

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERIA FORESTAL



**“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD, FIJACIÓN DE CARBONO Y ESTADO
DEL MANEJO SILVICULTURAL EN PLANTACIONES FORESTALES EN LA
UNIVERSIDAD EARTH, GUÁCIMO, LIMÓN”.**

**Informe de proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en
Ingeniería Forestal**

Elsa Brenes Víquez

Cartago, 2012

RESUMEN

En las zonas tropicales las plantaciones forestales proporcionan madera, protección al suelo, estimulan la regeneración natural y actualmente son consideradas como sumideros de carbono, además contribuyen en gran parte con la producción mundial de madera.

En el presente trabajo se estableció un inventario forestal continuo en plantaciones propiedad de la Universidad EARTH, en total se montaron 32 parcelas permanentes debidamente georeferenciadas, con un área de 600.25 m² cada una. Las plantaciones forman bloques con distintas especies tales como *Dipteryx panamensis*, *Terminalia amazonia*, *Carapa guianensis*, *Calophyllum brasiliense*, *Vochysia guatemalensis*, *Cordia alliodora* y *Hieronyma Alchorneoides*.

En cada parcela se registró la información dasométrica de los individuos, se evaluó el estado silvicultural y el potencial de fijación de carbono.

Se encontró que el número de árboles/ha se mantuvo entre 416-535 individuos para las distintas especies. La especie con mayor diámetro promedio y área basal es *Vochysia guatemalensis* a una edad de 11.75 años. La especie *Cordia alliodora* reportó el error de muestreo más grande en área basal con un 73% y es la especie con menos problemas o defectos en cuanto a calidad del fuste.

Los índices de calidad de troza y de calidad del árbol rondaron entre 120-305 (árboles calidad) y 1.44-3.37 respectivamente, siendo las especies *Cordia alliodora* y *Hieronyma Alchorneoides* las que brindan mejor calidad de troza y *Vochysia guatemalensis* con mejor calidad de árbol.

Terminalia amazonia fue la especie que más almacenó CO₂ /año con 47.57 t a una edad de 7.5 años y *Carapa guianensis* almacena 29.47 t, a una edad de 11.75 años.

Existen muy pocas relaciones morfométricas entre la altura de inserción de copa y la altura de los árboles así como del diámetro de copa y el diámetro a la altura del pecho.

Las plantaciones en general no se encuentran dentro de los valores de buena calidad y el principal motivo ha sido que su manejo silvicultural no ha sido oportuno.

Palabras claves: Plantaciones forestales/ Inventario forestal continuo/ Índices de calidad/ Relaciones morfométricas/Manejo silvicultural.

ACREDITACIÓN

Esta tesis de graduación ha sido aceptada por el Tribunal Evaluador de la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica y aprobada por el mismo como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura.

**EVALUCIÓN E LA CALIDAD, FIJACIÓN DE CARBONO Y ESTADO DEL
MANEJO SILVICULTURAL EN PLANTACIONES FORESTALES EN LA
UNIVERSIDAD EARTH, GUÁCIMO, LIMÓN.**

Miembros del Tribunal

Evaluador

Dagoberto Arias Aguilar, PH.D.

Director de Tesis

Elemer Briceño Elizondo, PH.D.

Elsa Brenes Víquez

Estudiante

DEDICATORIA

A DIOS TODOPODEROSO:

Por haberme dado la sabiduría y la fortaleza para que fuera posible alcanzar este triunfo.

*A los que me dejaron el mejor ejemplo de vida y me enseñaron a superar y luchar sin rendirme, **MIS ABUELOS:** María Angulo y Francisco Viquez (q.d.g).*

*Y principalmente a **MIS PADRES** y **MIS HERMANAS**, quienes han dado todo por permitirme cumplir mis sueños.*

AGRADECIMIENTOS

*“El agradecimiento dice más del que lo da
que del que lo recibe”*

A mi profesor tutor el Dr. Dagoberto Arias A. por sus consejos, dedicación e incondicional apoyo para poder realizar este proyecto.

A la Universidad EARTH, a todo su personal por su apoyo y colaboración para la ejecución del proyecto principalmente al MSc. German Obando Vargas por todos los favores, consejos y experiencia compartida.

Al miembro del tribunal el Dr. Elemer Briseño Elizondo por sus buenos consejos y ayuda durante toda la realización del proyecto.

A mis compañeros (as) que siempre me apoyaron, a mis amigas incondicionales todos estos años de carrera Monserrath Rivera y María Rodríguez y sus familias que en todo momento estuvieron ahí conmigo hasta en los momentos difíciles.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ACREDITACIÓN	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	2
Objetivo General.....	2
Objetivos Específicos.....	2
REVISIÓN LITERARIA	3
Antecedentes de las plantaciones en Costa Rica.....	3
Plantaciones Forestales: Definición.....	3
Rol de las plantaciones forestales.....	3
Plantaciones forestales en Costa Rica.....	4
Silvicultura de las plantaciones.....	5
Calidad de plantaciones.....	5
Fijación de carbono en plantaciones forestales.....	6
Patrones arquitecturales de los árboles.....	6
Modelos de predicción de crecimiento.....	7
Modelo 3PG.....	8
MATERIALES Y MÉTODOS	8
Descripción del sitio de trabajo.....	8
Proyectos de plantaciones establecidas por la EARTH.....	9
Metodología Objetivo específico 1.....	9
Metodología Objetivo 2.....	10
Metodología Objetivo 3.....	12
Metodología Objetivo 4.....	16
Metodología Objetivo 5.....	16
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
Capítulo 1. Establecimiento de parcelas permanentes.....	17
Capítulo 2. Calidad de la plantación y Fijación de Carbono.....	20

Capítulo 3. Densidad de la plantación y Arquitectura de copa.....	36
Capítulo 4. Estado actual de las plantaciones y necesidades de manejo.....	48
Capítulo 5: Primera aproximación al modelo 3PG	51
CONCLUSIONES	54
RECOMENDACIONES	55
BIBLIOGRAFÍA	56
ANEXOS	62

ÍNDICE DE CUADROS

MATERIALES Y MÉTODOS	8
Metodología del Objetivo 2	10
Cuadro 1. Determinación de la calidad del árbol completo según la calidad y posición de sus trozas individuales.....	12
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
Capítulo 1. Establecimiento de parcelas permanentes.....	17
Cuadro 1. Detalle del área efectiva de las plantaciones evaluadas.....	17
Cuadro 2. Número de parcelas por especie establecidas en las plantaciones propiedad de la EARTH.....	18
Capítulo 2. Calidad de la plantación y Fijación de Carbono.....	20
Cuadro 1. Distribución diamétrica del número de individuos de distintas especies en 32 parcelas, establecidas en la EARTH, Guácimo de Limón.....	20
Cuadro 2. Tabla resumen de las variables dasométricas de siete distintas especies identificadas en 32 parcelas establecidas en la EARTH, Guácimo de Limón.....	24
Cuadro 3. Error para la variable área basal de las distintas especies identificadas en 32 parcelas establecidas en la EARTH, Guácimo de Limón.....	26
Cuadro 4. Número de trozas comerciales por hectárea y calidad total promedio de los árboles por especie en 32 parcelas establecidas en la EARTH, Guácimo de Limón.....	33
Cuadro 5. Valor del activo biológico de carbono para las especies de las 32 parcelas establecidas en la EARTH, Guácimo de Limón.....	35
Capítulo 3. Densidad de la plantación y Arquitectura de copa.....	36
Cuadro 1. Valor de la altura dominante e Índice de Densidad del Rodal en cada una de las 32 parcelas establecidas en la EARTH, Guácimo de Limón.....	37

Cuadro 2. Relación h/d (esbeltez) de las siete especies de las parcelas establecidas en la EARTH, Guácimo de Limón.....	41
Cuadro 3. Promedio del porcentaje de copa de las siete especies de las parcelas establecidas en la EARTH, Guácimo de Limón.....	47
Cuadro 4. Índice de copa promedio de las siete especies de las parcelas establecidas en la EARTH, Guácimo de Limón.....	48
Capítulo 5: Primera aproximación al modelo 3PG	51
Cuadro 1. Índice de ajuste (FI) para comparar la exactitud de los valores.....	53

ÍNDICE DE FIGURAS

MATERIALES Y MÉTODOS	8
Figura 1. Ubicación de la Universidad EARTH.....	8
Figura 2. Proyectos establecidos por la EARTH.....	9
Figura 3. Distribución de los árboles dentro de las parcelas establecidas en la EARTH.....	10
Figura 4. Densiómetro y cámara digital con lente de ojo de pez para determinar valores de cobertura de copa en las plantaciones de la EARTH.....	14
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
Capítulo 1. Establecimiento de parcelas permanentes.....	17
Figura 1. Establecimiento de un Inventario Forestal Continuo en plantaciones propiedad de la EARTH.....	19
Capítulo 2. Calidad de la plantación y Fijación de Carbono.....	20
Figura 1. Distribuciones diamétricas de la frecuencia relativa de algunas parcelas que no siguen una distribución normal.....	22
Figura 2. Detalle de posición sociológica de los árboles en las plantaciones inventariadas en la EARTH, Guácimo de Limón.....	27
Figura 3. Detalle de la bifurcación de los árboles en las plantaciones inventariadas en la EARTH, Guácimo de Limón.....	28
Figura 4. Detalle de la inclinación de los árboles en las plantaciones inventariadas en la EARTH, Guácimo de Limón.....	29
Figura 5. Detalle de los árboles sin torceduras en las plantaciones inventariadas en la EARTH, Guácimo de Limón.....	30
Figura 6. Detalle del daño mecánico de los árboles en las plantaciones inventariadas en la	

EARTH, Guácimo de Limón.....	31
Figura 7. Detalle de la presencia de ramas gruesas de los árboles en las plantaciones inventariadas en la EARTH, Guácimo de Limón.....	32
Capítulo 3. Densidad de la plantación y Arquitectura de copa.....	36
Figura 1. Relación entre la cobertura foliar basada en el densiómetro y la cobertura foliar basada en fotografías.....	38
Figura 2. Relación entre la Cobertura Foliar basada en el Densiómetro y la Altura Dominante (m).....	39
Figura 3. Relación entre la cobertura foliar basada en el densiómetro y el Índice de Densidad del Rodal (IDR).....	39
Figura 4. Relación entre el Índice de Densidad del Rodal (IDR) y la altura dominante (m).....	40
Figura 5. Relación entre la altura de inserción de la copa y la altura total del árbol de las siete especies de las parcelas establecidas en la EARTH, Guácimo de Limón.....	43
Figura 6. Relación entre el diámetro de la copa y el DAP de los árboles de las siete especies de las parcelas establecidas en la EARTH, Guácimo de Limón.....	45
Capítulo 5: Primera aproximación al modelo 3PG	51
Figura 1. Valores ajustados por el modelo 3PG para biomasa total, biomasa de raíces, biomasa foliar y volumen total para la especie.....	52

INTRODUCCIÓN

En las zonas tropicales las plantaciones forestales proporcionan madera, protección al suelo, estimulan la regeneración natural y actualmente son consideradas como sumideros de carbono, además contribuyen en gran parte con la producción mundial de madera (Montagnini *et al.* 2002).

En Costa Rica, el acelerado deterioro que sufren en la actualidad nuestros bosques tropicales naturales, a causa de la tala para el aprovechamiento selectivo de madera y el cambio a usos no sustentables de la tierra, aunado a un incremento en la demanda de madera y productos forestales, obliga al sector forestal a buscar soluciones para satisfacer esta demanda de madera. Tres décadas atrás, como una medida para reducir la tasa de deforestación y como una manera de controlar los procesos de degradación de los ecosistemas naturales, el Gobierno de Costa Rica impulsó en la década de los años 70's, un proyecto a escala nacional para fomentar e incentivar la reforestación con fines de producción, como resultado se plantaron miles de hectáreas donde uno de los enfoques fue el uso de especies introducidas y de rápido crecimiento y más recientemente el uso de especies maderables nativas. Este modelo de incentivos no fue sostenible por múltiples razones entre ellas técnicas por la inadecuada selección de especies, ausencia de manejo silvicultural que hizo perder la credibilidad de los beneficios esperados a futuro por la siembra de madera.

La reforestación con especies nativas en Costa Rica se ha desarrollado en torno a unas pocas especies, que presentan condiciones favorables de crecimiento y una alta demanda a nivel de mercado. Estas especies han sido principalmente laurel (*Cordia alliodora*) con 8027 ha reforestadas, roble coral (*Terminalia amazonia*) con 1956 ha y pochote (*Bombacopsis quinata*) con 326 ha aproximadamente (Herrera 2000).

Uno de los aspectos poco estudiados en el país es el cultivo forestal en diferentes modalidades de plantación, donde se hace necesario continuar innovando en temas como espaciamientos, uso de silvicultura clonal y el empleo de cultivos de ciclo corto dentro de las plantaciones con fines de captura de carbono y para fines bioenergéticos; es por eso que la Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda (Universidad EARTH) ubicada en las Mercedes de Guácimo, provincia de Limón, ha venido desarrollando proyectos de reforestación desde finales de 1991. El objetivo principal fue

la recuperación de pastizales abandonados y áreas degradadas y la búsqueda de modelos sostenibles basados en el cultivo de árboles.

Las plantaciones establecidas por la EARTH ofrecen una oportunidad de llevar a cabo estudios intraespecíficos (crecimiento, cantidad de biomasa, calidad, competencia, etc.), con las especies más promisorias para la reforestación en la región. El establecimiento de ensayos requiere de una gran inversión financiera para fines científicos y con el presente trabajo se tiene la posibilidad de realizar un análisis ex post del efecto en el manejo y las condiciones silviculturales en este tipo de plantaciones.

Objetivos

- **Objetivo General:** Evaluar la calidad, fijación de carbono y estado del manejo silvicultural en plantaciones forestales en la Universidad EARTH, Guácimo, Limón.

- **Objetivos Específicos:**
 1. Establecer una red de parcelas permanentes para monitoreo.

 2. Evaluar mediante técnicas de muestreo inferencial la calidad y fijación de carbono de los árboles en plantaciones pertenecientes a la EARTH.

 3. Estudiar las relaciones entre las distintas especies según su patrón arquitectural de copa.

 4. Evaluar el estado actual y determinar las necesidades de manejo que requieran las plantaciones para mejorar la calidad de las mismas.

 5. Sentar las bases para el uso de modelos fisiológicos para el manejo de plantaciones tropicales.

REVISIÓN LITERARIA

- **Antecedentes de las plantaciones en Costa Rica**

Hasta mediados de los noventa los bosques naturales abastecieron en forma importante a las industrias, pero luego la política restrictiva para el manejo de los bosques naturales, aumentó de manera acelerada el aprovechamiento de árboles en terrenos de uso agropecuario, donde una porción relevante de este volumen provenía de bosques degradados y deforestación. A partir del año 2002, el MINAE oficializa la Estrategia de Control de la Tala Ilegal, lo que hace más estrictos los requisitos para obtener los permisos de corta en terrenos agrícolas, momento a partir del cual, el aprovechamiento de las plantaciones forestales aumenta de manera exponencial, siendo actualmente la principal fuente de materia prima para la industria forestal, pero sin que exista una reposición adecuada del recurso, situación que está generando un escenario de desabastecimiento (de Camino, 2007), que podría tener severas repercusiones ambientales y económicas (Contraloría General de la República, 2008). Debido a esta secuencia de eventos, la estructura de las fuentes de madera cambió radicalmente, donde dos tercios del consumo de madera es provisto por plantaciones forestales, y el tercio restante proviene de bosques y terrenos agropecuarios (Obando, 2009).

- **Plantaciones Forestales :**

Definición:

Una plantación forestal se define, según FAO (2001), como un bosque establecido mediante plantación y/o siembra en el proceso de forestación o reforestación. Está integrada por especies introducidas o en algunos casos autóctonas.

Rol de las plantaciones forestales

Las plantaciones forestales han generado importantes expectativas sobre el aprovechamiento sucesivo de las especies involucradas en la producción e industrialización de la madera, no obstante que se obtienen otro tipo de beneficios al considerar una diversidad de árboles en un mismo espacio a través del tiempo (Alice *et al.*, 2004).

Una de las principales ventajas en los monocultivos de especies sobre los bosques es la capacidad de concentrar todos los recursos del sitio en el crecimiento de una especie con las características más deseables, generalmente en relación con la tasa de crecimiento y calidad de la madera. Además uno de los principales motivos por el cual se realizan estudios de investigación de plantaciones es el de proporcionar mayores rendimientos y beneficios de los monocultivos tradicionales a nivel de gestión (Matthew, 2006).

Plantaciones forestales en Costa Rica:

Algunas experiencias demuestran que las plantaciones con especies nativas tienen un buen potencial para acelerar los procesos de recuperación de áreas degradadas (Guariguata et al. 1995, Powers et al. 1997, Montagnini 2001a).

