

SECRETARÍA DE AGRICULTURA  
COSTA RICA  
- 8 ENE 1996

**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA**  
**PROGRAMA DE ENSEÑANZA PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACION**  
**ESCUELA DE POSTGRADO**

**EFFECTO DE FACTORES EDAFICOS Y TOPOGRAFICOS EN EL  
CRECIMIENTO DE ESPECIES COMERCIALES EN UN BOSQUE  
SECUNDARIO EN SARAPIQUI, COSTA RICA**

**POR**

**OSCAR LUIS PEÑA WILDE**



Turrialba, Costa Rica  
1997

RECEIVED  
- 8 ENE 1998

CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE  
INVESTIGACION Y ENSEÑANZA  
CATIE

PROGRAMA DE EDUCACION  
ESCUELA DE POSTGRADO

**EFECTO DE FACTORES EDAFICOS Y  
TOPOGRAFICOS EN EL CRECIMIENTO DE  
ESPECIES COMERCIALES EN UN BOSQUE  
SECUNDARIO EN SARAPIQUI, COSTA RICA**

Tesis sometida a la consideración de la Escuela de Postgrado Programa de Educación en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, para optar el grado de

*Magister Scientiae*

por

✓  
**OSCAR LUIS PEÑA WILDE**

Turrialba, Costa Rica

1997

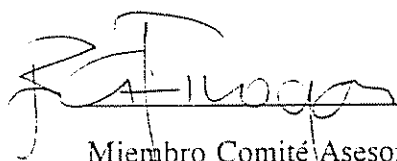
65p

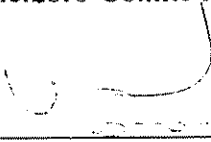
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma, por la Jefatura del Area de Postgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del CATIE y aprobada por el Comité Asesor del estudiante como requisito parcial para optar al grado de:

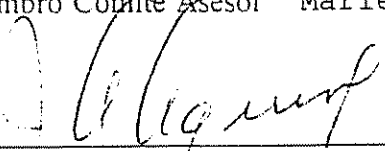
*MAGISTER SCIENTIAE*

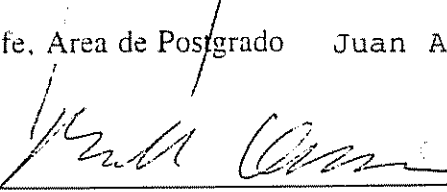
FIRMANTES:


  
\_\_\_\_\_  
Profesor Consejero Manuel Guariguata

  
\_\_\_\_\_  
Miembro Comité Asesor Bryan Finegan

  
\_\_\_\_\_  
Miembro Comité Asesor Marlen Camacho

  
\_\_\_\_\_  
Jefe, Area de Postgrado Juan Antonio Aguirre

  
\_\_\_\_\_  
Director, Programa de Enseñanza

  
\_\_\_\_\_  
Candidato Oscar Peña

*A mi patria Bolivia una gran nación  
A mis padres Mario y Elba por su apoyo incondicional  
A mi esposa Jenny por su compañerismo y amor*

*El progreso comienza con el descontento  
(Oscar Wilde)*

## AGRADECIMIENTOS

- A la Administración para el Desarrollo en Ultramar (ODA) por el financiamiento otorgado para realizar los estudios de maestría.
- A Elizabeth Coloma oficial de asistencia técnica de la embajada británica en Bolivia por su gran labor y eficiente trabajo que permite la capacitación de muchos profesionales bolivianos.
- Al Centro Internacional para la Investigación Forestal (CIFOR) por el financiamiento de una parte de los recursos requeridos para el trabajo de tesis.
- A Manuel Guariguata Ph.D., Marlen Camacho M.Sc. y Bernal Herrera M.Sc. por su guía profesional y colaboración en el trabajo de tesis.
- A Rafael Mata M.Sc. del Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la Universidad de Costa Rica, por su amistad y guía profesional en el análisis e interpretación de datos edafológicos.
- A Marvin Zamora y la familia Solano Saborío de Sarapiquí por su apoyo en el trabajo de campo.
- A todas las personas que de una u otra manera me brindaron su amistad y apoyo moral para llevar adelante esta investigación.

PEÑA WILDE, O. 1997. Effect of edaphic and topographic factors on the growth of commercial species on a secondary forest in Sarapiquí, Costa Rica. Thesis Mag. Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica.

Keywords: tropical forest, secondary forest, *Laetia procera*, *Vochysia ferruginea*, *Tapirira guanensis*, *Simarouba amara*, edaphic factors, topographic factors, forest soils, Costa Rica.

## SUMMARY

This research was conducted on a secondary forest located at El Roble experimental site in Sarapiquí, Costa Rica. This secondary forest is 5 years old and has an approximate area of 3 ha which correspond to the very humid tropical forest life zone.

The main objective of this study was to determine which edaphic and topographic factors affected the growth of dominant commercial species of a secondary forest. The periodical increment of individual trees during a period of one year (1995-1996) regarding diameter, height and volume of *Laetia procera*, *Tapirira guanensis*, *Simarouba amara* and *Vochysia ferruginea* species was employed to relate them with specific edaphic and topographic variables of the site which was divided into 84 subplots of 1000 m<sup>2</sup> each. Soils of the study area belonged to the Andic-Palehumults sub-group.

The 84 sub-plots were physically and chemically characterized for the following edaphic and topographic variables: water pH, extractable acidity, interchangeable Ca, Mg and K; available P, total Nitrogen, apparent density, texture, depth of horizon A, plot's location on the slope and slope level. These variables were employed to group the subplots using the Conglomerates analysis.

Significative differences were found when comparing the diametric increment between the subplot groups of *Laetia procera* (all illumination types). There were also significative differences (Kruskall-Wallis test,  $p < 0.05$ ) regarding the diametric increment and the volume when comparing *Laetia* individuals with illumination 1 and 2. On the other hand, significative differences (Kruskall-Wallis test,  $p < 0.05$ ) were found for the height increment when comparing all *Vochysia ferruginea* individuals between plot groups of the study area. In the case of *Simarouba amara* and *Tapirira guanensis* species, no significative differences were found for any increment (diameter, height and volume).

The models which best explained the diametric increment variation were:

*Laetia procera*: diametric increment (cm/yr) = 2.2866 + 0.4914 Extractable acidity

-1.451 Magnesium -1.547 Apparent density Adjusted R<sup>2</sup> = 20%

*Vochysia ferruginea*: diametric increment (cm/yr) = 8.369-1.297 pH-16.993 Potassium

Adjusted R<sup>2</sup> = 37%

PEÑA WILDE , O. 1997. Efecto de factores edáficos y topográficos en el crecimiento de especies comerciales en un bosque secundario en Sarapiquí, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica.

Palabras clave : bosque tropical, bosque secundario, *Laetia procera*, *Vochysia ferruginea*, *Tapirira guianensis*, *Simarouba amara*, factores edáficos, factores topográficos, suelos forestales, Costa Rica.

## RESUMEN

El presente estudio se realizó en un bosque secundario en el asentamiento El Roble, en Sarapiquí Costa Rica. El bosque secundario tiene 5 años de edad y tiene una superficie aproximada de 3 ha, que corresponden a zona de vida bosque muy humedo tropical.

El objetivo principal del estudio fue determinar que factores edáficos y topográficos afectaban el crecimiento de especies comerciales dominantes de un bosque secundario. Se utilizó el incremento periódico de árboles individuales para un año (1995-1996) en diámetro, altura y volumen de las especies *Laetia procera*, *Tapirira guianensis*, *Simarouba amara* y *Vochysia ferruginea* para relacionarlas con variables edáficas y topográficas del sitio, el cuál estaba dividido en 84 subparcelas de 100 m<sup>2</sup> cada una. Los suelos del área de estudio se clasificaron como pertenecientes al subgrupo Andic-Palehumults.

Se caracterizó físico-químicamente las 84 subparcelas, para las siguientes variables edáficas y topográficas : pH en agua, acidez extraíble, Ca, Mg y K intercambiable; P disponible, Nitrógeno total, densidad aparente, textura, profundidad del horizonte A, posición de la subparcela en la pendiente y grado de pendiente. Estas variables se utilizaron para agrupar las subparcelas mediante el análisis de Cluster.

Se encontraron diferencias significativas cuando se comparó el incremento diamétrico entre los grupos de subparcelas para *Laetia procera* (todas las clases de iluminación) y hubieron diferencias significativas (prueba Kruskal-Wallis,  $p < 0.05$ ) para el incremento en diámetro y volumen cuando se compararon individuos de *Laetia* con iluminación 1 y 2. Por otra parte, cuando se compararon todos los individuos de *Vochysia ferruginea* entre los grupos de subparcelas del área de estudio se encontraron diferencias significativas (prueba Kruskal-Wallis,  $p < 0.05$ ) para el incremento en altura. No se encontraron diferencias significativas para ningún incremento (diámetro, altura y volumen) para las especies *Simarouba amara* y *Tapirira guianensis*.

Los modelos que mejor explicaron la variación del incremento diamétrico fueron :

*Laetia procera* : Incremento diamétrico (cm/año) =  $2.2866 + 0.4914$  Acidez extraíble  
-1.451 Magnesio -1.547 Densidad aparente.  $R^2$  ajustado = 20 %.

*Vochysia ferruginea* : Incremento diamétrico (cm/año) =  $8.369 - 1.297$  pH -16.993 Potasio  
 $R^2$  ajustado = 37 %

## CONTENIDO

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
SUMMARY.....	IV
RESUMEN.....	V
INDICE.....	VI
LISTA DE FIGURAS.....	X
LISTA DE CUADROS.....	XII
1. INTRODUCCION.....	1
1.1. Objetivos del estudio.....	3
General.....	3
Específicos.....	3
1.2. Hipótesis de trabajo.....	3
2. REVISION DE LITERATURA.....	4
2.1. Los bosques secundarios : importancia.....	4
2.2. Estructura composición y dinámica del bosque secundario....	4
2.3. Factores que afectan la sucesión secundaria.....	6
2.4. Factores edáficos y topográficos que afectan el crecimiento y la composición florística en ambientes forestales....	7
2.4.1. Bosques plantados.....	7
2.4.1.1 Factores topográficos.....	8
2.4.1.2 Factores edáficos.....	11
A. Propiedades físicas.....	12
B. Propiedades químicas.....	13
	VI



2.4.1.3. Factores edáficos y climáticos.....	13
2.4.1.4. Factores edáficos, topográficos y uso anterior.....	14
2.4.2. Bosques naturales tropicales.....	14
2.4.2.1. Factores edáficos y topográficos.....	14
2.4.3. Crecimiento de los bosques naturales tropicales.....	17
3. MATERIALES Y METODOS.....	19
3.1 Descripción del área de estudio.....	19
3.1.1. Clima.....	19
3.1.2. Fisiografía y suelos.....	19
3.1.3 Vegetación.....	20
3.1.4. Antecedentes.....	20
3.1.5. Estructura y composición.....	21
3.1.6. Condiciones silviculturales.....	22
3.1.7. Mediciones realizadas en la vegetación.....	22
3.2. Material experimental.....	24
3.2.1. Clasificación taxonómica de los suelos de el Roble.....	24
3.2.2. Determinación de las características edáficas y topográficas del área de estudio.....	25
A. Pendiente (%).....	25
B. Posición en la pendiente.....	25
C. Obtención de muestras para caracterizar los suelos.....	26
3.2.3. Análisis estadístico de la información recolectada.....	27

A. Depuración y elaboración de las bases de datos por especies.....	27
B. Caracterización del crecimiento arbóreo en el área de estudio.....	28
C. Caracterización de la variabilidad topográfica y edáfica.....	28
D. Efecto de los factores edáficos y topográficos en el crecimiento.....	29
E. Análisis de regresión múltiple.....	30
4. RESULTADOS .....	31
4.1. Clasificación taxonómica de los suelos de el Roble.....	31
4.1.1. Descripción general.....	31
4.1.2. Análisis de características taxonómicas.....	31
A. Influencias ándicas.....	31
B. Horizonte diagnóstico.....	32
C. Clasificación a nivel de suborden.....	32
D. Clasificación a nivel de gran grupo.....	33
E. Clasificación a nivel de subgrupo.....	33
F. Fertilidad actual.....	33
4.2. Análisis estadístico de la información recolectada.....	34
4.2.1. Caracterización del crecimiento en el área de estudio..	34
4.2.2. Caracterización de la variabilidad edáfica y topográfica.....	38
A. Estadísticas descriptivas.....	38
B. Fertilidad actual.....	38
C. Análisis de componentes principales.....	40
4.2.3. Efecto de factores edáficos y topográficos en el crecimiento.....	40
A. Formación de grupos de subparcelas a partir de características edáficas y topográficas.....	40
B. Comparación del crecimiento entre los grupos de subparcelas.....	44

4.2.4. Análisis de regresión lineal.....	53
A. <i>Laetia procera</i> .....	53
B. <i>Vochysia ferruginea</i> .....	54
5. DISCUSION.....	56
6. CONCLUSIONES .....	60
7. LITERATURA CITADA.....	61
ANEXOS.....	XIII

## LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Efecto de la topografía en la intensidad luminosa recibida en lugares montañosos (Donoso, 1981).....	9
2	Disposición de la parcela permanente de muestreo en El Roble, Saraquí.....	21
3	Distribución por clases diamétricas de individuos con dap $\geq$ 5cm, bosque secundario El Roble, Sarapiquí 1996.....	21
4	Abundancia de fustes $\geq$ 5 cm DAP. Bosque secundario 4 años El Roble, Sarapiquí.....	22
5	Frecuencia de las clases de iluminación. El Roble, Sarapiquí.....	23
6	Áreas de muestreo dentro de cada subparcela.....	26
7	Variación del contenido de arcilla con la profundidad.....	32
8	Distribución del crecimiento periódico anual diamétrico por especies. El Roble, Sarapiquí.....	37
9	Frecuencia de la condición de Ca, Mg, K, Ca/Mg, Ca+Mg/K y SCA (sumatoria de cationes) en las 84 subparcelas estudiadas.....	39
10	Frecuencia de la condición de pH, acidez extraíble (Acext), saturación de acidez (Sac), capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) y P disponible en las 84 subparcelas estudiadas.....	39
11	Agrupación de subparcelas de acuerdo a las características edáficas y topográficas.....	43
12	Incremento diamétrico periódico (1 año) de <i>Laetia procera</i> en cada grupo de subparcelas (se grafican mediana, cuartil 1 y cuartil 3) n representa el número de árboles en cada grupo.....	45
13	Incremento diamétrico de individuos de <i>Laetia procera</i> con clases de iluminación 1 y 2, para cada grupo de subparcelas (se grafican mediana, cuartil 1 y cuartil 3) n representa el número de árboles en cada grupo.....	47

14	Incremento en volumen de individuos de <i>Laetia procera</i> con clases de iluminación 1 y 2, para cada grupo de subparcelas (se grafican mediana, cuartil 1 y cuartil 3) n representa el número de árboles en cada grupo .....	47
15	Relieve del área de estudio y distribución de individuos de <i>Laetia procera</i> . El Roble, Sarapiquí.....	48
16	Distribución de individuos de <i>Laetia procera</i> en las agrupaciones de subparcelas. El Roble, Sarapiquí.....	49
17	Incremento en altura (m) para <i>Vochysia ferruginea</i> en cada grupo de subparcelas (se grafican mediana, cuartil 1 y cuartil 3) n representa el número de árboles en cada grupo.....	50
18	Relieve del área de estudio y distribución de individuos de <i>Vochysia ferruginea</i> . El Roble, Sarapiquí.....	51
19	Distribución de individuos de <i>Vochysia ferruginea</i> en las agrupaciones de suelos. El Roble, Sarapiquí.....	52

## LISTA DE CUADROS

Cuadro		Páginas
1	Estructura canónica total de la agrupación de subparcelas. El Roble, Sarapiquí (las variables originales más correlacionadas con las variables canónicas se representan con negrita).....	41
2	Media y rango (en parentesis) de las variables de suelos correspondientes a las agrupaciones de subparcelas seleccionadas.....	42

## 1. INTRODUCCION

La importancia de los bosques secundarios se ha incrementado con la mayor preocupación por la deforestación y el papel de los bosques en la conservación del ambiente, la importancia de este recursos se incrementa desde diferentes puntos de vista que van desde el ecológico y social hasta el económico (Smith *et al*, 1997). Los bosques secundarios neotropicales a diferencia de los bosques primarios están ligados a pequeños agricultores y ganaderos, claro que éste concepto se refiere al bosque secundario de origen antrópico o bosque sucesional. Se define como bosque secundario (bosque sucesional) la vegetación leñosa de carácter sucesional que se desarrolla sobre tierras cuya vegetación original fue destruida por actividades humanas. (Finegan, 1992).

El potencial para la producción forestal de los bosques secundarios, ha sido resaltado por varios autores ( Dourojeanni; 1987 ; Finegan y Sabogal, 1988;) basados en el rápido incremento en altura, diámetro y volúmen que presentan especies de bosque secundario. Sin embargo, la recuperación de atributos estructurales (biomasa, altura o área basal) es función inversa del grado de degradación del sitio y función directa del nivel de fertilidad del suelo (Uhl *et al*, 1988).

Otro aspecto que resalta la creciente importancia de los bosques secundarios es el gran valor ecológico que estan adquiriendo al permitir conservar en su interior, parte de la biodiversidad tanto vegetal como animal que existe en los bosques primarios.

En el caso de Costa Rica, la importancia de este tipo de bosques es aún mayor, debido a la disminución de la superficie de bosques primarios y productos forestales de ese origen y características particulares de fragmentación de los mismos. Dicha situación ha llevado a valorar el potencial de los bosques secundarios para la producción forestal por un lado, y por otro su importancia para la conservación de la biodiversidad.

Una gran proporción de los bosques secundarios en Costa Rica se originaron en la pérdida de importancia de la actividad ganadera por cuestiones macroeconómicas y consecuente abandono de tierras, lo cuál permitió el inicio del proceso de sucesión en estas tierras.

En este contexto el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), e instituciones de mandato mundial como el Center for International Forestry Research (CIFOR), conocedores de la problemática mencionada, buscan proporcionar un mayor conocimiento sobre los bosques secundarios y sus procesos dinámicos, que permitan en el futuro elaborar alternativas de manejo con miras a un aprovechamiento sostenible de los mismos.

No obstante en la actualidad hay escasa información referida a factores edáficos y topográficos que influyan en la productividad de especies arbóreas en bosques naturales y aún menos, en bosques secundarios. En este sentido el presente trabajo identificó los principales factores edáficos y topográficos que influyeron en el crecimiento de especies comerciales de bosque secundario en el asentamiento el Roble de Sarapiquí.



## 1.1 Objetivos del estudio

### General

- Determinar los principales factores edáficos y topográficos, que afectan el crecimiento individual de cuatro especies forestales en un bosque secundario de El Roble, de Sarapiquí.

### Específicos

- Evaluar y cuantificar características edáficas y topográficas de un bosque secundario joven y relacionarlas con el crecimiento de las especies comerciales más abundantes de un bosque secundario, en El Roble de Sarapiquí.
- Determinar las variables (edáficas y topográficas) que afectan el crecimiento de árboles individuales de las especies comerciales más abundantes de un bosque secundario.

## 1.2 Hipótesis de trabajo

Ho = Los factores topográficos (porcentaje de pendiente y posición topográfica : alta, media, baja) no influyen en el crecimiento de las especies comerciales dominantes en el bosque secundario del asentamiento el Roble Sarapiquí.

Ha = Los factores edáficos : textura, densidad aparente, profundidad del horizonte A, pH, Acidez extraíble, Ca, Mg, K, P, y capacidad de intercambio catiónico influyen en el crecimiento de las especies comerciales dominantes en el bosque secundario del asentamiento el Roble, Sarapiquí.

