

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

20 1997

**CRECIMIENTO DE LAUREL (*Cordia alliodora* (Ruiz y Pavón) Oken)  
COMO COMPONENTE MADERABLE DE SISTEMAS AGROFORESTALES  
EN TALAMANCA, COSTA RICA Y CHANGUINOLA, PANAMA**

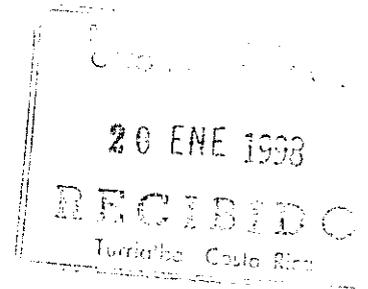
**POR**

**ROBERTO G. VALDIVIESO T.**



Turrialba, Costa Rica  
1997

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA  
CATIE  
PROGRAMA DE ENSEÑANZA  
AREA DE POSTGRADO



**CRECIMIENTO DEL LAUREL**  
**(*Cordia alliodora* [Ruiz y Pavón] Oken)**  
**COMO COMPONENTE MADERABLE DE**  
**SISTEMAS AGROFORESTALES EN**  
**TALAMANCA, COSTA RICA Y CHANGUINOLA, PANAMÁ**

Tesis sometida a la consideración del Comité Técnico de  
Postgrado del Centro de Agronómico Tropical de Investigación  
y Enseñanza para optar al título de

*Magister Scientiae*

por

**Roberto Gonzalo Valdivieso Taborga**

Turrialba - Costa Rica  
1997

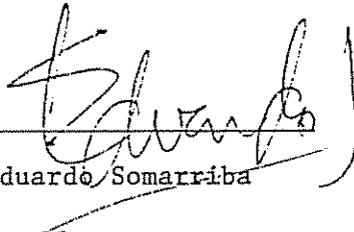
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma, por la Jefatura del Area de Postgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del CATIE y aprobada por el Comité Asesor del estudiante como requisito parcial para optar al grado de:

CIENCIAS

MAGISTER SCIENTIAE

FIRMANTES:

\_\_\_\_\_  
Profesor Consejero

  
Eduardo Somarriba

\_\_\_\_\_  
Miembro Comité Asesor

  
William Vásquez

\_\_\_\_\_  
Miembro Comité Asesor

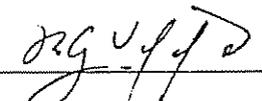
  
Donald Kass

\_\_\_\_\_  
Jefe, Area de Postgrado

  
Juan Aguirre

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

\_\_\_\_\_  
Candidato

  
Roberto Valdivieso

## AGRADECIMIENTOS

Deseo dar gracias a la Fundación Kellogg por financiar mis estudios, al personal docente del CATIE por compartir sus conocimientos y al Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ por permitirme usar los registros de sus ensayos. A mi profesor consejero, Eduardo Somarriba y a los miembros del comité asesor, William Vásquez, Glenn Galloway y Donald Kass por el tiempo dedicado, la orientación y sugerencias. A los asistentes de investigación de CATIE/GTZ, Meivis Ortiz y Heriberto Hernández, al personal de campo y propietarios de las fincas por su colaboración durante la toma de datos. A mi esposa, Carla Carvajal y a mis hijos Andrés y Miguel por su apoyo, comprensión y paciencia.

## RESUMEN

Se evaluó el crecimiento de laurel (*Cordia alliodora*) en seis sistemas agroforestales (SAF) en Talamanca y Changuinola (Zona de vida Bosque Húmedo Tropical): Taungya o asociación con arazá (*Eugenia stipitata*) (TA), plantación pura (PP), linderos o plantaciones en línea (PL), cacaotales nuevos o asociación con cacao (*Theobroma cacao*) (CN), cacaotales viejos o renovación de árboles de sombra en cacaotales ya establecidos (CV) y sistema cacao-laurel-plátano (CLP). El siguiente cuadro resume los resultados:

Crecimiento y mortalidad y raleos acumulados de *C. alliodora*.

SAF	Edad (años)	Densidad inicial <sup>a</sup> (árboles/ha)	Mortali- dad (%)	Raleo (%)	Altura (m)	DAP (cm)	Volumen (m <sup>3</sup> / árbol)
TA	8.7	556	6	48	21.4	28.6	0.638
PP	8.7	1111	15	51	18.6	19.8	0.329
PL <sub>no</sub>	9.1	400	52	21	21.1	27.4	0.608
CN	7.0	278	20	18	22.9	27.4	0.543
CV	7.5	204	26	0	20.5	23.0	0.404
CLP	6.2	69	2	0	23.1	33.2	0.871

<sup>a</sup> La densidad de PL se mide en árboles/km

La relación altura/diámetro fue mayor en PP, es decir que en ese sistema los árboles eran más delgados debido a la competencia por los recursos del sitio (luz y suelo). Los raleos realizados el tercer y cuarto año fueron poco intensos y el del quinto año, tardío y como consecuencia su volumen/árbol fue el menor. La menor relación altura/diámetro se encontró en el CLP, donde los árboles han crecido prácticamente libres de competencia intraespecífica, gracias a su baja densidad inicial.

Se calculó el índice de sitio (IS) de sólo 49 de las 60 parcelas que comprendía este estudio debido a que 11 no sobrevivieron a los 5 años, que se empleó como edad base. Se encontró que el IS estuvo influido por el SAF. Se formuló dos modelos para estimar el IS, uno en función de variables edáficas y fisiográficas y otro que incluía también una variable que ordenaba los SAF por su IS, lo que hizo elevarse el coeficiente de correlación considerablemente.

$$\text{IS} = 12.67276 + 0.18331 \text{ P} - 0.06778 \text{ Arcilla} + 1.09302 \text{ Mg}$$

(R<sup>2</sup> = 43%)

$$\text{IS} = 20.30741 - 1.09212 \text{ SAF} + 0.93712 \text{ Mg} - 0.04985 \text{ Arcilla} - 0.02204 (\text{Ca} + \text{Mg})/\text{K}$$

(R<sup>2</sup> = 73%)

Se observó que fueron causas de mortalidad niveles freáticos altos, drenajes lentos, inundaciones y daños al realizar deshierbes, pero esas variables no se detectaron al comparar las parcelas con alta y baja mortalidad a los 2 años mediante la prueba de t. Sin embargo se detectó que la mortalidad estaba relacionada con suelos arcillosos, deficientes en P y con exceso de bases, que podrían ser consecuencia de terrenos mal drenados.

Se concluye que la selección de sitios fértiles y bien drenados es importante para establecer plantaciones de laurel, pero es aún más importante asociarlo con cultivos y manejarlos adecuadamente.

## ABSTRACT

The growth of laurel (*Cordia alliodora*) was evaluated in six agroforestry systems (AFS) in Talamanca and Changuinola (Life zone Humid Tropical Forest): Taungya or association with arazá (*Eugenia stipitata*) (TA), pure plantation (PP), hedgerows or plantations in line (PL), new associations with cocoa (*Theobroma cacao*) (CN), old associations with cocoa or renovation of trees of shade in cocoa plantations already established (CV) and system cocoa-laurel-plantain (CLP). The following table condense the results:

Growth and accumulated mortality and thinning of *C. alliodora*.

AFS	Age (years)	Initial density <sup>a</sup> (trees/ha)	Mortality (%)	Thinning (%)	Height (m)	DBH (cm)	Volumen (m <sup>3</sup> /tree)
TA	8.7	556	6	48	21.4	28.6	0.638
PP	8.7	1111	15	51	18.6	19.8	0.329
PL	9.1	400	52	21	21.1	27.4	0.608
CN	7.0	278	20	18	22.9	27.4	0.543
CV	7.5	204	26	0	20.5	23.0	0.404
CLP	6.2	69	2	0	23.1	33.2	0.871

<sup>a</sup> The density of PL are measured in trees/ km

The relationship height/diameter was high in PP, indicating in that system the trees were slimmer due to the competition for the resources of the site (light and soil). The carried out thinnings the third and fourth year were not very intense and the one of the fifth year, late, consequently their volume/tree was the minor. The lowest relationship height/diameter was found in the CLP, where the trees have grown practically free of competition, due to the low initial density.

The site index (SI) was calculated using only 49 of the 60 parcels of the study because 11 didn't survive 5 years, which is the index age. It was found that the SI was influenced by the SAF. Two models were formulated to estimate the IS, one in function of soil and physiographic variables and another that also included a variable that ordered the AFS by their SI, which rises considerably the coefficient of correlation.

$$IS = 12.67276 + 0.18331 P - 0.06778 \text{ Clay} + 1.09302 \text{ Mg}$$

( $R^2 = 43\%$ )

$$IS = 20.30741 - 1.09212 \text{ AFS} + 0.93712 \text{ Mg} - 0.04985 \text{ Clay} - 0.02204 (\text{Ca} + \text{Mg}) / \text{K}$$

( $R^2 = 73\%$ )

It was observed that the causes of mortality were high freatic leves, slow drainages, floods and damages to trees caused by the weeds control, but those variables were not detected when comparing the parcels with high and low mortality at the age of 2 years by the t test. However it was detected that the mortality was related with loamy floors, faulty in P and with excess of bases, that they could be consequence of undrained soils.

It was concluded that the selection of fertile and well drained soils is important in order to establish plantations of laurel, but it is still more important associate it with crops and manage them appropriately.

## CONTENIDO

Agradecimientos .....	i
Resumen.....	ii
Abstract.....	iv
Contenido.....	vi
Indice de figuras.....	ix
Indice de cuadros .....	x
Indice de anexos.....	xii
1. Introducción .....	1
2. Crecimiento y mortalidad del laurel en sistemas agroforestales .....	5
2.1 Introducción .....	5
2.2 Materiales y métodos .....	6
2.2.1 La zona de estudio .....	6
2.2.2 Los sistemas agroforestales.....	6
2.2.3 Procedimiento .....	10
2.3 Resultados .....	11
2.3.1 Mortalidad y raleo.....	11
2.3.2 Crecimiento en altura.....	13
2.3.3 Crecimiento en diámetro.....	16
2.3.4 Relación altura/diámetro.....	19
2.3.5 Volumen por árbol .....	22

2.4	Discusión.....	24
2.4.1	Mortalidad.....	24
2.4.2	Crecimiento en altura.....	25
2.4.3	Crecimiento diamétrico.....	26
2.4.4	Relación altura/diámetro.....	27
2.4.5	Crecimiento en volumen.....	28
2.5	Conclusiones.....	30
2.6	Bibliografía.....	31
3.	Manejo, variables edafo-fisiográficas e índices de sitio para laurel en sistemas agroforestales.....	36
3.1	Introducción.....	36
3.2	Materiales y métodos.....	37
3.2.1	Material experimental.....	37
3.2.2	Variables de los sitios.....	37
3.3	Procedimiento.....	38
3.3.1	Cálculo de la altura dominante.....	38
3.3.2	Estimación del índice de sitio (IS) en función de la edad.....	38
3.3.3	Estimación del IS en función de variables de sitio.....	40
3.3.4	Relación de variables de sitio con la mortalidad.....	40
3.4	Resultados.....	41
3.4.1	Índice y clases de sitio.....	41
3.4.2	Características generales de los sitios.....	43
3.4.3	Relación de las variables con el IS.....	44

3.4.4 Correlación de la mortalidad con variables de sitio.....	47
3.5 Discusión.....	48
3.5.1 Índices y clases de sitio.....	48
3.5.2 Características generales de los sitios.....	49
3.5.3 Relación de las variables con IS.....	49
3.6 Conclusiones.....	52
3.7 Bibliografía.....	53
3.8 Anexo.....	58
4. Recomendaciones generales.....	69
5. Conclusiones generales.....	70

## INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Ubicación de los ensayos de sistemas agroforestales con laurel ( <i>Cordia alliodora</i> ) en Talamanca, Costa Rica y Changuinola, Panamá.....	7
Figura 2.2 Densidad de árboles de <i>Cordia alliodora</i> y edad en sistemas agroforestales de Talamanca, Costa Rica y Changuinola, Panamá.....	12
Figura 2.3 Altura total (h) y edad (E) de árboles de <i>Cordia alliodora</i> en sistemas agroforestales de Talamanca, Costa Rica y Changuinola, Panamá. ....	14
Figura 2.4 Diámetro a la altura del pecho (d) y edad (E) de árboles de <i>Cordia alliodora</i> en sistemas agroforestales de Talamanca, Costa Rica y Changuinola, Panamá.....	17
Figura 2.5 Relación altura / diámetro de árboles de <i>Cordia alliodora</i> en sistemas agroforestales de Talamanca, Costa Rica y Changuinola, Panamá. ....	20
Figura 2.6 Volumen por árbol y edad de árboles de <i>Cordia alliodora</i> en sistemas agroforestales de Talamanca, Costa Rica y Changuinola, Panamá. ....	23
Figura 3.1 Altura dominante y límites de clase de sitio para <i>Cordia alliodora</i> en 50 parcelas con sistemas agroforestales en Talamanca, Costa Rica y Changuinola, Panamá. ....	41

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1 Características de los sitios de estudio en Talamanca (T) Costa Rica y Changuinola (C) Panamá.....	8
Cuadro 2.2 Promedio de mortalidad y raleo acumulados por edad (años) y densidad actual (DA) de árboles de <i>Cordia alliodora</i> en sistemas agroforestales de Talamanca, Costa Rica y Changuinola, Panamá.....	13
Cuadro 2.3 Incremento medio anual (IMA) e incremento corriente anual (ICA) de la altura de árboles de <i>Cordia alliodora</i> en sistemas agroforestales de Talamanca, Costa Rica y Changuinola, Panamá.....	15
Cuadro 2.4 Número de mediciones (N), suma de cuadrados (SC) residual y coeficientes para el modelo $h=E^2/(A+B*E+C*E^2)$ que estima la altura total en función de la edad de árboles de <i>Cordia alliodora</i> en sistemas agroforestales de Talamanca, Costa Rica y Changuinola, Panamá.....	16
Cuadro 2.5 Incremento medio anual (IMA) e incremento corriente anual (ICA) del diámetro a la altura del pecho de árboles de <i>Cordia alliodora</i> en sistemas agroforestales de Talamanca, Costa Rica y Changuinola, Panamá.....	18
Cuadro 2.6 Número de mediciones (N), suma de cuadrados (SC) residual y coeficientes para el modelo $d=E^2/(A+B*E+C*E^2)$ que estima el diámetro a la altura del pecho en función de la edad de árboles de <i>Cordia alliodora</i> en sistemas agroforestales de Talamanca, Costa Rica y Changuinola, Panamá.....	19
Cuadro 2.7 Coeficiente de esbeltez o relaciones altura/diámetro (m/cm) por edad (años) de árboles de <i>Cordia alliodora</i> en sistemas agroforestales de Talamanca, Costa Rica y Changuinola, Panamá.....	21
Cuadro 2.8 Número de mediciones (N), $R^2$ ajustado, suma de cuadrados (SC) residual y coeficientes para el modelo $\text{Ln}(h)=A+B*\text{Ln}(d)+C*d$ que estima la altura total en	

## 1. Introducción

### *Descripción del contenido de la tesis*

El contenido de la tesis ha sido dividido en capítulos. En el capítulo presente, se hace una introducción a la situación de la silvicultura en Costa Rica y Panamá en general y específicamente en las zonas de estudio, Talamanca y Changuinola. También se enuncian los objetivos y las hipótesis. Luego se tienen los dos capítulos principales que corresponden a cada uno de los objetivos de la tesis. En el primero de ellos se busca caracterizar los sistemas agroforestales establecidos en las zonas de Talamanca y Changuinola y luego comparar el crecimiento y mortalidad de árboles de *Cordia alliodora* en cada uno de los sistemas. En el tercer capítulo se obtiene el índice de sitio para cada parcela experimental, se correlaciona con variables edáficas y fisiográficas y con la clasificación del sistema agroforestal. Se obtienen modelos que ayuden a explicar el efecto de las variables antes mencionadas sobre el índice de sitio y la mortalidad. El cuarto y quinto capítulos tratan sobre recomendaciones y conclusiones generales, respectivamente.