En el caso particular de Costa Rica, la información referente a plantaciones es escasa o nula. En algunos casos se refiere a un total proyectado en función de lo que históricamente se ha registrado versus lo que se ha consumido. Si intentamos determinar cuánto de esto está en pie, la ecuación es aún más complicada. Dado que se desconoce el total de plantaciones forestales en el país, ha sido imposible determinar cuánto es el potencial de producción de madera industrial de las plantaciones. Según proyecciones de Arce y Barrantes (2004), Costa Rica se encuentra en vías de enfrentar una fase crítica en el suministro de madera de plantaciones forestales y la única forma de definir políticas efectivas para reducir el impacto de esta situación es determinar la situación actual de la base forestal de las plantaciones forestales a nivel nacional (Corella, 2009).

La reforestación con especies nativas en Costa Rica se ha desarrollado en torno a unas pocas especies, que representan condiciones favorables de crecimiento y una alta demanda a nivel de mercado (Herrera, 2000). Los estudios con especies nativas establecidas en las tierras bajas de Costa Rica (Montagnini *et al* 1993, 1995), son otro ejemplo, en el cual se comparó el crecimiento y otros parámetros como: daño de pesticidas y economía, en plantaciones puras y mixtas. Los resultados más relevantes a partir de mediciones efectuadas a los 2 y 4 años de edad, muestran que el dap fue mayor

en plantaciones mixtas que en bloques puros, con combinaciones de especies de rápido crecimiento. La comparación en general es que las especies en plantaciones mixtas tuvieron rendimientos relativamente mayores con la ventaja adicional que pueden incluirse especies de alto valor económico. Según resultados específicos, las especies con más altos valores de área basal y volumen fueron: *Jacaranda Copaia*, *V. koschnyi*, *T. amazonia* y *H. alchoneoides* en bloques puros, pero a los 48 meses, en uno de los bloques experimentales, los árboles de *J. copaia* (Aubl.) D. Don, y *Vochysia guatemalensis* D. Sm., tuvieron el mayor dap en plantaciones mixtas que puras. Otro caso el de *Hyeronima alchoneoides*, que a los 24 meses alcanzó la mayor altura y dap. Los dap mayores alcanzados en plantaciones mixtas, probablemente se debió a la menor competencia interespecífica y a la alta variación espacial de luz y micro hábitat en bloques mixtos (Mollinedo, 2002).

Silvicultura de las plantaciones:

El desarrollo de la silvicultura moderna de plantaciones, está sin duda basado en la productividad y retribuciones económicas que ésta pueda darle al inversionista (Murillo y Badilla, 2004).

Muchas plantaciones, se han perdido debido a la mala selección de sitios, mala calidad del material vegetativo y desconocimiento sobre el comportamiento de las especies. Aun así, existe una necesidad de información, de manera que cumplan un papel importante dentro del proceso de planificación en la producción forestal (Alice *et al.*, 2004).

La evaluación del manejo silvicultural se realiza mediante la valoración de las prácticas silviculturales y de las condiciones presentadas por los árboles (Torres, 2007).

Calidad de plantaciones:

Una técnica más sostenible y rentable que permite aumentar la biodiversidad y estabilidad de los sistemas es la utilización de asociaciones de especies forestales, orientadas a la obtención de madera de alto valor y a un aprovechamiento óptimo del recurso suelo (Loewe, 2003).

El concepto de calidad puede resultar ambiguo si no se define con claridad el modelo ideal a seguir, en este caso, de plantación forestal de alta productividad y fustes con alto

potencial de aprovechamiento industrial, con especial énfasis en la industria de aserrío o desenrollado. Se asume con esto, que la calidad para aserrío/desenrollado ó mercado de madera sólida, es el de mayor exigencia en las características del fuste del árbol. Otros objetivos de plantación (producción de papel, aglomerados, carbón, energía, etc.) son por lo general menos exigentes y por tanto, los criterios de calidad para aserrío superan y satisfacen plenamente los requerimientos para estos otros tipos de industria (Murillo, 2009).

Fijación de carbono en plantaciones forestales

Es necesario conocer la capacidad de los ecosistemas forestales y agroforestales para captura carbono y así determinar la compensación económica que deben recibir los propietarios de la tierra por el servicio ambiental de captura de carbono atmosférico y mitigación del cambio climático prestado a la sociedad (Fonseca *et al.*, 2008). La estimación del carbono incluye la cantidad almacenada en la biomasa “sobre el suelo”, o sea, en fustes, ramas, follaje, raíces, mantillo (necromasa fina y gruesa) y sotobosque.

Patrones arquitecturales de los árboles:

El concepto de modelo arquitectural abarca la estrategia del árbol para constituirse y ocupar su espacio vital, definiendo el ideotipo de la especie. Normalmente está definido por un número reducido de clases diferentes de ejes vegetativos desde el fuste hasta las ramas y ramillas laterales (Mutke, 2005).

La descripción de la arquitectura del árbol a través de diferentes parámetros de copa ofrece la posibilidad de caracterizar árboles y rodales, ya sea para la toma de decisiones sobre manejo silvicultural (aspectos de podas, aclareos y evaluación de la calidad de plantaciones) o para fines de investigación (crecimiento y rendimiento) (Arias, 2005).

Los estudios sobre la arquitectura de árboles involucran tres fases básicas para su desarrollo: la identificación y caracterización de los diferentes elementos que conforman el sistema, el esquema relativo de los ejes y su relación jerárquica y, por último, la secuencia en la que los diferentes componentes del sistema aparecen y se desarrollan (Jourdan et ál. 2000). Los métodos empleados en arquitectura permiten observar a los individuos del ecosistema como entes dinámicos en los cuales tres factores son fundamentales en la regulación de su plan de crecimiento y desarrollo: la

genética, la morfogénesis y las condiciones del medio (Jiménez 2002, Jiménez et ál. 2002). Existen tres conceptos básicos y fundamentales para la arquitectura vegetal, la unidad arquitectural, la reiteración y el modelo arquitectural.

El tamaño y la alometría de los árboles se ven fuertemente afectados por la densidad de la plantación, a través de su influencia en la intensidad de la competencia intraespecífica. Las plantaciones se establecen generalmente en densidades que son lo suficientemente altas como para provocar sombras de las ramas más bajas y por lo tanto mejorar la calidad de madera en las primeras etapas de desarrollo del rodal. (Matthew, 2006).

La relación entre la tasa de crecimiento en altura de los individuos y el grado de tolerancia a la sombra juega un papel importante en las plantaciones (Menalled et al., 1998). En general, las especies que no toleran la sombra crecen rápidamente en altura, establecen un mayor crecimiento de tallos y ramas, y una baja densidad de área foliar (Haggar and Ewel, 1995; Canham et al., 1994; Sheil et al., 2006).

Modelos de predicción de crecimiento

El estudio del crecimiento y de la producción presente y futura de los árboles y rodales forestales es básico y fundamental para la planificación y administración forestal (Moscovic, 2004).

Es evidente la existencia de una correlación biológica y matemática entre parámetros del crecimiento y la correspondiente productividad, ya sea madera o de cualquier otra índole biológica. Entre esas correlaciones se han ensayado modelos de producción y crecimientos estructurados en procesos de integración de modelos de crecimiento (Imaña, 2008).

Los modelos de producción reflejan diferentes prácticas silviculturales, filosofías de modelado y niveles de complejidad matemática. Algunos modelos específicamente para la dinámica vegetal se han clasificado en: Modelos analíticos, Modelos estadísticos, Modelos lotéricos y Modelos de simulación.

No obstante, la clasificación más reciente y amplia para los diferentes enfoques del modelado del crecimiento y de la producción, fue la propuesta por DAVIS & JOHNSON (1987).

Modelo 3PG:

Es un modelo de crecimiento forestal basado en balance de carbono. Es una herramienta práctica y accesible tanto para los gestores como para la comunidad científica. Combina descripciones simplificadas de procesos biofísicos y relaciones empíricas (Landsberg, 1997). El modelo 3PG requiere un pequeño ajuste para obtener estimaciones realistas del crecimiento de las plantaciones y bosques. Ya ha sido utilizado en plantaciones forestales en Suramérica y Asia.

MATERIALES Y MÉTODOS

- **Descripción del sitio de trabajo**

El estudio se llevó a cabo en el campus de la Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda (Universidad EARTH) ubicada en las Mercedes de Guácimo, provincia de Limón (Ver figura 1).

La Universidad EARTH se encuentra localizada en las planicies costeras del Caribe de Costa Rica ($10^{\circ} 10' N$; $83^{\circ} 37' O$). La zona de vida donde se encuentra la universidad es bosque muy húmedo premontano con transición a basal (Bolaños y Watson, 1993). La altitud del lugar es de 64 m.s.n.m, con una precipitación de 3464 mm distribuidos a través de todo el año y una temperatura promedio de $25.1^{\circ}C$. El suelo más típico es andisol con variaciones de ph entre 4.8 y 5.0.



Figura 1. Ubicación de la Universidad EARTH.

Fuente: Google Earth.

- **Proyectos establecidos por la EARTH:**

La EARTH ha establecido varios proyectos de reforestación, los mismos poseen el nombre de: Proyecto Institucional, Proyecto Rotterdam 1 y Proyecto Rotterdam 2. (Ver figura 2).

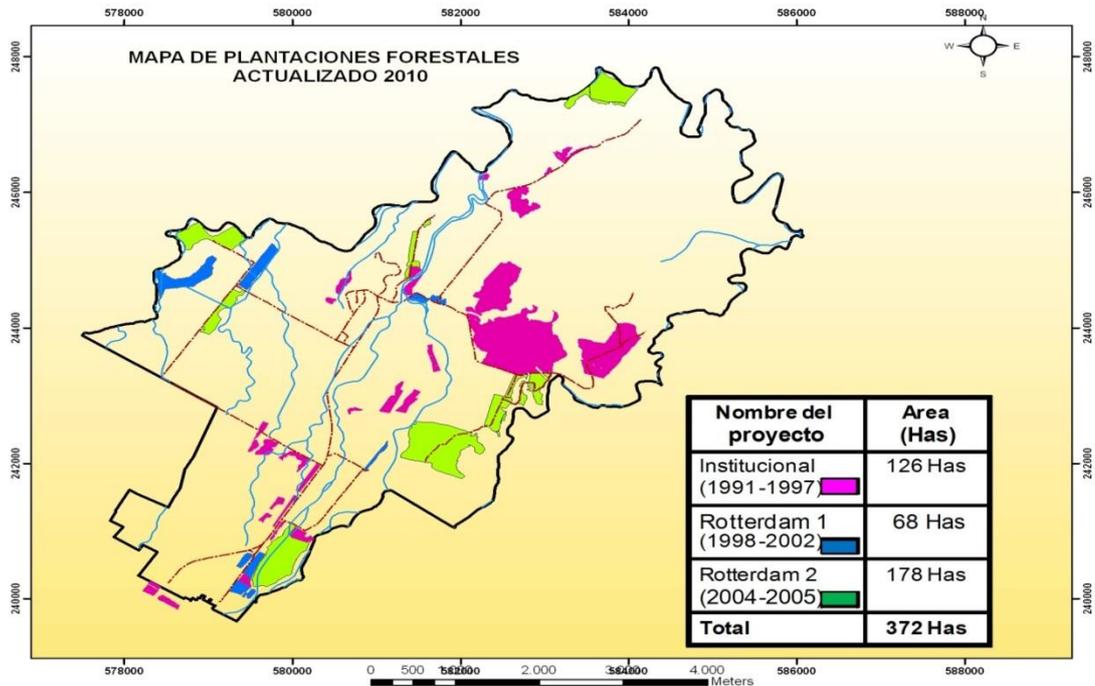


Figura 2. Proyectos establecidos por la EARTH.

Fuente: EARTH, 2010.

Metodología Objetivo específico 1. Establecimiento de una red de parcelas permanentes para monitoreo.

Para establecer las parcelas primero se hizo un levantamiento con GPS del área efectiva de algunas plantaciones pertenecientes a los proyectos Rotterdam 2 e Institucional. Una vez determinada el área se procedió a establecer las parcelas a una intensidad de muestreo del 3.5 % en las plantaciones, el tamaño de las mismas fue de 7x7 árboles para un área de 441 m²). La forma en que se fueron marcando los árboles en cada parcela se muestra en la siguiente figura.

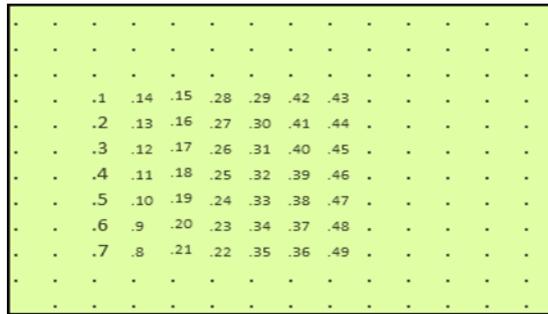


Figura 3. Distribución de los árboles dentro de las parcelas establecidas en la EARTH.

Metodología del Objetivo 2: Evaluar mediante técnicas de muestreo inferencial la calidad y fijación de carbono de los árboles en plantaciones pertenecientes a la EARTH.

- **Información recolectada en las parcelas permanentes de muestreo:**

Dentro de cada una de las parcelas se midieron todos los árboles y se tomaron las siguientes variables: diámetro a la altura del pecho en cm (dap), altura total, altura comercial, altura a la base de la copa y radios de copa.

Para evaluar la calidad de la plantación se tomaron en cuenta las variables descritas en el formulario de campo para la evaluación de calidad en plantaciones forestales (Murillo & Camacho, 1998) (Anexo 1), donde se midieron las siguientes variables cuantitativas: presencia de bifurcación o ramas en reiteración (en competencia con la yema dominante); si está inclinado en más de un ángulo de 30° con respecto a un eje vertical imaginario (1 = no inclinado, 2 = inclinado); si ha sido deshijado (1 = deshijado, 2 = no deshijado); rectitud del fuste (1 = para trozas perfectamente rectas y cilíndricas, 2 = trozas con torceduras leves, 3 = para individuos severamente torcidos); si han sufrido daño mecánico (1 = sí, 2 = no); ángulo de inserción de ramas (1 = mayor a un ángulo de 45°, 2 = menor a ese mismo ángulo); estado fitosanitario (1 = sano, 2 = ligeramente afectado, 3 = severamente enfermo o en proceso de muerte). Todas las variables se utilizarán para conformar las variables de calidad a cada una de las 4 trozas comerciales (de 2,5 metros de largo a partir de la base, hasta la cuarta troza o los 10 metros de alto) como sigue:

Calidad 1: trozas completamente rectas o levemente torcidas, con ausencia de problemas fitosanitarios y cualquier otro defecto visible que afecte su valor económico.

Calidad 2: trozas con fuste levemente torcido o con ramas que se insertan a menos de 45°, o con presencia de ramas gruesas.

Calidad 3: trozas con defectos severos pero que permiten algún nivel de aprovechamiento.

Calidad 4: Trozas no aserrables debido a sus severos defectos.

- **Análisis de la información:**

Se calculó el área basal y el volumen total promedio por hectárea. Para ello se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$\text{Área Basal: } \pi/4 * \text{dap}^2$$

dónde:

dap: diámetro a la altura del pecho (1.3 m).

N: número de individuos.

$$\text{Volumen total: } \pi/4 * \text{dap}^2 * h * f$$

dónde:

h: altura total del árbol.

f: factor de forma (0.65) según recomendación del PH.D. Dagoberto Arias Aguilar.

Para las especies cebo y pilón se utilizaron las siguientes ecuaciones para determinar volumen:

Cebo:

$$\text{Vol. (m3)} = -0,03299 + 0,0000929 * (\text{dap})^2 + 0,000289 * (\text{dap} * \text{H}) + 0,0000203 * (\text{dap}^2 * \text{H}).$$

Pilón:

$$\text{Vol. (m3)} = e^{-10.35438 + 2.10527 \text{ Ln}(d) + 0.84762 \text{ Ln}(h)}$$

Ambas ecuaciones fueron tomadas del manual para cada especie del CATIE.

Para determinar el error del área basal se utilizaron las siguientes formulas:

Error estándar de la media $s_x = \frac{s}{\sqrt{n}} * \sqrt{1 - \frac{n}{N}}$ (S_x):

Error absoluto (E): $E = S_x * t_{\alpha/2, n-1}$

Se utilizó la prueba Shapiro-Wills mediante el software InfoStat para verificar que las variables cuantitativas siguieran una distribución normal.

La calidad del árbol completo se determinó ponderando la calidad de sus trozas individuales según su posición en el fuste utilizando los siguientes algoritmos del cuadro 1:

Cuadro 1. Determinación de la calidad del árbol completo según la calidad y posición de sus trozas individuales

No. de trozas calificadas	Algoritmo
1	T1
2	0,6*T1 + 0,4*T2
3	0,45*T1 + 0,33*T2 + 0,22*T3
4	0,4*T1 + 0,3*T2 + 0,2*T3 + 0,1*T4
5	0,35*T1 + 0,25*T2 + 0,2*T3 + 0,15*T4 + 0,05*T5

T1 = valoración de calidad de la troza 1; valoración de calidad de la troza 2; etc...

