 | 5 |
| 56 | PA019L05 | 303 | Panamá | 7°52' x 80°32' | 64 | 16 | 5 |
| 57 | PA024L01 | 404 | Panamá | 8°33' x 80°00' | 100 | 25 | 5 |
| 58 | PA025L01 | 405 | Panamá | 8°23' x 80°08' | 100 | 25 | 5 |
| 59 | PA033L01 | 810 | Panamá | 7°39' x 80°37' | 64 | 16 | 5 |
| 60 | PA068L04 | 700 | Panamá | 9°10' x 79°08' | 100 | 25 | 5 |
| 61 | PA073L01 | 413 | Panamá | 8°37' x 80°13' | 64 | 16 | 3 |

Anexo 5. Parcelas de *Acacia mangium* utilizadas para el análisis del crecimiento en diámetro de la especie en función de la edad y del índice de sitio en América Central.

| No. Ensayo | Sitio | País | Ubicación Lat(N)xLon(W) | Área de Parcela (m ²) | Arboles Parcela | No. de Parcelas | |
|------------|----------|------------|----------------------------|---|--------------------|--------------------|---|
| 1 | CR001W02 | Coofru-2 | Costa Rica | 9°28'x84°07' | 150 | 24 | 1 |
| 2 | CR002W01 | Jorón-1 | Costa Rica | 9°20'x83°41' | 100 | 25 | 1 |
| 3 | CR002W02 | Jorón-2 | Costa Rica | 9°20'x83°41' | 100 | 25 | 1 |
| 4 | CR002W03 | Jorón-3 | Costa Rica | 9°20'x83°41' | 100 | 25 | 1 |
| 5 | CR002W04 | Jorón-4 | Costa Rica | 9°20'x83°41' | 100 | 25 | 1 |
| 6 | CR002W05 | Jorón-5 | Costa Rica | 9°20'x83°41' | 100 | 25 | 1 |
| 7 | CR002W06 | Jorón-6 | Costa Rica | 9°20'x83°41' | 100 | 25 | 1 |
| 8 | CR002W07 | Jorón-7 | Costa Rica | 9°20'x83°41' | 100 | 25 | 1 |
| 9 | CR002W08 | Jorón-8 | Costa Rica | 9°20'x83°41' | 100 | 25 | 1 |
| 10 | CR002W09 | Jorón-9 | Costa Rica | 9°20'x83°41' | 100 | 25 | 1 |
| 12 | CR003W01 | San Juan-1 | Costa Rica | 9°51'x84°21' | 100 | 25 | 1 |
| 13 | CR003W02 | San Juan-2 | Costa Rica | 9°51'x84°21' | 100 | 25 | 1 |
| 14 | CR003W03 | San Juan-3 | Costa Rica | 9°51'x84°21' | 100 | 25 | 1 |
| 15 | CR003W04 | San Juan-4 | Costa Rica | 9°51'x84°21' | 100 | 25 | 1 |
| 16 | CR006W01 | Carreona | Costa Rica | 9°56'x85°24' | 144 | 36 | 1 |
| 52 | HN043L05 | 105 | Honduras | 14°00'x87°02' | 100 | 25 | 1 |
| 53 | HN043L16 | 105 | Honduras | 14°00'x87°02' | 100 | 25 | 1 |
| 54 | HN043L85 | 105 | Honduras | 14°00'x87°02' | 100 | 25 | 1 |
| 55 | PA015L05 | 200 | Panamá | 8°08'x80°53' | 64 | 16 | 5 |
| 56 | PA019L05 | 303 | Panamá | 7°52'x80°32' | 64 | 16 | 5 |
| 57 | PA024L01 | 404 | Panamá | 8°33'x80°00' | 100 | 25 | 5 |
| 58 | PA025L01 | 405 | Panamá | 8°23'x80°08' | 100 | 25 | 5 |
| 59 | PA033L01 | 810 | Panamá | 7°39'x80°37' | 64 | 16 | 5 |
| 60 | PA068L04 | 700 | Panamá | 9°10'x79°08' | 100 | 25 | 5 |
| 61 | PA073L01 | 413 | Panamá | 8°37'x80°13' | 64 | 16 | 3 |

Anexo 6. Parcelas de *Caesalpinia velutina* utilizadas para el análisis del crecimiento en altura de la especie en función de la edad e índice de sitio en América Central.

| No | Ensayo | Sitio | País | Ubicación Lat(N)xLon(W) | Area de Parcela (m ²) | Arboles Parcela | No. de Parcelas |
|----|----------|-------|------------|----------------------------|---|--------------------|--------------------|
| 1 | CR117L01 | 472 | Costa Rica | 10°00'x85°23' | 50 | 25 | 1 |
| 2 | GT011L01 | 405 | Guatemala | 14°18'x91°33' | 245 | 49 | 1 |
| 3 | GT011L02 | 405 | Guatemala | 14°18'x91°33' | 245 | 49 | 1 |
| 4 | GT015L01 | 406 | Guatemala | 14°18'x91°33' | 192 | 48 | 1 |
| 5 | GT020L01 | 703 | Guatemala | 14°57'x89°44' | 64 | 36 | 1 |
| 6 | GT020L02 | 703 | Guatemala | 14°57'x89°44' | 64 | 36 | 1 |
| 7 | GT020L03 | 703 | Guatemala | 14°57'x89°44' | 64 | 36 | 1 |
| 8 | GT022L01 | 408 | Guatemala | 14°18'x91°33' | 100 | 25 | 4 |
| 9 | GT048L01 | 706 | Guatemala | 15°06'x89°21' | 100 | 25 | 1 |
| 10 | GT048L02 | 706 | Guatemala | 15°06'x89°21' | 64 | 16 | 1 |
| 11 | GT048L03 | 706 | Guatemala | 15°06'x89°21' | 64 | 16 | 1 |
| 12 | GT048L04 | 706 | Guatemala | 15°06'x89°21' | 64 | 16 | 1 |
| 13 | GT049L01 | 706 | Guatemala | 15°06'x89°21' | 196 | 49 | 1 |
| 14 | GT049L02 | 706 | Guatemala | 15°06'x89°21' | 196 | 49 | 1 |
| 15 | GT052L01 | 603 | Guatemala | 14°11'x89°40' | 110 | 49 | 2 |
| 16 | GT052L02 | 603 | Guatemala | 14°11'x89°40' | 110 | 49 | 2 |
| 17 | GT053L02 | 604 | Guatemala | 14°11'x89°40' | 81 | 36 | 4 |
| 18 | GT057L08 | 508 | Guatemala | 14°55'x90°09' | 64 | 16 | 4 |
| 19 | GT076L01 | 418 | Guatemala | 14°23'x91°35' | 100 | 25 | 4 |
| 20 | GT076L02 | 418 | Guatemala | 14°23'x91°35' | 100 | 25 | 4 |
| 21 | GT077L01 | 419 | Guatemala | 14°31'x91°30' | 196 | 49 | 1 |
| 22 | GT077L02 | 419 | Guatemala | 14°31'x91°30' | 196 | 49 | 1 |
| 23 | GT099L01 | 405 | Guatemala | 14°18'x91°33' | 100 | 25 | 1 |
| 24 | GT099L02 | 405 | Guatemala | 14°18'x91°33' | 100 | 25 | 1 |
| 25 | GT100L01 | 405 | Guatemala | 14°18'x91°33' | 120 | 30 | 1 |
| 26 | GT111L03 | 609 | Guatemala | 14°08'x90°00' | 56 | 25 | 4 |
| 27 | GT113L11 | 611 | Guatemala | 14°05'x90°22' | 100 | 25 | 4 |
| 29 | HN080L01 | 423 | Honduras | 15°16'x87°53' | 112 | 50 | 1 |
| 30 | HN085L06 | 128 | Honduras | 14°05'x87°15' | 36 | 9 | 4 |
| 31 | HN092L02 | 129 | Honduras | 13°31'x87°26' | 36 | 9 | 4 |
| 32 | NI032L09 | 209 | Nicaragua | 12°12'x86°01' | 100 | 25 | 4 |
| 34 | PA019L04 | 303 | Panamá | 7°52'x80°32' | 64 | 16 | 5 |
| 37 | PA050L04 | 816 | Panamá | 7°40'x80°07' | 100 | 25 | 5 |
| 38 | PA070L03 | 819 | Panamá | 7°35'x80°23' | 64 | 16 | 4 |
| 39 | PA081L01 | 401 | Panamá | 8°25'x80°14' | 108 | 27 | 1 |