## **2. REVISION DE LITERATURA**

### **2.1 Los bosques secundarios : importancia**

El potencial biológico y económico de los bosques secundarios se fundamenta en el rápido crecimiento de las especies heliófitas duraderas y los usos comerciales que podrían tener las mismas, como es el caso de Costa Rica (Finegan, 1992). Otro aspecto que resalta esta importancia, es el papel de estos bosques para aminorar la presión sobre los bosques primarios (Moran *et al.*, 1996).

### **2.2 Estructura, composición y dinámica del bosque secundario**

Finegan (1992), define el bosque secundario como la vegetación leñosa que se desarrolla en sitios cuya vegetación original ha sido totalmente destruida por la actividad humana.

Los bosques secundarios tienen estructura más simple que los bosques primarios y ésta varía con el avance de la sucesión (Lamprecht, 1990). Esta tasa de cambio es afectada por el clima y el tipo de suelo (Brown y Lugo, 1990). Presentan una estructura frecuentemente regular en los estadíos jóvenes (menor tamaño medio de los árboles , aunque persistan grandes ejemplares dispersos procedentes de la vegetación original), y estructura muy irregular en estadíos más antiguos, muy parecida a la bosques primarios (Lebrun y Gilbert, 1954, citados por UNESCO, 1980; Finegan y Sabogal, 1988).

La composición florística varía también con el avance de la sucesión. Estudios de las abundancias relativas de las especies muestran fuertes variaciones dentro, y entre sitios. Esta variación florística es afectada por el sustrato, el uso

anterior del sitio y por la distribución de fuentes de semillas para la colonización, entre otros factores (Finegan , 1996a).

La riqueza de especies generalmente aumenta conforme avanza la sucesión, pero debido a los diversos factores que afectan la colonización de sitios abandonados, entre los cuales se destaca el efecto que ejercen las condiciones iniciales del sitio ; no se puede establecer un patrón general de velocidad de recuperación de la diversidad vegetal (Finegan, 1996b).

Así, Uhl *et al.* (1988) en un estudio realizado en pastizales abandonados en Brasil, determinó que el tiempo de recuperación de una riqueza de especies semejante a la de un bosque primario, era entre 3,5 a 8 años dependiendo del grado de perturbación ocasionada al sitio. Por otra parte, estudios realizados en tierras de agricultura migratoria en la cuenca alta del Río Negro, entre Colombia y Venezuela, determinaron el tiempo de recuperación entre 20 y 35 años (Saldarriaga *et al.*, 1988 ).

Respecto a la dinámica del bosque secundario, Finegan (1996a) describe un modelo sucesional con tres fases (no estrictamente discretas) y aplicable a sitios en la zona húmeda de tierras bajas del trópico americano con suelos no degradados y fuentes adecuadas de semilla. Dichas fases son las siguientes :

*Primera fase*, en los primeros meses después del abandono, el sitio es colonizado por especies pioneras herbáceas y arbustivas que forman una comunidad baja que puede ocupar el sitio hasta dos o tres años; a menudo las especies heliófitas efímeras se establecen rápidamente durante esta fase.

*Segunda fase*, se establecen las heliófitas efímeras formando una comunidad de baja riqueza florística y dominada por una o pocas especies, las que forman un dosel cerrado que puede alcanzar hasta 20 m ; la fase termina con la

decadencia de la población de heliófitas efímeras, pues estas especies no son capaces de regenerarse bajo su propia sombra. Durante esta fase se establecen las heliófitas durables, que también a veces se establecen a los dos años o menos después del abandono, y crecen a la sombra de las heliófitas efímeras.

*Tercera fase*, las heliófitas durables crecen rápidamente después de la desaparición de las efímeras alcanzando hasta 25 a 30 cm de DAP a los 10-15 años y 50 cm dap a los 25 años en sitios en la zona atlántica de Costa Rica (Finegan y Sabogal, 1988). La altura del dosel del bosque secundario puede alcanzar la de los bosques maduros originales del sitio (en el noreste de Costa Rica, unos 30 m) en menos de 30 años. La heliófitas durables probablemente dominan el bosque secundario hasta la decadencia de sus poblaciones, lo que puede significar una fase entre tal vez 30 y más de cien años de duración.

### **2.3 Factores que afectan la sucesión secundaria**

Entre los factores que afectan el proceso de sucesión secundaria pueden mencionarse (Finegan 1992 ; Clements, 1916 citado por Finegan 1996a ; Gomez-Pompa y Vásquez-Yanes, 1976) :

- i. Fertilidad del sustrato
- ii. El tipo de perturbación que determina las condiciones iniciales del sitio.
- iii. Los propágulos y estrategias de diseminación.
- iv. Las especies que logran establecerse, crecer y desarrollar en el sitio.
- v. La competencia intra como inter-específica.

Un factor ligado a la fertilidad del sustrato, es el requerimiento nutricional de las especies de bosque secundario (Gomez-Pompa y Vasquez-Yanez) pues éstas muchas veces tienen que establecerse y crecer en suelos abandonados después de los cultivos. Sanchez *et al* (1983) en un estudio de la dinámica de

fertilidad del suelo después de corta y quema en la región de la selva baja del Perú, encontraron que las cenizas provenientes de la quema, incrementaron el pH del suelo, el contenido de N, P, K, Ca, Mg, y disminuyó el aluminio intercambiable. Seis meses más tarde decrecieron los niveles de N y K y se presentaron deficiencias de S, Cu y B. Además durante el primer año el Carbono orgánico y Nitrógeno total decrecieron a una tasa del 25% (Sanchez *et al.*, 1983).

Otro factor a considerarse, es el tipo de perturbación, intensidad, duración y tamaño debido a que define las condiciones iniciales de sitio ( Finegan, 1996a) que determinan la riqueza de especies de vegetación secundaria. ( Uhl *et al.*, 1988 ; Saldarriaga *et al.*, 1988 ; Aide *et al.*, 1995) y según Finegan (1996 b) estas condiciones iniciales de sitio ejercen un efecto de "filtro" en la dispersión de propágulos y subsecuente crecimiento y sobrevivencia

No obstante el proceso de sucesión secundaria también puede ocasionar cambios en la fertilidad de los suelos, particularmente en el incremento de los contenidos de materia orgánica y en el mejoramiento de las propiedades físicas de los suelos (Aweto, 1981). Sin embargo pueden generarse interacciones bióticas, como en el caso de *Croton* y *Piper* que inhiben la germinación y crecimiento de otras plantas (Anaya y Rovalo, 1976).

## **2.4 Factores edáficos y topográficos que afectan el crecimiento y la composición florística en ambientes forestales.**

### **2.4.1 Bosques plantados**

El estudio de los factores edáficos y topográficos, y su relación con la productividad en ambientes forestales se ha realizado con mayor amplitud, para la determinación indirecta de la calidad de sitio en bosques plantados. La

calidad de sitio se define como : la productividad relativa de un sitio para una especie forestal particular (FAO, 1985), producto de la interacción de factores edáficos, topográficos, climáticos y bióticos ( De las Salas, 1974 ).

Uno de los métodos utilizados para determinar la calidad de sitio, es el índice de sitio, que se define como : la altura promedio de los 100 árboles más gruesos por hectárea a una edad determinada llamada edad base o edad índice (Alder, 1980).

Entre los factores topográficos y edáficos de mayor importancia en estudios realizados para determinar el índice de sitio en bosques plantados, se han considerado entre otros los siguientes : la pendiente y el relieve en el primer caso ; profundidad efectiva, textura, pH y capacidad de intercambio catiónico en el segundo. Dichos factores no llegan a explicar individualmente la mayor parte de variación en productividad, y algunas veces para explicar un mayor porcentaje de la variación se combinan entre sí.

#### **2.4.1.1 Factores topográficos**

La topografía del lugar es uno de los factores importantes en la definición del microclima ; la pendiente y especialmente la exposición, producen cambios importantes en la intensidad luminosa en las altas latitudes. Por ejemplo en países montañosos situados en latitud sur, las pendientes que miran hacia el norte reciben mayor cantidad de luz que las exposiciones sur durante todo el año, porque el ángulo de incidencia de los rayos solares es mayor, en tanto que los rayos solares son casi tangenciales en las exposiciones sur. Este factor no es de gran importancia en los trópicos, como lo es regiones situadas a grandes latitudes, por el ángulo de incidencia de los rayos solares (Donoso, 1981; Figura 1 )

El relieve y la pendiente determinan en gran medida la susceptibilidad del suelo a la erosión, el movimiento de agua superficial y subsuperficial, y por lo tanto la disponibilidad de este elemento para las plantas y los nutrimentos contenidos en ella (De las Salas, 1974).

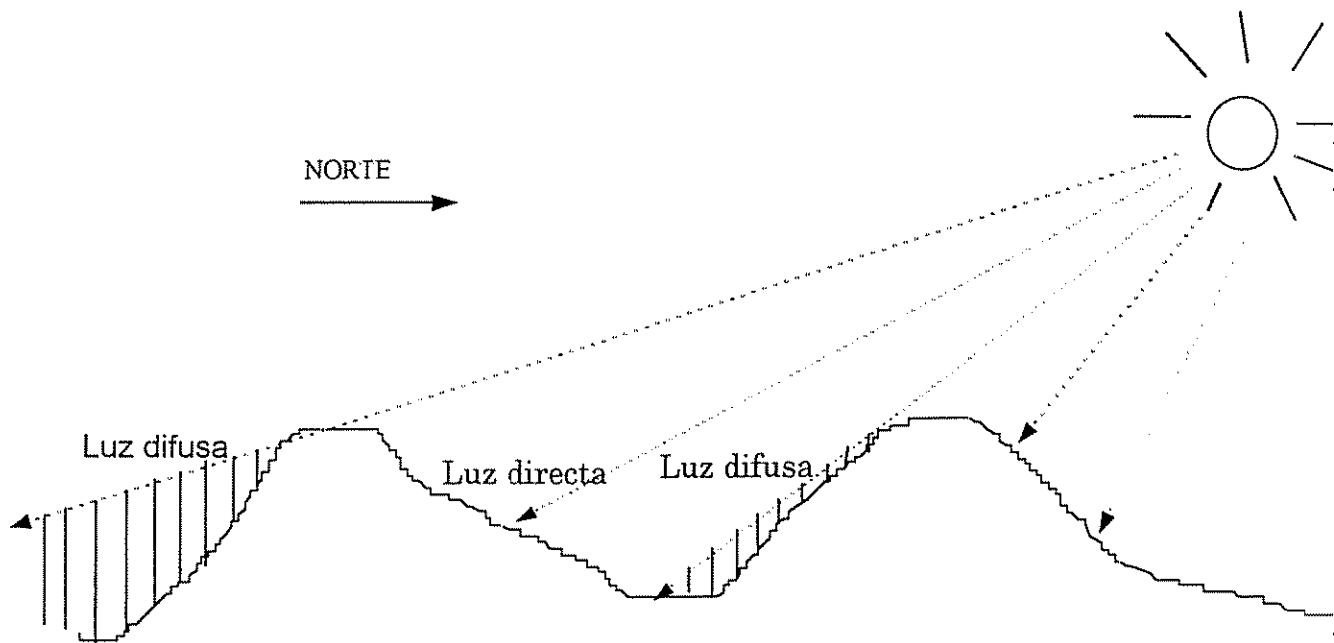


Figura 1. Efecto de la topografía en la intensidad luminosa recibida en lugares montañosos. (Donoso, 1981)

### a) Pendiente

Tschinkel (1972), en un estudio en plantaciones jóvenes de *Cupressus lusitanica*, en la Cordillera Central del departamento de Antioquia, Colombia, desarrolló un método para pronosticar índice de sitio antes de plantar, con base en la pendiente y en una clasificación visual de la convexidad o concavidad topográfica. Ambos factores fueron relacionados de la siguiente manera :

$$S = 9.28 + 0.133 CT - 0.145 P \quad r^2 = 0.72$$

S = La altura (m) que los árboles dominantes alcanzan a los 15 años

CT= Clasificación ocular de la topografía según su concavidad o convexidad en perfil como en contorno, que permite definir un código topográfico.

P = Pendiente en grados,

No obstante, ni la pendiente ni la forma topográfica tienen una relación causa efecto sobre el crecimiento, sino que estas dos características enmascaran, otros aspectos como la disponibilidad de agua y nutrimentos. Dicha situación es confirmada por Fassbender y Tschinkel ( 1974), al determinar que los factores que afectaban directamente el desarrollo de *Cupressus lusitanica* eran la baja disponibilidad de nitrógeno y fósforo.

Ortega (1986), estudió los factores edáficos y topográficos que determinan la calidad de sitio en plantaciones jóvenes de *Pinus caribaea* en el cantón de Turrialba , Costa Rica. Producto de su estudio determinó cuatro clases de sitio a la edad base de 8 años. Los factores fisiográficos y edáficos que se relacionaron con el crecimiento y explicaron más del 50% de las variaciones en el crecimiento, fueron: el porcentaje de limo, la altitud sobre el nivel del mar, la profundidad efectiva y el microrelieve, todas directa o indirectamente relacionadas con la calidad de drenaje. El modelo desarrollado fue el siguiente :

$$S = - 1.0215 + 0.1471 L + 0.0187 A + 1.9402 PE + 0.0377 MR \quad r^2 = 0.50$$

Donde :

S = Índice de sitio (m)

L = Porcentaje de limo

A = Altitud en metros sobre el nivel del mar

PE = Profundidad efectiva del suelo en metros

MR = Microrelieve según código utilizado

Dicho autor concluye, que el contenido de arcilla en los horizontes a mayor profundidad de 20 cm, podría constituirse en un impedimento para el desarrollo



de las raíces por la disminución de la aireación, la cual condiciona el desarrollo radical, siendo las condiciones de drenaje las principales limitantes de orden físico para el crecimiento de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

#### **2.4.1.2 Factores edáficos**

El suelo forestal, puede definirse como la porción de la tierra que sirve de medio de sustentación de la vegetación ; compuesto de material mineral y orgánico penetrado por cantidades variables de agua y aire y habitado por organismos. Este exhibe características peculiares adquiridas bajo la influencia de tres factores pedogenéticos : hojarasca, raíces de los árboles y organismos específicos dependientes de la cobertura forestal ( Wilde, 1946 ).

El suelo tiene gran influencia en la composición de los rodales forestales, y pese a ser sólo uno de los factores que determinan la calidad de sitio, influye considerablemente en la tasa de crecimiento, en el vigor reproductivo, en la calidad de la madera, en la resistencia a las enfermedades y en la resistencia al viento. Todo esto dentro de un mismo clima en un área dada, debido principalmente a que los suelos controlan el agua disponible para las plantas (Donoso, 1981).

Los factores del suelo en la clasificación de sitio constituyen una valiosa ayuda por cuanto muchos de ellos son fáciles de medir y pueden cuantificarse (De las Salas, 1974). Además, una ventaja de estos factores es que algunas veces permiten explicar biológicamente las diferencias de crecimiento entre sitios.

## A. Propiedades físicas

### a) Textura

Alfaro (1983), en un estudio de la relación entre factores edáficos e índice de sitio para *Cupressus lusitanica* ( Mill) en el Valle Central, Costa Rica, obtuvo muestras a 25 y a 50 cms de profundidad, determinando características físicas y químicas. Posteriormente elaboró una ecuación que relaciona el índice de sitio con variables edáficas de la siguiente manera :

$$S = 57.577 - 14.952 [\log ( \% \text{ limo} )] + 0.1323 ( \% \text{ arcilla} ) - 0.2862 ( \% \text{ poros} ) + 0.8335 ( \% \text{ agua disponible} ) \quad R^2 = 0.61$$

donde :

S = Índice de sitio ( m )

La explicación biológica de esta regresión fue la siguiente : a mayores contenidos de arcilla, menor porosidad y mayor agua disponible, la especie crecerá mejor ; dentro el rango de suelos que se estudiaron. Se observa que el agua disponible de los suelos es un factor positivamente relacionado con el índice de sitio.

### b) Profundidad del suelo

Dalmacio (1987), estudió la relación entre factores de sitio y el crecimiento de *Albizia falcataria* en plantaciones al este de Mindanao, Filipinas. Mediante análisis de regresión múltiple, determinó una ecuación que explicó el 54 %, de la variación en crecimiento de esta especie en relación a la profundidad efectiva del suelo. La ecuación desarrollada fue la siguiente :

$$LSI = 1.28724 + 0.02497 D - 0.00054 D^2 \quad R^2 = 0.54$$

donde :

LSI = Logaritmo del índice de sitio (m)

D = Profundidad efectiva del suelo (cm)

## B. Propiedades químicas

### a) pH y Capacidad de Intercambio Catiónico

Giraldo *et al* (1980), en un estudio del crecimiento de *Cordia alliodora* en relación con algunos factores climáticos edáficos y fisiográficos en el suroeste de Antioquía, Colombia, determinaron la siguiente ecuación de índice de sitio.

$$IS = 4.69 \times 10^{-6} [ ( (CIC)^{0.68921} e^{-0.01896 (CIC)} ) ( (pH)^{19.9205} e^{-3.66074 (pH)} ) ] \quad R^2 = 0.75$$

donde :

IS = Índice de sitio ( m )

CIC = Capacidad de Intercambio Catiónico, en meq/100 gr de suelo.

pH = Potencial de hidrógeno.

Cabe destacar que ambos factores se ajustaron a una distribución gamma y de esta manera permitieron determinar sitios adecuados para *Cordia alliodora*, en el rango de pH y CIC del área estudiada

#### 2.4.1.3 Factores edáficos y climáticos

Schlatter (1987), estudió los factores medioambientales que explican el crecimiento en *Pinus radiata* en Chile Central, encontrando una importante variación del índice de sitio explicada por la latitud, pero asumió que la influencia es indirecta, porque a mayores latitudes los suelos son mejor estructurados y sobre todo menos erosionados. Partiendo de este principio relacionó gráficamente el índice de sitio y variables climáticas y edáficas, destacándose las variables del suelo superficial. De esta manera concluyó que

el crecimiento de *Pinus radiata* es influenciado por la fertilidad de la capa superior del suelo y por las propiedades físicas en general.

#### **2.4.1.4 Factores edáficos , topográficos y uso anterior**

Zech *et al.* (1994) en un estudio para la identificación de sitios para reforestación correlacionaron datos de crecimiento (en altura y diámetro) en plantaciones de *Gmelina arborea* y *Cordia alliodora* de dos años de edad con factores de sitio, posteriormente por regresión múltiple determinaron los efectos de estos factores sobre el crecimiento. Para *Gmelina arborea* determinaron que el 86 % de la variación en crecimiento se debe a los siguientes factores : densidad aparente de la capa superior del suelo (0 - 5 cm), uso anterior, grosor del horizonte inorgánico con humus, pendiente, distancia del árbol a la cima y forma del terreno.

### **2.4.2 Bosques naturales tropicales**

La mayor parte de la información en bosques naturales tropicales con relación a factores edáficos y topográficos está orientada a su influencia en la distribución de algunas especies, y sólo una referencia consultada relaciona estos factores con la productividad de especies forestales en bosque natural secundario.

#### **2.4.2.1 Factores edáficos y topográficos**

La topografía ha sido considerada como el más importante factor abiótico causante de la variación en la estructura de bosques tropicales a escala local, esto debido a que comúnmente está relacionada con el régimen de agua y las propiedades físicas y químicas de los suelos ( Bourgeron, 1983, citado por Oliveira Filho *et al.*, 1994 )

En bosques naturales tropicales gran parte de la información está referida a la influencia de estos factores en la distribución de especies. Uno de estos trabajos es el de Oliveira-Filho *et al.* (1994), quién en un estudio realizado en la amazonía brasileña con 30 especies seleccionadas, encontró que los factores más importantes en la distribución de estas especies, fueron ciertas propiedades químicas y físicas de los suelos, como : Ca, Mg, K, pH y fertilidad del suelo expresada como Capacidad de Intercambio Catiónico. Asimismo en la comparación de sitios con diferente posición topográfica en la pendiente, sitios altos y bajos, el contenido del P fué el único que se diferenció.