Para calcular carbono (t/ha/año) se utilizaron las siguientes formulas:

$$C = \text{Vol total} * DM * F_{\text{copa}} * F_{\text{raíces}} * FC$$

Dónde:

C= Contenido de carbono por hectárea en toneladas

DM= densidad de la madera

F_{copa} = factor de expansión de copa (1.3)

$F_{\text{raíces}}$ = factor de expansión de raíces (1.2)

FC = factor de carbono (0.5)

Luego:

$$C * 3.67 = t \text{ de } CO_2$$

Metodología Objetivo 3: Estudiar las relaciones entre las distintas especies según su patrón arquitectural de fuste y copa.

Para calcular la altura dominante se escogieron los 6 árboles más altos y se sacó un promedio en cada una de las parcelas establecidas.

Para el manejo de la densidad del rodal se utilizará el Índice de Densidad del Rodal (IDR), el IDR expresa en forma matemática la relación entre el tamaño de los árboles y la densidad del rodal, a través de la siguiente ecuación:

$$IDR = N * (d/25) - b$$

Dónde:

N = número de árboles por hectárea

d = diámetro promedio de la plantación

b = constante definida con un valor de $-1,605$ por Reineke (1933) y utilizada extensivamente en muchos trabajos sobre densidad del rodal.

Mediante dos técnicas se recolectó información para el análisis de cobertura de copa, la primera utilizando el instrumento de medición llamado densiómetro de copas, este artefacto mediante un tipo de espejo que lleva dentro, puede reflejar el dosel en lo alto lo que permite calcular que porción del espejo está bloqueada por los doseles de los árboles.

La segunda técnica fue mediante fotografías tomadas con una cámara digital con lente de ojo de pez (ver figura 4).



Figura 4. Densiómetro y cámara digital con lente de ojo de pez para determinar valores de cobertura de copa en las plantaciones de la EARTH.

- **Toma de la información:**

Densiómetro: para determinar el valor de cobertura de copa se contó el número de cuadritos dentro del densiómetro que no estaban cubiertos por follaje, esto se hizo en el centro de las parcelas en cuatro direcciones diferentes. El promedio de estos valores se multiplico por 4.27 para obtener el estimado de la densidad del dosel y luego a 100 se le resto ese valor y se obtuvo la cobertura de copa.

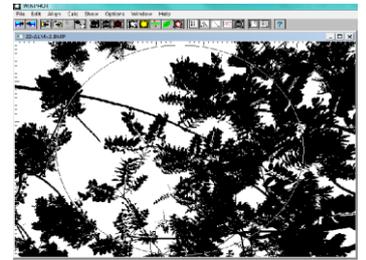
Cámara digital: en el centro de cada parcela se tomaron 5 fotografías al follaje en blanco y negro. Luego se escogió la mejor fotografía y el programa Paint se guardó la fotografía en formato Mapa de bits monocromático, seguidamente en el programa Adobe Photoshop CS3 se abrió la foto para guardarla en formato *.bmp y modificar el tamaño de la misma. Finalmente mediante el programa Winphot se determinó la cobertura de copa. En el siguiente esquema se puede observar el resultado de las fotografías.



Fotografía con cámara digital



Fotografía monocromática y en formato *bmp



Fotografía en Winphot

- **Relaciones morfométricas:**

Para determinar estas relaciones se utilizaron los siguientes parámetros:

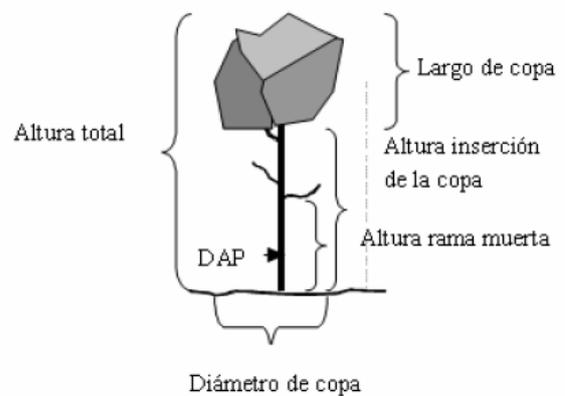
Porcentaje copa= $(\text{Largo de copa}/\text{Altura total}) * 100$

Grado de cobertura de copa= $\text{Largo de copa}/\text{Altura total}$

Índice de copa= $\text{Largo de copa}/\text{Diámetro de copa}$

Forma de copa= $\text{Diámetro de copa}/\text{Largo de copa}$

Índice de espacio vital= $\text{Diámetro de copa}/\text{Dap}$



Esbeltez= Altura total/Diámetro del árbol

Tomado de: Morfometría del árbol en plantaciones forestales tropicales (Arias, 2005)

Metodología Objetivo 4. Evaluar el estado actual y determinar las necesidades de manejo que requieran las plantaciones para mejorar la calidad de las mismas.

La evaluación del manejo silvicultural se realizó mediante la valoración de las prácticas silviculturales y de las condiciones presentadas por los árboles

Metodología Objetivo 5. Para la primera aproximación del modelo 3PG se decidió trabajar solo con la especie *Hieronyma Alchorneoides* por la disponibilidad de datos que se tenían y del tiempo con el que se contaba.

Los datos utilizados que se usaron fueron recolectados en campo y otros obtenidos del Manual del CATIE.

El trabajo con el modelo fue completamente realizado en hojas excel.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Capítulo 1. Establecimiento de parcelas permanentes

Uno de los principales intereses que la Universidad EARTH requería, consistía en el establecimiento de una red de parcelas permanentes para el monitoreo de sus plantaciones. El fin primordial del establecimiento de estas parcelas fue generar información base, que paulatinamente se pudiera incrementar con nuevas parcelas y mediciones posteriores.

Por lo tanto, primero se procedió a levantar el área efectiva de los sitios donde se establecieron las parcelas, la información recolectada se presenta a continuación en el cuadro 1.

Cuadro 1. Detalle del área efectiva de las plantaciones evaluadas.

Proyecto	Plantación	Área total (ha)	Especie	Área de la especie (ha)
Institucional	Finca Bananera	72,651	<i>Vochysia guatemalensis</i> (Cebo)	13,34
Rotterdam 2	Finca Comercial	9,689	<i>Dipteryx panamensis</i> (Almendro)	1,52
Rotterdam 2	Finca Comercial	9,689	<i>Hieronyma Alchorneoides</i> (Pilón)	2,77
Rotterdam 2	Finca Comercial	9,689	<i>Terminalia amazonia</i> (Amarillón)	3,05
Rotterdam 2	Finca Comercial	9,689	<i>Calophyllum brasiliense</i> (Cedro)	2,34
Rotterdam 2	Tiro al Blanco	11,462	<i>Dipteryx panamensis</i> (Almendro)	1,53
Rotterdam 2	Tiro al Blanco	11,462	<i>Dipteryx panamensis</i> (Almendro)	3,20
Rotterdam 2	Tiro al Blanco	11,462	<i>Vochysia guatemalensis</i> (Cebo)	1,33
Rotterdam 2	Área P32-33	46,060	<i>Hieronyma Alchorneoides</i> (Pilón)	21,05
Rotterdam 2	Área P32-33	46,060	<i>Cordia alliodora</i> (Laurel)	4,04
Institucional	Pozo azul	32,870	<i>Carapa guianensis</i> (Caobilla)	0,71
			Total	54,86

En total fueron levantadas 54.86 ha, la plantación correspondiente a Proyecto 32-33 es la más grande con 21.05 ha de la especie *Hieronyma Alchorneoides*, por el contrario la más pequeña es la de *Carapa guianensis* con 0.71 ha.

Dentro de las 54.86 ha se establecieron las 32 parcelas con siete especies diferentes, la edad y la distribución de las mismas quedó de la siguiente manera:

Cuadro 2. Número de parcelas por especie establecidas en las plantaciones propiedad de la EARTH.

Especie	# Parcelas	Edad (años)
<i>Dipteryx panamensis</i>	5	7.5
<i>Terminalia amazonia</i>	4	7.5
<i>Carapa guianensis</i>	3	11.75
<i>Calophyllum brasiliense</i>	4	7.5
<i>Vochysia guatemalensis</i>	3	11.75
<i>Cordia alliodora</i>	3	7.33
<i>Hieronyma Alchorneoides</i>	10	7.33
Total	32	

El *Vochysia guatemalensis* y el *Carapa guianensis* son las especies de mayor edad con 11.75 años, las demás especies andan entre los 7.33-7.5 años de edad.

Cada una de las parcelas fue debidamente georeferenciada, la figura 1 muestra la distribución de las mismas dentro de las plantaciones y sus coordenadas respectivas mediante la proyección CRTM 05.

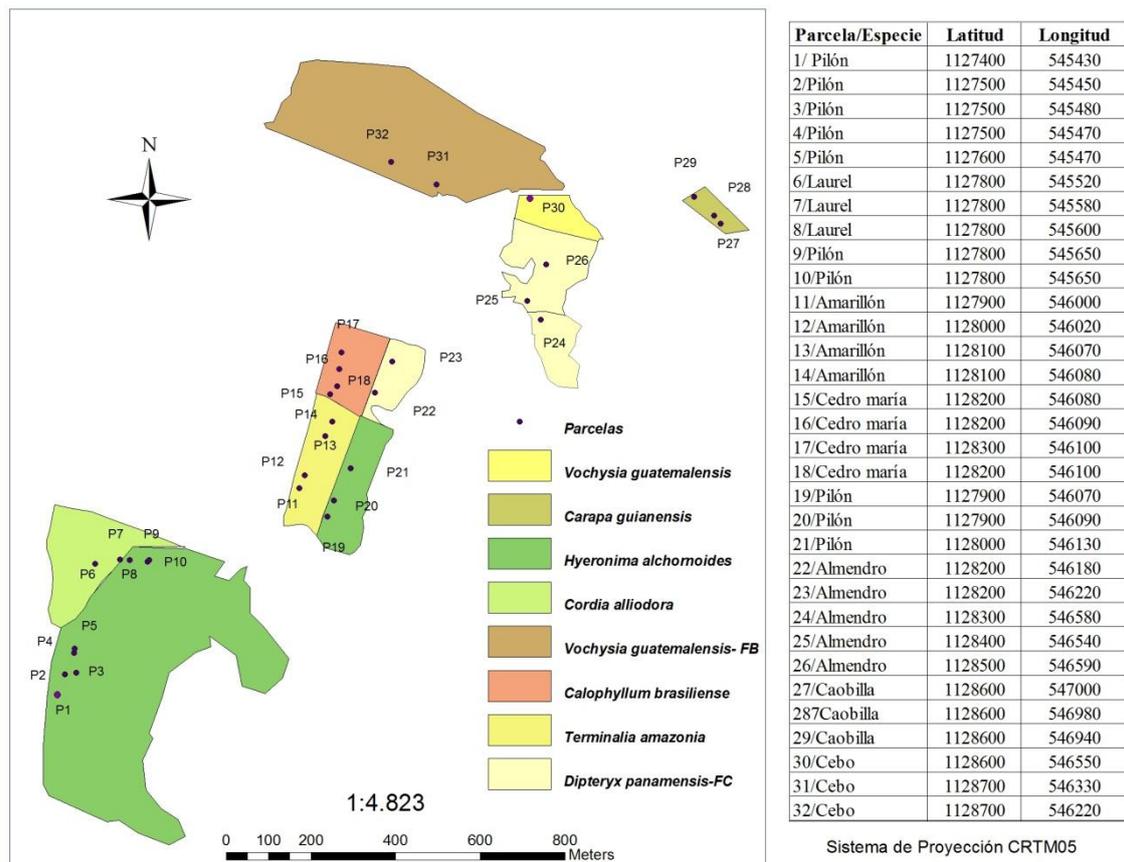


Figura 1. Establecimiento de un Inventario Forestal Continuo en plantaciones propiedad de la EARTH.

Como se puede ver las únicas dos especies que aparecen en dos plantaciones diferentes son el *Dipteryx panamensis* y el *Vochysia guatemalensis*, el *Dipteryx* se encuentra en la plantación Finca Comercial y Tiro al Blanco y el *v. guatemalensis* en Finca Bananera y Tiro al Blanco; sin embargo, no hay diferencias en la fecha de siembra de cada una de ellas en las respectivas plantaciones.

Capítulo 2. Calidad de la plantación y fijación de carbono

1. Descripción dasométrica

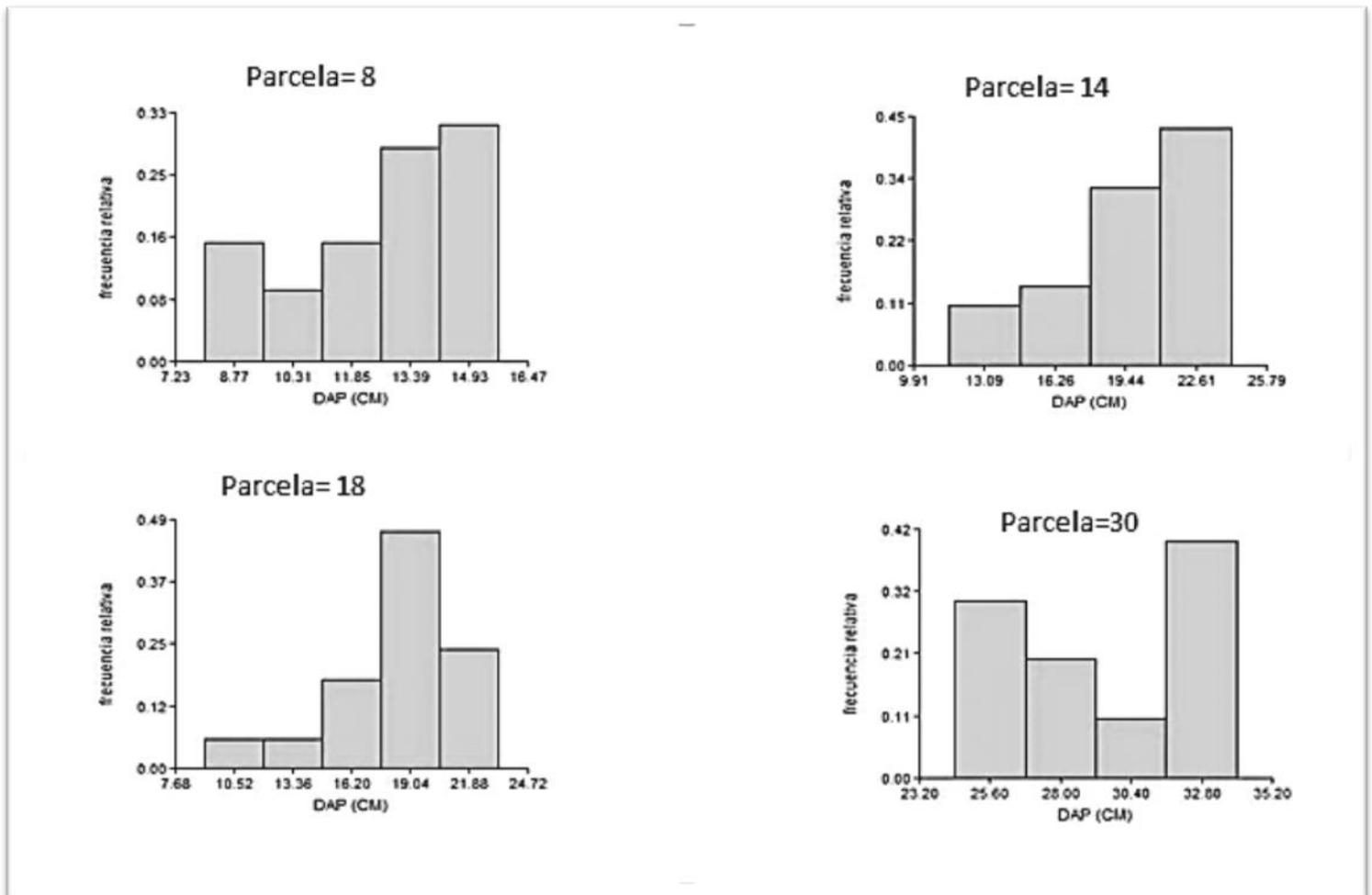
En el cuadro 1 se presenta la distribución diamétrica en cuatro categorías de cada una de las parcelas establecidas.

Cuadro 1. Distribución diamétrica del número de individuos de distintas especies en 32 parcelas, establecidas en la EARTH, Guácimo de Limón.