Anexo 7. Parcelas de *Caesalpinia velutina* utilizadas para analizar el crecimiento en diámetro de la especie en función de la edad e índice de sitio en América Central.

| No | Ensayo | Sitio | País | Ubicación Lat(N)xLon(W) | Area de Parcela | Arboles Parcela | No. de Parcelas |
|----|----------|-------|-----------|----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 2 | GT011L01 | 405 | Guatemala | 14°18' x91°33' | 245 | 49 | 1 |
| 3 | GT011L02 | 405 | Guatemala | 14°18' x91°33' | 245 | 49 | 1 |
| 4 | GT015L01 | 406 | Guatemala | 14°18' x91°33' | 192 | 48 | 1 |
| 8 | GT022L01 | 408 | Guatemala | 14°18' x91°33' | 100 | 25 | 4 |
| 9 | GT048L01 | 706 | Guatemala | 15°06' x89°21' | 100 | 25 | 1 |
| 10 | GT048L02 | 706 | Guatemala | 15°06' x89°21' | 64 | 16 | 1 |
| 11 | GT048L03 | 706 | Guatemala | 15°06' x89°21' | 64 | 16 | 1 |
| 12 | GT048L04 | 706 | Guatemala | 15°06' x89°21' | 64 | 16 | 1 |
| 13 | GT049L01 | 706 | Guatemala | 15°06' x89°21' | 196 | 49 | 1 |
| 14 | GT049L02 | 706 | Guatemala | 15°06' x89°21' | 196 | 49 | 1 |
| 18 | GT057L08 | 508 | Guatemala | 14°55' x90°09' | 64 | 16 | 4 |
| 19 | GT076L01 | 418 | Guatemala | 14°23' x91°35' | 100 | 25 | 4 |
| 20 | GT076L02 | 418 | Guatemala | 14°23' x91°35' | 100 | 25 | 4 |
| 21 | GT077L01 | 419 | Guatemala | 14°31' x91°30' | 196 | 49 | 1 |
| 22 | GT077L02 | 419 | Guatemala | 14°31' x91°30' | 196 | 49 | 1 |
| 23 | GT099L01 | 405 | Guatemala | 14°18' x91°33' | 100 | 25 | 1 |
| 24 | GT099L02 | 405 | Guatemala | 14°18' x91°33' | 100 | 25 | 1 |
| 25 | GT100L01 | 405 | Guatemala | 14°18' x91°33' | 120 | 30 | 1 |
| 27 | GT113L11 | 611 | Guatemala | 14°05' x90°22' | 100 | 25 | 4 |
| 30 | HN085L06 | 128 | Honduras | 14°05' x87°15' | 36 | 9 | 4 |
| 31 | HN092L02 | 129 | Honduras | 13°31' x87°26' | 36 | 9 | 4 |
| 32 | NI032L09 | 209 | Nicaragua | 12°12' x86°01' | 100 | 25 | 4 |
| 34 | PA019L04 | 303 | Panamá | 7°52' 80°32' | 64 | 16 | 5 |
| 37 | PA050L04 | 816 | Panamá | 7°40' x80°07' | 100 | 25 | 5 |
| 38 | PA070L03 | 819 | Panamá | 7°35' x80°23' | 64 | 16 | 4 |
| 39 | PA081L01 | 401 | Panamá | 8°25' x80°14' | 108 | 27 | 1 |

Anexo 8. Parcelas de *Acacia mangium* utilizadas para estimar los índices de sitio en América Central.

| No. Ensayo | Sitio | País | Ubicación Lat(N)xLon(W) | Área de Parcela (m ²) | Árboles Parcela | No. de Parcelas | |
|------------|----------|-----------|----------------------------|---|--------------------|--------------------|---|
| 1 | CR001W02 | Coofru-2 | Costa Rica | 9°28'x84°07' | 150 | 24 | 1 |
| 18 | CR009W01 | La Línea | Costa Rica | 10°20'x83°37' | 84 | 21 | 1 |
| 19 | CR009W01 | Palmira-1 | Costa Rica | 9°21'x83°40' | 225 | 25 | 1 |
| 22 | CR013W01 | Dario-1 | Costa Rica | 10°20'x83°36' | 64 | 16 | 1 |
| 23 | CR501C21 | Cortezal | Costa Rica | 9°51'x84°22' | 144 | 16 | 5 |
| 24 | CR501C29 | Cortezal | Costa Rica | 9°51'x84°22' | 144 | 16 | 5 |
| 25 | CR501C33 | Cortezal | Costa Rica | 9°51'x84°22' | 144 | 16 | 5 |
| 26 | CR501C42 | Cortezal | Costa Rica | 9°51'x84°22' | 144 | 16 | 5 |
| 27 | CR501C46 | Cortezal | Costa Rica | 9°51'x84°22' | 144 | 16 | 5 |
| 28 | CR501C59 | Cortezal | Costa Rica | 9°51'x84°22' | 144 | 16 | 5 |
| 29 | CR601C21 | 214 | Costa Rica | 10°21'x84°32' | 144 | 16 | 5 |
| 30 | CR601C29 | 214 | Costa Rica | 10°21'x84°32' | 144 | 16 | 5 |
| 31 | CR601C32 | 214 | Costa Rica | 10°21'x84°32' | 144 | 16 | 5 |
| 32 | CR601C33 | 214 | Costa Rica | 10°21'x84°32' | 144 | 16 | 4 |
| 33 | CR601C34 | 214 | Costa Rica | 10°21'x84°32' | 144 | 16 | 5 |
| 34 | CR601C35 | 214 | Costa Rica | 10°21'x84°32' | 144 | 16 | 5 |
| 35 | CR601C38 | 214 | Costa Rica | 10°21'x84°32' | 144 | 16 | 5 |
| 36 | CR601C39 | 214 | Costa Rica | 10°21'x84°32' | 144 | 16 | 3 |
| 37 | CR601C40 | 214 | Costa Rica | 10°21'x84°32' | 144 | 16 | 5 |
| 38 | CR601C41 | 214 | Costa Rica | 10°21'x84°32' | 144 | 16 | 5 |
| 39 | CR601C42 | 214 | Costa Rica | 10°21'x84°32' | 144 | 16 | 5 |
| 40 | CR601C59 | 214 | Costa Rica | 10°21'x84°32' | 144 | 16 | 5 |
| 41 | CR601C60 | 214 | Costa Rica | 10°21'x84°32' | 144 | 16 | 5 |
| 42 | CR701C21 | 319 | Costa Rica | 9°12'x83°19' | 144 | 16 | 5 |
| 43 | CR701C32 | 319 | Costa Rica | 9°12'x83°19' | 144 | 16 | 2 |
| 47 | CR701C40 | 319 | Costa Rica | 9°12'x83°19' | 144 | 16 | 4 |
| 48 | CR701C41 | 319 | Costa Rica | 9°12'x83°19' | 144 | 16 | 5 |
| 52 | HN043L05 | 105 | Honduras | 14°00'x87°02' | 100 | 25 | 1 |
| 53 | HN043L16 | 105 | Honduras | 14°00'x87°02' | 100 | 25 | 1 |
| 54 | HN043L85 | 105 | Honduras | 14°00'x87°02' | 100 | 25 | 1 |
| 56 | PA019L05 | 303 | Panamá | 7°52'x80°32' | 64 | 16 | 5 |
| 57 | PA024L01 | 404 | Panamá | 8°33'x80°00' | 100 | 25 | 5 |
| 58 | PA025L01 | 405 | Panamá | 8°23'x80°08' | 100 | 25 | 5 |
| 61 | PA073L01 | 413 | Panamá | 8°37'x80°13' | 64 | 16 | 3 |

Anexo 9. Parcelas de *Caesalpinia velutina* utilizadas para estimar los índices de sitio en América Central.

