

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
PROGRAMA DE ENSEÑANZA Y CAPACITACIÓN
ÁREA DE POSTGRADO

CRECIMIENTO DE *EUCALYPTUS DEGLUPTA* Y *E. GRANDIS*
BAJO TRES SISTEMAS DE PLANTACIÓN A NIVEL DE FINCA,
EN LA ZONA DE TURRIALBA, COSTA RICA

por

ALBERTO SÁNCHEZ SÁNCHEZ

CATIE
Turrialba, Costa Rica
1994

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA

PROGRAMA DE ENSEÑANZA Y CAPACITACIÓN

ÁREA DE POSTGRADO

**CRECIMIENTO DE *EUCALYPTUS DEGLUPTA* Y *E. GRANDIS*
BAJO TRES SISTEMAS DE PLANTACIÓN A NIVEL DE FINCA,
EN LA ZONA DE TURRIALBA, COSTA RICA**

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

Magister Scientiae

por

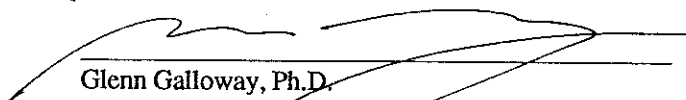
ALBERTO SÁNCHEZ SÁNCHEZ

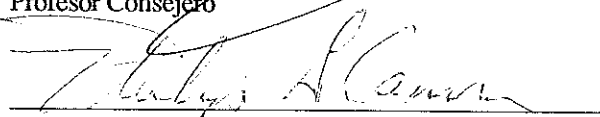
CATIE
Turrialba, Costa Rica
1994

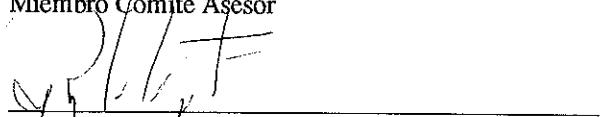
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma, por la Jefatura del Area de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del CATIE y aprobada por el Comité Asesor del estudiante como requisito parcial para optar al grado de :

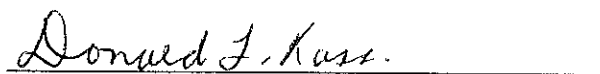
MAGISTER SCIENTIAE

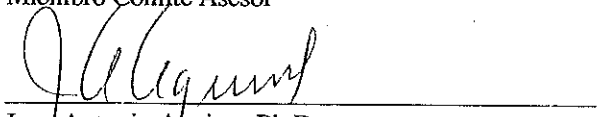
FIRMANTES :

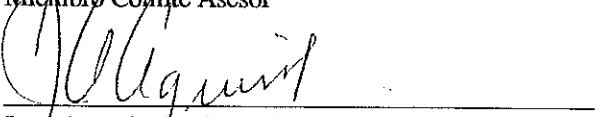

Glenn Galloway, Ph.D.
Profesor Consejero

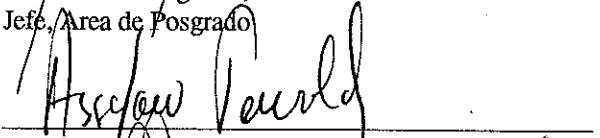

Phillip Cannon, Ph.D.
Miembro Comité Asesor

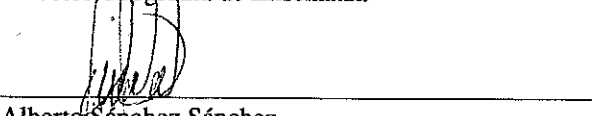

Rodolfo Salazar, Ph.D.
Miembro Comité Asesor


Donald Kass, Ph.D.
Miembro Comité Asesor


Juan Antonio Aguirre, Ph.D.
Miembro Comité Asesor


Juan Antonio Aguirre, Ph.D.
Jefe, Area de Posgrado


Asseffaw Teowolde, Ph.D.
Director Programa de Enseñanza


Alberto Sánchez Sánchez
Candidato

DEDICATORIA

A MIS SOBRINOS:*Carlos Alberto**José Gabriel**Pedro Alberto*

AGRADECIMIENTOS

El autor manifiesta un sincero agradecimiento a todas las personas e Instituciones que directa o indirectamente han colaborados en la realización de este estudio.

Al Todopoderoso, quien es mi fortaleza, por darme sabiduría para poder realizar esta investigación.

Al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), por la acogida y las facilidades que me dio durante mi estadía en Costa Rica. Así como a todo el personal administrativo, en especial, los chicos de la Biblioteca y de INFORAT.

Al Gobierno de Holanda, quien aportó los fondos para financiar mis estudios.

A la Dirección General Forestal de la República Dominicana, Institución en la cual laboro y que dio el apoyo Institucional.

A la Unión de Trabajadores Agroindustrial de Cartago (UNITAICA), en nombre de Don Guillemos Barrantes, Luis Salas, Carlos Cordero y Sonia Pérez, quienes me brindaron todo el apoyo necesario para que este trabajo se realizara.

A todos los propietarios de las plantaciones, quienes con mucho entusiasmo compartieron sus experiencias y su ayuda en la toma de datos en el campo.

Al Proyecto Madeleña-3 y todo su personal por la cooperación y el trato dispensado durante mi estadía en ese Proyecto. Para cada miembro tengo un agradecimiento en particular.

Al Dr. Glenn Galloway, mi profesor consejero. Un gran amigo, quien me fortaleció más en la sencillez y el deseo de servir a los demás; siempre fue incansable en busca de que una vez dejado el CATIE, tuviera al máximo todas las herramientas para enfrentar la difícil tarea en mi vida profesional.

A los Doctores Phil Cannon, Rodolfo Salazar, Donald Kass y Juan Antonio Aguirre, miembros del Comité y Tribunal de Tesis, por la disposición constante e interés en la revisión y comentario en el trabajo de Tesis. Dr. Cannon, nunca olvidaré que no pude contestar la última pregunta en el examen de grado (aprendí que el bosque tiene la capacidad de producir cosas inimaginables). Muchas gracias Profesor.

Al Señor Miguel Solano, quien desde que llegué al Proyecto Madelafña-3, fue el primero que me llevó al campo para hacer el reconocimiento de las plantaciones a estudiar. Además me brindó un apoyo incondicional en la fase de campo. Con su gran experiencia y el ahínco que pone a su trabajo hizo que pudiéramos obtener los la información en el tiempo planificado.

Al Dr. John Frayer, eucaliptólogo por más de cuatro décadas, por su sencillez y su cooperación en el trabajo de investigación; por sus comentarios tan acertados en todo el trayecto de toma de datos y en la revisión del documento final. Además por las clases de conducir coches.

Al Dr. Luis Ugalde y el M. Sc. William Vásquez, por la ayuda que me brindaron en las fase de toma de datos y análisis de la información.

A todos mis profesores en el CATIE, por sus sabias enseñanzas y consejos.

A Marcela Gil, por la atención que ha tenido para conmigo y por la revisión de las referencias bibliográficas.

A la promoción 91-93, en especial a mis coterráneos Humberto Sánchez, Oscar Valenzuela y Flía, con quienes compartí por más de un año y siempre se preocuparon por mi bienestar.

A todos los integrantes de mi promoción (93-94), con todos he llevado una vida muy eufónica; a ellos le debo mucho de que haya finalizado con éxito mis estudios. Tengo que destacar a los siguientes compañeros: Norma Vera, Juan Díaz, Luis Diego Delgado, Ruddy van Kantén, Jean Raul, Nelson Arriaza, Liliam Rodríguez, Carmen Bieverach, Roger Villalobos, Mauricio Cerda, Mauricio Torres, Vilma Víchez y Ramón Hernández; en especial Mery Jiménez y Mario Paiz, con quienes he desarrollado una amistad muy entrañable, y siempre estuvieron dispuestos para auxiliarme en todo.

A la promoción 94-95, con quienes he compartido buenos momentos.

A mis compañeros de trabajo en Rep. Dominicana, los cuales me apoyaron moralmente para seguir estudiando.

A mis padres y hermanos, a quienes debo todo lo que he alcanzado en la vida.

Biografía del autor

Alberto Sánchez Sánchez, hijo de Damián Sánchez e Irma O. Sánchez, nació en el municipio de Las Matas de Farfán, Provincia de San Juan, Rep. Dominicana, el día 06 de julio de 1968.

Realizó sus estudios primarios en la escuela Damián David Ortíz; y los estudios secundarios en el liceo Mercedes María Mateo en la ciudad natal.

En el año 1986, ingresó a la Universidad Colegio Dominicano de Estudios Profesionales (UCDEP), Santo Domingo, Rep. Dominicana; donde se graduó de Ingeniero Agroforestal en el año 1990.

En febrero de 1990, ingresó a trabajar en la Dirección General Forestal, donde ha desempeñado varias funciones, actualmente ostenta el cargo de Investigador Forestal.

En el año 1993, ingresó al Programa de Maestría del Centro Agronómico Tropical De Investigación y Enseñanza (CATIE), donde fue graduado como *Magister of Science* en Manejo de Recursos Naturales, en el área de Silvicultura y Manejo de Bosques Tropicales.

TABLA DE CONTENIDO

	PÁGINA
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
BIOGRAFÍA DEL AUTOR	VI
TABLA DE CONTENIDO	VII
LISTA DE CUADROS	X
LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE ANEXOS	XIV
RESUMEN	XV
SUMMARY	XVII
LISTA DE ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS	XIX
INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVO DEL ESTUDIO	3
1.1.1. GENERAL	3
1.1.2 ESPECÍFICOS	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL <i>EUCALYPTUS DEGLUPTA</i> BL	4
2.1.1 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA	4
2.1.2 DESCRIPCIÓN DENDROLÓGICA	5
2.1.3 CARACTERÍSTICAS Y USO DE LA MADERA	6
2.1.4 REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS	6
2.1.5 REQUERIMIENTOS DE SITIO	6

2.1.6 ESTABLECIMIENTO DE LA PLANTACIÓN.....	7
2.1.7 ESPACIAMIENTO.....	7
2.1.8 FERTILIZACIÓN.....	8
2.1.9 PROTECCIÓN.....	8
2.1.10 CRECIMIENTO.....	8
2.1.11 MANEJO.....	9
2.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i>	9
2.2.1 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA.....	9
2.2.2 DESCRIPCIÓN DENDROLÓGICA.....	10
2.2.3 CARACTERÍSTICAS Y USO DE LA MADERA.....	10
2.2.4 REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS.....	10
2.2.5 REQUERIMIENTOS DE SITIO.....	11
2.2.6 ESPACIAMIENTO.....	11
2.2.7 FERTILIZACIÓN.....	11
2.2.8 PROTECCIÓN.....	12
2.2.9 CRECIMIENTO.....	13
2.2.10 MANEJO.....	13
3. METODOLOGÍA.....	14
3.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	14
3.2 PLANTACIONES ESTUDIADAS.....	14
3.3 NÚMERO, TIPO Y TAMAÑO DE PARCELAS DE INVESTIGACIÓN.....	16
3.4 FACTORES ESTUDIADOS.....	17
3.4.1 ANÁLISIS QUÍMICO.....	17

3.4.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	18
3.4.3 FACTORES FISIOGRÁFICOS.....	20
3.4.4 VARIABLES DEL RODAL	20
3.4.5. ENTREVISTA CON LOS PROPIETARIOS.....	22
3.5 PROCEDIMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	22
3.5.1 RELACIÓN ALTURA/DIÁMETRO.....	22
3.5.2 COMPARACIÓN DE LAS CURVAS DE REGRESIÓN.....	22
3.5.3 CRECIMIENTO DE LOS ÁRBOLES DEL RODAL	23
3.5.4 RELACIÓN DAP-ANCHO DE COPA.....	23
3.5.5 RELACIÓN IMA EN DIÁMETRO CON ÁREA BASAL.....	24
3.5.6 INDICE DE SITIO.....	24
3.5.7 ESTIMACIÓN DE LA ALTURA PROMEDIO.....	26
3.5.8 ESTIMACIÓN DEL ÁREA BASAL	26
3.5.9 ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN.	27
3.5.10 FACTORES DE SITIOS Y SU EFECTO EN EL CRECIMIENTO.....	27
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
4.1 ASPECTOS SOBRE DINÁMICA.....	29
4.1.1 DENSIDAD INICIAL DE PLANTACIÓN.....	29
4.1.2 RELACIÓN ALTURA/DIÁMETRO.....	30
4.1.3 DISTRIBUCIÓN DE LAS CLASES DIAMÉTRICAS, ALTURAS Y PROFUNDIDAD DE COPAS.....	33
4.1.4 CRECIMIENTO DE LOS ÁRBOLES DENTRO DEL RODAL.....	37
4.1.5 CRECIMIENTO INDIVIDUAL EN VOLUMEN.....	41

4.1.6 RELACIÓN DIÁMETRO CON ANCHO DE COPA.....	43
4.1.7. RELACIÓN DEL INCREMENTO DEL DIÁMETRO Y ÁREA BASAL.....	44
4.2 CALIDAD DE SITIO	48
4.3 CARACTERIZACIÓN DE LAS PLANTACIONES.....	53
4.3.1 ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE SITIO EN PLANTACIONES DE <i>E.</i> <i>DEGLUPTA</i>	53
4.3.2 ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE SITIO EN PLANTACIONES DE <i>E.</i> <i>GRANDIS</i>	53
4.3.3 DISCUSIÓN GENERAL DE LOS FACTORES DE SUELO	66
4.4 COMENTARIOS ADICIONALES.....	70
4.5 ENTREVISTA A LOS PROPIETARIOS.....	72
5.1 CONCLUSIONES.....	73
5.2 RECOMENDACIONES	75
6. BIBLIOGRAFÍA	76
7. ANEXOS.....	88

LISTA DE CUADROS

	PÁGINA
1. ANÁLISIS DE VARIACIÓN ENTRE LOS COEFICIENTES DE REGRESIÓN DE LA RELACIÓN ALTURA/DIÁMETRO, PARA <i>E. DEGLUPTA</i> EN TRES SISTEMAS DE PLANTACIÓN CON EDADES ENTRE 2 Y 4 AÑOS.....	32
2. ANÁLISIS DE VARIACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE REGRESIÓN DE LA RELACIÓN ALTURA/DIÁMETRO PARA <i>E. GRANDIS</i> EN TRES SISTEMAS CON PLANTACIÓN DE EDADES ENTRE 2 Y 4 AÑOS.....	33
3. ANÁLISIS DE VARIACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE REGRESIÓN DE LA RELACIÓN DAP-ANCHO DE COPA ENTRE ESPECIES, CON EDADES ENTRE 2 Y 4 AÑOS, TURRIALBA, COSTA RICA.....	44
4. CLASIFICACIÓN DE LAS PLANTACIONES POR CLASE DE SITIO, TURRIALBA, COSTA RICA.....	53
5. MATRIZ DE CORRELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE SITIO Y LAS VARIABLES DE MAYOR SIGNIFICANCIA PARA <i>E. DEGLUPTA</i> , A UNA EDAD DE 48 MESES, TURRIALBA, COSTA RICA.....	57
6. CLASIFICACIÓN DEL CRECIMIENTO DE LAS PLANTACIONES DE <i>E. DEGLUPTA</i> DE ACUERDO CON EL USO ANTERIOR DEL SUELO, TURRIALBA, COSTA RICA.....	58
7. CLASIFICACIÓN DEL CRECIMIENTO DE LAS PLANTACIONES DE <i>E. DEGLUPTA</i> DE ACUERDO CON LA PRESENCIA O NO DE PASTOS, TURRIALBA, COSTA RICA.....	59
8. MATRIZ DE CORRELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE SITIO Y LAS VARIABLES DE MAYOR SIGNIFICANCIA PARA <i>E. GRANDIS</i> , TURRIALBA, COSTA RICA.....	63
9. CLASIFICACIÓN DEL CRECIMIENTO DE LAS PLANTACIONES DE <i>E. GRANDIS</i> DE ACUERDO CON EL USO ANTERIOR DEL SUELO, TURRIALBA, COSTA RICA.....	64
10. CLASIFICACIÓN DE LAS PLANTACIONES DE <i>E. GRANDIS</i> DE ACUERDO CON LA PRESENCIA O NO DE PASTOS, TURRIALBA, COSTA RICA.....	65

LISTA DE FIGURAS

	PÁGINA
1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	15
2. DENSIDAD INICIAL DE PLANTACIÓN, DE <i>E. DEGLUPTA</i> Y <i>E. GRANDIS</i> EN TRES SISTEMAS, TURRIALBA, COSTA RICA.....	29
3. RELACIÓN ALTURA/DIÁMETRO PARA <i>E. DEGLUPTA</i> EN TRES SISTEMAS DE PLANTACIÓN, CON EDADES ENTRE 2 Y 4 AÑOS, TURRIALBA, COSTA RICA.....	31
4. RELACIÓN ALTURA/DIÁMETRO PARA <i>E. GRANDIS</i> EN TRES SISTEMA DE PLANTACIÓN, CON EDADES ENTRE 2 Y 4 AÑOS, TURRIALBA, COSTA RICA.....	32
5. DISTRIBUCIÓN DE LAS CLASES DIAMÉTRICAS EN PLANTACIONES EN BLOQUES Y EN LÍNEAS DE <i>E. DEGLUPTA</i> DE 2,5 Y 4 AÑOS DE EDAD, TURRIALBA, COSTA RICA.....	34
6. DISTRIBUCIÓN DE LAS CLASES DE ALTURAS EN PLANTACIONES EN BLOQUES Y EN LÍNEAS DE <i>E. DEGLUPTA</i> DE 2,5 Y 4 AÑOS DE EDAD, TURRIALBA, COSTA RICA.....	34
7. DISTRIBUCIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE COPAS EN PLANTACIONES EN BLOQUES Y EN LÍNEAS, DE <i>E. DEGLUPTA</i> DE 2,5 Y 4 AÑOS DE EDAD, TURRIALBA, COSTA RICA.....	35
8. DISTRIBUCIÓN DE LAS CLASES DIAMÉTRICAS EN PLANTACIONES EN BLOQUE Y EN LÍNEAS DE <i>E. GRANDIS</i> DE 2,5 Y 4 AÑOS DE EDAD, TURRIALBA. COSTA RICA.....	36
9. DISTRIBUCIÓN DE LAS DE ALTURAS DE LOS ÁRBOLES EN PLANTACIONES EN BLOQUES Y EN LÍNEAS, DE <i>E. GRANDIS</i> DE 2,5 Y 4 AÑOS DE EDAD, TURRIALBA. COSTA RICA.....	36
10. DISTRIBUCIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE COPAS EN PLANTACIONES EN BLOQUES Y EN LÍNEAS, DE <i>E. GRANDIS</i> DE 2,5 Y 4 AÑOS DE EDAD, TURRIALBA. COSTA RICA.....	37
11. COMPARACIÓN DE LA RELACIÓN ALTURA/DIÁMETRO PARA ÁRBOLES DE CRECIMIENTO LIBRE (DOMINANTES Y CODOMINANTES) LIBRE Y SUPRIMIDOS (INTERMEDIOS Y SUPRIMIDOS) EN TRES SISTEMA DE PLANTACIÓN PARA <i>E. DEGLUPTA</i> , TURRIALBA, COSTA RICA.....	38
12. COMPARACIÓN DE LA RELACIÓN ALTURA/DIÁMETRO PARA ÁRBOLES DE CRECIMIENTO LIBRE (DOMINANTES Y CODOMINANTES) Y SUPRIMIDOS (INTERMEDIOS Y SUPRIMIDOS), EN TRES SISTEMAS DE PLANTACIÓN PARA <i>E. GRANDIS</i> , TURRIALBA, COSTA RICA.....	39
13. COMPARACIÓN DE LA RELACIÓN ALTURA/DIÁMETRO ENTRE ESPECIE, PARA ÁRBOLES SUPRIMIDOS (A) Y DE CRECIMIENTO LIBRE (B), EN TRES SISTEMAS DE PLANTACIÓN, TURRIALBA, COSTA RICA.....	40

14. CRECIMIENTO EN VOLUMEN PROMEDIO EN ÁRBOLES INDIVIDUALES DE 15 M DE ALTURA PARA <i>E. DEGLUPTA</i> (A) Y <i>E. GRANDIS</i> (B) EN TRES SISTEMAS DE PLANTACIÓN, CON EDADES ENTRE 2 Y 4 AÑOS, TURRIALBA, COSTA RICA.	42
15. RELACIÓN ENTRE EL DAP Y ANCHO DE COPA PARA <i>E. GRANDIS</i> Y <i>E. DEGLUPTA</i> CON EDADES ENTRE 2 Y 4 AÑOS, TURRIALBA, COSTA RICA..	43
16. RELACIÓN ENTRE EL INCREMENTO MEDIO ANUAL DEL DIÁMETRO Y EL ÁREA BASAL, EN PLANTACIONES EN BLOQUES DE <i>E. DEGLUPTA</i> , CON EDADES ENTRE 2 Y 4 AÑOS, TURRIALBA, COSTA RICA.	45
17. RELACIÓN ENTRE EL INCREMENTO MEDIO ANUAL DEL DIÁMETRO Y EL ÁREA BASAL, EN PLANTACIONES EN BLOQUES DE <i>E. GRANDIS</i> , CON EDADES ENTRE 2 Y 4 AÑOS, TURRIALBA, COSTA RICA.	46
18. CURVAS DE ÍNDICE DE SITIO LOCAL, EN PLANTACIONES DE <i>E. DEGLUPTA</i> A UNA EDAD BASE DE 48 MESES, TURRIALBA, COSTA RICA.	48
19. CURVAS DE ALTURA PROMEDIO (A) Y ÁREA BASAL (B), EN DIFERENTES CALIDADES DE SITIO, SEGÚN LA EDAD PARA <i>E. DEGLUPTA</i> , A UNA EDAD BASE DE 48 MESES, TURRIALBA, COSTA RICA.	49
20. RELACIÓN ENTRE EL VOLUMEN TOTAL (A) Y VOLUMEN PROMEDIO (B) EN DIFERENTES EDADES Y CALIDADES DE SITIO PARA <i>E. DEGLUPTA</i> , A UNA EDAD BASE DE 48 MESES, TURRIALBA, COSTA RICA.	50
21. CURVAS DE ÍNDICE DE SITIO LOCAL PARA PLANTACIONES DE <i>E. GRANDIS</i> , A UNA EDAD BASE DE 48 MESES, TURRIALBA, COSTA RICA.	51
22. CURVAS DE ALTURA PROMEDIO (A) Y ÁREA BASAL(B) EN DIFERENTES CALIDADES DE SITIO ,SEGÚN LA EDAD PARA <i>E. GRANDIS</i> , A UNA EDAD BASE DE 48 MESES, TURRIALBA, COSTA RICA.	52
23. RELACIÓN ENTRE EL VOLUMEN TOTAL (A) Y VOLUMEN PROMEDIO (B), EN DIFERENTES EDADES Y CALIDADES DE SITIO PARA <i>E. GRANDIS</i> , A UNA EDAD BASE DE 48 MESES, TURRIALBA, COSTA RICA.	52
24. INCREMENTO MEDIO ANUAL EN VOLUMEN Y ALTURA PARA <i>E. DEGLUPTA</i> EN TRES CALIDADES DE SITIO, A EDADES ENTRE 2 Y 4 AÑOS, TURRIALBA, CÓSTA RICA.	54
25. DISPONIBILIDAD DE CATIONES (A), FÓSFORO Y OTROS ELEMENTOS (B), PARA <i>E. DEGLUPTA</i> EN TRES CALIDADES DE SITIO, TURRIALBA, COSTA RICA.	55

26. COMPARACIÓN DEL PH, SATURACIÓN DE BASES (A), ELEVACIÓN Y DENSIDAD APARENTE (B), PARA PLANTACIONES DE <i>E. DEGLUPTA</i> EN TRES CALIDADES DE SITIO, TURRIALBA, COSTA RICA.	56
27. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO Y DE MATERIA ORGÁNICA PARA <i>E. DEGLUPTA</i> EN TRES CALIDADES DE SITIO, TURRIALBA, COSTA RICA.	56
28. CRECIMIENTO EN VOLUMEN Y ALTURA PARA <i>E. GRANDIS</i> EN TRES CALIDADES DE SITIO CON EDADES ENTRE 2 Y 4 AÑOS, TURRIALBA, COSTA RICA.	60
29. PRESENCIA DE CATIONES (A), FÓSFORO Y OTROS ELEMENTOS (B), PARA <i>E. GRANDIS</i> EN TRES CALIDADES DE SITIO, TURRIALBA, COSTA RICA.	61
30. PORCENTAJE DE SATURACIÓN DE BASES, PH (A), ELEVACIÓN Y DENSIDAD APARENTE EN TRES CLASES DE SITIO PARA <i>E. GRANDIS</i> , TURRIALBA, COSTA RICA.....	61
31. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO Y DE MATERIA ORGÁNICA PARA <i>E. GRANDIS</i> , EN TRES CALIDADES DE SITIO, TURRIALBA, COSTA RICA.	62

LISTA DE ANEXOS

	PÁGINA
1. RESUMEN DE LAS VARIABLES ESTUDIADAS EN <i>E. DEGLUPTA</i> DENTRO CADA CLASE DE SITIO.....	88
2. RESUMEN DE LAS VARIABLES ESTUDIADAS EN <i>E. GRANDIS</i>	89
3. TABLA DE LAS VARIABLES CON MAYOR CORRELACIÓN EN LAS PLANTACIONES DE <i>E. DEGLUPTA</i>	90
4. TABLA DE LAS VARIABLES CON MAYOR CORRELACIÓN EN LAS PLANTACIONES DE <i>E. GRANDIS</i>	91
5. CRECIMIENTO DE <i>E. DEGLUPTA</i> EN DIFERENTES SITIOS Y SISTEMAS DE PLANTACIÓN.....	92
6. CRECIMIENTO DE <i>E. GRANDIS</i> EN DIFERENTES SITIOS Y SISTEMAS DE PLANTACIÓN.....	94

SÁNCHEZ S, A. 1994. Crecimiento de *Eucalyptus deglupta* y *E. grandis* bajo tres sistemas de plantación a nivel de finca en la zona de Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc., Turrialba, C.R., CATIE. 95 p.

Palabras claves. *Eucalyptus deglupta*, *Eucalyptus grandis*, dinámica de rodales, crecimiento, factores de sitio, manejo de densidad, fertilidad de suelo, volumen, diámetro, altura, índice de sitio, plantación en línea.

RESUMEN

Se evaluó el desarrollo de plantaciones jóvenes (2 a 4 años) de *E. deglupta* y *E. grandis*, en tres sistemas: bloques puros, sistemas agroforestales (árboles con café) y en líneas (árboles establecidos en una sola dirección). Además, se determinaron factores de sitio que influyeron en su crecimiento. El estudio se realizó en el cantón de Turrialba y áreas aledañas. La zona de vida, corresponde al bosque muy húmedo Montano Bajo (bmh-MB). Las coordenadas geográficas son 9°50' latitud norte y 83° 30' longitud oeste. Las plantaciones pertenecen a un programa de reforestación destinado a pequeños y mediano productores, que se ejecuta en la zona a través de UNITAICA (Unión de Trabajadores Agroindustrial de Cartago), e incentivos estatales.

Las plantaciones se ubicaron en un rango altitudinal de 500 a 1400 msnm, con extensiones mínimas de 0,5 ha para bloques puros y sistemas agroforestales, y más de 15 árboles para plantaciones en líneas. El tamaño de la parcela neta fue de 25 árboles para bloques y sistemas agroforestales, y 12 árboles en plantaciones en líneas. El número de parcelas en la muestra de *E. deglupta*, para plantaciones en bloques, sistemas agroforestales y en líneas fue de 22, 6 y 9, respectivamente. Para *E. grandis* el número de parcelas en el mismo orden fue de 41, 7 y 9. Cuando fue posible, se entrevistó a los propietarios, para averiguar sobre los objetivos de las plantaciones y su conocimiento sobre el manejo de las mismas.

Se estudiaron factores químicos del suelo (pH, Ca, Mg, P, K, MO, saturación de bases y microelementos) y físicos (densidad aparente y textura); fisiográficos (elevación y pendiente) y del rodal (edad, diámetro, altura total, profundidad y ancho de copa, área basal, volumen, presencia y tipo de malezas y prácticas de manejo).

Se estimó la relación altura/diámetro por sistema de plantación; además se combinaron las plantaciones en bloques puros y sistemas agroforestales, para estimar la relación diámetro-ancho de copa y el incremento medio anual en diámetro con área basal. De acuerdo con el índice de sitio a los 48 meses, las plantaciones se dividieron en tres clases: buenas ($\geq 17,5$ m), regulares (17,4 a 13,1 m) y marginales (≤ 13 m); esto sirvió de base para determinar diferencias entre los niveles de los factores estudiados por clase de sitio. La estimación del modelo que predijo el crecimiento, se obtuvo por regresión múltiple por pasos (Stepwise), con las variables que presentaron mayor correlación con el índice de sitio.

Para ambas especies, se encontró que los árboles de plantaciones en bloques y en sistemas agroforestales mantuvieron el crecimiento en altura, pero el desarrollo en diámetro se redujo en comparación con árboles en líneas. *E. deglupta* fue más afectado por la competencia (intraespecífica); los árboles de esta especie presentaron una relación altura/diámetro más alta, mayor recesión de copas, y se estimó que el incremento medio anual en diámetro, se redujo

cuando los rodales alcanzaron un área basal de unos $13 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$. En contraste, esta reducción ocurrió cuando *E. grandis* tenía aproximadamente $18 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$. En las plantaciones en bloques y sistemas agroforestales, el crecimiento en diámetro de los árboles dominantes y codominantes fue menos afectado por efecto de la competencia entre árboles, pero al ser comparados con árboles en líneas, se notó una reducción en el crecimiento en diámetro. Estos resultados mostraron que a pesar de que las plantaciones son muy jóvenes, es necesario implementar un programa fuerte de raleos, para que cumplan con el objetivo principal de producir madera de aserrío. Se considera que el momento oportuno para el primer raleo puede coincidir con el inicio del traslape de copas en ambas especies.

Un 30 y 25% de las plantaciones de *E. deglupta* y *E. grandis*, respectivamente, presentaron un crecimiento marginal (clase III). Estas plantaciones tienen pocas posibilidades de convertirse en productoras de madera para aserrío. Este crecimiento pobre se relacionó con factores de sitio y presencia de pastos que compiten fuertemente con los árboles de estas especies.

El crecimiento en volumen promedio de *E. deglupta* osciló entre 2 y $26 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, para sitios clase III y I, respectivamente. Los niveles de Ca, P, Mg, Mn y saturación de bases fueron mayores en los sitios clase I. Asimismo, las plantaciones mejores se ubicaron a una elevación promedio inferior a 750 msnm. Los factores más correlacionados con el índice de sitio fueron Mg, Ca, P, Mn y arcilla. De acuerdo con el modelo obtenido, el Mg, Mn y la arcilla explicaron un 56% de la variación del índice de sitio.

El volumen promedio de *E. grandis* en sitios clase I, fue de $32,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, en comparación con $1,4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en sitios marginales (clase III). Los niveles de Ca, Mn y saturación de bases fueron mayores en sitios clase I. También hubo diferencias en elevación; las mejores plantaciones se establecieron debajo de los 850 msnm. Las variables mejor correlacionadas con el índice de sitio fueron Mg, Ca, elevación, densidad aparente y arena. El Mg explicó un 21% de la variación del índice de sitio.

Las plantaciones en sistemas agroforestales tuvieron la tendencia de tener un mejor crecimiento. En general, el crecimiento fue menor cuando no se hizo un control efectivo de pastos, este efecto se acentuó en terrenos poco fértiles. En 60 y 78% de las plantaciones de clase III y II de *E. deglupta*, no se hizo control efectivo de pastos. De igual forma, en 100 y 75% de las plantaciones de *E. grandis* clase III y II, los árboles estuvieron asociados con pastos densos. Se asumió que el crecimiento superior de los sistemas agroforestales se debió a la aplicación periódica de fertilizantes al cultivo y un control más efectivo de las malezas. Así se hicieron análisis por separado de las plantaciones asociadas con pastos, para estimar el índice de sitio con base en factores de suelo. A través de este procedimiento se mejoró la capacidad de estimar el índice de sitio. En *E. deglupta*, Mg, P y arcilla explicaron un 76% de la variación en el crecimiento, mientras que en *E. grandis*, Ca y Mn explicaron el 48% de la variación en el índice de sitio.

Este estudio mostró que el crecimiento de *E. deglupta* y *E. grandis* en diferentes sistemas de plantación es sensible a factores de sitio, particularmente relacionado con propiedades del suelo, elevación y competencia por pastos. Tomando en cuenta estos factores y cuidando más el manejo de la densidad del rodal a edades jóvenes, se tendría una mejoría en la producción de estas especies en el área de estudio.

SANCHEZ S, A. 1994. The growth of *Eucalyptus deglupta* and *E. grandis* under three plantation systems on farms in Turrialba Zone, Costa Rica. Master of Science Thesis, CATIE, Turrialba, C.R. 95p.

Key words: *Eucalyptus deglupta*, *Eucalyptus grandis*, stand dynamics, growth, site factors, management of stocking, soil fertility, volume, diameter, height, site index, line-plantation.

SUMMARY

This study evaluated the development of young plantations (2 to 4 years) of *E. deglupta* and *E. grandis* grown under three systems: in pure blocks, in agroforestry systems (trees with coffee), and in single rows (trees established in one direction). Site factors which influence growth were also determined. The study was carried out in the canton of Turrialba and surrounding areas, in the life zone very humid, low mountain forest (bmh-MB), at latitude 9° 50' N, longitude 8° 30' W. The plantations were part of a program of reforestation for small and medium scale farmers, managed in the region through UNITAICA (Workers Agroindustrial Union of Cartago), and State incentives.

The plantations were situated over an altitudinal range from 500 to 1400 masl, with minimum areas of 0.5 hectares for blocks and agroforestry systems, and more than 15 trees for plantations in rows. The net number of the trees per plot was at least 25 for blocks and agroforestry systems, and at least 12 for plantations in rows. The number of plots in the total sample of *E. deglupta* in blocks, agroforestry systems and rows were 22, 6 and 9 respectively, and for *E. grandis*, in the same order, were 41, 7 and 9. Wherever possible the farm owners were interviewed to determine the objectives of the plantation, and the owner's knowledge of plantation management.

The following site factors were investigated: soil chemical properties (pH, Ca, Mg, P, K, organic matter content, base saturation and microelements), soil physical properties (bulk density and texture), physiography (elevation and slope), stand characteristics (age, diameter, total height, depth and width of crown, basal area, volume, presence and type of weeds, and management practices).

Estimations were made of the relationships between height and diameter, for each system of plantation. In addition, blocks and agroforestry systems were combined to estimate the relationship between diameter and crown width, and between mean annual increment in diameter and basal area. The plantations were divided into three classes according to the site index at 48 months: high (≥ 17.5 m), medium (17.4 to 13.1 m), and low (≤ 13 m). This served as a basis to determine differences between the levels of factors investigated, by site class. The estimation of the growth prediction model was by stepwise multiple regression using variables which showed the best correlation with site index.