Otro estudio de distribución de palmas en función a características edáficas y topográficas, realizado en la estación biológica La Selva (Costa Rica) por Clark *et al.* (1995), determinó que la distribución de algunas especies de palmas esta relacionada con las características edáficas y topográficas, como es el caso de *Euterpe*, asociada con topografía accidentada y suelos menos fértiles y *Prestoea* con topografía uniforme y suelos más fértiles. Además señalan que el bosque húmedo tropical presenta una gran heterogeneidad en la estructura de las comunidades vegetales, y mucha de ésta variación se debe a la frecuencia de aparición de mosaicos edáficos con diferentes propiedades físicas y químicas.

Johnston (1992), en un estudio realizado en los bosques de Puerto Rico, también encuentra que la distribución de algunas especies se relaciona con algunas características edáficas, como es el caso del árbol *Dacryodes excelsa*. Dicha especie se asoció con suelos secos y bajas concentraciones de Ca, Mg y bajo pH ; por el contrario, la palma *Prestoea montana* con suelos que tienen una elevada concentración de Ca, Mg y valores de pH más altos. Finalmente se destaca la importancia de las series de suelos y el significado ecológico que tienen los mismos al estar fuertemente asociadas con la distribución de la vegetación.

Herrera (1996) estudió el efecto de la variación de sitio sobre la altura dominante de las especies comerciales de mayor abundancia (*Vochysia ferruginea* y *Cordia alliodora*) en un bosque secundario tropical de tierras bajas (28 años de edad) en San Carlos, Costa Rica.

El estudio consideró variables edáficas como : los contenidos de P, K, Cu, Zn, Mn, Ca, Mg, S, Fe, B, Materia Orgánica, pH, acidez intercambiable y textura para dos profundidades 0-12 cm de profundidad y 12 - 30 cm y variables topográficas como grado de pendiente y posición de la parcela en la pendiente. La variable altura dominante en *Cordia alliodora* no presentó correlación alguna con los factores edáficos estudiados, por el menor número de parcelas estudiadas para esta especie y condiciones de suelo relativamente homogéneas en los cuales estaba presente. En tanto, para *Vochysia ferruginea* las mayores alturas dominantes se asociaron con sitios de bajos contenidos de arcilla hasta los 12 cm de profundidad, contenidos de P, Fe, materia orgánica y mayores contenidos de Cu. Finalmente uno de los modelos ajustados para la predicción de la altura dominante de *Vochysia ferruginea*, fue el siguiente :

$$\text{Alt dom} = 53,93 - 1,25 P_{0-12} + 0.0388 \text{ Mn}_{0-12} - 2.02 \% \text{MO}_{0-12} - 0.299 \% \text{Ar}_{0-12}$$
$$R^2 = 0.75$$

donde

Alt dom = Altura dominante ( m )

$P_{0-12}$  = Contenido de fósforo del suelo (mg/L) hasta los 12 cm de prof.

$\text{Mn}_{0-12}$  = Contenido de manganeso del suelo (mg/L) hasta los 12 cm de prof.

$\% \text{MO}$  = Porcentaje de materia orgánica en el suelo hasta los 12 cm de prof.

$\% \text{Ar}$  = Porcentaje de arcilla hasta los 12 cm de profundidad.

### 2.4.3 Crecimiento de los bosques naturales tropicales

El crecimiento se define como la variación del tamaño de un individuo por unidad de tiempo y su cuantificación se denomina incremento (Kozlowski, 1962 ).

Los factores que mayor incidencia tienen en el crecimiento a nivel de rodal entero, son : la influencia de tratamientos silviculturales, temperatura, precipitación, humedad relativa del ambiente, composición fisico-química del suelo, humedad del suelo, drenaje y nivel de la capa freática. A nivel de árbol individual son : la luz y la competencia (Sanchez, 1995). La competencia es una interacción medible entre individuos que comparten la utilización de un recurso que se encuentra en cantidad limitada, que lleva a una reducción de la sobrevivencia, crecimiento o reproducción de los individuos que compiten ( Begon *et al.*, 1996).

Sitoe (1992), en un estudio de crecimiento diamétrico de especies maderables en un bosque húmedo tropical de Costa Rica, encontró que la forma de copa es el factor de mayor relación lineal con el incremento diamétrico, seguida de la exposición de copa. Otros trabajos realizados demuestran que los árboles de las clases diamétricas menores, reaccionan con mayor intensidad a los cambios ambientales (Hutchinson, 1993) Y cuando no se cuenta con la suficiente información para estudiar el crecimiento a nivel de especie individual, el agrupamiento de especies con crecimiento parecido se convierte en la alternativa posible (Sanchez, 1995).

Guillén y Finegan (1992), estudiaron varios bosques secundarios en Sarapiquí y San Carlos (Costa Rica), con edades entre 12 y 25 años, encontrando que el incremento volumétrico anual comercial calculado como volumen en pie/edad del bosque, era superior a 5 m<sup>3</sup>/año, excepto para un bosque de 15 años, el cual había sido muy afectado por la intervención humana y la presencia de ganado.

Los volúmenes comerciales en individuos a partir de 10 cm de dap., fueron de 60.8 m<sup>3</sup>/ha para el bosque de 12 años y de 151,6 m<sup>3</sup>/ha para el bosque con 25 años. Sin

embargo, el mayor volumen se encontró en un bosque de 20 años con 159,8 m<sup>3</sup>/ha. Asimismo recomendaron el manejo adecuado de estos bosques para convertirlos en una alternativa de uso de la tierra rentable y sostenible.

Scott (1992), al analizar un bosque secundario tratado de aproximadamente 40 años en Pérez Zeledón, Costa Rica, encontró que la tasa de crecimiento en área basal para el grupo de especies comerciales era de un 7.9% por año, contra un 4.1% de incremento para las parcelas testigo, que nos muestra el potencial de manejo para los bosques secundarios.

Finegan (1993), al estudiar el crecimiento en bosques secundarios de diferentes edades en Sarapiquí, Costa Rica, encontró que la mayoría de los árboles dominantes y codominantes eran de crecimiento rápido, siendo el diámetro inicial (al momento de establecer el ensayo) el que mostró mayor correlación con el incremento ; esto principalmente cuando se ajustaron modelos lineales , debido a que en los bosques secundarios inmaduros, los árboles grandes son los de crecimiento más rápido, asociado posiblemente a la mejor iluminación de sus copas.

En el mismo estudio y a nivel de especie, los árboles dominantes y codominantes de *Simarouba amara* y *Vochysia ferruginea* en los bosques de 15 y 25 años respectivamente, mantuvieron incrementos medianos mayores a 1.5 cm y 1.0 cm (en diámetro) respectivamente. Ajustando modelos lineales con el área basal inicial como variable independiente y el incremento en área basal por árbol como variable de respuesta, obtuvieron valores de R<sup>2</sup> de 83% para *Simarouba* y de 66% para *Vochysia* concluyendo que los árboles dominantes y codominantes seguirían siendo los más productivos del rodal, contrariamente a los árboles de diámetros menores.



### **3. MATERIALES Y METODOS**

#### **3.1 Descripción del área de estudio**

El trabajo se realizó en un bosque secundario de aproximadamente 5 años de edad del asentamiento Cay Rica, ubicado aproximadamente a 13 Km. al Suroeste de Puerto Viejo en el Cantón Sarapiquí correspondiente a la vertiente del Atlántico Norte de Costa Rica geográficamente localizado entre 10° 23' N y 84° 05' O a una altura de 180 msnm.

##### **3.1.1 Clima**

Según registros meteorológicos de la estación biológica La Selva (Organización de Estudios Tropicales) la temperatura media anual para esta zona es de 25,7°C con una máxima media anual de 30,4 °C y una mínima media anual de 21,1°C. La precipitación promedio anual es de 3961,8 mm con ausencia de meses secos (< 100 mm) los meses con menor precipitación son : febrero, marzo y abril (Sanford *et al.*,1994).

##### **3.1.2 Fisiografía y suelos**

Los suelos de la zona Sarapiquí, son suelos residuales sobre relieve colinoso (Tropepts-Humults) con amplios ámbitos de pendientes de color pardo oscuro. En la zona hay problemas de acidez, y también deficiencias de calcio y magnesio (Bertsch, 1995 ). Para efectos de una mejor caracterización edafológica se realizó la clasificación de los suelos del bosque en estudio hasta un nivel de subgrupo de acuerdo al sistema de clasificación del USDA (1996).

### **3.1.3 Vegetación**

Según la clasificación de Holdridge esta área pertenece a la zona de vida bosque muy húmedo tropical (bmh-T) ( Tosi, 1969). Según Guillén (1993), esta zona se encontraba hasta el año 1977 dentro de áreas cubiertas de bosque primario intervenido.

### **3.1.4 Antecedentes**

El bosque con una extensión aproximada de 3 ha. es parte de una propiedad agrícola asignada por el IDA (Instituto de Desarrollo Agrario) que tiene una superficie total de 29 ha. Luego de aprovechar el bosque primario, hace 5 años se taló el bosque intervenido, dejando árboles remanentes; se intentó sembrar pasto pero éste no se estableció exitosamente y el sitio fue inmediatamente abandonado iniciándose el proceso de sucesión ecológica. No hubo quema de la vegetación, sin embargo el propietario realizó controles manuales de la vegetación ocasionando una elevada proporción de individuos bifurcados (15 % del total)

Desde 1995 como parte de una investigación conjunta de CIFOR y CATIE, se estableció una parcela permanente de muestreo de 1.26 ha, se delimitaron dos bloques de dos parcelas de 0.21 ha por bloque divididas en subparcelas de 10X10 m y se marcó e identificó todos los árboles con diámetro a la altura del pecho mayor o igual a 5 cm (100 % de intensidad de muestreo). Se determinó la especie y el origen de cada individuo clasificándolos como remanente o colonizador y se realizaron mediciones de la clase de iluminación, forma de fuste, forma de copa, diámetro a la altura del pecho y altura total.

El aspecto general de la parcela permanente de muestreo se esquematiza en la figura 2, destacándose las franjas de amortiguamiento de 20 m de ancho entre

### **3.1.3 Vegetación**

Según la clasificación de Holdridge esta área pertenece a la zona de vida bosque muy húmedo tropical (bmh-T) ( Tosi, 1969). Según Guillén (1993), esta zona se encontraba hasta el año 1977 dentro de áreas cubiertas de bosque primario intervenido.

### **3.1.4 Antecedentes**

El bosque con una extensión aproximada de 3 ha. es parte de una propiedad agrícola asignada por el IDA (Instituto de Desarrollo Agrario) que tiene una superficie total de 29 ha. Luego de aprovechar el bosque primario, hace 5 años se taló el bosque intervenido, dejando árboles remanentes; se intentó sembrar pasto pero éste no se estableció exitosamente y el sitio fue inmediatamente abandonado iniciándose el proceso de sucesión ecológica. No hubo quema de la vegetación, sin embargo el propietario realizó controles manuales de la vegetación ocasionando una elevada proporción de individuos bifurcados (15 % del total).

Desde 1995 como parte de una investigación conjunta de CIFOR y CATIE, se estableció una parcela permanente de muestreo de 1.26 ha, se delimitaron dos bloques de dos parcelas de 0.21 ha por bloque divididas en subparcelas de 10X10 m y se marcó e identificó todos los árboles con diámetro a la altura del pecho mayor o igual a 5 cm (100 % de intensidad de muestreo). Se determinó la especie y el origen de cada individuo clasificándolos como remanente o colonizador y se realizaron mediciones de la clase de iluminación, forma de fuste, forma de copa, diámetro a la altura del pecho y altura total.

El aspecto general de la parcela permanente de muestreo se esquematiza en la figura 2, destacándose las franjas de amortiguamiento de 20 m de ancho entre

las parcelas de 0.21 ha. Esto se hizo con el fin de realizar una manipulación silvicultural que se ejecutó en 1996.

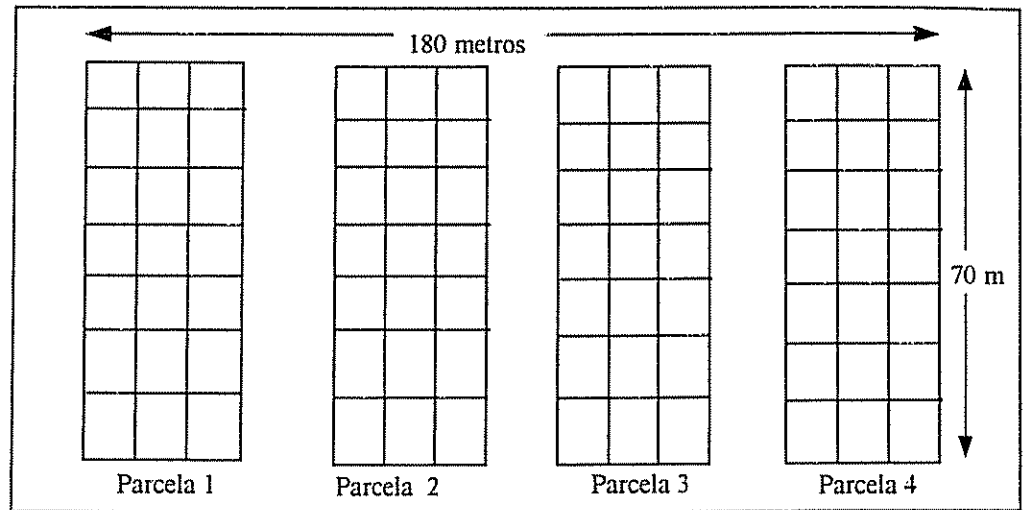


Figura 2. Disposición de la parcela permanente de muestreo en El Roble, Sarapiquí.

### 3.1.5 Estructura y composición

La distribución de los individuos por clase diamétrica el año 1996, presenta una mayor proporción de individuos en la clase diamétrica 5 a 10 cm y la menor proporción de estos en la clase diámetro de 15 a 20 cm (Figura 3).

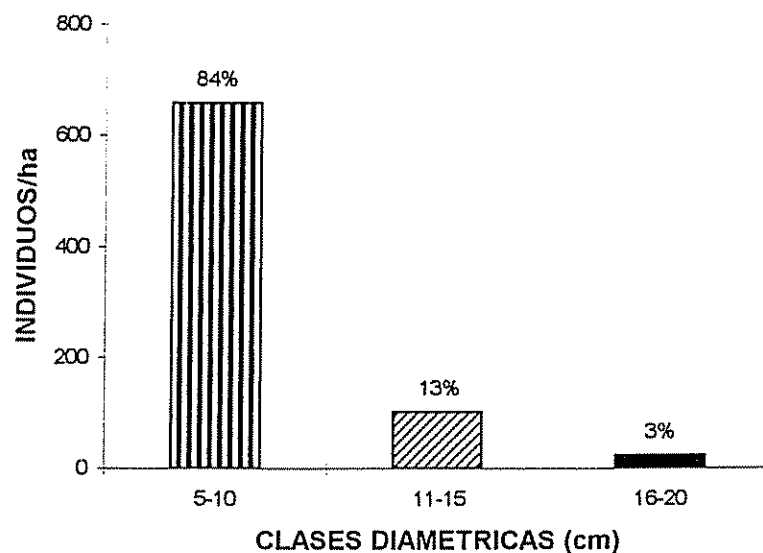


Figura 3. Distribución por clases diamétricas de individuos con  $dap \geq 5$  cm, bosque secundario El Roble, Sarapiquí 1996. (Guariguata, M. datos inéditos)

Abundancia de fustes > 5 cm DAP en 1.26 ha  
Bosque secundario 4 años-El Roble-Sarapiquí. 1995

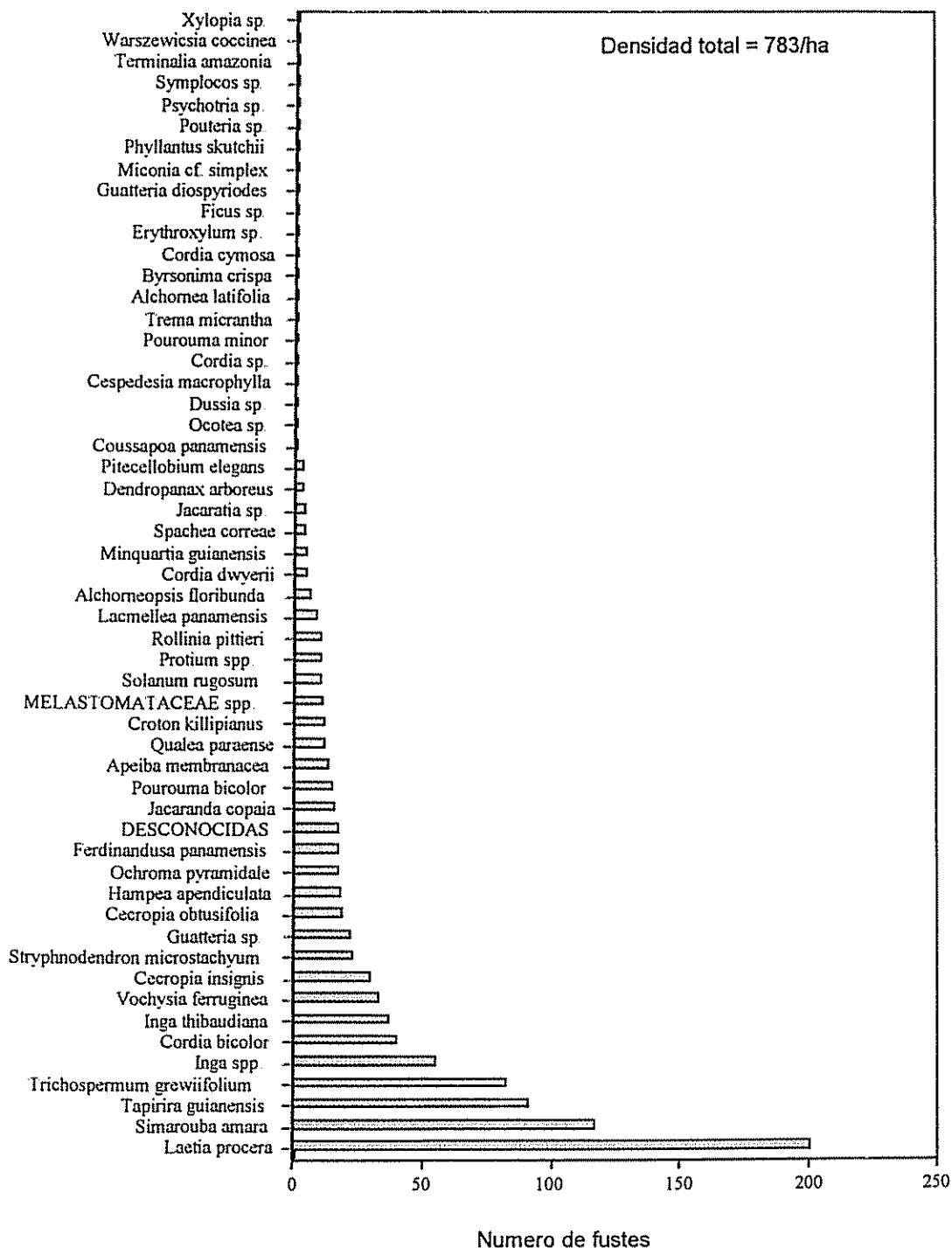


Figura 4. Abundancia de fustes  $\geq 5$  cm DAP. Bosque secundario 4 años El Roble, Sarapiquí. (Guariguata, M. datos inéditos).

Las especies dominantes del área de estudio con  $dap \geq 5$  cm de DAP fueron : *Laetia procera* (Flacourtiaceae), *Simarouba amara* (Simaroubaceae), *Tapirira guianensis* (Anacardiaceae), *Trichospermum grewiifolium* (Tiliaceae), *Inga spp* (Mimosaceae), *Cordia bicolor* (Boraginaceae), *Inga thibaudiana* (Mimosaceae) y *Vochysia ferruginea* (Vochysiaceae). La densidad total fue de 783/ha individuos con  $dap \geq 5$  cm referida sólo a la vegetación secundaria (se excluyó remanentes)(Figura 4).