| No | Ensayo | Sitio | País | Ubicación Lat(N) x Lon(W) | Área de Parcela | Árboles Parcela | No. de Parcelas |
|----|----------|-------|------------|------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | CR117L01 | 472 | Costa Rica | 10°00' x 85°23' | 50 | 25 | 1 |
| 2 | GT011L01 | 405 | Guatemala | 14°18' x 91°33' | 245 | 49 | 1 |
| 3 | GT011L02 | 405 | Guatemala | 14°18' x 91°33' | 245 | 49 | 1 |
| 4 | GT015L01 | 406 | Guatemala | 14°18' x 91°33' | 192 | 48 | 1 |
| 5 | GT020L01 | 703 | Guatemala | 14°57' x 89°44' | 64 | 36 | 1 |
| 6 | GT020L02 | 703 | Guatemala | 14°57' x 89°44' | 64 | 36 | 1 |
| 7 | GT020L03 | 703 | Guatemala | 14°57' x 89°44' | 64 | 36 | 1 |
| 8 | GT022L01 | 408 | Guatemala | 14°18' x 91°33' | 100 | 25 | 4 |
| 13 | GT049L01 | 706 | Guatemala | 15°06' x 89°21' | 196 | 49 | 1 |
| 14 | GT049L02 | 706 | Guatemala | 15°06' x 89°21' | 196 | 49 | 1 |
| 15 | GT052L01 | 603 | Guatemala | 14°11' x 89°40' | 110 | 49 | 2 |
| 16 | GT052L02 | 603 | Guatemala | 14°11' x 89°40' | 110 | 49 | 2 |
| 17 | GT053L02 | 604 | Guatemala | 14°11' x 89°40' | 81 | 36 | 4 |
| 18 | GT057L08 | 508 | Guatemala | 14°55' x 90°09' | 64 | 16 | 4 |
| 19 | GT076L01 | 418 | Guatemala | 14°23' x 91°35' | 100 | 25 | 4 |
| 20 | GT076L02 | 418 | Guatemala | 14°23' x 91°35' | 100 | 25 | 4 |
| 21 | GT077L01 | 419 | Guatemala | 14°31' x 91°30' | 196 | 49 | 1 |
| 22 | GT077L02 | 419 | Guatemala | 14°31' x 91°30' | 196 | 49 | 1 |
| 23 | GT099L01 | 405 | Guatemala | 14°18' x 91°33' | 100 | 25 | 1 |
| 24 | GT099L02 | 405 | Guatemala | 14°18' x 91°33' | 100 | 25 | 1 |
| 25 | GT100L01 | 405 | Guatemala | 14°18' x 91°33' | 120 | 30 | 1 |
| 26 | GT111L03 | 609 | Guatemala | 14°08' x 90°00' | 56 | 25 | 4 |
| 29 | HN080L01 | 423 | Honduras | 15°16' x 87°53' | 112 | 50 | 1 |
| 30 | HN085L06 | 128 | Honduras | 14°05' x 87°15' | 36 | 9 | 4 |
| 34 | PA019L04 | 303 | Panamá | 7°52' 80°32' | 64 | 16 | 5 |
| 37 | PA050L04 | 816 | Panamá | 7°40' x 80°07' | 100 | 25 | 5 |
| 38 | PA070L03 | 819 | Panamá | 7°35' x 80°23' | 64 | 16 | 4 |
| 39 | PA081L01 | 401 | Panamá | 8°25' x 80°14' | 108 | 27 | 1 |

CALIDI.WK1

Acacia mangium

SELECCIONADO MODELO 2

a COMUN

Modelos de IS mod1 mod2 mod3 mod4 mod5 Edad base = 48 meses modX

k = 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.3 N parcelas = 60
 a = 7.9625 5.8369 4.7776 4.1449 3.725 5.8369 N mediciones = 60
 b = -12.05 -11.00 -11.28 -12.327 -14.0 -11.005
 R2 = 94.8 94.8 94.72 94.6 94.5 94.8
 CME = 0.0336 0.0335 0.0338 0.0344 0.035 0.0335

PRa = 0.1144 0.1427 0.1656 0.18418 0.198 0.14271 PRa = promedio de la diferencia, a común
 VARa = 3.9733 3.5769 3.2761 3.04155 2.853 3.57696 VARa = varianza de la diferencia, a común
 PRb = 2.1937 2.1919 2.1905 2.18945 2.188 2.19193 PRb = promedio de la diferencia, b común
 VARb = 9.8106 9.8168 9.8246 9.83398 9.844 9.81682 VARb = varianza de la diferencia, b común

a común

$\ln(\text{Hd_est}) = a + \text{edad}^k / \text{edad_base}^k \times (\ln(\text{alt}) - a)$ IsEdad = edad de la medición mas cercana a la edad base
 $\ln(\text{Hd_est}) = a + \text{edad_base}^k / \text{edad}^k \times (\ln(\text{is}) - a)$ IsAlt = altura de la medición mas cercana a la edad base
 $\ln(\text{is}) = \ln(\text{alt}) + \text{bx}(1/\text{edad_base}^k - 1/\text{edad}^k)$ is_parc = indice de sitio calculado con IsEdad y IsAlt
 $\ln(\text{Hd_est}) = \ln(\text{is}) + \text{bx}(1/\text{edad}^k - 1/\text{edad_base}^k)$ is_med = indice de sitio calculado con Edad y Alt

| ID | NSSITIOEDAD | ALTA | ALT_MAX | ISEDAFISALT- | is_med | is_común | modX: a común | is_parc | is_med | modX: b común | is_parc | is_med | dif |
|----------|-------------|-------|---------|--------------|--------|----------|---------------|---------|--------|---------------|---------|--------|------|
| CRO01W02 | 18 | 3.91 | 4.70 | 37 | 11.00 | 14.24 | 14.03 | 0.22 | 11.28 | 5.88 | 11.28 | 5.88 | 5.40 |
| CRO01W02 | 37 | 9.65 | 11.00 | 37 | 11.00 | 14.24 | 14.24 | 0.00 | 11.28 | 11.28 | 11.28 | 0.00 | 0.00 |
| CRO08W01 | 26 | 9.76 | 11.00 | 39 | 15.50 | 18.69 | 19.60 | -0.92 | 15.72 | 11.70 | 15.72 | 4.03 | 4.03 |
| CRO08W01 | 39 | 13.01 | 15.50 | 39 | 15.50 | 18.69 | 18.69 | 0.00 | 15.72 | 15.72 | 15.72 | 0.00 | 0.00 |
| CRO09W01 | 13 | 2.38 | 3.30 | 26 | 7.20 | 13.78 | 14.87 | -1.09 | 7.90 | 4.95 | 7.90 | 2.94 | 2.94 |
| CRO09W01 | 26 | 5.89 | 7.20 | 26 | 7.20 | 13.78 | 13.78 | .00 | 7.90 | 7.90 | 7.90 | .00 | .00 |
| CRO13W01 | 26 | 9.74 | 11.00 | 39 | 15.20 | 18.35 | 19.60 | -1.26 | 15.42 | 11.70 | 15.42 | 3.73 | 3.73 |
| PA025L01 | 405 | 5.89 | 7.22 | 36 | 7.22 | 9.93 | 9.93 | 0.00 | 7.53 | 7.53 | 7.53 | 0.00 | 0.00 |
| PA073L01 | 413 | 1.27 | 1.87 | 19 | 2.87 | 9.16 | 10.13 | -0.97 | 3.97 | 3.52 | 3.97 | 0.45 | 0.45 |
| PA073L01 | 413 | 19 | 2.14 | 19 | 2.87 | 9.16 | 9.16 | 0.00 | 3.97 | 3.97 | 3.97 | .00 | .00 |

ANEXO 11. Hoja de rendimiento de mangium.

RENDIMIENTO DE ACACIA

| | | | |
|--------------------|---|--|--------------------|
| $\ln(\text{ALTA})$ | = | $a + b/\text{edad} + c \cdot \ln(\text{IS})$ | ponderado con edad |
| a | = | 0,4798 | |
| b | = | -33,76 | |
| c | = | 0,9946 | |
| r^2 | = | 95,4 | |
| n | = | 90 | |

| | | |
|-------|---|---|
| DCH | = | $c1 \cdot \text{IS} \cdot [1 - \exp(-c2 \cdot \text{edad})]^c3$ |
| c1 | = | 1,4393 |
| c2 | = | 0,0516 |
| c3 | = | 3,4763 |
| r^2 | = | 79,7 |
| n | = | 43 |

| | | | |
|----|---|--------------|------------------------|
| N2 | = | $a \cdot N1$ | |
| a | = | 0,8 | Promedio supervivencia |

| | | |
|-------------------|---|-------------------------------|
| $\ln(\text{VOL})$ | = | $a + b \cdot \ln(\text{dap})$ |
| a | = | -8,281 |
| b | = | 2,2533 |
| c | = | 0 |
| r^2 | = | 98 |

| | | |
|-------------------|---|-------------------------------|
| $\ln(\text{PSL})$ | = | $a + b \cdot \ln(\text{dap})$ |
| a | = | -1,997 |
| b | = | 2,1379 |
| c | = | 0 |
| r^2 | = | 90 |