Parcela/ Especie	Clase diamétrica (cm)								Total general/Parcela
	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	
1/Pilón		2	25	12					39
2/Pilón			6	18	4				28
3/Pilón			11	18	7				36
4/Pilón		2	11	24	5	1			43
5/Pilón		1	7	18	12				38
6/Laurel			12	16	1				29
7/Laurel		1	13	3	1				18
8/Laurel		5	21	6					32
9/Pilón			6	16	5				27
10/Pilón	1	2	8	18	2				31
11/Amarillón			1	9	9	6			25
12/Amarillón			1	9	10	3			23
13/Amarillón			1	7	15		1		24
14/Amarillón			3	10	15				28
15/Cedro maría			2	15	7				24
16/Cedro maría			2	18	8				28
17/Cedro maría			1	12	13				26
18/Cedro maría		1	3	18	12				34
19/Pilón			7	14	6				27
20/Pilón			4	13	8	1			26
21/Pilón				16	10				26
22/Almendro		19	13						32
23/Almendro	2	11	18	1					32
24/Almendro		6	12	9					27
25/Almendro	1	15	24	1					41
26/Almendro		1	6	11	2				20
27/Caobilla			5	6	10	5	1	3	30
28/Caobilla			5	9	7	8	2		31
29/Caobilla		2	5	5	8	9	2	1	32
30/Cebo					2	8	10		20
31/Cebo			4	14	9	7	4		38
32/Cebo			1	8	9	9	3		30
Total general	4	68	238	354	197	57	23	4	945

Como se puede observar en el cuadro 1 la mayor cantidad de árboles en casi todas las parcelas establecidas se encuentra en la tercera y cuarta categoría diamétrica entre 10-20 cm. En la primera y última categoría es en donde menos individuos se reportan. La parcela que más individuos presenta es la número 4 con un total de 43 árboles, lo que indica que ninguna de las parcelas contaba con todos sus individuos vivos (49 si todos estuvieran vivos), por el contrario en la que menos individuos se reportaron fue en la parcela número 7 con un total de 18 árboles. En total se reportan 945 árboles debidamente medidos en todas las parcelas.

Utilizando el software estadístico Infostat y la prueba de normalidad Shapiro-Wilks para el diámetro se demostró estadísticamente que todas las parcelas presentan una distribución normal excepto las parcelas 8, 14, 18 y 30. En la figura 1 se presentan cuatro histogramas correspondientes a esas cuatro parcelas.



Parcela 8: *Cordia alliodora* ; Parcela 14: *Terminalia amazonia* ; Parcela 18: *Calophyllum brasiliense* ; Parcela 30: *Vochysia guatemalensis* .

Figura 1. Distribuciones diamétricas de la frecuencia relativa de algunas parcelas que no siguen una distribución normal.

La parcela 8 correspondiente a *Cordia alliodora*, es una de las parcelas con diámetro promedio más bajo (12.70 cm), la misma presenta todos sus individuos en las últimas categorías diamétricas. Como se muestra en el histograma hay un porcentaje de casi 16% de individuos de bajo diámetro inicialmente, luego decrece y vuelven a crecer manteniéndose los valores en las categorías más altas de diámetro.

Las parcelas de *Cordia alliodora* en su totalidad contaban con más del 50% de sus individuos raleados y muertos, por lo que esto puede ser un indicador de la influencia en la estructura diamétrica de una combinación entre mortalidad y posiblemente individuos raleados.

La parcela 14 de la especie *Terminalia amazonia*, tiene una distribución ascendente conforme aumenta el diámetro hasta una máxima concentración de individuos entre 20-25 cm. Esta parcela presenta un alto grado de raleo con un 57% y a nivel de campo claramente se observó que de cada dos árboles había uno cortado, lo cual revela el empleo de un raleo sistemático. Cabe mencionar que la EARTH no dispone de registros anteriores que fundamenten el criterio técnico seguido para el manejo de estas plantaciones.

Otra de las especies que no presenta distribución normal es el *Calophyllum brasiliense* en la parcela 18, la cual reporta pocos individuos en las categorías más bajas y muchos en las categorías más altas de diámetro, por ejemplo entre 18-21 cm se encuentran más de la mitad de los individuos reportados en esta parcela.

La última parcela que no presenta distribución normal es la 30 y que pertenece a la especie *Vochysia guatemalensis*, esta parcela no presenta individuos entre los 13-23 cm como si lo hacen las demás parcelas de esta especie, es decir, no presentan individuos en las categorías bajas, por el contrario el 50% de los individuos se encuentran entre los 30-35 cm de diámetro. Esta especie al igual que el *Terminalia amazonia* presentaba características en la plantación que demostraban que había sufrido raleos, tomando en cuenta lo anterior se puede deducir que posiblemente los individuos que se cortaron pertenecían a categorías diamétricas menores a los 25 cm. Nuevamente la ausencia de registros no permite analizar el criterio técnico utilizado. Muy probablemente estas intervenciones fueron parte de las prácticas académicas.

El cuadro 2 se resume todas las variables dasométricas de cada una de las especies inventariadas.

Cuadro 2. Tabla resumen de las variables dasométricas de siete distintas especies identificadas en 32 parcelas establecidas en la EARTH, Guácimo de Limón.

Especie	# Parcelas	n total	d (cm)	IMA (cm/año)	h (m)	N/ha	h com. (m)	G. Total (m ² /ha)	Vol. Total (m ³ /ha)
<i>Dipteryx panamensis</i>	5	152	11.35 ± 3.63	1.51	13.33 ± 3.27	506	2.01 ± 1.27	5.64	54.35
<i>Terminalia amazonia</i>	4	100	20.27 ± 3.61	2.70	20.18 ± 3.72	416	5.72 ± 3.05	13.86	188.83
<i>Carapa guianensis</i>	3	93	21.52 ± 6.60	1.83	19.35 ± 5.21	516	3.83 ± 3.15	20.54	288.04
<i>Calophyllum brasiliense</i>	4	112	18.94 ± 2.51	2.53	12.87 ± 2.04	466	1.51 ± 3.57	13.36	114.13
<i>Vochysia guatemalensis</i>	3	88	24.01 ± 5.68	2.04	18.06 ± 3.48	489	7.14 ± 3.52	23.36	189.91
<i>Cordia alliodora</i>	3	79	13.98 ± 2.78	1.91	14.62 ± 2.55	439	3.81 ± 2.72	6.99	69.57
<i>Hieronyma Alchorneoides</i>	10	321	16.77 ± 3.46	2.29	18.12 ± 3.61	535	4.01 ± 3.47	12.31	81.53
Total	32	945							

*(±) Desviación estándar.

La especie que más individuos presentó fue el *Hieronyma Alchorneoides* con 535 árboles/ha; sin embargo hay que tomar en cuenta que fue la especie en la que más parcelas se establecieron. La especie con mayor diámetro promedio y área basal es el *Vochysia guatemalensis* con 24.01 cm y 23.36 m²/ha respectivamente; mientras que el *Dipteryx panamensis* registró los valores más bajos 11.35 cm y 5.64 m²/ha.

Es importante señalar que el *Vochysia guatemalensis* es una de las especies nativas que alcanza los mayores valores de área basal, lo que sugiere que es un árbol que logra llegar a un nivel alto de ocupación de sitio a temprana edad (Delgado *et al.*, 2003).

Carapa guianensis es la segunda especie que mejor diámetro y área basal reportan 21.52 cm y 20.54 m²/ha, además es la que mayor volumen presenta con un promedio total de 288.04 m³/ha. Sin embargo cabe recordar que estas dos especies *Vochysia guatemalensis* y *Carapa guianensis* son las únicas de mayor edad, cerca de los 12 años.

Entre las especies de menor edad (7.3-7.5 años), la especie *Terminalia amazonia* es la que aporta mayores valores con 20.27 cm de diámetro, un área basal de 13.86m²/ha y un volumen de 188.83 m³/ha. El crecimiento de esta especie en plantaciones es moderado,

aunque varía de sitio a sitio. Para Costa Rica se ha determinado el crecimiento en términos de calidad de sitio. En sitios clasificados con crecimientos bajos con un índice de sitio (IS=9) alcanza incrementos mínimos en dap de 0.2 y 1.8 cm/año como máximo y en altura de 0.3 a 1.3 m/año como máximo, dando un promedio para dap de 1.0 cm/año y de 0.7 m en altura. En sitios medios (IS=17), los incrementos medios anuales de dap y altura son de 0.5 a 3.1 cm/año y de 0.4 a 2.4 m/año, con un promedio de 1.6 cm/año y 1.3 m/año respectivamente para cada variable. En los sitios clasificados de alta producción (IS=25) el incremento menor obtenido es de 0.9 y el máximo de 2.4 y 3.6 cm/año en promedio en dap (CATIE, sf).

Dipteryx panamensis es la especie con los valores más bajos, la baja productividad de esta especie es esperada, ya que se conoce como una especie de lento crecimiento pero alto valor de su madera . En otros estudios realizados en la zona Norte, esta especie presentó los valores más bajos en todas las variables evaluadas (Delgado *et al.* 2003). Incluso se han estimado turnos de corta para plantaciones de la especie de aproximadamente 40 años (Montagnini 2001b, 2003).

El área basal es una medida directa de la densidad, para un sitio y edad dada, ya que permite ilustrar la densidad del rodal como una agregación de N árboles en la superficie de un DAP promedio (Corvalán *et al.* 2006). Debido a la variación que hubo en el número de individuos entre las especies se determinó el error absoluto de la variable área basal para cada una de ellas, los resultados se presentan en el cuadro 3 a continuación.

Cuadro 3. Error para la variable área basal de las distintas especies identificadas en 32 parcelas establecidas en la EARTH, Guácimo de Limón.

Especie	# Parcelas	\bar{G} (m ² /ha)	Sx (m ² /ha)	E (m ² /ha)	E (%)
<i>Dipteryx panamensis</i>	5	5.64	0,53867	1,49751	26,54
<i>Terminalia amazonia</i>	4	13.86	0,37726	1,19968	8,66
<i>Carapa guianensis</i>	3	20.54	0,47977	2,06299	10,05
<i>Calophyllum brasiliense</i>	4	13.36	0,85239	2,71061	20,28
<i>Vochysia guatemalensis</i>	3	23.36	0,85743	3,68697	15,78
<i>Cordia alliodora</i>	3	6.99	1,19536	5,14004	73,49
<i>Hieronyma Alchorneoides</i>	10	12.31	0,71305	1,61150	13,09

Las dos especies que reportan la menor área basal, el *Dipteryx panamensis* y el *Cordia alliodora* son las únicas que superan un error mayor al 20%, aunque para el *Dipteryx panamensis* no es tan significativo con un 26% el *Cordia alliodora* si reporta un error cerca del 73%. Este error tiene su origen en la alta heterogeneidad en las dimensiones de los individuos y en el pequeño tamaño de muestra.

Cordia alliodora es muy susceptible a la competencia, por lo que las plantaciones deben mantenerse limpias durante los primeros años, el crecimiento depende más de la calidad de sitio que probablemente cualquier otra especie que se haya plantado en Costa Rica. En los sitios tradicionalmente usados para reforestación (pastizales compactados, laderas, etc.) la sobrevivencia y los incrementos promedios han sido muy bajos (DAP=1.0-1.5 cm/año; Altura=1.0-1.5 m/año; Volumen=5-12 m³/ha/año). En esta clase de sitios no se recomienda su plantación debido a que existen otras especies que toleran bien estas condiciones (Encuentro Regional sobre especies forestales nativas de la Zona Norte y Atlántica de Costa Rica, 1994).

Conceptos como competitividad, calidad y productividad en la actividad forestal, solo pueden ser alcanzados si se introduce una cultura de evaluación y control en las plantaciones, por lo tanto el poder conocer la calidad y el valor de la plantación forestal,

se convierte entonces en un insumo vital para la toma de decisiones oportunas (Murillo *et al.*, 2009).

La posición sociológica de la copa nos puede servir como indicador de varios aspectos propios de cada especie y que puede ser modificada a través de raleos dentro de las plantaciones.

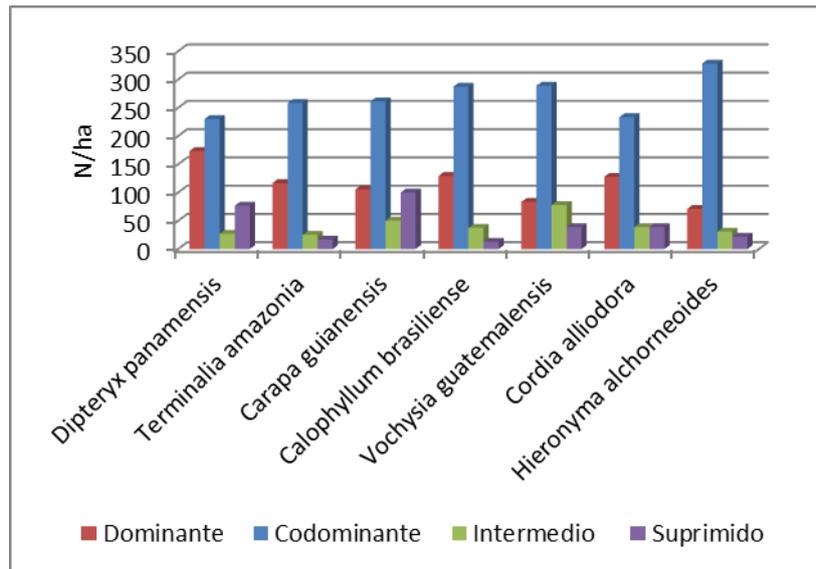


Figura 2. Detalle de posición sociológica de los árboles en las plantaciones inventariadas en la EARTH, Guácimo de Limón.

Como podemos ver la posición codominante es la que domina en todas las especies y en el caso de la especie *Hieronyma Alchorneoides* es mucho más evidente que las demás categorías y demás especies. La cantidad de individuos en las categorías intermedios y suprimidos es muy baja lo que nos dice que las plantaciones han sufrido algún raleo que ha permitido que otros árboles dentro de las mismas plantaciones aumenten el crecimiento debido a la disminución de la competencia.

En los siguientes gráficos se muestran los principales problemas que las plantaciones presentaban y que eventualmente han afectado la calidad de las mismas.

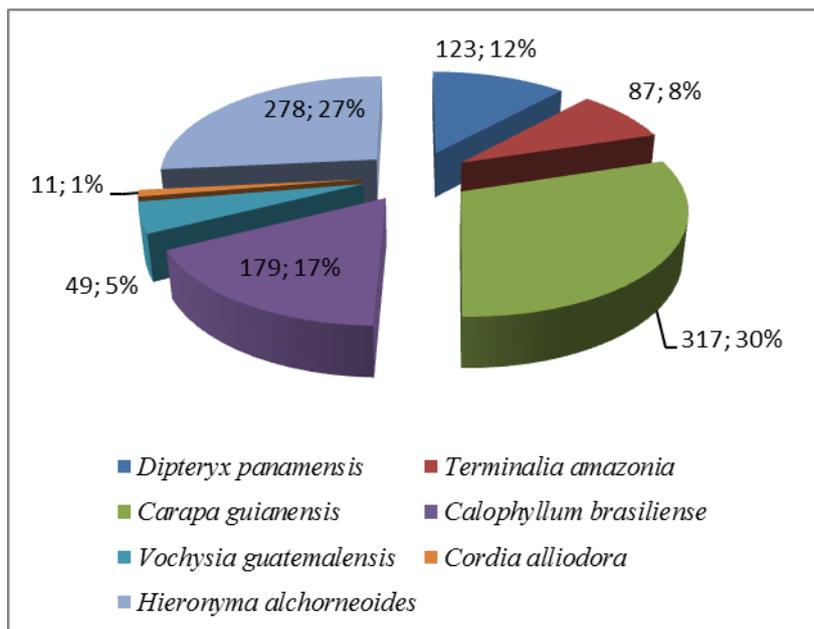


Figura 3. Detalle de la bifurcación de los árboles en las plantaciones inventariadas en la EARTH, Guácimo de Limón.

En el gráfico 3 podemos ver que las especies *Carapa guianensis* y el *Hieronyma Alchorneoides* son las que más árboles/ha bifurcados presentan con un 30% y un 27% de los árboles respectivamente. La presencia de árboles bifurcados representa un problema cuya severidad depende de dónde ocurra este defecto a lo largo del fuste (Murillo *et al.*1996). Para la especie *Cordia alliodora* esta variable es insignificante ya que solo representa un 1% del total de árboles/ha.

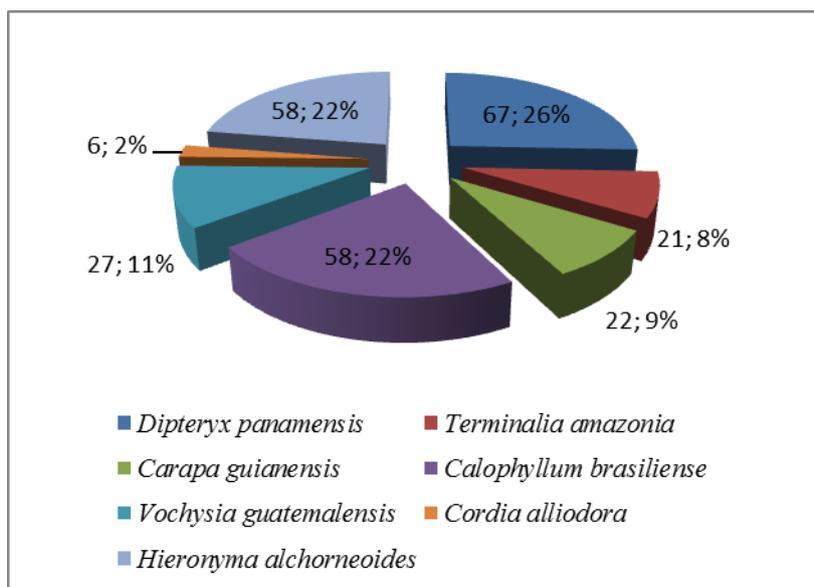


Figura 4. Detalle de la inclinación de los árboles en las plantaciones inventariadas en la EARTH, Guácimo de Limón.