### 3.1.6 Condiciones silviculturales

El 86% de los individuos con  $dap \geq 5$  cm se situaron en clases de iluminación 1 y 2 y por especies, *Laetia procera* fue la especie que tuvo una mayor proporción de individuos en estas categorías (Figura 5).

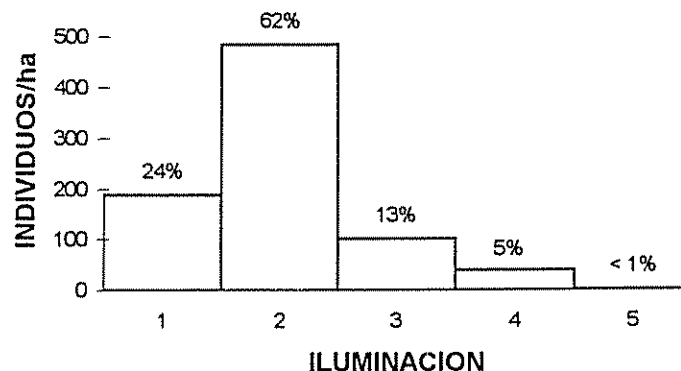


Figura 5. Frecuencia de las clases de iluminación. El Roble, Sarapiquí. (Guariguata, M. datos inéditos).

### 3.1.7 Mediciones realizadas en la vegetación

Se realizaron mediciones de  $dap$ , altura, forma de copa, condiciones de iluminación e infestación por lianas inicialmente en 1995 y un año después (1996) de todos los individuos con  $dap \geq 5$  cm. Por tanto se cuenta con datos de incremento periódico (diámetro y altura) para un año, lo mismo que datos del incremento en volumen para las especies de interés (comerciales dominantes)

calculados a partir de las ecuaciones de volumen desarrolladas por Quirós (1997) en el sitio de estudio. Esta información de incrementos es la que se utilizó para relacionarla con las variables topográficas y edáficas que se determinaron en el presente estudio

## 3.2 Material experimental

### 3.2.1 Clasificación taxonómica de los suelos de el Roble.

Para este propósito se excavó una calicata en un sitio representativo del área de estudio hasta una profundidad de 1,50 m identificándose 5 horizontes los cuales se caracterizaron mediante análisis físico-químico en los laboratorios de suelos del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica. La metodología y parámetros determinados se resumen a continuación (Henríquez *et al.*, 1995) :

- a) pH : con potenciómetro en una relación agua suelo de 1 : 2,5
- b) Acidez extraíble con solución neutra de KCl 1 M, titulación con NaOH 0.1 M. con indicador fenolftaleína.
- c) Fósforo, Potasio, Hierro, Cobre, Zinc y Manganeso : extraídos con solución Olsen modificado en relación 2,5 : 25 y determinados como sigue : fósforo por colorimetría con azul de molibdeno y los demás elementos por absorción atómica.
- d) Calcio y Magnesio extraídos con una solución de KCl 1M en relación 2,5 : 25 y determinados por absorción atómica.
- e) Materia orgánica por oxidación con  $K_2Cr_2O_7$ , reacción exotérmica catalizada por  $Fe(NH_4)_2(SO_4) \cdot 6H_2O$  y determinación indirecta del % de carbono orgánico al cuantificar la cantidad de dicromato que no reaccionó, dicho valor se multiplica por un factor empírico de 1.72 para determinar el % de materia orgánica.

- f) Capacidad de Intercambio Catiónico. Mg, K, Na extraídos con solución de Acetato de Amonio 1 M pH 7,0 en relación 10 : 100 y determinación por absorción atómica. Capacidad de intercambio catiónico por extracción del Acetato de Amonio con solución de NaCl al 10% y determinación mediante titulación con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.02N.
- g) Hierro y aluminio amorfo disolución con oxalato de amonio ácido y determinación por absorción atómica (Blakemore *et al.*, 1981).
- h) Retención de fósforo por mezcla del suelo con soluciones de concentración conocida de KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, extracción con solución de Olsen modificado y determinación por absorción atómica para construir la curva de retención.
- i) Textura por el método del hidrómetro de Bouyoucos.
- j) Densidad aparente, humedad gravimétrica y agua útil a partir de muestras no alteradas y con metodologías estándar (Forshyte, 1985).
- k) Reacción al NaF (determinación del viraje de pH con fenolftaleína) del suelo de los dos primeros horizontes para determinar cualitativamente la existencia de alófana.

### **3.2.2 Determinación de las características edáficas y topográficas del área de estudio**

#### **A. Pendiente (%)**

Se determinó siguiendo el sentido de pendiente mayor y dividiendo la subparcela en dos mitades en medio de las cuales se determinó la pendiente y posteriormente se calculó un promedio a partir de éstas.

#### **B. Posición en la pendiente**

Para definir la posición en la pendiente, se codificó como se detalla a continuación :



- 1 parte media
- 2 parte alta
- 3 parte baja

Adicionalmente se elaboró un mapa de curvas de nivel del área de estudio, por medio de la determinación de las cotas de 144 puntos distantes a 10 metros uno del otro y con la ayuda del paquete SURFER (Golden Software Inc., 1995).

### C. Obtención de muestras para caracterizar los suelos.

Para la obtención de muestras para análisis físico-químico de suelos se definió una profundidad constante de muestreo de 30 cm iniciales del perfil del suelo y un muestreo aleatorio estratificado, obteniéndose 5 muestras simples a partir de las cuales se obtuvo la muestra compuesta para el análisis físico-químico (Figura 6).

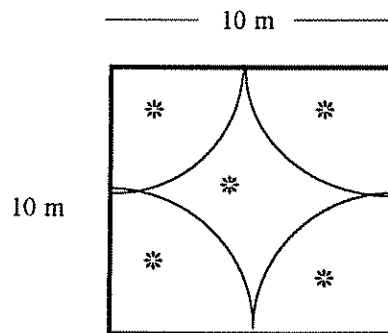


Figura 6. Areas de muestreo dentro de cada subparcela. \* representa a puntos aleatorios de muestreo.

Sin embargo, cuando el sitio de muestreo elegido al azar cayó sobre una raíz u otro obstáculo, se repitió la elección del punto a muestrear.

La muestra no alterada para la determinación de la densidad aparente se obtuvo en el centro de cada subparcela, o en un punto aledaño al mismo. En total se obtuvieron 84 muestras compuestas para análisis físico-químico y 84 muestras no alteradas para determinación de la densidad aparente. El análisis físico-químico fue realizado en los laboratorios de Centro Agronómico Tropical de

Investigación y Enseñanza los métodos de extracción y determinación se resumen a continuación(Díaz-Romeu y Hunter, 1978) :

- a) pH : con potenciómetro en una relación agua suelo de 1 : 2,5
- b) Acidez extraíble con solución neutra de KCl 1 M, titulación con NaOH 0.1 M. con indicador fenolftaleína.
- c) Fósforo y Potasio extraídos con solución Olsen modificado en relación 2,5 : 25 y determinados como sigue : fósforo por colorimetría con azul de molibdeno y Potasio por absorción atómica.
- d) Calcio y Magnesio extraídos con una solución de KCl 1M en relación 2,5 : 25 y determinados por absorción atómica.
- e) Capacidad de intercambio catiónico por extracción del Acetato del Amonio con solución de NaCl al 10% y determinación mediante titulación con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.02N.
- f) Nitrógeno total con el método Kjeldahl.

### **3.2.3 Análisis estadístico de la información recolectada**

Para el análisis estadístico de la información se adoptó un nivel de significancia del 5 %.

#### **A. Depuración y elaboración de las bases de datos por especies**

Se depuró la información correspondiente a los árboles, eliminándose los incrementos diamétricos menores a -0.2 cm (3 del total) y los incrementos en altura negativos (31) debido a la forma de medición de esta variable (barra telescópica). Con la información depurada se elaboró una base de datos con todos los individuos para analizar el crecimiento y las correspondientes a las especies comerciales de interés : *Laetia procera*, *Tapirira guianensis*, *Simarouba amara* y *Vochysia ferrugínea* conteniendo la información silvicultural y edafológica de las parcelas donde éstas se encontraban. El criterio de elección

de las cuatro especies se basó en su valor comercial y su mayor abundancia, que permitía relacionar el incremento diamétrico con las variables edáficas y topográficas.

## **B. Caracterización del crecimiento arbóreo en el área de estudio**

a) Se determinó el incremento periódico anual (para un año) para las variables de interés (diámetro a la altura del pecho, altura total y volumen) por especie y por individuo. Con el incremento en diámetro se caracterizó el crecimiento por especie en el área de estudio. Los estadísticos de tendencia central utilizados para tal fin fueron : mediana, primer y tercer cuartil, que se determinaron con el procedimiento UNIVARIATE del SAS (SAS Institute, 1993).

b) Se determinó el número de individuos por especie y subparcela en clases de iluminación 1 y 2 para las especies comerciales de interés en el presente estudio, para relacionar sus incrementos con las variables del suelo y minimizar el efecto de la luz en este análisis.

## **C. Caracterización de la variabilidad topográfica y edáfica**

a) Se determinaron las estadísticas descriptivas (media, coeficiente de variación y rango) para todas las variables edáficas y topográficas, esto con el objeto de conocer el grado de variación en el área de estudio e identificación de las variables que podrían tener mayor influencia en el crecimiento. Con propósitos de referencia se clasificó el estatus de fertilidad de los suelos para fines agronómicos según Berstch (1995) (Anexo 1).

b) Para identificar que variables topográficas y edáficas estaban más relacionadas con la mayor proporción de la varianza total en el área de estudio,

se realizó el Análisis de Componentes Principales con el procedimiento PRINCOMP y la opción STD del SAS (SAS Institute, 1993).

#### **D. Efecto de los factores edáficos y topográficos en el crecimiento**

a) Para determinar si el suelo ejercía alguna influencia en el crecimiento de las especies en estudio, se realizó una agrupación de subparcelas en base a sus características edáficas y topográficas, empleando el procedimiento CLUSTER y la opción WARD del SAS (SAS Institute, 1993). La mejor agrupación fue decidida de acuerdo al número de subparcelas que permita una adecuada comparación del crecimiento arbóreo entre ellas y que estuvo de acuerdo con la situación observada en el sitio. Para determinar la validez estadística de la agrupación elegida se realizó un análisis discriminante con el procedimiento DISCRIM y el procedimiento CANDISC del SAS (SAS Institute, 1993) observándose el número de subparcelas reclasificadas, la tasa de error en dicha reclasificación y la decisión final se tomó al verificar la validez biológica de la estructura canónica total para el sitio de estudio.

b) Posteriormente y previa determinación de la distribución de las variables de crecimiento (diámetro, altura y volumen) se realizó la prueba de Kruskal-Wallis para determinar si existían diferencias de crecimiento de las especies de interés (Laetia, Tapirira, Vochysia y Simarouba) entre los cluster de subparcelas que se formaron previamente. También se realizó una comparación similar del crecimiento pero tomando en cuenta solamente a los individuos con clases de iluminación 1 y 2. Los análisis se realizaron con el procedimiento NPAR1WAY del SAS (SAS Institute, 1993).

## E. Análisis de regresión múltiple

Para determinar la proporción de la variación del incremento (en diámetro, altura y volumen) que podía ser explicada por las variables edáficas y topográficas, se realizó el análisis de regresión múltiple para las cuatro especies comerciales consideradas en el estudio

a) Se consideró únicamente a los individuos con clases de iluminación 1 y 2 con el propósito de minimizar la variación en crecimiento por efecto de la luz dada la importancia que tiene este recurso para las plantas fotosintéticas, y aún más en ecosistemas complejos como los bosques

b) Se elaboraron diagramas bivariados y se determinaron correlaciones lineales de los incrementos (diámetro, altura, volumen) con las variables edáficas y topográficas para detectar tendencias que permitan una selección inicial de las variables para el análisis de regresión. Para realizar estas tareas se utilizó los procedimientos CORR y PLOT del SAS (Sas Institute, 1993).

c) Finalmente se realizó el análisis de regresión lineal con el procedimiento REG y la opción FORWARD del SAS (SAS Institute, 1993) como ayuda para una mejor selección del mejor modelo para cada especie, también se verificó el cumplimiento de los supuestos básicos de la regresión : normalidad de los residuos, homoscedasticidad, no existencia de multicolinealidad y una adecuada especificación del modelo (Gujarati, 1993). Sin embargo no siempre fue posible el cumplimiento de todos los supuestos, porque se trató en lo posible de no realizar transformaciones que generen relaciones inexplicables desde el punto de vista biológico.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Clasificación taxonómica de los suelos de el Roble.

De acuerdo a los resultados de laboratorio (anexo 2) y la descripción de los perfiles (anexo 3) se analizó las características taxonómicas hasta nivel de Subgrupo y la fertilidad actual con fines agronómicos de los suelos de la parcela de estudio.

#### 4.1.1 Descripción general

Son suelos cubiertos con vegetación secundaria de 5 años, relieve de colinas bajas con pendientes variables entre 14 a 70 %, con máxima diferencia de alturas entre el punto más alto y el más bajo de 40 metros. Sin rocas, erosión normal, profundos, bien drenados de colores pardos muy oscuros, con intensidad y pureza entre 2.5/2 hasta 5/8. Estructura en bloques subangulares. Textura arcillosa con revestimientos o cutanes. Poros abundantes en los 2 primeros horizontes, comunes a mayor profundidad. Consistencia friable, adherente y plástica, densidad aparente baja a media. pH entre 4.7 y 5.2 en todo el perfil, contenidos bajos de Ca (0.10-0.26 cmol/kg), Mg (0.06-0.16 cmol/kg) y K (0.02-0.11 cmol/kg) y saturación de acidez alta ( 84 a 92 %).

#### 4.1.2 Análisis de características taxonómicas

**A. Influencias ándicas.** Las reacciones de los tres primeros horizontes al NaF (fuerte, moderada, moderada) señalaron influencia de cenizas volcánicas recientes sobre estos suelos, materiales que fueron transportados por el agua (com. pers. Rafael Mata, 1997). Sin embargo el porcentaje de retención de fósforo (74 %) no es suficientemente alto para clasificar estos suelos como Andisoles, lo mismo ocurre con el contenido de Fe y Al amorfo cuyo índice ( $Fe + \frac{1}{2} Al$ ) es menor a 2.

**B. Horizonte diagnóstico.** La presencia del horizonte diagnóstico formado por acumulación de arcilla eluvial denominado Argílico (horizonte iluvial) y su condición desaturada (baja en bases) permiten incluir a este suelo en el Orden de los Ultisoles. La condición iluvial del horizonte argílico se comprueba por la variación del contenido de arcilla con la profundidad (Figura 8) que permite detectar acumulación de arcilla y también por la presencia de cutanes en el reconocimiento de perfiles en el campo.

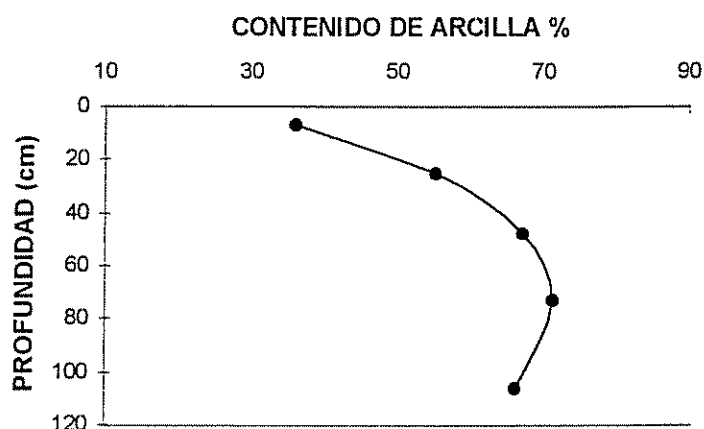


Figura 7. Variación del contenido de arcilla con la profundidad

### C. Clasificación a nivel de suborden

El suelo presenta altos contenidos de materia orgánica debido a las influencias de la cenizas volcánicas que permiten un contenido de carbono orgánico mayor a 12 Kg/m<sup>2</sup> hasta los 100 cm de profundidad lo cuál permite incluirlos en el suborden Humult. Cabe destacar las condiciones de régimen de humedad údico que tienen estos suelos (menor a 90 días acumulativos de suelos secos). Según datos meteorológicos de la Estación Biológica La Selva (OET) el máximo acumulativo anual promedio de días entre lluvias mayores de 5 mm calculado para el período 1963-1987 es de 57 días. ( Sanford *et al.*, 1994).

#### **D. Clasificación a nivel de gran grupo**

Debido a su alta capacidad de intercambio catiónico ( $\text{NH}_4\text{Oac}$  pH 7) y el valor corregido sobre la base de arcilla, no puede ser clasificado en el subgrupo Kandihumults, ni Kanhaplohumults. Sin embargo la ausencia de incremento en contenido de arcilla no mayor al 20 % con la profundidad, relativa al máximo contenido (Bt3) permite clasificar estos suelos en el suborden Palehumults..

#### **E. Clasificación a nivel de subgrupo**

Sus características ándicas tan definidas ( $\text{Fe} + \frac{1}{2} \text{Al} > 1$ ) y la densidad aparente menor a  $1 \text{ g/cm}^3$ , presentes en un horizonte o suma de horizontes mayor a 18 cm permiten clasificarlo en el subgrupo **Andic Palehumults**.

#### **F. Fertilidad actual**

**a) Acidez.** El pH fue menor a 5,5 (4,7 a 5,2) y la acidez intercambiable fue mayor a 0,5 cmol/kg de suelo y una saturación de acidez, que indican que el aluminio podría encontrarse en niveles tóxicos para los cultivos agrícolas, situación que se hace más crítica con la profundidad.

**b) Cationes y CICE.** Los bajos valores de Ca (0.05 a 0.35 cmol/kg), Mg(0.04 a 0.13 cmol/kg) , K (0.04 a 0.24 cmol/kg) y capacidad de intercambio catiónica efectiva (2.27 a 3.37 cmol/kg) indican una fertilidad actual baja y limitaciones nutricionales producto del lavado de estos suelos por las condiciones climatológicas , condición que se incrementa con la profundidad.

**c) Relaciones catiónicas.** Indican problemas de escasez de Mg y Ca en relación al K, pero no del K en relación a las anteriores. Sin embargo todos los cationes están en niveles considerados bajos y aún más conforme aumenta la profundidad.



d) **Contenido de P.** Este elemento se encuentra en niveles medios en los dos primeros horizontes (11,2 y 10,3 mg/L), pero a mayor profundidad estuvo en niveles considerados bajos (3 a 8.3 mg/L) .

e) **Zn, Mn, Fe y Cu.** Contenido bajo de Zn (1.6 a 2.8 cmol/L) , medio para el Mn (de 2.0 a 10.4 cmol/L) y Cu (de 7.9 a 39 cmol/L) y altos para el Fe ( de 62 a 512 cmol/L) que podría estar en niveles tóxicos para los cultivos.

f) **Materia orgánica.** Contenido considerado elevado para un ultisol, que se explicaría por la presencia de arcillas alofánicas en los primeros horizontes del suelo, que forman complejos y pueden retenerla en mayor cantidad (Bertsch, 1995). Estas arcillas fueron detectadas por la reacción fuerte al NaF que presentaron los dos primeros horizontes.

En síntesis estos suelos presentan fertilidad actual baja (suelos lavados) con desbalances del Mg y Ca con relación al K. El pH es ácido y la saturación de acidez es considerada alta. El P está en contenido medio, el Zn, Mn y Cu en su mayoría en contenido medio, contenido bajo de Zn en el primer horizonte. Fe en contenidos elevados (entre 62 a 512 mg/L, probablemente tóxico para los cultivos agrícolas).

No obstante lo anterior, la Capacidad de Intercambio Catiónico indica la posibilidad de respuesta al manejo agronómico de estos suelos, pero con la adición de muchos insumos.

## **4.2 Análisis estadístico de la información recolectada**

### **4.2.1 Caracterización del crecimiento en el área de estudio.**

Para el presente estudio se tomaron en cuenta 647 árboles correspondientes a 25 especies (con abundancias  $\geq 4$  individuos) presentes en el área de estudio y

que corresponden a la vegetación secundaria. La distribución del incremento diamétrico por especies se presenta en el anexo 4. El incremento periódico anual mediano varió entre 0.2 a 2.5 cm.