### *La producción de maderables y los sistemas de finca en Talamanca y Changuinola*

En Panamá y Costa Rica, países donde se realizó el presente estudio, el componente arbóreo maderable no se ha considerado como parte importante en la planificación y manejo de una finca debido a que los recursos maderables eran abundantes hasta hace pocos años y no se destinaba tiempo ni recursos para favorecer su establecimiento o crecimiento. La extracción maderera de bosques naturales y la habilitación de tierras para agricultura y ganadería ha dado lugar a la pérdida de grandes áreas boscosas. La deforestación de 1981 a 1990 ha sido de 500 km<sup>2</sup>/año (2.9% del total del territorio) para

Costa Rica (aunque se está reducido substancialmente, desde 1987 a 1992 se han eliminado solo 180 km<sup>2</sup> de bosque anualmente<sup>a</sup>) y 600 km<sup>2</sup> (1.9%) para Panamá<sup>bc</sup>.

Debido a esos elevados índices de deforestación quedan muy pocos bosques naturales: en 1990, Panamá contaba con 31200 km<sup>2</sup> (40%) de área forestal estando 13300 km<sup>2</sup> (17%) en áreas protegidas<sup>d</sup>, lo que deja un 23% de bosque que podría perderse totalmente en 30 años a la actual tasa de deforestación. La situación es más crítica en Costa Rica, que en 1990 tenía 14300 km<sup>2</sup> (28%) de área boscosa con 12100 km<sup>2</sup> (24%) en áreas protegidas<sup>e</sup>. Si actualmente aún hay extracción de madera en Costa Rica tiene que deberse a una reducción de la tasa de deforestación, a la extracción de madera en áreas protegidas y/o a los esfuerzos para reforestar que alcanzan el 7.5% del área deforestada por año<sup>b</sup>.

En Talamanca el sistema de finca más común es el plátano con cacao en diferentes combinaciones, seguido de cacao con frutales y sombra temporal de plátano. En los pocos casos donde existe cacao viejo, se encuentran árboles grandes y a menudo, laurel. Se encuentran en la zona rodales naturales de laurel, existiendo muy pocos rodales plantados<sup>f</sup>. Desde 1988 se ejecutaron los incentivos (CAF: Certificado de abono forestal) y diversas instituciones promovieron la reforestación (APRETA: Asociación de pequeños reforestadores de Talamanca, APPTA: Asociación de pequeños productores de

---

<sup>a</sup> LUX, M.; PLATEN, H. VON. 1995. Consumo y comercialización de la madera en Baja Talamanca, Costa Rica. CATIE. Serie Técnica Informe Técnico no. 528 (CR). 98 p.

<sup>b</sup> WORLD BANK. 1995. The World Bank Atlas 1996. Washington, DC., EUA., International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank. 36 p.

<sup>c</sup> FAO. 1993. Forest Resources Assessment 1990: Tropical countries. FAO Forestry Paper no. 112. FAO, Roma, Italia.

<sup>d</sup> WORLD BANK. 1995. World Developments Indicators 1994. Socio-economic Time-series Access and Retrieval System (STARS) (Software).

<sup>e</sup> EARLE, J.S. 1991. El laurel; manual práctico para organizaciones campesinas. San José, CR., Desarrollo Forestal Campesino DGF, Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. 31 p.

Talamanca)<sup>f</sup>. El proyecto CATIE/GTZ buscó comparar las tecnologías que tenía al alcance el agricultor para la producción maderable en fincas: plantaciones puras, asociación con cultivos (taungya), linderos y reforestación en cacaotales.

En Changuinola, el 35% de los productores de cacao usan como sombra una combinación de guaba (*Inga edulis*) con laurel<sup>g</sup>, pero los bajos precios y rendimientos dificultan continuar con esa actividad y el aislamiento de la zona no permite visualizar alternativas diferentes al cacao<sup>h</sup>. En esta zona la meta del proyecto CATIE/GTZ fue introducir árboles maderables a los cacaotales de manera de mejorar las condiciones de sombra y de generar ingresos seguros de la madera.

Los ensayos de sistemas agroforestales en Talamanca y Changuinola ya llevan de 6 a 9 años de continua evaluación, pero aún no se ha intentado integrar el conocimiento generado en los mismos. Se espera que el presente trabajo establezca las bases para comprender las relaciones de los árboles de laurel con los elementos de cada sistema agroforestal y con las características del suelo.

A continuación se presentan los objetivos e hipótesis del estudio. El primer objetivo e hipótesis se aplicarán al capítulo dos y el segundo objetivo e hipótesis, en el capítulo tres.

---

<sup>f</sup> KAPP, G.B. 1989. Perfil ambiental de la zona baja de Talamanca, Costa Rica. CATIE. Serie Técnica Informe Técnico no. 155 (CR.). 42 p.

<sup>g</sup> MIRANDA, A. 1992. Caracterización de la producción de cacao en Panamá. Santiago, Veraguas, Panamá. MIDA, PROCACAO. 53 p.

<sup>h</sup> SOMARRIBA, E; BEER, J. 1994. Maderables como alternativa para la sustitución de sombra de cacaotales establecidos; el concepto. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico no. 238 (CR.). 29 p.

### *Objetivos*

Evaluar el crecimiento y mortalidad de árboles de laurel en sistemas agroforestales de Talamanca, Costa Rica y Changuinola, Panamá.

Evaluar la influencia de factores edáficos, fisiográficos y del sistema agroforestal sobre el crecimiento y mortalidad del laurel.

### *Hipótesis*

El crecimiento y mortalidad de los árboles de laurel no es afectado por los diferentes sistemas agroforestales de Talamanca y Changuinola.

Los factores edáficos, fisiográficos y de manejo no influyen de igual manera sobre el crecimiento y mortalidad del laurel en los diferentes sistemas agroforestales.

## 2. Crecimiento y mortalidad del laurel en sistemas agroforestales

### 2.1 Introducción

La producción de madera puede convertirse en una fuente de ingreso significativa para los agricultores del trópico. Sin embargo, el prolongado periodo de tiempo necesario para que los árboles desarrollen y la falta de conocimiento sobre el establecimiento, manejo y productividad de las especies forestales desestimulan a los finqueros. Los sistemas agroforestales, al combinar árboles con cultivos, representan una solución al problema de los largos turnos, ya que se obtienen cosechas anuales mientras que los árboles desarrollan.

El laurel (*Cordia alliodora*) es abundante en la zona Atlántica de Centroamérica, donde crece muy bien y se obtienen las mejores procedencias de semilla (Boshier y Mesen 1987, Poel 1988, Corea *et al* 1993, Cornelius 1995). Durante el proceso de cambio de uso del suelo, el laurel es una de las especies que se conserva para intercalarla con los cultivos. Así, desde México hasta Ecuador es común y tradicional su asociación con pastos, caña de azúcar, café, cacao y cultivos anuales como también en plantaciones puras (Aguirre 1963, Fuentes 1979, Vega 1979, Beer 1981, Combe 1981, Somarriba y Beer 1987, Earle 1991, CATIE 1994) y recientemente con arazá (*Eugenia stipitata*) (Kanten 1994). Tiene características que la hacen favorable para ser componente de sistemas agroforestales: copa abierta y poco densa, fuste recto y libre de ramas en un 50 a 60% de su altura total aún a campo abierto, presenta autopoda y es de crecimiento rápido (Johnson y Morales 1972, CATIE 1994).

Desde 1987 se viene implantando ensayos de crecimiento de *C. alliodora* en seis tipos de sistemas agroforestales en la zonas de Talamanca, Costa Rica y Changuinola, Panamá. El objetivo del presente estudio es evaluar el desarrollo del laurel en dichos ensayos.

## 2.2 Materiales y métodos

### 2.2.1 La zona de estudio

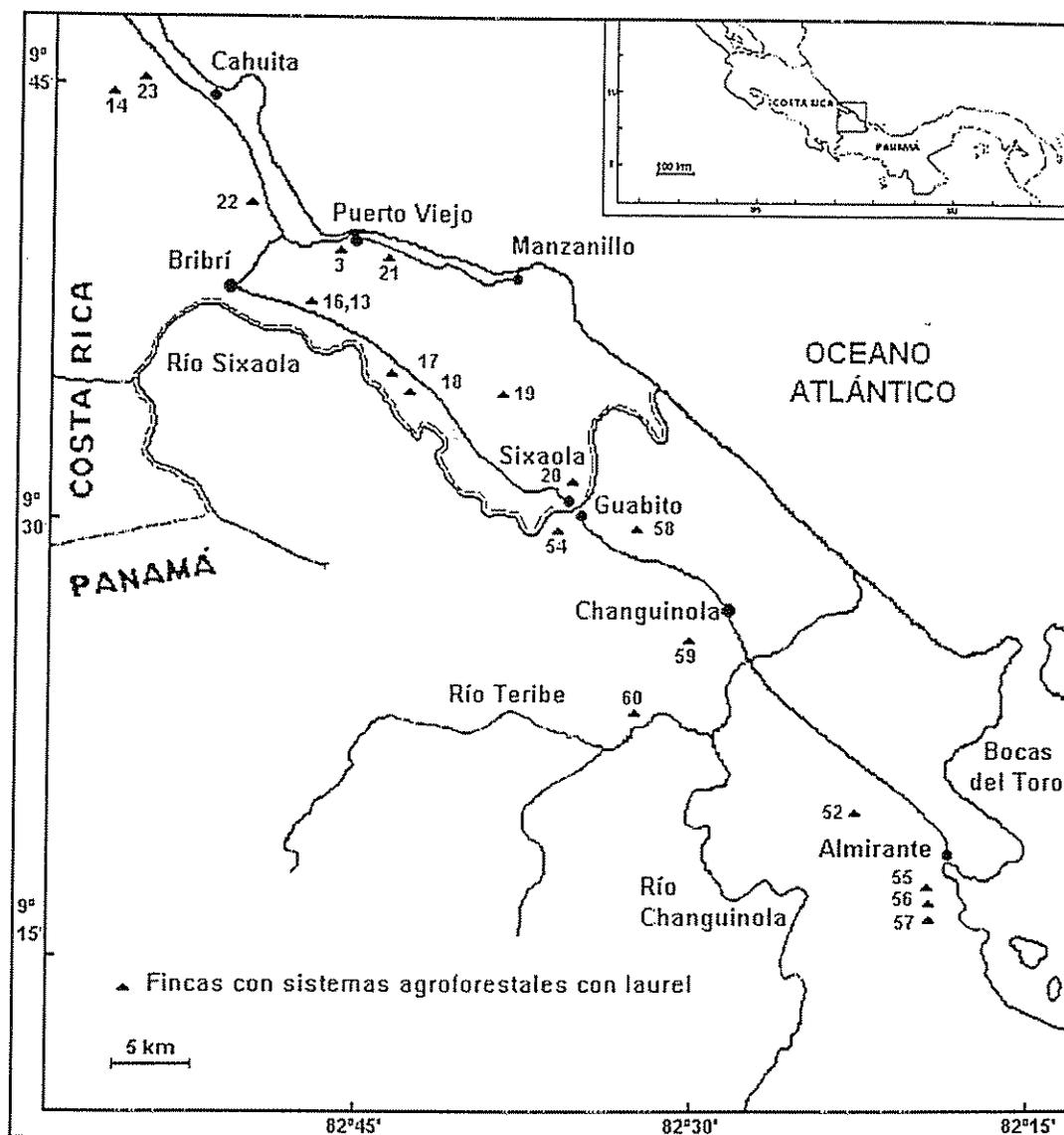
Las parcelas a estudiar están ubicadas en el Cantón Talamanca, Provincia Limón, al suroeste de Costa Rica y en el Distrito Changuinola, Provincia Bocas del Toro, al nor-este de Panamá, región comprendida entre los 9°16' y 9°39' de Latitud norte y los 82°25' y 82°48' de Longitud oeste, entre los 5 y los 280 msnm., en la zona de vida de Bosque Húmedo Tropical. La temperatura media anual está entre los 25 y 30°C, precipitación de 2500 a 3000 mm (Barrantes *et al* 1985, Chinchilla 1987, Kapp 1989, Miranda 1992). Los suelos, en su mayor parte, pertenecen al orden Inceptisol. Son derivados de depósitos aluviales de los ríos que recorren las zonas bajas u originados de rocas volcánicas depositadas sobre rocas sedimentarias del Terciario en las partes altas o lomas (Nieuwenhuys, 1994).

### 2.2.2 Los sistemas agroforestales

Los sistemas agroforestales (SAF) evaluados fueron (Figura 2.1, Cuadro 2.1): Taungya, plantación pura, lindero, cacaotal nuevo y viejo y cacao-laurel-plátano.

El taungya y la plantación pura fueron establecidos en una sola finca, ubicada sobre una terraza alta del Río Sixaola, en la localidad de Olivia. Se plantaron 4 parcelas de cada sistema empleando en todas la procedencia de semilla San Carlos, no. 2939 del Banco Latinoamericano de Semillas Forestales (BLSF). El sistema taungya (TA) consistió en la siguiente secuencia de cultivo: maíz (*Zea mays*), tres ciclos, jengibre (*Zingiber officinalis*), un ciclo y arazá (*Eugenia stipitata*), permanente. Se plantaron 28 árboles útiles por parcela a un espaciamiento de 3x6 m. La plantación pura (PP) tenía 49 árboles útiles distanciados a 3x3 m (Beer *et al* 1994, Lucas *et al* 1995).