CUADRO DE PREDICCIÓN DEL RENDIMIENTO

| | IS = | 12 | N1 = | 2500 | ESD11 = | 4,00 | | | |
|-----------|--------|--------|-------|-----------------------|------------------------|----------|----------|----------|------------|
| edad años | N N/ha | DCH cm | ALT m | AB m ² /ha | VOL m ³ /ha | PSL t/ha | ICA t/ha | IHA t/ha | edad meses |
| 0 | 2000 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | | | 0 |
| 0,2 | 2000 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | | | 2 |
| 0,3 | 2000 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | | | 4 |
| 0,7 | 2000 | 0,4 | 0,3 | 0,0 | 0,06 | 0,04 | | | 8 |
| 1 | 2000 | 1,2 | 1,1 | 0,2 | 0,73 | 0,39 | 0,39 | 0,39 | 12 |
| 2 | 2000 | 5,3 | 4,7 | 4,4 | 21,38 | 9,46 | 4,73 | 4,73 | 24 |
| 3 | 2000 | 9,6 | 7,5 | 14,4 | 82,54 | 34,09 | 11,36 | 11,36 | 36 |
| 4 | 2000 | 12,7 | 9,5 | 25,5 | 156,63 | 62,60 | 15,65 | 15,65 | 48 |
| 5 | 2000 | 14,7 | 10,9 | 34,0 | 216,60 | 85,14 | 17,03 | 17,03 | 60 |

Anexo 13. Crecimiento e incrementos medios anuales en dap, altura media y altura dominante para las parcelas de mangium e Indices de sitio.

| ENSAYO | SITIO | Edad (meses) | N1 (árbs/ha) | N2 (árbs/ha) | Nejes (ejes/ha) | S_VIV (%) | H (m) | IMA H (m) | Hdom (m) | dap (cm) | IMA dap (cm) | ISITIO (m) |
|----------|----------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------|--------------|----------|--------------|-------------|-------------|-----------------|---------------|
| CR001#02 | COOFRU-2 | 18 | 1600 | 1600 | 1600 | 100 | 3,91 | 2,61 | 4,70 | 3,52 | 2,35 | 14,2 |
| CR001#02 | COOFRU-2 | 37 | 1600 | 1600 | 1600 | 100 | 9,65 | 3,13 | 11,00 | 9,50 | 3,08 | 14,2 |
| CR002#01 | 1JORDN-1 | 14 | 2500 | 2300 | 2300 | 92 | 1,33 | 1,14 | 2,10 | | | 10,1 |
| CR002#02 | 1JORDN-2 | 14 | 2500 | 2500 | 2500 | 100 | 1,59 | 1,36 | 2,20 | | | 10,5 |
| CR002#03 | 1JORDN-3 | 14 | 2500 | 2200 | 2200 | 88 | 1,33 | 1,14 | 2,75 | | | 12,2 |
| CR002#04 | 2JORDN-4 | 14 | 2500 | 2400 | 2400 | 96 | 1,39 | 1,19 | 2,00 | | | 9,8 |
| CR002#05 | 2JORDN-5 | 14 | 2500 | 2100 | 2100 | 84 | 0,97 | 0,83 | 1,40 | | | 7,7 |
| CR002#06 | 2JORDN-6 | 14 | 2500 | 2000 | 2000 | 80 | 1,13 | 0,96 | 1,60 | | | 8,4 |
| CR002#07 | 3JORDN-7 | 14 | 2500 | 2400 | 2400 | 96 | 1,11 | 0,95 | 1,72 | | | 8,8 |
| CR002#08 | 3JORDN-8 | 14 | 2500 | 2100 | 2100 | 84 | 1,03 | 0,88 | 1,75 | | | 8,9 |
| CR002#09 | 3JORDN-9 | 14 | 2500 | 2500 | 2500 | 100 | 1,55 | 1,33 | 2,10 | | | 10,1 |
| CR002#10 | 0JORDN10 | 27 | 1111 | 778 | 778 | 70 | 5,38 | 2,39 | 6,70 | 9,11 | 4,05 | 12,5 |
| CR003#01 | 1SANJUAN | 45 | 2500 | 2300 | 2300 | 92 | 7,14 | 1,90 | 8,00 | 9,44 | 2,52 | 8,6 |
| CR003#02 | 2SANJUAN | 45 | 2500 | 1500 | 1500 | 60 | 6,20 | 1,65 | 7,10 | 9,83 | 2,62 | 7,7 |
| CR003#03 | 3SANJUAN | 45 | 2500 | 2100 | 2100 | 84 | 4,69 | 1,25 | 5,70 | 8,10 | 2,16 | 6,2 |
| CR003#04 | 4SANJUAN | 45 | 2500 | 1700 | 1700 | 68 | 6,69 | 1,78 | 7,50 | 10,06 | 2,68 | 8,1 |
| CR006#01 | CARHONA | 14 | 2500 | 2153 | 2153 | 86 | 1,78 | 1,53 | 2,50 | 1,73 | 1,49 | 11,4 |
| CR007#01 | COPCANE | 14 | 1600 | 1600 | 1600 | 100 | 3,29 | 2,82 | 4,10 | 4,63 | 3,97 | 16,1 |
| CR008#01 | LALINEA | 26 | 2500 | 2500 | 2500 | 100 | 9,76 | 4,50 | 11,00 | 9,75 | 4,50 | 18,7 |
| CR008#01 | LALINEA | 39 | 2500 | 2262 | 2262 | 91 | 13,01 | 4,00 | 15,50 | 13,14 | 4,04 | 18,7 |
| CR009#01 | PALMIRA1 | 13 | 1111 | 889 | 889 | 80 | 2,38 | 2,20 | 3,30 | | | 13,8 |
| CR009#01 | PALMIRA1 | 26 | 1111 | 844 | 844 | 76 | 5,83 | 2,69 | 7,20 | 6,20 | 2,86 | 13,8 |
| CR009#02 | PALMIRA2 | 26 | 1111 | 972 | 972 | 88 | 6,43 | 2,97 | 6,90 | 8,15 | 3,76 | 13,3 |
| CR012#01 | COPEL-1 | 26 | 2500 | 1979 | 1979 | 78 | 8,29 | 3,83 | 11,10 | 9,25 | 4,27 | 19,8 |
| CR013#01 | DARIO-1 | 26 | 2500 | 2333 | 2333 | 93 | 9,74 | 4,50 | 11,00 | 10,03 | 4,63 | 18,4 |
| CR013#01 | DARIO-1 | 39 | 2500 | 1667 | 1667 | 67 | 13,37 | 4,11 | 15,20 | 13,93 | 4,29 | 18,4 |

Anexo 13. Cont.....