For both species it was found that trees in blocks and in agroforestry systems maintained height growth but diameter growth was reduced compared to trees in rows. *E. deglupta* was more effected by competition, trees showing a higher height-diameter relationship and greater crown recession. It was estimated that the mean annual increment in diameter was reduced when the stands reached a basal area of $13 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$. With *E. grandis*, this reduction occurred when the stand had a basal area of approximately $18 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$. In blocks and agroforestry systems the diameter growth of the dominant and codominant trees was less affected by competition between trees, but when compared with trees in rows a reduction in diameter growth was observed. These results show that, in spite of the young age of the plantations, it is necessary to

implement a strict program of thinning in order to achieve the principal objective of producing sawn timber. It is considered that the most appropriate stage for the first thinning is at the commencement of crown closure for both species.

About 30% and 25% respectively of plantations of *E. deglupta* and *E. grandis* showed low growth (class III). These plantations had little possibility of producing sawn timber. This poor growth was related to site factors and the presence of pasture which competes strongly with both species.

The mean volume increment of *E. deglupta* varied between 2 and 26 m³ ha⁻¹ year⁻¹ for site classes III and I respectively. Levels of Ca, P, Mg, Mn, and base saturation were higher in class I sites. The most productive plantations were located at elevations on average less than 750 masl. The factors best correlated with site index were Mg, Ca, P, Mn, and clay content. From the model obtained Mg, Mn, and clay content explained 56% of the variation of site index.

The mean volume growth of *E. grandis* in class I sites was 32.5 m³ ha⁻¹ year⁻¹ compared to 1.4 m³ in class III sites. Levels of Ca, Mn, and base saturation were higher in class I sites. There were also differences with elevation, the more productive plantations being located at less than 850 masl. The variables best correlated with site index were Mg, Ca, elevation, bulk density and sand content. Mg explained 21% of the variation in site index.

The plantations in agroforestry systems tended to have better growth. In general the growth was poorer where there had not been an effective control of pasture, and this effect was more pronounced on less fertile sites. In 60% and 78% of the plantations of *E. deglupta* class III and II respectively there had not been effective control of pasture. Similarly in 100% and 75% of the plantations of *E. grandis* class III and II respectively, the trees were associated with dense pasture. It was assumed that the superior growth of agroforestry systems was due to the periodic application of fertilizer to the crop, and to a more effective control of weeds. Thus a separate analysis was made of plantations associated with pasture to estimate the site index based on soil factors. By this procedure the estimation of site index was improved. In *E. deglupta*, Mg, P and clay explained some 76% of the variation in growth, while for *E. grandis* Ca and Mn explained 48% of the variation in site index.

This study showed that the growth of *E. deglupta* and *E. grandis* under different plantation systems is sensitive to site factors, particularly those related to soil properties, elevation and competition with pasture. Consideration of these factors, together with more attention to stand density management at early ages, could lead to an improvement in the production from these species in the study area.

LISTA DE ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

- α = Probabilidad de significancia en pruebas estadísticas
AB = Area basal
Acopa = Area de la copa
Agrof = Sistemas Agroforestales
Alt = Altura
CAF = Certificado de Abono Forestal
CATIE = Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
CM = Cuadrado medio
Copor = Profundidad de copa en %
DA = Densidad aparente
Dap = Diámetro a la altura de pecho
Dcopa = Diámetro de copa
EUCADE = *Eucalyptus deglupta*.
EUCAGR = *Eucalyptus grandis*
F = Valor calculado de F de Fisher
FDF = Fondo de Desarrollo Forestal
GL = Grados de libertad
Hd = Altura dominante
HG = Humedad gravimétrica
IMA = Incremento medio anual
IS = Índice de sitio
l = Litros
 $m^2 ha^{-1} año^{-1}$ = Metros cuadrado por hectárea por año
 $m^3 ha^{-1} año^{-1}$ = Metros cúbicos por hectárea por año
MADELEÑA = Proyecto de Cultivo de Arboles de Uso Múltiple
meq = Miliequivalentes en 100 miligramo de suelo.
mg = Miligramos
PH = Peso húmedo
ppm = Parte por millón
PS = Peso seco
SAF = Sistemas agroforestales
SC = Suma de cuadrado
UNITAICA = Unión de Trabajadores Agroindustrial de Cartago
Vol = Volumen
Vtcc = Volumen total con corteza

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la demanda de productos forestales para el desarrollo económico y social ha mostrado una tendencia creciente. Sedjo y Lyon (1990) estiman que el consumo de madera mundial para usos industriales superará en el año 2 000 los $2 \times 10^9 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$ y dentro de 75 años, esta demanda será el doble ($4 \times 10^9 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$). Esto indica que si solo se dispone del incremento de las reservas forestales naturales ($3 \times 10^9 \text{ m}^3$); muy pronto se tendrá un balance negativo, situación que ya se presenta en algunos países.

De acuerdo con Dembner (1991), en los países tropicales se tala anualmente alrededor de 1,6% de la cobertura forestal existente ($16,8 \times 10^6 \text{ ha}$), la cual es el doble de lo que se cortaba en la década de los años 70. Las altas tasas de deforestación registradas se asocian con cambios de uso de la tierra para agricultura, desarrollo urbanístico, explotación extensiva para aprovechamiento de la madera, leña, carbón y sobrepastoreo (Evans 1992).

La situación actual es que el recurso forestal natural, en corto o mediano plazo no alcanzará a satisfacer la demanda para materia prima; debido a que se está agotando a un ritmo muy acelerado, a tal punto que se le considera uno de los mayores problemas que debe enfrentar la humanidad. Esta situación, unida a la baja productividad del bosque natural, accesibilidad difícil y la dificultad que presenta la regeneración natural en algunas áreas, ha originado que las plantaciones forestales con árboles de rápido crecimiento se hayan incrementado considerablemente; las cuales contribuyen en la actualidad a satisfacer la demanda de madera para pulpa, para construcciones, leña y carbón.

El interés por las plantaciones es creciente; las mismas se incrementaron en más de seis veces entre 1960-90, se calcula que a nivel mundial existen unos 43 millones de hectáreas, que producen un volumen de madera de $6 \times 10^8 \text{ m}^3$, equivalente al 15% de la demanda mundial anual de madera. América Latina podría convertirse en un fuerte productor forestal, debido a la disponibilidad de terrenos de vocación para esta actividad. Brasil, país que cuenta con las mayores extensiones de selva tropical, ha reforestado más de siete millones de hectáreas. Otros países con superficie considerable de plantaciones son Venezuela (350 000 ha), Argentina (300 000 ha), Perú (272 000 ha), México (263 000 ha) y Colombia (250 000 ha) (INAFOR 1987; Evans 1992)

Costa Rica sufre también el agotamiento de sus reservas forestales. De acuerdo con FAO (1993), en 1990 solo un 28% del territorio nacional (1 428 000 ha), presentaba algún tipo

de cobertura boscosa, con una tasa anual de deforestación de 2%. Una de las respuestas al problema ha sido la introducción de especies exóticas de rápido crecimiento, que se adaptan fácilmente a las condiciones de país. Estas cubren unas 40 000 hectáreas, equivalente al 0,8% del área total del país; las cuales se han incrementado de 1981-90 en un 30,5%. Especies del género *Eucalyptus* están entre las más utilizadas en la zona de vida de bosque húmedo. El CATIE (antiguamente CTIE), introdujo varios eucaliptos durante la década de los años 60 con fines de investigación (Gewald 1978), y éstas se difundieron ampliamente en el cantón de Turrialba, por el Centro Agrícola Cantonal de Turrialba. La especie más plantada fue *E. deglupta* (Ugalde 1980).

En Turrialba y áreas aledañas, se ha implementado un programa social de plantaciones forestales desde 1990, destinado a pequeños productores. Este programa es promovido por una ONG, compuesta por un grupo de pequeños y medianos finqueros, conocida por las siglas de UNITAICA (Unión de Trabajadores Agroindustriales de Cartago); además, cuenta con incentivos económicos del estado. Las especies más utilizadas en este programa son *Eucalyptus grandis* y *E. deglupta*. Los tipos de plantaciones más comunes son hileras, bloques puros y sistemas agroforestales (principalmente árboles con café), los cuales tienen como objetivo la producción de madera para aserrío. En un reconocimiento preliminar, en varios lugares, se observó que las plantaciones no presentaban un desarrollo uniforme; además, era evidente la ausencia de prácticas de manejo.

Es bien conocido que aparte de una elección correcta de la especie, buena calidad de las semillas, crecimiento rápido o buena calidad de la madera, un buen sistema de manejo es de vital importancia en el establecimiento de nuevas plantaciones.

En ese sentido, el presente trabajo tuvo como finalidad evaluar el desarrollo de las plantaciones indicadas e identificar factores de sitio que ayuden a predecir el crecimiento de estas especies; así como identificar algunos problemas comunes en el manejo de las plantaciones.

Los resultados obtenidos de este estudio, están orientados a mejorar el establecimiento de plantaciones y aplicar un manejo apropiado de las mismas en diferentes condiciones de sitio, de tal forma, que puedan cumplir con los objetivos de los propietarios.

1.1 Objetivo del estudio

1.1.1 General

Evaluar el desarrollo de plantaciones jóvenes (2 a 4 años) de *Eucalyptus deglupta* y *Eucalyptus grandis*, a nivel de fincas de pequeños propietarios, en tres sistemas de plantación relacionados con factores de sitio y prácticas de manejo en la zona de Turrialba y áreas aledañas, Costa Rica.

1.1.2 Específicos

1. Estudiar algunos aspectos sobre la dinámica de rodal de estas especies relacionado con el crecimiento en diámetro en tres sistemas de plantación.
2. Determinar los factores de sitio que afectan de manera significativa la productividad de estas dos especies.
3. Recopilar información sobre los objetivos de las plantaciones, y calificar el grado de conocimiento que tiene el propietario en relación con su manejo.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Características generales del *Eucalyptus deglupta* Bl

2.1.1 Distribución geográfica

Deglupta tiene una distribución natural amplia, es la única especie de *Eucalyptus* que ocurre naturalmente en el norte y el sur del Ecuador (Chaplin 1993). Junto con *Eucalyptus urophylla*, son las dos especies del género que no se presentan de forma natural en el continente australiano (Eldridge *et al.* 1993). Tiene una distribución desde Mindanao en Filipinas, Sulawesi, Ceram hasta Irian Java en Indonesia y Papua Nueva Guinea (Davidson 1973, Turnbull y Pryor 1984); entre las latitudes 9° N y 11°S, y longitud este de 118° a 155° (FAO 1981).

E. deglupta posee una distribución discontinua, con poblaciones separadas por grandes barreras marinas y terrestres. Esta especie junto con *E. camaldulensis*, son los eucaliptos que tienen una distribución más extensa (Chippendale y Wolf 1981, citado por Eldridge *et al.* 1993).

Su rango altitudinal va desde el nivel del mar hasta 2500 m. Sin embargo, en condiciones naturales, se desarrolla mejor cuando se encuentra en lugares ribereños, con elevaciones inferiores a los 150 msnm (Eldridge *et al.* 1993); aunque en Mindanao (Filipinas) crece muy bien en elevaciones entre 800 y 900 msnm¹. A menudo exhibe fustes con gambas y árboles bifurcados (Richard 1952, citado por Grijpma 1969; FAO 1985; Turnbull y Pryor 1984).

Las plantaciones más importantes de esta especie se han realizado en Filipinas e Indonesia (cerca de 30 000 hectáreas cada una), seguido por Brasil (10 000 ha), Malasia, Papua Nueva Guinea, Ghana, Sri-Lanka, Fiji y Cote d'Ivoire (4 000 hectáreas en cada país). En la actualidad hay más de 100 000 hectáreas de plantaciones de esta especie en el mundo (Eldridge *et al.* 1993).

Entre 1978 y 93 se establecieron establecidas en Costa Rica alrededor de 1000 hectáreas (Murillo 1993). Estas plantaciones se ubican entre 600 y 1000 msnm en Turrialba y entre

¹ Comunicación personal con P. Cannon 1994.

400 y 600 msnm en San Carlos (Salazar y Jiménez 1988). Guier (1982), reporta que los mejores resultados se han obtenido por debajo de 750 msnm.

2.1.2 Descripción dendrológica

Eucalyptus es una palabra que se deriva del griego clásico 'eu' que significa bueno y 'Kaluptos' que significa cobertura. El nombre se refiere a los frutos encerrados en cápsulas. *Deglupta* en latín significa decortezarse. Es sinónimo de *Eucalyptus naudiniana*, *Eucalyptus multiflora* y *Eucalyptus schlechteri*. Los nombres comunes son deglupta (inglés), bagras (Filipinas) y karamere (Papua Nueva Guinea). El nombre comercial de la madera es karamere y mindanao gum (Chaplin 1993).

Fue descrito por primera vez en 1849 por Carl Blume, con un espécimen colectado en 1821 en Sulawesi (Davidson 1978). Cuando los árboles llegan a la madurez, pueden alcanzar entre 35 a 60 m de altura (raras veces mayor de 75 m), con diámetros de 0,5 a 2 m o más (FAO 1981; Eldridge *et al.* 1993). Posee un fuste único, recto y cónico; libre de ramas muertas hasta un 60% de su altura total, pero cuando está en linderos mantiene ramas grandes en la parte baja del fuste. Es común observar contrafuertes en la base o gambas que se presentan principalmente cuando crece sobre suelos inestables y aluviales; por esa característica la primera troza tiene un rendimiento bajo (Grijpma 1969; Navarro 1985; CATIE 1986; Salazar y Jiménez 1988).

Los árboles jóvenes presentan copas cónicas o moderadamente abiertas, tendiendo a ser más horizontal en la medida que el árbol tiene más edad. El tamaño de la copa es muy variable y depende mucho del espacio que dispone durante su desarrollo (Davidson 1973).

La corteza es lisa y delgada (3 a 8 mm); se desprende por sectores longitudinales. Es de color verde cuando está tierna, tornándose a gris rosado, rojo y anaranjado (Guier 1982).

Es una especie con un sistema radical superficial, compuesto por una raíz pivotante y varias secundarias. El tamaño es variable y depende principalmente de la textura del suelo y la competencia entre árboles. Si el suelo es bien drenado, la raíz principal puede profundizar hasta 4 m; pero lo normal es de 1-3 m. Las raíces horizontales se concentran en un radio de 5 m a una edad en entre 7 y 8 años (Grijpma 1969; Salazar 1987).

2.1.3 Características y uso de la madera

La madera es de grano grueso, color rosado, pardo claro a oscuro. Es de durabilidad corta en condiciones de alta humedad, si no se aplica algún tratamiento. El peso específico oscila entre 0,49 a 0,80 g cm⁻³, poniéndose más densa al aumentar la edad del árbol (Petroff 1965; Slooten *et al.* 1969; Grijpma 1969; Shimizu 1978). Es fácil de trabajar. Se utiliza para construcciones pesadas, pisos, paneles, contrachapado, acabado de interiores, pulpa y muebles (FAO 1981; Turnbull y Pryor 1984; Grijpma 1969; Vega 1980). En Turrialba se usa para postes del tendido eléctrico y telefónico, postes para cercas y leña (Aguirre 1977). En la actualidad se está utilizando también para la fabricación de muebles, con un excelente acabado.²

2.1.4 Requerimientos climáticos

Muchos autores recomiendan plantar esta especie en áreas con precipitación uniforme (entre 2 000 a 5 000 mm al año) durante el año, sin meses secos (menor de 100 mm al mes) (Davidson 1973; FAO 1981; Turnbull y Pryor 1984; Francis 1988; Evans 1992). Sin embargo, en El Congo, con una estación seca bien marcada, se han obtenidos buenos resultados con *deglupta* (Groules 1964). En Turrialba, crece bien con una precipitación promedio de 2600 mm (Salazar y Jiménez 1988).

Predomina en zonas de temperaturas altas con pocas oscilaciones, por ser de distribución natural subecuatorial. La temperatura máxima promedio a nivel del mar es de 30 a 32 °C. A elevaciones mayores la temperatura promedio del mes más frío puede llegar a 20 °C (Turnbull y Pryor 1984; Chaplin 1993).

2.1.5 Requerimientos de sitio

La calidad de sitio es un factor determinante en el crecimiento inicial de *deglupta* (Salazar 1987). La compactación del suelo (resistencia de penetración de las raíces) y porcentaje de arcilla superior al 70%, tienden a limitar su desarrollo (Vega 1980; Guier 1982).

² Comunicación personal, R. Salazar. CATIE, Turrialba, C.R., 1994.

El *deglupta* es considerado como una especie pionera que coloniza suelos aluviales recién depositados, laderas y cenizas volcánicas (Francis 1988). Se desarrolla bien en suelos arenosos de textura gruesa y francos, cenizas volcánicas, pómez y de origen calcáreo; aunque crece mejor en suelos francos, arenosos aluviales, profundos y bien drenados a lo largo de los ríos (FAO 1981; Turnbull y Pryor 1984).

2.1.6 Establecimiento de la plantación

Las plántulas están listas para llevarlas al sitio de plantación cuando tienen entre 20 y 30 cm de altura (3 a 4 meses de edad), previamente se necesita de una preparación adecuada del terreno como eliminar la vegetación existente (Grijpma 1969; Chaplin 1993). En América Central, se planta en bloques puros, líneas e intercalada entre cultivos en prácticas agroforestales. En Papua Nueva Guinea es plantada en líneas de enriquecimiento en bosques fuertemente explotados (Segura 1970).

E. deglupta es una especie muy exigente de luz, las hojas están dispuestas casi horizontalmente para maximizar la intersección de los rayos solares (Heather 1955; Grijpma 1969). Es recomendable establecer las plantaciones a campo abierto, limpiar totalmente el terreno, eliminando los árboles remanentes ya sea cortándolos o utilizando arboricidas (Chaplin 1993).

2.1.7 Espaciamiento

En Filipinas se utiliza un distanciamiento de 4 x 4 m en plantaciones puras destinadas a la producción de pulpa, con rotaciones de 12 años sin raleos. En Papua Nueva Guinea se usa a 3 x 3 m y 4 x 4 m para producir pulpa con rotaciones de 7 a 10 años; en plantaciones consignadas a producir madera de aserrío, un espaciamiento común es 4,5 x 4,5 m, con una rotación de 25 años y raleos a los 5, 10 y 15 años; para plantaciones en líneas, el espaciamiento más frecuente en Fiji es de 2,75 m (FAO 1981; Lamprecht 1990; Evans 1992). Las densidades más utilizadas en Costa Rica para plantaciones en bloques son de 2 x 2,5 m y 2,5 x 2,5 m, con rotaciones entre 12 y 15 años y se aplican dos o tres raleos durante el turno³.

³ Comunicación personal. R. Salazar. CATIE, Turrialba, C. R., 1994.

2.1.8 Fertilización

En Papua Nueva Guinea, se favoreció el crecimiento en altura al aplicar 500 kg ha^{-1} de NPK (17-5-22); la altura promedio de los árboles fertilizados fue de 3,98 m, en comparación con 0,70 m para el testigo (Evans 1992). Respuestas positivas se obtuvieron con la aplicación de P y PK, respectivamente (Johanning 1970; Vargas 1989).

Lamb (1977), determinó que el porcentaje crítico de nitrógeno en hojas de *E. deglupta* fue de un 2,1% y una relación óptima de nitrógeno:fósforo de 10,4:1.

2.1.9 Protección

La especie es muy susceptible al fuego, debido a que la corteza es muy delgada (FAO 1981; Evans 1992), principalmente cuando los árboles tienen diámetros menores de 30 cm (Heather 1955; Turnbull y Pryor 1984). No tolera sombra y es afectado por pastos; condiciones que deben controlarse para favorecer la tasa de crecimiento (Salazar 1987; Evans 1992).

La hormiga cortadora (*Atta* spp), ataca fuertemente esta especie en el primer año. Sin embargo, tanto en rodales naturales como en plantaciones las termitas son los enemigos más fuertes para la especie; llegando su efecto hasta 5 m de altura (Grijpma 1969; Turnbull y Pryor 1984; Salazar 1987).

Es menos susceptible al ataque del hongo *Cryphonetria cubensis*, que produce el cáncer o cancro en *E. grandis*, *E. saligna*, *E. alba* y *E. robusta* (Lamprecht 1990; Eldridge *et al.* 1993).

2.1.10 Crecimiento

Deglupta es una especie de crecimiento rápido (Turnbull y Pryor 1984). Los mayores incrementos en altura se observan durante los primeros años, y va decreciendo durante los próximos 25 a 30 años (Francis 1988). El incremento medio anual (IMA) en volumen está entre $19 \text{ y } 32 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ durante los primeros tres años (FAO 1981). En Turrialba existen árboles de 20 años con 50 m de altura y 85 cm de dap; en plantaciones jóvenes el

IMA fluctúa entre 2 y 4,3 m de altura, y 2 a 5 cm de dap. Así la especie es apta para producir madera de aserrío de buena calidad en un período relativamente corto (Salazar y Jiménez 1988).

2.1.11 Manejo

Los raleos no son tan necesarios en plantaciones destinadas a la producción de pulpa con rotaciones cortas de 6 a 7 años (FAO 1981). En contraste, cuando se quiere producir madera para aserrío éstos son vitales. El primer raleo selectivo se aplica para eliminar árboles suprimidos y mal formados. De esa forma se disminuye la competencia de copas y la variación en altura y diámetro del fuste, para favorecer los mejores árboles del rodal (Salazar 1987).

En Papua Nueva Guinea con una densidad inicial de 480 arb. ha⁻¹ (5 m x 6 m), se realizó un primer raleo de limpieza a los 5 años, otro a los 10 años y un último a los 15 años, para dejar 99 arb. ha⁻¹; la corta final se realiza a los 25 años para madera de aserrío (FAO 1981).

La poda no es tan importante en plantaciones puras (Evans 1992; Ugalde 1980). En Turrialba presenta una poda natural de hasta un 70% de la altura total en bloques puros (Salazar y Jiménez 1988). Cuando se establece en linderos se debe aplicar podas debido a que las ramas suelen ser muy persistentes.

2.2 Características generales del *Eucalyptus grandis*

2.2.1 Distribución geográfica

Crece en forma natural entre 16° y 33° latitud sur, en la zona costera de Nueva Gales Del Sur y el sur de Queensland, Australia (CATIE, 1986). Se extiende a menos de 100 km tierra adentro desde la zona costera (Eldridge *et al.* 1993). El rango altitudinal en su ambiente natural va desde el nivel del mar hasta 900 m (Turnbull y Pryor 1984). En Kenya se ha plantado con éxito hasta 2700 msnm. A mayores latitudes requiere plantarse a menor elevación para evitar problemas por temperaturas bajas (FAO 1981).

Es una de las especies exóticas más ampliamente plantada, debido a su excelente capacidad de adaptación y crecimiento en sitios no marginales, y los diversos usos que se le pueden dar a la madera (Hills y Brown 1984; Evans 1992). Según Burgess (1988), las plantaciones de esta especie en el mundo cubren más de dos millones de hectáreas. El mayor productor es Brasil con más de un millón de hectáreas; otros países con extensas áreas son África del Sur (500 000 ha), Angola, Zimbabwe, África Oriental, Argentina, La India y Uruguay (FAO 1981).

2.2.2 Descripción dendrológica

Es un árbol de porte alto, alcanza más de 45 m de altura y hasta 2 m de dap cuando llega a la madurez. Las plántulas no presentan lignotubérculos. El fuste es recto, con una poda natural de más de las 2/3 partes de su altura total (CATIE 1986). La corteza se desprende en placas blancas. La copa es cónica, tendiendo a abrirse cuando es adulta (FAO 1981).

2.2.3 Características y uso de la madera

La madera es de color rosado a ligeramente pardo-rojizo claro, su peso específico oscila entre $0,4 \text{ g cm}^{-3}$ en árboles jóvenes, hasta $0,79 \text{ g cm}^{-3}$ cuando está madura. La durabilidad es moderada (CATIE 1986). Tiende a torcerse en el secado, lo que está asociado a fuerzas internas debido al crecimiento rápido (FAO 1981).

Se utiliza para enchapado, fabricación de pisos, pulpa, postes para transmisión eléctrica y telefónica, paneles, industria de la construcción, leña y carbón (WYK 1977; FAO 1981; CATIE 1986).

2.2.4 Requerimientos climáticos

En su ambiente natural recibe entre 690 y 2480 mm de precipitación promedio anual, con una estación seca corta no mayor de tres meses (FAO 1981; CATIE 1986; Eldridge *et al.* 1993). Para asegurar éxito en una plantación con esta especie, en África del Sur, es necesario tener una precipitación mínima de 800 mm, y para plantaciones comerciales un mínimo de 900 mm al año, bien distribuidos (Schönau 1984).

Las temperaturas promedio más altas varían entre 24 a 32°C y las mínimas en invierno están entre uno y tres grados centígrados (CATIE 1986). Alcanza su rendimiento óptimo cuando la temperatura del mes más frío es por lo menos de 11°C (Schönau 1984).

2.2.5 Requerimientos de sitio

Crece mejor en suelos profundos, bien drenados, franco arcillosos, con una profundidad efectiva mayor de dos metros y un pH ligeramente ácido (FAO 1981). Los suelos volcánicos y de ignobrita suelen tener estas características. Es sensible a suelos compactados, mal drenados, deficientes en boro y fósforo (Cannon 1984; CATIE 1986) y constantemente húmedos (Lamprecht 1990). Es necesario hacer una buena preparación de sitio, especialmente en lugares que han sido sobrepastoreados con problemas de compactación (CATIE 1994a).

2.2.6 Espaciamiento

Los distanciamientos usados en plantaciones son muy variables, los cuales dependen del objetivo de plantación y la calidad de sitio. En plantaciones para pulpa y leña, los espaciamientos oscilan entre 1 x 3 y 2,5 x 2,5 m (Cannon 1981). Para la producción de madera es común 2,5 x 2,5 m y aplicar raleos oportunos, para tener en el turno final una densidad máxima de unos 250 arb. ha⁻¹ (FAO 1981; Lamprecht 1990; Evans 1992).

2.2.7 Fertilización

La aplicación de fertilizantes tiene mayor importancia en sitios de fertilidad baja (Herbert 1990). La fertilización debe estar acompañada de una preparación buena del suelo para lograr el efecto deseado (Schönau 1985).

Por el efecto de la fertilización, en plantaciones de Africa del Sur, manejadas bajo una rotación de 6 a 22 años, el volumen de madera obtenido al final del turno se aumentó entre 30 y 39% (Nambiar 1984).

Las deficiencias de boro pueden disminuir la resistencia a temperaturas bajas (mortalidad de yemas) y disminuir el crecimiento por achaparramiento de ramas (Driessche 1984). El efecto de no haber aplicado boro se presenta en árboles de edad mayor a dos años (Cannon 1984).

Schönau y Herbert (1983) estimaron que para tener un crecimiento satisfactorio, las concentraciones críticas foliares de N, P y K son 2,0%, 0,17% y 0,70%, respectivamente. Existe correlación significativa entre la concentración foliar y la disponibilidad de nutrimentos en el suelo y el pH (Herbert 1991).

2.2.8 Protección

En los primeros años es sensible a los efectos del viento, lo que puede provocar deformaciones en la base del tallo (FAO 1981).

E. grandis es intolerante a la competencia de malezas y pastos (CATIE 1986). Si embargo se puede reducir el efecto de la competencia con una buena preparación del sitio y un control adecuado de malezas hasta que la plantación esté bien establecida (Schönau 1984; Evans 1992).

Escobar y Del Valle (1988), encontraron que *Melinis munitiflora* (yaraguá) tiene un efecto alelopático que inhibe el crecimiento de la especie; esto lo asociaron a la secreción de sustancias antibióticas que destruyen los organismos encargados de mineralizar el nitrógeno presente en el suelo. Resultados semejantes fueron obtenidos por Marinero (1964), quien observó que el extracto de la hoja de *Melinis* tiene un efecto negativo en el crecimiento de *Cordia alliodora*.

La hormiga defoliadora (*Atta* spp), ataca el follaje. El hongo *Cryphonetria cubensis* produce lesiones en el fuste (CATIE 1986). En Turrialba se encontraron árboles jóvenes afectados por termitas desde la base del tallo hasta una altura entre 4 y 6 m, cuyo daño consistió en destruir el duramen del fuste (Ugalde y Vázquez 1993).

2.2.9 Crecimiento

El crecimiento depende del potencial genético y de la calidad de sitio (interacción de los factores bióticos y abióticos del medio); siendo los factores del clima, la fisiografía y las características edáficas, las de mayor influencia (Barros 1980). El rango de crecimiento en una rotación de 14 años, va desde $4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en Australia, hasta $110 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ con clones mejorados en Brasil (FAO 1981; Evans 1992). Los valores máximos de crecimiento en altura y diámetro por año en Turrialba son de 4,3 m y 3,5 cm, respectivamente (Ugalde y Vázquez 1993).

2.2.10 Manejo

La densidad inicial y el raleo están muy relacionados (Schönau y Coetzee 1989). Los raleos son de mucha importancia en plantaciones destinadas a la producción de madera de aserrío (Opie 1984 *et al.*). Para cumplir con los objetivos de la plantación el sistema de manejo debe garantizar un espaciamiento adecuado. Si la finalidad es la producción de madera para aserrío, se eliminan todos los individuos suprimidos y de mala forma en el primer raleo y se concentra la producción en los mejores ejemplares de rodal (Schönau 1984).

Es una especie de poda natural moderada, aunque las ramas muertas pueden persistir entre 2 y 3 años (Evans 1992). La poda se justifica cuando se quiere producir madera libre de nudos sueltos y el precio de la madera compense el costo de esta operación. Si una poda temprana elimina más del 50% de la copa viva puede haber una reducción fuerte en el crecimiento (Schönau 1991).

3. METODOLOGÍA

3.1 Localización del área de estudio

El presente trabajo se realizó dentro del territorio geopolítico y áreas circundantes al cantón de Turrialba (Jiménez y Siquirres), Costa Rica; que cubre un rango altitudinal entre 500 a 1400 msnm, precipitación media anual de 2600 mm y pertenece a la zona de vida de bosque muy húmedo Montano Bajo (bmh-MB) según el sistema Holdridge (1979). Las coordenadas geográficas son 9° 50' latitud norte y 83°30' longitud oeste (Figura 1).

3.2 Plantaciones estudiadas

Más del 90% de las plantaciones incluidas en este estudio, forman parte del proyecto que ejecuta UNITAICA (Unión de Trabajadores Agroindustrial de Cartago); el cual cuenta con apoyo económico del gobierno central a través del Fondo de Desarrollo Forestal (FDF), y el Certificado de Abono Forestal (CAF). Los propietarios involucrados en este proyecto se clasifican como pequeños agricultores (las plantaciones de mayor extensión son de cinco hectáreas).

Se elaboró una lista de los agricultores que plantaron las especies durante los años 90-92. Así, se determinó el tamaño de la población de interés y de la intensidad de muestreo necesario, para hacer inferencias de los parámetros investigados.

Para un mejor entendimiento, se definen a continuación los tipos de plantaciones considerados en este estudio, basado en Martínez (1989):

- Plantaciones en bloque: se consideró como una plantación pura, donde la distribución de los árboles obedece a un arreglo más o menos sistemático, de tal manera que se pueda calcular la supervivencia.
- Sistema agroforestal: es una plantación en bloque, con la restricción de que está asociada con uno o más cultivos; generalmente café.

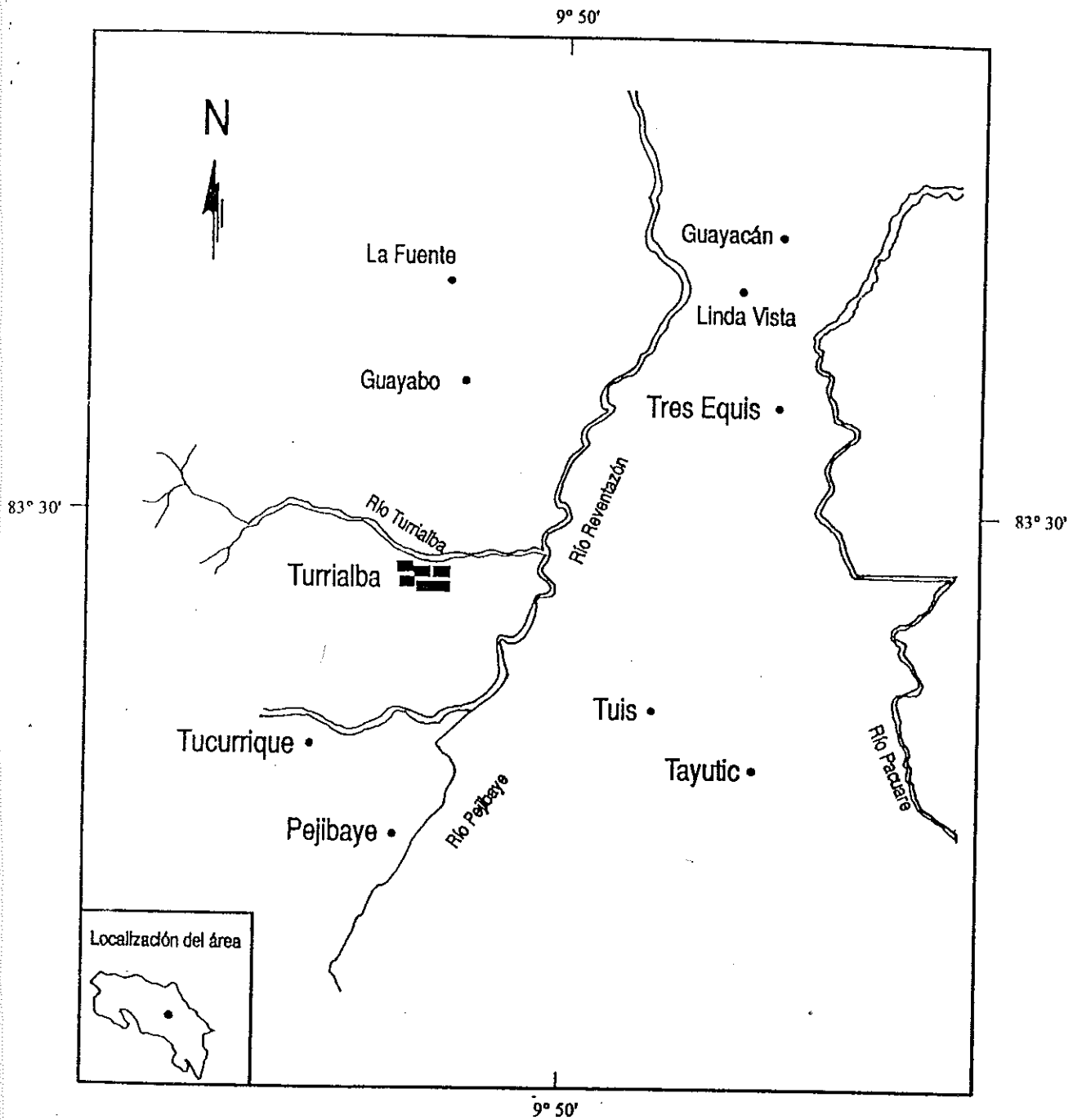


Fig 1. Ubicación del área de estudio.

- Plantaciones en líneas: los árboles están dispuestos en una sola dirección, o existen más de diez metros entre una y otra.

Las plantaciones seleccionadas, cumplieron con los siguientes requisitos:

- Edad mínima dos años
- Ubicadas en diferentes alturas sobre el nivel del mar (500-1400 msnm)
- Diferentes formas de establecimiento (bloques puros, árboles con cultivos o sistemas agroforestales y en líneas)
- Area mínima 0,5 hectáreas para árboles con cultivos y bloques puros
- Hileras mayores de 15 árboles para plantaciones en líneas.