La especies que presentaron un mayor incremento periódico anual fueron : Vainillo (*Stryphnodendron microstachyum*), Capulín (*Trichospermum grewiifolium*), Gallinazo (*Jacaranda copaia*) e Inga (*Inga thibaudiana*). Las especies con menor incremento periódico anual fueron : Anonillo (*Rollinia pittieri*), Guarumos (*Cecropia insignis* y *Cecropia obtusifolia*) y Ajillo (*Pithecelobium elegans*).

Las especies comerciales con incrementos periódicos anuales medianos más altos fueron : Vainillo (*Stryphnodendron microstachyum*), Gallinazo (*Jacaranda copaia*), Botarrama (*Vochysia ferruginea*), Aceituno (*Simarouba amara*). Las de menor crecimiento como Anonillo (*Rollinia pittieri*) y Ajillo (*Pithecelobium elegans*) (Figura 8).

Los resultados del análisis de conglomerados dieron como producto la diferenciación de tres grupos de crecimiento definidos, en base a la mediana, primero y terceros cuartiles del incremento periódico anual de cada especie. El primer grupo comprende las especies con crecimiento lento, el segundo grupo las especies con crecimiento medio y el tercero las que tuvieron crecimiento rápido.

El análisis discriminante para probar la validez estadística reclasificó una sola especie en otro grupo, el análisis de varianza posterior y la prueba de Duncan comprueban la validez de la agrupación escogida al resaltar la significancia de las variables escogidas para realizar la agrupación.

Como se observa en la figura 8, destaca claramente el bajo crecimiento de especies (*Cecropia* spp) que pertenecen al gremio de regeneración "heliófitas efímeras" (Finegan, 1992) las que presentaron un crecimiento muy lento y similar al de especies del gremio de esciófitas. Este comportamiento dadas las especiales características del bosque secundario en estudio (5 años de edad) refleja la complejidad del proceso de sucesión ecológica que no necesariamente sigue una regla general (1ra, 2da, 3ra fases de la sucesión) sino que es un proceso afectado por múltiples factores ( uso anterior de la tierra, disponibilidad de propágulos en el banco de semillas, distancia a las fuentes semilleras y otros aún desconocidos) que modifican de manera particular este proceso, como es el caso del bosque secundario el Roble.

Las especies comerciales de interés para el presente estudio estuvieron ubicadas en dos grupos de crecimiento, *Vochysia ferruginea* y *Simarouba amara* en el grupo de rápido crecimiento. Por su parte *Laetia procera* y *Tapirira guianensis* correspondieron al grupo de crecimiento lento.

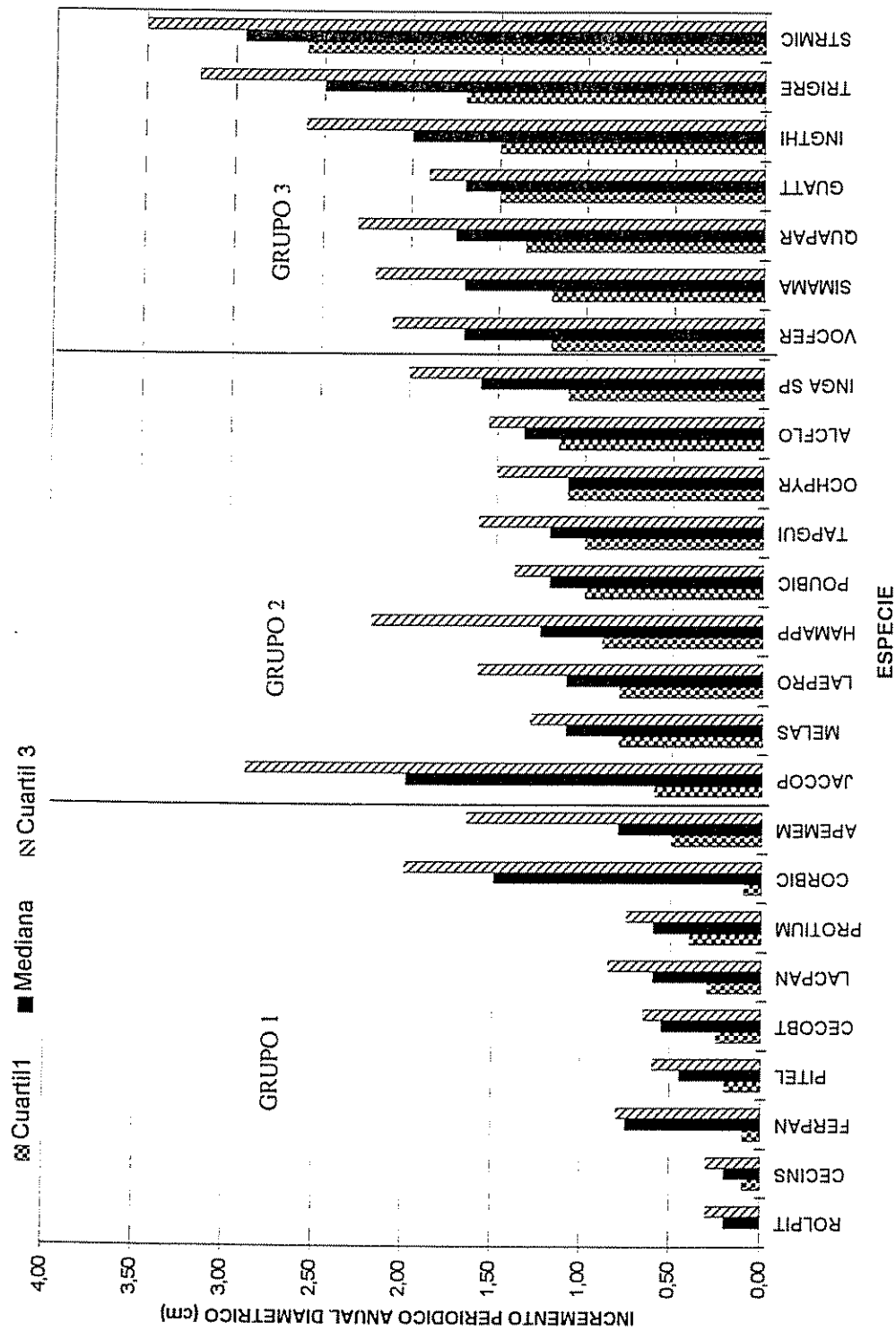


Figura 8. Distribución del crecimiento periódico anual diámetro por especies. El Roble, Sarapiquí.  
(ver códigos de especies en el anexo 3).

## 4.2.2 Caracterización de la variabilidad edáfica y topográfica

### A. Estadísticas descriptivas

Las estadísticas descriptivas de las variables edáficas y topográficas (anexo 4) presentaron variabilidad en casi todos los parámetros edáficos y topográficos, las que presentaron coeficientes de variación más altos fueron : Fósforo disponible (P), pendiente media de la parcela (PENDI), Calcio intercambiable (Ca) y relación Calcio intercambiable : Potasio intercambiable. Las que presentaron menor variación fueron : pH, Capacidad de Intercambio Catiónico, Densidad Aparente y Nitrógeno Total.

### B. Fertilidad actual

El pH de estos suelos indica condición baja para todas las subparcelas y acidez extraíble entre media a alta, lo mismo que esto nos indica desde el punto de vista agronómico problemas de acidez y mayor probabilidad de toxicidad por Al (Bertsch, 1995). Los bajos niveles de Ca, Mg, K y sumatoria de Cationes destacan la condición "desaturada" de estos suelos que unido a su alta acidez representarían problemas para la mayoría de los cultivos agrícolas (Figura 9). Los niveles de P estuvieron por lo general bajos (97%), no obstante para el caso particular de estos suelos pueden ser considerados aceptables (com. pers. Rafael Mata, 1997) y producto de la influencia ándica que tienen estos suelos. Los contenidos de nitrógeno total estuvieron entre medios hasta altos y los valores de Capacidad de Intercambio Catiónico indican posibilidad de respuesta al manejo agronómico pero con la adición de muchos insumos.

Las relaciones catiónicas Ca/Mg presentaron desbalances a causa de una menor cantidad de Ca, en la relación Ca/K por escasez de Ca en relación al K en el 32 % del área de estudio, de la misma manera que en la relación Ca+Mg/K con desbalances en el 25% de las subparcelas por escasez de Ca y Mg en relación al K. Finalmente los valores de capacidad de intercambio

catiónico efectiva (CICE) resumen las condiciones de baja fertilidad actual de estos suelos (Figura 10).

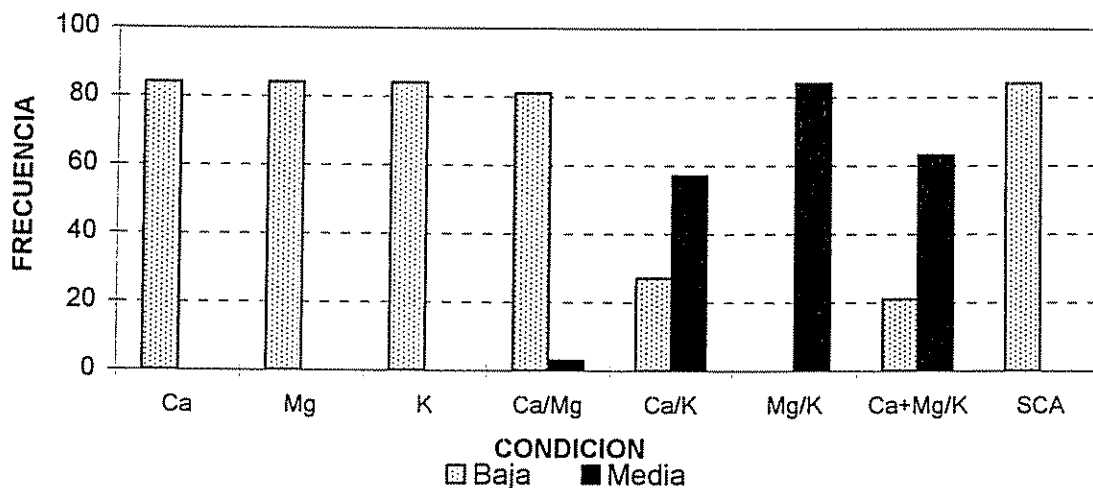


Figura 9. Frecuencia de la condición de Ca, Mg, K, Ca/Mg, Ca/K, Mg/K, Ca+Mg/K y SCA(sumatoria de cationes) en las 84 subparcelas estudiadas.

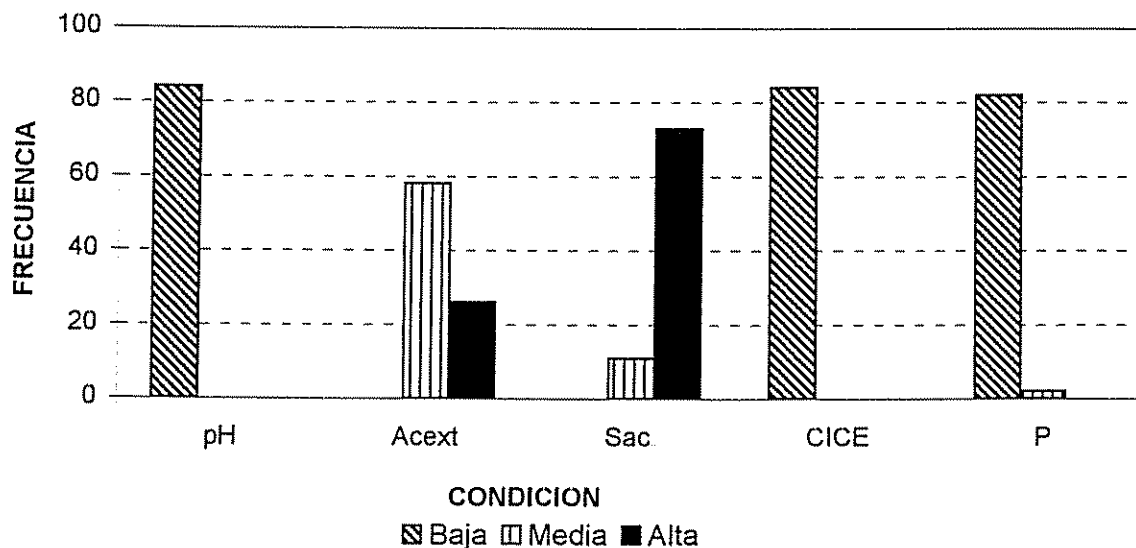


Figura 10. Frecuencia de la condición de pH, Acidez extraíble (Acext), Saturación de acidez (Sac.), Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE) y P disponible en las 84 subparcelas estudiadas.

### **C. Análisis de Componentes Principales**

Con el análisis de componentes principales se estudió la posibilidad de reducir la dimensionalidad del análisis, pero no ofreció ventajas en relación a las variables originales, debido a que se requerían 9 componentes principales para explicar el 91 % de la varianza total del área de estudio, el primer componente sólo explicaba el 30 % de la varianza total y fue un contraste entre Ca, Mg, Sumatoria de Cationes, relación Ca/K , M/K y Ca+Mg/K con Saturación de Acidez. Esto nos indica que en el área de estudio la varianza no está concentrada en un grupo reducido de variables sino que está distribuida en el conjunto de las mismas (Anexo 5).

El análisis de componentes principales tampoco ofrecía ventajas para eliminar problemas de multicolinealidad (Pla, 1986) debido a que no hubieron altas correlaciones lineales entre las variables originales.

#### **4.2.3 Efecto de factores edáficos y topográficos en el crecimiento**

##### **A. Formación de grupos de subparcelas a partir de características edáficas y topográficas**

Se formaron tres grupos de subparcelas que reflejaron el grado de perturbación que experimentaron los suelos de El Roble con el aprovechamiento maderero, que conllevó principalmente la pérdida de los primeros horizontes del suelo (A y AB) con mejores propiedades físicas y químicas

Una vez realizado el análisis discriminante canónico se observó la estructura canónica total para determinar las variables que habían influido más en la separación de los grupos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Estructura canónica total de la agrupación de subparcelas. El Roble, Sarapiquí (las variables originales más correlacionadas con las variables canónicas se representan con negrita).

VARIABLES	CANONICO 1 84 %	CANONICO 2 16 %
Ph	-0.08	<b>0.52</b>
Acidez Extraíble	0.04	<b>-0.67</b>
Calcio	0.27	0.48
Magnesio	0.02	<b>0.60</b>
Potasio	0.31	0.09
Fósforo	0.04	<b>-0.70</b>
Nitrógeno	<b>0.79</b>	0.01
Capacidad de Intercambio Catiónico	<b>0.78</b>	-0.27
Arena	<b>0.89</b>	0.07
Limo	<b>-0.63</b>	0.14
Arcilla	<b>-0.81</b>	-0.14
Profundidad del horizonte A	0.52	-0.04

La variable canónica 1 que explica el 83 % de la varianza entre grupos, fue un contraste de las siguientes características : nitrógeno, capacidad de intercambio catiónico y contenido de arena en contraste con el contenido de limo y arcilla (Cuadro 1, en negrita). Esto nos indicaría que la mayor varianza entre grupos tiene que ver con las variables relacionadas con la fertilidad de los suelos y grado de perturbación y remoción de los primeros horizontes.

La variable canónica 2, que explica el 16 % de la varianza entre grupos presentó las variables pH y magnesio en contraste con la acidez extraíble y el contenido en fósforo. Desde el punto de vista edafológico el contraste entre las bases y acidez extraíble es explicable, pero el hecho que el fósforo tenga el mismo signo que la acidez extraíble es contrario al comportamiento normal del fósforo disponible. Sin embargo una explicación para este hecho se encuentra en las especiales características del perfil de estos suelos (Anexo 1) que indican



un mayor porcentaje de retención de fósforo en los primeros horizontes (73 %) (cenizas volcánicas) que rebaja abruptamente en el horizonte Bt1 (38 %), situación que no ocurre con el fósforo disponible (de 11.2 % a 8.3%), todo lo anterior asociado con un incremento de la acidez extraíble con la profundidad, lo cuál daría la impresión de un incremento del fósforo disponible con la acidez extraíble. Por tanto esta variable canónica refleja las características particulares de estos suelos y no relaciones normales entre estas variables.

Los rangos de las variables correspondientes a cada grupo de subparcelas se detallan en el cuadro 2.

Cuadro 2. Media y rango (en parentesis) de las variables de suelo correspondientes a las agrupaciones de subparcelas seleccionadas

Variables	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
- pH	4.5 (4.2-5.1)	4.4 (4.3-4.6)	4.5 (4.4-4.8)
- Acidez Extraíble	1.29 (0.73-1.75)	1.54 (0.67-2.26)	1.2 (0.81-1.65)
- Calcio	0.41 (0.15-0.92)	0.38 (0.18-0.85)	0.61 (0.28-1.04)
- Magnesio	0.39 (0.17-0.93)	0.30 (0.19-0.63)	0.44 (0.28-0.66)
- Potasio	0.05 (0.03-0.07)	0.06 (0.04-0.09)	0.07 (0.04-0.12)
- Fósforo	2.99 (0.9-5.4)	5.1 (1.5-13.9)	2.2 (1.0-6.3)
- Nitrógeno	0.33 (0.19-0.41)	0.39 (0.33-0.45)	0.43 (0.38-0.49)
- Capacidad de Intercambio Catiónico	26.9 (23.5-32.0)	31.6 (27.2-38.1)	32.7 (29.3-35.5)
- Arena	30.1 (18.0-39.0)	40.1 (27.7-48.7)	49.2 (36.2-64.5)
- Limo	15.2 (11.8-21.9)	12.1 (7.7-19.8)	10.8 (6.0-14.2)
- Arcilla	54.7 (44.4-66.0)	47.8 (38.0-58.0)	39.9 (29.6-49.6)
- Profundidad del horizonte A	11.9 (2.0-24.0)	16.0 (9.0-23.0)	18.5 (12.0-29.0)

El conjunto de variables elegidas fue el que produjo un menor error de reclasificación en la validación cruzada del análisis discriminante. Además la importancia de las mismas desde el punto de vista de fertilidad otorgan la validez biológica a la agrupación realizada (Figura 11)

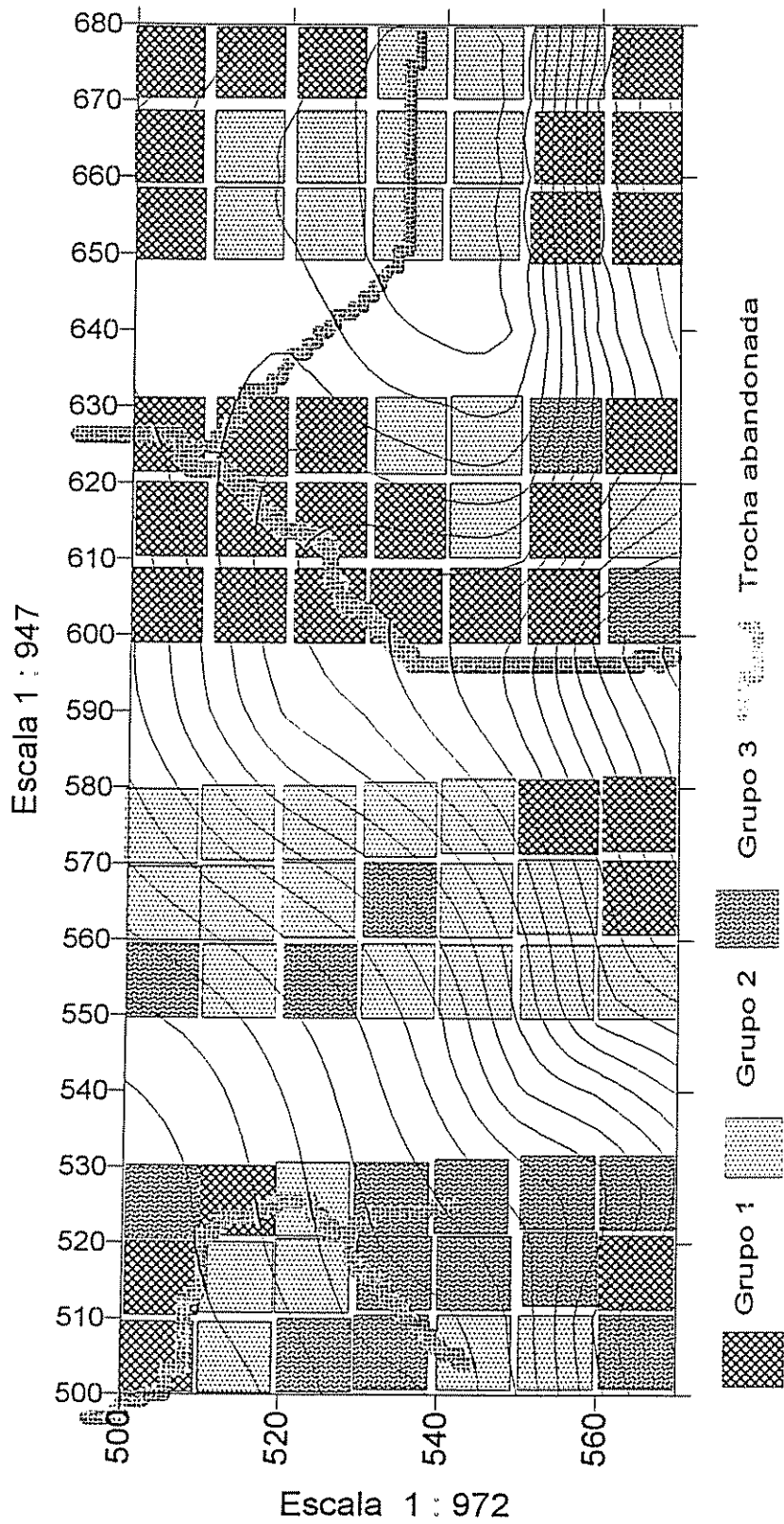


Figura 11. Agrupación de subparcelas de acuerdo a las características edáficas y topográficas. El Roble, Sarapiquí.