| ENSAYO | SITIO | Edad (meses) | N1 (arb/ha) | N2 (arb/ha) | Nejes (ejes/ha) | S_VIV (%) | H (m) | IHA H (m) | Hdom (m) | dap (cm) | IHA dap (cm) | ISITIO (m) |
|----------|----------|-----------------|----------------|----------------|--------------------|--------------|----------|--------------|-------------|-------------|-----------------|---------------|
| CR501C21 | Cortezal | 18 | 1111 | 861 | 1361 | 78 | 2,40 | 1,60 | 2,90 | 2,47 | 1,64 | 9,3 |
| CR501C21 | Cortezal | 31 | 1111 | 792 | 1292 | 71 | 5,03 | 1,95 | 5,60 | 6,71 | 2,60 | 9,3 |
| CR501C29 | Cortezal | 18 | 1111 | 819 | 1667 | 74 | 3,20 | 2,20 | 4,10 | 4,36 | 2,91 | 11,2 |
| CR501C29 | Cortezal | 31 | 1111 | 792 | 1597 | 71 | 6,09 | 2,36 | 6,93 | 10,22 | 3,96 | 11,2 |
| CR501C33 | Cortezal | 18 | 1111 | 792 | 1375 | 71 | 2,90 | 1,90 | 3,40 | 3,43 | 2,28 | 10,7 |
| CR501C33 | Cortezal | 31 | 1111 | 778 | 1250 | 70 | 5,74 | 2,22 | 6,55 | 8,84 | 3,42 | 10,7 |
| CR501C42 | Cortezal | 18 | 1111 | 1069 | 1722 | 96 | 2,80 | 1,90 | 3,40 | 3,32 | 2,22 | 12,1 |
| CR501C42 | Cortezal | 31 | 1111 | 1056 | 1681 | 95 | 5,89 | 2,28 | 7,58 | 8,70 | 3,37 | 12,1 |
| CR501C46 | Cortezal | 18 | 1111 | 667 | 847 | 60 | 2,70 | 1,80 | 3,00 | 2,70 | 1,80 | 10,0 |
| CR501C59 | Cortezal | 18 | 1111 | 1014 | 1681 | 91 | 2,80 | 1,90 | 3,40 | 3,60 | 2,40 | 10,9 |
| CR501C59 | Cortezal | 31 | 1111 | 972 | 1611 | 88 | 5,84 | 2,26 | 6,70 | 8,99 | 3,48 | 10,9 |
| CR601C21 | 214 | 14 | 1111 | 611 | 694 | 55 | 1,55 | 1,33 | 2,40 | | | 13,7 |
| CR601C29 | 214 | 14 | 1111 | 792 | 889 | 71 | 2,09 | 1,79 | 3,21 | | | 16,0 |
| CR601C29 | 214 | 38 | 1111 | 778 | 875 | 70 | 11,11 | 3,51 | 12,80 | 14,24 | 4,50 | 16,0 |
| CR601C32 | 214 | 14 | 1111 | 931 | 1181 | 84 | 1,63 | 1,39 | 2,38 | | | 14,2 |
| CR601C32 | 214 | 38 | 1111 | 931 | 1181 | 84 | 9,79 | 3,09 | 11,30 | 12,18 | 3,85 | 14,2 |
| CR601C33 | 214 | 14 | 1111 | 861 | 958 | 78 | 1,42 | 1,22 | 1,99 | | | 9,8 |
| CR601C34 | 214 | 14 | 1111 | 875 | 1014 | 79 | 1,61 | 1,38 | 2,35 | | | 15,5 |
| CR601C34 | 214 | 38 | 1111 | 861 | 986 | 78 | 8,80 | 2,78 | 12,36 | 10,87 | 3,43 | 15,5 |
| CR601C35 | 214 | 14 | 1111 | 486 | 556 | 84 | 1,65 | 1,41 | 2,30 | | | 13,1 |
| CR601C35 | 214 | 38 | 1111 | 472 | 528 | 83 | 9,04 | 2,85 | 10,30 | 11,83 | 3,73 | 13,1 |
| CR601C38 | 214 | 14 | 1111 | 681 | 778 | 61 | 1,54 | 1,32 | 2,26 | | | 12,8 |
| CR601C38 | 214 | 38 | 1111 | 653 | 736 | 59 | 8,69 | 2,74 | 10,06 | 11,29 | 3,57 | 12,8 |
| CR601C39 | 214 | 14 | 1111 | 458 | 556 | 81 | 1,53 | 1,31 | 2,14 | | | 13,9 |
| CR601C39 | 214 | 38 | 1111 | 431 | 528 | 79 | 9,78 | 3,09 | 10,97 | 11,71 | 3,70 | 13,9 |
| CR601C40 | 214 | 14 | 1111 | 889 | 986 | 80 | 1,46 | 1,25 | 2,37 | | | 13,7 |
| CR601C40 | 214 | 38 | 1111 | 806 | 903 | 73 | 9,40 | 2,97 | 10,82 | 11,73 | 3,70 | 13,7 |
| CR601C41 | 214 | 14 | 1111 | 1028 | 1403 | 93 | 1,90 | 1,63 | 2,73 | | | 14,4 |
| CR601C41 | 214 | 38 | 1111 | 1014 | 1375 | 91 | 10,25 | 3,24 | 11,44 | 12,73 | 4,02 | 14,4 |
| CR601C42 | 214 | 14 | 1111 | 944 | 1236 | 85 | 1,87 | 1,60 | 2,50 | | | 17,2 |
| CR601C42 | 214 | 38 | 1111 | 931 | 1181 | 84 | 12,43 | 3,92 | 13,86 | 13,46 | 4,25 | 17,2 |
| CR601C59 | 214 | 14 | 1111 | 682 | 833 | 61 | 2,48 | 2,13 | 3,07 | | | 16,7 |
| CR601C59 | 214 | 38 | 1111 | 681 | 833 | 61 | 11,79 | 3,72 | 13,40 | 15,42 | 4,87 | 16,7 |

Anexo 13. Cont.....

| ENSAYO | SITIO | Edad (meses) | N1 (árbs/ha) | N2 (árbs/ha) | Rejes (ejes/ha) | S_VIV (%) | H (m) | IMA H (m) | Hdom (m) | dap (cm) | IMA dap (cm) | ISITIO (m) |
|----------|-------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------|--------------|----------|--------------|-------------|-------------|-----------------|---------------|
| CR601E60 | 214 | 14 | 1111 | 764 | 958 | 69 | 2,16 | 1,85 | 3,20 | | | 18,0 |
| CR601E60 | 214 | 38 | 1111 | 750 | 931 | 68 | 11,11 | 3,51 | 14,50 | 13,96 | 4,41 | 18,0 |
| CR701E21 | 319 | 15 | 1111 | 899 | 931 | 80 | 1,70 | 1,36 | 2,10 | | | 9,4 |
| CR701E32 | 319 | 15 | 1111 | 868 | 868 | 78 | 2,31 | 1,85 | 2,91 | | | 11,9 |
| CR701E34 | 319 | 15 | 1111 | 899 | 889 | 80 | 1,95 | 1,56 | 2,43 | | | 10,4 |
| CR701E37 | 319 | 15 | 1111 | 868 | 868 | 78 | 2,24 | 1,79 | 3,08 | | | 12,3 |
| CR701E38 | 319 | 15 | 1111 | 729 | 764 | 66 | 1,50 | 1,20 | 1,97 | | | 9,0 |
| CR701E40 | 319 | 15 | 1111 | 1007 | 1024 | 91 | 1,66 | 1,33 | 2,48 | | | 10,6 |
| CR701E41 | 319 | 15 | 1111 | 1000 | 1056 | 90 | 1,89 | 1,51 | 2,48 | | | 10,6 |
| CR701E59 | 319 | 15 | 1111 | 778 | 833 | 70 | 2,21 | 1,77 | 2,88 | | | 11,8 |
| CR701E60 | 319 | 15 | 1111 | 667 | 708 | 60 | 2,07 | 1,66 | 2,84 | | | 11,7 |
| CR701E92 | 319 | 15 | 1111 | 931 | 931 | 84 | 1,65 | 1,32 | 2,14 | | | 9,6 |
| HN043L16 | 105 | 14 | 2500 | 2200 | 2700 | 88 | 0,75 | 0,64 | 1,31 | | | 6,2 |
| HN043L16 | 105 | 32 | 2500 | 2200 | 2700 | 88 | 3,70 | 1,40 | 4,60 | 4,27 | 1,60 | 6,2 |
| HN043L16 | 105 | 44 | 2500 | 2200 | 2700 | 88 | 4,87 | 1,33 | 5,60 | 5,71 | 1,56 | 6,2 |
| HN043L16 | 105 | 58 | 2500 | 2100 | 2600 | 84 | 6,10 | 1,26 | 8,00 | 7,06 | 1,46 | 6,2 |
| HN043L16 | 105 | 74 | 2500 | 1900 | 2400 | 76 | 6,76 | 1,10 | 8,60 | 7,97 | 1,27 | 6,2 |
| PA015L05 | 200 | 12 | 2500 | 2344 | 2344 | 94 | 0,80 | 0,80 | 1,10 | | | 7,8 |
| PA019L05 | 303 | 12 | 2500 | 2500 | 2531 | 100 | 2,20 | 2,20 | 3,30 | 2,44 | 2,43 | 11,6 |
| PA019L05 | 303 | 24 | 2500 | 2094 | 2094 | 84 | 3,72 | 1,86 | 5,30 | 4,59 | 2,30 | 11,6 |
| PA024L01 | 404 | 13 | 2500 | 2280 | 2280 | 91 | 1,30 | 1,20 | 2,30 | | | 8,3 |
| PA024L01 | 404 | 24 | 2500 | 1760 | 1760 | 70 | 2,38 | 1,19 | 3,52 | 3,18 | 1,59 | 8,3 |
| PA025L01 | 405 | 12 | 2500 | 2420 | 3020 | 97 | 1,60 | 1,60 | 2,40 | | | 9,9 |
| PA025L01 | 405 | 26 | 2500 | 1940 | 2300 | 78 | 4,15 | 1,91 | 5,12 | 5,89 | 2,71 | 9,9 |
| PA025L01 | 405 | 36 | 2500 | 1860 | 2180 | 74 | 5,89 | 1,96 | 7,22 | 8,29 | 2,76 | 9,9 |
| PA033L01 | 810 | 12 | 2500 | 2125 | 2125 | 85 | 0,90 | 0,90 | 1,60 | | | 9,9 |
| PA068L04 | 700 | 24 | 2500 | 1440 | 1460 | 68 | 1,58 | 0,79 | 2,64 | | | 6,6 |
| PA073L01 | 413 | 13 | 2500 | 2083 | 2135 | 83 | 1,27 | 1,17 | 1,87 | | | 9,2 |
| PA073L01 | 413 | 19 | 2500 | 2031 | 2083 | 81 | 2,14 | 1,35 | 2,87 | 2,50 | 1,58 | 9,2 |