3.3 Número, tipo y tamaño de parcelas de investigación

Para cada especie se seleccionó una muestra representativa de 40 parcelas, equivalente a un 30% de las plantaciones en los archivos de UNITAICA; las cuales fueron distribuidas de la siguiente forma:

- Bloques puros..... 15
- Sistemas agroforestales.... 15
- Líneas..... 10

Esta distribución se hizo con base en el número de plantaciones establecidas en los diferentes sistemas. Se cubrió lo mejor posible toda el área de estudio con plantaciones de diferentes edades y calidades de sitio.

Las parcelas establecidas en bloques puros y las prácticas agroforestales constaron de 25 árboles originales, con al menos una fila de borde. Para las líneas se utilizaron parcelas de 12 árboles, excluyendo los árboles de los extremos.

En sitios uniformes la elección de la parcela muestral fue de forma aleatoria. En una plantación con diferencias marcadas por sectores, se establecieron dos o más parcelas para analizar las variables que indujeron tales diferencias.

Algunas plantaciones que se eligieron en el muestreo inicial habían desaparecido; fueron de acceso difícil, la especie o el sistema de plantación no fueron descrito correctamente en los archivos, o nunca existieron. Se documentaron estos casos y cuando fue posible se reemplazaron los rodales faltantes por otros. Debido a estos inconvenientes, las proporciones de las parcelas originales se alteraron, la distribución real fue la siguiente:

<i>Eucalyptus deglupta</i>	37
Bloques puros	22
Sistemas agroforestales	6
Líneas	9
<i>Eucalyptus grandis</i>	57
Bloques puros	41
Sistemas agroforestales	7
Líneas	9
Total	94

3.4 Factores estudiados

Para cumplir con los objetivos delineados en la sección 1.1, se condujeron los estudios siguientes.

Con la finalidad de identificar las variables de suelo que limitaron o favorecieron el desarrollo de estas dos especies, se realizó un muestreo de suelo en cada parcela, la cual se sometió a análisis de propiedades químicas y físicas.

3.4.1 Análisis químico

Se tomó una muestra representativa de la parcela, la cual fue colectada a una profundidad constante hasta los 50 cm, que es la profundidad de mayor desarrollo de las raíces, reciclaje y absorción de los nutrientes y agua (Campos 1990). Las variables medidas fueron:

- pH del suelo, se determinó usando agua destilada.
- Acidez extractable, que mide la cantidad de iones de H^+ y de Al^{3+} presentes en la solución. Se determinó mediante una solución de KCl al 1% y se expresó en miliequivalentes en 100 miligramos de suelo (Dfáz y Hunter 1978).
- Materia orgánica, determinada mediante el método de Walker & Black y expresada en porcentaje (Dfáz y Hunter 1978).
- Fósforo disponible, se determinó por el método de Olsen modificado por Hunter. Fue expresado en miligramos por mililitro (Dfáz y Hunter 1978).
- Bases intercambiables: el calcio, magnesio y potasio se determinaron utilizando cloruro de potasio al 1%, expresados en miliequivalentes por 100 miligramos de suelo (Dfáz y Hunter 1978).
- Disponibilidad de cobre, zinc y manganeso, se determinaron por medio del método de la Universidad de Carolina del Norte, expresados en miligramos por mililitro (Dfáz y Hunter 1978).
- Saturación de bases, medida en porcentajes y se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Saturación de bases (\%)} = (\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K}) * 100 / (\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{Acidez})$$

3.4.2 Características físicas

El análisis físico de las características físicas del suelo comprendió una serie de variables que por estudios anteriores (Jadán 1972; Guier 1982), han influidos de manera significativa sobre el crecimiento y desarrollo de las especies; tales como la compactación del suelo, la densidad aparente, granulometría, resistencia a la penetración, etc. (Donoso 1981).

Se estudiaron las siguientes variables:

- **Densidad aparente:** buen indicador de la porosidad del suelo y su capacidad de infiltración; los valores se obtuvieron por el método del volumen del cilindro,

tomándose la muestra a una profundidad promedio de 10 cm. El tamaño de la muestra fue de 137 cm^3 , la cual fue llevada al laboratorio en una bolsa plástica cerrada herméticamente; fue pesada antes y después de secarla en un horno a 105°C por 48 horas. Los resultados se determinaron con la siguiente ecuación:

$$DA = PS/V$$

donde:

DA = Densidad aparente en gramos por centímetro cúbico

PS = Peso seco de la muestra en gramos

V = Volumen de la muestra sin alteraciones en centímetros cúbicos.

- **Resistencia a la penetración:** resistencia que presenta el suelo a la penetración de un cuerpo. Se obtuvo a una profundidad estándar de diez centímetros con un penetrómetro estático con pistón de acero inoxidable de cinco milímetros de diámetro, marca Chatillon 719-40. Se promediaron cinco observaciones y se expresó en kilogramos por centímetro cuadrado. Los datos obtenidos parecieran ser poco confiables, por lo que se excluyeron del estudio.
- **Contenido de humedad:** se calculó por gravimetría, considerando la masa de suelo en condiciones naturales (peso húmedo), luego fue pesada y puesta a secar en el horno a 105°C por 48 horas. Se utilizó la siguiente fórmula:

$$HG = (PH - PS) * 100/PS$$

donde:

HG = Humedad gravimétrica en porcentaje

PH = Peso húmedo de suelo en gramos.

PS = Peso seco. en gramos.

- **Drenaje:** se utilizó la escala usada por el Proyecto Madeleña, que de acuerdo al encharcamiento de agua, clasifica los sitios como de drenaje libre, moderado e impedido. por lo general, se observó que las plantaciones se establecieron en suelos bien drenados.
- **Análisis granulométrico o de textura (porcentaje de arcillas, de arena y de limo):** se determinó a nivel de laboratorio mediante el método de hidrómetro de Boyoucos

(1936), que se basa en la velocidad de sedimentación de las partículas en una columna vertical de agua a una temperatura estándar de 27 °C.

- **La profundidad del suelo:** se consideró en un principio, pero debido a que en la zona objeto de estudio, la mayoría de las parcelas presentaron suelos muy profundos, ésta fue descartada en la fase de análisis.

3.4.3 Factores fisiográficos

- Elevación en metros sobre el nivel del mar, tomada con un altímetro
- Pendiente en porcentaje, medida con un clinómetro.

3.4.4 Variables del rodal

- Procedencia del material plantado (se descartó porque todas las plántulas fueron suministradas por el CATIE). Las semillas de *E. deglupta* procedían de la zona; mientras que las de *E. grandis* fueron importadas desde Australia.
- Edad en meses.
- Sobrevivencia en porcentaje.
- Altura total, se obtuvo desde la superficie del suelo hasta el ápice terminal del árbol. Se midieron todos los árboles en la parcela, con una vara telescópica o un hipsómetro y fue expresada en metros con un decimal.
- Diámetro a la altura del pecho (dap), se tomó con una cinta diamétrica a una altura estándar de 1,3 metros y fue expresado en centímetros con un decimal. A cada parcela se le calculó el diámetro promedio geométrico.
- Altura de la primera rama viva, se midió desde el suelo hasta la parte inferior de la primera rama; se expresó en metros con un decimal.

- Profundidad de la copa en metros, se consideró desde la primera rama viva hasta el ápice. Se obtuvo por diferencia entre la altura total y la altura de la primera rama viva. Es necesario aclarar que a pesar de que algunas ramas inferiores estaban vivas ya estaban en proceso de morir.
- Diámetro de copa, permite conocer la cobertura de las copas y es un buen indicador de la competencia entre árboles; además de ser usado como una medida del grado de sombra y de competencia con los cultivos asociados (MacDicken *et al.* 1991). Se midió de extremo a extremo con una cinta métrica, en dos direcciones, en el sentido del diámetro mayor y en forma perpendicular, para así tener el diámetro promedio. Fue expresada en metros con un decimal.
- Determinación del volumen

El volumen en *E. deglupta* se estimó con la ecuación obtenida por Ugalde (1980):

$$V_{tcc} = -1,02228 * 10^{-3} 8,73073 * 10^{-5} (d^2) + 1,45731 * 10^{-4} (dh) + 3,49444 * 10^{-5} * (d^2h) .$$

donde,

V_{tcc} = volumen total con corteza expresado en m^3

d = diámetro a la altura de pecho en cm

h = altura total del árbol en m.

En *E. grandis*, el volumen fue calculado, a partir de la ecuación generada por Vázquez y Ugalde (1994):

$$V_{tcc} = 0,000833 + 0,0000338 * d^2h, R^2 = 97\%.$$

- Presencia y tipo de malezas.
- Prácticas de manejo (fertilización, limpiezas, podas, raleos, control de plagas).
- Otros problemas y observaciones.

3.4.5 Entrevista con los propietarios

Siempre que fue posible comunicarse con el propietario, se le entrevistó con la intención de conocer sus expectativas sobre la plantación; además de tener una idea del grado de conocimiento que tenía en relación con las técnicas de manejo necesarias para lograr sus objetivos.

3.5 Procedimiento y análisis de la información

3.5.1 Relación altura/diámetro

Para calcular el volumen, es necesario conocer tanto el diámetro como la altura; sin embargo, medir todas las alturas en una plantación se hace muy tedioso. En ese sentido, se obtuvo una ecuación que relacionara la altura con el diámetro de los árboles individuales, para cada especie y por sistemas de plantación. Se utilizó un modelo lineal con transformación logarítmica (Weisberg 1985), que se expresa como:

$$\text{Ln}(h) = \beta_0 + \beta_1 * \text{Ln}(dap).$$

donde;

h = altura en metros

dap = diámetro medido a 1,3 m.

β_0 y β_1 = parámetros estimados por regresión

Ln = logaritmo natural de base e.

3.5.2 Comparación de las curvas de regresión

Puede darse el caso de que las curvas de regresión, sean tan similares que es conveniente unir todas las curvas en un modelo único, que estime la relación estudiada en los tres sistemas de plantación. En ese sentido, se compararon las regresiones obtenidas con un análisis de covarianza recomendado por Fresse (1978) y Alder (1980).

Cuando resultó que los coeficientes de regresión fueron diferentes estadísticamente, se concluyó que los datos en los tres sistemas de plantación y entre especies, no se pueden

combinar para predecir la altura; es decir, la relación entre altura y diámetro varía por especie y sistema de plantación.

3.5.3 Crecimiento de los árboles del rodal

Esta comparación permitió determinar cuáles árboles estaban creciendo más en diámetro en los rodales establecidos en sitios de buena calidad. Dentro de cada sistema de plantación y por especie, los árboles se clasificaron utilizando la metodología de Bredenkamp y Burkahart (1990), que consiste en dividir los individuos en dos clases, de acuerdo con su tamaño relativo.

1. Crecimiento libre: árboles dominantes y codominantes, ocupan el estrato superior del dosel.
2. Suprimidos: árboles intermedios y suprimido, que ocupan el nivel medio e inferior del dosel.

Se generó una variable, dividiendo la altura entre el diámetro para cada árbol. Luego se sometió a un análisis de variación por categoría de árboles, sistema y especie. Donde hubo diferencias significativas se compararon las medias mediante comparación múltiple de Duncan.

3.5.4 Relación dap/ancho de copa

La cobertura total de las copas ha sido un indicador confiable de la cantidad de biomasa existente en un bosque (Warbington y Levitan 1992). También es un indicador del vigor del árbol y a la vez, puede predecir el crecimiento en diámetro de los árboles individuales.

La relación dap/ancho de copa, se obtuvo mediante un análisis de regresión lineal simple. Se utilizaron los árboles individuales de las plantaciones en bloques puros y en sistemas agroforestales. Mediante un análisis de covarianza se compararon las ecuaciones obtenidas por regresión, para determinar si había diferencias entre el cambio en diámetro asociado con el ancho de las copas entre las dos especies.

3.5.5 Relación IMA en diámetro con área basal

Hay que evitar reducciones en la tasa de crecimiento en diámetro, en plantaciones cuyo objetivo principal es producir madera de aserrío. Esto es muy importante cuando los árboles son jóvenes, porque en los primeros años, los mismos alcanzan su máximo desarrollo. Si en esta etapa el desarrollo en diámetro se reduce, los árboles no podrán recuperar el crecimiento perdido.

Se estudió la relación del diámetro con el área basal con el fin de determinar la tendencia del incremento medio anual (IMA) en diámetro en relación con el área basal acumulada por hectárea. Se realizó un ploteo de los datos de las plantaciones en bloques de cada especie; los ploteos mostraron la tendencia de los datos, para luego ajustar una ecuación que explicaba mejor esta relación.

3.5.6 Índice de sitio

Un sitio es, según Pojar *et al.* (1987), una unidad de terreno que presenta combinaciones de variables ambientales que inducen el mismo efecto en el crecimiento.

La calidad de sitio se considera como su potencial para sostener o permitir un crecimiento dado de una especie. Es un indicador para la formulación de un régimen silvicultural; además, permite hacer comparaciones e interpolaciones sobre resultados de investigaciones en otros lugares (Inions 1990). Es una de las medidas más difundidas para conocer la capacidad productiva de un terreno y para hacer la mejor selección de la especie a plantar (Phillips 1992).

El índice de sitio se define como la altura dominante que alcanza un rodal, a una edad base (Clutter *et al.* 1983). La definición tradicional de altura dominante es la altura promedio de los 100 árboles más altos por hectárea (Alder 1980).

Las parcelas muestrales eran poco extensas, en promedio 0,02 hectárea. Por esa razón la altura dominante se calculó con los tres árboles más altos de la parcela (Hughell 1990).

Para obtener la ecuación que estime el índice de sitio con base en la edad y la altura dominante se utilizó el método de la curva guía (Alder 1980), el cual consistió en estimar en

el tiempo, la altura dominante de las parcelas que tuvieron un crecimiento similar (Jadán 1972; Hughell 1991). Se obtuvo un modelo geométrico no lineal, con transformación logarítmica, que se expresa de la siguiente forma:

$$\text{Altura dominante} = \beta_2 * \beta_1 / \text{Edad}$$

Esta ecuación considera que el logaritmo de la altura dominante es una función lineal recíproca con la edad. La cual se expresa como:

$$\text{Ln (Hd)} = \beta_1 + \beta_2 * 1/\text{Edad}.$$

donde:

Hd = altura dominante

β_1 y β_2 son los coeficientes estimados por la regresión.

Luego de obtener la ecuación que mejor ajustó, se obtuvo una familia de curvas con pendiente común o anamórficas, por el método de la curva guía, las cuales fueron separadas a tres y cuatro metros para *E. deglupta* y *E. grandis*, respectivamente. Se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Ln (Hd)} = \text{Ln (IS)} + \beta_2 * (1/\text{edad} - 1/\text{edad base})$$

donde:

IS = índice de sitio

edad base = 48 meses

edad = edad actual de la plantación

Ln = logaritmo natural

La predicción del índice de sitio exacto de los rodales incluidos en el estudio se realizó mediante la función:

$$\text{IS} = f(\text{altura dominante, edad}).$$

La ecuación utilizada para la estimación del índice de sitio fue:

$$\text{Ln (IS)} = \text{Ln (Hd)} + \beta_2 * (1/\text{edad base} - 1/\text{edad})$$

Los modelos obtenidos se verificaron mediante una prueba de Chi-cuadrado, para los cuales se utilizaron los datos originales que sirvieron para construir el modelo.

3.5.7 Estimación de la altura promedio

La altura promedio es un buen indicador para estimar la productividad del sitio. Se considera que la altura de un bosque no está muy afectada por la densidad, lo que hace innecesario incluirla en el análisis (Alder 1980). La estimación de la altura promedio por especie en este estudio se basó en la edad y el índice de sitio, de acuerdo con la metodología sugerida por Hughell (1991), mediante regresión múltiple, utilizando el siguiente modelo:

$$\text{Ln}(h) = \beta_1 + \beta_2/E + \beta_3 * \text{Ln}(IS).$$

donde:

h = altura media en metros

E = la edad en meses

IS = el índice de sitio representado por la altura dominante a los 48 meses de edad

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ = son los coeficientes estimados por regresión

Ln = es el logaritmo natural con base $e=2,718282$.

También se estimó la altura promedio de las parcelas a una edad de 48 meses, para los cuales se utilizó la ecuación recomendada por Hughell (1991):

$$\text{Ln}(h) = \beta_3 * \text{Ln}(IS) + \beta_2/\text{edad base} - \beta_1.$$

3.5.8 Estimación del área basal

La estimación del área basal se basó en la altura dominante y la edad; se obtuvo por regresión múltiple con el modelo sugerido por Hughell (1991), que consiste en:

$$\text{Ln}(AB) = \beta_1 + \beta_2/E + \beta_3 * \text{Ln}(IS)$$

donde:

IS = índice de sitio a la edad de 48 meses

AB = área basal ($m^2 ha^{-1}$)

E = la edad en meses

3.5.9 Estimación del volumen

Para la estimación del volumen en diferentes calidades de sitio, se siguió el mismo procedimiento utilizado para estimar el área basal, el cual está basado en la edad y el índice de sitio.

$$\ln(\text{Vol}) = \beta_1 + \beta_2/E + \beta_3 * \ln(\text{IS})$$

3.5.10 Factores de sitios y su efecto en el crecimiento

De acuerdo con la altura dominante o índice de sitio a la edad de 48 meses, los sitios se dividieron en tres categorías por especie, utilizando la escala desarrollada por Tan y Jones (1982), que los clasifica en bueno (I: altura mayor de 17,5 m), regular (II: altura entre 17,4 a 13,1 m) y marginales (III: altura igual o menor a 13 m).

Se hizo un ploteo del índice de sitio con cada una de las variables, con el fin de determinar si había tendencias en algunas de ellas.

Se realizó un análisis de variación para las principales variables estudiadas en cada plantación. Cuando hubo diferencias significativas se hicieron comparaciones múltiples por el método de Duncan. Para mejorar las funciones matemáticas, se le aplicó transformación logarítmica a las siguientes variables: fósforo, calcio, magnesio, potasio, manganeso, cobre, zinc y elevación. En cambio, para el porcentaje de materia orgánica, arena, limo y arcilla, se le transformó por el arcoseno de la raíz cuadrada (Steel & Torrie 1988).

La obtención de un modelo para predecir el crecimiento se hizo por medio de factores de sitio, se realizó en tres etapas.

1. Se aplicó un análisis de correlación lineal (método de Pearson), para aquellas variables que presentaron algún tipo de tendencia con el índice de sitio.
2. Se evaluó el grado de colinearidad entre las variables que presentaron correlación significativa con el índice de sitio.
3. Se realizó un análisis de regresión múltiple por el método de regresión por pasos (Stepwise) con las variables más correlacionadas, para determinar cuáles predicen mejor el índice de sitio. Esto sirvió para estimar los coeficientes de regresión de cada variable y construir el modelo que estime la calidad de sitio para cada especie.

4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Aspectos sobre dinámica

4.1.1 Densidad inicial de plantación

La Figura 2 presenta las densidades promedio a que fueron establecidas las plantaciones de estas dos especies en los tres sistemas de plantación. En *E. deglupta*, las plantaciones puras son más densas que las agroforestales, con densidades promedio de 1413 ± 80 ($2,66 \text{ m} \times 2,66 \text{ m}$) y 1021 ± 160 ($3,13 \times 3,13 \text{ m}$) arb. ha^{-1} , respectivamente. Las plantaciones en líneas tienen un promedio de 35 árboles en 100 m ($2,84 \text{ m}$ entre árboles).

Las densidades promedio en las plantaciones de *E. grandis* son de 1200 ± 37 ($2,9 \times 2,9 \text{ m}$) y 950 ± 130 ($3,24 \times 3,24 \text{ m}$) arb. ha^{-1} , para bloques y sistemas agroforestales, respectivamente. Las plantaciones en líneas están compuestas de 34 árboles en cada 100 m ($2,94 \text{ m}$ entre árboles).

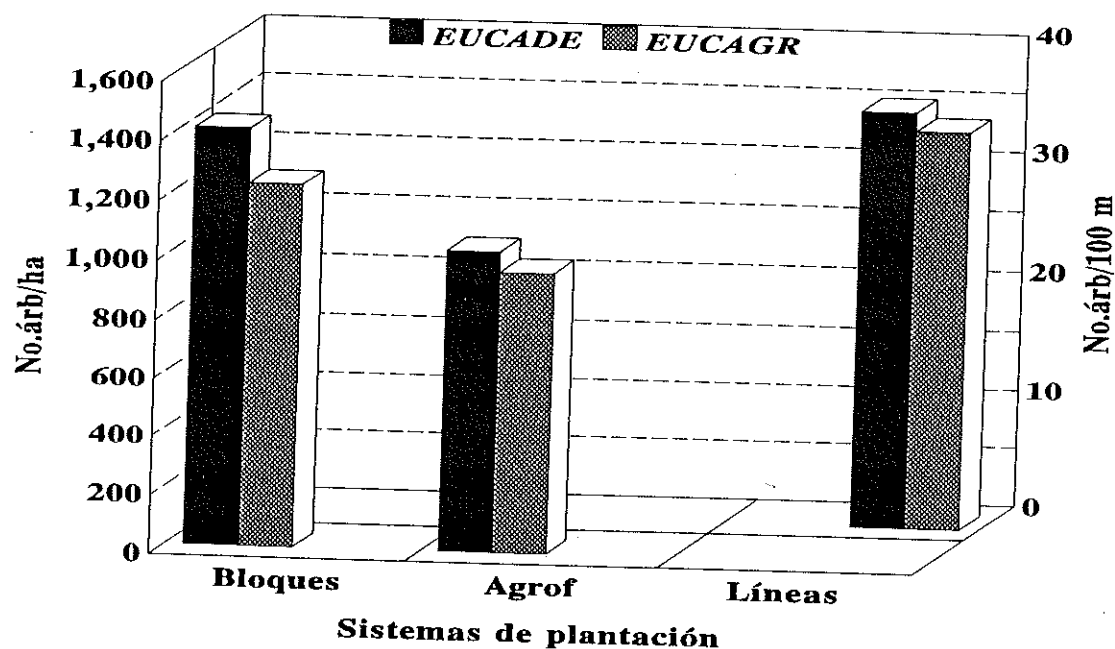


Figura 2. Densidad inicial de plantación entre las especies en tres sistemas, Turrialba, Costa Rica.

Los espaciamientos usados en plantaciones puras para producir madera de aserrío de *E. deglupta*, son inferiores a los espaciamientos utilizados en Filipinas y Nueva Guinea, que varían entre $3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ y $4 \text{ m} \times 4 \text{ m}$, con rotaciones de 12 a 15 años para la producción de

pulpa (FAO 1981; Lamprecht 1990; Evans 1992); estos son superiores a los utilizados anteriormente en Turrialba para producir madera de aserrío. El espaciamiento promedio de las plantaciones en líneas es equivalente al utilizado en Fiji (Oceanía) de 2,75 m (FAO 1981).

Las plantaciones agroforestales tuvieron densidades mayores de 950 arb. ha⁻¹ (Figura 2); estas densidades son consideradas altas para sistemas asociados con cultivos. Se observó la necesidad de aplicar intervenciones tempranas, que permitan ampliar el espaciamiento y disminuir la competencia; evitando así, restringir el crecimiento en diámetro y garantizar la producción del cultivo. Sato *et al.* (1991), observaron el mismo efecto al probar dos espaciamientos (2 m x 2 m y 2 m x 4 m); para un sistema agroforestal de *E. deglupta* asociado con maíz. En ese estudio la producción de maíz decreció al disminuir la intensidad lumínica (competencia interespecífica), también los árboles individuales disminuyeron su crecimiento en las densidades más altas, por efecto de la competencia intraespecífica. Estos autores recomendaron abrir el dosel para aumentar el ingreso de luz y mantener la productividad del cultivo.

4.1.2 Relación altura/diámetro

Se calculó la relación altura/diámetro para *E. deglupta* con base en 63, 462 y 103 árboles en sistemas agroforestales, bloques y líneas, respectivamente; en *E. grandis* los cálculos incluyeron 134, 693 y 113 árboles en sistemas agroforestales, en bloques y en líneas, respectivamente.

Los cambios en diámetro explicaron el 73, 84 y 68% de la variación en altura en sistemas agroforestales, bloques puros y líneas, respectivamente, de *E. deglupta* ($\alpha = 0,001$). Las ecuaciones obtenidas fueron:

$$\text{Agroforestales: } \ln(h) = 1,171 + 0,766 * \ln(dap), R^2 = 73\%$$

$$\text{Bloques: } \ln(h) = 0,907 + 0,834 * \ln(dap), R^2 = 84\%$$

$$\text{Líneas: } \ln(h) = 1,187 + 0,737 * \ln(dap), R^2 = 68\%$$

La Figura 3 presenta tres curvas trazadas con las ecuaciones anteriores, se nota que el cambio en altura asociado con el diámetro, es mayor para las plantaciones en bloques puros, seguido por sistemas agroforestales y plantaciones en líneas. Esto demuestra que

aun en estas plantaciones jóvenes, la tasa de crecimiento en diámetro se ve reducida en los bloques y sistemas agroforestales.

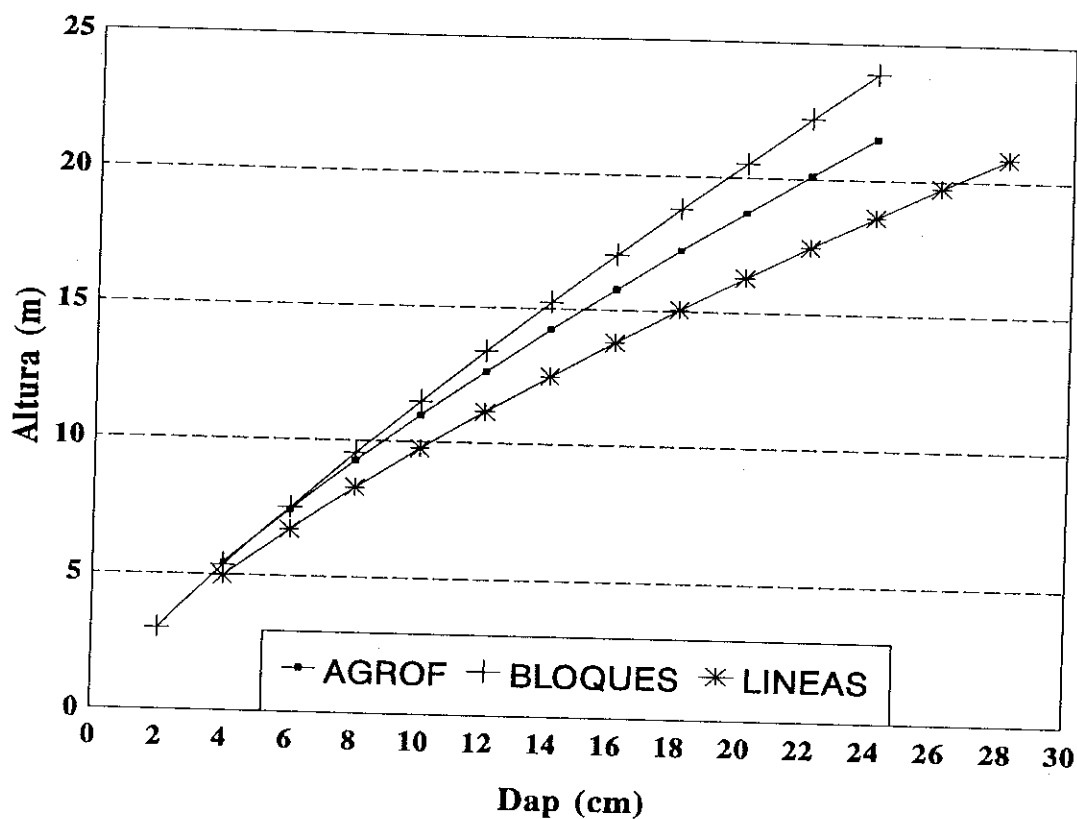


Figura 3. Relación altura/diámetro para *E. deglupta* en tres sistemas de plantación con edades entre 2 y 4 años, Turrialba, Costa Rica.

Se presentaron diferencias ($\alpha=0,001$) entre las ecuaciones derivadas de la relación altura/diámetro en *E. deglupta* para los tres sistemas de plantación (Cuadro 1).

Esto demuestra que los árboles de *E. deglupta* en plantaciones en bloques mantuvieron su crecimiento en altura, pero su desarrollo en diámetro se redujo. Las plantaciones en líneas, en contraste, mantuvieron su crecimiento tanto en diámetro como en altura. A manera de ilustración, los árboles con 15 m de altura tuvieron un diámetro promedio de 13 cm. En plantaciones en líneas, árboles de esa altura alcanzaron diámetros de 18 cm. Si estas dimensiones se traducen en volumen, los árboles individuales tienen un volumen mayor, en relación con los árboles individuales de bloques y sistemas agroforestales.

Cuadro 1. Análisis de variación entre los coeficientes de regresión de la relación altura/diámetro para *E. deglupta* en tres sistemas de plantación de edades entre 2 y 4 años.

Fuente	GL	SC	CM	F	α
Regresiones	2	5,00	2,5000	74,26	0,001
Error	621	20,94	0,0034		
Total	623	25,94			

En *E. grandis*, el diámetro explicó el 71, 80 y 70% de la variación en altura en sistemas agroforestales, bloques y en líneas, respectivamente y fueron significativas ($\alpha=0,001$). Las ecuaciones resultantes fueron:

Agroforestales : $\text{Ln}(h)=1,534 + 0,710 * \text{Ln}(dap)$, $R^2=71\%$

Bloques puros : $\text{Ln}(h)=1,001 + 0,799 * \text{Ln}(dap)$, $R^2=80\%$

Líneas : $\text{Ln}(h)=1,497 + 0,679 * \text{Ln}(dap)$, $R^2=70\%$

La Figura 4 presenta el crecimiento en altura con respecto al diámetro, para *E. grandis* en los tres sistemas de plantación.

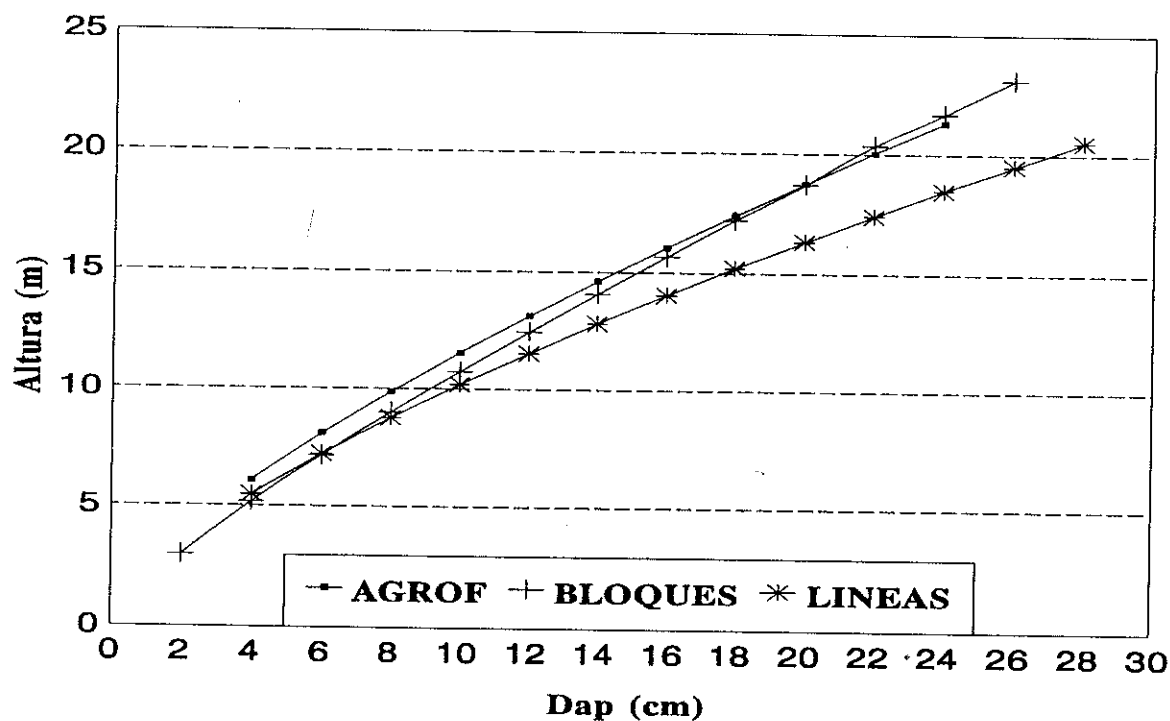


Figura 4. Relación altura/diámetro para *E. grandis* en tres sistemas de plantación, con edades entre 2 y 4 años, Turrialba, Costa Rica.

E. grandis siguió el mismo patrón que *E. deglupta*; es decir, los árboles en plantaciones puras y sistemas agroforestales siguieron desarrollando en altura, pero redujeron de forma notable su crecimiento en diámetro. Las plantaciones en líneas, en cambio, lograron mantener mejor su tasa de crecimiento en diámetro.

Como muestra el Cuadro 2, las diferencias entre el crecimiento en altura con respecto al diámetro de *E. grandis* fueron significativas ($\alpha=0,001$)

Cuadro 2. Análisis de variación de los coeficientes de regresión de la relación altura/diámetro para *E. grandis*, en tres sistemas de plantación con edades entre 2 y 4 años.

Fuente	GL	SC	CM	F	α
Regresiones	2	0,225	0,176	5,45	0,001
Error	936	30,210	0,032		
Total	938	30,560			

Esto permite concluir que los árboles en líneas son más gruesos, en relación con los de bloques puros y las prácticas agroforestales, debido a que disponen de más espacio, lo que les permite formar copas más amplias y crecer más en diámetro. Esta diferencia se hace aún más notable cuando las plantaciones han pasado algunos años de competencia fuerte.

4.1.3 Distribuciones de clases diamétricas alturas y profundidad de copas

La Figura 5 presenta la distribución diamétrica de rodales en bloques, a 2,5 y 4 años de edad y plantaciones en líneas de cuatro años de *E. deglupta*, las cuales se establecieron en buena calidad de sitio. A los dos años y medio, la competencia de los árboles en bloques es baja; el diámetro promedio se centra en 10 cm y un 65% de los árboles tienen diámetros iguales o superiores al promedio. esta situación cambia, cuando la edad aumenta a cuatro años, el diámetro promedio fue alrededor de unos 13 cm; o sea, que la curva de crecimiento en diámetro solo se ha desplazado unos 3 cm en año y medio. Las plantaciones en líneas, en contraste, presentan árboles con diámetros promedio de unos 17 cm. Esto demuestra la gran diferencia que existe dentro de una plantación con y sin competencia intraespecífica, aun cuando las mismas son jóvenes.