Otro aspecto que debe destacarse fue la existencia de un gradiente de fertilidad de que va desde condiciones relativas mejores (grupo 3) a condiciones peores (grupo 1). Asimismo, se observa que la agrupación definida tiene mucho que ver con el grado de intervención que experimentó cada subparcela, esta situación puede visualizarse al observar los caminos de extracción (Figura 11).

Así las subparcelas que correspondieron al grupo 1 presentaron en su mayoría condiciones de alta perturbación, con la pérdida completa de los primeros horizontes, esto explica su menor contenido de arena, nitrógeno y capacidad de intercambio catiónico y por el contrario un mayor contenido de arcilla y limo. Sin embargo algunas subparcelas presentaron estas características por sus condiciones topográficas.

Las subparcelas que estuvieron en el grupo 2 presentaron condiciones intermedias en el gradiente de fertilidad y puede suponerse lo mismo en lo referido a la perturbación. Las subparcelas del grupo 3 por su parte son las que presentaron menor perturbación de acuerdo a sus características de mayor fertilidad.

## **B. Comparación del crecimiento entre los grupos de subparcelas**

Una vez que las subparcelas fueron agrupadas de acuerdo a sus características edáficas y topográficas, se procedió a comparar el crecimiento de las especies seleccionadas entre dichos grupos. Para elegir la prueba de comparación más adecuada se realizó la prueba de normalidad a las variables de incremento (diamétrico, altura y volumen) por especie. Se eligió la prueba Kruskal-Wallis porque las variables presentaron distribución no normal y se comparó el crecimiento entre los grupos de subparcelas de acuerdo al siguiente detalle :

- 1) Todos los individuos de la especie
- 2) Individuos de la especie en categorías de iluminación 1 y 2.

## *Laetia procera*

### Categorías de luz 1 a 5

El incremento diamétrico fué significativamente diferente entre los grupos de subparcelas (prueba Kruskal-Wallis,  $p < 0.05$ ) por tanto las características de suelos afectan el incremento diamétrico de esta especie. (Figura 12). El mayor incremento se presentó en suelos del grupo 2, caracterizados por mayor acidez extraíble, contenido de fósforo y contenido medio de arcilla en relación a las restantes.

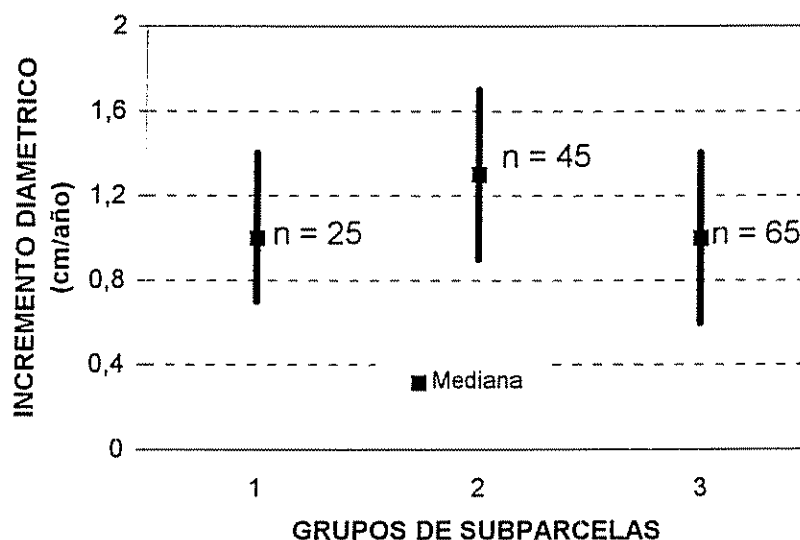


Figura 12. Incremento diamétrico periódico ( 1 año) de *Laetia procera* en cada grupo de subparcelas (se grafican mediana, cuartil 1 y cuartil 3), n representa el número de árboles en cada grupo.

No hubo diferencias significativas en incremento en altura lo cuál indica que esta variable fue poco afectada por las características de los suelos, lo cuál puede deberse a la poca variabilidad del área de estudio o características propias de la especie. No obstante los individuos de *Laetia* presentaron tendencias a un mayor crecimiento en altura en los grupos 1 y 2, pero menor en el grupo 3. De la misma manera el incremento en volumen tampoco fue diferente, pero presentó la misma tendencia que el incremento diamétrico.

### *Categorías de iluminación 1 y 2*

Cuando sólo se consideró individuos en clases de iluminación 1 y 2, se encontraron diferencias significativas (prueba Kruskal-Wallis,  $p < 0.05$ ) para el incremento diamétrico e incremento en volumen (Figuras 13 y 14).

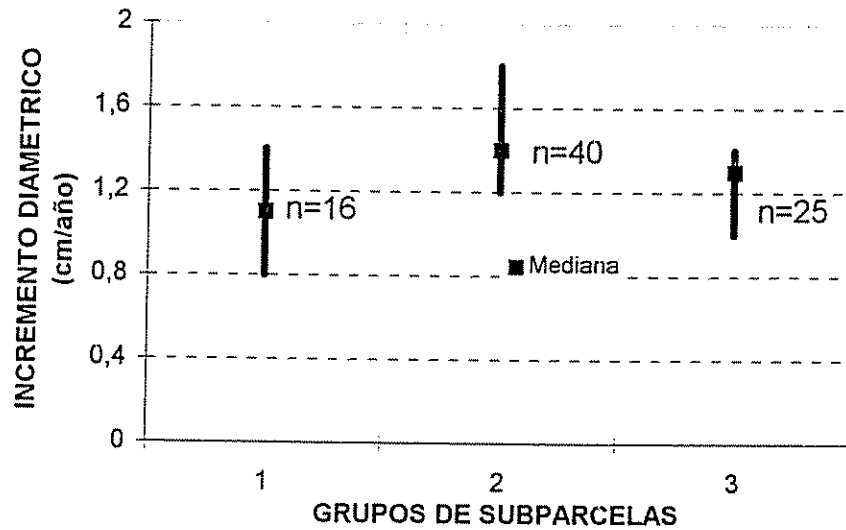
Como se observa en las figuras 15 y 16 la distribución de individuos de *Laetia procera* está asociada con la fuente de dispersión de semillas, las que se establecieron en los 3 grupos de suelos determinados. Sin embargo el crecimiento es mayor en el grupo de suelos 2, relacionado con una remoción moderada del horizonte A y que coincide con una mayor distancia de la trocha abandonada. Debe destacarse que los suelos del grupo 3 situados en la parcela 1, aparentemente son producto de la acumulación de material removido para construir la trocha.

### ***Simarouba amara***

No hubieron diferencias significativas en incremento (diamétrico, altura y volumen) entre los grupos de parcelas para *Simarouba amara*, lo mismo cuando se consideró individuos con clases de iluminación de copas 1 y 2. Sin embargo se observó tendencia a un mayor incremento diamétrico en las parcelas del grupo 3, caracterizadas por una mayor fertilidad y menor perturbación.

### ***Tapirira guianensis***

No se encontraron diferencias significativas en incremento entre los grupos de parcelas cuando se consideraron todos los individuos, ni tampoco cuando se consideraron individuos con iluminación de copa 1 y 2. Lo llamativo fue que no se observaron tendencias a un mayor crecimiento en ninguno de los grupos. Estos resultados indicarían que la variabilidad de suelos de El Roble no afectarían el crecimiento de *Tapirira*.



Figuras 13. Incremento diamétrico de individuos de *Laetia procera* con clases de iluminación 1 y 2, para cada grupo de subparcelas (se grafican mediana, cuartil 1 y cuartil 3) n representa el número de árboles en cada grupo.

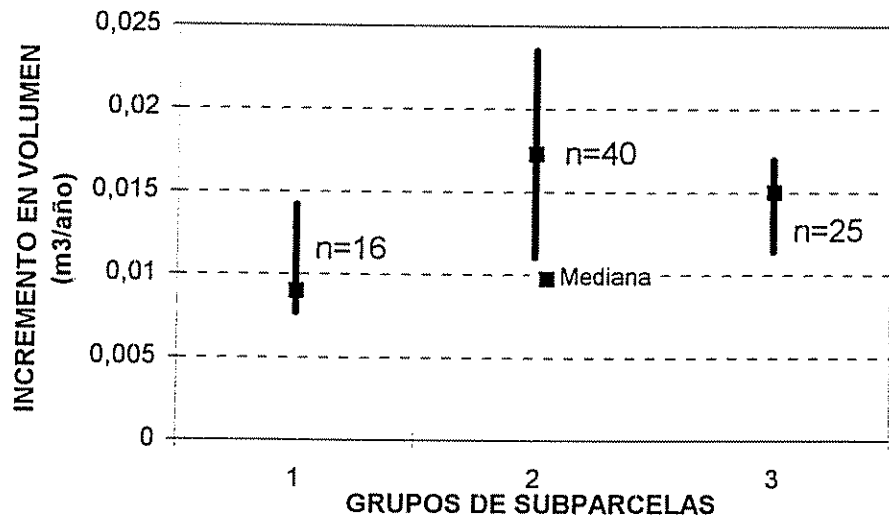


Figura 14. Incremento en volumen de individuos de *Laetia procera* con clases de iluminación 1 y 2, para cada grupo de subparcelas (se grafican mediana, cuartil 1 y cuartil 3) n representa el número de árboles en cada grupo.

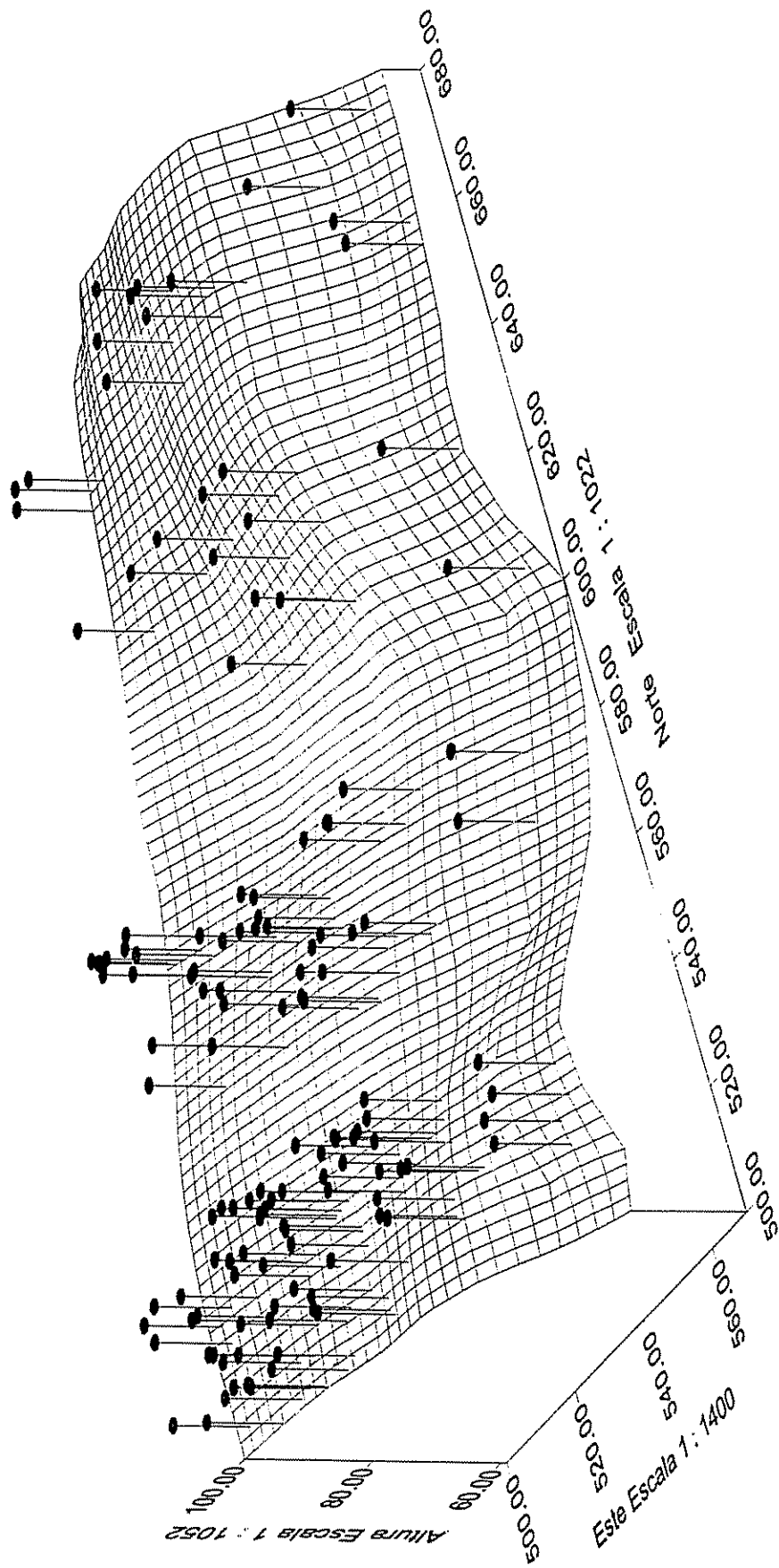


Figura 15. Relieve del área de estudio y distribución de individuos de *Laetia Procera*. El Roble Sarapiquí.

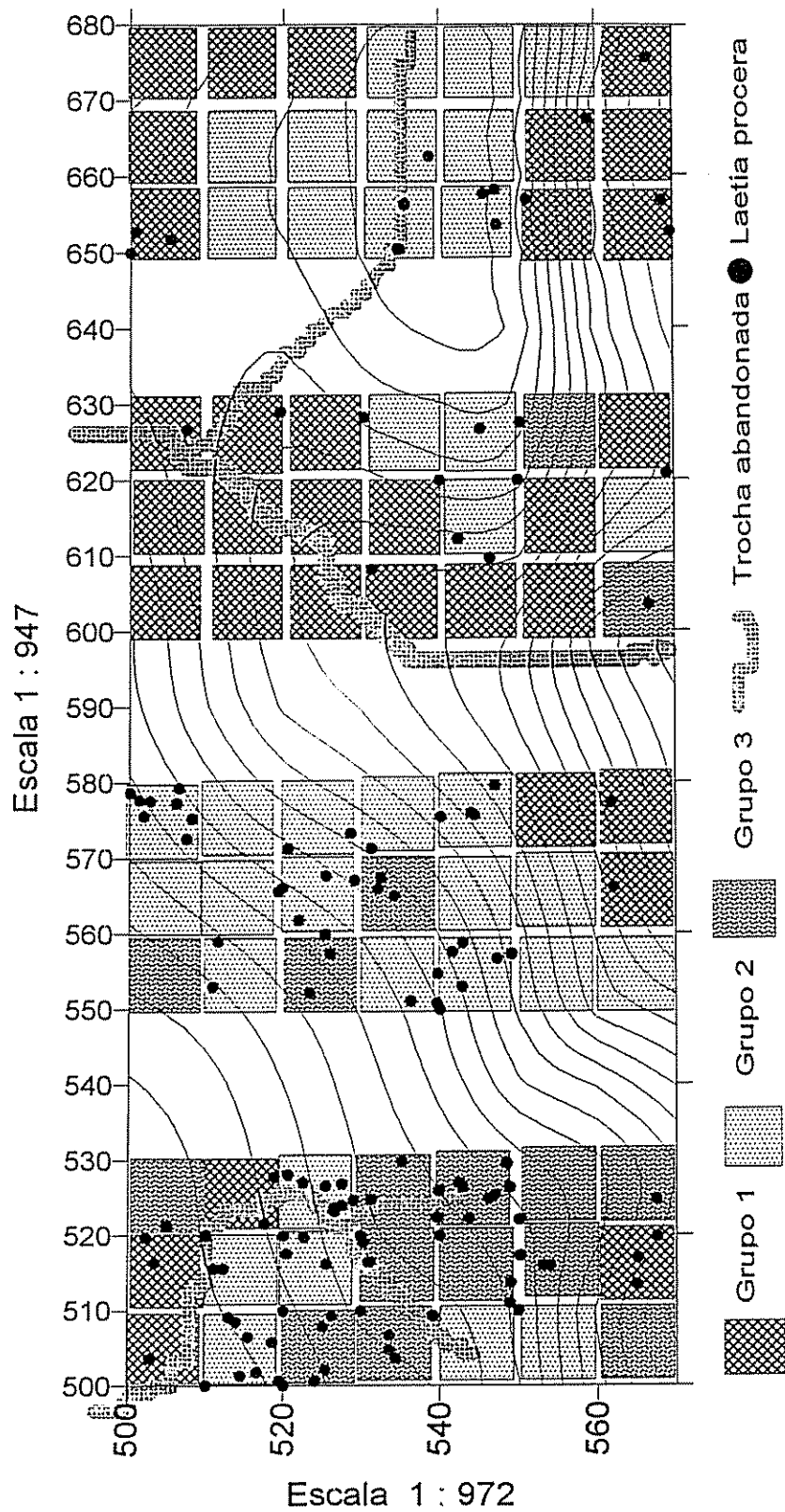


Figura 16. Distribución de individuos de *Laetia procera* en las agrupaciones de subparcelas. El Roble, Sarapiquí.



### *Vochysia ferruginea*

#### Categorías de iluminación 1 a 5

No se encontraron diferencias significativas en el incremento diamétrico, pero por el contrario si hubieron diferencias significativas en el incremento en altura (prueba Kruskal-Wallis,  $p < 0.0297$ ) (Figura 17).