Figura 2.1 Ubicación de los ensayos de sistemas agroforestales con laurel (*Cordia alliodora*) en Talamanca, Costa Rica y Changuinola, Panamá.



Para una descripción de las fincas ver Cuadro 2.1.

Cuadro 2.1 Características de los sitios de estudio en Talamanca (T) Costa Rica y Changuinola (C) Panamá.

Ensayo	Localización	Área parcela <sup>a</sup>	No. de Parcelas	Posición fisiográfica	SAF <sup>c</sup>	Densidad <sup>b</sup>	
						Árboles	Cultivo
13	Olivia (T)	504	4	Terraza alta	TA	556	555
13	Olivia (T)	441	4	Terraza alta	PP	1111	-
14	San Rafael (T)	45	3	Cresta montaña	PL	400	-
16	Olivia (T)	45	3	Terraza alta	PL	400	-
17	Catarina (T)	45	3	Terraza media	PL	400	-
18	Paraíso (T)	45	3	Terraza media	PL	400	-
19	San Miguel (T)	45	3	Planicie aluvial	PL	400	-
20	Sixaola (T)	45	3	Planicie aluvial	PL	400	-
21	Cocles (T)	45	3	Planicie aluvial	PL	400	-
22	Hone Creek (T)	45	3	Planicie aluvial	PL	400	-
23	Bordon (T)	45	3	Planicie aluvial	PL	400	-
3	Puerto Viejo (T)	576	3	Planicie aluvial	CN	278	1111
52	Ojo de agua (C)	576	4	Loma	CN	278	1111
54	Guabito Finca 41 (C)	784	2	Planicie aluvial	CV	204	800
55	Nuevo Paraíso (C)	784	1	Loma	CV	204	800
56	Nuevo Paraíso (C)	784	1	Loma	CV	204	800
57	Nuevo Paraíso (C)	784	1	Loma	CV	204	800
58	Guabito Finca 51 (C)	784	1	Planicie aluvial	CV	204	800
59	Theobroma (C)	1296	6	Planicie aluvial	CLP	69	1180/2291
60	Charagre (C)	1296	6	Planicie aluvial	CLP	69	1180/2291

<sup>a</sup> Área útil en m<sup>2</sup>, m para linderos.

<sup>b</sup> Densidad inicial en plantas/ha, plantas/km para linderos.

<sup>c</sup> Sistemas agroforestales (SAF): taungya (TA), plantación pura (PP), plantación en línea (PL), cacaotal nuevo (CN), cacaotal viejo (CV) y cacao-laurel-plátano (CLP).

Plantaciones en línea (PL) o linderos: Se establecieron en nueve fincas con tres parcelas en cada una. En cada parcela se plantaron 18 a 20 árboles útiles distanciados a 2.5 m con dos árboles de borde en los extremos. Tres fincas se encuentran en la planicie costera, una en San Rafael, sobre una loma. En estas cuatro fincas se plantaron laureles de la procedencia San Carlos, no. 2939 del BLSF. Las otras cinco fincas se encuentran en el valle que se extiende desde Bribri hasta Sixaola, con la procedencia Guácimo. Todos los linderos están en Talamanca, Costa Rica (Luján y Camacho 1994, Luján *et al* 1996).

Cacaotales nuevos (CN). Primero se plantó maíz y luego de su cosecha, los árboles de laurel, luego yuca (*Manihot esculenta*) y a los 45 días de la siembra de yuca se plantaron los cacaos. Se establecieron 16 laureles útiles por parcela a un espaciamiento de 6x6 m. Hay una finca con tres parcelas en planicie costera en Puerto Viejo, Talamanca, Costa Rica y otra con cuatro parcelas en las lomas de Fila Almirante, Changuinola, Panamá. En ambas se utilizó la procedencia Talamanca, no. 4108 del BLSF (Somarriba *et al* 1995, Somarriba *et al* 1996).

Cacaotales viejos (CV). Los árboles de sombra de cacaotales antiguos fueron reemplazados por laureles plantados a 7x7 m totalizando 16 árboles útiles. Dos de estos cacaotales se ubican en Guabito, Panamá, planicie aluvial y tres en las lomas de Fila Almirante, Panamá (Somarriba y Beer 1994, Somarriba y Domínguez 1994).

Sistemas Cacao-Laurel-Plátano (CLP). El CLP se estableció en dos fincas siguiendo diferentes secuencias cronológicas de cultivo. En Finca Theobroma la secuencia fue: laurel, ayote (*Cucurbita maxima*), yuca, cacao y plátano. En Charagre, laurel, maíz, yuca, cacao y plátano. El laurel se plantó a 12x12 m teniéndose 9 árboles útiles por parcela. En las dos fincas ubicadas en planicies aluviales en Changuinola, Panamá. La proporción de cacao y plátano en las parcelas fue variable (Somarriba 1994, Somarriba *et al* 1994).

### 2.2.3 Procedimiento

Desde 1987 hasta la fecha se mide anualmente el crecimiento de los árboles en las parcelas experimentales. Se toman medidas del diámetro a 1.3 m (cm), la altura total (m) y la mortalidad (%). Para el análisis se eliminaron mediciones con crecimientos negativos (la medición más reciente es menor que la anterior), replantes o rebrotes después del segundo año (cuando surgen nuevos datos luego que el árbol ha muerto o ha sido raleado) y atípicos (cuando la relación altura/diámetro es exageradamente alta o baja). La mortalidad se calculó sin tomar en cuenta los replantes realizados durante el primer año.

Se analizaron el crecimiento en altura y diámetro, la relación altura/diámetro y el volumen total con corteza ( $m^3$ ) estimado mediante la fórmula de Somarriba y Beer (1986). Se obtuvieron funciones de regresión para estas variables de crecimiento, en forma global y para cada SAF. Para decidir si un modelo general podía ajustarse a los diferentes SAF se realizó la prueba de comparación de las sumas de cuadrados residuales de las ecuaciones de regresión sugerida por Zar (1974):

$$F = [GLs (SCt-SCs)] / [(m+1)(k-1) SCs]$$

siendo: GLs = suma de grados de libertad de las ecuaciones por SAF.

SCt = suma de cuadrados residual de la ecuación general.

SCs = suma de las sumas de cuadrados residuales de las ecuaciones por SAF.

m = número de variables independientes = 1.

k = número de ecuaciones por SAF = 6.

La hipótesis nula es que una sola ecuación basta para estimar a toda la población. Si la F calculada es mayor que la F de tablas con  $\alpha=0.05$ ,  $GL=(m+1)(k-1)$  en el numerador y GLs en el denominador, se rechaza la hipótesis nula.

## 2.3 Resultados

### 2.3.1 Mortalidad y raleo

En la Figura 2.2 se aprecian las diferencias en la densidad inicial de árboles y la variación de la densidad en el tiempo. En TA y PP hay poca mortalidad, 6 y 15% respectivamente, distribuida uniformemente en el tiempo, atribuyéndose a problemas de drenaje y compactación (Nieuwenhuys 1994, Lucas *et al* 1995). Los raleos en estos sistemas empezaron temprano, el tercer año, pero con baja intensidad inicial, hasta eliminar aproximadamente la mitad de los árboles en ambos sistemas, al quinto año (Cuadro 2.2).

Los linderos tuvieron las mortalidades más altas, 52% (Cuadro 2.2), debido a inundaciones, mal drenaje, napa freática alta, compactación de suelos, competencia de bejucos, otras plantas trepadoras y gramíneas, además de manejo inadecuado: daños por quemas, deshierbes a machete (chapeas), eliminación de drenaje y aprovechamientos del dueño de la finca sin notificación a los investigadores del proyecto (Luján y Camacho 1994, Luján *et al* 1996). El raleo se realizó entre el tercer y sexto año, con el objetivo de eliminar árboles torcidos o bifurcados, débiles o enfermos, suprimidos y árboles grandes cuando competían por el mismo espacio con otro, pero no se consideró que el entrelace de copas sea signo de competencia especialmente en los sitios abiertos en los que no existía sombra lateral. Por lo tanto, la reducción en la densidad es muy variable. Las fincas de mayor mortalidad fueron las de Hone Creek y Sixaola donde han sido eliminados el 100% de los árboles y en San Rafael y Bordon sólo quedan 16 y 17%, respectivamente. Si se elimina esas cuatro fincas, la mortalidad en linderos es sólo del 30%, pero aún sería el SAF con mayor mortalidad, esto indica que este sistema de producción de madera tiene problemas biofísicos y de manejo para ser aplicado en la zona.

Cada una de las fincas de CN siguieron patrones distintos de mortalidad. En Puerto Viejo los laureles presentaron mayor mortalidad en los dos últimos años, por lo que no fue

necesario ralearlos. En Ojo de Agua, luego de una mortalidad inicial de 5%, la densidad se mantuvo constante, tomándose la decisión de raleo al sexto año. En CV no se raleó dados la mortalidad y el bajo desarrollo de los árboles. En este sistema la mortalidad se ve incrementada por la muerte del 100% de los árboles en una parcela que se inundó (Finca 51 de Guabito). Eliminando dicha parcela, la mortalidad acumulada en CN es del 13%. En los CLP tampoco hubo necesidad de raleo debido a su baja densidad de plantación (Figura 2.2, Cuadro 2.2).

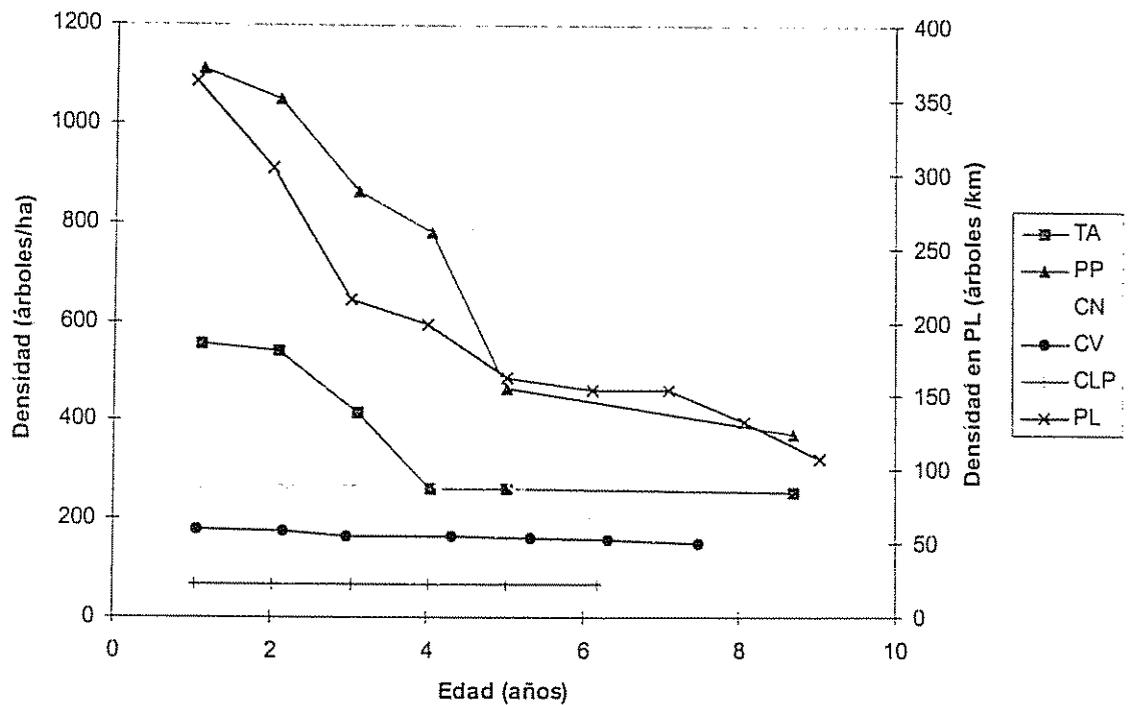


Figura 2.2 Densidad de árboles de *Cordia alliodora* y edad en sistemas agroforestales de Talamanca, Costa Rica y Changuinola, Panamá.

Cuadro 2.2 Promedio de mortalidad y raleo acumulados por edad (años) y densidad actual (DA) de árboles de *Cordia alliodora* en sistemas agroforestales de Talamanca, Costa Rica y Changuinola, Panamá.

SAF/ Edad	Mortalidad (%)									Raleo (%)									DA (n/ha)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
TA	0	3	4	4	4	n	n	n	6	0	0	21	48	48	n	n	n	48	253
PP	0	6	6	7	7	n	n	n	15	0	0	16	22	51	n	n	n	51	374
PL	8	23	34	37	40	40	40	45	52	0	0	11	12	19	21	21	21	107	
CN	3	4	4	4	4	9	20	-	-	0	0	0	0	0	18	18	-	174	
CV	13	15	20	20	22	23	26	-	-	0	0	0	0	0	0	0	-	151	
CLP	0	2	2	2	2	2	-	-	-	0	0	0	0	0	0	-	-	68	

Sistemas agroforestales (SAF): Taungya con arazá (TA), plantación pura (PP), plantación en línea (PL), cacaotal nuevo (CN), cacaotal viejo (CV), y cacao-laurel-plátano (CLP)

n: no se registraron datos ese año

-: los SAF no alcanzaron aún esa edad

### 2.3.2 Crecimiento en altura

Los árboles alcanzaron mayores alturas en CLP (Figura 2.3), siendo sus incrementos, medio y corriente, mayores en el cuarto año (Cuadro 2.3). CN mantuvo la misma velocidad de crecimiento en altura que el CLP hasta el tercer año, que es cuando su IMA e ICA empiezan a disminuir, pero se aprecia el mayor incremento en ICA en el sexto año, luego del raleo, lo cual puede ser producto de la eliminación de árboles de menor altura y no de un aumento en la velocidad de crecimiento en altura de los árboles remanentes, ya que generalmente la altura se ve poco afectada por cambios en la densidad del rodal, por lo menos en plantaciones poco densas.