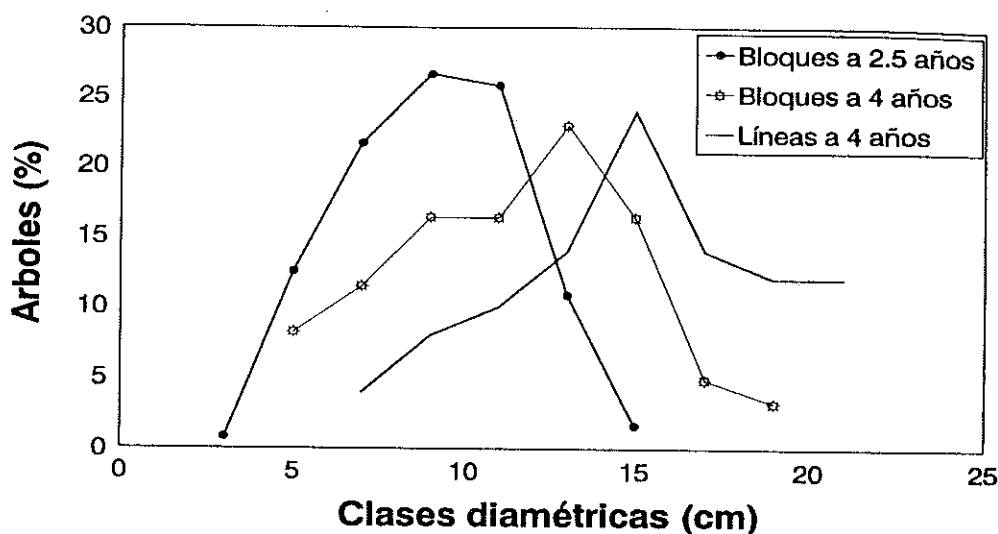


Figura 5. Distribución de las clases diamétricas en plantaciones en bloques y en líneas, de *E. deglupta* de 2,5 y 4 años de edad, Turrialba, Costa Rica.

Concerniente a la distribución en altura de *E. deglupta* (Figura 6), los árboles en bloques a la edad de cuatro años, tienen alturas desproporcionales, en relación con la distribución diamétrica. El promedio en altura fue alrededor de 17 m, en comparación con el diámetro que fue de 13 cm. En contraste, en las plantaciones en líneas la altura promedio fue de 14 m y el diámetro de 17 cm.

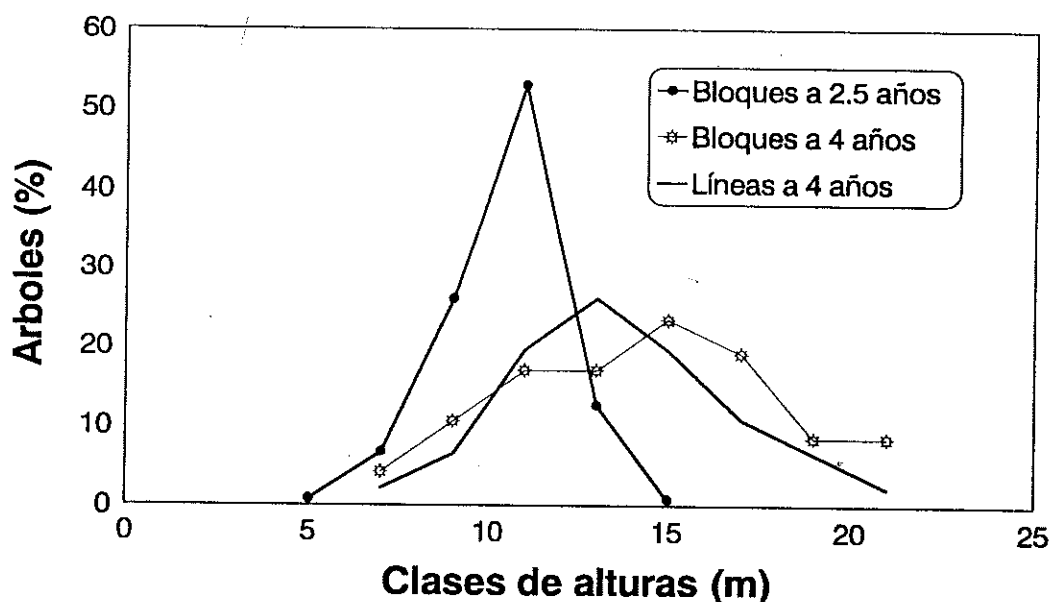


Figura 6. Distribución de las clases de alturas en plantaciones en bloques y en líneas, de *E. deglupta* de 2,5 y 4 años de edad, Turrialba, Costa Rica.

Esto demuestra la gran inestabilidad que presentan los árboles en bloques, que por ser muy delgados, son más vulnerables a los efectos del viento. Esta susceptibilidad se manifiesta después de realizar raleos tardíos (Oliver 1990).

La Figura 7 muestra la distribución de la profundidad de copa en esta especie. En rodales puros, a los cuatro años de edad, el 70% de los árboles tuvieron un porcentaje de copa inferior al 40% de la altura total; en contraste, en el rodal a los dos años y medio, alrededor del 75% de los árboles tienen copas superiores al 40% de la altura total. Asimismo, en plantaciones en líneas, todos los árboles presentaron copas superiores al 40%, de los cuales un 10% la copa cubrió un 95% de la altura total. Esto indica lo importante que es para *E. deglupta* disponer de copas grandes para poder seguir creciendo en diámetro.

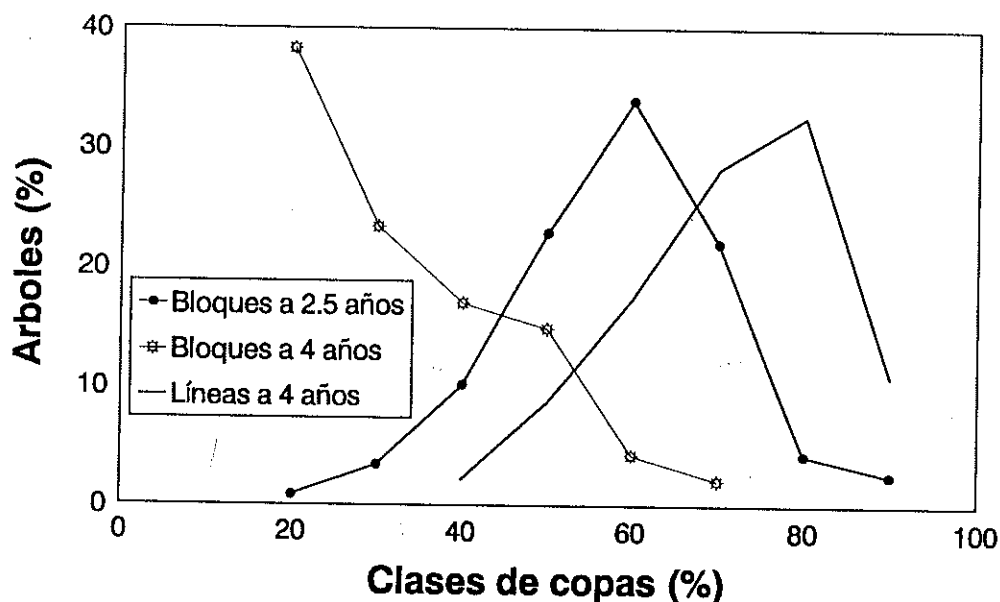


Figura 7. Distribución de la profundidad de copas en plantaciones en bloques y en líneas, de *E. deglupta* de 2,5 y 4 años de edad, Turrialba, Costa Rica.

Además, muestra la necesidad de raleos tempranos, debido a que esta especie tiende a desarrollar copas muy anchas. Cuando los árboles no disponen de espacio adecuado, las ramas inferiores mueren y en poco tiempo los árboles quedan con copas muy reducidas.

La Figura 8 presenta para *E. grandis* las distribuciones diamétricas para plantaciones en bloques a 2,5 y 4 años de edad y líneas de cuatro años. El diámetro promedio a los dos años y medio fue de unos 10 cm; a los cuatro años el diámetro aumentó a 14 cm; mientras que, en plantaciones en líneas, el diámetro promedio fue de unos 16 cm. De acuerdo con

esta ilustración, las diferencias en diámetros son menos acentuadas que en *E. deglupta*, pero se evidencia que los árboles de plantaciones en líneas son más gruesos.

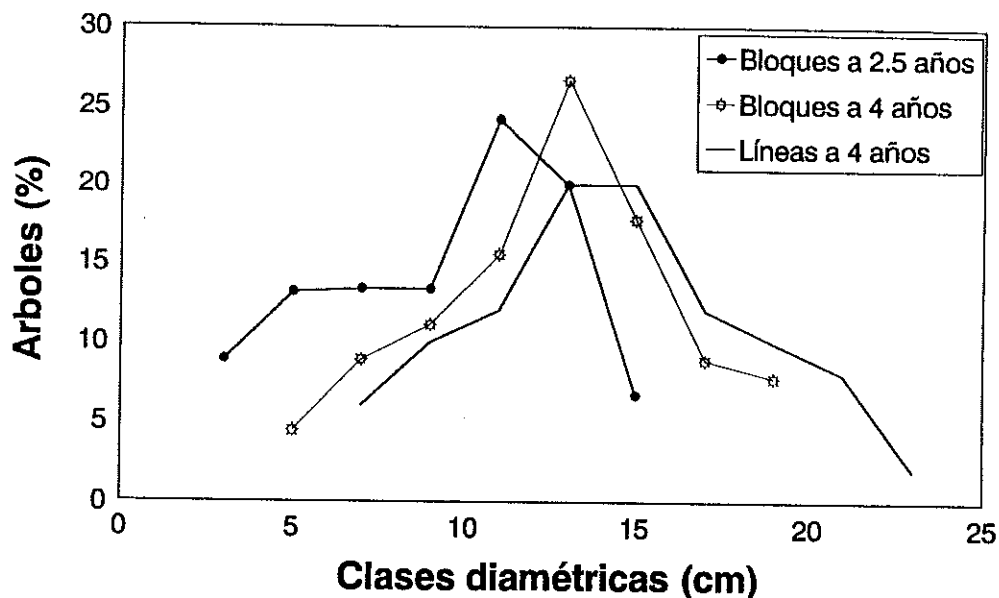


Figura 8. Distribución de las clases diamétricas en plantaciones en bloques y en líneas, de *E. grandis* de 2,5 y 4 años de edad, Turrialba, Costa Rica.

Concerniente a la distribución de las alturas (Figura 9) en los árboles plantados en bloques y en líneas, no hay diferencias tan marcadas en altura; el promedio estuvo entre los 15 y 16 cm. Tanto en plantaciones de 2,5 años como en las de cuatro, la distribución de la altura sigue el mismo patrón del diámetro.

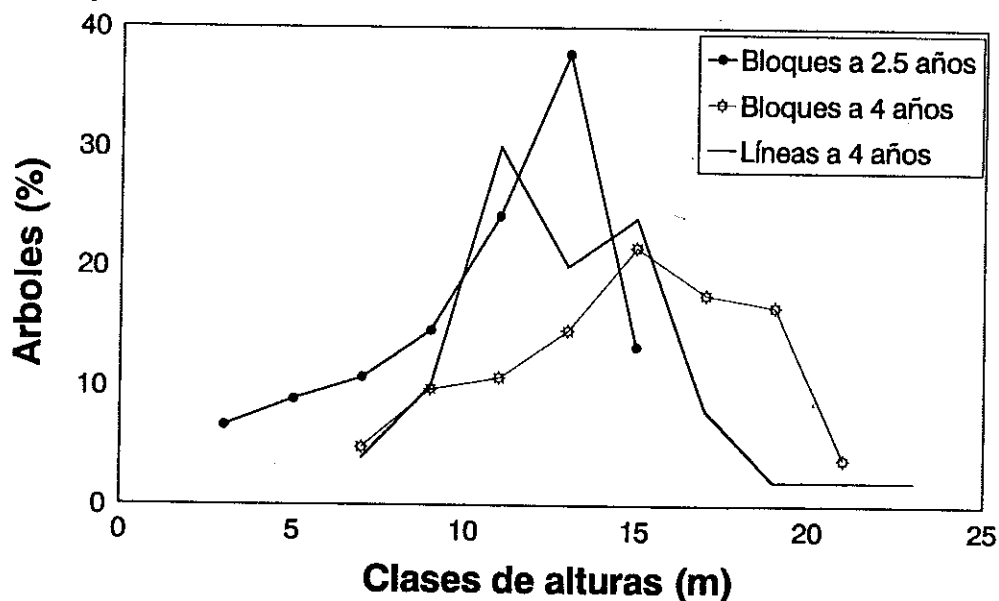


Figura 9. Distribución de la clases de alturas de los árboles en plantaciones en bloques y en líneas, de *E. grandis* de 2,5 y 4 años de edad, Turrialba, Costa Rica.

La Figura 10 presenta la distribución de profundidad de copas para *E. grandis*. El porcentaje de copas vivas muestra diferencias claras, los árboles de plantaciones en bloques a los cuatro años, tuvieron en promedio 40% de copas vivas; mientras que en plantaciones en bloques de 2,5 años, el promedio fue de un 70%, de las cuales el 10% de los árboles tienen copas vivas de un 90% de su altura total.

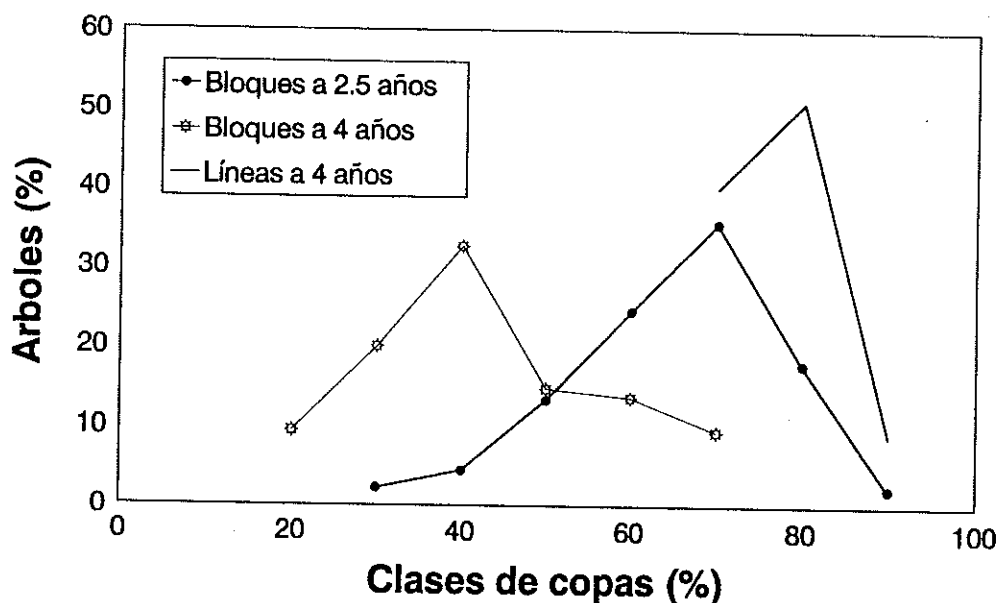


Figura 10. Distribución de la profundidad de copas en plantaciones en bloques y en líneas de *E. grandis* de 2,5 y 4 años de edad, Turrialba, Costa Rica.

De acuerdo con esta comparación, se tiene que la especie puede mantener una copa más grande que *E. deglupta* en un espacio reducido, debido a que desarrolla copas compactas y de menor extensión horizontal. Sin embargo, ya se nota una reducción considerable en el tamaño de las copas, en las plantaciones en bloques de cuatro años de edad, lo cual comienza a reflejarse en la disminución del crecimiento en diámetro.

4.1.4 Crecimiento de los árboles dentro del rodal

Se investigó el crecimiento de los árboles en los tres sistemas estudiados. En las plantaciones mejores, para fines de análisis y comparación, los árboles se clasificaron de acuerdo con su tamaño en dos clases: crecimiento libre (dominantes y codominantes) y suprimidos (intermedios y suprimidos). Se dividió la altura entre el diámetro y la razón obtenida se sometieron a un análisis de variación. En este acápite se presentan los resultados obtenidos de esta relación, entre las dos clases de árboles por sistema y especie.

En *E. deglupta* la relación altura/diámetro presentó diferencias significativas ($\alpha=0,001$) entre los tres sistemas de plantación, tanto en los árboles de crecimiento libre como para los suprimidos.

La Figura 11 presenta los valores promedios de la relación altura/diámetro. La relación altura/diámetro de los árboles suprimidos, en bloques y prácticas agroforestales fueron diferentes entre sí; y tuvieron una relación superior a la plantaciones en líneas. La relación altura/diámetro en los árboles suprimidos fue mayor para las plantaciones en bloques.

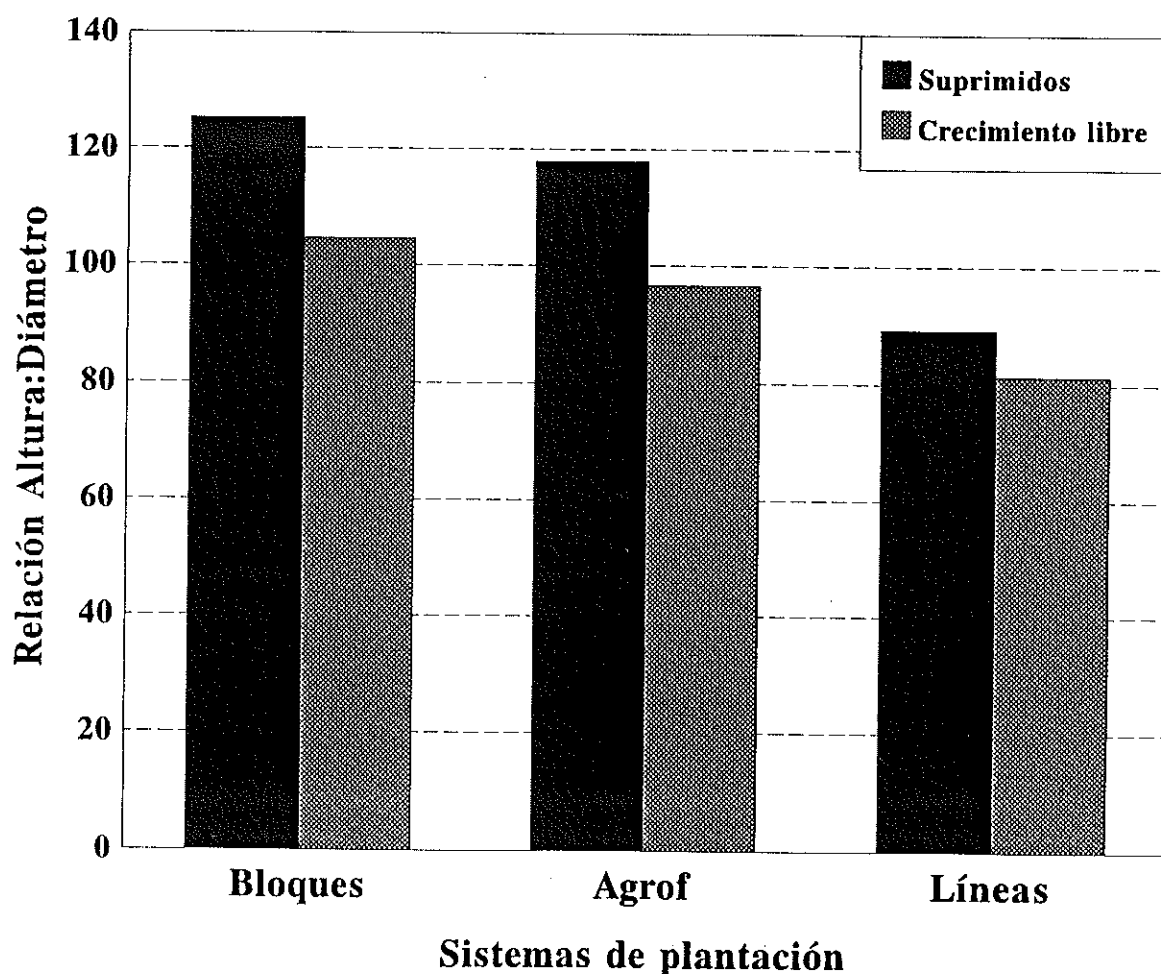


Figura 11. Comparación de la relación altura/diámetro para árboles de crecimiento libre (dominantes y codominantes) y suprimidos (intermedios y suprimidos), en tres sistemas de plantación para *E. deglupta*, Turrialba, Costa Rica.

En los árboles de crecimiento libre, la relación no presentó diferencias significativas entre las plantaciones en bloques y prácticas agroforestales; mientras que las plantaciones en líneas tuvieron una relación más baja. Los árboles en bloques puros presentaron las relaciones

más altas. Esto indica que aún entre los árboles dominantes y codominantes en plantaciones densas, hay una tendencia a disminuir el crecimiento potencial en diámetro, lo cual se evidencia en la Figura 5.

En *E. grandis*, la relación altura/diámetro fue significativa ($\alpha=0,001$), para los árboles de crecimiento libre al igual que los suprimidos. Los árboles suprimidos en las plantaciones puras y agroforestales, presentaron las relaciones más altas (Figura 12) y fueron superiores a las plantaciones en líneas.

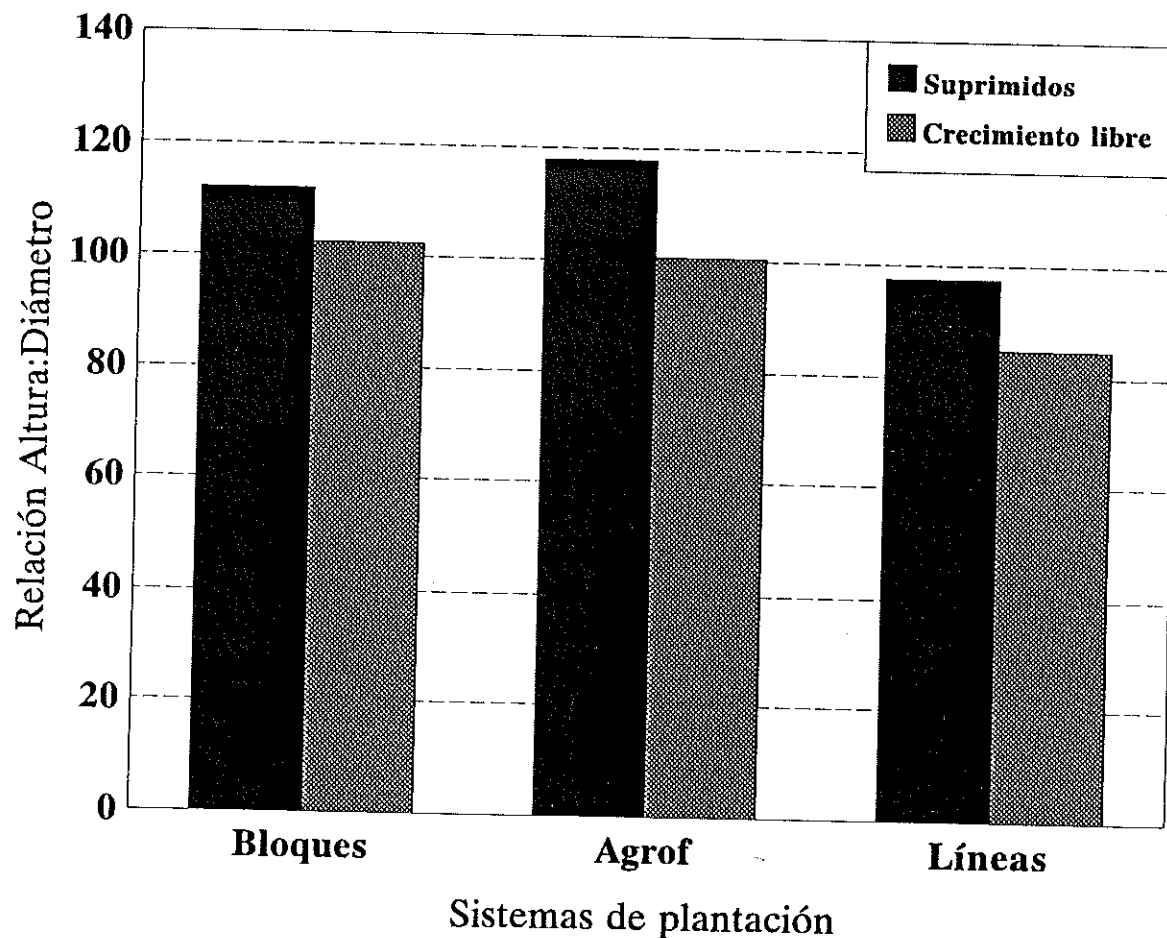


Figura 12. Comparación de la relación altura/diámetro de árboles de crecimiento libre (dominantes y codominantes) y suprimidos (intermedios y suprimidos), en tres sistemas de plantación para *E. grandis*, Turrialba, Costa Rica.

La relación entre los árboles de crecimiento libre en bloques puros y agroforestales, fueron iguales entre sí y mayores que en las plantaciones en líneas.

Hay una diferencia clara entre los árboles suprimidos y de crecimiento libre en bloques y sistemas agroforestales. Los árboles suprimidos pierden su capacidad de crecer en diámetro más pronto debido a una recesión de copas más fuerte (Figura 10). En las plantaciones en líneas, la relación presentó diferencias, pero tanto los árboles de crecimiento libre, como los suprimidos tienen una relación por debajo de 100, debido a que el espacio no es limitante.

Al comparar los árboles de crecimiento libre y suprimidos, en las dos especies por sistemas de plantación (Figura 13), se presentó que en los árboles suprimidos la relación altura/diámetro fue superior en *E. deglupta*, para plantaciones en bloques y sistemas agroforestales (Figura 13A), las diferencias fueron significativas para bloques puros. Estos resultados indican que *E. deglupta* fue más sensible a la competencia. En las plantaciones en líneas, los árboles suprimidos de *E. grandis* tuvieron una relación altura/diámetro mayor. Se puede considerar que en plantaciones en líneas los árboles suprimidos no fueron tan afectados por el espacio, porque la relación en ambas especies fue menor de 100, algunos árboles crecieron menos por otras causas y no por falta de espacio.

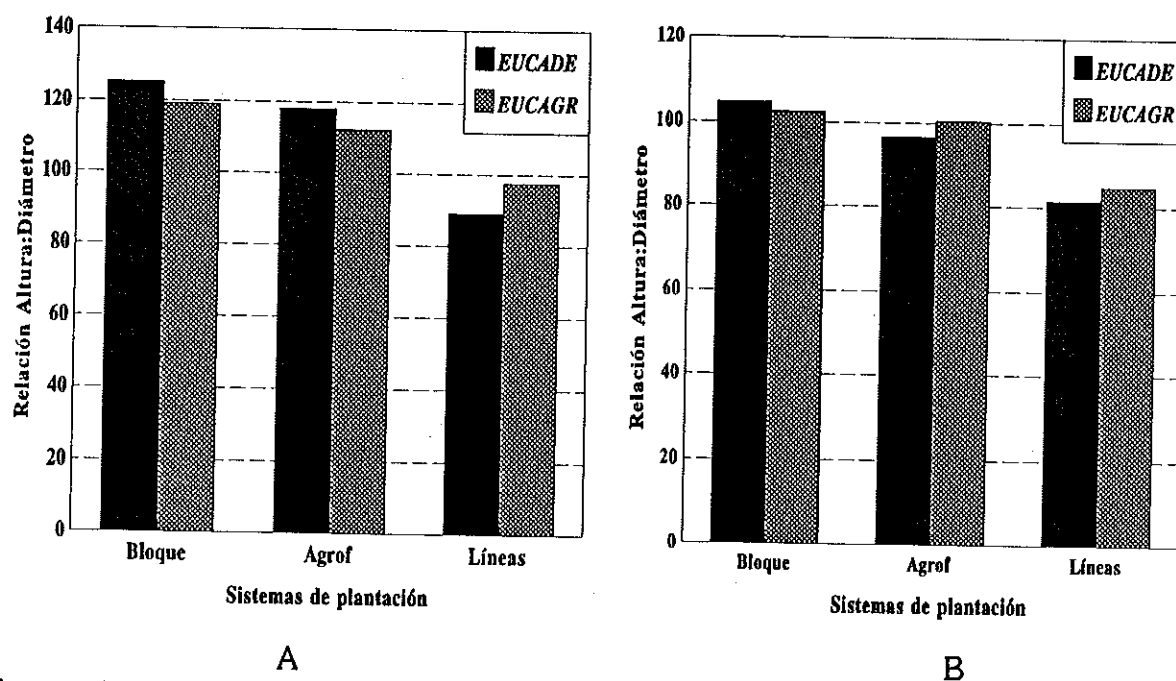


Figura 13. Comparación de la relación altura/diámetro entre especie, para árboles suprimidos (A) y de crecimiento libre (B), en tres sistemas de plantación, Turrialba, Costa Rica.

La relación altura/diámetro entre los árboles de crecimiento libre (Figura 13B), en plantaciones en bloques no mostró diferencias; pero la relación fue mayor en *E. deglupta*. En contraste, en las plantaciones en hileras y agroforestales, la relación altura/diámetro

fue menor en esta especie. Esto indica que cuando *E. deglupta* dispone de espacio crece muy bien en diámetro (Figura 5).

De acuerdo con estos resultados, por efecto de la densidad, los árboles intermedios y suprimidos de *E. deglupta* en bloques y sistemas agroforestales, fueron más propensos a disminuir su capacidad de crecimiento en diámetro en comparación con *E. grandis*; sin embargo, cuando *E. deglupta* se estableció en líneas, los árboles al desarrollar copas más extensas y profundas, mantuvieron buen crecimiento en diámetro.

Los resultados mostraron que en general, los árboles suprimidos crecieron poco en diámetro; contrario a lo que ocurre con los árboles dominantes, que pudieron mantener cierto crecimiento en diámetro. Este comportamiento concuerda con Brand y Magnussen (1988), quienes trabajaron con *Pinus* y demostraron que en plantaciones densas, el crecimiento de los árboles suprimidos eran más afectados por la competencia.

A resultados similares llegaron también Bredenkamp y Burkahart (1990), quienes al estudiar rodales de *E. grandis* bajo competencia extrema, encontraron que los árboles suprimidos dejaban de crecer en dap, mientras que los árboles dominantes mantenían su crecimiento en diámetro hasta una edad de 10 años.

Neumann (1987), al estudiar la dinámica de rodales de *E. deglupta* sujetos a tres intensidades de raleo, en las Islas Salomónicas, comprobó que a pesar de densidades altas, los árboles dominantes pudieron mantener su crecimiento en diámetro mejor que los árboles suprimidos.

Se llega a la conclusión de que después de iniciada la competencia, los árboles dominantes y codominantes no son tan afectados por el grado de competencia del rodal, esto le permite seguir creciendo en diámetro temporalmente. En contraste, los árboles pequeños disminuyen drásticamente su crecimiento en diámetro.

4.1.5 Crecimiento individual en volumen

De acuerdo con la Figura 3, los árboles de *E. deglupta* a una altura de 15 m, tuvieron diámetros promedios de 15 cm, 13,5 cm y 18 cm, para sistemas agroforestales, en bloques y en líneas, respectivamente. Para *E. grandis* (Figura 4), a una altura de 15 m, el diámetro

alcanzó un promedio de 17,8 cm en líneas, 14,2 cm en bloques y 14,1 cm en sistemas agroforestales. Se calculó el volumen individual promedio (m^3) para compararlo entre los tres tipos de plantación.

La Figura 14 presenta el volumen de los árboles individuales de *E. deglupta* (A) y *E. grandis* (B) para los tres sistemas estudiados. En plantaciones en líneas con una ligera mejora en crecimiento en diámetro, el aumento en volumen/árbol es muy marcado, debido a que en el cálculo de volumen el diámetro entra al cuadrado, mientras que la altura entra en forma lineal; es decir, el diámetro influye más en el volumen por árbol que la altura. Esto muestra la importancia de mantener un espacio alrededor de los árboles, destinado a la producción de madera de aserrío, ya que de esa forma los árboles pueden mantener su crecimiento en diámetro y alcanzar volúmenes mayores. Esto se convierte al final del turno en entrada de ingresos mayores, debido a que en el mercado de madera de aserrío, los árboles con diámetros mayores son más cotizados.

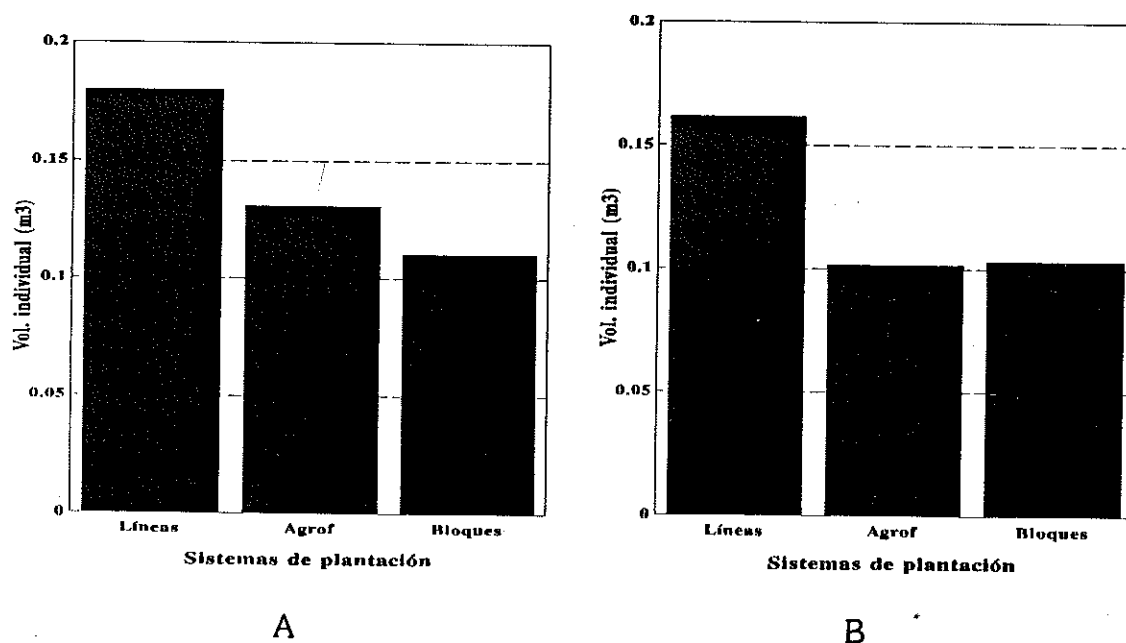


Figura 14. Crecimiento en volumen promedio en árboles individuales de 15 m de altura, para *E. deglupta* (A) y *E. grandis* (B) en tres sistemas de plantación, con edades entre 2 y 4 años, Turrialba, Costa Rica.

4.1.6 Relación diámetro con ancho de copa

Mediante un análisis de regresión lineal simple, se obtuvo una ecuación que estima la relación entre el dap y el ancho de copa; para la estimación se agruparon los árboles de plantaciones puras y prácticas agroforestales en ambas especies.

La relación fue significativa ($\alpha=0,001$), el ancho de copa explicó el 53 y 74% de la variación en diámetro para *E. deglupta* y *E. grandis*, respectivamente. Los modelos obtenidos fueron:

$$\text{EUCADE: Dap (cm)} = 0,76 + 2,44 * \text{Ancho de copa (m)}, R^2=53\%$$

$$\text{EUCAGR: Dap (cm)} = -1,89 + 3,61 * \text{Ancho de copa (m)}, R^2=74\%$$

Como muestra la Figura 15, las curvas de regresión partieron de un punto común; pero muy rápidamente el cambio del diámetro asociado al ancho de copa en *E. grandis* se hizo superior al de *E. deglupta*.