S_VIV = supervivencia (%)

H = altura media (m)

ISITIO = índice de sitio (m)

Hdom = altura dominante (m)

Anexo 14. Incrementos medios anuales en dap, altura media y altura dominante para las parcelas de eripin e Indices de sitio.

| ENSAJO | SITIO | Edad (meses) | N1 (árbs/ha) | N2 (árbs/ha) | Nejes (ejes/ha) | S_VIV (%) | H (m) | IMA H (m) | Hdom (m) | dap (cm) | IMA dap (cm) | ISITIO (m) |
|----------|-------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------|--------------|----------|--------------|-------------|-------------|-----------------|---------------|
| CR117L01 | 472 | 18 | 5000 | 4800 | 7800 | 96 | 0,84 | 0,56 | 2,00 | | | 9,5 |
| CR117L01 | 472 | 24 | 5000 | 4800 | 7800 | 96 | 1,12 | 0,56 | 2,80 | | | 9,5 |
| CR117L01 | 472 | 36 | 5000 | 4800 | 7800 | 96 | 2,40 | 0,80 | 5,00 | | | 9,5 |
| CR117L01 | 472 | 47 | 5000 | 4800 | 7800 | 96 | 3,38 | 0,86 | 8,60 | 4,20 | 1,07 | 9,5 |
| GT011L01 | 405 | 18 | 2000 | 1878 | 3102 | 94 | 3,80 | 2,53 | 6,00 | 3,66 | 2,44 | 12,9 |
| GT011L01 | 405 | 32 | 2000 | 1837 | 3020 | 92 | 6,56 | 2,46 | 8,60 | 5,80 | 2,18 | 12,9 |
| GT011L01 | 405 | 48 | 2000 | 1837 | 3020 | 92 | 8,07 | 2,02 | 10,40 | 6,66 | 1,67 | 12,9 |
| GT011L01 | 405 | 61 | 2000 | 1837 | 3020 | 92 | 9,13 | 1,80 | 12,90 | 7,04 | 1,38 | 12,9 |
| GT011L01 | 405 | 71 | 2000 | 1837 | 3020 | 92 | 9,59 | 1,62 | 13,20 | 7,12 | 1,20 | 12,9 |
| GT011L01 | 405 | 83 | 2000 | 1837 | 3020 | 92 | 9,62 | 1,39 | 13,40 | 7,41 | 1,07 | 12,9 |
| GT011L02 | 405 | 18 | 2000 | 2000 | 3673 | 100 | 4,70 | 3,13 | 6,00 | 5,48 | 3,65 | 13,0 |
| GT011L02 | 405 | 32 | 2000 | 1796 | 3469 | 90 | 8,52 | 3,20 | 10,00 | 8,03 | 3,01 | 13,0 |
| GT011L02 | 405 | 61 | 2000 | 1796 | 2980 | 90 | 11,25 | 2,21 | 13,00 | 9,45 | 1,86 | 13,0 |
| GT011L02 | 405 | 71 | 2000 | 1755 | 2490 | 88 | 11,54 | 1,95 | 13,50 | 9,57 | 1,62 | 13,0 |
| GT011L02 | 405 | 83 | 2000 | 1755 | 2327 | 88 | 12,28 | 1,78 | 13,80 | 9,99 | 1,44 | 13,0 |
| GT015L01 | 406 | 16 | 2500 | 2344 | 2500 | 94 | 3,10 | 2,33 | 5,20 | 3,05 | 2,29 | 10,9 |
| GT015L01 | 406 | 28 | 2500 | 2344 | 2500 | 94 | 5,04 | 2,16 | 6,60 | 4,72 | 2,02 | 10,9 |
| GT015L01 | 406 | 35 | 2500 | 2344 | 2500 | 94 | 5,54 | 1,90 | 7,10 | 5,07 | 1,74 | 10,9 |
| GT015L01 | 406 | 44 | 2500 | 2344 | 2500 | 94 | 7,09 | 1,93 | 8,90 | 6,27 | 1,71 | 10,9 |
| GT015L01 | 406 | 57 | 2500 | 2344 | 2500 | 94 | 7,99 | 1,68 | 10,70 | 7,07 | 1,49 | 10,9 |
| GT015L01 | 406 | 67 | 2500 | 2292 | 2448 | 92 | 8,85 | 1,59 | 12,30 | 7,68 | 1,38 | 10,9 |
| GT020L01 | 703 | 22 | 5625 | 5625 | 5625 | 100 | 1,10 | 0,60 | 1,90 | | | 6,8 |
| GT020L01 | 703 | 25 | 5625 | 5625 | 5625 | 100 | 1,84 | 0,88 | 2,80 | 1,60 | 0,77 | 6,8 |
| GT020L01 | 703 | 31 | 5625 | 5625 | 5625 | 100 | 2,49 | 0,96 | 3,70 | 2,17 | 0,84 | 6,8 |
| GT020L01 | 703 | 39 | 5625 | 5625 | 5625 | 100 | 3,77 | 1,16 | 5,00 | 3,20 | 0,98 | 6,8 |
| GT020L01 | 703 | 47 | 5625 | 5313 | 5313 | 95 | 4,45 | 1,14 | 5,70 | 3,47 | 0,89 | 6,8 |
| GT020L01 | 703 | 61 | 5625 | 2969 | 2969 | 53 | 5,39 | 1,06 | 6,60 | 4,11 | 0,81 | 6,8 |
| GT020L02 | 703 | 16 | 6875 | 6875 | 7969 | 100 | 1,10 | 0,83 | 2,10 | | | 7,6 |
| GT020L02 | 703 | 25 | 6875 | 4844 | 5938 | 71 | 2,22 | 1,07 | 3,00 | 1,89 | 0,91 | 7,6 |
| GT020L02 | 703 | 31 | 6875 | 4844 | 5938 | 71 | 3,12 | 1,21 | 4,10 | 2,71 | 1,05 | 7,6 |
| GT020L02 | 703 | 47 | 6875 | 4375 | 5469 | 64 | 4,57 | 1,17 | 6,20 | 3,86 | 0,99 | 7,6 |
| GT020L02 | 703 | 61 | 6875 | 4375 | 5313 | 64 | 5,31 | 1,04 | 7,70 | 4,26 | 0,84 | 7,6 |
| GT020L02 | 703 | 70 | 6875 | 4375 | 5313 | 64 | 5,55 | 0,95 | 7,80 | 4,46 | 0,76 | 7,6 |
| GT020L03 | 703 | 16 | 6563 | 6406 | 6406 | 98 | 1,20 | 0,90 | 2,40 | | | 6,9 |
| GT020L03 | 703 | 25 | 6563 | 5781 | 5781 | 88 | 2,15 | 1,03 | 3,30 | 2,11 | 1,01 | 6,9 |
| GT020L03 | 703 | 31 | 6563 | 5781 | 5781 | 88 | 2,98 | 1,15 | 4,40 | 2,76 | 1,07 | 6,9 |
| GT020L03 | 703 | 39 | 6563 | 5781 | 5781 | 88 | 4,15 | 1,28 | 5,60 | 3,88 | 1,19 | 6,9 |
| GT020L03 | 703 | 47 | 6563 | 5781 | 5781 | 88 | 4,79 | 1,22 | 6,50 | 4,14 | 1,06 | 6,9 |
| GT020L03 | 703 | 61 | 6563 | 5781 | 5781 | 88 | 5,42 | 1,07 | 7,00 | 4,41 | 0,87 | 6,9 |

Anexo 14. Cont.....