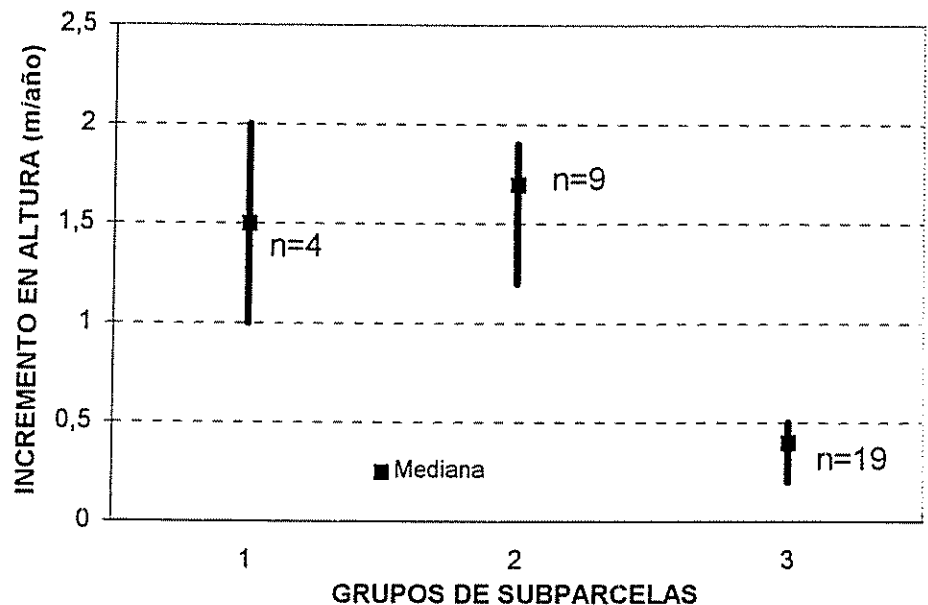


Figura 17. Incremento en altura de individuos de *Vochysia ferruginea* en cada grupo de subparcelas (se grafican mediana, cuartil 1 y cuartil 3) n representa el número de árboles en cada grupo.

#### Categorías de iluminación 1 y 2

Cuando se comparó individuos con copas 1 y 2 no se presentaron diferencias significativas en incremento (diamétrico, en altura o volúmen). Sin embargo se observó tendencias a un mayor incremento diamétrico en individuos de los grupos 1 y 2, que podría deberse a la reducción de datos. Se observó una preferencia de *Vochysia ferruginea* por sitios con pendientes elevadas y mayor acidez extraíble (Figuras 18 y 19).

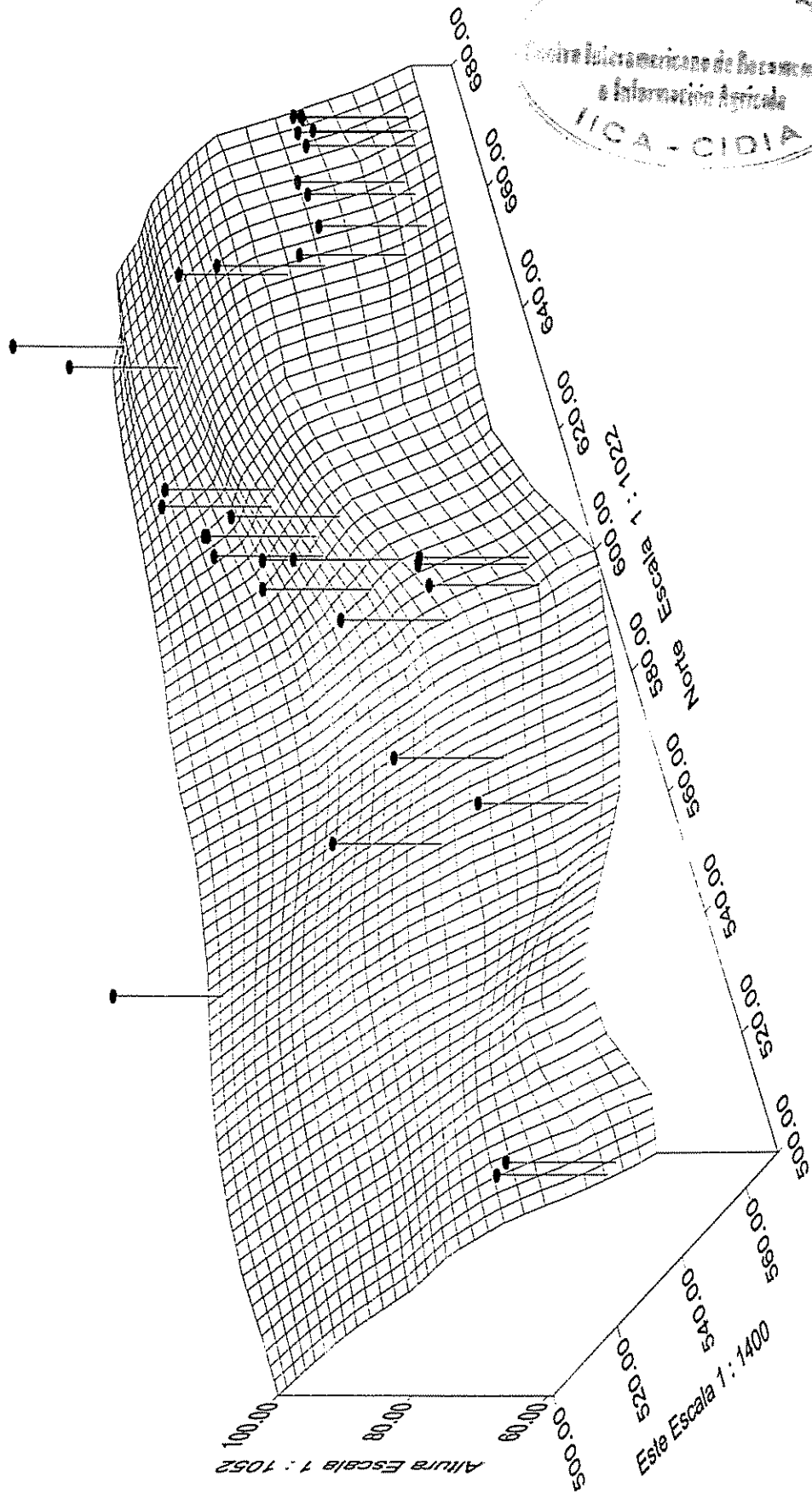


Figura 18. Relieve del área de estudio y distribución de individuos de *Vochysia ferruginea*. El Roble Sarapiquí.

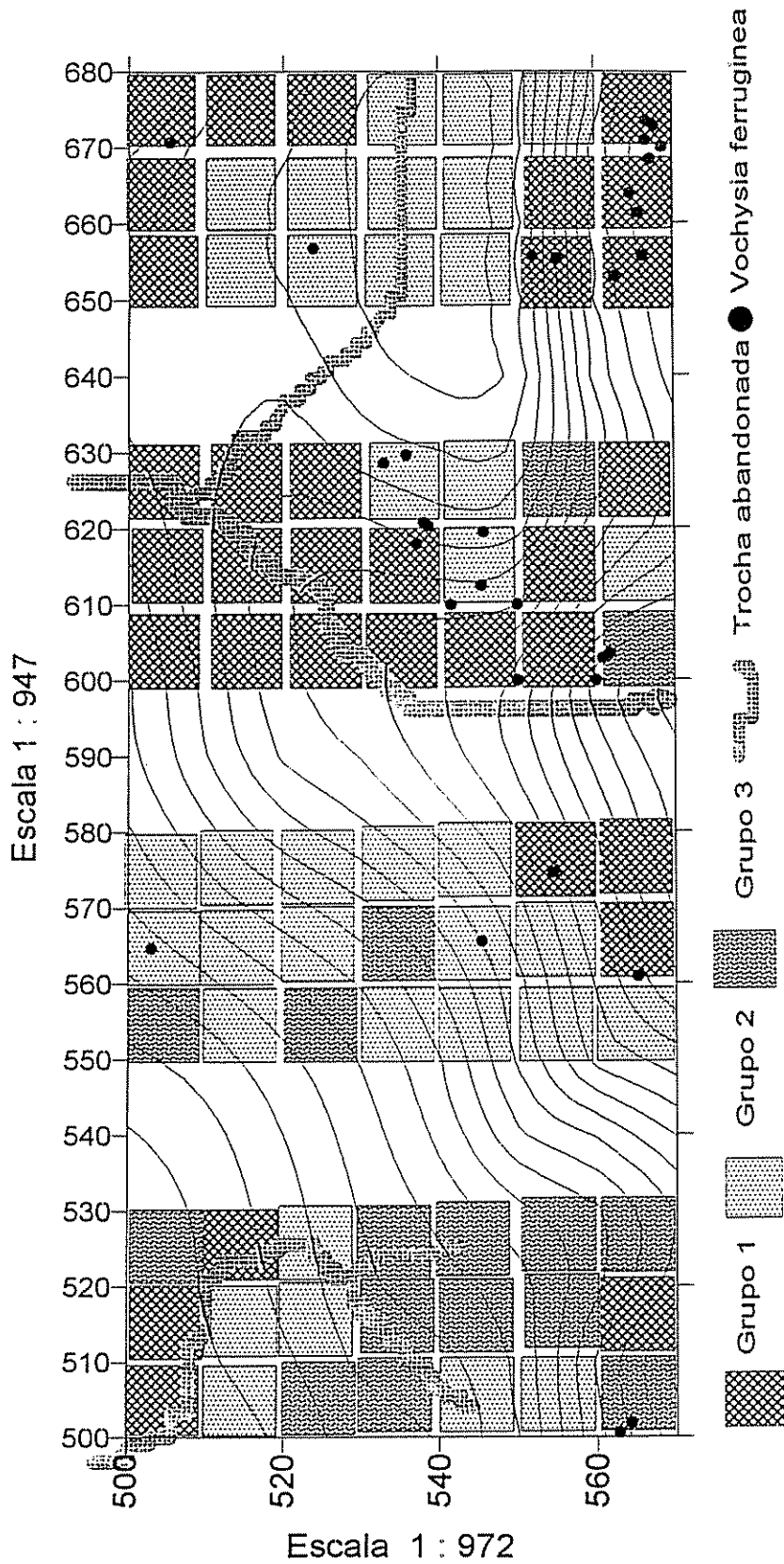


Figura 19. Distribución de individuos de *Vochysia ferruginea* en las agrupaciones de subparcelas. El Roble, Sarapiquí.

#### 4.2.4 Análisis de regresión múltiple

El análisis de regresión se hizo por especie y con datos de incremento (diámetro, altura y volumen) de árboles con clases de iluminación 1 y 2, relacionadas con las variables edáficas y topográficas determinadas. Previo al análisis de regresión y para elegir las posibles variables para el análisis de regresión se realizó un análisis de correlación lineal y diagramas de dispersión respectivos. Los modelos sólo fueron significativos para las especies *Laetia procera* y *Vochysia ferruginea* no ocurriendo de la misma manera con *Tapirira guianensis* y *Simarouba amara* especies para las cuales no se encontró ningún modelo significativo.

##### **A. *Laetia procera***

##### **Incremento en diámetro**

Inicialmente se realizó un análisis de correlación lineal. Las variables que presentaron mayor grado de correlación lineal con el incremento en diámetro fueron : correlación positiva con pH y Acidez extraíble y correlaciones negativas con Mg, contenido de limo, saturación de acidez y relación magnesio : potasio. Cabe destacar que todas las correlaciones lineales tuvieron valores menores a 0.5.

En el análisis previo del incremento en grupos de suelos se encontró que *Laetia* tuvo un mayor incremento en suelos con valores más altos de acidez extraíble y fósforo disponible, por tanto se esperaría que alguna de estas variables explique el incremento individual en diámetro.

El modelo que mejor explicó la variación en incremento diamétrico anual fue el siguiente :

$\text{Incremento diamétrico}(\text{cm/año}) = 2.2866 + 0.4914 \text{ ACEXT} - 1.451 \text{ Mg} - 1.547 \text{ DEAP}$ .  
 $R^2$  ajustado = 20 %.

Donde :

ACEXT = Acidez extraíble en cmol/kg.

Mg = Contenido de magnesio en cmol/kg.

DEAP = Densidad aparente en  $\text{gr/cm}^3$ .

El modelo nos indica que en el área de estudio *Laetia* prefiere suelos (dentro del área de estudio) con mayor acidez extraíble, menor contenido de magnesio y densidades aparentes menores. Generalmente una mayor acidez extraíble indica menor disponibilidad de nutrientes (Bertsch, 1995) pero en el caso particular de estos suelos una mayor acidez extraíble estaría asociada con una menor retención de fósforo. Por otra parte de acuerdo al tipo de muestreo realizado (profundidad constante= 30 cm), estos suelos estarían combinando una profundidad de horizonte A intermedia, con una mayor proporción de características del horizonte AB, incluido su menor contenido de arena. Desde el punto de vista de perturbación de suelos, *Laetia* preferiría suelos con perturbación moderada.

## **B. *Vochysia ferruginea***

### **Incremento diamétrico**

El análisis previo de correlación lineal identificó las siguientes variables : correlación positiva con el contenido de limo, con la densidad aparente, saturación de acidez, relación Mg : K y agrupación de parcelas ; correlación lineal negativa con : pH, acidez extraíble, contenido de calcio, contenido de potasio, sumatoria de cationes y relación calcio : magnesio

El modelo que explicó una mayor proporción del incremento diamétrico fué el siguiente :

$$\text{Incremento diamétrico (cm/año)} = 8.369 - 1.297 \text{ pH} - 16.993 K$$

$$R^2 \text{ ajustado} = 37 \%$$

Donde :

pH = potencial de hidrogeniones (1-14).

K = contenido de potasio en cmol/kg

Este modelo indica que *Vochysia* tendría menor incremento diamétrico en sitios con pH y contenidos de K mayor. Para el caso de El Roble esto indicaría que *Vochysia* tiene mayor incremento diamétrico en suelos que tienen menor influencia de arcillas alofánicas, representada en este caso por los horizontes A y AB, porque perfiles con menor influencia de cenizas volcánicas presentan menores contenidos de K y pH menor. No obstante esta característica también se relaciona con parcelas en pendiente, que tienen menores contenidos de bases y mayor acidez. En el caso del Roble parcelas en medio de la pendiente están expuestas a un mayor lavado y cuentan con menor profundidad del horizonte A (cenizas volcánicas), se confirma anteriores investigaciones (Herrera, 1996). Desde el punto de vista de perturbación de suelos, *Vochysia* preferiría suelos que presentaron mayor remoción del horizonte A y que se asocian con pendientes elevadas.

## 5. DISCUSIÓN

### Variabilidad de los suelos y composición florística

Los resultados obtenidos nos permiten visualizar que los suelos en el bosque secundario El Roble son un mosaico y combinación de diferentes grados de perturbación. Esta información aunque localizada permite suponer que una de las causas de la gran variabilidad florística de los bosques secundarios en cortas distancias (Guariguata *et al.* 1997) podría ser la variabilidad de los suelos. En el caso particular del Roble, el factor suelo determinó que el gremio de heliófitas efímeras (Finegan, 1992) no se manifestara al no permitir un contacto con el suelo mineral que sea favorable para el establecimiento de estas especies. Por otra parte otro aspecto que llama la atención, es que no obstante la proximidad de fuentes semilleras de *Vochysia ferruginea* y *Laetia procera*, el establecimiento de las mismas no fue similar, debido a que se manifiestan preferencias de sitios para cada especie, así *Vochysia* se estableció y crece mejor en sitios en pendiente, al contrario de *Laetia* que prefiere pendientes más suaves.

Las diferencias en crecimiento entre las especies estudiadas nos dan una mejor idea de las respuestas que podríamos esperar en determinados tipos de suelos por tanto esto implica, que hay especies más adecuadas para cierto tipo de suelos y otras que son indiferentes como ocurrió con *Tapirira*.

Esta información es de vital importancia en el conocimiento de las especies forestales del bosque secundario neotropical y el efecto que tiene en ellas el medio ambiente, desde el punto de vista de manejo forestal podría realizarse intervenciones silviculturales dirigidas a favorecer las especies más adaptadas a un sitio en particular.

También desde el punto de vista de manejo forestal es importante tomar en cuenta la variabilidad de los suelos y su efecto en el establecimiento de las especies forestales. En tal sentido se plantean dos investigaciones futuras :

a) determinar el porcentaje de establecimiento de semillas de diferentes especies forestales a diferentes remociones del horizonte A. b) determinar el porcentaje de establecimiento de diferentes especies forestales en diferentes pendientes.

### **Crecimiento arbóreo en El Roble**

El crecimiento arbóreo en El Roble presentó características especiales. Así especies que habitualmente presentan mayores crecimientos como es el caso del genero *Cecropia*, estuvieron localizadas en el grupo de menor crecimiento y tampoco fueron las más abundantes. Esto podría deberse a varias causas :

a) El uso anterior del suelo (no hubo quema) habría tenido un papel fundamental para que no se cumplieran las fases de sucesión ecológica planteadas por Finegan (1992), esto debido al tamaño de las semillas de estas especies que requieren para establecerse exitosamente el contacto con el suelo mineral, situación que no se presentó en El Roble debido a que el suelo no fué sometido a quema.

b) Las semillas por su tamaño están más expuestas a predación por parte de hormigas y otros insectos, lo cuál podría determinar un menor tiempo de permanencia en el suelo si no germinaron inmediatamente.

c) Finalmente los suelos de El Roble son suelos poco fértiles que podrían no ser adecuados para individuos de esta especie.



## **Clasificación de fertilidad de suelos**

Nuevamente quedó comprobado que las clasificaciones de fertilidad de los suelos desde el punto de vista agronómico están muy lejos de reflejar el potencial de un sitio para la producción forestal. Así las especies forestales presentan procesos de adaptación a condiciones de suelos, considerados marginales para la agricultura. Por tanto esto indica la urgencia de continuar investigaciones en la relación suelo-árbol para elaborar clasificaciones de suelos que reflejen el potencial de los suelos para la producción forestal en los bosques secundarios neotropicales.

## **Perturbación de suelos**

El factor perturbación de los suelos para el caso particular de este bosque tuvo un papel importante (seguramente para gran parte de los bosques secundarios que tienen suelos con influencia de cenizas volcánicas recientes) esto debido a las particulares propiedades que le confieren a los suelos (mayor retención de fósforo y mayor cantidad de materia orgánica) por tanto la remoción de estos horizontes podrían generar diferentes condiciones para la germinación de semillas y crecimiento de los árboles. En el caso particular de *Laetia procera* la influencia del horizonte con cenizas volcánicas recientes parece ser determinante en el crecimiento diamétrico de esta especie.

## **Variabilidad de suelos e instalación de parcelas permanentes**

Por lo expuesto anteriormente es importante tomar en cuenta la variabilidad de suelos para orientar la instalación de parcelas permanentes que tengan el propósito de probar tratamientos silviculturales. Esto con el propósito de evitar el confundimiento del efecto del tratamiento con el de factores edáficos o

topográficos, lo recomendable es determinar en que sentido se presenta el mayor gradiente. Una observación recomendable es hacer barrenaciones para determinar como varía la profundidad del horizonte A y la profundidad efectiva de los suelos. Esto serviría de guía para establecer la orientación de las parcelas y bloques que permitan una expresión más clara de la fuente de variación que se quiere probar.

## 6. CONCLUSIONES

- Las características edáficas ejercen influencia en el crecimiento de *Laetia procera* y *Vochysia ferruginea* en el bosque secundario El Roble en Sarapiquí.

- El modelo que explicó mejor la variación en incremento diamétrico para *Laetia procera*. Fue el siguiente :

$\text{Incremento diamétrico(cm/año)} = 2.2866 + 0.4914 \text{ ACEXT} - 1.451 \text{ Mg} - 1.547 \text{ DEAP}$ .  
 $R^2$  ajustado = 20 %.

El modelo que explicó mejor la variación en altura para *Vochysia ferruginea* fue el siguiente :

$\text{Incremento diamétrico (cm/año)} = 8.369 - 1.297 \text{ pH} - 16.993 \text{ K}$   
 $R^2$  ajustado = 37 %

- No se presentaron relaciones significativas entre el crecimiento y las variables edáficas y topográficas del área de estudio para *Tapirira guianensis* y *Simarouba amara*.
- *Laetia procera* prefiere suelos moderadamente perturbados, con mayor acidez extraíble, contenido de fósforo y contenido medio de arcilla en relación a las restantes del área de estudio y prefiere pendientes moderadas que se asocian con una remoción moderada del horizonte A.
- *Vochysia ferruginea* prefiere suelos muy perturbados con pendientes elevadas y mayor acidez extraíble.