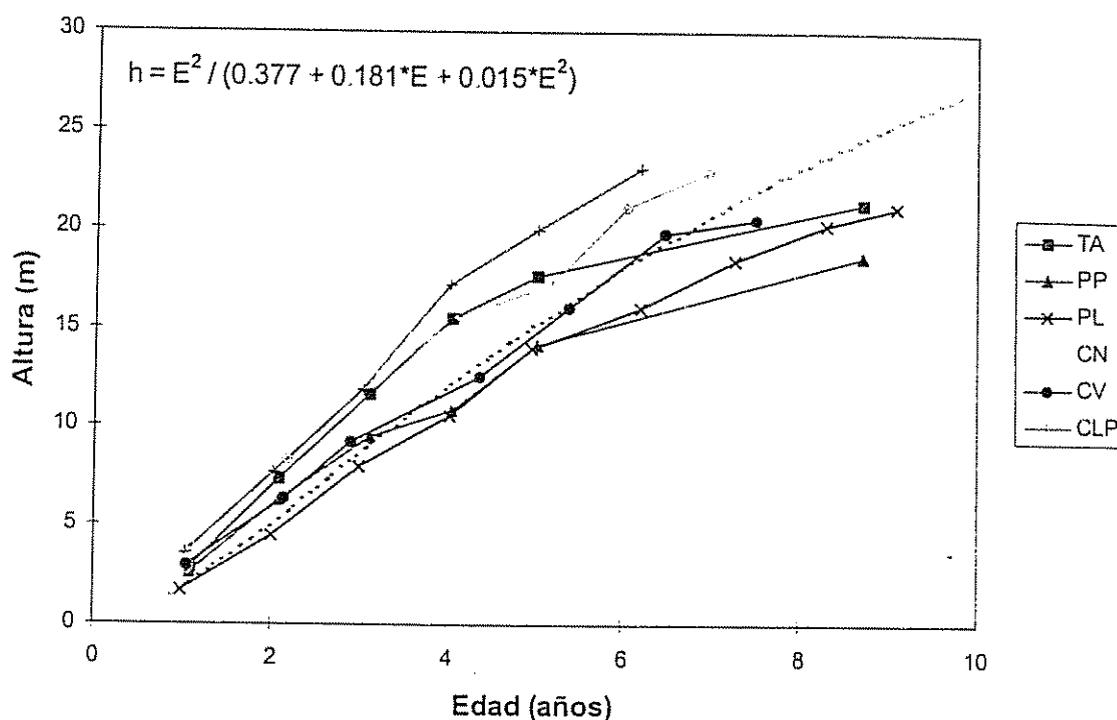


Figura 2.3 Altura total (h) y edad (E) de árboles de *Cordia alliodora* en sistemas agroforestales de Talamanca, Costa Rica y Changuinola, Panamá.

En CV el mayor IMA-h e ICA-h se dan en el tercer año. En el quinto año se observa un aumento en el ICA, causa de abandonar las mediciones de la parcela ubicada en Finca 51 de Guabito por su alta mortalidad. En el séptimo año se observa el ICA más bajo de entre todos los sistemas, sólo 0.7 m/año, lo que podría indicar que la máxima altura hasta la que puede crecer el laurel en esos sitios (especialmente los ubicados en Nuevo Paraíso, en lomas con mucha pendiente y pedregosidad) está cerca de ser alcanzada.

En TA, el mayor ICA-h se alcanzó el segundo año y el IMA-h en el cuarto año. Entre ese periodo, del año 2 al 4, el IMA es casi constante, pero puede deberse más a los raleos (eliminación de árboles bajos) del 48% de la población original realizados entre el tercer y cuarto año, que a un mantenimiento del ritmo de crecimiento de los árboles. PP también tuvo el mayor ICA-h a los 2 años y a los 4 años es solo de 1.4 m, mostrando que la

densidad de árboles estaba afectando incluso el crecimiento en altura (Figura 2.2, Cuadro 2.3). Los raleos que fueron realizados desde el tercer año, mejoraron muy poco el crecimiento, ya que fueron poco intensos (Cuadro 2.2). En los linderos el mayor ICA se registró en el quinto año (Cuadro 2.3), luego de 40% de mortalidad y 19% de raleo (Cuadro 2.2), es decir, que parece un sistema que mantiene su crecimiento a lo largo del tiempo, pero en realidad solo se ve ese efecto por la eliminación de los árboles y parcelas menos productivas.

Cuadro 2.3 Incremento medio anual (IMA) e incremento corriente anual (ICA) de la altura de árboles de *Cordia alliodora* en sistemas agroforestales de Talamanca, Costa Rica y Changuinola, Panamá.

	IMA Altura (m/año)									ICA Altura (m/año)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
TA	2.7	3.5	3.7	3.8	3.5	n	n	n	2.5	2.7	4.5	4.2	4.1	2.3	n	n	n	1.0
PP	2.4	3.0	3.0	2.7	2.8	n	n	n	2.1	2.4	3.7	3.1	1.4	3.4	n	n	n	1.2
PL	1.7	2.2	2.6	2.6	2.8	2.6	2.5	2.4	2.3	1.7	2.8	3.5	2.6	3.6	1.6	2.3	1.7	1.1
CN	3.4	3.8	3.9	3.7	3.3	3.5	3.3	-	-	3.5	4.2	4.1	3.2	1.5	4.6	1.9	-	-
CV	2.8	2.9	3.2	2.9	3.0	3.1	2.7	-	-	2.8	3.1	3.8	2.2	3.5	3.4	0.7	-	-
CLP	3.5	3.8	3.9	4.3	4.0	3.7	-	-	-	3.5	4.1	4.1	5.3	2.9	2.6	-	-	-

Sistemas agroforestales (SAF): Taungya con arazá (TA), plantación pura (PP), plantación en línea (PL), cacaotal nuevo (CN), cacaotal viejo (CV), y cacao-laurel-plátano (CLP)

n: no se registraron datos ese año

-: los SAF no alcanzaron aún esa edad

El modelo general de la altura en función de la edad (Figura 2.3) no explica el crecimiento de cada uno de los SAF: la suma de cuadrados residual del modelo general es muy grande comparado con los obtenidos por cada SAF, de tal manera, que de acuerdo a la prueba de Zar (1974), cada SAF representa un conjunto de datos diferente al representado por el modelo general (Cuadro 2.4).

Cuadro 2.4 Número de mediciones (N), suma de cuadrados (SC) residual y coeficientes para el modelo  $h=E^2/(A+B \cdot E+C \cdot E^2)$  que estima la altura total en función de la edad de árboles de *Cordia alliodora* en sistemas agroforestales de Talamanca, Costa Rica y Changuinola, Panamá.

SAF	N	SC Residual	A	B	C
Gral	318	67.616	0.376937	0.180607 *	0.014854 ns
TA	20	0.090	0.323644	0.068087 ns	0.029546 **
PP	20	0.359	0.221141	0.203189 ns	0.023266 ns
PL	136	40.407	0.595169	0.184334 ns	0.018601 ns
CN	39	1.096	0.203874	0.148182 ns	0.018284 ns
CV	31	2.086	0.083557	0.328690 *	-0.000381 ns
CLP	72	0.686	0.147843	0.150306 ***	0.015057 **

F = 37.4\*\* (los modelos de SAF son estadísticamente diferentes del modelo general)

Sistemas agroforestales (SAF): Taungya con arazá (TA), plantación pura (PP), plantación en línea (PL), cacaotal nuevo (CN), cacaotal viejo (CV), y cacao-laurel-plátano (CLP)

Modelo general (Gral)

Niveles de significancia: no significativo (ns), 5% (\*), 1% (\*\*), 0.1% (\*\*\*)

No aplica para este modelo la prueba de F de la regresión ni  $R^2$

### 2.3.3 Crecimiento en diámetro

Las diferencias entre los SAF se hacen más evidentes al analizar el crecimiento en diámetro, ya que es una variable más influida por los recursos disponibles y la densidad del rodal que la altura. Los SAF siguen el mismo orden que con la altura, con la excepción de que los PL superan a los CV a partir de los 4 años de edad, lo cual puede deberse al efecto de mortalidad y raleos que fueron más intensos en PL que en CV. A los 6 años, el diámetro de los árboles de los CLP es el doble que el de las PP (Figura 2.4).

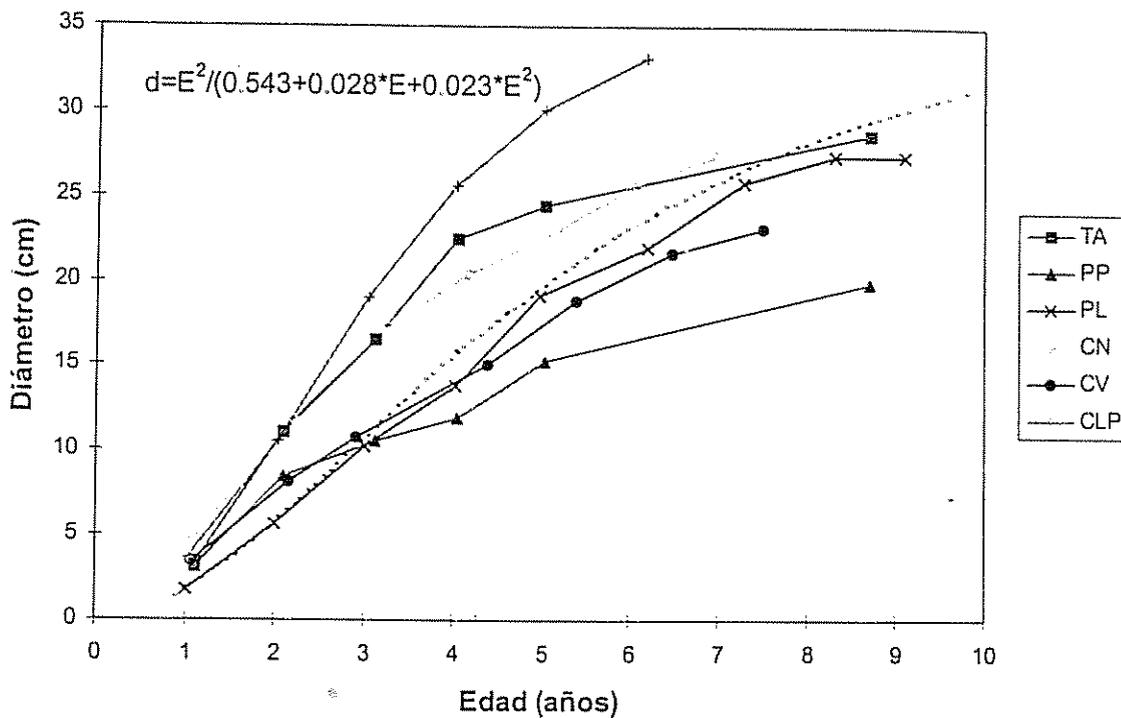


Figura 2.4 Diámetro a la altura del pecho (d) y edad (E) de árboles de *Cordia alliodora* en sistemas agroforestales de Talamanca, Costa Rica y Changuinola, Panamá

Los máximos crecimientos en diámetro se dieron en los primeros años, así en TA, PP, CN y CV el máximo ICA se registró el segundo año, teniendo los mayores crecimientos hasta ese año el CN, seguido del TA, lo que mostraba el potencial productivo de esos sistemas. El tercer año CLP alcanza su máximo ICA y a partir de entonces será el SAF de mayor crecimiento. PL alcanza un máximo el tercer año, pero debido a la mortalidad y raleo (eliminación de árboles más pequeños) alcanza otro máximo al quinto año. El máximo IMA diámetro fue alcanzado por PP, CN y CV al segundo año, por TA y CLP al cuarto año y por los PL al quinto (Cuadro 2.5).

Cuadro 2.5 Incremento medio anual (IMA) e incremento corriente anual (ICA) del diámetro a la altura del pecho de árboles de *Cordia alliodora* en sistemas agroforestales de Talamanca, Costa Rica y Changuinola, Panamá.

	IMA Diámetro (m/año)									ICA Diámetro (m/año)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
TA	3.0	5.3	5.3	5.5	4.9	n	n	n	3.3	3.0	7.8	5.3	6.3	2.1	n	n	n	1.1
PP	2.8	4.0	3.4	2.9	3.0	n	n	n	2.3	2.8	5.4	2.1	1.4	3.4	n	n	n	1.2
PL	1.7	2.8	3.4	3.4	3.9	3.5	3.6	3.3	3.0	1.7	2.8	3.5	2.6	3.6	1.6	2.3	1.7	1.1
CN	4.3	5.4	5.3	4.9	4.5	4.2	3.9	-	-	4.3	6.6	5.0	3.5	2.6	2.9	2.0	-	-
CV	3.2	3.8	3.7	3.5	3.5	3.3	3.1	-	-	3.2	4.4	3.4	2.9	3.6	2.6	1.4	-	-
CLP	3.6	5.2	6.2	6.3	6.0	5.4	-	-	-	3.6	6.8	8.3	6.7	4.5	2.7	-	-	-

Sistemas agroforestales (SAF): Taungya con arazá (TA), plantación pura (PP), plantación en línea (PL), cacaotal nuevo (CN), cacaotal viejo (CV), y cacao-laurel-plátano (CLP)

n: no se registraron datos ese año

-: los SAF no alcanzaron aún esa edad

La tendencia de crecimiento de cada SAF es diferente al modelo general del diámetro en función de la edad de acuerdo a la prueba de Zar (1974) (Cuadro 2.6).

Cuadro 2.6 Número de mediciones (N), suma de cuadrados (SC) residual y coeficientes para el modelo  $d=E^2/(A+B*E+C*E^3)$  que estima el diámetro a la altura del pecho en función de la edad de árboles de *Cordia alliodora* en sistemas agroforestales de Talamanca, Costa Rica y Changuinola, Panamá.

SAF	N	SC Residual	A	B	C
Gral	314	99.146	0.54389	0.02776 ns	0.02349 *
TA	20	0.059	0.43441	-0.09200 ns	0.04173 ***
PP	20	0.233	0.19150	0.13021 ns	0.03389 ns
PL	132	68.774	0.95708	-0.03408 ns	0.02992 ns
CN	39	0.214	0.18366	0.05469 ns	0.02534 ***
CV	31	1.249	0.09394	0.22697 *	0.00983 ns
CLP	72	0.178	0.25533	0.01396 ns	0.02092 ***

F = 12.4\*\* (los modelos de SAF son estadísticamente diferentes del modelo general)

Sistemas agroforestales (SAF): Taungya con arazá (TA), plantación pura (PP), plantación en línea (PL), cacaotal nuevo (CN), cacaotal viejo (CV), y cacao-laurel-plátano (CLP)

Modelo general (Gral)

Niveles de significancia: no significativo (ns), 5% (\*), 1% (\*\*), 0.1% (\*\*\*)

No aplica para este modelo la prueba de F de la regresión ni  $R^2$

#### 2.3.4 Relación altura/diámetro

Los laureles en cacaotales nuevos, en linderos y taungya se mantienen cerca a la línea de regresión, lo que indica que la competencia en esos sistemas es intermedio entre CLP y PP. Luego del raleo, los árboles en CN incrementaron más su crecimiento en altura que su crecimiento diamétrico, lo que indica que ahí se inicia la competencia por los recursos del sitio (Figura 2.5).

En el primer año, el coeficiente de esbeltez de los árboles era muy alto y variable, es decir eran árboles muy delgados. En las parcelas de CLP no hay muestras de competencia, al ir

disminuyendo su coeficiente de esbeltez, es decir que los árboles se hacen cada vez más gruesos, mientras que en las demás si, especialmente en las PP en las que se incrementa la relación altura/diámetro al pasar los dos años de edad y en los CV en los que dicha relación se mantiene (Cuadro 2.7).