La inclinación del árbol es una variable importante de incluir, el grafico 4 nos indica que la especie *Dipteryx panamensis* es la que presenta más afectación con un 26%. En el campo fácilmente se podía observar que la mayoría de los árboles de estas plantaciones estaban muy expuestas al viento, lo que pudo haber afectado y contribuido a la inclinación de los mismos. Nuevamente *Cordia alliodora* por su parte es la especie menos afectada con apenas un 2%.

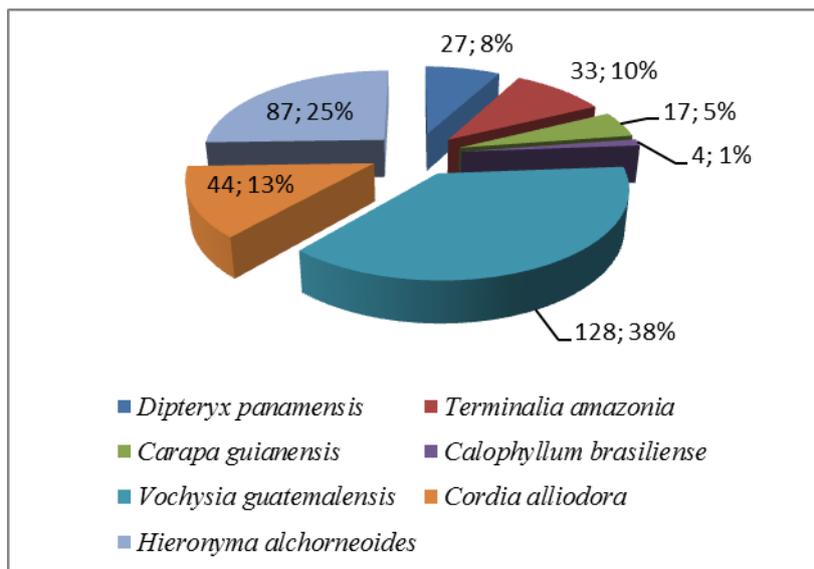


Figura 5. Detalle de los árboles sin torceduras en las plantaciones inventariadas en la EARTH, Guácimo de Limón.

El gráfico 5 muestra el número de árboles/ha que no presentan torceduras, es decir, la cantidad y porcentaje de árboles rectos. La especie *Calophyllum brasiliense* al tener apenas un 1% de sus árboles sin torceduras, el restante 99% se ve afectado por este problema; el cebo contabiliza un 38% de árboles sin torcedura lo que significa un 62% de individuos con torceduras siendo la especie que más presenta este defecto. En general todas las especies presentan una gran cantidad de árboles /ha con este defecto (más del 60%), más adelante se analizará el efecto en la calidad de las trozas de los individuos.

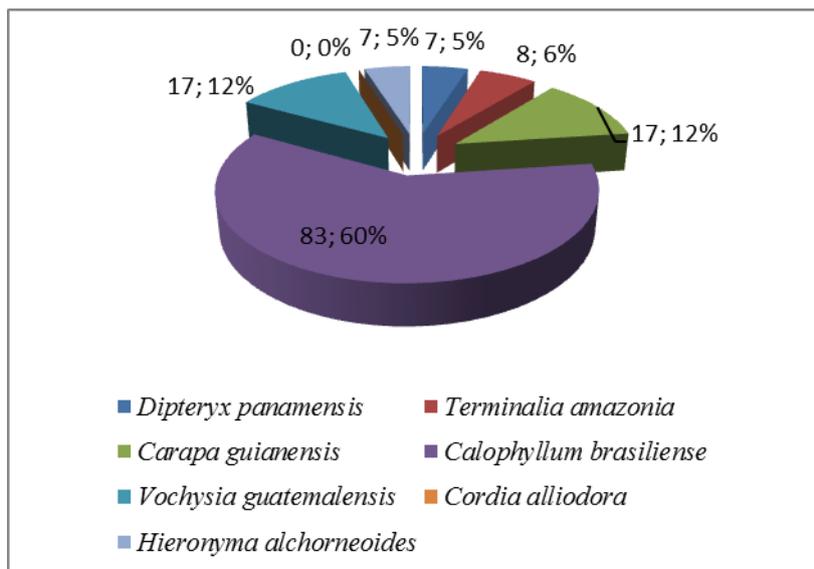


Figura 6. Detalle del daño mecánico de los árboles en las plantaciones inventariadas en la EARTH, Guácimo de Limón.

Los daños mecánicos que presenten los individuos también influyen altamente en la calidad de las trozas, en el *Calophyllum brasiliense* un 60% de los árboles reporta algún daño mecánico el cual pudo haber sido ocasionado durante las operaciones de mantenimiento, heridas en el fuste, entre otros aspectos que deterioran la calidad de los árboles. El *Cordia alliodora* no reporto ningún daño mecánico en las parcelas que se establecieron.

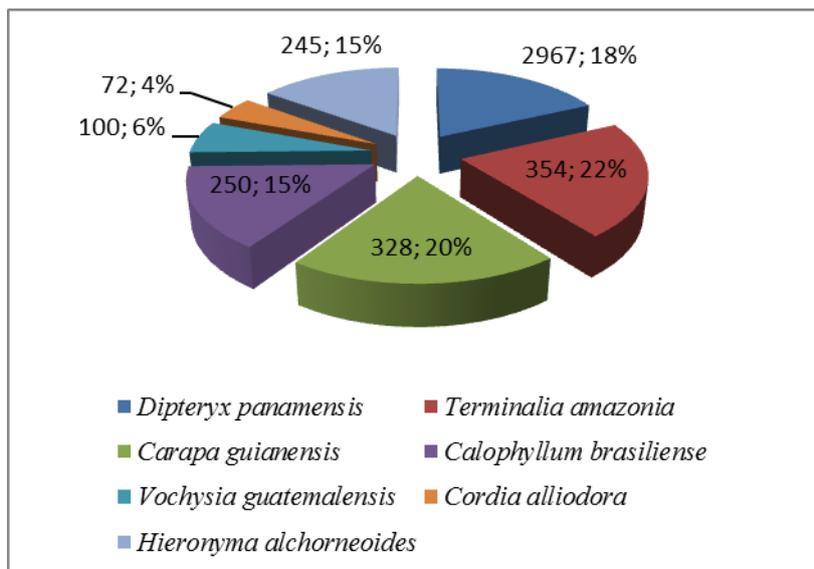


Figura 7. Detalle de la presencia de ramas gruesas de los árboles en las plantaciones inventariadas en la EARTH, Guácimo de Limón.

Del gráfico 7 se puede determinar que el los árboles de *Terminalia amazonia* tienen más presencia de ramas gruesas a lo largo de su fuste con un 22% del número de árboles/ha, estas ramas producen luego nudos muy prominentes que disminuirán la calidad del producto (Murillo, 2009). Los árboles de *Vochysia guatemalensis* y el *Cordia alliodora* no se ven tan afectadas por este problema ya que solo reportan el 6% y 4% del total de árboles/ha respectivamente.

Otros problemas como estado de sanidad, gambas o aletones y grano en espiral no fueron tan significativos dentro de las plantaciones, ya que el porcentaje de afectación fue mínimo.

El cuadro 4, muestra la cantidad de trozas comerciales por hectárea de cada una de las especies con su respectivo índice de calidad.

Cuadro 4. Número de trozas comerciales por hectárea y calidad total promedio de los árboles por especie en 32 parcelas establecidas en la EARTH, Guácimo de Limón.

Especie	Calidad de Trozas (N /ha)				Índice de Calidad de Trozas (I _{CTROZ})	Calidad del árbol (Índice)
	1	2	3	4		
<i>Dipteryx panamensis</i>	150	63	3	290	213	2.77
<i>Terminalia amazonia</i>	87	154	100	90	241	1.83
<i>Carapa guianensis</i>	150	139	50	184	289	2.02
<i>Calophyllum brasiliense</i>	58	62	4	342	120	3.37
<i>Vochysia guatemalensis</i>	89	172	100	161	261	1.44
<i>Cordia alliodora</i>	183	122	56	78	305	1.77
<i>Hieronyma Alchorneoides</i>	165	140	82	150	305	2.10

Cordia alliodora a pesar de ser una de las especies con los promedios mas bajos de diametro, altura y volumen; fue la especie que alcanzó el mayor número de trozas por hectárea calidad 1, con un total de 183 trozas/ha, seguida por el *Hieronyma alchorneoides* (pilón) con 165 trozas/ha.

Según Murillo (2000) una plantación de alta calidad es aquella que reúne al menos 400 individuos/ha de calidad 1 y 2 esto implica que una plantación con esta cantidad de individuos debería de tener al menos 1600 trozas calidad 1 y 2, que son aquellos que constituirán los árboles a cosechar en el último raleo y en la cosecha final, sin embargo ninguna de las especies cumple con esta condición generando que el valor económico final de las plantaciones sea muy bajo. Nótese que con este índice es posible determinar rápidamente si una plantación forestal merece continuar en pie, esperando su desarrollo hasta el momento de la cosecha final, o si conviene tomar la decisión de eliminarla, para iniciar una nueva plantación con mejor semilla o con una especie que se adapte mejor al sitio (Murillo, 2000). Lo anterior para efectos de manejo forestal comercial, otras consideraciones son válidas cuando el objetivo de las plantaciones busca contribuir a la

biodiversidad, corredores biológicos y servicios ambientales.

La calidad del árbol en general para todas las especies presenta valores entre 1.44 y 3.37, las plantaciones por ejemplo de *Terminalia amazonia*, *Vochysia guatemalensis* y *Cordia alliodora* son las que mejor condición de calidad presentan, estos árboles generalmente presentan trozas rectas y con mínimos defectos y que no afectan su valor económico.

Especies como *Dipteryx panamensis*, *Carapa guianensis* e *Hieronyma Alchorneoides* presentan un rango de calidad de los árboles entre 2.02-2.77; sus trozas por lo tanto presentan algún daño por ejemplo de torcedura o presencia de ramas gruesas disminuyen la calidad de las mismas.

Calophyllum brasiliense es la única especie que presenta un valor de calidad muy bajo con valores de 3.37, posiblemente las trozas de esta especie presentaban daños severos pero que a la vez permitían permitirían que se diera algún nivel de aprovechamiento.

Los resultados obtenidos hasta el momento en el presente estudio han demostrado que desde el punto de vista comercial, las plantaciones establecidas en la EARTH se encuentran con bajos niveles de calidad y por lo tanto con bajo valor comercial; sin embargo la Universidad EARTH desde hace un tiempo ha venido dando más valor a las plantaciones con un objetivo diferente a la comercialización de madera el cual ha sido la fijación de carbono en sus plantaciones forestales para mitigar gases de efecto invernadero.

En cuanto a las plantaciones forestales para fijación de carbono, es muy importante saber catalizar los espacios que se abren para la promoción de actividades sostenibles en el ámbito del uso de la tierra y los bosques. Los cálculos tradicionales de costo\beneficio tienen peso frecuentemente en contra de todo tipo de reforestación. Sin embargo, los pagos por fijación de carbono pueden ayudar a equilibrar la economía de las plantaciones forestales (Zambrano *et al.*, 2004)

Partiendo de lo anterior, en el cuadro 5 se presentan los valores de carbono (t/ha/año) y el valor anual del carbono por año (\$) que las plantaciones estudiadas han generado.

Cuadro 5. Valor del activo biológico de carbono para las especies de las 32 parcelas establecidas en la EARTH, Guácimo de Limón.

Especie	N/ha	Vol. Prom. (m3/árbol)	Vol. total (m3/ha)	Edad (años)	IMA (m3/ha/año)	Densidad (td.m.m3)	C (ton/ha/año)	x 3,67 t de CO ₂ /año	Valor anual CO ₂ /año (\$)*
<i>Dipteryx panamensis</i>	506	0,107	54,35	7,5	7,246	0,810	4,578	16,802	100,810
<i>Terminalia amazonia</i>	416	0,453	188,83	7,5	25,177	0,660	12,961	47,567	285,400
<i>Carapa guianensis</i>	516	0,558	288,04	11,75	24,514	0,420	8,031	29,474	176,841
<i>Calophyllum brasiliense</i>	466	0,245	114,13	7,5	15,217	0,510	6,053	22,216	133,293
<i>Vochysia guatemalensis</i>	489	0,389	189,91	11,75	16,162	0,450	5,673	20,820	124,919
<i>Cordia alliodora</i>	439	0,159	69,57	7,33	9,491	0,420	3,109	11,410	68,463
<i>Hieronyma Alchorneoides</i>	535	0,152	81,53	7,5	10,871	0,600	5,088	18,672	112,029

(*)Valor de una tonelada de carbono en el mercado (\$): 6

La especie *Terminalia amazonia* fue la que mayor cantidad de CO₂ /año reportó de todas las especies estudiadas con edades entre 7.33-7.5 años, con valores de 47.567 t. *Cordia alliodora* fue la que presentó el valor más bajo con 11.410 t.

Entre las especies *Carapa guianensis* y *Vochysia guatemalensis* la que mejores resultado obtuvo fue el *Carapa guianensis* con un valor de 29.474 t de CO₂/año. El *Vochysia guatemalensis* por su parte reportó valores de 20,820 t de CO₂/año.

En mediciones realizadas por la Unidad de Carbono en la EARTH (2009), para ciertas especies como *Vochysia guatemalensis*, *Terminalia amazonia*, *Hieronyma Alchorneoides* y *Dipteryx panamensis* se reportaron valores de 41.58, 24.59, 24.33 y 19.63 t de CO₂/año respectivamente.

Si bien *Hieronyma Alchorneoides* y *Dipteryx panamensis* presentan valores muy similares a los reportados, las especies *Vochysia guatemalensis* y *Terminalia amazonia* no siguen la misma tendencia. Evidentemente en ambos casos existen diferencias en el N/ha y en las edades que hacen que haya diferencias en la cantidad de CO₂ almacenado.

Para otro estudio realizado en plantaciones en la EARTH en el 2006 se pudo encontrar que para la especie *Vochysia guatemalensis* a una edad de 14 años presentaba valores de carbono de 5.66 t/ha/año y para la especie *Hieronyma Alchorneoides* de 8 años de edad un valor de 3.48 t/ha/año de C, comparados con los del cuadro anterior (cuadro 5) se puede ver que realmente existe una relación entre estos valores y que efectivamente los datos calculados concuerdan con datos reportados anteriormente.

Capítulo 3. Densidad de la plantación y Arquitectura de copa

Para evaluar el manejo de la densidad del rodal se utilizó el Índice de Densidad del Rodal (IDR). El IDR expresa en forma matemática la relación entre el tamaño de los árboles y la densidad del rodal, para interpretar los valores de IDR en prescripciones para el manejo de la densidad en plantaciones se consideraran las relaciones hipotéticas de crecimiento/densidad propuestas por Langsaeter (1941) y Long (1985). Estas relaciones permiten definir las zonas en las cuales una plantación forestal debería mantenerse para maximizar el crecimiento individual o para maximizar la producción de biomasa total.

Cuadro 1. Valor de la altura dominante e Índice de Densidad del Rodal en cada una de las 32 parcelas establecidas en la EARTH, Guácimo de Limón.

Parcela /especie	Altura dominante (m)	IDR
1/ Pílon	20,83	246,144
2/Pílon	21,17	259,628
3/Pílon	23,67	314,028
4/Pílon	22,67	370,541
5/Pílon	23,17	359,553
6/Laurel	18,83	219,924
7/Laurel	16,83	119,679
8/Laurel	16,67	179,704
9/Pílon	23,00	244,850
10/Pílon	21,33	230,718
11/Amarillón	25,67	309,075
12/Amarillón	23,33	277,802
13/Amarillón	23,17	289,823
14/Amarillón	22,83	313,159
15/Cedro maría	15,33	252,781
16/Cedro maría	15,17	296,127
17/Cedro maría	15,17	297,174
18/Cedro maría	16,00	348,907
19/Pílon	18,17	248,175
20/Pílon	21,17	274,139
21/Pílon	21,50	280,831
22/Almendro	15,50	109,087
23/Almendro	15,50	131,716
24/Almendro	16,83	158,775
25/Almendro	17,83	166,203
26/Almendro	20,33	158,399
27/Caobilla	26,00	405,896
287Caobilla	23,83	393,860
29/Caobilla	24,17	418,590
30/Cebo	21,33	431,745
31/Cebo	23,33	507,644
32/Cebo	21,83	445,148

En el cuadro 1 se puede ver que el máximo de IDR alcanzado fue de 507.64 en la parcela 31 por la especie *Vochysia guatemalensis*, estos valores comparados con otros estudios están muy por debajo de lo esperado, localizándose dentro de la zona crítica de densidad. Esta condición es un indicador de la necesidad de manejo forestal (aclareos) que siguen siendo necesarios para otros objetivos como fijación de carbono o manejo de biodiversidad. Una plantación sana es una plantación bien manejada.