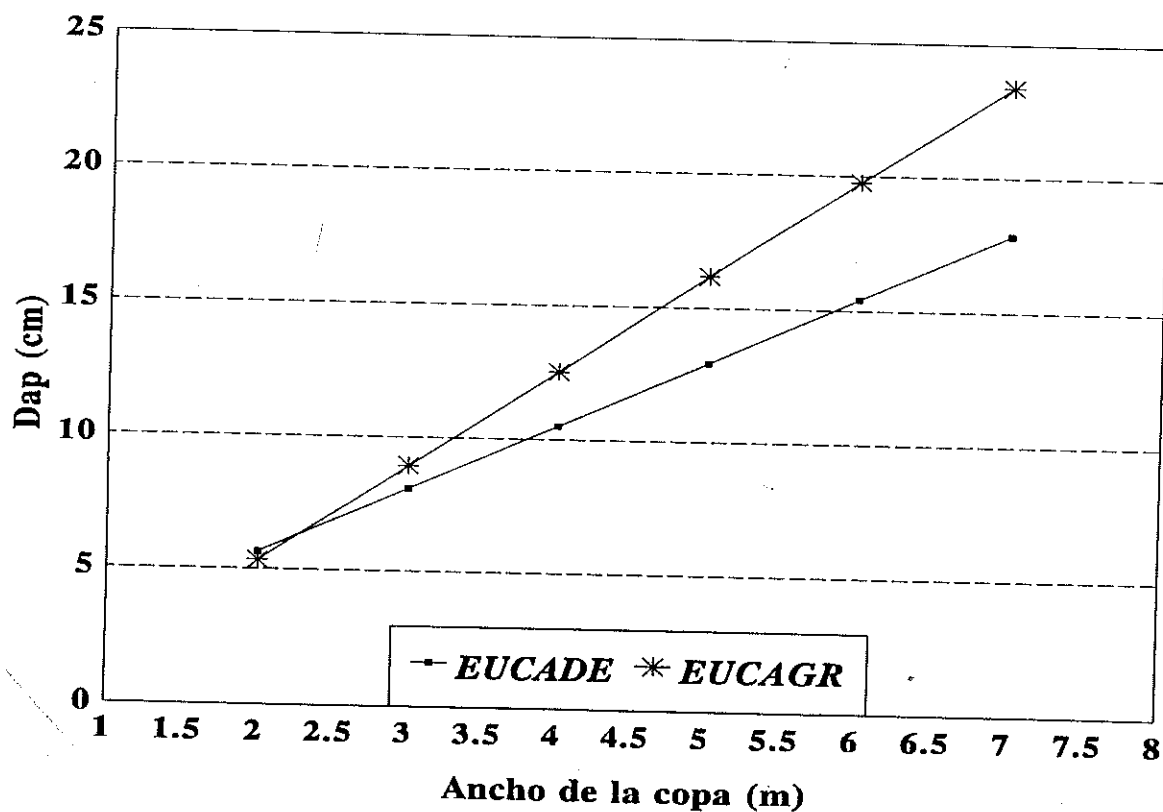


Figura 15. Relación entre el Dap y ancho de copa para *E. grandis* y *E. deglupta* con edades entre 2 y 4 años, Turrialba, Costa Rica.

El Cuadro 3 presenta el análisis de variación entre los coeficientes de regresión obtenidos de la relación diámetro-ancho de copa entre las dos especies, que resultó ser significativo ($\alpha=0,001$). El cambio en diámetro con respecto al ancho de copa, es alrededor de un 50% superior en *E. grandis*; esto indica que el incremento del diámetro de copa en un metro, indujo a un aumento de 3,61 cm de dap, contra 2,62 para *E. deglupta*. Lo cual significa que árboles de *E. grandis*, con copas más angostas, pueden tener un diámetro igual o superior que *E. deglupta* con copas más extensas.

Cuadro 3. Análisis de variación de los coeficientes de regresión de la relación Dap-ancho de copa entre especies, con edades entre 2 y 4 años, Turrialba, Costa Rica.

Fuente	GL	SC	CM	F	α
Regresiones	1	32,31	32,31	202	0,001
Error	1390	221,89	0,16		
Total	1391	254,20			

E. grandis, muestra una dominancia apical mayor; además, dispone de copa más compacta con mayor índice de área foliar por árbol, capta más energía para la fotosíntesis. *E. deglupta*, con una copa rala, deja pasar mayor proporción de luz al sotobosque; necesita de copas más amplias para sostener un buen desarrollo en diámetro. Este resultado refuerza resultados anteriores, pues indica que esta especie necesita de espaciamientos amplios para alcanzar un crecimiento óptimo en diámetro. Esta característica hace a la especie idónea para sistemas agroforestales; porque debajo de ésta, pueden coexistir cultivos con exigencia de luz moderada, como es el caso del café, que según opinión de los agricultores y las observaciones hechas en el campo, los rendimientos se mantienen cuando se establece en asocio de *E. deglupta*.

4.1.7 Relación del incremento del diámetro y área basal

Se presentó una tendencia cuadrática entre el incremento medio anual del diámetro y el área basal por hectárea, que fue significativa ($\alpha=0,001$). Esto indica, que el diámetro ya alcanzó su crecimiento máximo en estas plantaciones jóvenes. En *E. deglupta* el área basal explicó el 80% de la variación del incremento medio en diámetro. La ecuación obtenida fue:

$$\text{IMA Dap (cm)} = 0,901 + 0,518 * \text{AB (m}^2) - 0,02225 * \text{AB} * \text{AB}, R^2=80\%$$

La Figura 16 muestra los valores de IMA en diámetro observados y la tendencia de los valores esperados. A pesar de que son pocas parcelas incluidas en el análisis, se nota que el valor máximo se encontró cuando el área basal estuvo entre 12 y 13 $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$.

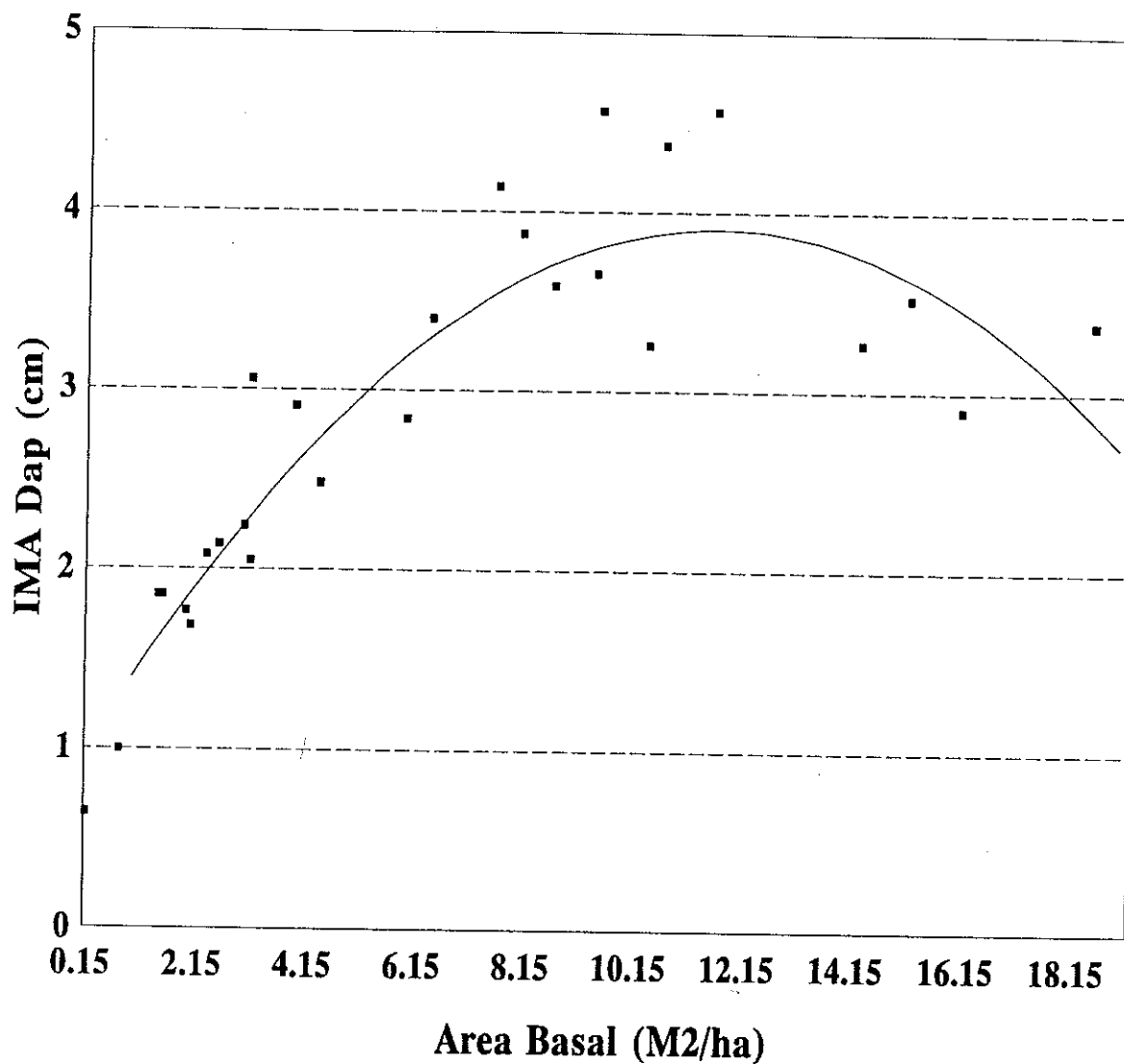


Figura 16. Relación entre el incremento medio anual del diámetro y el área basal, en plantaciones en bloques de *E. deglupta*, con edades entre 2 y 4 años, Turrialba, Costa Rica.

Asimismo, en las plantaciones de *E. grandis* se presentó la misma tendencia, el área basal explicó un 71% de la variación del incremento en diámetro. El modelo que se obtuvo para predecir el diámetro fue el siguiente:

$$\text{IMA Dap (cm)} = 1,133 + 0,35 * \text{AB (m}^2) - 0,0093 \text{AB} * \text{AB}, R^2=71\%$$

La Figura 17 presenta la curva trazada con los valores esperados y valores observados, donde muestra que el crecimiento en diámetro aumentó hasta alcanzar un área basal de alrededor de $18,5 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$.

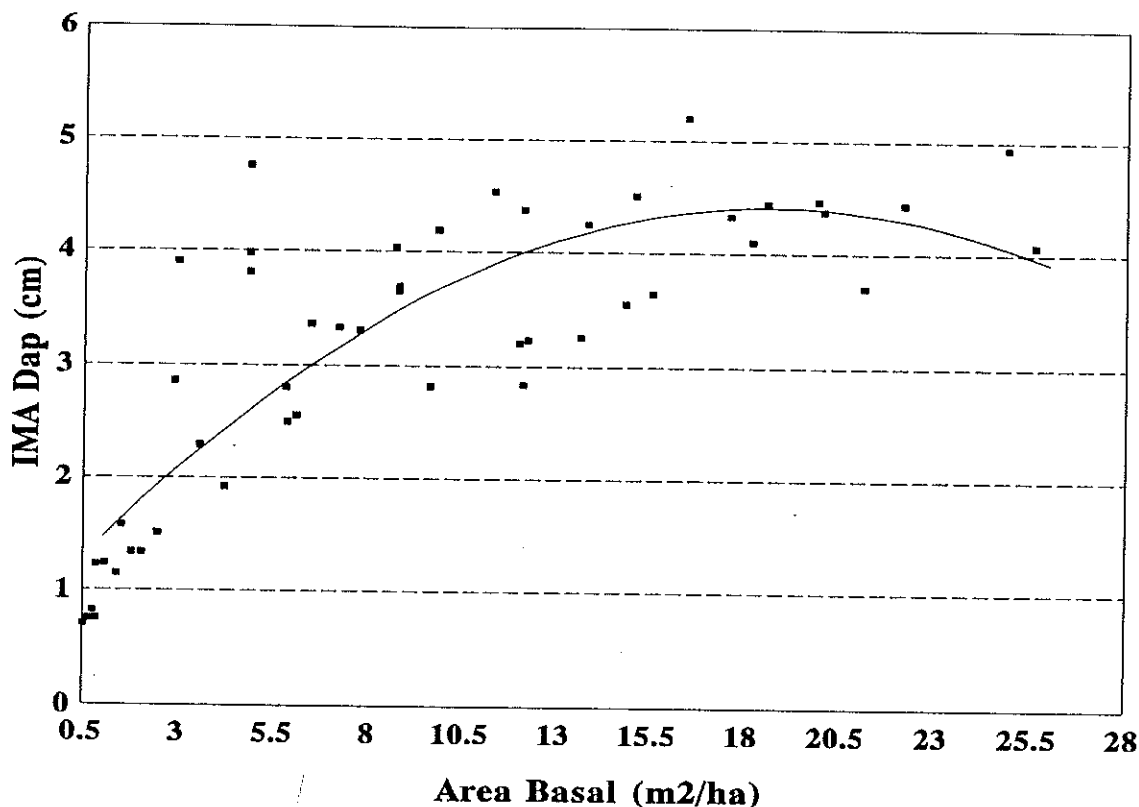


Figura 17. Relación entre el incremento medio anual del diámetro y el área basal, en plantaciones en bloques de *E. grandis*, con edades entre 2 y 4 años, Turrialba, Costa Rica.

El significado de ambas ecuaciones es que bajo buenas condiciones de sitio, la tasa de crecimiento en diámetro aumenta hasta que el área basal alcanza ciertos niveles, donde el espacio para crecer alcanza su máximo potencial productivo. A partir de este punto el incremento comienza a disminuir por el efecto de la competencia entre individuos y el diámetro promedio tiene un incremento menor.

Al comparar las Figuras 16 y 17, se nota que la reducción del incremento en diámetro para *E. deglupta*, se inició cuando el área basal alcanzó unos $12 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$. En contraste, para *E. grandis*, esto sucede cuando alcanza más de $18 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$. Esta tendencia demuestra que *E. grandis* tiene una capacidad mayor para mantener su crecimiento en espacios más

limitados, debido a que como muestra la Figura 10, en condiciones de densidades altas, en el rango de edad estudiado, esta especie presenta una copa más profunda. Sin embargo, en ambos casos se aprecia la necesidad de hacer intervenciones silviculturales tempranas y fuertes, especialmente en plantaciones de *E. deglupta*, para mantener el crecimiento en diámetro.

De acuerdo con Speechly y Helms (1985), el incremento en diámetro tiene una relación logarítmica inversa con el área basal acumulada por hectárea. Es decir, que a medida que el área basal es mayor, el IMA de diámetro es cada vez menor. Sin embargo, las dos Figuras anteriores muestran dos trayectos (uno creciente y otro decreciente). La razón de esta tendencia se explica por lo siguiente:

a) Algunas plantaciones son muy jóvenes, en las cuales el grado de competencia es bajo o se encuentra en su fase inicial, lo que permite que los árboles crezcan libremente y aumenten el desarrollo en diámetro hasta ocupar el sitio.

b) Algunos sitios son muy pobres, donde la luz no fue el recurso limitante; sino otros recursos o condiciones del ambiente (Finegan 1993). Esto indujo a que las plantaciones no hayan desarrollado su capacidad óptima de crecimiento; es decir, tanto el área basal como el diámetro promedio fueron bajos.

E. deglupta desarrolla copas extensas. Sin embargo, si el espacio es muy limitado las copas tienen un menor tamaño (Figura 7), debido a que comienzan a competir a una edad muy temprana; esto hace que las ramas inferiores reciban menos luz y muy pronto mueran por efecto del proceso de recesión de copas (Salazar y Jiménez 1988; Galloway 1993a).

Puede concluirse que *E. deglupta*, cuando crece bajo condiciones apropiadas de sitio, entra en competencia a una edad muy joven (2 a 4 años). Mientras que *E. grandis* tiene la capacidad de seguir creciendo en diámetro por un lapso mayor; debido a que su copa es más profunda en espacio limitado. Sin embargo, para ambas especies es notoria la necesidad de aplicar raleos, aunque el área basal por hectárea no sea muy alta, en especial si el propósito de la plantación es madera para aserrío, donde lo que interesa es maximizar el volumen individual y no el volumen por hectárea, se favorece el crecimiento en diámetro (Figura 14). Esto indica, que los raleos deben realizarse en función del desarrollo de la plantación y no con la edad.

4.2 Calidad de sitio

En *E. deglupta*, las diferencias en la edad explicaron el 72% de la variación de la altura dominante; significativa al 0,01. Hubo gran variación en los datos, ya que una tercera parte de la variación en altura se debió a otras variables y no a la edad. La ecuación que estima la altura dominante fue siguiente:

$$\ln(Hd) = 3,3928 - 24,3100 / \text{edad (meses)}, R^2 = 72\%$$

La Figura 18 presenta los valores observados superpuestos a las curvas derivadas de la ecuación para diferentes calidades de sitio. Las curvas tienen una separación de tres metros.

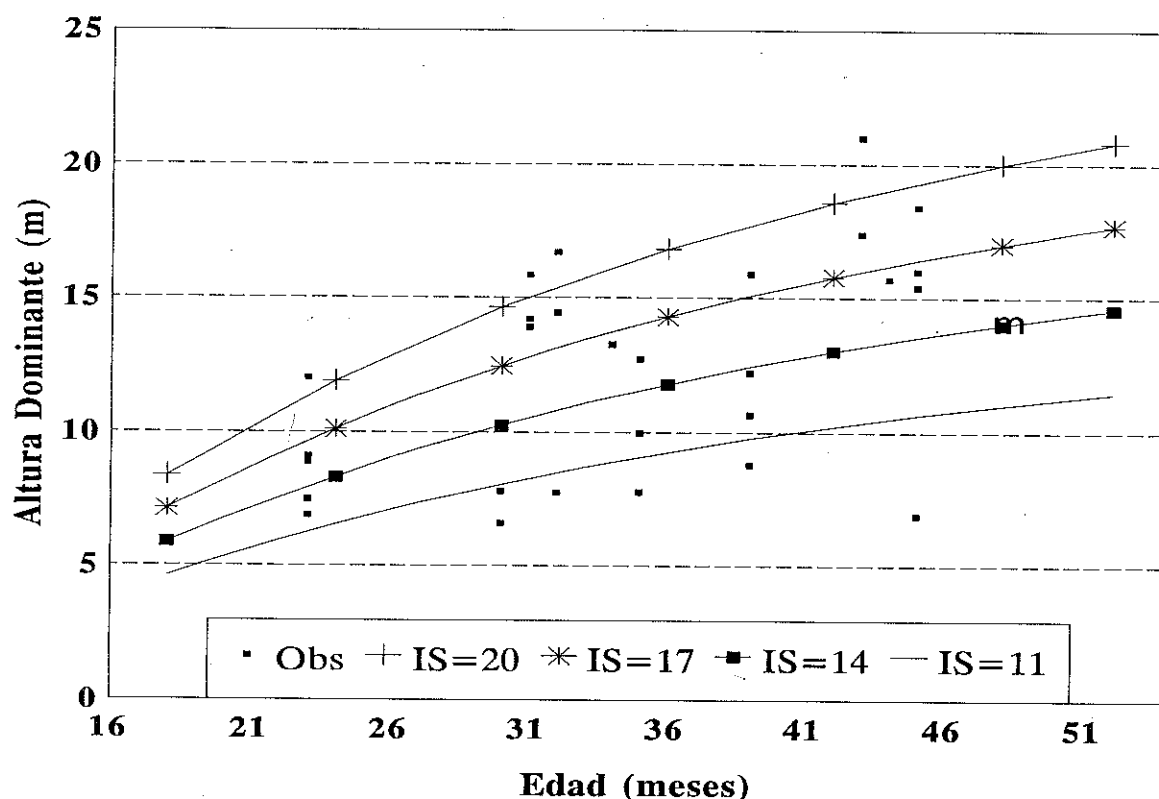


Figura 18. Curvas de índice de sitio local, en plantaciones de *E. deglupta* a una edad base de 48 meses, Turrialba, Costa Rica.

Las curvas muestran que existen plantaciones capaces de alcanzar alturas dominantes de 20 metros a los cuatro años de edad; lo cual está restringido a los sitios mejores. En sitios marginales, el crecimiento se limita a una altura dominante inferior a los 12 metros. Estos

resultados son comparables con los valores encontrado por Jadán (1972): más de 18 m de altura dominante en sitios buenos y menos de 13 m en sitios malos.

E. deglupta presentó una relación significativa ($\alpha=0,001$), entre la altura promedio con la edad y el índice de sitio; donde un 97% de la variación de la altura promedio se explicó por la edad y el índice de sitio. El modelo obtenido para expresar esta relación es el siguiente:

$$\ln(h) = -0,2005 - 30,7651/\text{edad} + 1,2259 * \ln(\text{IS}); R^2 = 97\%$$

Asimismo, la variación del el área basal fue explicada en un 72% por la edad y el índice de sitio, que fue significativo ($\alpha=0,001$). Se nota que un 30% de la variación del área basal está explicada por otros factores. La ecuación obtenida fue:

$$\ln(\text{AB}) = -4,34 - 48,52/\text{edad} + 2,73 * \ln(\text{IS}), R^2 = 72\%$$

La Figura 19 muestra las curvas de altura promedio (A) y Área basal (B) a diferentes calidades de sitio.

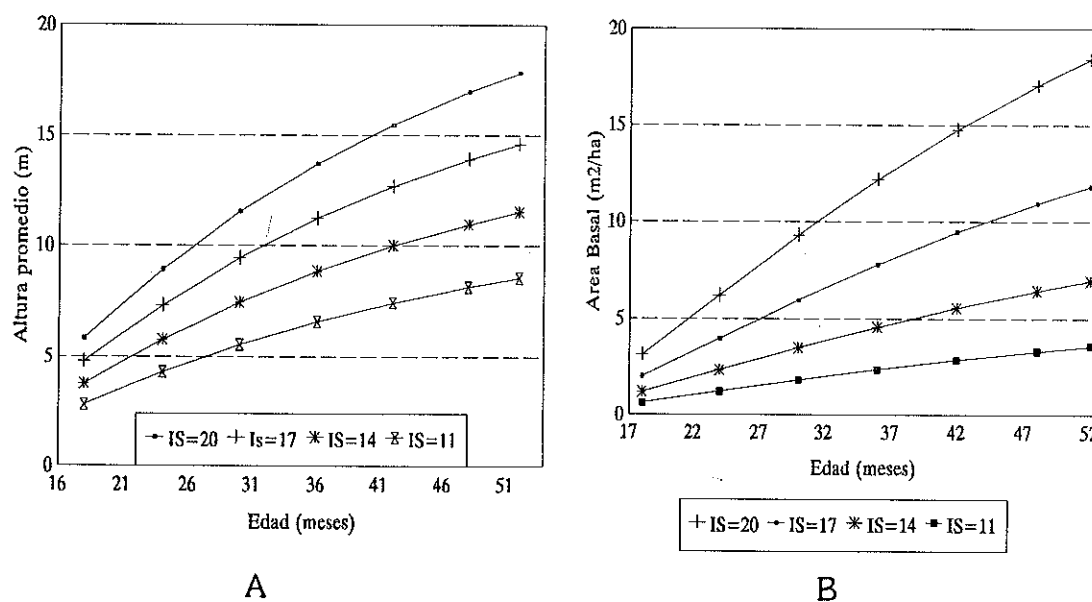


Figura 19. Curvas de altura promedio (A) y área basal (B) en diferentes calidades de sitio, según la edad para *E. deglupta*, a una edad base de 48 meses, Turrialba, Costa Rica.

En lo referente al volumen, el índice de sitio y la edad explicaron el 97% de la variación en volumen. La ecuación que estimó esta relación fue:

$$\ln(\text{vol.}) = -5,324 - 78,987/\text{edad} + 3,398 * \ln(\text{IS}) \quad R^2=97\%$$

La Figura 20 presenta los valores del volumen total (A) y volumen promedio (B) por hectárea para *E. deglupta*. En esta ilustración se aprecia que el IMA en volumen promedio, se encuentra en la fase creciente.

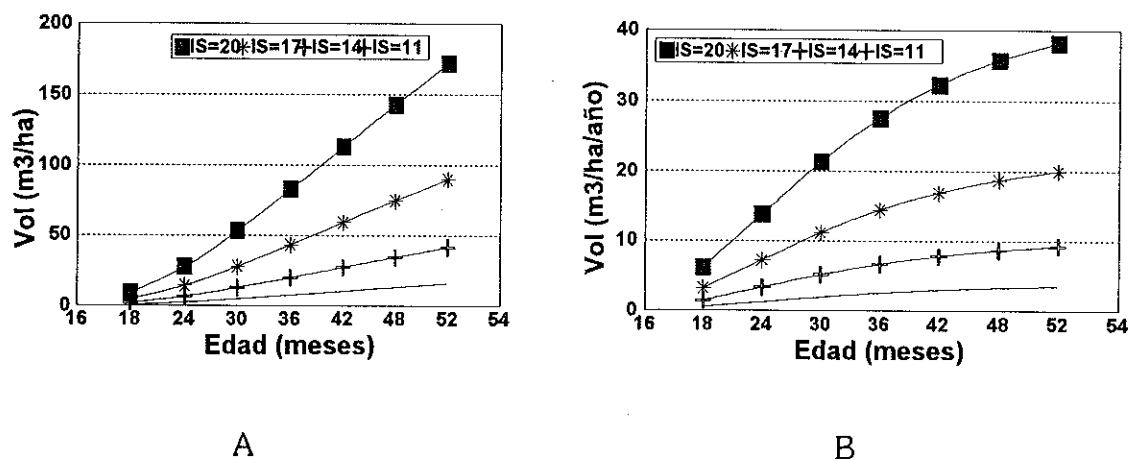


Figura 20. Relación entre el volumen total (A) y volumen promedio (B), en diferentes edades y calidades de sitio para *E. deglupta*, a una edad base de 48 meses, Turrialba, Costa Rica.

En *E. grandis*, cambios en edad explicaron un 70% de la variación de la altura dominante, que fue significativa ($\alpha=0,01$). La ecuación obtenida fue:

$$\ln(Hd) = 3,8142 - 37,5420 * 1/\text{edad}, \quad R^2=70\%$$

La Figura 21 presenta los valores observados y las curvas de las alturas dominantes esperadas para diferentes calidades de sitio. En los mejores lugares esta especie alcanzó una altura dominante superior a los 20 m, a la edad de cuatro años. Para sitios malos o marginales el desarrollo se limitó a menos de 8 m de altura a los cuatro años de edad.

Los valores de altura dominante estimados por la ecuación, se asemejan a los derivados por Changas *et al.* (1985). Dichos autores desarrollaron curvas de índice de sitio para *E. grandis*, con plantaciones de edades similares a las incluidas en este estudio. En ese trabajo la altura dominante en los mejores sitios a los 54 meses fue de 25 m y 9 m en los sitios marginales.

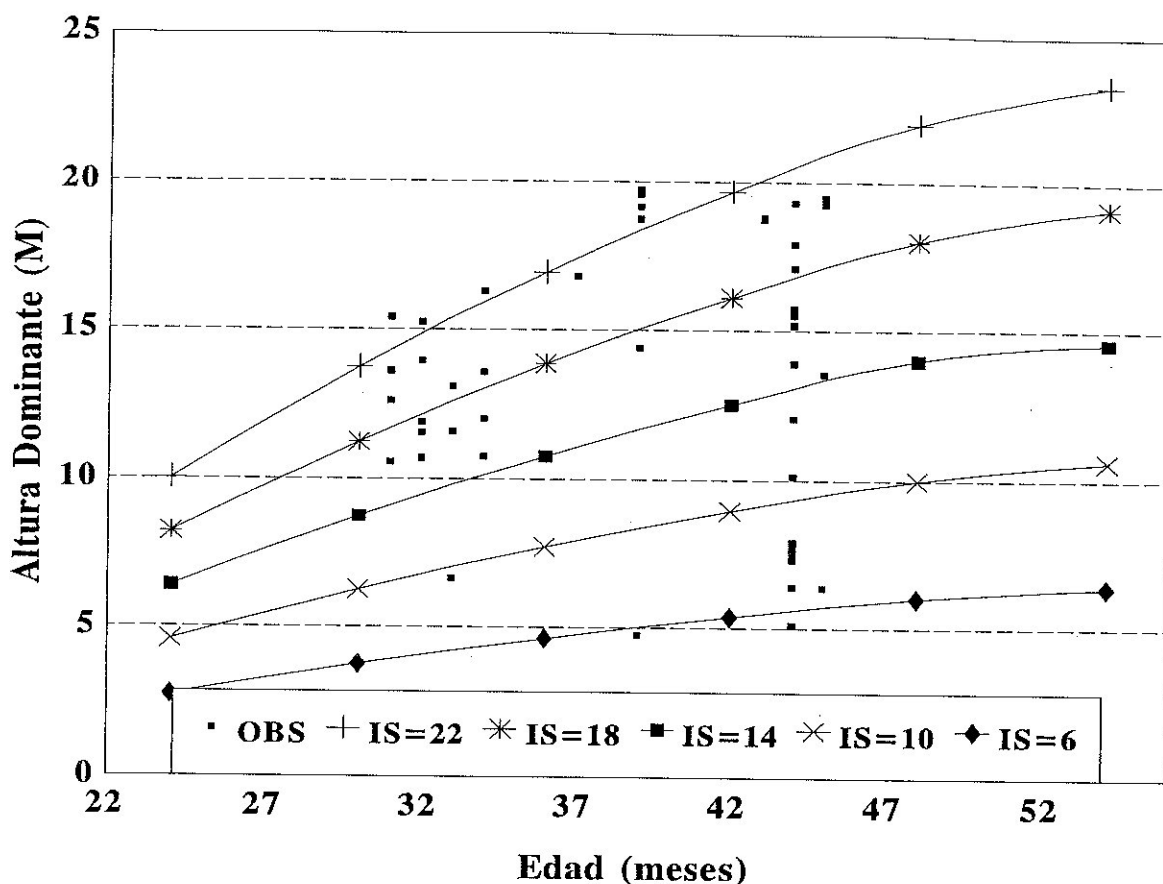


Figura 21. Curvas de índice de sitio local para plantaciones de *E. grandis*, a una edad base de 48 meses, Turrialba, Costa Rica.

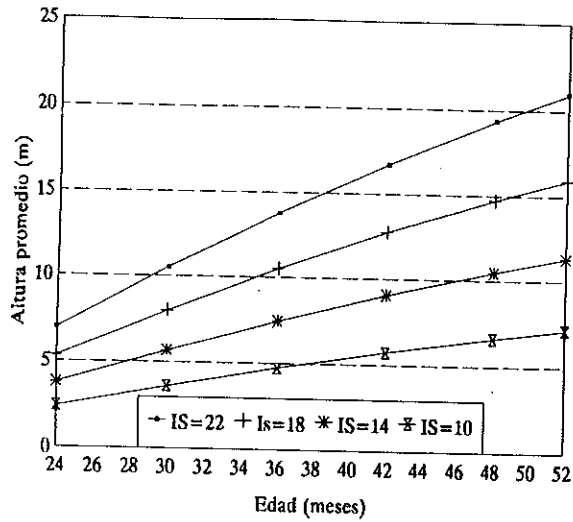
Concerniente a la altura promedio, los cambios en el índice de sitio y la edad explicaron el 94% de la variación en altura promedio ($\alpha=0,001$). Esta relación se expresó en la siguiente ecuación:

$$\ln(h) = -0,216 - 48,869/\text{edad} + 1,358 * \ln(\text{IS}), R^2=94\%$$

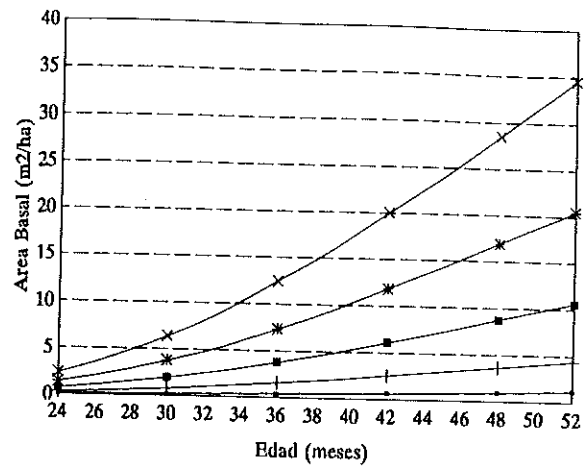
En cuanto al área basal, el índice de sitio y la edad explicaron el 86% de la variación en área basal ($\alpha=0,001$). La ecuación que mejor ajustó fue:

$$\ln(\text{AB}) = -2,24 - 119,62/\text{Edad(meses)} + 2,61 * \ln(\text{IS}), R^2=86\%$$

La Figura 22 presenta las curvas de altura promedio (A) y área basal (B), de *E. grandis* en diferentes calidades de sitio.



(A)



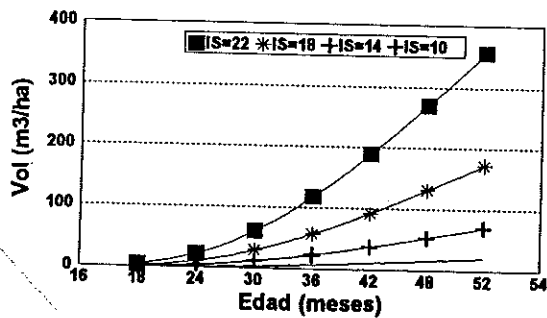
(B)

Figura 22. Curvas de altura promedio (A) y área basal (B) en diferentes calidades de sitio según la edad para *E. grandis*, a una edad base de 48 meses, Turrialba, Costa Rica.

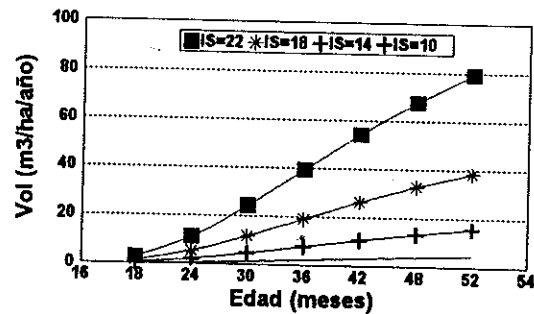
Referente al volumen, la edad y el índice de sitio explicaron el 99% de la variación del volumen por hectárea. La ecuación obtenida fue:

$$\ln(\text{Vol.}) = -3,08 - 119,55/\text{edad} + 3,614 * \ln(\text{IS}), R^2=99\%$$

La Figura 23 presenta los valores del volumen total (A) y el IMA en volumen (B) por hectárea para *E. grandis*. Se nota que igual como se presentó en *E. deglupta*, a estas edades, el IMA en volumen promedio está en la fase creciente.



A



B

Figura 23. Relación entre el volumen total (A) y volumen promedio (B) en diferentes edades y calidades de sitio para *E. grandis*, Turrialba, Costa Rica.

4.3 Caracterización de las plantaciones

De acuerdo con el desarrollo, las plantaciones fueron agrupadas en buenas (clase I), regulares (clase II) y marginales (clase III).

El Cuadro 6 presenta el porcentaje de las plantaciones correspondientes a estas tres clases de sitios para las dos especies. Se nota que alrededor del 30% de las plantaciones de *E. deglupta* y el 24% de *E. grandis*, tuvieron un crecimiento marginal (clase III), las cuales tienen pocas posibilidades de cumplir sus objetivos.

Cuadro 4. Clasificación de las plantaciones por clase de sitio, Turrialba, Costa Rica.