A pesar de que la línea de regresión de la altura promedio de los árboles de laurel en base al diámetro promedio tiene un alto grado de ajuste con los datos (95%), se encontró que existen diferencias entre el modelo general y los modelos de cada sistema (Cuadro 2.8).

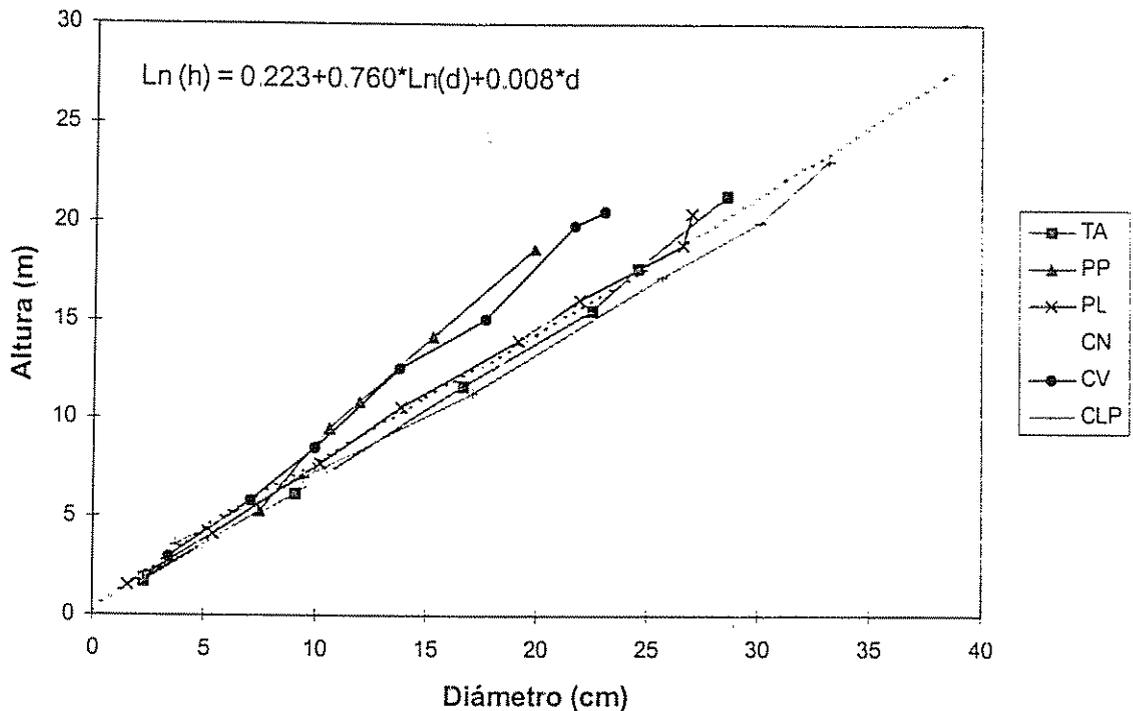


Figura 2.5 Relación altura / diámetro de árboles de *Cordia alliodora* en sistemas agroforestales de Talamanca, Costa Rica y Changuinola, Panamá.

Cuadro 2.7 Coeficiente de esbeltez o relaciones altura/diámetro (m/cm) por edad (años) de árboles de *Cordia alliodora* en sistemas agroforestales de Talamanca, Costa Rica y Changuinola, Panamá.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
TA	97	66	71	67	72	n	n	n	76
PP	100	77	91	92	94	n	n	n	94
PL	152	92	81	79	73	73	71	74	79
CN	92	69	71	75	75	82	82	-	-
CV	112	90	89	85	88	91	89	-	-
CLP	105	75	63	66	66	69	-	-	-

Sistemas agroforestales (SAF): Taungya con arazá (TA), plantación pura (PP), plantación en línea (PL), cacaotal nuevo (CN), cacaotal viejo (CV), y cacao-laurel-plátano (CLP)

n: no se registraron datos ese año

-: los SAF no alcanzaron aún esa edad

Cuadro 2.8 Número de mediciones (N),  $R^2$  ajustado, suma de cuadrados (SC) residual y coeficientes para el modelo  $\ln(h)=A+B*\ln(d)+C*d$  que estima la altura total en función al diámetro a la altura del pecho de árboles de *Cordia alliodora* en sistemas agroforestales de Talamanca, Costa Rica y Changuinola, Panamá.

SAF	N	$R^2$ ajustado	SC Residual	A	B	C
Gral ***	313	95.24	9.317	0.22284	0.75986 ***	0.00820 **
TA ***	20	99.35	0.051	0.28380	0.58099 ***	0.02980 ***
PP ***	20	98.89	0.077	-0.01777	0.70204 ***	0.05132 **
PL ***	131	95.68	4.021	0.28887	0.73599 ***	0.00814 ns
CN ***	39	92.42	1.299	-0.09061	0.79064 ***	0.02161 ns
CV ***	30	95.23	0.728	-0.27457	1.04353 ***	-0.00034 ns
CLP ***	72	97.02	0.911	0.32473	0.67248 ***	0.01262 **

F = 15.2 \*\* (los modelos de SAF son estadísticamente diferentes del modelo general)

Sistemas agroforestales (SAF): Taungya con arazá (TA), plantación pura (PP), plantación en línea (PL), cacaotal nuevo (CN), cacaotal viejo (CV), y cacao-laurel-plátano (CLP)

Modelo general (Gral)

Niveles de significancia: no significativo (ns), 5% (\*), 1% (\*\*), 0.1% (\*\*\*)

### 2.3.5 Volumen por árbol

La mayor formación de volumen individual se observa en el sistema que tiene mayor espaciamiento entre árboles, el CLP, mientras que el más denso, la plantación pura, tiene árboles de menor volumen. En los cacaotales nuevos se observa un ligero repunte en los últimos años, posiblemente debido al efecto del raleo realizado en el quinto año (Figura 2.6). El IMA-volumen por árbol aún está aumentando en la mayoría de SAF, sólo se observan disminuciones en TA y CV, pero el ICA ya ha decaído en todos (Cuadro 2.9).

Los raleos realizados en los años 3 y 4 en TA permitieron aumentar el ICA-volumen, pero al dejar de ralear el quinto año, el ICA disminuyó, lo que indica que los raleos eran oportunos, pero de intensidad muy baja. En CN el ICA ya disminuyó en el cuarto año, pero el raleo permitió un mejor desarrollo de los árboles del sexto al séptimo año. PP tiene el ICA-volumen más bajo y ya había sufrido un decremento el cuarto año, pero los raleos continuos permitieron un alza al quinto año. Los linderos van disminuyendo su ICA-volumen desde el quinto año. CLP mantiene aún creciente el IMA, aunque en las últimas dos mediciones ya mostró decrementos del ICA (Cuadro 2.9).

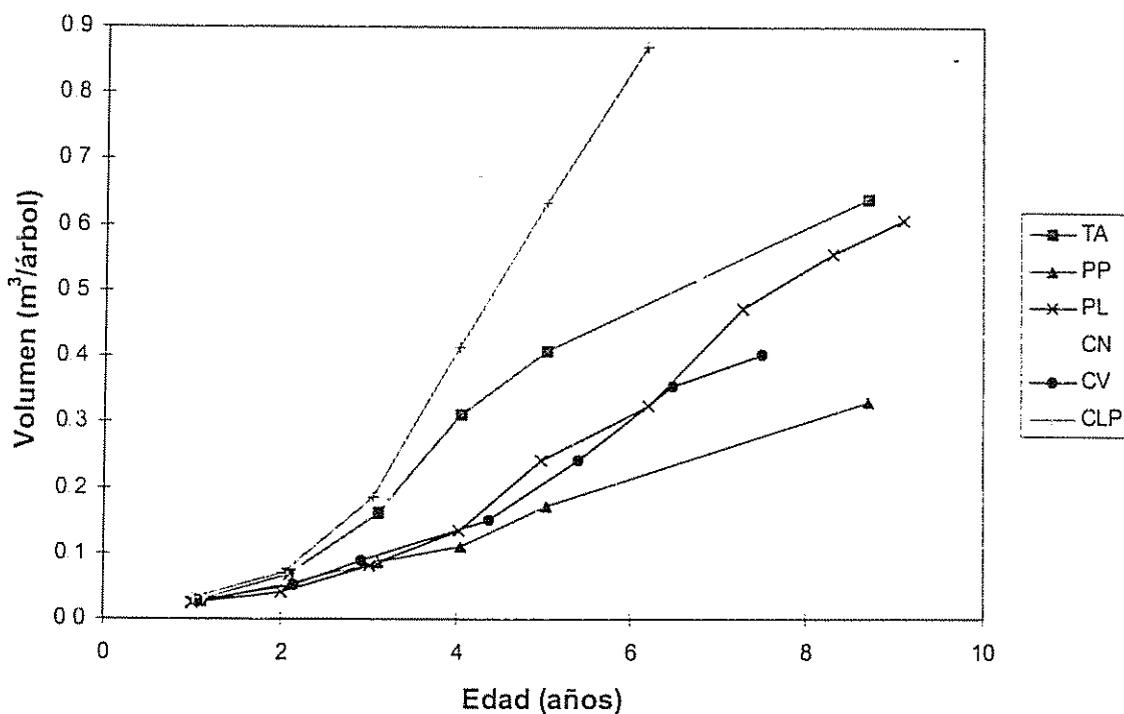


Figura 2.6 Volumen por árbol y edad de árboles de *Cordia alliodora* en sistemas agroforestales de Talamanca, Costa Rica y Changuinola, Panamá.

Cuadro 2.9 Incremento medio anual (IMA) e incremento corriente anual (ICA) del volumen individual de árboles de *Cordia alliodora* en sistemas agroforestales de Talamanca, Costa Rica y Changuinola, Panamá.

SAF/ Edad	IMA Volumen (m <sup>3</sup> /año)									ICA Volumen (m <sup>3</sup> /año)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
TA	0.026	0.033	0.052	0.077	0.082	n	n	n	0.073	0.026	0.040	0.090	0.161	0.101	n	n	n	0.06
PP	0.025	0.025	0.028	0.027	0.034	n	n	n	0.038	0.025	0.025	0.033	0.024	0.065	n	n	n	0.04
PL	0.025	0.020	0.027	0.033	0.049	0.053	0.065	0.067	0.067	0.025	0.014	0.041	0.053	0.114	0.069	0.135	0.081	0.06
CN	0.030	0.038	0.055	0.061	0.065	0.069	0.078	-	-	0.030	0.046	0.091	0.080	0.083	0.090	0.138	-	-
CV	0.025	0.024	0.031	0.034	0.045	0.055	0.054	-	-	0.025	0.022	0.052	0.041	0.092	0.102	0.049	-	-
CLP	0.031	0.034	0.061	0.102	0.126	0.141	-	-	-	0.031	0.037	0.114	0.230	0.225	0.203	-	-	-

Sistemas agroforestales (SAF): Taungya con arazá (TA), plantación pura (PP), plantación en línea (PL), cacaotal nuevo (CN), cacaotal viejo (CV), y cacao-laurel-plátano (CLP)

n: no se registraron datos ese año

-: los SAF no alcanzaron aún esa edad

## 2.4 Discusión

### 2.4.1 Mortalidad

Al cabo de 3 años Caycedo y Poel (1988) registraron una alta sobrevivencia (81 a 96%) en llanuras aluviales y regulares (75%) en terrazas antiguas y colinas bajas. En este estudio hubo parcelas que mostraron mucha mortalidad en ambas unidades fisiográficas: 100% en Hone Creek, planicie aluvial y en la tercera repetición de San Rafael, loma. El aspecto en común es la falta de aireación en las raíces y la dificultad en la absorción de nutrientes, en Hone Creek por drenaje deficiente y en San Rafael por compactación por el ganado. Mora *et al* registraron alta sobrevivencia (94%) en un sitio fértil con suelo profundo y poca pendiente, habiéndose construido un canal de drenaje. En los CLP se mantiene continuamente los canales de drenaje, lo que sin duda ha contribuido a la sobrevivencia de los árboles. Butterfield (1995) no pudo encontrar diferencias en la mortalidad a los 3 años de árboles a pleno sol, 51% y árboles a la sombra, 54%, en el presente estudio tampoco se

observa que el nivel de sombra haya afectado la sobrevivencia, posiblemente porque hay otros factores más determinantes como los problemas de drenaje y los daños al deshierbar.

Por la edad (temprana y adecuada para la producción de madera), intensidad (baja e inadecuada) y frecuencia (anualmente desde el tercer año pero interrumpidos en el quinto) (Cuadro 2.2) a las que fueron ejecutados los raleos, se deduce que en TA el objetivo no era precisamente optimizar el crecimiento de los árboles sino de proveer de las condiciones adecuadas de sombra y humedad para los cultivos. Una vez que las bases de las copas estuvieron lo suficientemente altas para permitir un buen flujo de aire sobre el dosel de los arazás y permitir la entrada de luz oblicua, cesaron los raleos. Para optimizar el crecimiento de laurel la época para ralear debería ser entre el máximo ICA DAP y el máximo IMA diámetro. En CN, esa época óptima es el tercer año, pero se raleó recién en el sexto, porque antes la sombra sobre el cacaotal no era excesiva. Entre los otros SAF con cultivos, el CLP no se raleó por su baja densidad y el CV, porque el lento desarrollo de los laureles no ha logrado hasta ahora proyectar una sombra densa sobre el cacaotal.

PP y PL deberían haber sido raleados con más criterio silvicultural, pero por la edad, intensidad y frecuencia, se deduce que se empleó el mismo criterio que en las parcelas asociadas con cultivos. En este caso se trató que la sombra contribuya al control de maleza. A pesar de tener menor intensidad de raleo, PL tiene mayor crecimiento diamétrico, en altura y menor coeficiente de esbeltez que PP, lo que indica que los árboles reciben más iluminación en ese sistema.

#### 2.4.2 Crecimiento en altura

Los crecimientos reportados en el presente estudio se encuentran entre los más altos reportados en la literatura para laurel. Johnson y Morales (1972) afirman que en Trinidad un árbol alcanzó 24 m de altura los 15 años. En los CLP 41% superan esa altura pese a tener sólo 6 años de edad y en la plantación pura 1%, a los 9 años. El árbol promedio de este estudio superará los 20 m a los 10 años, mientras que el modelo de Somarriba y Beer

(1986), estima 17 m a esa edad. Puede deberse a varios factores: a que en este caso existe un manejo más adecuado del componente arbóreo, a que las parcelas de este estudio son experimentales, a que la zona de este estudio presenta mejores condiciones ecológicas y a las bajas densidades de plantación en algunos SAF. Además el modelo de esos autores abarcaba cultivos con mucha capacidad de competencia por nutrientes como son la caña y los pastos y los eran árboles de regeneración natural. El promedio general también fue superior al que obtuvieron Vega (1978), Salas y Valencia (1979) y Vega y Bodegom (1987) que evaluaron el crecimiento en sistemas agroforestales. PP alcanzó mayor altura a la que reportaron Wadsworth (1960) y Vega (1977 citados por Betancourt 1983).