| ENSAYO | SITIO | Edad (meses) | N1 (árbo/ha) | N2 (árbo/ha) | Nejes (ejes/ha) | S_VIV (%) | H (m) | IHA H (m) | Hdom (m) | dap (cm) | IHA dap (cm) | ISITIO (m) |
|----------|-------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------|--------------|----------|--------------|-------------|-------------|-----------------|---------------|
| GT022L01 | 408 | 13 | 2500 | 2475 | 3425 | 99 | 1,69 | 1,56 | 3,12 | 2,12 | 1,96 | 9,5 |
| GT022L01 | 408 | 24 | 2500 | 2450 | 3400 | 98 | 3,53 | 1,77 | 5,80 | 3,17 | 1,59 | 9,5 |
| GT022L01 | 408 | 33 | 2500 | 2450 | 3325 | 98 | 4,69 | 1,71 | 7,20 | 4,17 | 1,52 | 9,5 |
| GT022L01 | 408 | 46 | 2500 | 2450 | 3325 | 98 | 5,23 | 1,36 | 8,10 | 5,04 | 1,31 | 9,5 |
| GT022L01 | 408 | 56 | 2500 | 2450 | 3200 | 98 | 5,94 | 1,27 | 9,25 | 5,55 | 1,19 | 9,5 |
| GT048L01 | 706 | 21 | 2500 | 2500 | 3100 | 100 | 4,60 | 2,63 | 6,70 | 4,57 | 2,61 | 10,6 |
| GT048L02 | 706 | 32 | 2500 | 2500 | 4531 | 100 | 5,50 | 2,06 | 7,10 | 6,18 | 2,32 | 9,6 |
| GT048L03 | 706 | 49 | 2500 | 2500 | 4219 | 100 | 6,30 | 1,54 | 7,50 | 7,32 | 1,79 | 8,3 |
| GT048L04 | 706 | 59 | 2500 | 2500 | 3906 | 100 | 6,90 | 1,40 | 8,90 | 7,55 | 1,54 | 9,0 |
| GT049L01 | 706 | 21 | 2500 | 1735 | 1735 | 69 | 4,40 | 2,51 | 6,10 | 3,66 | 2,09 | 10,3 |
| GT049L01 | 706 | 26 | 2500 | 1582 | 1582 | 63 | 5,90 | 2,72 | 7,60 | 5,15 | 2,38 | 10,3 |
| GT049L01 | 706 | 36 | 2500 | 1582 | 1582 | 63 | 6,53 | 2,18 | 8,10 | 5,61 | 1,87 | 10,3 |
| GT049L01 | 706 | 59 | 2500 | 1480 | 1480 | 59 | 8,62 | 1,75 | 10,20 | 6,02 | 1,22 | 10,3 |
| GT049L01 | 706 | 68 | 2500 | 1480 | 1480 | 59 | 8,82 | 1,56 | 10,30 | 6,41 | 1,13 | 10,3 |
| GT049L02 | 706 | 21 | 2500 | 1684 | 1786 | 67 | 3,10 | 1,77 | 4,50 | 2,68 | 1,53 | 9,7 |
| GT049L02 | 706 | 26 | 2500 | 1684 | 1786 | 67 | 4,70 | 2,17 | 6,40 | 4,28 | 1,98 | 9,7 |
| GT049L02 | 706 | 45 | 2500 | 1684 | 1735 | 67 | 6,51 | 1,74 | 8,50 | 5,13 | 1,37 | 9,7 |
| GT049L02 | 706 | 59 | 2500 | 1582 | 1633 | 63 | 7,04 | 1,43 | 9,60 | 5,95 | 1,21 | 9,7 |
| GT049L02 | 706 | 68 | 2500 | 1582 | 1633 | 63 | 7,49 | 1,32 | 10,50 | 6,10 | 1,08 | 9,7 |
| GT052L01 | 603 | 19 | 4455 | 4273 | 7818 | 96 | 2,31 | 1,46 | 3,70 | 2,81 | 1,77 | 8,6 |
| GT052L02 | 603 | 12 | 4455 | 4455 | 9909 | 100 | 1,01 | 1,01 | 1,80 | | | 9,6 |
| GT052L02 | 603 | 19 | 4455 | 4455 | 9727 | 100 | 2,67 | 1,69 | 4,90 | 3,30 | 2,08 | 9,6 |
| GT053L02 | 604 | 19 | 4444 | 3333 | 3457 | 75 | 1,31 | 0,83 | 2,95 | | | 7,9 |
| GT057L08 | 508 | 13 | 2500 | 2383 | 2773 | 95 | 1,76 | 1,62 | 2,60 | | | 6,6 |
| GT057L08 | 508 | 21 | 2500 | 2383 | 2773 | 95 | 2,43 | 1,39 | 3,70 | 2,42 | 1,38 | 6,6 |
| GT057L08 | 508 | 37 | 2500 | 2227 | 2617 | 89 | 3,46 | 1,12 | 4,45 | 3,78 | 1,23 | 6,6 |
| GT076L01 | 418 | 12 | 2500 | 2300 | 2650 | 92 | 1,20 | 1,20 | 2,78 | 1,48 | 1,48 | 8,1 |
| GT076L01 | 418 | 26 | 2500 | 2200 | 2550 | 88 | 2,42 | 1,12 | 4,48 | 2,51 | 1,16 | 8,1 |
| GT076L02 | 418 | 12 | 2500 | 2325 | 2750 | 93 | 1,42 | 1,42 | 2,87 | 1,87 | 1,87 | 9,0 |
| GT076L02 | 418 | 26 | 2500 | 2275 | 2700 | 91 | 3,19 | 1,47 | 5,55 | 3,56 | 1,64 | 9,0 |
| GT077L01 | 419 | 20 | 2500 | 2194 | 2347 | 88 | 4,49 | 2,69 | 6,30 | 4,08 | 2,45 | 12,7 |
| GT077L01 | 419 | 43 | 2500 | 1939 | 1939 | 78 | 9,30 | 2,60 | 12,00 | 6,82 | 1,90 | 12,7 |

Anexo 14. Cont.....

| ENSAJO | SITIO | Edad (meses) | N1 (árbo/ha) | N2 (árbo/ha) | Nejes (ejes/ha) | S_VIV (%) | H (m) | IMA H (m) | Hdom (m) | dap (cm) | IMA dap (cm) | ISITIO (m) |
|----------|-------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------|--------------|----------|--------------|-------------|-------------|-----------------|---------------|
| GT077L02 | 419 | 20 | 2500 | 2143 | 2398 | 86 | 4,22 | 2,53 | 6,40 | 3,58 | 2,15 | 12,7 |
| GT077L02 | 419 | 43 | 2500 | 1837 | 1939 | 74 | 10,06 | 2,81 | 12,00 | 7,77 | 2,17 | 12,7 |
| GT099L01 | 405 | 22 | 2500 | 2400 | 4300 | 96 | 5,00 | 2,73 | 6,10 | 4,53 | 2,47 | 9,0 |
| GT099L01 | 405 | 35 | 2500 | 2400 | 4300 | 96 | 5,40 | 1,85 | 7,30 | 6,49 | 2,23 | 9,0 |
| GT099L01 | 405 | 46 | 2500 | 2400 | 4300 | 96 | 7,03 | 1,83 | 8,30 | 7,04 | 1,84 | 9,0 |
| GT099L01 | 405 | 68 | 2500 | 2400 | 4000 | 96 | 7,96 | 1,40 | 9,40 | 7,57 | 1,34 | 9,0 |
| GT099L02 | 405 | 22 | 2500 | 2100 | 4000 | 84 | 5,60 | 3,05 | 6,90 | 4,89 | 2,67 | 9,7 |
| GT099L02 | 405 | 35 | 2500 | 2100 | 4000 | 84 | 7,10 | 2,43 | 8,10 | 7,10 | 2,43 | 9,7 |
| GT099L02 | 405 | 56 | 2500 | 2100 | 3700 | 84 | 8,38 | 1,80 | 9,50 | 7,98 | 1,71 | 9,7 |
| GT099L02 | 405 | 68 | 2500 | 2100 | 3600 | 84 | 8,79 | 1,55 | 9,70 | 8,23 | 1,45 | 9,7 |
| GT100L01 | 405 | 23 | 2500 | 2419 | 5161 | 97 | 4,60 | 2,40 | 6,50 | 5,12 | 2,67 | 10,2 |
| GT100L01 | 405 | 34 | 2500 | 2419 | 5161 | 97 | 5,61 | 1,98 | 7,90 | 5,95 | 2,10 | 10,2 |
| GT100L01 | 405 | 44 | 2500 | 2339 | 4758 | 94 | 6,71 | 1,83 | 9,00 | 6,54 | 1,78 | 10,2 |
| GT100L01 | 405 | 56 | 2500 | 2339 | 4597 | 94 | 7,38 | 1,58 | 10,00 | 7,03 | 1,51 | 10,2 |
| GT111L03 | 609 | 12 | 4464 | 3973 | 4107 | 89 | 1,05 | 1,05 | 2,00 | | | 8,0 |
| GT111L03 | 609 | 25 | 4464 | 3661 | 3795 | 82 | 2,32 | 1,11 | 4,18 | 2,57 | 1,23 | 8,0 |
| GT113L11 | 611 | 22 | 2500 | 1925 | 1950 | 77 | 2,94 | 1,60 | 3,93 | 2,66 | 1,45 | 8,2 |
| HN061L01 | 119 | 33 | 2500 | 2157 | 2402 | 86 | 1,20 | 0,44 | 2,90 | 2,41 | 0,88 | 5,3 |
| HN061L01 | 119 | 44 | 2500 | 2059 | 2304 | 82 | 1,40 | 0,38 | 3,90 | 2,99 | 0,82 | 5,3 |
| HN080L01 | 423 | 12 | 4261 | 4261 | 5304 | 100 | 2,18 | 2,18 | 3,30 | 2,23 | 2,23 | 9,6 |
| HN080L01 | 423 | 21 | 4261 | 4261 | 5304 | 100 | 3,54 | 2,02 | 5,60 | 3,40 | 1,94 | 9,6 |
| HN080L01 | 423 | 32 | 4261 | 4261 | 5043 | 100 | 4,74 | 1,78 | 7,20 | 4,56 | 1,71 | 9,6 |
| HN080L01 | 423 | 44 | 4261 | 4261 | 5043 | 100 | 5,80 | 1,58 | 7,90 | 5,96 | 1,63 | 9,6 |
| HN080L01 | 423 | 57 | 4261 | 4174 | 4957 | 98 | 6,82 | 1,44 | 10,50 | 7,36 | 1,55 | 9,6 |
| HN085L06 | 128 | 19 | 2500 | 1667 | 1736 | 67 | 1,88 | 1,19 | 2,47 | | | 7,3 |
| HN085L06 | 128 | 32 | 2500 | 1250 | 1319 | 50 | 3,10 | 1,16 | 5,70 | | | 7,3 |
| HN092L02 | 129 | 19 | 2500 | 2014 | 2708 | 81 | 0,90 | 0,57 | 1,35 | | | 5,8 |
| HN092L02 | 129 | 35 | 2500 | 1944 | 2639 | 78 | 1,66 | 0,57 | 2,35 | 2,23 | 0,76 | 5,8 |
| NI032L09 | 209 | 19 | 2500 | 1800 | 2275 | 72 | 2,66 | 1,68 | 3,33 | 3,32 | 2,10 | 8,3 |
| NI033L05 | 516 | 20 | 2500 | 1875 | 2130 | 75 | 1,54 | 0,92 | 2,17 | 2,62 | 1,57 | 6,7 |
| PA019L04 | 303 | 12 | 2500 | 2313 | 2406 | 93 | 2,37 | 2,37 | 2,50 | 2,94 | 2,94 | 8,1 |
| PA019L04 | 303 | 24 | 2500 | 2313 | 2344 | 93 | 3,20 | 1,60 | 4,16 | 3,82 | 1,91 | 8,1 |
| PA024L | 404 | 24 | 2500 | 2140 | 2360 | 86 | 1,00 | 0,50 | 1,73 | | | 5,3 |
| PA025L | 405 | 26 | 2500 | 1750 | 2300 | 26 | 1,39 | 0,64 | 4,35 | | | 8,0 |