Clase	Hd (m)	<i>E. deglupta</i>		<i>E. grandis</i>	
		#	%	#	α
III	<= 13	9	32	12	24
II	13 a 17,4	9	32	12	24
I	>= 17,5	10	36	25	52
Totales	/	28	100	49	100

4.3.1 Análisis de factores de sitio en plantaciones de *E. deglupta*

La Figura 24 presenta el crecimiento medio anual en volumen y altura, para las tres calidades de sitio de *E. deglupta*. Las plantaciones dentro de un sitio clase I, tuvieron un crecimiento en volumen de $26 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y un máximo de $39 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Anexo 5); mientras que en sitios marginales clase III, el crecimiento se limitó alrededor de $2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Esto demuestra la alta productividad de madera cuando se estableció en condiciones adecuadas, ya que la relación de las diferencias en crecimiento entre un sitio bueno y un sitio malo fue de 13:1. Asimismo, los incrementos en altura en sitio I y III, fueron de $3,23 \text{ m año}^{-1}$ y $1,41 \text{ m año}^{-1}$, respectivamente; los cuales presentaron una diferencia de más del 100%. La altura máxima fue de $5,34 \text{ m año}^{-1}$ (Anexo 5). Como se puede observar, las diferencias en

volumen son más notables que las diferencias en altura; lo que indica que el volumen mide mejor la productividad; aunque altura sigue siendo mejor indicador del índice de sitio.

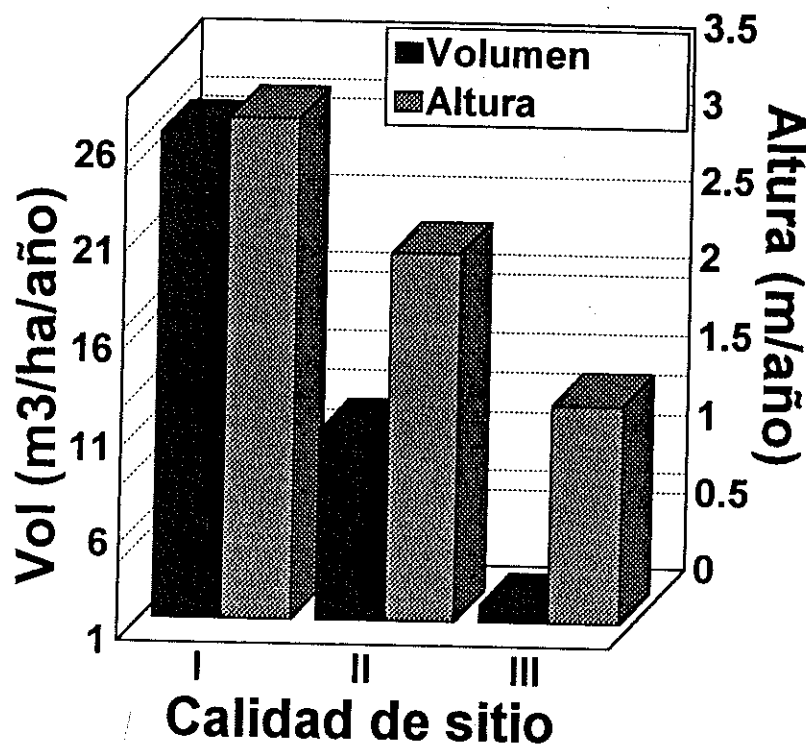


Figura 24. Incremento medio anual en volumen y altura para *E. deglupta* en tres calidades de sitio a edades entre 2 y 4 años, Turrialba, Costa Rica.

La Figura 25 muestra los niveles de bases intercambiables (A), fósforo y otros elementos (B), disponibles en el suelo para las plantas. El calcio fue mayor ($\alpha=0,05$) en sitios clase I. También el magnesio presentó diferencias ($\alpha=0,001$) entre sitios I y los demás. En ese orden, el potasio mostró la tendencias de ser mayor en sitios clase I, pero las diferencias no fueron significativas.

En sitios clase I, hubo mayor disponibilidad de fósforo ($\alpha=0,05$) que en los sitios clases II y III. Los valores estuvieron desde 6,53 ppm para un sitio clase I, hasta 3,24 ppm para sitios clase III.

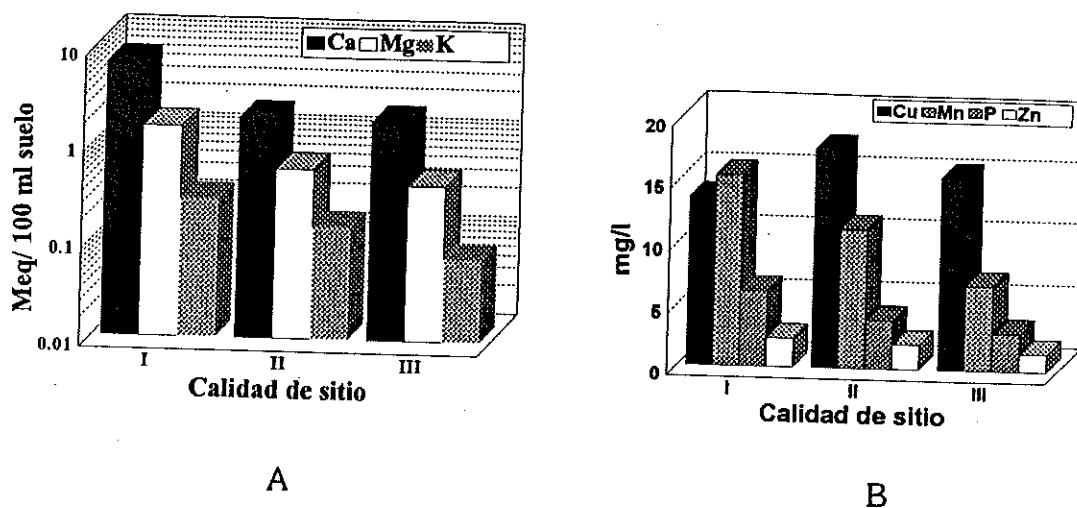


Figura 25. Disponibilidad de cationes (A), fósforo y otros elementos (B) para *E. deglupta* en tres calidades de sitio, Turrialba, Costa Rica.

El manganeso mostró un nivel superior en los sitios clase I y fue diferente de los demás ($\alpha=0,05$). El zinc siguió la misma tendencia pero las diferencias no fueron significativas. El cobre pareció no favorecer el crecimiento, ya que presentó un valor mayor para sitios clase III, aunque no fue significativo.

En resumen, el calcio, magnesio, fósforo, potasio y manganeso tuvieron una tendencia muy clara de disminuir, a medida que los sitios fueron más marginales. Esto demuestra que hay una relación entre la calidad de sitio y la presencia de estos elementos.

La Figura 26 presenta valores promedios de pH, saturación de bases (A), elevación y densidad aparente (B). El pH mostró valores superiores en los mejores sitios, pero hay poca diferencia; presentando una relación positiva con la saturación de bases. Los suelos más ácidos tienden a tener niveles más bajos en bases (Ca^{++} , Mg^{++} y K^+). A pesar de que en el porcentaje de saturación no hubo diferencia estadística, esta fue mayor en los sitios mejores, los valores estuvieron entre 76 y 62% para sitios clase I y III, respectivamente.

Por otra parte, las plantaciones mejores (sitios clase I) de *E. deglupta*, están en elevaciones menores de 750 msnm (26B), pero las diferencias no fueron estadísticamente significativas con los demás sitios. La densidad aparente del suelo no mostró ninguna tendencia con la calidad de sitio; no hubo variación, lo que dificultó determinar si era un factor importante o

no; aunque las plantaciones que presentaron valores mayores de uno, tuvieron un crecimiento pobre y fueron ubicadas en sitios clase III.

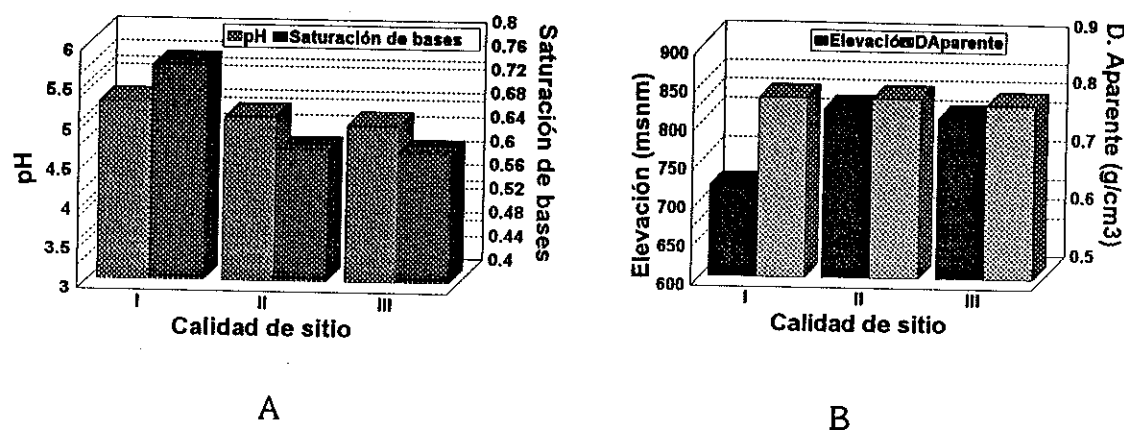


Figura 26. Comparación del pH, saturación de bases (A), elevación y densidad aparente (B), para plantaciones de *E. deglupta* en tres calidades de sitio, Turrialba, Costa Rica.

La Figura 27 presenta los promedios de textura y de materia orgánica. El porcentaje de arcilla fue mayor para sitios clase III, pero las diferencias no fueron significativas; el limo, la arena y la materia orgánica no presentaron diferencias en las tres calidades de sitio.

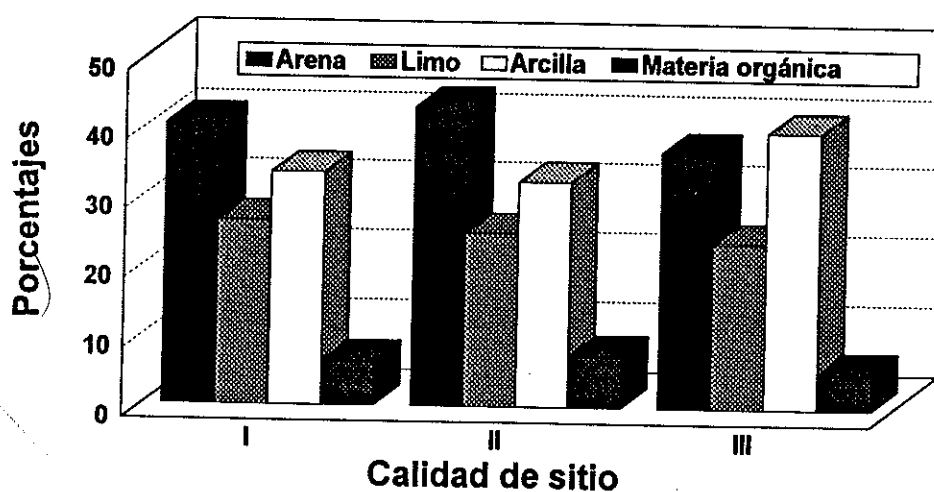


Figura 27. Análisis granulométrico y de materia orgánica para *E. deglupta* en tres calidades de sitio, Turrialba, Costa Rica.

El Cuadro 5 reúne las variables que presentaron mayor grado de correlación con el crecimiento. Se observa que el crecimiento se relacionó de manera positiva con el magnesio, que fue el elemento que tuvo correlación más alta (0,57). Luego le siguieron en orden descendente, el potasio, fósforo, manganeso y calcio. El porcentaje de arcilla tuvo una relación negativa pero fue muy fuerte. Esto muestra que la especie tiene un desarrollo mejor en suelos con altos niveles de fósforo, bases intercambiables y con textura liviana.

Cuadro 5. Matriz de correlación entre el Índice de Sitio y las variables de mayor significancia para *E. deglupta*, a una edad de 48 meses, Turrialba, Costa Rica.

	P	Ca	Mg	K	Mn	Arcilla
Índice de Sitio	0,45*	0,37	0,57	0,47	0,43	-0,33
	0,02**	0,07	0,01	0,01	0,01	0,10

* Coeficiente de correlación, ** Significancia

Según el análisis de regresión múltiple obtenido para predecir el crecimiento, con estas variables que correlacionaron mejor con el índice de sitio, el magnesio, manganeso y el porcentaje de arcillas explicaron el 56% de la variación en el índice de sitio para *E. deglupta* ($\alpha=0,001$).

La ecuación obtenida fue:

$$IS (m) = 14,65 + 1,92 * Mg (meq) + 0,21 * Mn (ppm) - 0,092 * Arcilla (\%), R^2 = 56\%$$

Aunque sólo tres variables resultaron ser significativas en la obtención del modelo, es pertinente resaltar que éstas presentaron un alto grado de correlación con otros factores (Anexo 3). El magnesio se correlacionó de forma positiva con el fósforo, calcio, potasio; de manera negativa con elevación y porcentaje de limo. Por su parte, el manganeso sólo se correlacionó de manera positiva con el fósforo. El porcentaje de arcilla se correlacionó negativamente con la elevación y de forma positiva con la densidad aparente y el contenido de cobre.

Se puede notar que existe mucha variación no explicada por el modelo. Existen otras variables que no fueron medidas en este estudio, que afectan el crecimiento; tales como que las plantaciones no tuvieron un mantenimiento homogéneo (preparación del sitio y limpiezas principalmente), la calidad de las plantas no fue igual, algunas plantaciones fueron afectadas por insectos y/o enfermedades. Esto hace que el modelo obtenido sea de utilidad

restringida, para ayudar a predecir el índice de sitio en función de estos factores. Sin embargo, no deja de tener validez, ya que las variables ofrecen un indicador de la productividad de los sitios analizados, en especial, si hay un manejo adecuado.

Para ilustrar cómo otros factores influyeron en la productividad de las plantaciones de *E. deglupta*, se hizo una clasificación de acuerdo con el uso anterior del suelo y el desarrollo de las plantaciones (Cuadro 6). El 60% de las plantaciones consideradas como clase III, están en sitios cuyo uso anterior fue pastoreo o cultivo de caña. El 67% de las plantaciones clase II, se estableció en lugares cuyo uso anterior fue pastoreo o barbecho. En contraste, el 67% de las plantaciones clase I, se establecieron en lugares cuyo uso anterior fue cultivo de café, y apenas el 11% se situó en sitios destinados anteriormente al pastoreo.

Cuadro 6. Clasificación del crecimiento de las plantaciones de *E. deglupta* de acuerdo con el uso anterior del suelo, Turrialba, Costa Rica.

Calidad de las plantaciones	Uso anterior				Totales
	Pastoreo	Barbecho	Caña de azúcar	Café	
III	3 30,0%	0 0,0%	3 30,0%	4 40,0%	10 35,7%
II	5 55,6%	1 11,1%	0 0,0%	3 33,3%	9 32,1%
I	1 11,1%	2 22,2%	0 0,0%	6 66,7%	9 32,1%
Totales	9 32,14%	3 10,7%	3 10,7%	13 46,4%	28 100%

Chi-cuadrado = 11,58 ($\alpha=0,07$)

En el Cuadro 7 se hace una clasificación de las plantaciones de *E. deglupta*, de acuerdo con la presencia o ausencia de pastos y su crecimiento. El 60 y 78% de las plantaciones clases III y II, respectivamente, estuvieron asociadas con pastos. En contraste, el 78% de las mejores plantaciones estuvieron libre de pastos o se hizo buen control de estos; contra un 22% que desarrolló bien en presencia de pastos. Sin embargo, es importante resaltar que las plantaciones que desarrollaron bien con un control deficiente de pastos, se ubicaron en

suelos con niveles altos de nutrimentos: 7,8 ppm de fósforo, 19,69 meq de calcio, 2,63 meq de magnesio y 0,67 meq de potasio. De acuerdo con una prueba de aditividad, el crecimiento de esta especie no es independiente de la presencia de pastos ($\alpha=0,05$). Esto muestra una tendencia clara de que en esta especie, el pasto tiene un efecto negativo sobre su crecimiento, en especial cuando la fertilidad del suelo es baja.

Cuadro 7. Clasificación del crecimiento de las plantaciones de *E. deglupta* de acuerdo con la presencia o no de pastos, Turrialba, Costa Rica.

Presencia de pastos	Clases de sitios			Totales
	III	II	I	
Con pastos	6 60,0%	7 77,7	2 22,2%	15 53,6%
Sin pastos	4 40,0%	2 22,2%	7 77,7%	13 46,4%
Totales	10 35,7%	9 32,1%	9 32,1%	28 100%

Chi-cuadrado = 5,84 ($\alpha=0,05$)

Se realizó un análisis de regresión múltiple, utilizando solamente las plantaciones que estaban asociadas con pastos. De acuerdo con este análisis, el 76% de la variación en el crecimiento fue explicada por magnesio, fósforo y arcillas ($\alpha=0,001$). Se puede observar que al agrupar las plantaciones por la presencia de pastos, mejoró considerablemente la estimación del índice de sitio por factores de suelo, la cual se incrementó de 56% a 76%. Esto indica que hubo más homogeneidad en los datos de plantaciones que crecieron en las mismas condiciones de mantenimiento. La ecuación que estimó el índice de sitio para estas plantaciones fue:

$$IS (m) = 15,44 + 0,95 P (\text{ppm}) + 1,35 Mg (\text{meq}) - 0,18 \text{ Arcilla } (\%), R^2 = 76\%$$

4.3.2 Análisis de los factores de sitio en plantaciones de *E. grandis*

La Figura 28 presenta el crecimiento promedio anual en volumen y altura, para *E. grandis* en tres calidades de sitio. Para sitios clase I, el crecimiento promedio en altura fue de 3,4 m año⁻¹. El volumen fue de 32,5 m³ ha⁻¹ año⁻¹ y un máximo de 49 m³ ha⁻¹ año⁻¹.

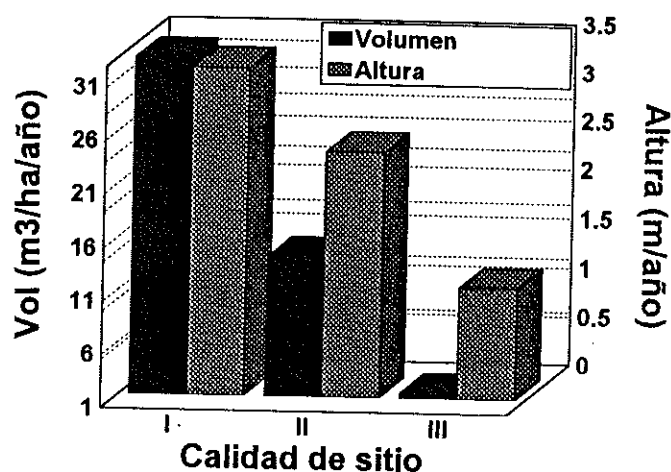


Figura 28. Crecimiento en volumen y altura para *E. grandis* en tres calidades de sitio, con edades entre 2 y 4 años, Turrialba, Costa Rica.

En contraste, para sitios clase III, el incremento anual fue de 1,14 m y 1,43 m³ ha⁻¹ año⁻¹ en altura y volumen promedio, respectivamente. Esto demuestra que las plantaciones establecidas en sitios clase I, podrían alcanzar una productividad superior hasta de 20 veces la que se obtiene en lugares marginales.

La Figura 29 presenta los niveles de cationes (A), fósforo y otros microelementos (B), para plantaciones de *E. grandis*, en las tres condiciones de sitios. El promedio de calcio en sitios clase I fue de 5,76 meq; que fue mayor que los otros sitios ($\alpha=0,001$), los cuales tuvieron 1,40 y 0,40 meq para clase II y III, respectivamente.

El magnesio mostró la misma tendencia de reducirse a medida que los suelos eran menos productivos; las diferencias entre sitios I, II y III, fueron significativas ($\alpha=0,001$). El potasio también siguió este patrón, los valores mayores se encontraron en sitios clase I, pero las diferencias no fueron estadísticamente significativas.

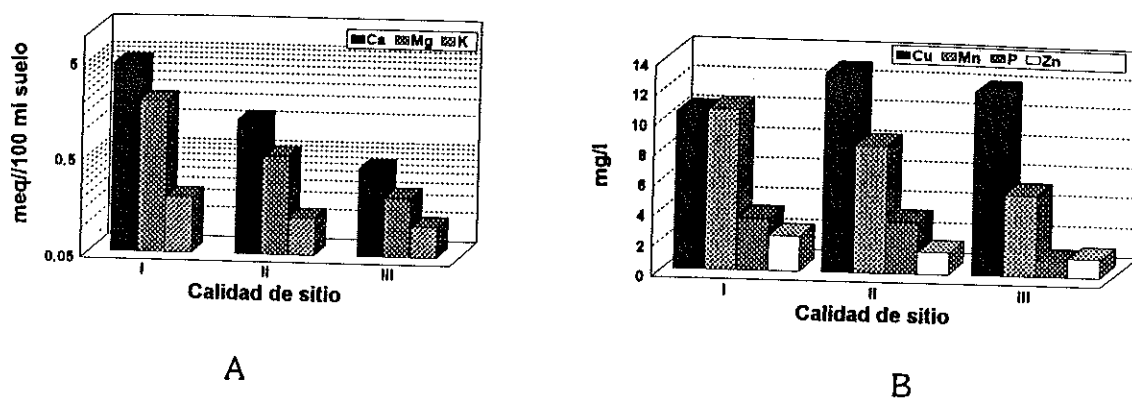


Figura 29. Presencia de cationes (A) fósforo y otros elementos (B) para *E. grandis* en tres calidades de sitio, Turrialba, Costa Rica.

Por otra parte, el fósforo (29B), no presentó diferencias significativas en las tres clases de sitios, los valores oscilaron entre 3,54 ppm para sitios I, hasta 2,73 ppm para sitios clase III. El manganeso fue mayor en sitios clase I ($\alpha=0,01$), en relación con los sitios clase III. Asimismo, el cobre y el zinc no mostraron diferencias; sin embargo, en los suelos clase I, la concentración de cobre parece ser menor y el zinc tiende a ser mayor.

La Figura 30 presenta los valores promedios del pH, saturación de bases (A), elevación y densidad aparente del suelo (B). No hubo diferencias significativas en el pH. Sin embargo, la saturación presentó diferencias significativas ($\alpha=0,01$), en sitios clase I, el porcentaje de saturación de arcillas fue de 74%, en contraste con 52% para sitios clases III. Esto muestra que con un porcentaje alto de saturación de bases, esta especie tiene mejor desarrollo.

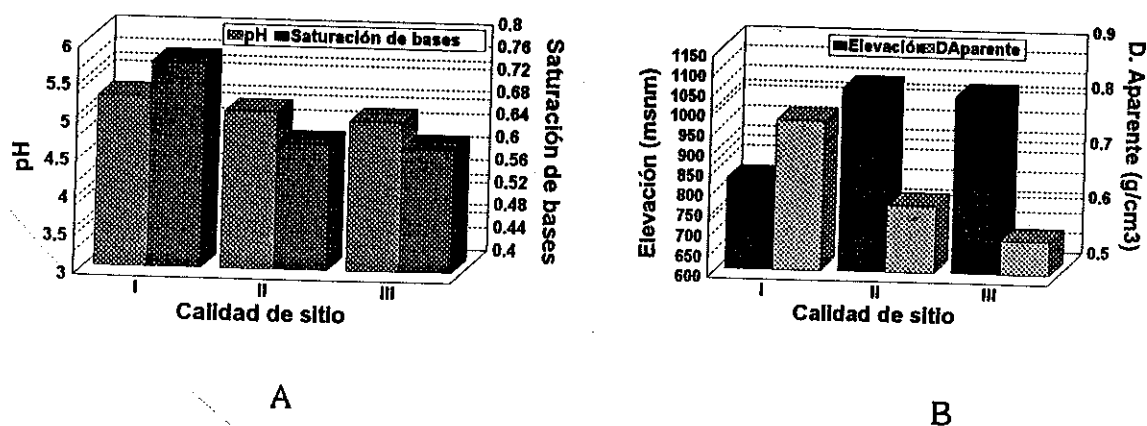


Figura 30. Porcentaje de saturación de bases, pH (A); elevación y densidad aparente en tres clases de sitio para *E. grandis*, Turrialba, Costa Rica.

En relación con la elevación (Figura 30B), se presentaron diferencias significativas ($\alpha=0,01$), donde las mejores plantaciones se ubicaron en promedio por debajo de los 850 msnm.

La densidad aparente pareció favorecer el crecimiento de esta especie; con valores más altos el crecimiento promedio fue mayor. Sin embargo, es importante destacar que casi todos los suelos tuvieron densidades aparentes inferiores a uno. Parece que esta especie no desarrolla muy bien sobre suelos livianos, lo que podría estar asociado a su baja fertilidad.

La Figura 31 muestra los valores promedio del análisis de textura y de materia orgánica, para las tres clases de sitios. El porcentaje de arena fue menor en sitios clase I; mientras que el porcentaje de arcilla es un poco superior; en ambos casos las diferencias no fueron estadísticamente significativas.

La materia orgánica presentó diferencias entre las tres calidades de sitio. Los valores mayores se encontraron en sitios clases III con un promedio de 16%; mientras que para sitios clase I, el promedio fue de 10% y es estadísticamente menor a los demás ($\alpha=0,05$).

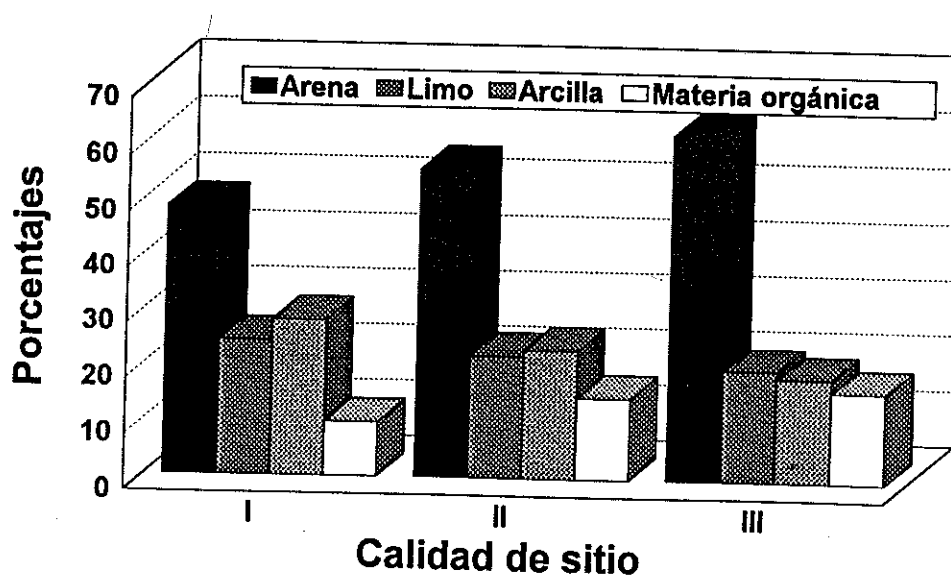


Figura 31. Análisis granulométrico y de materia orgánica para *E. grandis* en tres calidades de sitio, Turrialba, Costa Rica.

El Cuadro 8 muestra los factores que presentaron mayor grado de correlación con el crecimiento de *E. grandis*. Se nota que el magnesio fue el elemento que mejor correlacionó con el desarrollo de la especie (0,44), seguido por el contenido de calcio (0,42).

Cuadro 8. Matriz de correlación entre el índice de sitio y las variables de mayor significancia para *E. grandis*, Turrialba, Costa Rica.

	CA	Mg	Arena	Elevación	Densidad Aparente
Índice de Sitio	0,42*	0,44	- 0,22	-0,37	0,32
	0,01**	0,01	0,09	0,02	0,04

* Coeficiente de correlación, ** Significancia

También la densidad aparente se correlacionó de manera positiva, pero el promedio fue menor de 1 g cm^{-3} para casi todos los suelos.

Los factores que se relacionaron negativamente con el crecimiento fueron elevación (-0,37) y el porcentaje de arena (-0,22).

En el Anexo 2 se aprecia que la elevación y el porcentaje de arena se correlacionaron de forma negativa con los cationes, el fósforo, el porcentaje de arcilla y la densidad aparente; y se relacionó de forma positiva con la materia orgánica. El magnesio y el calcio tuvieron un alto grado de correlación positiva con el pH, densidad aparente, pendiente, potasio y manganeso; con el cobre tuvo correlación negativa.

El análisis de regresión múltiple mostró que sólo el magnesio explicó el 21% del crecimiento en altura del *E. grandis*, que fue significativo ($\alpha = 0,001$). La ecuación obtenida fue:

$$IS (m) = -27,99 + 42,54 * Mg (meq), R^2 = 21\%$$

De acuerdo con este modelo, *E. grandis* parece ser exigente en bases en la solución del suelo para tener un buen desarrollo. Esa puede ser la razón de que en suelos arenosos no muestra un buen crecimiento, porque los niveles de bases intercambiables fueron bajos.

Se nota que el modelo explicó apenas el 21% de la variación en el crecimiento y sólo una variable (el magnesio) resultó ser significativa. Esto indica que existen otros factores no

medidos en este estudio que están afectando el crecimiento. Además, es importante resaltar que el rango de valores que se encontró en algunas variables evaluadas fue muy estrecho, lo que hizo más difícil detectar significancias.

Con el objetivo de evaluar el efecto del uso anterior sobre el crecimiento, las plantaciones de *E. grandis* al igual que las de *E. deglupta*, se clasificaron de acuerdo con uso anterior y la calidad de sitio (Cuadro 9). El 92% de las plantaciones ubicadas en la categoría de crecimiento clase III, correspondieron a sitios cuyo uso anterior fue pastoreo; el 50% de las plantaciones clases II, también tenían como uso anterior el pastoreo. En contraste, el 60% de las plantaciones clase I, se establecieron en lugares cuyo uso anterior y/o actual fue cultivo de café y sólo el 20% estuvo en terrenos que antes fueron pastoreados. Esto muestra una tendencia clara que al establecer *E. grandis* en terreno pastoreados o con pastos, el crecimiento fue menor.

Cuadro 9. Clasificación del crecimiento de las plantaciones de *E. grandis* de acuerdo con el uso anterior del suelo, Turrialba, Costa Rica.

Calidad de las plantaciones	Uso Anterior			Totales
	Pastoreo	Barbecho	Café	
III	11 91,7%	1 8,3%	0 0,0%	12 24,5%
II	6 50,0%	3 25,0%	3 25,0%	12 24,5%
I	5 20,0%	5 20,0%	15 60,0%	25 51,0%
Totales	22 44,9%	9 18,4%	18 36,7%	49 100%

Chi-cuadrado = 18,89 ($\alpha=0,001$)

El Cuadro 10 presenta una clasificación de las plantaciones de *E. grandis* de acuerdo con la presencia o ausencia de pastos y su crecimiento. El 100 y 75% de las plantaciones correspondientes a las categorías de crecimiento clases III y II, respectivamente, estuvieron

asociadas con pastos; mientras que el 80% de las mejores (clase I), se establecieron en terrenos libres de éstos o que han tenido un control efectivo de los mismos. Esto indica que *E. grandis* no desarrolló bien cuando se estableció en presencia de pastos, lo cual se refleja en la mayoría de las plantaciones donde no hubo un buen control, presentaron un crecimiento de regular a pobre (clases II y III).

Cuadro 10. Clasificación del crecimiento de las plantaciones de *E. grandis* de acuerdo con la presencia o no de pastos, Turrialba, Costa Rica.

Presencia de pastos	Clase de sitio			Totales
	III	II	I	
Con pastos	12 100%	9 75,0%	5 20,0%	26 53,1%
Sin pastos	0 0,0%	3, 25,0%	20 80,0	23 46,9%
Totales	12 24,5%	12 24,5%	25 51,0%	49 100%

Chi-cuadrado =23,91 ($\alpha=0,001$)

Se realizó un análisis de regresión múltiple para predecir el índice de sitio, donde se eliminaron las plantaciones en cafetales, debido a que dichos sitios reciben fertilizaciones frecuentes, lo cual se convierte en una fuente de error. Este análisis dio como resultado que el calcio y el manganeso explicaron el 48% de la variación del índice de sitio. Esto muestra que si se tienen plantaciones que han recibido el mismo mantenimiento, los factores de suelos estimaron mejor el índice de sitio, la precisión se incrementó en más de un 100%, la cual pasó de 21% a 48%. La ecuación obtenida fue:

$$IS (m) = 10,26 + 0,37 * Ca (meq) + 0,2 * Mn (ppm), R^2 = 48\%$$

A pesar de que la estimación del índice de sitio mejoró sustancialmente, se nota que todavía existe un 50% de la variación que no está explicada por factores medidos en este estudio. Esto muestra la necesidad de que en próximos estudios, se consideren otras

variables de sitio y además, tener más homogeneidad en lo relacionado con el mantenimiento de las plantaciones.

4.3.3 Discusión general de los factores de suelo

El crecimiento de *E. deglupta* osciló entre 0,8 a 38 m³ ha⁻¹ año⁻¹, y dependió básicamente de la calidad del sitio, las prácticas silviculturales, preparación de sitio y la edad. En las tres calidades de sitio los rendimientos promedios en volumen fueron 26, 11 y 2 m³ ha⁻¹ año⁻¹ para sitios clase I, II y III, respectivamente. En sitios de buena productividad, los cálculos de volumen son semejantes a los obtenidos en Sabah por Tan y Yong (1982), quienes encontraron que el crecimiento en clase I fue de 24 m³ ha⁻¹ año⁻¹; mientras que para clase II y III estimaron un rendimiento de 16 y 11 m³ ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente; estos son superiores a los estimados en este estudio. El rendimiento en sitios buenos se encuentra en el rango de crecimiento reportado por FAO (1981), que oscila entre 19 a 32 m³ ha⁻¹ año⁻¹. Ugalde (1980); en un sitio clase I en Turrialba, determinó un rendimiento de 25 m³ ha⁻¹ año⁻¹, que fue similar al promedio obtenido en este estudio para sitio clase I. El incremento medio anual en diámetro y altura fue de 2,56 cm y 3,23 m para sitios clases (Anexo 5), los cuales se encuentran dentro del rango calculado en Costa Rica por Gewald (1978), América Central por el CATIE (1994b) y Malaya por Streets (1962). El incremento máximo observado en altura fue de 4,5 m (Anexo 5), que es similar (4,3 m) al encontrado por Salazar (1987).

En *E. grandis* los valores extremos del rendimiento promedio en volumen, fueron entre 0,30 a 49,30 m³ ha⁻¹ año⁻¹. En sitios clase I, II, III fueron 32,5, 14,0 y 1,4 m³ ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente. Las plantaciones cubrieron el rango de crecimiento descrito por FAO (1981) y Evans (1992), quienes estimaron que dependiendo de la calidad del sitio, el crecimiento oscila entre 4 a 55 m³ ha⁻¹ año⁻¹. El crecimiento anual en altura y diámetro estuvo entre 0,76 a 5,63 m y 0,82 a 5,20 cm, respectivamente, los cuales entran en el rango obtenido por CATIE (1994a), que están entre 0,5 a 4 m año⁻¹, de altura y 0,3 a 3,1 cm año⁻¹ de diámetro.

De acuerdo con los análisis anteriores, los nutrimentos del suelo influyen de forma importante en el desarrollo de estas especies. Los elementos que correlacionaron mejor con el crecimiento fueron el magnesio, calcio, manganeso, potasio y fósforo. Este resultado es

un indicio de que estas especies requieren de niveles adecuados de nutrientes en el suelo para su buen desarrollo.