En la figura 1 se puede ver que en la mayoría de los casos las fotografías sobre-estima o sub-estiman el valor de la cobertura foliar, por lo que este procedimiento si bien es más sencillo y práctico en el campo no es recomendable.

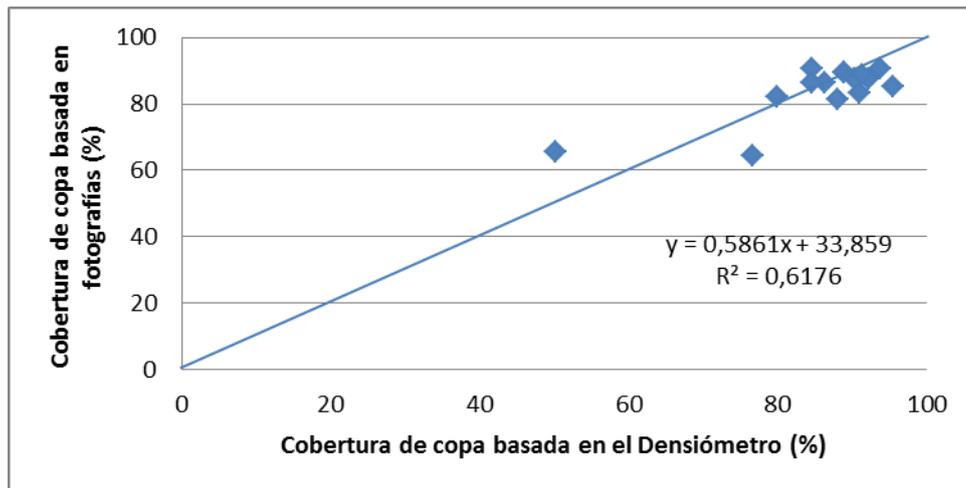


Figura 1. Relación entre la cobertura foliar basada en el densiómetro y la cobertura foliar basada en fotografías.

La figura 2 indica que no existe relación entre la cobertura foliar determinada con el densiómetro y el parámetro para inferir sobre la calidad de sitio, en este caso altura dominante, esto debido a que posiblemente las plantaciones hay tenido diferente manejo de la densidad. La cobertura de copa se encuentra entre 80-90 %.

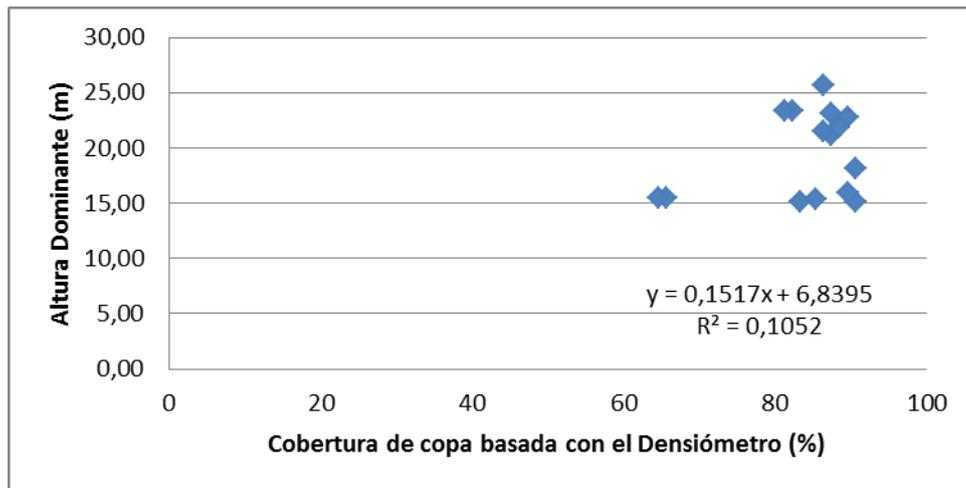


Figura 2. Relación entre la Cobertura Foliar basada en el Densiómetro y la Altura Dominante (m).

En la figura 3 se muestra una leve tendencia entre la cobertura de copa y el IDR, sin embargo no es significativa, no se puede asegurar con este estudio que un aumento en la cobertura de copa representa un aumento en la densidad del rodal, es decir, que no precisamente las plantaciones con más cobertura de copa son las que tienen mayor competencia.

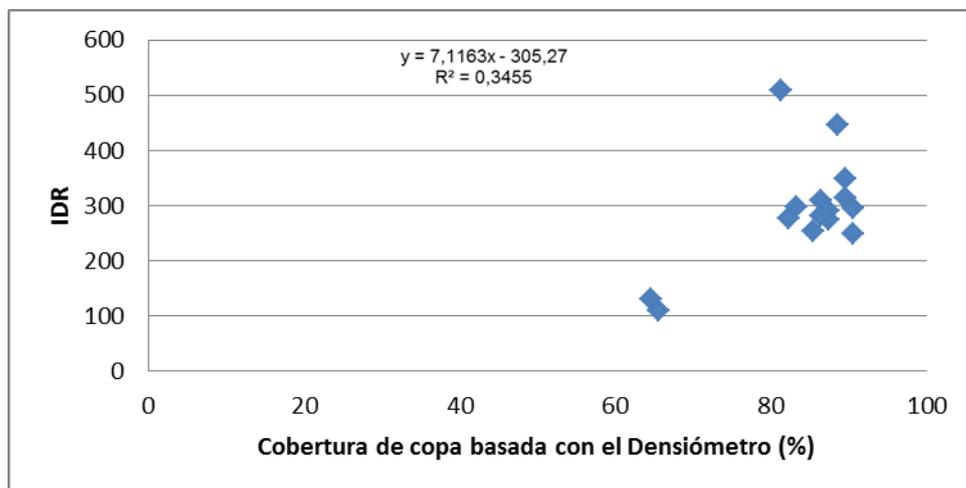


Figura 3. Relación entre la cobertura foliar basada en el densiómetro y el Índice de Densidad del Rodal (IDR).

Como se observa en la figura 4, no existe relación entre la densidad del rodal y la altura dominante de las plantaciones, ambas variables expresan situaciones diferentes. La altura dominante expresa la calidad de sitio, mientras que el IDR el estado de competencia entre las plantaciones.

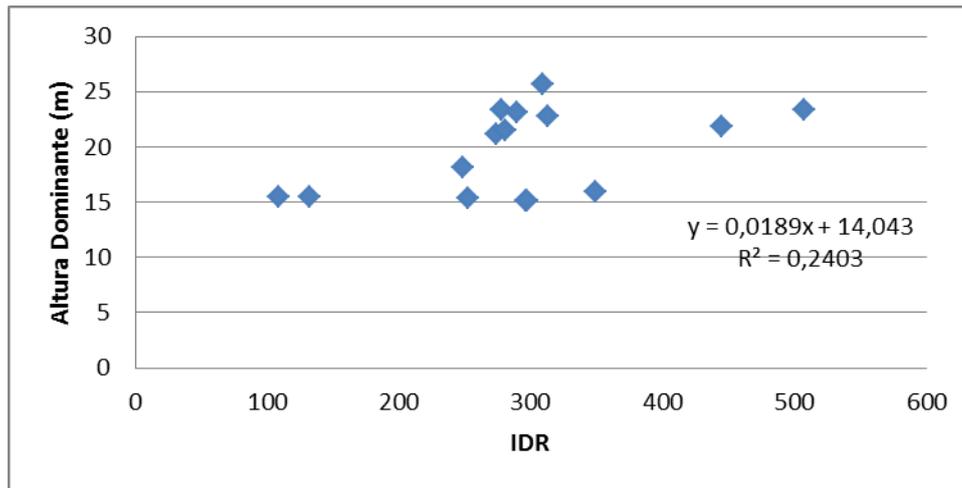


Figura 4. Relación entre el Índice de Densidad del Rodal (IDR) y la altura dominante (m).

- Relaciones morfométricas

Relación altura/diámetro de los árboles

La esbeltez, es un valor que ha sido utilizado frecuentemente como un indicador de la estabilidad de los árboles contra los daños ocasionados por fuerzas mecánicas (viento y nieve) (Arias, 2004). Según Durlo y Denardi (1998) como menciona Arias (2004) los valores bajos de la relación h/d están asociados con árboles más cónicos que pueden ser más resistentes al efecto de fuertes vientos; sin embargo, desde el punto de vista de rendimiento en aserrío presentan mayor desventaja con respecto a árboles de similares dimensiones pero cilíndricos. Entre más alto sea el valor de la esbeltez, menos estable es el árbol al daño mecánico. Lo ideal sería que los valores oscilen cerca de 1 que significa que a una misma altura existe un mismo valor de diámetro.

Cuadro 2. Relación h/d (esbeltez) de las siete especies de las parcelas establecidas en la EARTH, Guácimo de Limón.

<i>Dipteryx panamensis</i> (almendro)	<i>Terminalia amazonia</i> (amarillón)	<i>Carapa guianensis</i> (caobilla)	<i>Calophyllum brasiliense</i> (cedro maría)	<i>Vochysia guatemalensis</i> (cebo)	<i>Cordia alliodora</i> (laurel)	<i>Hieronyma Alchorneoides</i> (pilón)
121,99 ± 27,76	100,69 ± 17,41	93,88 ± 17,69	68,33 ± 9,42	77,16 ± 13,96	105,85 ± 14,48	110,60 ± 18,96

*(\pm) Desviación estándar

De las especies estudiadas el *Calophyllum brasiliense* es la que presenta el valor más bajo de la relación h/d con 68,33 por lo que tienden a ser más cónicos. El *Dipteryx panamensis* es la especie con el valor más alto 121,99, si bien los árboles de almendro no son los más altos, si presentan los valores promedio más bajos en diámetro por consecuencia son muy delgados.

Según un estudio realizado en la zona de sur de Costa Rica las plantaciones de *Hieronyma alchorneoides* y *Terminalia amazonia*, con valores promedio de esbeltez mayores a 100, deben manejarse con cuidado en el momento de planificar los aclareos, especialmente en aquellos sitios en los que el viento puede provocar daños mecánicos. (Fonseca et al, 2008)

Estudios sobre el efecto de las tensiones de crecimiento no se conocen para estas especies.

Altura de inserción de la copa

La altura de inserción de la copa es una medida básica que permite luego estimar otros parámetros de copa. Sin embargo, debe definirse claramente si se toma a partir de la primera rama viva o si corresponde al punto de inicio de la copa viva (Arias, 2004). Struck (1999) según Arias (2004) menciona que existe una buena correlación entre la altura de inserción de la copa y la altura total del árbol.

En el estudio realizado en la zona sur, la especie *Vochysia guatemalensis* reportó un valor de r^2 superior a 0.9 demostrando que existió una buena relación entre la altura de inserción de copa y la altura total, Para las especies *Hieronyma alchorneoides* y *Terminalia amazonia* los coeficientes de determinación oscilaron entre 0,82 y 0,87.

Sin embargo en la figura 5, se puede observar que los valores del coeficiente de determinación (r^2) están muy por debajo de 0.9, es decir que los valores tienden a variar mucho, por lo que no se encontró una relación significativa entre estas variables para las especies estudiadas.

La especie *Carapa guianensis* fue la que mejor relación mostró entre estas variables con un r^2 de 0.5432, sin embargo no sigue siendo tan significativo, la segunda especie fue el *Vochysia guatemalensis* con un r^2 de 0.4511.

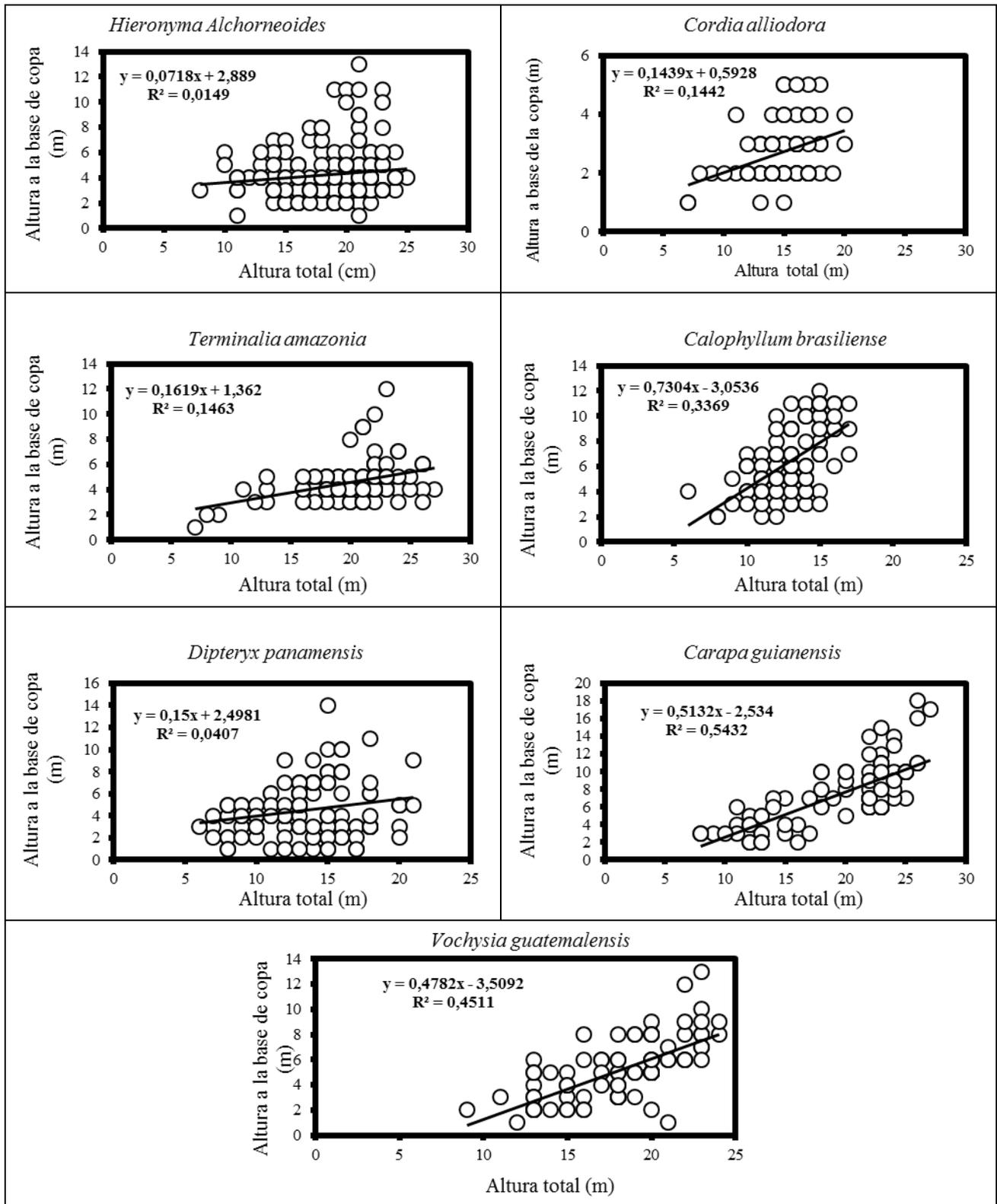


Figura 5. Relación entre la altura de inserción de la copa y la altura total del árbol de las siete especies de las parcelas establecidas en la EARTH, Guácimo de Limón.

Diámetro de la copa

Es bien conocido que entre el diámetro del árbol y el correspondiente valor de diámetro de la copa, existe una relación bien definida. Dicha relación puede también describirse por funciones lineales. Sin embargo, la variación de los diámetros de copa para un mismo valor de diámetro del árbol puede ser muy grande, hasta el punto que resta la posibilidad de estimar el diámetro de la copa en función del diámetro del árbol (Arias, 2005). Por ejemplo para la especie *Hieronyma Alchorneoides* para un DAP de 16 cm existen varios árboles con diámetros de copa muy variables entre 3 y 10 cm.

Para las siete especies estudiadas se encontraron valores de r^2 entre 0.0395 y 0.45. Lo anterior demuestra poca relación entre diámetro de copa y DAP, lo cual representa un resultado poco esperado.