Sin embargo, otros ensayos obtuvieron crecimientos similares a los de éste estudio. La altura promedio de PP fue similar a las evaluaciones de plantaciones que realizó Poel (1988) y el taungya ensayado por Mora *et al* (1995) logró mayor crecimiento en altura que en cualquier SAF de este estudio a los 2 años de edad.

#### 2.4.3 Crecimiento diamétrico

El crecimiento en diámetro de estos árboles fue superior a lo estimado por el modelo de Somarriba y Beer (1987) y a las mediciones de Vega (1978) y Vega y Bodegom (1987), que trabajaron con SAF.

Igualmente el diámetro de la plantación pura fue superior a lo obtenido por Lamb *et al* (1960) en Trinidad, Wadsworth (1960 citado por Betancourt 1983) en Puerto Rico, Vega (1977 citado por Betancourt 1983) y Poel (1988), pero inferior al ensayo de Wadsworth (1960 citado por Betancourt 1983) en Costa Rica. Johnson y Morales (1972) indican que el mejor árbol de una plantación medía 17 cm de diámetro a los 3 años. En la plantación pura de la presente evaluación 43% de los árboles superan ese diámetro.

Holdridge (1958) indicó que entre los 2 y 3 años de edad el diámetro promedio de 33 árboles de *C. alliodora* se incrementó de 13.8 a 15.1 cm y un año más tarde a 16.4 cm. Es

extraordinario obtener 13.8 cm al segundo año, ninguna de las parcelas de este estudio alcanza ese promedio. Pero después, su crecimiento es muy lento: 1.3 cm/año, el ICA promedio al tercer año de todos los SAF del presente estudio es de 4.6 cm/año. Es posible que a los 2 años, la plantación que reportó Holdridge (1958) ya había entrado en competencia.

Caycedo y Poel obtuvieron un IMA promedio de 3.87 cm/año al tercer año en sus mejores parcelas, cifra mayor al IMA diámetro a los 3 años de edad de PP, PL y CV, pero inferior a TA, CN y CLP (Cuadro 2.5). Los 10.2 cm reportados por Mora *et al* (1995) a los 2 años, superan a todos los sistemas, con excepción de los cacaotales nuevos que fueron el mejor sistema hasta ese año.

Cuando el IMA diámetro empieza a descender Sánchez (1994) considera que el rodal está entrando en competencia y que es necesario un raleo para permitir un mejor desarrollo, en SAF, la competencia puede ser también con los otros componentes del sistema, de tal manera que la reducción de competencia implicaría reducir el número de las otras especies o su área de cultivo, teniéndose que decidir si es más importante mantener un rápido crecimiento de los árboles o la producción de los cultivos.

#### **2.4.4 Relación altura/diámetro**

Los árboles de este estudio son más gruesos que los que describe el modelo de Somarriba y Beer (1987): en ese modelo un árbol de 30 m de altura tiene 28 cm de diámetro, mientras que en este estudio, llega a 40 cm de diámetro. Somarriba y Beer (1987) habían obtenido un modelo para la relación altura/diámetro con 85% de coeficiente de determinación que explicaba la variación en cuatro SAF correspondientes a 12 parcelas y a datos de literatura. El modelo obtenido en el presente estudio tenía mayor coeficiente de determinación, pero en este caso se pudo detectar la diferencia entre los SAF porque se incluía dos extremos de densidad: el CLP de 69 árboles/ha y la plantación pura que se inició con 1111 árboles/ha y

actualmente tiene 374 y porque esas diferencias en densidad se plasmaron en grandes diferencias de crecimiento.

En rodales densos, la competencia hace que el crecimiento de los árboles disminuya, afectando primero al diámetro y luego a la altura, lo que provocó que la PP se aparte de la curva de regresión. Aparte de la competencia entre los árboles en PP y PL hubo competencia con la maleza; en los otros SAF, la sombra proyectada de los árboles y el cultivo (cacao, arazá y plátano) y el manejo dificultaban la proliferación de malezas. Se hubiera esperado que los linderos tengan mayor diámetro por unidad de altura bajo el supuesto de que cuentan con mayor luminosidad, pero no es así, lo que indica que existió competencia con la vegetación colindante, malezas y entre los mismos árboles del lindero. El CLP tuvo mayor desarrollo en diámetro por unidad de altura porque los árboles nunca compitieron por luz ni entre ellos ni con los cultivos, tenían además las ventajas de recibir fertilizaciones más frecuentes que los otros sistemas (3 veces por año) y de tener un terreno drenado artificialmente debido a los requerimientos del plátano y el cacao.

#### 2.4.5 Crecimiento en volumen

Thren (1993) indica que el incremento en volumen llega a su máximo luego del diámetro y la altura. Esto se pudo comprobar en las parcelas estudiadas, donde se puede advertir que el IMA volumen/árbol todavía está aumentando, pero el ICA volumen ya está disminuyendo.

Los raleos realizados en TA durante el tercer y cuarto año permitieron el aumento en ICA volumen, pero al dejar de ralear el quinto año, el ICA disminuyó, lo que indica que los raleos eran oportunos, pero de intensidad muy baja. Actualmente se debe decidir el porcentaje a ralear (o aprovechar los árboles más grandes) de laureles y si fuera conveniente económicamente, de arazás. También se debe mejorar el manejo en general de las parcelas, ya que actualmente sólo dos parcelas se están manejando para la producción de fruta de arazá y en el resto ha crecido maleza.

En CN el ICA ya disminuyó en el cuarto año, pero el raleo permitió un mejor desarrollo de los árboles del sexto al séptimo año. Se observó que el CN de Puerto Viejo no se está manejando, lo cual significa que pueden surgir problemas de drenaje, ya que es un terreno muy cerca al río y que necesita de canales de drenaje. Es conveniente mantener a los cacaoteros porque mantienen el suelo libre de hierbas, aunque podrían reemplazarse por cultivos más rentables. PP tiene el ICA volumen más bajo y ya había sufrido un decremento el cuarto año, pero los raleos continuos permitieron un alza al quinto año. Ahora necesitaría un raleo bastante intenso aunque ya no se espera árboles muy grandes de este sistema por lo tardío de las intervenciones. Los linderos pueden requerir de un nuevo raleo y mejor manejo de las parcelas.

CLP es el más joven de los sistemas evaluados y mantiene aún creciente el IMA y aunque en las últimas dos mediciones ya mostró decrementos del ICA, su ICA actual es casi el doble que el de CN y casi 5 veces el de PP. En este sistema no se puede pensar en raleos porque la densidad es muy baja y prácticamente no tienen competencia entre ellos, sino con los otros componentes del sistema (a nivel de recursos de suelo, no de luz), pero tampoco es recomendable disminuir la densidad del cacao y plátano (con excepción de la parcela que tiene el doble de densidad), por razones de estabilidad económica para el finquero. En este caso una alternativa es iniciar el aprovechamiento de los árboles que ya han pasado los 40 cm de diámetro, que de acuerdo a las últimas mediciones son 13 en la Finca Theobroma (7.2 años de edad) y uno en Charagre (6.1 años), de los 54 árboles útiles iniciales de cada finca. Por otro lado, aunque los incrementos en volumen están disminuyendo, aún son altos para la especie y siguen siendo los más altos de entre los SAF aquí analizados, por lo tanto otra buena alternativa es observar por unos años más el crecimiento de los árboles, considerando que el laurel llega a superar los 50 cm de diámetro a los 30 años (Somarriba y Beer 1987). En el caso de los CLP será mucho antes.

## 2.5 Conclusiones

Los árboles de los sistemas agroforestales evaluados alcanzaron mayor crecimiento de acuerdo al siguiente orden: sistema cacao-laurel-plátano (CLP), taungya (asocio con arazá), cacaotal nuevo, cacaotal viejo, lindero y plantación pura.

El crecimiento en cada uno de los sistemas agroforestales es muy diferente y no se puede aplicar un solo modelo general para el crecimiento en altura, ni para el crecimiento en diámetro y tampoco para la relación altura/diámetro.

El crecimiento de los árboles de laurel en plantaciones con buen manejo es muy superior al crecimiento de los árboles regenerados naturalmente.

Para lograr un crecimiento individual rápido del laurel dentro de los sistemas agroforestales evaluados es necesario que disponga de condiciones adecuadas de desarrollo desde los primeros años.

## 2.6 Bibliografía

- AGUIRRE, A. 1963. Estudio silvicultural y económico del sistema taungya en las condiciones de Turrialba. Turrialba (CR) 13 (3): 168-171.
- BARRANTES F., J.A.; LIAO, A.; ROSALES, A. 1985. Atlas climatológico de Costa Rica. Costa Rica. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Instituto Meteorológico Nacional San José, CR. 29 p.
- BEER, J. 1981. *Cordia alliodora* with *Theobroma cacao*: A traditional combination in the humid tropics. Turrialba, CR., CATIE. 2 p.
- BEER, J.; KAPP, G.B.; LUCAS, C. 1994. Alternativas de reforestación: Taungya y sistemas agrosilviculturales permanentes vs. plantaciones puras. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico no. 230 (CR.). 25 p.
- BETANCOURT B., A. 1983. Silvicultura especial de árboles maderables tropicales. La Habana, Cuba, Editorial Científico-Técnica. 430 p.
- BOSHIER, D.H.; MESÉN, J.F. 1987. Proyecto de mejoramiento genético de árboles del CATIE; estado de avance y principales resultados. In Congreso Forestal Nacional (1., 1986, San José, CR.). Turrialba, C.R. 18 p.
- BUTTERFIELD, R. 1995. Desarrollo de especies forestales en tierras bajas húmedas de Costa Rica. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico no. 260 (CR.). 41 p.
- CATIE. 1994. Laurel; *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavón) Oken, especie de árbol de uso múltiple en América Central. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico no. 239 (CR.). 42 p.
- CAYCEDO A, H.; POEL, P. VAN DER. 1988. Comportamiento de 11 especies forestales en diferentes unidades fisiográficas de la región de Bojaya-Choco-Colombia. CONIF. Serie Técnica no. 27. 35 p.

- COMBE, J. 1981. "La Suiza": prácticas agroforestales tradicionales. *In*: Seminario Agroforestería (1., 1981, Turrialba, CR.). Actas Agroforestería. Heuvelodp, J.; Lagemann, J. (eds.). Turrialba, CR, CATIE. p. 84-86.
- COREA, E.; CORNELIUS, J.; MESÉN, F. Variación genética de importancia económica en *Cordia alliodora*. Salazar, R. (ed.). CATIE, Turrialba (Costa Rica). Semana Científica. Turrialba (Costa Rica). 8-10 Dic 1993. Memorias. Turrialba (Costa Rica). 1993. v.2 p. 95-96.
- CHINCHILLA V, E. 1987. Atlas cantonal de Costa Rica. Instituto de Fomento y Asesoría Municipal, San José, CR. 396 p.
- CORNELIUS, J. 1995. Atlántico vs. pacífico: distinción importante en la escogencia de fuentes de semillas forestales en América Central. Boletín Mejoramiento Genético y Semillas Forestales (CATIE) (CR.). no. 12 p. 6-8.
- FUENTES, F.R. 1979. Coffee production farming systems in Mexico. *In*: Agroforestry systems in Latin America (1., 1979, Turrialba, CR.). Workshop. CATIE. Turrialba, CR. p. 60-72.
- GONZALES, R.M. 1970. Rendimiento de plantaciones forestales en el trópico. Universidad Nacional Agraria La Molina. Anales científicos (Perú) 8 (1/2): 109-121.
- HOLDRIDGE, L.R. 1958. Crecimiento del 'laurel' *Cordia alliodora* (R & P) Cham. [(R & P) Oken]. IICA. Comunicaciones Científicas Agrícolas (CR.) no. 8. 3 p.
- JOHNSON, P.; MORALES, R. 1972. A review of *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken. Turrialba (CR.). 22 (2): 210-220.
- KANTEN, R.F. VAN. 1994. Productividad y fenología del arazá (*Eugenia stipitata* McVaugh) bajo tres sistemas agroforestales en Baja Talamanca, Costa Rica. Tesis M.Sc. Turrialba, CR., CATIE. 91 p.
- KAPP, G.B. 1989. Perfil ambiental de la zona baja de Talamanca, Costa Rica. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico no. 155 (CR.). 42 p.

- LUCAS A., C.; BEER, J.; KAPP, G. 1995. Reforestación con maderables: Sistemas Agrosilviculturales vs. Plantaciones puras en Talamanca, Costa Rica; Resultados agrícolas y forestales. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico no. 243 (CR.). 65 p.
- LUJAN, R.; BEER, J.; KAPP, G. 1996. Manejo y crecimiento de linderos de tres especies maderables en el valle de Sixaola, Talamanca, Costa Rica. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico no. 241 (CR.). 69 p. (En prensa).
- LUJAN, R.; CAMACHO, B. 1994. Manejo y crecimiento de linderos: resultados de ensayos del Proyecto agroforestal CATIE/GTZ de tres especies maderables en la zona de Talamanca, Costa Rica. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico no. 224 (CR.). 94 p.
- MIRANDA, A. 1992. Caracterización de la producción de cacao en Panamá. Santiago, Veraguas, Panamá, MIDA, PROCACAO. 53 p.
- MORA, J.C.; MONGE, J.L.; ARGUEDAS, W. 1995. Comportamiento de dos especies forestales nativas: cedro *Cedrella odorata* y laurel *Cordia alliodora* en sistema taungya. Chachagua, San Ramón, Costa Rica. In Taller Nacional de investigación forestal y agroforestal (3., 1995, Cañas, CR.). Memoria. Cañas, CR. p. 94-101.
- NIEUWENHUYSE, A. 1994. Clasificación de los suelos en los ensayos agroforestales del Proyecto CATIE/GTZ. Turrialba, CR. (no publicado).
- POEL, P. VAN DER (comp.). 1988. *Cordia alliodora* (Ruiz & Pavon) Oken: experiencias en Colombia. Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (CONIF). Serie de documentación no. 15 (Col.). 38 p.
- SALAS, G. DE LAS; VALENCIA. 1979. Notas sobre la reforestación con *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken en dos zonas tropicales de bajura; Tumaco y Carare-Opon Colombia. CONIF. Serie Técnica no. 10. 34 p.