El fósforo disponible presentó una correlación significativa con el crecimiento de *E. deglupta*. Guier (1982), también encontró esta correlación positiva con *E. deglupta*. Aguirre (1977), encontró que con árboles de 11 meses de edad, los valores promedio de fósforo disponible se correlacionaron con el crecimiento en altura en un 94%. Las mejores plantaciones presentaron en promedio de 6,6 ppm, que fue semejante al obtenido por Jadán (1972). A resultados similares llegaron Cromer *et al.* (1989), quienes al probar cinco dosis de fósforo (0, 50, 100, 200, 400 Kg ha⁻¹), encontraron una tendencia lineal positiva en el crecimiento.

Aunque se conoce que *E. grandis* requiere de ciertos niveles de fósforo para un buen desarrollo (Schönau y Herbert 1983; Cannon 1984); por la falta de un rango en los valores de fósforo registrado en este estudio, no se detectó correlación significativa con el crecimiento y el fósforo disponible, pero la tendencia es de ser mayor en sitios clase I.

El calcio presentó una correlación positiva con el crecimiento en altura en las dos especies y los niveles fueron significativamente mayores en las plantaciones con buen desarrollo. Guier (1982), encontró la correlación positiva con esta variable para *E. deglupta*. Los suelos deficientes en calcio también fueron deficientes en fósforo, magnesio y potasio.

El magnesio tuvo la correlación más alta con el desarrollo de *E. deglupta* al igual que *E. grandis*. Además, fue la variable en el análisis de regresión múltiple, que mejor explicó la variación del crecimiento en ambas especies. Resultados congruentes obtuvo Jadán (1977), quien determinó que bajo las condiciones de Turrialba, la influencia del magnesio y el potasio intercambiables, fue muy marcada en el desarrollo de *E. deglupta*. Fassbender y Tschinkel (1974), encontraron una correlación significativa entre los fosfatos de aluminio (-), que junto con el magnesio (+) y el potasio (+) intercambiable, explicaron el 56% de la variación total del crecimiento en altura de *Cupressus lusitanica* en Colombia.

Gasana y Loewenstein (1984), quienes estudiaron factores de sitio y su relación con el crecimiento de plantaciones jóvenes de *Eucalyptus globulus*, encontraron que las variables que reflejaron la productividad del sitio fueron el fósforo (+), magnesio (+), la relación manganeso/calcio (+) y la concentración de aluminio (-). Estos resultados concuerdan con algunas de las variables que fueron significativas en este estudio, tales como el magnesio, fósforo y manganeso.

Los valores de densidad aparente son bajos, el 88% de las parcelas presentó valores menores de 1 g cm^{-3} , un 12% son mayores de uno, pero el más alto fue de $1,16 \text{ g cm}^{-3}$, donde se estableció una plantación de *E. deglupta*, la que mostró un desarrollo pobre en ese sitio. Serfaty (1977), al estudiar algunos suelos volcánicos de Costa Rica, encontró densidades aparentes entre $0,45$ a $0,77 \text{ g cm}^{-3}$. Munénvar (1983), describió suelos volcánicos con un rango de densidad aparente de $0,45$ a $0,75 \text{ g cm}^{-3}$. Así que la densidad aparente es un factor de poca consideración en el establecimiento de futuras plantaciones en el cantón de Turrialba; pero es importante resaltar que un suelo que muestre algún grado de compactación es conveniente removerlos antes de establecer la plantación.

E. grandis pareció crecer mejor cuando los valores de densidad aparente oscilaron entre $0,60$ a $0,90 \text{ g cm}^{-3}$. Cannon (1994)⁴ al comparar diferentes niveles de compactación del suelo, encontró un resultado similar, la especie se desarrolló mejor cuando la densidad estaba entre $0,6$ a $0,9 \text{ g cm}^{-3}$. En las plantaciones estudiadas este fenómeno puede estar asociado a suelos muy livianos fueron bajos en disponibilidad de bases.

En algunos casos, las dos especies estudiadas no desarrollaron muy bien en elevaciones superiores a los 1000 m , que parece deberse a los niveles bajos de fertilidad que presentaron los suelos a estas altitudes; además los sitios presentan temperaturas más frías.

Aunque la materia orgánica tiene la tendencia a incrementarse con la altitud; ésta parece tener una tasa baja de mineralización. Munénvar (1983), asocia las tasas bajas de mineralización, a que la alofana (material muy común en suelos volcánicos), forma complejos con la materia orgánica, que unido a la temperatura más baja, dificulta la biodegradación. Por esa razón, los nutrientes presentes en la materia orgánica se convierten lentamente a formas inorgánicas para ser asimilados por los árboles (Cannon 1990).

En ambas especies los niveles de calcio y magnesio en sitios clase I, superaron en promedio los $5,50$ y $1,50 \text{ meq/100 mg}$ de suelo, respectivamente. Estas concentraciones se encuentran en suelos de disponibilidad mediana de bases. En los demás sitios estudiados el calcio fluctuaba entre $1,87$ a $0,40$ y el magnesio entre $0,55$ a $0,39 \text{ meq/100 mg}$. Según la escala desarrollada por Bertsch (1986), estas últimas concentraciones son bajas. Los niveles

Comunicación personal con P. Cannon, CATIE, Turrialba, 1994.⁴

de potasio también son superiores en sitios clase I, pero en todos los casos, son menores a 0,30 meq, que corresponde a un ámbito de suelos bajos en potasio.

Ambas especies parecen tolerar niveles altos de manganeso. Esto se observa en las plantaciones de sitio clase I, que tuvieron las concentraciones mayores (17,3 ppm, contra 7,28 ppm en sitios clases III). Esto está de acuerdo con lo expresado por Davey (1984) y Cannon (1990), de que la mayoría de los árboles toleran un rango amplio de manganeso en sus tejidos. Sin embargo, de acuerdo con Parent (1989), el manganeso disponible, corresponde a un nivel medio, que oscila entre 1 a 20 ppm.

La presencia de pastos, mostró un efecto negativo sobre el crecimiento en plantaciones de ambas especies, siendo su efecto más notorio en terrenos de baja fertilidad. Al separar las plantaciones de *E. grandis* con y sin pasto, en los análisis se tuvo que en 100 y 75% de las plantaciones clase III y II, respectivamente, no se hizo un control eficiente de pastos. Los pastos más comunes fueron *Melinis munitiflora*, *Panicum maxima*, *Andropogum* spp, *Digitaria* spp., entre otros, que no fueron identificados. Esto ha sido comprobado en Colombia por Escobar y Del Valle (1988), quienes encontraron que *E. grandis* no desarrolló cuando se asoció con *M. munitiflora*. A una conclusión similar llegó Marinero (1964), quien observó que el extracto de la hoja de *Melinis* tiene un efecto negativo (alelopatía) en el crecimiento de *C. alliodora*. También Salazar (1987), recomienda que se haga un control efectivo de pastos para tener éxito con plantaciones de *E. deglupta*; ese mismo planteamiento aparece en CATIE (1986, 1994a), para *E. grandis*.

E. deglupta no desarrolló bien cuando el uso anterior del suelo fue el cultivo de caña por un período largo. De acuerdo con los análisis de suelo, los niveles de nutrientes fueron bajos. En cuatro plantaciones establecidas en estas condiciones, el fósforo fue de 2,3 ppm, 2,93 meq de calcio, 0,46 meq de magnesio, 0,06 meq de potasio y 7,17 ppm de manganeso. Bazán (1977), estudió algunos suelos cañeros de América Central, y encontró que la caña es un cultivo muy extractor de nutrientes y en condiciones de pH bajo, puede mermar la fertilidad natural del suelo.

4.4 Comentarios adicionales

En el campo se hicieron algunas observaciones, y aunque no fueron objeto de pruebas estadísticas, son de importancia para UNITAICA y otros interesados en el cultivo de estas especies. Estas son:

- Supervivencia baja, debido a que el material de plantación fue de mala calidad, en especial tamaño muy grande (mayor de un metro).
- Deformaciones del sistema radical, provocado por un repique deficiente y enraizamiento defectuoso en las bolsas, cuando las plántulas permanecieron por un tiempo excesivo en el vivero. Este defecto no permitió que el desarrollo fuera normal y los árboles con este defecto pueden estrangularse y volverse más sensibles al volteamiento en el futuro.
- El control de malezas por medio de chapeas, es un método deficiente para disminuir la competencia con pastos, pues estos se recuperan muy pronto. Sin embargo, en aquellos casos donde el sitio es bueno (clase I), con tres a cuatro chapeas en el primer año, parece ser suficiente para mantener un buen crecimiento de los árboles.
- En dos plantaciones se controlaron los pastos con un herbicida conocido como "Roundop", el cual provocó quemadura del follaje de algunos de los árboles. Estas plantaciones están establecidas a más de 1000 msnm, donde la velocidad del viento suele ser mayor, lo que favorece la dispersión del herbicida por el follaje de los árboles.
- Una plantación de *E. deglupta*, donde la densidad aparente del suelo, a pesar de que se aplicaron fertilizantes, rodajeas y se mantuvo limpia, el crecimiento fue pobre; se ameritaba de una preparación mejor del sitio, que incluyera una movilización de la capa superficial del suelo, que permitiera a las plántulas el desarrollo adecuado del sistema radical. Esto confirma lo expresado por Guier (1982), de que la especie no crece bien en suelos muy compactados.
- Un problema detectado y de mucha importancia en *E. deglupta*, es el ataque de la hormiga conocida como zompopa (*Atta* spp), la cual estuvo presente en el 86% de las plantaciones. En algunos casos provocó la pérdida total de los árboles y en otros la supervivencia fue menor del 50%. Los daños por zompopas han sido reportados anteriormente por Ugalde (1981) y Salazar (1987). Este insecto solo se controló en dos

de las plantaciones visitadas. De ahí la necesidad de hacer un control más eficiente en las futuras plantaciones. También, en una plantación de *E. deglupta* se observó la presencia de un ácaro sobre las hojas. *E. grandis* no fue tan afectado por estos insectos.

- Existe una abeja (*Trigona* sp.), conocida como "abeja de arragle", que provocó lesiones considerables en *E. grandis*. En más de un 90% de las plantaciones de esta especie estuvo presente ese insecto. Según lo observado, el modo de acción de esta abeja consiste en hacer perforaciones en el fuste (donde habita); el árbol excreta una sustancia melosa de las lesiones, que le sirve de alimento al insecto.
- En *E. grandis* se identificó la presencia de "canker" causado por hongos del género *Cryphonetria*, especialmente en plantaciones establecidas por encima de 1000 msnm. Cannon (1990), encontró en Ecuador una plantación de *E. grandis* muy afectada por esta enfermedad, la cual estaba ubicada a una elevación de 1600 msnm. Este autor asoció la enfermedad a la alta humedad y la neblina que abunda durante casi todo el año en estos sitios. Condiciones similares son comunes en las partes altas de Turrialba. Esto indica que las plantaciones establecidas en las zonas más altas podrían sufrir más de esta enfermedad en el futuro.
- En cinco plantaciones de *E. deglupta* se observó una quema de los brotes terminales. Los brotes nuevos mostraron quemaduras en las partes tiernas. De acuerdo con CATIE (1991), se trata de una enfermedad conocida como "Mal de Río Dulce", que fue identificada por primera vez en Brasil. El daño sólo se presenta en árboles muy jóvenes; pero según los propietarios y lo que se pudo observar, el efecto disminuye después de los dos años.
- El ataque de termitas estuvo presente en plantaciones de ambas especies; fue detectado por las protuberancias que muestra la corteza en los árboles afectados. Aunque los árboles afectados fueron pocos, no se descarta que el problema aumente en plantaciones de mayor edad. Este tipo de daño ha sido reportado en Nueva Guinea por Heather (1955). Asimismo, Ugalde (1980) encontró algunos árboles afectados en Turrialba a una edad de 3,5 años.

4. 5 Entrevista a los propietarios

La mayoría de los productores entrevistados reconocen la necesidad de aplicar raleos; pero limitan su aplicación al corte de árboles defectuosos, lo que es insuficiente para abrir el dosel y optimizar el crecimiento en diámetro. Aunque los productores conocen la importancia del raleo y en muchas plantaciones se nota una fuerte competencia, ninguna de estas han sido manejadas. La respuesta más común que los productores dieron a la pregunta del por qué no habían raleado su plantación fue:

- Esperan la decisión de UNITAICA, o lo harían después de 5 ó 6 años.

Al preguntar para qué plantaron la especie? De 34 entrevistados las respuestas más comunes fueron.

- Madera para aserrío..... 76%
- Postes eléctricos..... 6%
- Usos múltiples..... 6%
- No tiene claro para qué la va a utilizar..... 12%

Según estas respuestas, se puede decir que las plantaciones, en general, se han establecido para producir madera de aserrío. Si se asocia esta respuesta con las tendencias del crecimiento en diámetro que se muestran en las Figuras 16 y 17, se observa que estas especies establecidas en sitios buenos entran en competencia a una edad muy temprana, y que hasta el momento a ninguna de las plantaciones se le han aplicado raleos, se tiene como resultado que muchas de éstas no cumplirán con las expectativas de los propietarios, si no se implementa pronto un programa fuerte de raleos de las plantaciones.

Este sondeo muestra que los servicios de extensión, entrenamiento y apoyo institucional hacia el agricultor debieran ser más efectivos y eficientes; para lograr así, una mayor participación de los propietarios en la toma de decisiones y en el manejo oportuno de sus plantaciones.

5.1 CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos y discutidos permiten llegar a las siguientes conclusiones:

1. Las plantaciones establecidas en sistemas agroforestales tienen densidades superiores a los 950 arb. ha⁻¹, lo que repercute negativamente en la producción de los cultivos asociados, debido a que los árboles cierran las copas después de los dos años y la entrada de luz es casi nula.
2. El efecto de la sombra es menor cuando la especie es *E. degluta*, porque dispone de una copa más rala, la que permite mejor el paso de los rayos solares. Esto hace de *E. degluta* una mejor especie para sistemas agroforestales; aunque no deja de ser una limitante para el cultivo, donde la densidad de los árboles es muy alta.
3. En plantaciones puras, *E. degluta* fue más propenso a disminuir su capacidad de crecimiento en diámetro. Cuando se plantó en hileras, creció más en diámetro, porque desarrolló copas amplias, debido a que el espacio disponible fue mayor.
4. A pesar de que los rodales presentaban fuerte competencia, los árboles dominantes y codominantes, fueron menos afectados por ésta y pudieron mantener cierto crecimiento en diámetro. En hileras no hubo disminución del crecimiento en diámetro en estas plantaciones jóvenes.
5. El ancho de la copa es un buen indicador del diámetro. El aumento en diámetro asociado al ancho de la copa es superior en *E. grandis*, debido a que la copa de esta especie es más compacta, con mayor área foliar, lo que le permite captar más rayos solares para la fotosíntesis.
6. El incremento medio anual del diámetro comenzó a disminuir en *E. degluta* cuando el área basal fue menor de 13 m² ha⁻¹. En contraste, en *E. grandis* el incremento medio del diámetro comenzó a disminuir cuando el área basal se acercó a los 18 m² ha⁻¹.
7. La densidad aparente del suelo no resultó ser un problema de consideración, debido a que los suelos son principalmente de origen volcánico; no muy compactados, por lo que los valores raras veces exceden de 1 g cm⁻³. *E. grandis* tuvo mejor desarrollo

cuando los valores de densidad aparente oscilaron entre $0,6$ a $1,0 \text{ g cm}^{-3}$, lo que está se asociado a la baja disponibilidad de nutrimentos en suelos muy livianos.

8. Ninguna de las dos especies se desarrolló bien en suelos degradados. El crecimiento fue mejor en suelos donde los niveles de calcio, magnesio, potasio y fósforo fueron más altos.
9. En sentido general, el crecimiento fue mayor cuando las plantaciones se establecieron a elevaciones bajas, las plantaciones mejores de *E. deglupta* y *E. grandis* se obtuvieron a elevaciones por debajo de 750 y 850 msnm, respectivamente.
10. Los factores que más contribuyeron a la variación del crecimiento en *E. deglupta* fueron el magnesio, manganeso y el contenido de arcilla, que explicaron el 56% de la variación en altura. Mientras que en *E. grandis*, el magnesio fue la única variable que resultó significativa y explicó el 21% del crecimiento.
11. La estimación del crecimiento por factores de sitio, mejoró sustancialmente al analizar sólo las plantaciones que tuvieron un mantenimiento más homogéneo, donde no se hizo control efectivo de pastos. En estas plantaciones, el magnesio, fósforo y el contenido de arcilla explicaron el 76% del crecimiento en *E. deglupta*; mientras que en *E. grandis*, el calcio y manganeso explicaron el 48% del crecimiento. Esto indica que la productividad está estrechamente relacionada con el mantenimiento de las plantaciones.
12. El mantenimiento de muchas plantaciones ha sido deficiente, en especial en lo que se refiere al control efectivo de pastos e insectos, su efecto ha sido negativo para el crecimiento.
13. A las plantaciones no se le están aplicando las técnicas de manejo en el momento oportuno, en lo concerniente a raleos, para orientarlas hacia los objetivos de los propietarios. Por tal razón, muchas de las plantaciones no están encaminadas hacia el cumplimiento del objetivo principal: producir madera de aserrío.
14. *E. deglupta* y *E. grandis* son dos especies muy promisorias en la zona, siempre que se planten en condiciones adecuadas de suelo, y se les brinde mantenimiento y tratamientos silviculturales oportunos, especialmente raleos, control de pastos e insectos.

5.2. RECOMENDACIONES

Para mejorar el éxito de este programa de plantaciones, que se desarrolla en Turrialba y áreas aledañas con *E. deglupta* y *E. grandis*, se plantean las siguientes recomendaciones:

- a- Hacer un análisis de suelo, para determinar la disponibilidad de nutrimentos (cationes y fósforo). Si los niveles no son adecuados, hay que suplirlos por medio de fertilizaciones.
- b- En lugares sobrepastoreados por largo tiempo, es importante hacer una preparación del sitio que incluya una remoción de la capa superior del suelo. Luego controlar los pastos hasta que las especies estén bien establecidas (los primeros dos años).
- c- Controlar antes y después la hormiga cortadora en *E. deglupta* y la abeja en *E. grandis*.
- d- Los raleos en plantaciones puras destinadas a la producción de madera de aserrío, establecidas en buenas condiciones de sitio, deben iniciarse a edades tempranas (2 años), momento que puede coincidir con el inicio de traslape de copas. Deben programarse de acuerdo con el desarrollo de la plantación y no por la edad.
- e- Las plantaciones en bloques de ambas especies deben establecerse a un espaciamiento inicial superior a 4 m x 4 m. Así se retarda más una primera intervención sin que el crecimiento en diámetro se vea tan afectado.
- f- Fomentar las plantaciones en sistemas agroforestales, con espaciamientos amplios (5 m x 5 m, a 8 x 8 m). Así el agricultor tiene más fuente de ingresos, lo que hace a esta actividad más rentable. Además, los árboles crecen mejor porque aprovechan la fertilización que se aplica a los cultivos.
- g- Invertir más esfuerzos en la capacitación de los propietarios, principalmente en la fase de establecimiento, manejo y mercadeo de los productos; para que puedan tomar las decisiones en el momento oportuno y manejar sus plantaciones más adecuadamente.
- h- En estudios futuros, profundizar sobre factores de sitio, control de insectos, competencia intra e interespecíficas, manejo de linedros, probar la respuesta de diferentes dosis de fertilización. Además extender los estudios de dinámicas de rodales en otras especies.

6. BIBLIOGRAFÍA

- AGUIRRE, C. 1977. Comportamiento inicial de *Eucalyptus deglupta* Blume asociado con maíz (sistema "taungya"), en dos espaciamientos con y sin fertilización. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 130 p.
- ALDER, D. 1980. Forest volume estimation and yield prediction. FAO Forestry Paper no. 22/2. 194 p.
- AWANG, K. 1991. A guide for research cooperators in the 1991 humid and subhumid zone network trials. Forestry/Fuelwood Research and Development (F/FRED) Project. Multipurpose Tree Species Network Research Series.no. 4. 33 p.
- BAILEY, R. L.; CLUTTER, J. L. 1974. Base-age invariant polymorphic site curves. Forest Science (EE.UU.) 20 (2) :155-159.
- BATISTA, J. L. F.; COUTO, H. T. Z. DO. 1986. Escolha de modelos matemáticos para a construçao de curvas de índice de sitio para florestas implantadas de *Eucalyptus* sp no estado de Sao Paulo. IPEF (Bra.) 32: 33-42.
- BAZAN, R. 1997. La fertilidad de algunos suelos cañeros del istmo centroamericano. III: suelos de Panamá. Turrialba, C. R., CATIE. 35 p.
- BERTSCH, F. 1986. Manual para interpretar fertilidad de suelo en Costa Rica. San José, C. R., Universidad de Costa Rica. 76 p.
- BARROS, N. F. 1980. Algunas consideraciones sobre relación entre sitio y suelo en los neotrópicos. In Simposio IUFRO/MAB/Servicio Forestal : Producción de madera en los Neotrópicos por medio de plantaciones (1980, Río Piedras, P.R.). Producción de madera en los neotrópicos por medio de plantaciones : actas de un simposio internacional. Ed. por J.L. Whitmore. Río Piedras, P.R., Dpt. de Agricultura. p. 133-142.
- BEER, J. 1981. Establecimiento de parcelas permanentes y cuantificación del componente arbóreo en asociaciones agroforestales. IV Investigación de Técnicas Agroforestales tradicionales. Turrialba, C. R., CATIE. 52-74.
- BLANCHARD, R. O.; TATTAR, T. 1981. Field and laboratory guide to tree pathology. N.Y., EE.UU., Academic Press. 285 p.
- BOOTH, T. H.; NIX, H. A.; HUTCHINSON, M. F; JOVANOVIC, T. 1988. Niche analysis and tree species introduction. Forest Ecology and Management (Holanda) 23:47-59.

- BOOTH, T. H.; PRYOR, L. D. 1991. Climatic requirements of some commercially important *Eucalyptus* species. *Forest Ecology and Management (Holanda)* 43:47-60.
- BORNEMISA, E. 1982. *Introducción a la química de suelos*. Washington, D. C., EE.UU., OEA. 74 p.
- BOYER, J. 1978. *Le calcium et le magnésium dans les sols des régions tropicales humides et sub-humides*. Paris, Francia, s.n. 173 p.
- BOYOUCOS, G. J. 1936. Direction for making mechanical analysis of soils by the hydrometer method. *Soil Science (EE.UU)* 42:321-332.
- BRAND, D. G.; MAGNUSSEN, S. 1988. Asymmetric, two-sided competition in even-aged monoculture of red pine. *Canadian Journal of Forestry Research (Can.)* 18 (7):901-910.
- BREDENKAMP, B. V. ; BURKAHART, H. E. 1990. Diameter growth of *Eucalyptus grandis* under conditions of extreme suppression. *New Zealand Journal of Forestry Science* 20(2):162-167.
- BRISCOE, C. B. 1990. *Manual de ensayos de campo con árboles de uso múltiple*. Winrock International Institute for Agricultural Development. Manual No. 3. 143 p.
- BRUNET, R.; TRETO, E. 1987. Algunos aspectos del potasio y el magnesio en un suelo ferralítico rojo compactado. La Habana, Cuba. 57 p.
- BURGESS, I. P. 1988. Provenance trials of *Eucalyptus grandis* and *E. saligna* in Australia. *Silvae Genetica (Alemania)* 37:221-227.
- CAMPOS, J. J. 1990a. Curvas de índice de sitio para *Eucalyptus camaldulensis* en América Central. In *Manejo y aprovechamiento de plantaciones forestales con especies de usos múltiples (1989, Guatemala, Gua.)*. Actas reunión IUFRO. Editado por R. Salazar. Turrialba, C.R., CATIE. p. 351-365.
- CAMPOS, J. J. 1990b. Asociación del índice de sitio con variables ambientales. In *Manejo y aprovechamiento de plantaciones forestales con especies de usos múltiples (1989, Guatemala, Gua.)*. Actas reunión IUFRO. Editado por R. Salazar. Turrialba, C.R., CATIE. p. 367-386.
- CANNON, P. 1981. *Espaciamiento en plantaciones de Eucalyptus: una revisión de literatura especialmente para Colombia*. Cartón de Colombia. Informe de Investigación no. 73. s. p.

- CANNON, P. G. 1982. Growth of the six species in a provenance trials in the Department of Cauca: results after three years. Cartón de Colombia . Research Report no. 81. s.p.
- CANNON, P. 1984. La optimización de la fertilización de eucaliptos en algunos suelos Andepts. In Fertilización forestal en el Valle del Cauca. Cartón de Colombia. Informe de Investigación Anual no. 8. p. 133-150.
- CANNON, P. 1990. Patología forestal en El Ecuador. s.l., Ec. Dirección Nacional Forestal, Ministerio de Agricultura y Ganadería. 209 p.
- CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA. PROYECTO LEÑA Y FUENTES ALTERNAS DE ENERGIA. 1986. Silvicultura de especies promisorias para la producción de leña en América Central: resultados de cinco años de investigación. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico no. 86. 222 p.
- CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA. PROYECTO LEÑA Y FUENTES ALTERNAS DE ENERGIA. 1990. Camaldulensis (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh) especie de árboles de uso múltiple en América Central. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico no. 158; Colección de Guías Silviculturales no. 1. 58 p.
- CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA. PROYECTO DISEMINACION DEL CULTIVO DE ARBOLES DE USO MULTIPLE. 1991. Plagas y enfermedades forestales en América Central: guía de campo. CATIE. Serie Técnica. Manual Técnico no. 5. v.2 : 185 p.
- CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA. PROYECTO DISEMINACION DEL CULTIVO DE ARBOLES DE USO MULTIPLE. 1994a. Grandis, (*Eucalyptus grandis*) especie de árbol de uso múltiple en América Central. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico no. 235; Colección de Guías Silviculturales no. 15. 34 p.
- CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA. PROYECTO DISEMINACION DEL CULTIVO DE ARBOLES DE USO MULTIPLE. 1994b. Deglupta: *Eucalyptus deglupta* especie de árbol de uso múltiple en América Central. Turrialba, C. R. CATIE. (Sin publicar).
- CHANGAS, J. C., CAMPO, M., RIBEIRO, G. 1985. Equacoes para calcular índices de local e incremento da altura em plantacoes puras de *Eucalyptus grandis*. Revista Arbore (Bra.) 9 (1):1-9.
- CHAPLIN, G. 1993. Silvicultural manual for the Solomon Islands. Oxford Forestry Institute. ODA Forestry Service no. 1. p 109-126.

- CHIPPENDALE, G. M.; WOLF, L. 1981. The natural distribution of *Eucalyptus* in Australia. Canberra, A.C.T. Australian National Park and Wildlife Service. s.p.
- CLUTTER, J. L.; FORTSON, J. C.; PIENAAR, L. V.; BRISTER, G. H.; BAILEY, R. L. 1983. Timber management: a quantitative approach. N. Y., EE.UU., John Wiley. 333 p.
- COETZEE, J. 1991. The influence of the stand density on the yield of the *Eucalyptus grandis*: a comparison between a good site and a poor site at age 4 years. Sudáfrica. Institute for Commercial Forest Research. Annual Research Report. p. 179-190.
- CROMER, R. N.; TAN, K. C.; WILLIAMS, E. R.; RAWLINS, W. H. M. 1989. Response of *Eucalyptus deglupta* to phosphate fertilizer. IN Recent Developments in Tree Plantations of Humid/subhumid Tropics of Asia (Proceedings of a Regional Symposium. Malaysia. p 444-458.
- CURTIS, R. O.; DEMARS, D. J.; HERMAN, F. R. 1974. Which dependent variable in site-index-height-age regressions?. Forest Science (EE.UU.) 20 (1) : 74-87.
- CURTIS, R. 1983. Procedures for establishing and maintaining permanent plots for silvicultural and yield research. USDA. General Technical Report PNW-155. 55 p.
- DAVEY, C. B. 1984. Crecimiento de los árboles y los elementos nutrientes esenciales. In Fertilización forestal en el Valle del Cauca. Cartón de Colombia. Informe de Investigación Anual no. 8. p. 13-26.
- DAVIDSON, J. 1973. A description of *Eucalyptus deglupta*. Tropical Forest Research Note, Department of Forestry, Papua Nueva Guinea, No. 7. 23 p.
- DAVIDSON, J. 1978. Exploration, collection, evaluation, conservation and utilization of the genes resources of tropical *Eucalyptus deglupta* Bl. In Documento FAO Third World Consultation on Forest tree Breeding. CIRSO, Canberra, Vol. 1, p.75-102.
- DEMBNER, S. 1991. Provisional data from the forest resources assessment 1990 project. Unasyva (Roma) 164:40-44.
- DIAZ R., R.; HUNTER, A. 1978. Metodología para el muestreo de suelo, análisis químico de suelo y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, C.R., CATIE. 62 p.
- DIAZ R., R.; RODRIGUEZ F., H. 1984. Algunos criterios útiles para la interpretación de análisis de suelos y las sugerencias de las necesidades de fertilizantes. Turrialba, C. R., CATIE. s.p.

- DONOSO, C. 1981. Ecología forestal: el bosque y su ambiente. s.l., Chile. Universidad Austral de Chile. 369 p.
- DRAPER, N.; SMITH, H. 1981. Applied regression analysis. 2. ed. N.Y., EE.UU., John Wiley Interscience. 709 p.
- DRECHSEL, P.; ZECH. 1993. Mineral nutrition of tropical trees. In Tropical Forestry Handbook. Ed. by L. Pancel. Berlin, Alemania, Springer Verlag. v. 1. p. 515-567.
- DRIESSCHE, R. V.D. 1984. Nutrient storage, restranslocation and relationship of stress to nutritions. In Nutrition of plantation forests. Ed. by C.D. Bowen; E. K. S. Nambiar. Canberra, A.C.T., CSIRO. p. 181-209.
- ELDRIDGE, K.; DAVIDSON, J.; HARWOOD, C.; WYK, C. VAN. 1993. *Eucalyptus* domestication and breeding. Oxford, G. B., Clarendon Press. 288 p.
- ESCOBAR, M. L.; DEL VALLE, J. I. 1988. Posible alelopatía del *Melinis minutiflora*. en una plantación joven de *E. grandis*. Bogotá, Col., Ministerio de Recursos Naturales Renovables y del Ambiente, Investigaciones forestales. 11 p.
- EVANS, J. 1992. Plantation forestry in the tropics; tree planting for industrial, social, environmental, and agroforestry purposes. 2. ed. Oxford, G.B., Clarendon Press. 403 p.
- FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION. 1981. El eucalipto en la repoblación forestal. Colección FAO. Montes no. 11. 723 p.
- FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION. 1991. Forest products yearbook. Roma, Italia. s. p.
- FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION. 1993. Forest resouces assessment 1990 tropical countries. FAO Forestry Paper no. 112. 61 p.
- FASSBENDER, W. L.; TSCHINKEL, H. 1974. Relación entre el crecimiento de plantaciones de *Cupresus lusitanica* y las propiedades de los suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia. Turrialba (C.R) 24(2):141-149.
- FASSBENDER, H. W.; BORNEMISZA, E. 1987. Química de suelo con énfasis en América Latina. San José, C. R., IICA. 420 p.
- FINEGAN, B. 1993. Competencia Intraespecífica. Apuntes de clase. CATIE. s.p.
- FORD, L. 1989. El manejo y el uso de los árboles de uso múltiple en el Caribe. In Manejo y aprovechamiento de plantaciones forestales con especies de uso múltiple (1989, Guatemala, Gua.). Actas Reunión IUFRO. Turrialba, C.R., CATIE. p. 67-86.

- FORSYTHE, W. 1975. Física de suelo: manual de laboratorio. San José, C R, IICA. 212 p
- FRANCIS, J. K. 1988. *Eucalyptus deglupta* Blume (Kamarere). Institute of Tropical Forest. USDA. SO-ITF-SM-16. 5 p.
- FRESSE, F. 1978. Métodos estadísticos elementales para técnicos forestales. USDA. Manual de Agricultura no.317.101 p.
- GALLOWAY, G. 1993a. Manejo de plantaciones forestales; guía técnica para el extensionista. CATIE. Serie Técnica. Manual Técnico no. 7. Colección Materiales de Extensión no. 1. 59 p.
- GALLOWAY, G. 1993b. El manejo forestal: la poda, el raleo y el manejo de rebrotes. Conceptos básicos. Notas de clases. Turrialba, C. R., CATIE. 8 p.
- GALLOWAY, G. 1994. Introducción a la dinámica de rodales. Notas de clases. Turrialba, C. R., CATIE. 8 p.
- GASANA, J. K.; LOEWENSTEIN, H. 1984. Site Clasification for Maiden's Gum. *Eucalyptus globulus* subsp. *Maidenii*, in Rwanda. Forest Ecology and Management (Holanda) 8:107-116.
- GEWALD, N. J. 1978. *Eucalyptus* in Costa Rica. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 10 p.
- GRIJPMA, P. 1969. *Eucalyptus deglupta* Bl. una especie forestal prometedor para los trópicos húmedos de América Latina. Turrialba (C. R) 19(2):267-283.
- GROULES, J. 1964. Introductions d'*Eucalyptus* au Congo-Brazzaville. Bois et Forest des Tropiques (Francia) No. 93 : 3-14.
- GUFF, A. B. 1986. A survey of wildlife in and around a commercial tree plantation in Sabah. Malayan Forester 47(3/4): 197-213.
- GUIER S, E. M. 1982. Adaptabilidad de *Eucalyptus deglupta* Blume en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., Programa CATIE/UCR. 98 p.
- HEATHER, W.A. 1955. The kramarere forests of New Britain. Empire Forestry Review (G.B.) 34(3):255-278.
- HERBERT, M. A. 1990. Fertilizer/site interactions on the growth and foliar nutrient levels of *Eucalyptus grandis*. Forest Ecology and Management (Holanda) 30 (1-4):247-257.
- HERBERT, M. A. 1991. The influence of site factors on the foliar nutrient content of *Eucalyptus grandis* in Natal. South African Forest Journal. No. 156:28-34.

- HILLIS BROWN. 1984. *Eucalyptus* for wood production. Canberra, Australia, CIRSO. 433. p
- HOLDRIDGE, L. 1979. Ecología basada en zonas de vida. Trad. por H. Jiménez Saa. San José, C. R., IICA. 216 p.
- HUGHELL, D. A. 1989. Ecuaciones para estimar el índice de sitio. (Informe interno). Turrialba, C. R., CATIE. 4 p.
- HUGHELL, D. A. 1990. Modelos para la predicción del crecimiento y rendimiento de *Eucalyptus grandis*, *Gliricidia sepium*, *Guazuma ulmifolia* y *Leucaena leucocephala* en América Central. CATIE. Serie Técnica, Boletín Técnico no. 22. 57 p.
- HUGHELL, D. A. 1991. Lineamientos para el desarrollo de modelos para la predicción de crecimiento y rendimiento de árboles de uso múltiple. CATIE. Informe interno. 131 p.
- IBARRA, . 1970. Inventario de recursos, Cantón de Turrialba. IICA. Publicación Miscelánea no. 62. 115 p.
- INAFOR, Chile. 1987. Las plantaciones forestales de América Latina. Instituto Forestal. Informe Técnico no. 102. 76 p.
- INIONS, G. 1990. Classification and evaluation of sites in Karri (*Eucalyptus diversicolor*) regeneration, 1. edaphic and climatic attributes. Forest Ecology and Management (Holanda) 32:117-134.
- JADAN P., S. V. 1972. Sistema de clasificación de índice de sitio para *Eucalyptus deglupta* Bl. en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. IICA, Turrialba, C. R., IICA. 87 p.
- JOHANNING M., A. R. 1970. Influencia de la fertilización N, P y K sobre el crecimiento inicial de *Anthocephalus cadamba* Miq. y *Eucalyptus deglupta* Bl. Tesis Ing. Agr. San José, C.R., U.C.R. 80 p.
- LAMB, D. 1977. Relationship between growth and foliar nutrient concentrations in *Eucalyptus deglupta*. Plant and Soil (EEUU) 47:495-508.
- LADRACH, W. 1987. Avances de la silvicultura en plantaciones forestales y su impacto en el desarrollo económico de los países tropicales. In Reunión Nacional de Silvicultura Tropical en el Desarrollo Económico Forestal Colombiano (1987, Bogotá, Col.). Memoria. CONIF. Serie Documentación no. 9. p 111- 119.
- LAMPRECHT, H. 1990. Silvicultura en los trópicos: los ecosistemas forestales en bosques tropicales y sus especies arbóreas - posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido. Trad. por A. Carrillo. Rosdorff, Alemania, GTZ.. 335 p.