Anexo 14. Cont.....

| ENSAYO | SITIO | Edad (meses) | N1 (árbo/ha) | N2 (árbo/ha) | Nejes (ejes/ha) | S_VIV (%) | H (m) | IMA H (m) | Hdom (m) | dap (cm) | IMA dap (cm) | ISITIO (m) |
|----------|-------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------|--------------|----------|--------------|-------------|-------------|-----------------|---------------|
| PA050L04 | 816 | 12 | 2500 | 2300 | 2300 | 92 | 1,68 | 1,68 | 2,88 | 2,50 | 2,50 | 8,3 |
| PA050L04 | 816 | 26 | 2500 | 2280 | 2280 | 91 | 3,32 | 1,53 | 4,76 | 4,49 | 2,07 | 8,3 |
| PA070L03 | 819 | 13 | 2500 | 2148 | 2500 | 86 | 1,98 | 1,83 | 2,95 | 2,11 | 1,95 | 9,8 |
| PA070L03 | 819 | 27 | 2500 | 2109 | 2461 | 84 | 5,37 | 2,39 | 6,62 | 5,44 | 2,42 | 9,8 |
| PA081L01 | 401 | 29 | 2500 | 2500 | 2870 | 100 | 4,84 | 2,00 | 6,60 | 4,80 | 1,99 | 10,3 |
| PA081L01 | 401 | 41 | 2500 | 2500 | 2870 | 100 | 6,89 | 2,02 | 9,00 | 6,71 | 1,96 | 10,3 |

S_VIV = supervivencia (%)

H = altura media (m)

ISITIO = índice de sitio

Hdom = altura dominante (m)

Anexo 15. Matriz de correlación de los factores del sitio con el índice de sitio para *Acacia mangium* en América Central.

Correlation Coefficients / Prob > |R| under Ho: Rho=0 / N = 20

| | IS | ARE | ARC | PH | AL | K | P | ZN | CU | ALT | TEH | PRE | MS |
|-----|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|
| IS | 1,00 0,00 | | | | | | | | | | | | |
| ARE | 0,16 0,50 | 1,00 0,00 | | | | | | | | | | | |
| ARC | -0,12 0,63 | -0,79 0,00 | 1,00 0,00 | | | | | | | | | | |
| PH | 0,50 0,02 | 0,28 0,23 | -0,66 0,00 | 1,00 0,00 | | | | | | | | | |
| AL | 0,64 0,00 | -0,40 0,08 | 0,59 0,01 | 0,04 0,89 | 1,00 0,00 | | | | | | | | |
| K | 0,80 0,00 | 0,29 0,22 | -0,16 0,50 | 0,35 0,12 | 0,59 0,01 | 1,00 0,00 | | | | | | | |
| P | -0,43 0,06 | 0,08 0,74 | 0,09 0,72 | -0,19 0,43 | -0,23 0,32 | -0,47 0,04 | 1,00 0,00 | | | | | | |
| ZN | 0,52 0,02 | -0,04 0,85 | 0,12 0,61 | 0,32 0,17 | 0,58 0,01 | 0,48 0,03 | -0,21 0,37 | 1,00 0,00 | | | | | |
| CU | 0,74 0,00 | -0,36 0,12 | 0,46 0,04 | 0,15 0,52 | 0,89 0,00 | 0,63 0,00 | -0,24 0,31 | 0,59 0,01 | 1,00 0,00 | | | | |
| ALT | -0,24 0,30 | -0,18 0,45 | 0,22 0,35 | -0,24 0,32 | -0,09 0,69 | -0,46 0,04 | 0,63 0,00 | -0,48 0,03 | -0,11 0,64 | 1,00 0,00 | | | |
| TEH | -0,20 0,40 | -0,03 0,89 | -0,19 0,43 | 0,15 0,53 | -0,22 0,34 | 0,05 0,83 | -0,36 0,11 | 0,32 0,17 | -0,17 0,48 | -0,79 0,00 | 1,00 0,00 | | |
| PRE | 0,31 0,18 | 0,04 0,87 | 0,23 0,33 | -0,38 0,10 | 0,27 0,25 | 0,24 0,30 | -0,32 0,17 | -0,35 0,13 | 0,21 0,37 | 0,22 0,34 | -0,64 0,00 | 1,00 0,00 | |
| MS | -0,74 0,00 | 0,08 0,75 | -0,04 0,87 | -0,25 0,28 | -0,56 0,01 | -0,65 0,00 | 0,71 0,00 | -0,12 0,61 | -0,57 0,01 | 0,24 0,31 | 0,26 0,27 | -0,68 0,00 | 1,00 0,00 |

Anexo 16. Matriz de correlación de los factores del sitio con el índice de sitio para *Caesalpinia velutina* en América Central.

Correlation Coefficients / Prob > |R| under Ho: Rho=0 / N = 27

| | IS | ARE | ARC | AL | CA | ALT | TEM |
|-----|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|
| IS | 1.00 0.0 | | | | | | |
| ARE | -0.32 0.10 | 1.00 0.00 | | | | | |
| ARC | 0.48 0.01 | -0.69 0.00 | 1.00 0.00 | | | | |
| AL | -0.47 0.01 | 0.33 0.09 | -0.10 0.62 | 1.00 0.00 | | | |
| CA | 0.31 0.12 | 0.24 0.22 | -0.35 0.07 | -0.35 0.07 | 1.00 0.00 | | |
| ALT | -0.30 0.13 | 0.24 0.24 | -0.39 0.05 | 0.26 0.20 | 0.00 0.99 | 1.00 0.00 | |
| TEM | -0.30 0.13 | 0.13 0.51 | 0.19 0.33 | -0.35 0.96 | -0.20 0.31 | -0.71 0.00 | 1.00 0.00 |