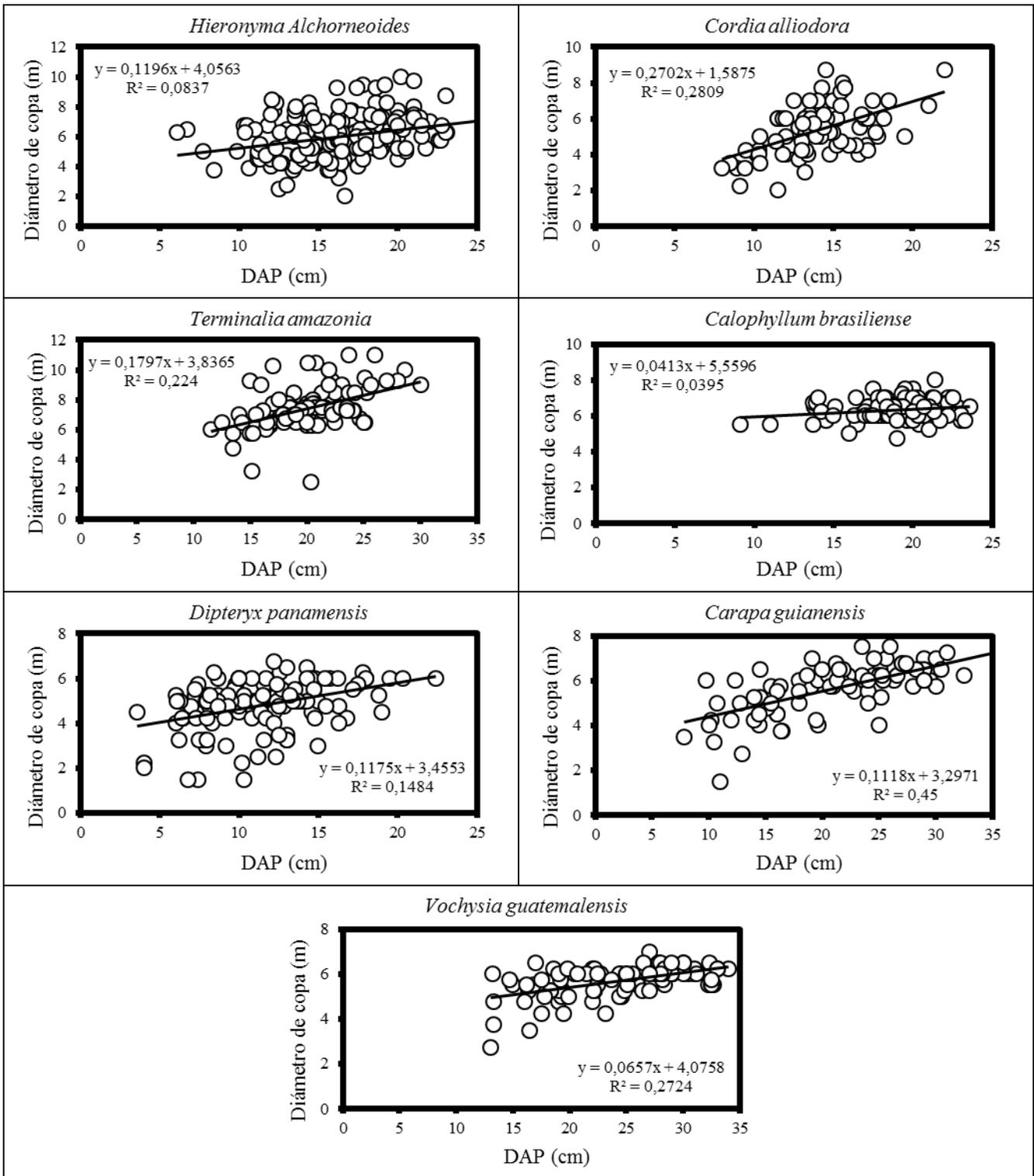


Figura 6. Relación entre el diámetro de la copa y el DAP de los árboles de las siete especies de las parcelas establecidas en la EARTH, Guácimo de Limón.

Porcentaje de copa

Se entiende por porcentaje de copa la proporción de la longitud de copa con respecto a la altura total del árbol. Árboles cubiertos por una extensa copa se esperan en sitios de baja ocupación. Este criterio es a menudo utilizado como un indicador de la vitalidad de un árbol (Arias, 2005).

Entre las siete especies estudiadas el porcentaje de copa vario entre 18,56 % y 48,73 % siendo este último valor el que reportó la especie *Calophyllum brasiliense*, lo que significa que la longitud de la copa representa casi la mitad de la altura del árbol, esta especie no había recibido ningún tipo de poda o caída de ramas de ahí el alto valor de porcentaje de copa.

El valor más bajo es reportado por la especie *Cordia alliodora* en la cual su longitud de copa representa cerca de la quinta parte de la altura. En esta especie se observaron altos niveles de autopoda en sus primeras ramas.

Para las especies *Terminalia amazonia*, *Vochysia guatemalensis* y *Hieronyma Alchorneoides* , en la zona sur de Costa Rica para una edad de 11 años se reportaron valores de 44%, 31% y 34% de porcentaje de copa respectivamente. En el cuadro 3 se pueden ver que esos valores disminuyeron para las tres especies. *Terminalia amazonia* presentan diferencias según las condiciones de sitio donde crezcan. En buenos sitios el porcentaje de copa es menor y en malos sitios es mayor. Otras especies como *Hieronyma alchorneoides* no presentan diferencias (Arias, 2005). No se pueden sacar mayores resultados de estas comparaciones debido a que la longitud de la copa es afectada por el manejo (en este caso las podas).

Cuadro 3. Promedio del porcentaje de copa de las siete especies de las parcelas establecidas en la EARTH, Guácimo de Limón.

<i>Dipteryx panamensis</i> (almendro)	<i>Terminalia amazonia</i> (amarillón)	<i>Carapa guianensis</i> (caobilla)	<i>Calophyllum brasiliense</i> (cedro maría)	<i>Vochysia guatemalensis</i> (cebo)	<i>Cordia alliodora</i> (laurel)	<i>Hieronyma Alchorneoides</i> (pilón)
34,57 ± 17,50	23,18 ± 7,06	37,46 ± 12,02	48,73 ± 16,46	27,66 ± 10,67	18,56 ± 6,06	28,48 ± 13,49

*(\pm) Desviación estándar

Índice de copa

La relación entre el largo de la copa y el diámetro de la copa se denomina índice de copa. Este cociente da una buena idea de la dimensión de la copa del árbol. Existen marcadas diferencias entre especies pero también se pueden establecer efectos en el índice de la copa según las condiciones de sitio. Para plantaciones de *Vochysia guatemalensis* y *Terminalia amazonia* ubicadas en condiciones de sitio de baja fertilidad, los árboles presentan copas cuya forma es comparable con un plato para estas condiciones el estudio en la zona sur reporto valores de 0,6 para ambas especies. Los árboles de *Terminalia amazonia* creciendo en óptimas condiciones de sitio, muestran copas más delgadas.

Una explicación de porqué en sitios malos el índice de copa es menor con respecto a sitios buenos, puede estar relacionado con la densidad del rodal. En sitios malos los árboles crecen más lentamente y no se ha ocupado plenamente el área de crecimiento (Arias, 2005).

En el cuadro 4 se observa que para la especie *Terminalia amazonia* el valor de índice de copa se acerca mucho al reportado en el estudio comparado, para la especie *Vochysia guatemalensis* el valor aumento a 0,91 lo que significa que para esta especie el diámetro de la copa supera levemente la altura de la copa. Para el caso de la especie *Calophyllum brasiliense* esta diferencia entre diámetro y altura de copa es mucho más mínima siendo casi los mismos valores para ambas.

En el caso de la especie *Carapa guianensis* fue la que mayor índice de copa reportó con un valor de 1,34, en este caso la altura de la copa supera el valor del diámetro de copa además fue la única especie que presentó esta condición. La especie *Cordia alliodora* obtuvo el valor más bajo con un 0.51. Esto reafirma que cada especie su propio *habitus* y que las variaciones dentro de una misma especie vienen de factores como la edad del árbol, la densidad, el manejo, la genética y las condiciones del sitio.

Cuadro 4. Índice de copa promedio de las siete especies de las parcelas establecidas en la EARTH, Guácimo de Limón.

<i>Dipteryx panamensis</i> (almendro)	<i>Terminalia amazonia</i> (amarillón)	<i>Carapa guianensis</i> (caobilla)	<i>Calophyllum brasiliense</i> (cedro maría)	<i>Vochysia guatemalensis</i> (cebo)	<i>Cordia alliodora</i> (laurel)	<i>Hieronyma Alchorneoides</i> (pilón)
0,97 ± 0,58	0,62 ± 0,21	1,34 ± 0,63	0,99 ± 0,39	0,91 ± 0,43	0,51 ± 0,16	0,81 ± 0,39

*(\pm) Desviación estándar

Capítulo 4. Estado actual de las plantaciones y necesidades de manejo.

En general, las plantaciones muestran un estado silvicultural regular, con respecto a las variables evaluadas, es decir las plantaciones no han recibido un manejo adecuado que permita maximizar los rendimientos en cuanto a crecimiento y calidad.

En todas las plantaciones claramente se pudo ver la presencia de raleos y que en la mayoría supero el 40% del total de individuos por hectárea por especie. Los raleos que no se realizaron oportunamente o raleos que dejaron en pie una distribución espacial no homogénea, pudieron haber provocado un aumento de asimetría de copas, así como provocado una mala relación altura/diámetro.

En los sitios donde se establecieron las parcelas de *Cordia alliodora* y *Hieronyma Alchorneoides* (Proyecto 32-33) se pudo observar que en las plantaciones había una gran cantidad de *Musa textiles* conocida comúnmente como abacá o yute, lo cual posiblemente pudo haber incidido en el grado de mortalidad que existe y que ha llevado a competir a las especies tanto en el crecimiento como en el número de individuos.

Problemas como bifurcación, inclinación, torceduras, daño mecánico y ramas gruesas se presentaron en todas las plantaciones; sin embargo para la especie *Cordia alliodora* fue la que en general presentó menos afectación y eso se demostró en los bajos porcentajes de defectos presentados y además fue la especie con mayor número de trozas calidad 1 y 2 a pesar de que fue una de las especies con menor número de árboles.

De las especies más afectadas estuvo el *Calophyllum brasiliense* y su principal defecto fue el daño mecánico que sufrían los individuos con casi un 60% de los árboles/ha, otros de los problemas importantes para esta especie fue la inclinación, el bajo número de trozas calidad 1 y 2, y de todas las especies fue la que tiene el valor más bajo de calidad de los árboles. Dentro de la plantación era evidente la falta de podas ya que desde alturas muy bajas ya los individuos presentaban gran cantidad de ramas.

Vochysia guatemalensis fue la especie que mejor valor de calidad de los árboles reportó y fue la especie con menor porcentaje de árboles con torceduras, seguida por *Cordia alliodora* y *Terminalia amazonia*. Para esta última especie el nivel de raleo fue el más alto con un 49% del total de árboles/ha.

Dipteryx panamensis y *Carapa guianensis* se mantuvieron muy similares en cuanto a defectos. El *Dipteryx panamensis* fue la especie con los valores más bajos en cuanto al diámetro y altura promedio y fue la especie que más problemas tuvo en cuanto a la inclinación de sus individuos. Como se mencionó anteriormente, el viento fue un factor importante que pudo haber incidido en este problema.

Tomando en cuenta que las especies se encuentran ya en edades avanzadas no se puede recomendar cambiar el manejo que hasta el momento se les ha venido dando, lo cual guarda concordancia con los objetivos de la Universidad EARTH. Sin embargo, si se pueden determinar las necesidades de manejo que requieren las mismas especies para futuras plantaciones.

Para el caso de la especie *Calophyllum brasiliense* en plantaciones en pastizales degradados en el CATIE se utilizó un espaciamiento de 4x5 m con buenos resultados, ya que se elimina la necesidad de un primer raleo demasiado pronto, cuando los árboles aun no proporcionan productos comerciales. Sin embargo, estos espaciamientos tan

amplios exigen que se tenga un buen programa de podas si el objetivo de la producción es madera limpia de nudos, ya que el árbol produce muchas ramas al estar sin competencia.

Para *Dipteryx panamensis* se están iniciando plantaciones especialmente en la Zona Norte de esta especie. En la literatura se recomiendan espaciamientos de 3x3 m incluso dándole el manejo adecuado en cuanto a podas y limpiezas puede expandirse a 4x4 m.

La especie *Carapa guianensis* al igual que el *Dipteryx panamensis* no se tiene mucha información en cuanto a su manejo pero si se sabe que la especie se adapta muy bien a sitios donde se dan inundaciones temporales, en cuanto a raleos se determinó que a los siete años aun no es tan necesario según reportes del Encuentro Regional sobre especies forestales nativas de la Zona Norte y Atlántica de Costa Rica.

Cordia alliodora es una especie muy susceptible a la competencia como se mencionó antes, como en todas la especies es necesario efectuar los raleos en tiempo oportuno, generalmente el primero se aplica cuando las copas empiezan a cerrarse lo cual depende mucho de la calidad del sitio y del espaciamiento.

Vochysia guatemalensis presenta buenos niveles de autopoda, sin embargo cuando se siembran en distanciamientos amplios se recomienda un control estricto y temprano de las podas. Los primeros raleos se pueden aplicar entre los 4-5 años de edad.

Hieronyma Alchorneoides entre 1.5 y los 2 años de edad, esta especie desarrolla ramas delgadas que permiten con facilidad hacer la ejecución de una poda de formación. Se tienen reportes donde ha sido necesario aplicar dos podas de formación antes de los tres años de edad. Cada vez que se realicen, nunca deben de exceder el 50% de la copa del árbol. Cuando los árboles llegan a una altura promedio de 7 a 9 m (3-4 años de edad), se recomienda hacer el primer raleo con una intensidad de un 50% (Solís *et al.*, sf).

Finalmente, *Terminalia amazonia* en altas densidades la especie presenta buenas condiciones de autopoda; sin embargo en densidades bajas es recomendable aplicar la poda en tiempos oportunos para disminuir el efecto de bifurcación, los raleos deben ser tempranos ya que el árbol presenta una copa densa y frondosa. Se establecen tres raleos

en los años 3, 7 y 13. El momento oportuno para ejecutar el raleo es durante los meses de menor precipitación (Solís *et al.*, sf).

Capítulo 5: Primera aproximación al modelo 3PG

Se obtuvo una primera aproximación al modelo 3PG para la especie *Hieronyma alchorneoides* mediante la calibración de diferentes parámetros, sin embargo la misma calibración dependió de los valores reales para la especie en cuanto a crecimiento.

En la figura 19 podemos observar cuatro gráficos que representan el crecimiento hasta los 9 años de edad en cuanto a biomasa arriba del suelo, biomasa de hojas, biomasa de raíces y volumen total.

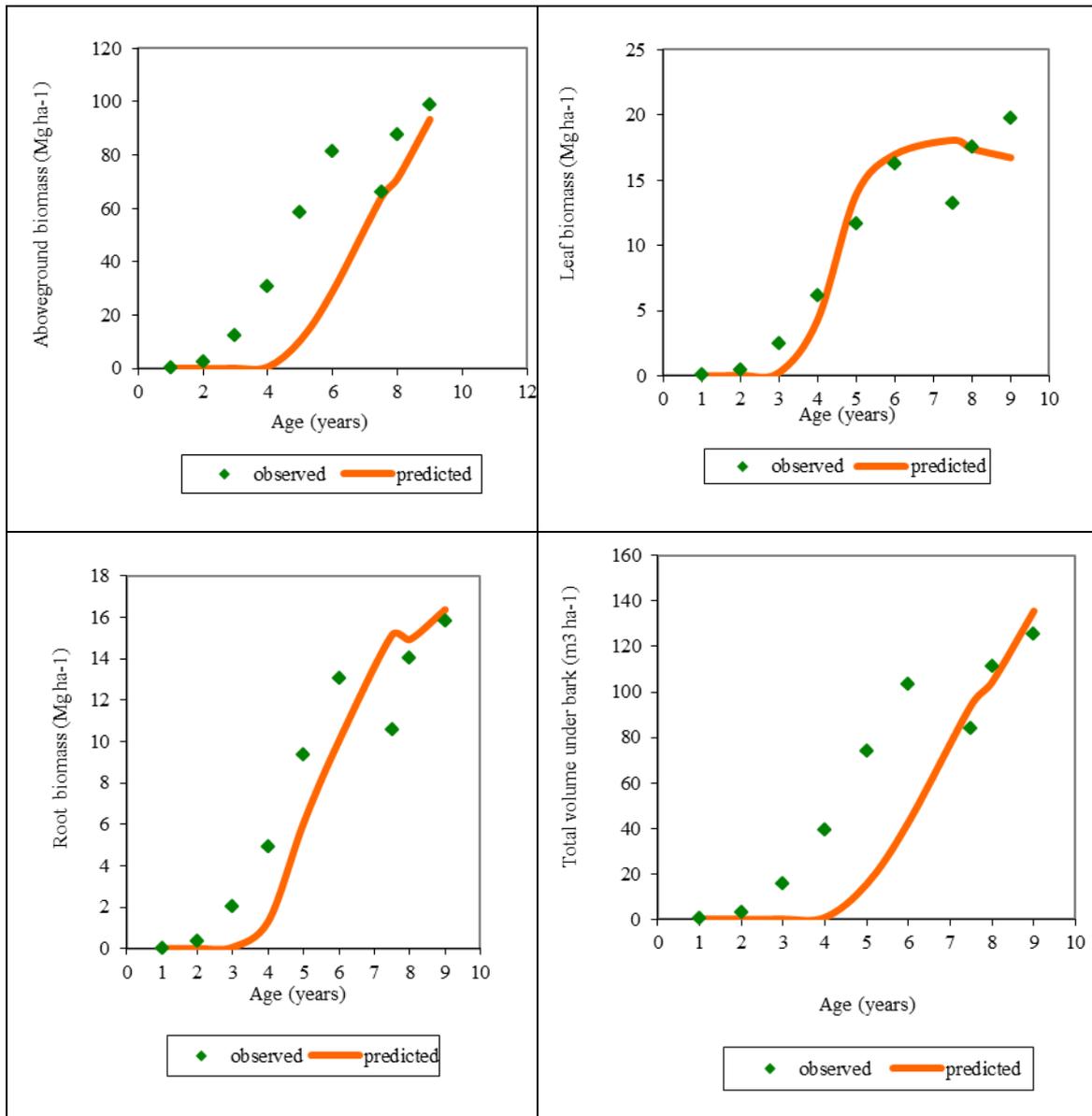


Figura 1. Valores ajustados por el modelo 3PG para biomasa total, biomasa de raíces, biomasa foliar y volumen total para la especie

Como se puede observar en todos los gráficos el valor predicho fue subestimado por el valor observado, los cuales fueron todos los datos obtenidos en el presente trabajo.