- SÁNCHEZ S., A. 1994. Crecimiento de *Eucalyptus deglupta* y *E. grandis* bajo tres sistemas de plantación a nivel de finca, en la zona de Turrialba, Costa Rica. Tesis M. Sc. CATIE, Turrialba, CR. 95 p.
- EARLE., J.S. 1991. El laurel; manual práctico para organizaciones campesinas. San José, CR., Desarrollo Forestal Campesino DGF, Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. 31 p.
- SOMARRIBA C., E. 1994. Sistemas cacao-plátano-laurel; el concepto. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico no. 226 (CR.). 33 p.
- SOMARRIBA, E.; BEER, J. 1994. Maderables como alternativa para la sustitución de sombra de cacaotales establecidos; el concepto. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico no. 238 (CR.). 29 p.
- SOMARRIBA, E.; DOMÍNGUEZ, L. 1994. Maderables como alternativa para la sustitución de sombra en cacaotales establecidos; Manejo y crecimiento. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico no. 240 (CR.). 95 p.
- SOMARRIBA, E.; DOMÍNGUEZ, L.; LUCAS, C. 1994. Cacao-Plátano-Laurel; Producción agrícola y crecimiento maderable. Resultados de ensayos del Proyecto Agroforestal CATIE / GTZ en la región de Changuinola, Panamá. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico no. 233 (CR.). 71 p.
- SOMARRIBA, E.; DOMÍNGUEZ, L.; LUCAS, C. 1996. Cacao bajo sombra de maderables en Ojo de Agua, Changuinola, Panamá: Manejo, crecimiento y producción de cacao y madera. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico no. 276 (CR.). 49 p.
- SOMARRIBA, E.; MELÉNDEZ, L.; CAMPOS, W.; LUCAS, C. 1995. Cacao bajo sombras de maderables en Puerto Viejo, Talamanca, Costa Rica; Manejo, crecimiento y producción de cacao y madera. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico no. 249 (CR.). 73 p.

- SOMARRIBA, E.J.; BEER, J.W. 1987. Dimensions, Volumes and Growth of *Cordia alliodora* in Agroforestry Systems. *Forest Ecology and Management* (Netherlands) 18 (2): 113-126.
- THREN, M. 1993. *Dasometría*. Universidad Nacional de Santiago del Estero. Serie Técnica Forestal no. 1 (Arg.). 182 p.
- VEGA G, L.E.; BODEGOM, A.J. VAN. 1987. Resultados Preliminares del Crecimiento de *Cordia alliodora* (Laurel) en la Zona del Río Bojayá - Choco - Colombia. Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal. CONIF informa no. 9 (Col.) 22 p.
- VEGA, L. 1978. Plantaciones de *Cordia alliodora* en combinación con cultivos agrícolas, una alternativa de manejo en Surinam. Mérida, Ven., mimeografiado. 19 p.
- VEGA, L. 1979. Profit-making capacities of regular plantations as compared with the agrosilvicultural model: Surinam. *In: Agroforestry systems in Latin America* (1., 1979, Turrialba, CR.). Workshop. CATIE. Turrialba, CR. p. 107-126.
- VEGA, L.E. 1985. *Apeiba aspera* y *Cordia alliodora* en el asocio inicial con *Manihot esculenta* y *Musa* sp. en Bajo Calima, Colombia. CONIF informa no. 3 (Col.). 12 p.
- ZAR, J.H. 1974. *Biostatistical analysis*. Englewood Cliffs, N.J., USA, Prentice Hall. 620 p.

### 3. Manejo, variables edafo-fisiográficas e índices de sitio para laurel en sistemas agroforestales

#### 3.1 Introducción

El laurel (*Cordia alliodora* [Ruiz y Pavón] Oken) es una especie maderable valiosa que se regenera natural y abundantemente en bosques secundarios, tierras de cultivo y pasturas de Centro y Sudamérica (Beer 1981, Combe 1983, CATIE 1994), sin embargo no se conoce muy bien las condiciones más adecuadas para su desarrollo. A continuación se citan algunos estudios sobre su comportamiento en diferentes condiciones.

Mediciones en sistemas agroforestales, donde es muy utilizado por su baja interferencia con el desarrollo de los cultivos, mostraron que las tasas de crecimiento diamétrico aumentan en este orden: pasturas, caña de azúcar, café y cacao, pero sin presentar diferencias significativas (Somarriba y Beer 1986).

Estudios anteriores indican que los principales factores que inhiben el crecimiento de laurel son físicos: drenaje, ya sea deficiente o excesivo, texturas muy arenosas o muy arcillosas, baja profundidad del suelo y alta densidad aparente (Poel 1988, CATIE 1994, Zech *et al* 1994). Pero también se han identificado propiedades químicas que debe tener un suelo para un desarrollo adecuado: pH cercano a la neutralidad, altos contenidos de bases, fósforo, materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico y no tener problemas de toxicidad con hierro y aluminio (Giraldo *et al* 1980, Vega y Bodegom 1987, CATIE 1994, Bergmann *et al* 1994). Variables como uso anterior del terreno, distancia a la cima, forma del terreno y compactación, que influyen sobre la fertilidad también se han relacionado con el desarrollo del laurel (Bergmann *et al* 1994, Zech *et al* 1994).

El presente trabajo buscará además de identificar variables de sitio que influyen sobre el crecimiento del laurel, averiguar si los sistemas agroforestales en sí, considerados como variables de manejo pueden ser variables que expliquen el crecimiento de los árboles. Así, el objetivo de este estudio es de evaluar factores fisiográficos, edáficos y de manejo que influyeron sobre el índice de sitio y la mortalidad de laurel en ensayos agroforestales en la costa Atlántica de Costa Rica y Panamá y la interdependencia entre ellos.

## **3.2 Materiales y métodos**

### **3.2.1 Material experimental**

La información que se usó en este estudio fue obtenida de parcelas de crecimiento para diversas especies forestales en el Cantón Talamanca, Provincia Limón, Costa Rica y Distrito Changuinola, Provincia Bocas del Toro, Panamá. Descripciones de la zona de estudio y de los sistemas agroforestales (SAF) evaluados se dieron en los acápites 2.2.1 y 2.2.2.

### **3.2.2 Variables de los sitios**

Se determinaron las propiedades químicas del suelo a una profundidad de 0 a 20 cm: pH (en agua destilada), acidez extraíble, disponibilidad de fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K), cobre (Cu), zinc (Zn) y manganeso (Mn), porcentaje de saturación de acidez, relaciones Ca/Mg, Mg/K, Ca/K y (Ca+Mg)/K y capacidad de intercambio de cationes efectiva (CICE). Estas propiedades se compararon con los rangos propuestos por Bertsch (1995) para la fertilidad de suelos agrícolas. Las propiedades físicas analizadas fueron: textura, densidad aparente, porosidad, compactación o resistencia a la penetración, drenaje (MAG/MIRENEM 1991), riesgo de inundación (MAG/MIRENEM 1991), pedregosidad por volumen de suelo y profundidad efectiva. Se analizó las variables fisiográficas: altitud, pendiente, posición topográfica, forma del terreno, erosión. A esto se agregaron las

variables de vegetación colindante y una variable que ordenaba los SAF por su índice de sitio (Anexo 3.1).

### 3.3 Procedimiento

#### 3.3.1 Cálculo de la altura dominante

La altura dominante a una edad base o índice de sitio (IS) es uno de los indicadores más usados de calidad de sitio, porque está menos influenciada por el manejo y la densidad que la altura promedio de un rodal (Clutter *et al* 1983), sin embargo cuando la competencia entre árboles y la recesión de copas alcanza niveles extremos, esta variable puede verse afectada.

Tradicionalmente se define la altura dominante como la altura promedio de los 100 árboles más altos por hectárea (Alder 1980). En nuestro caso, además del tamaño pequeño de las parcelas, se tiene muy pocos árboles por parcela al estar estos intercalados con el cultivo. Debido a que el taungya y la plantación pura tienen la densidad más comúnmente encontrada en la literatura, se siguió para estos sistemas el lineamiento tradicional de 100 árboles por hectárea o un árbol cada 100 m<sup>2</sup>, lo que se materializó como cinco árboles por parcela. Por analogía, en los otros sistemas, también se tomó cinco árboles por parcela; esto constituyó un árbol cada 157 m<sup>2</sup> para cacaotales viejos, cada 115 m<sup>2</sup> para los nuevos, cada 460 m<sup>2</sup> para el CLP y cada 9 m lineales para los linderos.

#### 3.3.2 Estimación del índice de sitio (IS) en función de la edad

Se obtuvo las alturas dominantes en base a 7533 registros o mediciones luego de la depuración de los 8673 originales. Se emplearon sólo 49 parcelas porque 10 no contaban con por lo menos 5 árboles útiles a los 5 años que es la edad base de este estudio.

La edad base para la estimación del IS se fijó en 5 años porque es una edad que todas las parcelas ya han alcanzado, es suficiente para distinguir diferentes índices de sitio y está dentro del rango de edades bases utilizadas en otros estudios (Hughell 1990, Vásquez y Ugalde 1994). Para estimar el IS con base en la edad y altura dominante se empleó el método de la curva guía con la ecuación de Schumacher (programa Sindex de Palmer's Statistical Package):

$$\ln(\text{altura dominante}) = a + b / \text{edad}^k$$

Una vez estimados los parámetros a, b y k por regresión, se aplicó el método de la curva guía para predecir una familia de curvas de diferentes índices de sitio según los dos modelos siguientes. El primer modelo describe familias de curvas polimórficas o de intercepto común y el segundo anamórficas o de pendiente común.

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

$$\ln(\text{IS}) = \ln(\text{Hd}) + b * (1 / \text{edad base}^k - 1 / \text{edad}^k)$$

Donde Hd es la altura dominante, a, b y k son parámetros a estimarse.

Se eligió el modelo de intercepto común por presentar menor error cuadrático medio (ECM) para la altura dominante.

$$\text{ECM} = \sqrt{[\sum (\text{Hd estimada} - \text{Hd observada})^2 / (n-2)]}$$

Los IS de las diferentes parcelas se agruparon en tres clases de sitio: alta, media y baja. Se definieron fijando los límites del sitio medio: Las dos curvas que definen estas clases se fijaron usando la media más y menos un medio de la desviación estándar. Se realizó una

prueba de Chi cuadrado para determinar si existía asociación entre las clases de sitio y los SAF.

### **3.3.3 Estimación del IS en función de variables de sitio**

Se obtuvieron dos modelos para estimar el IS, el primero en función de las variables edafo-fisiográficas y el segundo en función de las variables de sitio, incluyendo las de manejo. Los modelos se obtuvieron mediante un análisis de regresión y colinealidad de las variables seleccionadas a partir de la matriz de correlaciones (SAS 1988). En cada modelo obtenido se determinó si el modelo era significativo, el coeficiente de determinación, el índice de condición, que debe ser menor a 13 para que el modelo no tenga problemas de colinealidad y el factor de inflación de la varianza (VIF) que mide el grado de dependencia de cada variable con el resto de las variables del modelo y debe ser menor a 10 para que la variable no tenga colinealidad (Campos, 1989).

### **3.3.4 Relación de variables de sitio con la mortalidad**

Para detectar las variables de sitio que podrían ser causa de la mortalidad de árboles de laurel se realizó una prueba de t para comparar las parcelas con más de 30% de mortalidad contra las de menos de 30% de mortalidad a los 2 años de edad. No se consideró dentro del análisis la muerte de árboles menores a un año de edad, para eliminar causas de mortalidad ajenas a los efectos del sitio, tales como condiciones de la planta en vivero y daños en el transporte y manipuleo. En este análisis se tomó en cuenta a las 60 parcelas.

### 3.4 Resultados

#### 3.4.1 Índice y clases de sitio

Los coeficientes de la ecuación de Schumacher se encontraron dentro de los rangos que estableció Alder (1980):  $a$  debe estar entre 2 y 7,  $b$  debe ser negativo y  $k$ , entre 0.2 y 2 (Figura 3.1). El rango de volúmenes que cubre este ensayo es muy amplio, se pueden tener árboles con 0.07 hasta 0.85 m<sup>3</sup> de volumen total a los cinco años, lo que resalta la importancia de conocer elementos de selección de sitios y de manejo de plantaciones puras y agroforestales (Cuadro 3.1).

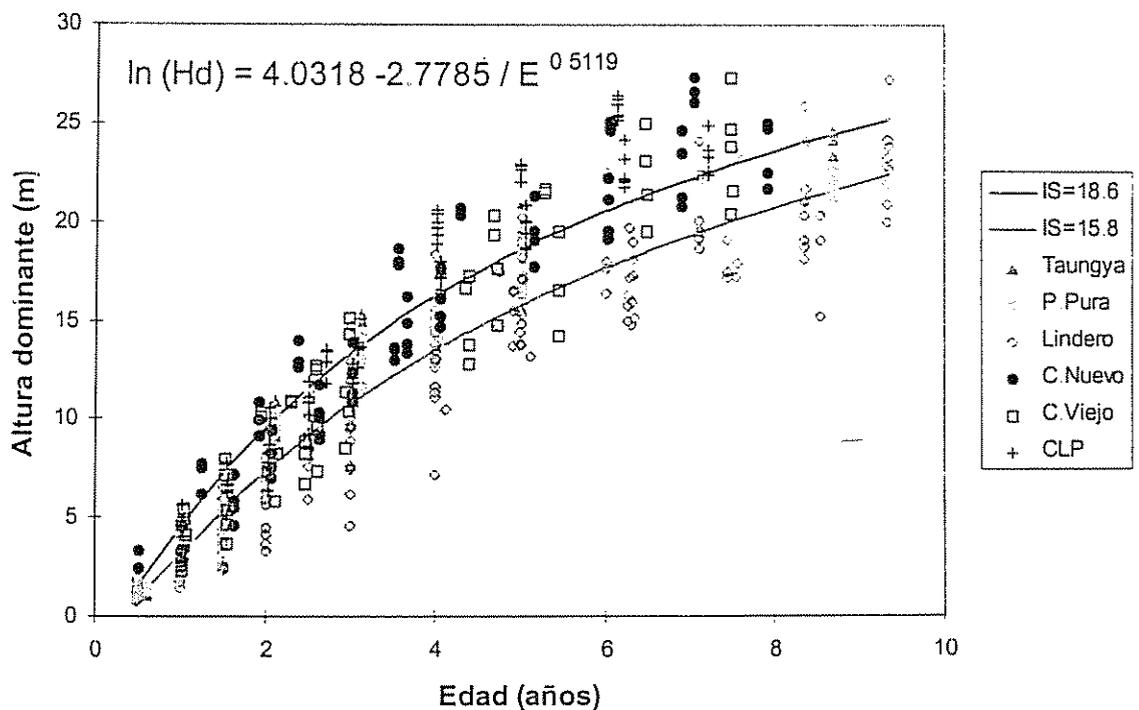


Figura 3.1 Altura dominante y límites de clase de sitio para *Cordia alliodora* en 50 parcelas con sistemas agroforestales en Talamanca, Costa Rica y Changuinola, Panamá.