- LAROCQUE, G. R., MARSHALL, P. L. 1993. Evaluating the impact of competition using relative growth rate in red pine (*Pinus resinosa*). stands. *Forest Ecology and Management* (Holanda) 58 : 65-83.
- MACDIKEN, K. G.; WOLF, G. V.; BRISCOE, C. B. 1991. Standard research methods for multipurpose trees and shrubs. s.l., EE.UU., Winrock International Institute for Agricultural Development. 93 p.
- MAGALHAES, L. M. S. 1987. Crescimento de *Eucalyptus deglupta* Bl. em solo de diferentes textura. Brasil, *Acta Amazonica* (Bra.) 16/17:509-522.
- MARINERO, R. M. 1964. Influence of *Melinis munitiflora* on the growth of *Cordia alliodora*. *Turrialba* 14(1):41-43.
- MARTINEZ H., H.A. 1989. El componente forestal en los sistemas de fincas de pequeños agricultores. CATIE. Serie Técnica no. 19. 79 p.
- MUNENVAR M, F. 1983. Principales características de los andosoles que influyen en su fertilidad. In *Fertilización forestal en el Valle del Cauca*. Cartón de Colombia. Informe de Investigación Anual no. 8. p. 71-83.
- MURILLO GAMBOA, O. 1993. Manejo de plantaciones forestales en Costa Rica. IN 1X Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales. San José C.R., No. 89, 5 p.
- NAMBIAR, E. K. S. 1984. Plantation forests: their scope and perspective on plantation nutrition. IN *Nutrition of plantation forests* (C. D. Bowen y E. K. S. Nambiar Eds.). Pag 1-15.
- NAVARRO, C. 1985. Producción de biomasa de *Eucalyptus deglupta* en una plantación de ocho años en turrialba, Costa Rica. *Silvoenergía* (C. R) No. 8 : p. 1-4.
- NEUMANN, A. J. 1987. *Eucalyptus deglupta*, spacing/thinning trial; interim results. *Forestry Note* (Islas Salomonas) 21:1-5.
- OLIVER, C. D.; LARSON, B.C. 1990. *Forest stand dynamics*. McGraw-Hill. 467 p.
- OPIE, J.E.; CURTIN, R. A.; INCOLL, W.D. 1984. Stand management. In *Eucalyptus for wood production*. Ed. by W. E. Hillis y A. G. Brown. Canberra, A.C.T., CSIRO. p. 179-197.
- OVINGTON, J. D. 1972. Biological a economic considerations of forest production in the tropics with particular reference to tropical rain forests. FAO. MSIC/72/16. s.p.

- PAGE, G. 1976. Quantitative evaluation of site potential for spruce and fir in Newfoundland. *Forest Science (EEUU)* 22 (2) :131-143.
- PARENT, G. 1989. Guía de reforestación. Bucaramanga, Col., Corporación de Defensa de la Meseta de Bucaramanga. 214 p.
- PETROFF, G. 1965. Etude des proprietere de quelques echatillons d'eucalyptus congolais. *Bois et Forest des Tropiques (Francia)*, 103:27-38.
- PHILIP, M.S. 1983. *Measuring trees and forests; a textbook written for students in Africa.* Tanzania, University of Ar es Salaam. Tanzania. 338 p.
- PHILLIPS, G. B. 1992. Development of site index curves for *Eucalyptus rubida* Deane et Maiden growing in Lesotho. *Commonwealth Forestry Review (G.B)* 71(3-4) : 197-202.
- POJAR, J.; KLINKA, K; MEIDINGER, D. V. 1987. Biogeoclimatic ecosystem classification in British Columbia. *Forest Ecology and Management (Holanda)* 22:119-154.
- RAYNER, M. E. 1992. Evaluation of six site classifications for modelling timber yeld of regrowth karri (*Eucalyptus diversicolor* F. Muell.). *Forest Ecology and Management (Holanda)* 54 : 315-336.
- RICHARDS, P. W. 1952. *The tropical rain forest.* Cambridge, G.B. University Press. 450 p
- SALAS, G. DE LAS 1987. *Suelos y ecosistemas forestales con énfasis en América Tropical.* San José, C. R., IICA. 448 p.
- SALAZAR, R. 1970. Comportamiento individual de *Eucalyptus deglupta* Bl. a seis niveles de N y P durante el primer año de crecimiento. Tesis Ing. Agr. San José, Costa Rica. UCR. 82 p.
- SALAZAR, R. 1987. *Eucalyptus deglupta* una especie para las zonas bajas muy húmedas del trópico. *Silvoenergía (C.R.)* No. 24. 4 p.
- SALAZAR, R. 1989. Guía para la investigación silvicultural de especies de uso múltiple. CATIE. Informe Técnico No. 20. 130 p.
- SALAZAR, R; JIMENEZ, V. 1988. Comportamiento del *Eucalyptus deglupta* en Costa Rica. *Silvoenergía (C. R.)* No.27. 4 p.
- SAMARA, J. S.; SINGHAL, R. M., SHARMA, S. D. 1985. Characterization of soils in relation to site index of *Eucalyptus tereticornis*. *The Indian Forester (India)* 111(8):596-602.

- SANCHEZ, P. 1981. Suelo del trópico: características y manejo. San José, C. R., IICA. 634 p.
- SATO, A.; DALMACIO, R. V. 1991. Maize production under an intercropping system with fast growth tree specie; a case in the Philippines. *Japan Agricultural Research Quarterly (Japón)* 24 (4) : 319-326.
- SCHÖNAU, A. P. G. 1984. Cultural considerations for high productivity of *Eucalyptus grandis*. *Forest Ecology and Management (Holanda)* no. 9 : 295-314.
- SCHÖNAU, A. P. G. 1985. Basic silviculture for the establishment of *Eucalyptus* with special reference to *grandis*. *South African Forestry Journal (Sudáfrica)* No. 134:4-8.
- SCHÖNAU, A. P. G. 1991. Growth, yield and timber of short rotation coppice stands of *Eucalyptus grandis*. *South African Forestry Journal (Sudáfrica)* No. 156:12-22.
- SCHÖNAU, A. P. G.; COETZEE, J. 1989. Initial spacing, density and thinning in *Eucalyptus grandis* plantations. *Forest Ecology and Management (Holanda)* no.29:245-266.
- SCHÖNAU, A.P.G.; HERBERT, M. A. 1983. Relationship between growth rate, fertilizing and foliar nutrient concentrations for *Eucalyptus grandis*. *Fertilizer Review* no. 4:369-380.
- SEDJO, R. A.; LYON, K. S. 1990. The long-term adequacy of world timber supply. *Resources for the Future*. Washington, D. C., EE.UU., s.n. s.p.
- SEGURA, C. B. 1970. La enfermedad rosada (*Cotycium salmonicolor*) y el mal de hilacha (*Pellicularia koleroga*) sobre varias especies de *Eucalyptus* en Turrialba, Costa Rica. *Turrialba (C.R.)* 20:254-255.
- SEGURA, C. B. 1970. Manchas foliares causadas por el hongo *Cylindrocarpium scorparium* en *Eucalyptus* spp. *Turrialba (C.R.)* 20:365-366.
- SERFATY B, A. 1977. Característización física y química de dos suelos derivados de cenizas volcánicas en Costa Rica. Tesis Ing. San José, C.R., Universidad de Costa Rica. 69 p.
- SHIMIZU, J. Y. 1978. Aspectos da actividade florestal e pesquisas correlatas na Austrália e Nova Guiné. *Brasil Florestal (Bra.)* 9(2)42-57.
- SLOOTEN, H. J. VAN DER; LLACH C, L. 1969. Physical and mechanical properties of *Eucalyptus deglupta* Blume grown in Costa Rica. *Turrialba (C. R.)* 19(2)267-283.

- SNEDECOR, G.; COCHRAN, W. 1967. Statistical methods. 6. ed. Iowa, EE.UU., Universidad del Estado de Iowa. 593 p.
- SPEECHLY, H. T.; HELMS, J. A. 1985. Growth and economic returns after precommercial thinning non-uniform white fir stand in California. *Forest Ecology and Management (Holanda)*, 11:111-130.
- STEEL, R.; TORRIE. 1988. Bioestadística: Principios y procedimientos. 2 ed. s.n., McGRAW-HILL. 622 p.
- STREETS, R. J. 1962. Exotic forest trees in the British Commonwealth. Oxford, G.B., Clarendon Press. p 265-298.
- SYNNOTT, T. J. 1991. Manual de procedimientos de parcelas permanentes para bosque húmedo tropical. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Serie de Apoyo Académico No. 12. 103 p.
- TAGUDAR, E. T. 1974. Development of industrial plantations in Paper Industries Corporation of the Philippines. In proceedings of the forest research symposium on industrial forest plantations. Philippine Forest Research Society. s. p.
- TAN, K. C.; JONES, N. 1982. Fast growing hardwood plantations on logged-over forest sites in Sabah. *The Malaysian Forester (Malasia)* 45(4):558-575.
- TURNBULL, J. W.; PRYOR, L. D. 1984. Choice of species and seed sources. In *Eucalyptus for wood production*. Ed. by W. E. Hillis; A. G. Brown. Canberra, A.C.T. CSIRO. p. 6-65.
- UGALDE, L. 1980. Rendimiento y aprovechamiento de dos intensidades de raleos selectivos en *Eucalyptus deglupta* Blume en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C. R., Programa UCR-CATIE. 128 p.
- UGALDE, L.; VAZQUEZ, W. 1993. Resultados de los ensayos de espaciamiento del Proyecto Madeleña-3 en América Central. Presentado en: Semana Científica del CATIE (1993, Turrialba, C.R). 8 p.
- VARGAS M, J. E. 1989. Prueba de dosis de fertilizantes para estimular el crecimiento inicial en *Cordia alliodora* (Ruiz y Pav) Oken y *Eucalyptus deglupta* Blume, en Turrialba, C. R. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C. R. CATIE. 58 p.
- VASQUEZ R, M. S. 1985. Revisión bibliográfica de *Eucalyptus deglupta* Blume. Turrialba, C. R. CATIE. 29 p.

- VASQUEZ, W. 1989. Efecto del fertilizante y el espaciamiento en el crecimiento inicial de *E. grandis* en Turrialba, Costa Rica. In Manejo y aprovechamiento de plantaciones forestales con especies de usos múltiples (1989, Guatemala, Gua.). Actas reunión IUFRO. Editado por R. Salazar. Turrialba, C.R., CATIE. p. 209-219.
- VASQUEZ, W.; UGALDE, L. 1994. Tabla de volumen para *Eucalyptus grandis* en Costa Rica. Turrialba, C. R., CATIE. s.p. (Sin publicar).
- VEGA C., L. 1980. El espaciamiento y otras características silviculturales de *Eucalyptus deglupta* Bl. en Surinam. In Simposio IUFRO/MAB/Servicio Forestal : Producción de madera en los Neotrópicos por medio de plantaciones (1980, Río Piedras, P.R.). Producción de madera en los neotrópicos por medio de plantaciones : actas de un simposio internacional. Ed. por J.L. Whitmore. Río Piedras, P.R., Dpt. de Agricultura. p. 216-230.
- WARBINGTON, R; LEVITAN, J. 1992. How to estimate canopy cover using maximum crown width/dbh relationship. In Proceedings of the Stand Tecnologies: An International Multiple Resorce Conference. Held at The World Forestry Center, EEUU. p 319-328.
- WEISBERG, S. 1985. Applied lineal regression. 2. ed. Minn., EE.UU., Universidad de Minesota. 324 p.
- WHITMORE, J. L. 1980. Procedencia de *Eucalyptus deglupta*, *E. urophylla* y *E. alba* ensayadas en Puerto Rico. In Simposio IUFRO/MAB/Servicio Forestal : Producción de madera en los Neotrópicos por medio de plantaciones (1980, Río Piedras, P.R.). Producción de madera en los neotrópicos por medio de plantaciones : actas de un simposio internacional. Ed. por J.L. Whitmore. Río Piedras, P.R., Dpt. de Agricultura. p. 394-401.
- WYK, G. V. 1977. Progress with *Eucalyptus grandis* breeding programme in the Republic of South Africa. In Consulta mundial sobre mejora de árboles forestales (3ra). CSIRO, Canberra. P 639-648.
- ZOBEL, B.; WYK, G.; STAHL, P. 1987. Growing exotic forests. N.Y, EE.UU.), John Wiley. 508 p.

7. ANEXOS

Anexo 1. Resumen de las variables estudiadas en *E. deglupta* dentro de cada clase de sitio.

Variables	Clases de sitios					
	I		II		II	
	Medias	§*	Medias	§*	Medias	§*
Altura dominante (m)	19,78	0,50	15,49	0,40	10,28	0,56
Altura promedio (m)	12,91	0,81	9,42	0,98	5,64	0,40
IMA Altura (m año ⁻¹)	3,23	0,20	2,36	0,24	1,41	0,10
Dap Geomét. medio (cm)	10,11	0,58	7,45	0,78	4,58	0,57
IMA Dap (cm año ⁻¹)	2,53	0,14	1,86	0,19	1,14	0,14
IMA Vol. (m ³ ha ⁻¹ año ⁻¹)	26,04	2,63	10,81	2,05	1,90	0,48
AB (m ² ha ⁻¹)	11,74	0,13	6,35	0,10	2,26	0,07
IMA AB (m ² ha ⁻¹ año ⁻¹)	2,94	0,03	1,59	0,03	0,56	0,02
Sobrevivencia (%)	87,10	2,92	88,89	3,64	85,67	5,99
pH	5,25	0,29	5,07	0,18	4,98	0,12
P (mg/l)	6,53	1,35	4,08	0,62	3,24	0,52
Ca (meq/100 g)	6,66	2,63	1,87	0,85	1,79	0,51
Mg (meq/100 g)	1,49	0,43	0,55	0,16	0,39	0,13
K (meq/100 g)	0,26	0,11	0,14	0,03	0,07	0,01
Relación Ca:Mg	4,14	1,31	3,78	1,08	9,08	4,81
Relación Ca:K	50,22	24,42	1,55	3,22	31,45	1,33
Relación Mg:k	11,08	4,39	3,66	0,92	5,60	1,66
Relación Ca+Mg:K	7,74	5,76	5,53	1,34	7,39	2,02
Acidez (meq/100 g)	0,91	0,31	1,10	0,38	1,29	0,33
CU (mg l ⁻¹)	16,18	4,24	19,40	3,71	18,04	4,47
Zn (mg l ⁻¹)	2,41	0,46	2,14	0,51	1,53	0,49
Mn (mg l ⁻¹)	17,37	3,41	12,76	3,13	7,28	1,37
Materia Orgánica (%)	6,34	1,10	7,32	1,92	5,24	0,94
Arena (%)	40,40	4,45	43,02	6,31	36,71	6,16
Limo (%)	26,24	1,63	24,71	1,77	23,51	1,61
Arcilla (%)	33,36	4,62	32,27	5,47	39,78	6,13
Elevación (msnm)	744,00	66,97	851,00	83,39	819,56	48,90
Pendiente (%)	32,50	8,28	25,00	6,10	36,22	6,70
Densid. Aparente (g cm ⁻³)	0,81	0,06	0,81	0,08	0,80	0,08
Humedad (%)	39,03	2,80	37,97	4,82	37,33	4,11

* Desviación estándar de la media

Anexo 2. Resumen de las variables estudiadas en *E. grandis*

Variables	Clases de sitios					
	I		II		III	
	Medias	§*	Medias	§*	Medias	§*
Altura dominante (m)	20,57	0,39	16,03	0,25	8,26	0,61
Altura promedio (m)	3,45	0,59	10,00	0,59	4,56	0,49
IMA Altura (m año ⁻¹)	3,36	0,15	2,50	0,15	1,14	0,12
Dap Geomét. medio (cm)	12,23	0,82	8,58	0,62	4,25	0,47
IMA Dap (cm año ⁻¹)	3,06	0,20	2,14	0,16	1,06	0,12
IMA Vol. (m ³ ha ⁻¹ año ⁻¹)	32,52	3,29	14,00	1,99	1,43	0,51
AB (m ² ha ⁻¹)	14,92	0,13	7,70	0,05	1,93	0,02
IMA AB (m ² ha ⁻¹)	3,73	0,03	1,93	0,01	0,48	0,01
Sobrevivencia (%)	84,04	2,57	84,42	4,72	86,17	3,30
pH	5,25	0,11	4,96	0,10	5,23	0,07
P (mg l ⁻¹)	3,54	0,40	3,56	0,50	2,73	0,22
Ca (meq/100 g)	5,76	1,54	1,46	0,85	0,40	0,07
Mg (meq/100 g)	1,97	0,38	0,54	0,23	0,21	0,03
K (meq/100 g)	0,19	0,03	0,12	0,02	0,11	0,01
Relación Ca:Mg	2,82	0,48	1,96	0,24	1,90	0,12
Relación Ca:K	53,76	20,79	7,84	3,12	3,98	0,69
Relación Mg:k	17,97	6,10	3,33	0,81	2,01	0,25
Relación Ca+Mg:K	23,73	6,72	4,79	1,63	2,42	0,30
Acidez (meq/100 g)	0,97	0,22	1,10	0,29	0,90	0,28
CU (mg l ⁻¹)	11,40	1,39	13,53	1,08	2,48	0,98
Zn (mg l ⁻¹)	2,90	1,13	1,48	0,24	1,26	0,16
Mn (mg l ⁻¹)	11,85	1,60	9,40	2,18	5,54	0,70
Materia Orgánica (%)	9,65	1,42	14,49	2,67	16,12	2,13
Arena (%)	48,00	4,22	55,23	6,10	61,82	5,95
Limo (%)	24,11	1,17	21,87	1,58	19,75	1,55
Arcilla (%)	27,89	3,60	22,90	5,67	18,44	5,78
Elevación (msnm)	824,72	45,29	1055,08	67,18	1040,40	6,52
Pendiente (%)	32,32	5,04	30,58	5,00	26,83	4,61
Densid. Aparente g cm ⁻³)	0,77	0,05	0,62	0,06	0,56	0,06
Humedad (%)	46,76	2,82	44,38	3,71	39,63	3,79

*Desviación estándar de la media

Anexo 3. Tabla de las variables con mayor correlación en las plantaciones de *E. deglupta*

	P	Ca	Mg	K	Mn	Arcilla
Indice de sitio	*0,45	0,37	0,57	0,47	0,43	-0,34
	**0,02	0,07	0,01	0,01	0,01	0,10
Ca	0,36					
	0,06					
Mg	0,38	0,61				
	0,05	0,01				
K	0,49	0,33	0,60			
	0,01	0,09	0,01			
Mn	0,34					
	0,07					
Elevación	-0,41	-0,41	0,46	-0,34		-0,39
	0,03	0,03	0,01	0,07		0,04
Cu		0,36			0,41	0,48
		0,06			0,03	0,01
Densidad aparente						0,79
Limo		-0,46				0,01
		0,01				
Arcilla						
Materia Orgánica					-0,31	
					0,10	
Arena					0,36	-0,95
					0,06	0,01
Zn					0,43	
					0,02	

* Coeficiente de correlación ** significancia.

Anexo 4. Tabla de las variables con mayor correlación en las plantaciones de *E. grandis*

	Ca	Mg	Arena	Elevación	Densidad Aparente
Indice de sitio	*0,42	0,44	-0,22	-0,37	0,32
Ca	**0,01	0,01	0,09	0,02	0,04
Mg	0,71				
	0,01				
Limo	0,51	0,60	-0,73		
	0,01	0,01			
Arena	-0,47	-0,51	0,01		-0,81
	0,01	0,01			0,01
Elevación	-0,51	0,65	0,46		
	0,01	0,01	0,01		
Densidad Aparente	0,59	0,59	0,81	-0,57	
pH	0,01	0,01	0,01	0,01	
	0,69	0,61			
Cu	0,01	0,01			
	-0,33				
	0,03				
Pendiente	0,34	0,31	-0,43		0,44
	0,03	0,04	0,01		0,01
K		0,37	-0,31	-0,41	0,58
		0,02	0,04	0,01	0,01
Mn		0,27	0,41	-0,34	0,32
		0,08	0,01	0,03	0,03
Arcilla		0,48	-0,97	-0,41	0,77
		0,01	0,01	0,01	0,01
P			0,35	-0,49	0,38
			0,02	0,01	0,01
Materia Orgánica			0,34	0,33	-0,31
			0,02	0,03	0,04

*Coeficiente de correlación ** Significancia

Anexo 5. Crecimiento de *E. deglupta* en diferentes sitios y sistemas de plantación

Sistema de plantación	Lugar	Edad (meses)	Densidad arb/ha*	Superv (%)	Altitud (msnm)	Pend (%)	Dap (cm)	IMA (cm/año)	Alt (m)	IMA (m/año)	Acopa (m ²)	Copa (%)	AB/ha (m ²)	Vol/ha/año (m ³)
Agrof	Guayabo	39	667	96	1010	10	6,77	2,08	6,73	2,07			2,31	2,21
Agrof	Guayabo	39	667	100	1010	6	11,0	3,40	10,46	3,22			6,40	9,39
Agrof	Guayabo	39	667	100	1010	15	6,96	2,14	6,98	2,15			2,53	2,54
Agrof	Santa Teresita	45	1600	92	775	33	12,6	3,33	15,58	4,15	10,59	37,48	18,55	36,90
Agrof	El Cas	39	1111	80	921	6	9,24	2,84	12,77	3,93	12,61	45,87	5,95	11,83
Agrof	Chitarán	32	1429	88	702	10	9,77	3,66	10,71	4,02	13,48	49,30	9,43	18,06
Bloque	CATIE	23	1600	100	610	23	5,58	2,91	6,67	3,48			3,91	6,79
Bloque	CATIE	23	1600	99	580	8	8,74	4,58	10,23	5,34		61,56	9,50	24,78
Bloque	CATIE	23	1600	96	580	31	3,57	1,86	4,50	2,36		59,03	1,54	1,66
Bloque	CATIE	23	1600	92	580	42	3,57	1,86	4,44	2,32			1,47	1,55
Bloque	CATIE	23	1600	72	580	4	5,86	3,06	6,26	3,27			3,11	4,81
Bloque	Cimarrones	45	1111	64	973	33	3,74	1,00	4,76	1,27	3,10	32,84	0,78	0,47
Bloque	Cimarrones	45	1111	80	981	16	12,2	3,26	11,84	3,16	13,82	50,88	10,40	15,03
Bloque	Santa Teresita	45	1600	84	729	9	8,74	2,33	11,77	2,98	19,80	48,32	8,06	12,80
Bloque	EL Dos	43	2500	76	510	3	10,4	2,90	13,91	3,88	8,52	31,98	16,15	31,08
Bloque	El Dos	43	1600	76	602	58	12,6	3,52	18,48	5,16	11,02	30,71	15,20	38,60
Bloque	Pejibaye	30	2000	48	740	53	3,60	1,44	5,35	2,07	4,24	54,33	0,19	0,23
Bloque	Pejibaye	30	1600	91	760	56	4,22	1,69	4,56	1,82	3,81	53,14	2,04	1,63
Bloque	Tucurrique	44	1667	76	1240	42	11,9	3,27	13,17	3,59	7,97	35,07	14,32	24,20
Bloque	Santa Marta	31	1111	96	659	76	11,2	4,37	11,94	4,62	9,79	61,68	10,67	23,09
Bloque	Tucurrique	31	1111	96	1100	24	11,7	4,56	12,11	4,69	10,49	44,92	11,63	25,32
Bloque	Linda Vista	31	1111	76	542	54	10,7	4,14	12,12	4,69	10,15	34,01	7,60	17,03
Bloque	Tuis	32	1111	96	765	22	5,97	2,94	5,85	2,19	9,37	76,87	2,99	2,97
Bloque	Tayutic	32	1042	92	1049	53	10,3	3,88	13,17	4,94	6,52	24,14	8,05	19,54
Bloque	Tucurrique	34	1111	96	1140	58	6,48	2,29	7,15	2,52	7,18	44,37	3,52	3,44
Bloque	Oriente	35	1111	100	749	26	5,97	2,05	5,02	1,72	7,18	50,28	3,11	2,20
Bloque	Añiro	35	1111	96	789	36	7,23	2,48	8,61	2,95	8,32	44,47	4,37	6,42
Bloque	Añiro	35	1111	84	789	69	5,17	1,77	6,87	2,36	3,96	34,94	1,96	2,41
Línea	Guayabo	39	28	100	753	3	23,0	7,10	20,15	6,20			1,17	3,20
Línea	Tucurrique	32	33	100	731	7	11,2	4,23	12,09	4,53	19,26	58,96	0,33	0,70

*Para plantaciones en línea la densidad, el AB y el Volumen fueron calculados en 100 m lineales

Continúa

Anexo 5. Cont. Crecimiento de *E. deglupta* en diferentes sitios y sistemas de plantación

Sistema de plantación	Lugar	Edad (meses)	Densidad (arb/ha)	Superv (%)	Altitud (msnm)	Pend (%)	Dap (cm)	IMA (cm/año)	Alt (m)	IMA (m/año)	Acopa (m ²)	Copa (%)	AB/ha (m ²)	Vol/ha/año (m ³)
Línea	Tucurrique	44	33	100	1185	15	17,70	4,83	13,54	3,69	41,36	71,60	0,69	1,23
Línea	Tucurrique	31	40	100	1201	9	17,22	6,67	16,01	6,20	29,84	49,91	0,93	2,59
Línea	Santa Helena	35	50	100	1129	12	10,28	3,52	7,59	2,60	10,87	61,59	0,27	0,30
Línea	Santa Helena	35	50	100	1100	4	13,21	4,53	10,66	3,65	35,96	66,03	0,69	1,09
Línea	Santa Helena	35	50	100	1039	3	16,35	5,61	13,35	4,58	42,89	68,74	1,05	2,10
Línea	CATIE	23	20	91	619	4	10,72	5,59	11,19	5,84			0,45	0,49

**Para plantaciones en línea la densidad, el AB y el Volumen fueron calculados en 100 m lineales

Anexo 6. Crecimiento de *E. grandis* en diferentes sitios y sistemas de plantación

Sistema de Plantación	Lugar	Edad (meses)	Altitud (msnm)	Pend (%)	Densidad (arb/ha)*	Superv (%)	Dap (cm)	IMA (cm/año)	Alt (m)	IMA m/año	Acopa (m ²)	Copa (%)	AB/ha (m ²)	Vol/ha/año (m ³)
Agrof	El Cas	39	925	27	1333	67	14,67	4,52	18,31	5,63	11,05	42,73	15,09	35,17
Agrof	El Cas	39	989	12	400	64	15,47	4,76	14,56	4,48	20,34	59,78	4,81	8,75
Agrof	El Cas	39	955	9	1250	96	14,54	4,47	15,18	4,67	11,75	57,45	19,92	37,91
Agrof	Las Vueltas	32	758	28	417	83	10,40	3,90	11,13	4,17	15,96	66,06	2,94	4,90
Agrof	Tucurrique	33	1132	49	1111	100	10,03	3,65	10,13	3,68	11,65		8,78	12,80
Agrof	Guayacán	31	513	6	833	76	9,84	3,81	10,32	3,99	9,27	51,61	4,81	7,62
Agrof	Tucurrique	34	1169	74	1190	84	12,41	4,38	14,03	4,95	12,88	64,23	12,10	24,28
Agrof	Guayacán	34	513	7	1111	92	10,46	3,22	11,06	3,90	8,73	63,10	8,79	13,67
Bloque	Guayabo	39	932	45	1600	77	16,04	4,94	15,48	4,76		79,33	24,89	48,30
Bloque	Guayabo	39	932	68	1600	91	9,17	2,82	9,14	2,81		46,06	9,61	10,63
Bloque	Cimarrones	45	860	13	1479	64	16,43	4,38	15,48	4,13	19,28	66,28	20,07	33,73
Bloque	Santa	45	780	13	1111	76	9,37	2,50	9,30	2,48	13,30	62,83	5,83	5,69
Bloque	Santa	45	780	42	1111	56	4,65	1,24	3,75	1,00	3,15	59,42	1,06	0,39
Bloque	Santa	45	780	79	1111	96	13,30	3,55	13,73	3,66	22,92	72,43	14,83	21,94
Bloque	El Cas	39	955	13	1600	80	2,26	0,82	3,02	0,93	1,42	40,35	0,51	0,17
Bloque	El Seis	43	530	33	1667	92	14,58	4,07	15,54	4,34	13,24	45,49	25,61	45,33
Bloque	El Seis	43	585	25	1667	92	13,26	3,70	15,71	4,38	8,10	36,56	21,16	37,94
Bloque	La Fuente	44	1081	6	1111	80	15,88	4,33	17,75	4,84	11,86	52,20	17,60	35,11
Bloque	La Fuente	44	1081	21	1111	92	5,53	1,51	4,78	1,30	3,79	55,47	2,45	1,20
Bloque	La Fuente	44	1110	22	1111	100	11,83	3,23	11,58	3,16	9,53	64,18	12,22	15,42
Bloque	La Fuente	44	1110	16	1111	84	4,92	1,34	3,79	1,03	4,16	49,98	1,77	0,68
Bloque	La Fuente	44	1240	31	1111	100	11,73	3,20	12,52	3,41	11,34	61,05	12,00	16,48
Bloque	La Fuente	44	1240	31	1111	96	4,92	1,34	4,85	1,32	5,35	59,90	2,03	1,01*
Bloque	La Fuente	44	1010	4	1600	89	10,40	2,84	11,96	3,26	9,25	61,63	12,10	15,84
Bloque	La Fuente	44	1038	5	1111	79	9,37	2,56	9,57	2,61	8,95	69,32	6,06	6,23
Bloque	La Fuente	44	1038	5	1111	96	2,76	0,75	2,79	0,76	2,05	51,00	0,64	0,18
Bloque	La Fuente	44	1122	45	1600	76	11,94	3,26	12,30	3,35	8,96	63,72	13,62	18,34
Bloque	La Fuente	44	1122	53	1600	88	2,76	0,75	3,28	0,89	1,96	46,12	0,84	0,28
Bloque	La Fuente	44	1106	11	1111	96	16,27	4,44	16,67	4,55	13,02	55,79	22,18	41,33
Bloque	La Fuente	44	1106	34	1111	88	4,22	1,15	4,24	1,16	5,39		1,37	0,59

*Para plantaciones en línea la densidad, el AB y el Volumen fueron calculados en 100 m lineales

Continúa

Anexo 6 Cont. Crecimiento de *E. grandis* en diferentes sitios y sistema de plantación

Sistema de Plantación	LUGAR	Edad (meses)	Altitud (msnm)	Pend (%)	Densidad (arb/ha)*	Superv (%)	Da (c)	IMA (cm/año)	Alt (m)	Alt (m/año)	Acopa (m ³)	Copa (%)	AB/ha (m ²)	Vol/ha/año (m ³)
Bloque	Las Vueltas	32	758	50	1111	92	8,96	3,36	9,22	3,46	7,09	43,43	6,44	8,76
Bloque	Las Vueltas	32	758	76	1111	96	4,22	1,58	5,04	1,89	2,20	48,86	1,49	1,07
Bloque	Tucumrique	33	1132	48	1111	83	3,39	1,23	4,06	1,48	2,92		0,83	0,46
Bloque	Tucumrique	44	1210	25	1111	80	16,31	4,45	15,94	4,35	12,39	42,78	18,58	32,97
Bloque	Tucumrique	44	1210	45	1111	60	12,15	3,31	14,17	3,86	7,04	52,49	7,73	12,13
Bloque	Guayacán	33	702	7	1111	46	10,94	3,98	11,43	4,19	13,55	71,71	4,80	7,97
Bloque	Linda Vista	31	610	56	1111	92	10,40	4,03	10,35	4,01	6,81	61,32	8,69	13,80
Bloque	Santa Marta	31	659	69	1111	96	10,82	4,19	12,18	4,71	10,17	68,13	9,81	18,58
Bloque	La Orieta	32	1256	42	1429	92	7,48	2,81	7,54	2,83	7,93	77,49	5,78	6,34
Bloque	La Orieta	32	1230	38	1276	77	12,10	4,54	9,45	3,54	13,08		11,30	15,72
Bloque	Linda Vista	31	439	17	1111	60	7,40	2,86	7,86	3,04	7,16	71,56	2,87	3,39
Bloque	Linda Vista	37	470	4	1111	92	13,11	4,25	13,17	4,27	14,77	66,48	13,80	23,76
Bloque	Tucumrique	34	1140	58	1111	96	10,16	3,59	10,60	3,74	11,80	63,53	8,64	15,17
Bloque	Las Vueltas	44	853	21	1111	92	15,05	4,10	15,01	4,09	14,32	57,24	18,19	30,29
Bloque	Las Vueltas	44	853	21	1111	96	7,05	1,92	7,18	1,96	6,66	50,11	4,16	3,15
Bloque	Pejibaye	45	740	19	625	88	19,51	5,20	16,68	4,45	23,99	58,21	16,45	29,91
Bloque	Grano de	34	1192	11	1600	64	9,44	3,33	9,23	3,26	10,48	77,24	7,17	9,18
Bloque	La Fuente	44	1030	30	1111	100	13,35	3,64	13,53	3,69	11,43	71,56	15,55	23,17
Bloque	La Fuente	44	1030	33	1111	96	2,99	0,82	3,38	0,92	2,54	52,34	0,75	0,25
Línea	Guayabo	39	932	55	33	86	15,76	4,85	13,93	4,29		80,69	0,55	0,96
Línea	EL Cas	39	980	15	33	100	16,31	5,02	17,87	5,50	24,23	59,61	27,86	1,56
Línea	Santa Cruz	32	1140	17	40	100	9,17	3,44	8,55	3,21	11,06	80,39	0,26	0,33
Línea	La Fuente	44	1190	4	25	100	16,20	4,42	12,94	3,53	25,87		0,52	0,73
Línea	La Fuente	44	1106	3	33	100	17,44	4,76	15,16	4,13	25,73	78,54	0,79	1,32
Línea	La Orieta	32	1241	2	33	92	12,10	4,54	9,39	3,52	13,08		0,35	0,48
Línea	Tucumrique	34	1070	43	40	100	13,21	4,66	11,57	4,08	14,94	76,92	0,55	0,89
Línea	Grano de	34	1123	12	40	74	13,68	4,83	10,93	4,21	11,73	72,42	0,44	0,67

*Para plantaciones en línea la densidad, el AB y el Volumen fueron calculados en 100 m lineales