La curva que mejor se ajusta es la de biomasa de raíces, sin embargo todavía es necesario trabajar en estos datos para mejorar la calibración de los mismos.

El índice de ajuste utilizado para comparar la exactitud de los modelos fue el Índice de Furnival, el cual depende de los componentes de biomasa tales como: Follaje (WF), Raíces (Wr) y los tejidos lignificados arriba (WS).

Cuadro 1. Índice de ajuste (FI) para comparar la exactitud de los valores.

WF	0,10999
WS	0,0331
Wr	0,068
Total	0,21109
FI	0,789

Como se puede ver la exactitud de los valores se pudo aproximar a un 78.9 %, lo que para ser un primer intento resulto ser muy bueno.

Se puede decir que es muy critica la identificación de las distribuciones de los hidratos de carbono (carbohidratos) a los distintos tejidos a través del tiempo y en cuanto a los aspectos del modelaje del ciclo hídrico e intersección de radiación son los de más cuidado a la hora de calibrar con el fin de minimizar el error.

CONCLUSIONES

- A pesar que no se disponía de información de crecimiento, en general el crecimiento de las plantaciones se considera débil debido al poco manejo y practicas silviculturales que se les dieron a las plantaciones.
- La especie con mayor área basal por hectarea es el *Vochysia guatemalensis* con 23.36 m²/ha a una edad de 11.75 años.
- La especie con mayor volumen total fue *Carapa guianensis* con 288.04 m³/ha
- *Terminalia amazonia* fue la especie con más G/ha con un 13.86 m²/ha para las especies de menor edad.
- *Hieronyma Alchorneoides* fue la especie con más individuos por ha con 535 árboles.
- *Cordia alliodora* fue la especie que reportó menos defectos en sus árboles y la que mejor índice de calidad de trozas y calidad del árbol presentó con 305 y 1.77 respectivamente.
- *Terminalia amazonia* fue la especie que más CO₂ /año fijó con un total de 47.57 t.
- La cobertura foliar basada en fotografías sub-estima los valores reales basados en el densiómetro.
- *Terminalia amazonia* presentó la mejor relación h/d con un 100.69 lo que significa que es la especie con mejor estabilidad contra los daños mecánicos y que tienden a ser más cónicos.
- No se encontró relación significativa entre la altura de inserción de copa y la altura total para ninguna de las especies.
- No se encontró para este estudio una relación directa entre diámetro de la copa y el DAP para ninguna de la especies

- *Calophyllum brasiliense* fue la especie con mayor porcentaje de copa con un total de 48.73% y mejor índice de copa con 0.99, lo que significa que posee las mayores dimensiones de copa tanto en altura como en diámetro.
- Las plantaciones en general no cumplen con los estándares de calidad desde el punto de vista de la metodología para la valoración de la calidad de plantaciones, su manejo está orientado a otros objetivos como captura de carbono y servicios ambientales.

RECOMENDACIONES

- Seguir con el monitoreo de las plantaciones mínimo cada dos años y establecer más parcelas permanentes para cuantificar la dinámica de carbono en el suelo y en la biomasa.
- Continuar con el registro de los datos de crecimiento para especies poco utilizadas en reforestación comercial y la contribución a futuro de las curvas de crecimiento para las condiciones similares a las de las fincas de la Universidad EARTH.
- Establecer un Plan de Manejo Forestal para las plantaciones cuyo objetivo sea el manejo de la densidad del rodal que garantice un óptimo desarrollo de los árboles y del rodal.
- Realizar el monitoreo en las plantaciones para registrar la presencia de plagas y enfermedades y otros aspectos como el reclutamiento de nuevas especies dentro de las plantaciones.
- Establecer las prácticas silviculturales para cada especie según sus objetivos de establecimiento para la producción de madera o para la fijación de carbono.

BIBLIOGRAFÍA

- Alice, F. Montagnini, F. Montero, M. 2004. Productividad en plantaciones puras y mixtas de especies forestales nativas en La Estación Biológica La Selva, Sarapiquí, Costa Rica (en línea). Revista digital Agronomía Costarricense (28)2:61-71.2004. Consultado el 24 de setiembre del 2011. Disponible en: http://www.mag.go.cr/rev_agr/v28n02_061.pdf
- Arias, D. 2004. Estudio de las relaciones altura-diámetro para seis especies maderables utilizadas en programas de reforestación en la Zona Sur de Costa Rica. (en línea). Kurú: Revista Forestal 1(2), 2004. Consultado 19 junio. 2012. Disponible en <http://www.itcr.ac.cr/revistaKuru/antecedentes/antecedentes2/pdf/Articulo%204.pdf>
- Arias, D. 2005. Morfometría del árbol en plantaciones forestales tropicales. (en línea). Kurú: Revista Forestal (Costa Rica) 2(5). Consultado el 3 de octubre 2011. Disponible en: http://www.tec.cr/sitios/Docencia/forestal/Revista_Kuru/antecedentes/antecedentes5/pdf/Articulo%203.pdf
- CATIE. Sf. *Terminalia amazonia*. Turrialba, Cartago. Costa Rica, pp 6
- Contraloría General de la República. (2008). Informe sobre la evaluación de la aplicación de políticas y normativa en materia de recursos forestales por el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE). Contraloría General de la República, División de Fiscalización Operativa y Evaluativa. Area de Servicios Públicos Generales, Ambientales y Agropecuarios. Informe No. DFOE-PGAA-7
- Corella, O. 2009. CATIE. Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación. Valoración de la base forestal de las plantaciones forestales y su contribución al abastecimiento de madera en la zona del Atlántico Norte de Costa Rica. Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado. Turrialba, Costa Rica. 129 pag.

Corvalán, P; Hernández, J. 2006. Densidad del Rodal. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales, Dept. Manejo de Recursos Forestales. 5p

De Camino, R. (2007). *Programa Forestal Huetar Norte. Informe Final de Consultoría de Apoyo*. FONAFIFO. GFA ConsultingGroup.

Delgado, A; Montero, M; Murillo, O; Castillo, M. 2003. Crecimiento de especies forestales nativas en la zona norte de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. Pp.63-78

Encuentro Regional sobre especies forestales nativas de la Zona Norte y Atlántica de Costa Rica. 1994. Estación Biológica la Selva. Puerto Viejo, Sarapiquí, Costa Rica. 90 p

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 1992. Plantaciones mixtas y puras en las zonas tropicales y subtropicales; Documento Forestal FAO N° 103. Roma, IT. 152 p.

FAO. 2001. Situación de los bosques del mundo. (en línea). Consultado el 30 de julio de 2008

Disponible en <http://www.fao.org/docrep/003/y0900s/y0900s00.htm>

Fonseca, W; Alice, F; Montero, J; Toruño, H; Leblanc, H. 2008. Acumulación de biomasa en bosques secundarios y plantaciones forestales de *Vochysia guatemalensis* e *Hieronyma Alchorneoides* en el Caribe de Costa Rica. Instituto de Investigación y Servicios Forestales (INISEFOR), Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* N°46

GUARIGUATA, M. RHEINGANS, R. MONTAGNINI, F. (1995). Early woody invasion under tree plantations in Costa Rica : implications for forest restoration. *Restoration Ecology* 3(4): 252-260

- Haggar, J.P., Ewel, J.J., 1995. Establishment, resource acquisition, and early productivity as determined by biomass allocation patterns of three tropical tree species. *For. Sci.* 41, 689–708.
- HERRERA, M. 2000. Evaluación del modelo de desarrollo de plantaciones forestales en la región Huetar Norte. Tesis de grado, Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica.
- Imaña, J. 2008. Epidometría Forestal. Universidad de Brasilia, Departamento de Ingeniería Forestal. 72p
- Jiménez, M; Rojas, F; Rojas, V; Rodríguez, L. 2002. Árboles maderables de Costa Rica: ecología y silvicultura. INBIO (Instituto Nacional de Biodiversidad). Editorial Tecnológica de Costa Rica. CR. 361 p.
- Jourdan, C. Michaux, M. Ferrière F. 2000. Root system architecture and gravitropism in the oil palm. *Annals of Botany* 85: 861-868.
- Landsberg, J.J., Waring, R.H. (1997) A generalized model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance and partitioning. *Forest Ecology and Management* 95, 209-228. Loewe, V. 2003. ARBORICULTURA PARA PRODUCCION DE MADERA DE ALTO VALOR: Una Nueva Alternativa Productiva para el Sector Silvoagropecuario Chileno. Santiago, Enero 2003. 56 pg
- Loewe, M.; González, O. 2010. Plantaciones mixtas: una alternativa para diversificar y producir en forma sostenible. Instituto Forestal (INFOR). Chile. 5 pag.
- Matthew, K. 2006. The role of species mixtures in plantation forestry. Department of Natural Resources Conservation, Forest Ecology and Management, Volumen 233. Páginas 195-204

- Menalled, F.D., Kelty, M.J., Ewel, J.J., 1998. Canopy development in tropical tree plantations: a comparison of species mixtures and monocultures. *Forest Ecology and Management*. 104, 249–263
- Mollinedo, M. 2002. LAS PLANTACIONES FORESTALES: CATALIZADORAS DE LA CONSERVACIÓN EN LATINOAMÉRICA. Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza (CATIE) 7170, Turrialba 106, Cartago, Costa Rica
- Montagnini, F. 2001b. Plantaciones forestales con especies nativas: una alternativa para la recuperación de áreas degradadas. *Biocenosis*, Costa Rica, pp 72-78
- MONTAGNINI F., PIOTTO D., UGALDE A.L. 2002. Plantaciones forestales con especies nativas: una alternativa para la producción de madera y la provisión de servicios ambientales. *In: II Congreso Forestal Latinoamericano*. Guatemala. 10 p.
- Moscovic, F. 2004. MODELOS DE CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN FORESTAL. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Montecarlo. Informe Técnico N° 55
- Muñoz, M. Aedo, D. Castro, C. 2006. Primeros resultados de una plantación mixta de *Castanea sativa* mill. con *Robinia pseudoacacia* L. o con *Quillaja saponaria* Mol. 50 Universidad de Talca, Chile. Consultado el 24 de setiembre de 2011. Disponible en: http://www.infor.cl/areas_investigacion/proyectos_plantaciones.htm
- Murillo, F; Hernández,; Murillo, O. 1996. Evaluación de la Calidad de Plantaciones de Ciprés en el Valle de el Guarco, Cartago, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 20 (1): 17-23 (en línea).
- Murillo, O. 2000. Índices de calidad para la reforestación en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 24 (2): 41-48.

Murillo, O. Badilla, Y. 2004. Calidad y valoración de plantaciones forestales. Taller de Publicaciones, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, CR. 51p.

Murillo, O; Badilla, Y. 2009. Calidad de la Plantación Forestal. Escuela de Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 71 p

Murillo, O; Badilla, Y. 2010. Calidad de la Plantación Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal. Cartago, Costa Rica. 66 p.

Mutke, S. 2005. Modelización de la arquitectura de copa y de la producción de piñón en plantaciones clonales de *Pinus pinea* L. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Tesis Doctoral. 95 pag

Obando, G. (2009). DECIMOSEXTO INFORME ESTADO DE LA NACIÓN EN DESARROLLO HUMANO SOSTENIBLE: Bosque, cobertura y recursos forestales, 2009

Plath, M; ModY, K; Potvin, C; Dorn S. 2011. Establishment of native tropical timber trees in monoculture and mixed-species plantations: Small scale effects on tree performance and insect herbivory. *Forest Ecology and Management*. Volumen 261 Pág 741-750

Solís, M; Moya, R. sf. *Hieronyma Alchorneoides* en Costa Rica. Fonafifo. Costa Rica. (en línea) Consultado 21 junio, 2012. 98 p

Disponible en: http://www.fonafifo.go.cr/text_files/proyectos/ManualHieronyma.pdf

Solís, M; Moya, R. sf. Manual de *Terminalia amazonia* en Costa Rica. Fonafifo. Costa Rica. (en línea) Consultado 21 junio, 2012. 98 p

Disponible en: http://www.fonafifo.go.cr/text_files/proyectos/ManualTerminalia.pdf

Torres, M. 2007. Evaluación de plantaciones forestales mixtas en Santa Cecilia, La Cruz, Guanacaste. Informe de proyecto de graduación para optar por el grado de Bachiller en Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal. Cartago. 70 pag

Disponible en: http://www.mag.go.cr/rev_agr/v20n01_017.pdf

Zambrano,A; Franquis,F; Infante, A. 2004. EMISIÓN Y CAPTURA DE CARBONO EN LOS SUELOS EN ECOSISTEMAS FORESTALES.(en línea) Rev. For. Lat. N° 35. Págs. 11-20.

Disponible en: <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/24117/2/articulo2.pdf>

ANEXOS

Anexo 1. Formulario para la evaluación de la calidad

Formulario de campo para la evaluación de calidad en plantaciones forestales																								
Propietario: _____					Finca: _____					Lote: _____					Area (ha): _____					Especie _____				
Ubicación geográfica de la finca: _____										Calidad de mantenimiento plantación: bueno ___ regular ___ malo ___														
Fecha siembra: _____					Fecha medición: _____					Anotador: _____					PARCELA N°: _____									
Tamaño de parcela: _____ (m ²)					Distancia entre 6 arboles (hileras): _____ m										Distancia entre 6 arboles (filas): _____ m									
Parcela	Arbol	DAP	h total (m)	d sup. (cm)	h com (m)	Pos. Soc. D C I S	Bifurc. p reiterac 1 ó 2 (B)	Inclina- ción 1 ó 2 (i)	Recti- tud 1 (R) ó 2 (D)	Daño me- cánico 1 ó 2 (D)	Ramas gruesas 1 ó 2	Nº trozas comerc. #	Angulo ins ramas 1 ó 2	Estado sanidad 1 (S) a 3	Gambas o aletones (s) ó 2 (c)	Grano en espiral 1 (sin) ó 2	Calidad trozas							
		1															2	3	4					
	1																							
	2																							
	3																							
	4																							
	5																							
	6																							
	7																							
	8																							
	9																							
	10																							
	11																							
	12																							
	13																							
	14																							
	15																							

Anexo 2. Diámetro (dap) y altura (h) promedio para las 32 parcelas.

Parcela	Dap promedio	H promedio
1/Pilón	13,655	15,846
2/Pilón	17,354	19,893
3/Pilón	16,706	20,139
4/Pilón	16,579	17,977
5/Pilón	17,574	20,000
6/Laurel	15,310	15,586
7/Laurel	14,106	14,778
8/Laurel	12,697	13,656
9/Pilón	17,115	20,111
10/Pilón	15,132	16,548
11/Amarillón	20,760	20,320
12/Amarillón	20,461	20,391
13/Amarillón	20,458	20,292
14/Amarillón	19,504	19,786
15/Cedro maría	18,788	13,333
16/Cedro maría	18,836	12,429
17/Cedro maría	19,769	12,577
18/Cedro maría	18,485	13,118
19/Pilón	17,259	15,111
20/Pilón	18,800	17,038
21/Pilón	19,085	18,308
22/Almendo	9,303	11,375
23/Almendo	10,463	11,781
24/Almendo	13,067	13,704
25/Almendo	10,363	14,049
26/Almendo	15,730	16,950
27/Caobilla	21,960	20,500
287Caobilla	21,116	18,419
29/Caobilla	21,503	19,188
30/Cebo	29,380	18,850
31/Cebo	21,787	17,500
32/Cebo	23,260	18,233
Promedio general	17,433	16,767

Anexo 3. Distribución diamétrica de los individuos por especie.

Clase diamétrica	Almendro	Amarillón	Caobilla	Cedro María	Cebo	Laurel	Pilón	Total general
<3,5								
3,5-13,5	108	2	11	2	4	34	49	210
13,5-23,5	44	79	44	109	37	45	270	628
23,5-33,5		19	34	1	46		2	102
33,5-43,5			4		1			5
Total general	152	100	93	112	88	79	321	945