## 7. LITERATURA CITADA

- AIDE, T.M. ; ZIMMERMAN, J. ; HERRERA, L. ; M. ROSARIO & SERRANO, M. 1995. Forest recovery in abandoned tropical pastures in Puerto Rico. *Forest Ecology and Management* 77(1) : 77-86.
- ALDER, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento. Con referencia especial a los trópicos. FAO Montes 22/2. Roma, Italia. FAO. 198 p.
- ALFARO, M. 1983. Relación entre factores edáficos e índice de sitio para *Cupressus lusitanica* (MILL) en el valle central, Costa Rica. Tesis Lic. Universidad Nacional Facultad de Ciencias de la Tierra y Mar Escuela de Ciencias Ambientales. 111 p.
- ANAYA, A.L. & ROVALO, M. 1976. Alelopatía en plantas superiores : diferencias entre el efecto de la presión osmótica y los alelopáticos sobre la germinación y crecimiento de algunas especies de la vegetación secundaria de una zona cálido-húmeda de México. *In* : Investigación sobre la regeneración de selvas altas en Veracruz, México. Co. ed. Continental S.A. 676 p.
- AWETO, A.O. 1981. Secondary succession and soil fertility restoration in southwestern Nigeria II. Soil fertility restoration. *Journal of Ecology* 69 : 609-614.
- BEGON, M. ; HARPER, J.L. & TOWNSEND, C.R. 1996. Ecology : Individuals, populations and communities. Oxford, Reino Unido. Blackwell. 1068 p.
- BERTSCH, F. 1995. Manual para interpretar la fertilidad de los suelos de Costa Rica. Editorial Universidad de Costa Rica. 77 p.
- BROWN S. & LUGO A. 1990. Tropical secondary forests. *Journal of Tropical Ecology* 6 : 1-32.
- CLARK, D. ; CLARK, D. ; SANDOVAL, M. & CASTRO M.V. 1995. Edaphic and human effects on landscape-scale distribution of tropical rain forests palms. *Ecology* 76 (8) : 2581-2594.
- DALMACIO, M. 1987. Relationship between some site factors and growth of *Albizia falcataria* (L.) Fosb. Nitrogen fixing tree research reports 5 : 26-28
- DE LAS SALAS, G. 1974. Factores edáficos y climáticos en la clasificación de sitios forestales. *Bosques de Colombia* 1 (Julio) : 15 - 30.

- DIAZ-ROMEY, R. y HUNTER, A. 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. Proyecto Centroamericano de fertilidad de suelos. CATIE, Turrialba. 61 p.
- DONOSO, C. 1981. Ecología forestal. El bosque y su medioambiente. Universidad Austral de Chile. Santiago de Chile. Editorial Universitaria. 369 p.
- DOUROJEANNI, M. 1987. Aprovechamiento del barbecho forestal en áreas de agricultura migratoria. Revista Forestal del Perú 14 (2) : 15-61.
- FAO. 1985. Evaluación de tierras con fines forestales. Estudio FAO Montes 48. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 106 p.
- FASSBENDER, H.W. & TSCHINKEL, H. 1974. Relación entre el crecimiento de plantaciones de *Cupressus Lusitanica* y las propiedades de los suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia. Turrialba 24 (2) : 141 - 149.
- FINEGAN, B. 1992. El potencial de manejo de los bosques secundarios neotropicales de tierras bajas. CATIE. Turrialba, Costa Rica ( Colección Silvicultura y manejo de bosques naturales N° 5). 30 p.
- 1993. Studies of the growth and yield of timber tree species in primary and secondary natural forests in Sarapiquí, Costa Rica. CATIE Scientific Week on December 1993. pp : 45-49
- 1996a. Bases ecológicas para el manejo de bosques tropicales. Apuntes de clase II trimestre. Escuela de Postgrado, CATIE. ( s.p ).
- 1996b. Neotropical secondary succession. Trends in Ecology and Evolution (11) : 119 - 124.
- & SABOGAL, C. 1988. El desarrollo de sistemas de producción sostenible en bosques tropicales húmedos de bajura ; un estudio de caso en Costa Rica. El Chasquí (17) : 3-24
- FORSYTHE, W. 1980. Física de suelos. Manual de laboratorio. IICA. San José, Costa Rica. 212 p.
- GIRALDO, L.G. ; DEL VALLE, J.I. & ESCOBAR, M. 1980. El crecimiento del nogal (*Cordia alliodora Ruiz & Pavon Oken*) en relación con algunos factores climáticos edáficos y fisiográficos en el suroeste de Antioquia (Colombia). Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín 33 (1):21-32.

- GUARIGUATA, M.R. ; CHAZDON, R.L. ; DENSLOW, J.S. ; DUPUY, J.M. y ANDERSON, L. 1997. Structure and floristics of secondary and old-growth forest stands in lowland Costa Rica. *Plant Ecology* 132 : 107-120.
- GOLDEN SOWFTWARE INC., 1995. Surfer for windows. Colorado, USA. (s.p)
- GOMEZ-POMPA, A. & VASQUEZ-YANEZ, 1976. Estudios sobre sucesión secundaria en los trópicos calido-humedos : el ciclo de vida de las especies secundarias In : Investigación sobre la regeneración de selvas altas en Veracruz, México. Co. ed. Continental S.A. 676 p.
- GUILLEN, A.L. & FINEGAN, B. 1992. Los bosques secundarios de la zona norte de Costa Rica. Un nuevo recurso forestal para el país. In Semana científica (8 -10 diciembre de 1996, Turrialba, Costa Rica). Memorias. Turrialba, Costa Rica CATIE. pp : 39 - 41.
- GUILLEN, A. L. 1993. Inventario comercial y análisis silvicultural de bosques húmedos secundarios en la región Huetar Norte de Costa Rica. Tesis Lic. ITCR, Cartago, Costa Rica. 75 p.
- GUJARATI, D. 1992. Econometría. Mc Graw Hill. Mexico. 597 p.
- HENRIQUEZ, C.; BERTSCH, F. Y SALAS R. 1995. Fertilidad de suelos. Manual de laboratorio. Asociación Costarricense de la Ciencia del suelo. San José, Costa Rica. 64 p.
- HERRERA, B. 1996. Evaluación del efecto de sitio en la productividad de las poblaciones de dos especies dominantes en un bosque tropical de la tercera fase de la sucesión secundaria en Costa Rica. Tesis de Mag.Sc. CATIE Turrialba, Costa Rica. 152 p.
- JOHNSTON, M.H. 1992. Soil vegetation relationships in a tabonuco forest community in The Luquillo Mountains of Puerto Rico. *Journal of Tropical Ecology* 8 : 253-263.
- HUTCHINSON, I. 1993. Silvicultura y manejo en un bosque secundario tropical: Caso Pérez Zeledón, Costa Rica. *Revista Forestal Centroamericana* 2 (febrero-abril) : 13-18.
- KOZLOWSKY, T.T. 1962. Tree growth. The Ronald Press Co. N.Y. EE.UU. 442p.
- LAMPRETECH, H. 1990. Silvicultura en los trópicos. trad. por Antonio Carrillo. Eschborn, Alemania. GTZ. 335 p.

- MORAN, E. ; PACKER, A. ; BRONDIZIO, E. & TUCKER, J. 1996. Restoration of vegetation cover in the eastern Amazon. *Ecological Economics* 18 : 41-54
- OLIVEIRA-FILHO, A.T. ; VILELA, E. ; CARVALHO D. & GAVILANES M.L. 1994. Effects of soils and topography on the distribution of tree species in a tropical riverine forest in south-eastern Brazil. *Journal of tropical ecology* 10 : 483-508.
- ORTEGA , H. 1986. Factores edáficos y topográficos que determinan la calidad de sitio en plantaciones jóvenes de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* En Pavones, Turrialba, Costa Rica. Tesis Magister Scientiae. UCR-CATIE. Costa Rica .112 p.
- QUIROS, A. 1997. Determinación de ecuaciones volumétricas para cinco especies forestales del bosque secundario. Informe de práctica de especialidad Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 36 p.
- SALDARRIAGA, J.C. ; WEST, D.C. THARP, M.L. & UHL. C. 1988. Long - term chronosequence of forest sucesion in the upper Rio Negro of Colombia and Venezuela. *Journal of Ecology* 76 : 938-958.
- SAS. INSTITUTE . 1992. SAS user's guide. Raleigh, N.C. USA. (sp.)
- SANCHEZ, M.J. 1995. Estudio de crecimiento y rendimiento en un bosque secundario y su aplicación a la elaboración de un plan de manejo, San isidro-Costa Rica. Tesis de Mag.Sc. CATIE Turrialba, Costa Rica. 96 p.
- SANCHEZ, P.A. ; VILLACHICA, J.H. & BANDY, D.E. 1983. Soil fertility dynamics after clearing tropical rainforest in Perú. *Soil Science of American Journal* 47 : 1171-1178.
- SANFORD, R. L. ; PAABY, P. ; LUVALL, LUVALL, J. & PHILLIPS, E. 1994. Climate, Geomorfology, and Aquatic Systems. *In* : La Selva Ecology and natural history of a neotropical rain forest. Mcdade, L.A., Bawa K.S., Hespenheide H.A, & Hartshorn G.S. (eds.) University of Chicago Press. United States. Pp : 19-33.
- SCOTT, S. 1992. Manejo forestal dinámico de un bosque secundario. Un estudio de caso en Pérez Zeledón. *In* Congreso Forestal Nacional (2do, 1992, Alajuela, Costa Rica). La actividad forestal al servicio de un país en desarrollo. Alajuela, Costa Rica, Litografía LIL SA. Resumen de ponencias. pp : 140-141.

- SCHLATTER, J. 1987. La fertilidad del suelo y el desarrollo de *Pinus radiata* D. Don. Bosque, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 8 (1) : 13-19.
- SITOE, A.A. 1992. Crecimiento diamétrico de especies maderables en un bosque húmedo tropical bajo diferentes intensidades de intervención. Tesis de Mag.Sc. CATIE Turrialba, Costa Rica. 119 p.
- SMITH, J. ; SABOGAL, C. ; JONG, w. y KAIMOWITZ, D. 1997. Bosques secundarios como recurso para el desarrollo rural y la conservación ambiental en los trópicos de America Latina. In : Memorias del taller internacional sobre el estado actual y potencial de manejo y desarrollo del Bosque Secundario Tropical en America Tropical. Pucallpa, Perú 2 al 6 de junio de 1997. GTZ, Pucallpa, Perú. pp : 79-106.
- TOSI, J. 1969. Mapa ecológico de Costa Rica, según la clasificación de zonas de vida del Mundo de L. R. Holdridge. Escala 1 : 750000. San José, Costa Rica. Centro Científico Tropical.
- TSCHINKEL, H. 1972. Factores limitantes del crecimiento de plantaciones de *Cupressus lusitánica* en Antioquia, Colombia. Revista Facultad Nacional de Agronomía 27 (2) : 3 - 56.
- UHL, C. ; BUSCHBACHER, R & SERRAO, E.A.S. 1988. Abandoned pastures in Eastern Amazonia. I. Patterns of plant Succession. Journal of Ecology 76 : 663-681.
- UNESCO/PNUMA/FAO. 1980. Ecosistemas de los bosques tropicales. Informe sobre el estado de conocimientos preparado por UNESCO/PNUMA/FAO. 771 p.
- USDA, 1996. Keys to soil taxonomy. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Washington D.C ,USA. 643 p.
- WILDE, S.A. 1946. Forest soils and Forest growth. Waltham, Mass. USA. 512 p.
- ZECH, W. ; BERGMANN, CH. ; STUHRMANN & SCHNEIDER B.U. 1994. Metodología práctica para la identificación de sitios para reforestación en la Zona Norte de Costa Rica, en especial con melina y laurel. Documento del Proyecto N° 39. COSEFORMA. San José, Costa Rica. 53 p.



## ANEXO 1

### Análisis químico de suelos (extracción con KCl 1M y Olsen modificado)

Identificación	Ca	Mg	K	Acidez	CICE	%Sat. Acidez	ECEC	mg/L					Mn	Zn	M.O.	C.O.
								P	Cu	Fe	Mn	Zn				
A1	0,26	0,16	0,11	2,84	3,37	84,27	9,27	11,2	7,9	512	10,4	1,6	12,41	7,20		
AB	0,13	0,05	0,05	2,29	2,52	90,87	4,57	10,3	15,4	279	5,7	2,7	4,18	2,42		
BT1	0,20	0,11	0,04	3,37	3,72	90,59	5,50	8,3	36,2	277	5,3	2,8	1,99	1,15		
BT2	0,12	0,06	0,03	3,17	3,38	93,79	4,74	9,0	30,5	385	3,4	2,5	1,95	1,30		
BT3	0,10	0,06	0,02	2,09	2,27	92,07	3,42	3,0	39,0	62	2,0	1,9	1,92	1,11		

### Análisis químico de suelos (extracción con Acetato de Amonio 1 M)

Identificación	Ca	Mg	K	Na	CIC	%Sat. Bases	CIC	CIC Correg.
AB	0,13	0,05	0,05	2,29	2,52	90,87	4,57	
BT1	0,20	0,11	0,04	3,37	3,72	90,59	5,50	
BT2	0,12	0,06	0,03	3,17	3,38	93,79	4,74	
BT3	0,10	0,06	0,02	2,09	2,27	92,07	3,42	

## ANEXO 2

### Descripción del perfil

0 - 13 cm A	Pardo muy oscuro en húmedo ; textura arcillo-arenosa ; con bloques subangulares finos y muy finos moderados ; friable, adherente y plástico ; poros gruesos y medios comunes, finos y muy finos abundantes ; actividad de lombrices intensa ; raíces gruesas, finas y muy finas abundantes ; límite claro y plano.
13 - 38 cm AB	Pardo oscuro en húmedo ; textura arcillosa ; con bloques subangulares finos moderados ; friable, adherente y plástico ; cutanes muy finos y discontinuos ; poros gruesos escasos, medios, finos y muy finos comunes ; indicios de actividad de lombrices ; raíces gruesas escasas, medias comunes, finas y muy finas abundantes, límite claro y plano.
38 - 59 cm Bt1	Pardo oscuro ; textura arcillosa ; con bloques subangulares finos moderados ; friable, adherente y plástico ; cutanes finos y discontinuos ; poros medios escasos, finos y muy finos comunes ; indicios de actividad de lombrices ; raíces medias, finas y muy finas comunes ; límite gradual y plano.
59-87 cm Bt2	Pardo oscuro ; textura arcillosa ; con bloques subangulares finos a medios moderados ; firme, adherente y plástico ; cutanes medios y continuos ; poros finos y muy finos comunes ; raíces medias, finas y muy finas escasas ; límite gradual y plano.
87-125 cm Bt3	pardo intenso ; textura arcillosa ; con bloques subangulares medios moderados ; firme, adherente y plástico ; cutanes continuos ; poros finos y muy finos comunes ; concreciones de Fe en nódulos ; raíces medias, finas y muy finas escasas, límite gradual y plano.
125-140 cm Bt4	pardo intenso ; textura arcillosa ; con bloques subangulares medios moderados ; firme, adherente y plástico ; cutanes continuos ; poros finos y muy finos comunes ; raíces finas escasas.

ANEXO 3

Espece	Simbolo	N	Q1	Q2	Q3
<i>Alchorneopsis floribunda</i>	ALCFLO	12	1.15	1.35	1.55
<i>Apeiba membranaceae</i>	APEMEN	16	0.50	0.80	1.65
<i>Cecropia insignis</i>	CECINS	14	0.10	0.20	0.30
<i>Cecropia obtusifolia</i>	CECOBT	8	0.25	0.55	0.65
<i>Cordia bicolor</i>	CORBIC	19	0.10	1.50	2.00
<i>Ferdinandusa panamensis</i>	FERPAN	6	0.10	0.75	0.80
<i>Guatterria sp.</i>	GUATT	27	1.50	1.70	1.90
<i>Hampea appendiculata</i>	HAMAPP	14	0.90	1.25	2.20
<i>Inga sp.</i>	INGA SP	63	1.10	1.60	2.00
<i>Inga thibaudiana</i>	INGATHI	37	1.50	2.00	2.60
<i>Jacaranda copaia</i>	JACCOP	10	0.60	2.00	2.90
<i>Lacmellea panamensis</i>	LACPAN	4	0.30	0.60	0.85
<i>Laetia procera</i>	LAEPRO	139	0.80	1.10	1.60
<i>Melastomataceae ssp</i>	MELAS	16	0.80	1.10	1.30
<i>Ochroma pyramidale</i>	OCHPYR	5	1.10	1.10	1.50
<i>Pithecelobium elegans</i>	PITELE	4	0.20	0.45	0.60
<i>Pouroma bicolor</i>	POUBIC	17	1.00	1.20	1.40
<i>Protium sp.</i>	PROTIUM	8	0.40	0.60	0.75
<i>Qualea paraensis</i>	QUAPAR	4	1.35	1.75	2.30
<i>Rollinia pittieri</i>	ROLPIT	5	0.00	0.20	0.30
<i>Simarouba amara</i>	SIMAMA	65	1.20	1.70	2.20
<i>Stryphnodendron microstachyum</i>	STRMIC	6	2.60	2.95	3.50
<i>Tapirira guianensis</i>	TAPGUI	87	1.00	1.20	1.60
<i>Trichospermum grewiifolium</i>	TRIGRE	19	1.70	2.50	3.20
<i>Vochysia ferruginea</i>	VOCFER	33	1.20	1.70	2.10

**Observaciones :** La reacción al NaF para cada horizonte fue la siguiente :

A1 = Fuerte, AB = Moderada, Bt1 = Moderada, Bt2, Bt3 y Bt4 = leve.

### ANEXO 4

VARIABLE	UNIDADES	MÁXIMO	MÍNIMO	MEDIA	DESVIACIÓN ESTANDAR	COEFICIENTE VARIACIÓN
pH	1-14	5.1	4.2	4.5	0.14	3
Acidez extraíble	cmol/L	2.26	0.67	1.38	0.30	22
Ca	cmol/L	1.04	0.15	0.44	0.20	46
Mg	cmol/L	0.93	0.17	0.37	0.13	35
K	cmol/L	0.12	0.03	0.06	0.01	23
P	cmol/L	13.9	0.09	3.7	2.4	65
N	cmol/L	0.49	0.19	0.37	0.06	15
CIC	cmol/L	38.15	23.56	29.98	3.34	11
Arena	%	64.5	18	37.9	8.79	23
Limo	%	21.9	6	13.1	3.03	23
Arcilla	%	66	29.6	49.0	7.25	15
Densidad Aparente	gr/cm <sup>3</sup>	1.00	0.5	0.7	0.09	14
Profundidad Horiz. A	cm	29	2	14.9	5.4	36
% Pendiente	%	77	6	30.2	18.3	61
Posición en la pendiente	1 a 3	3	1	1.1	0.43	38
Saturación de Acidez (Sac)	%	82.5	33.8	61.7	10.87	18
Sumatoria de Cationes (SCA)	cmol/L	1.9	0.4	0.9	0.32	36
CICE	cmol/L	3.3	1.5	2.3	0.36	16
Ca/Mg		3	0.5	1.2	0.43	36
Ca/K		20.8	2.5	7.3	3.49	48
Mg/K		13.3	2.7	6.2	2.08	34
Ca+Mg/K		34	5.3	13.5	5.10	38

## ANEXO 5

Proporción parcial y acumulativa de la varianza total explicada por los componentes principales.

Componente principal	Proporción	Acumulativa
Prin1	0.301	0.301
Prin2	0.200	0.502
Prin3	0.115	0.617
Prin4	0.081	0.699
Prin5	0.060	0.759
Prin6	0.048	0.808
Prin7	0.044	0.853
Prin8	0.032	0.886
Prin9	0.029	0.915