Cuadro 3.1 Promedios y rangos de variables de crecimiento por clases de sitio, a la edad de 5 años, en sistemas agroforestales de *Cordia alliodora* en Talamanca, Costa Rica y Changuinola, Panamá.

Clase	Número de parcelas	Índice de sitio (m)	Altura (m)	DAP (cm)	Volumen (m <sup>3</sup> /árbol)
Alta	24 (49%)	20.7 (18.6-22.9)	19.3 (15.6-22.0)	26.0 (16.6-33.8)	0.46 (0.19-0.85)
Media	13 (26%)	17.6 (16.4-18.6)	15.7 (12.8-17.8)	21.4 (14.1-30.0)	0.27 (0.13-0.54)
Baja	12 (24%)	14.5 (13.0-15.7)	12.6 (9.0-14.6)	17.1 (11.1-22.2)	0.16 (0.07-0.27)

Cuadro 3.2 Valores observados (O) y esperados (E) de la distribución de clases de sitio entre los sistemas agroforestales de *C. alliodora*.

		CLP	CN	TA	CV	PP	PL	Total
Alta	O	10	6	4	2	0	2	24
	E	5.76	3.36	1.92	2.40	1.92	8.64	
Media	O	2	1	0	1	4	5	13
	E	3.12	1.82	1.04	1.30	1.04	4.68	
Baja	O	0	0	0	2	0	10	12
	E	3.12	1.82	1.04	1.30	1.04	4.68	
Total		12	7	4	5	4	17	49

$\chi^2 = 40.797$  \*\*

CLP: Cacao-laurel-plátano, CN: cacaotal nuevo, CV: cacaotal viejo, TA: taungya con arazá, PP: plantación pura, PL: plantación en línea.

La prueba de Chi cuadrado dio como resultado que el crecimiento de los árboles dominantes de laurel es dependiente del sistema agroforestal en el que crecen (Cuadro 3.2). La mayoría de las parcelas de CLP, cacaotales nuevos y taungya estuvieron en la clase alta. En promedio, los CLP tenían un IS de 21.1 m, cacaotales nuevos 20.4, taungya 19.6, cacaotales viejos 17.8, plantación pura 17.2 y linderos 15.6.

### 3.4.2 Características generales de los sitios

Treinta y ocho de las 49 parcelas estuvieron ubicadas en un fondo y en 40 la forma del terreno era plana. Diez y nueve tenían un drenaje adecuado, en 13 parcelas era excesivo y en 17 habían distintos grados de deficiencia. En general, el riesgo de inundación era nulo o leve, al igual que el grado de erosión que presentaban las parcelas.

De acuerdo a las categorías de fertilidad de suelos de Bertsch (1995) en la mayoría de las parcelas (68%) el pH está en la clase media (entre 5.5 y 6.5) y aunque existen cinco suelos con acidez extraíble media a alta, ninguno presenta saturación de acidez alta y solo uno, media. No se presentaron casos de deficiencia de Ca y Mg. Dos de las 49 parcelas tenían deficiencias de K, pero además 21 mostraron alta relación  $(Ca+Mg)/K$  y 41 alta  $Ca/K$ , indicando que los altos niveles de Ca pueden disminuir la disponibilidad del K en la mayoría de las parcelas. Las relaciones  $Ca/Mg$  y  $Mg/K$  fueron medianas en 28 y 36 parcelas, respectivamente, pero también se presentaron altas en 19 y 13, respectivamente. Veinte y cinco de las parcelas tenían cantidades medias de P y 17 presentaban deficiencias de este elemento. También se detectó deficiencias de Zn en 31 de las parcelas. Mn y Cu se mantuvieron en valores medios. Las seis parcelas con exceso de Cu estaban en la finca Theobroma, lo que se debió probablemente a las aplicaciones de caldo bordelés contra el mal de Panamá (*Fusarium oxysporum*) que se hicieron allí (Anexo 3.3).

En general todos los nutrientes se correlacionan directamente entre sí e inversamente con la acidez; P se relaciona con la profundidad efectiva. Las siguientes variables estaban correlacionadas significativamente entre sí con  $R > 70\%$ , es decir que hay colinealidad entre ellas y se debe elegir solo una de cada grupo para el modelo. A continuación se presentan los grupos de variables colineales formados. Dos variables con el mismo signo (sea + ó -) tienen son directamente proporcionales, sino, inversamente proporcionales.

- Resistencia a la penetración a distintas profundidades y con el promedio ( $R > 90\%$ )
- Pedregosidad (+), materia orgánica (+), altitud (+) y pendiente (+).
- Arena (+), limo (-) y arcilla (-).
- Ca (+), Ca/Mg (+) y CICE (+).
- K (+), Ca/K (-) y Mg/K (-).
- Saturación de acidez (+) y acidez extraíble (+).
- SAF (+) vegetación colindante (+)
- Densidad aparente (+) y porosidad (-).

### 3.4.3 Relación de las variables con el IS

Las correlaciones más altas con el IS corresponden a las variables de manejo (Cuadro 3.3). Los árboles que se encontraban colindantes a cultivos como cacao o arazá tuvieron mayor crecimiento que los rodeados por bosque secundario o pastizales. Consecuentemente, los mejores SAF fueron CLP, los cacaotales y el taungya, quedando los linderos y las plantaciones por debajo. La mayoría de las parcelas estaban en un fondo plano, donde los árboles se desarrollaron mejor que en las pendientes. El P se encontraba deficiente, de acuerdo a la clasificación de Bertsch (1995), en 17 de las parcelas. El Zn que se encontraba a niveles bajos en 31 de las parcelas no mostró relación significativa con el IS. Estas variables se emplearon para el cálculo de las líneas de regresión.

El modelo que solo incluía variables edafo-fisiográficas tuvo un índice de condición de 13.1, indicando que no habría problemas de colinealidad en el modelo. Todos los parámetros fueron significativos al nivel del 5% de significancia y el factor de inflación de la varianza fue bajo (Cuadro 3.4).

Cuadro 3.3 Promedios o categorías de las variables correlacionadas significativamente con el IS para *Cordia alliodora* en sistemas agroforestales de Talamanca, Costa Rica y Changuinola, Panamá.

Característica	R (%)	Promedios y categorías <sup>a</sup> por clase de IS		
		Alta	Media	Baja
Mg	39 **	5.2	4.8	4.4
P	49 **	15.8	13.4	8.7
(Ca+Mg)/K	37 **	49.6	43.9	26.6
Arcilla	-37 **	26.2	33.7	33.6
Posición topográfica	38 **	1, 2, 4	2, 4	1, 2, 4
Vegetación circundante	-60 **	1, 3	1, 2, 3	1, 2, 3, 4
SAF	-75 **	1, 2, 3, 4, 5, 6	1, 2, 3, 4, 6	4, 6

<sup>a</sup> Ver Anexo 1. \* = significativo al 5%. \*\* = significativo al 1%.

Cuadro 3.4 Modelo que estima el índice de sitio en función de variables de sitio de *Cordia alliodora* en sistemas agroforestales de Talamanca, Costa Rica y Changuinola, Panamá.

Variable	GL	Parámetro estimado	Inflación de la varianza	R <sup>2</sup> de la variable	R <sup>2</sup> del modelo
Intercepto	1	12.67276 ***	0.0000	-	-
P	1	0.18331 ***	1.1610	23.79	23.79
Arcilla	1	-0.06778 *	1.1853	15.96	39.75
Mg	1	1.09302 ***	1.0226	7.14	46.89

\* = significativo al 5%. \*\* = significativo al 1%. \*\*\*=significativo al 0.1%.

Incluyendo a la variable SAF, el modelo formulado, es significativo al 0.1% con  $R^2$  de 73% y un índice de condición igual a 14.4, lo cual indica que entre las variables incluidas podría haber algo de colinealidad, pero el factor de inflación de la varianza de cada variable, al ser menor de 10, desecha la perspectiva de problemas de colinealidad. Todos los parámetros estimados fueron distintos de cero al 5% de significancia, sin embargo se observa que el aporte de las variables arcilla y  $(Ca+Mg)/K$  al  $R^2$  es bajo, lo que indicaría la posibilidad de prescindir de ellas (Cuadro 3.5).

Cuadro 3.5 Modelo que estima el índice de sitio en función de variables de sitio y de manejo de *Cordia alliodora* en sistemas agroforestales de Talamanca, Costa Rica y Changuinola, Panamá.

Variable	GL	Parámetro estimado	Inflación de la varianza	$R^2$ de la variable	$R^2$ del modelo
Intercepto	1	20.30741 ***	0.0000	-	-
SAF	1	-1.09212 ***	1.7698	56.33	56.33
Mg	1	0.93712 ***	1.0532	10.40	66.73
Arcilla	1	-0.04985 *	1.1682	3.68	70.41
$(Ca+Mg)/K$	1	-0.02204 **	1.6635	2.85	73.26

\* = significativo al 5%. \*\* = significativo al 1%. \*\*\*=significativo al 0.1%.

El hecho de incluir estas variables de predicción en el modelo no necesariamente quiere decir que sean la causa de los cambios en el IS, simplemente significa que podrían estar asociadas a una causa real de variación, por lo tanto el modelo debe examinarse considerando la asociación de las variables incluidas en el modelo con las otras del estudio. Las variables SAF y  $(Ca+Mg)/K$  y Mg están relacionadas entre sí y con los otros elementos alcalinos del suelo, o sea la fertilidad está influyendo en el IS. El porcentaje de arcilla del suelo puede ser un indicador de la deficiencia de drenaje que también influye en el IS (Cuadro 3.6).

Cuadro 3.6 Correlación entre las cuatro variables incluidas en el modelo para estimar el IS de *Cordia alliodora* y las otras variables analizadas en sistemas agroforestales de Talamanca, Costa Rica y Changuinola, Panamá.

Variable en el modelo	50<R<60	60<R<70
SAF	P (-), Ca (+), Cu (-)	CICE (+), Ca/Mg (+), (Ca+Mg)/K (-)
Mg	Acidez (-)	Ca (+), CICE (+)
Arcilla		Arena (-), drenaje (+)
(Ca+Mg)/K	Zn (+), Mn (+), Cu (-)	SAF (-)

#### 3.4.4 Correlación de la mortalidad con variables de sitio

Las variables de manejo son las que tienen más alto grado de correlación con la mortalidad a los 2 años. La alta asociación con SAF se explica porque la mayoría de las parcelas con alta mortalidad son linderos; y la vegetación colindante, por la competencia que hubo con árboles más viejos de regeneración natural y por la compactación del suelo en pastizales. Se detecta mayor mortalidad en suelos más arcillosos, deficientes en P y con exceso de bases, características que podrían coincidir con terrenos con mal drenaje, ya que empíricamente se había establecido esa variable como una causa de mortalidad, aunque en este análisis no tuvo significancia (Cuadro 3.7).

Por otro lado, las variables con las que se obtuvieron diferencias significativas entre parcelas con alta y baja mortalidad fueron las mismas, además de la pedregosidad, que fue mayor en parcelas con baja mortalidad (Cuadro 3.7). Pero no se puede considerar la falta de piedras como una causa de mortalidad, de tal manera, que es posible que esta variable haya mostrado esa tendencia por casualidad.

Cuadro 3.7 Variables de sitio con promedios estadísticamente diferentes entre las parcelas de alta (>30%) y baja mortalidad (<30%) a los 2 años de edad en 60 parcelas con sistemas agroforestales con *C. alliodora* y su coeficiente de correlación con mortalidad.

Variable	Promedio por clase de mortalidad		R (%)
	Baja	Alta	
Ca **	19.74	27.42	37 **
P **	14.00	9.07	-44 **
Cu *	9.98	5.30	-27 *
Ca/Mg **	4.02	5.41	46 **
CICE **	25.44	33.16	35 **
Arcilla *	29.61	38.05	35 **
Pedregosidad *	5.53	0.10	-16 ns
SAF **	3.44	5.42	53 **

ns= no significativo. \* = significativo al 5%. \*\* = significativo al 1%.

### 3.5 Discusión

#### 3.5.1 Índices y clases de sitio

Giraldo *et al* (1980) estimaron que los índices de sitio para laurel estaban entre 16 y 30 m para una edad base de 50 años. La edad de sus parcelas estaba entre 16 y 46 años, se encontraban en un bosque muy húmedo premontano y los árboles eran de regeneración natural en cafetales. En este ensayo, fluctúan entre los 13 y 23 m a los 5 años, lo que lleva a suponer que serán mayores mucho antes de los 50 años, debido a las diferentes condiciones ecológicas, de competencia y de manejo.

Somarriba y Beer (1987) ya detectaron la influencia del SAF sobre el crecimiento de laurel. Se observaron mejores crecimientos en cacaotales y cafetales (suelos fértiles) que en cañaverales y pastizales (suelos infértiles y compactados). En el presente estudio se confirma la tendencia del laurel de crecer mejor en suelos más fértiles, pero no se pudo determinar exactamente que variables edafo-fisiográficas son las que más influyen debido a que no hay una clara limitante para el crecimiento del laurel en estos ensayos. Es decir, que la causa de un bajo rendimiento o de la mortalidad de los árboles es distinta en cada zona o finca. Por otra parte, los crecimientos observados en estos ensayos se encuentran entre los más altos reportados en la literatura (Vega 1978, Betancourt 1983, Vega y Bodegom 1987).

### 3.5.2 Características generales de los sitios

Los análisis químicos de las parcelas coinciden con lo reportado por Bertsch (1995), quien informó que en la provincia Talamanca el 81% de los suelos tienen exceso de Ca/K, 78% exceso de (Ca+Mg)/K y 74% deficiencia de P. La disponibilidad de P fue una de las variables en el segundo modelo (que no incluía a las variables de manejo), de tal manera que es posible que la fertilización fosforada sea una de las causas de la diferenciación de las calidades de sitio. Las cantidades de K y Mg no eran limitantes, pero el exceso de Ca puede provocar baja absorción de K o Mg.

El Zn es insuficiente en más del 25% de las muestras de suelo de Talamanca (Bertsch 1995), en este estudio más del 50% de las parcelas era deficiente en Zn. Esto sucede generalmente por exceso de lixiviación en suelos ácidos y alta precipitación, pero en los datos de este estudio no se observó asociación entre contenido de Zn y acidez.

### 3.5.3 Relación de las variables con IS

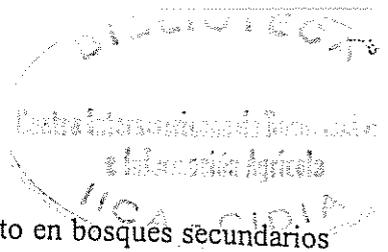
Zech *et al* (1994) habían encontrado que las variables más correlacionadas con el crecimiento del laurel eran la distancia a la cima, la pendiente, grosor de la capa de humus, forma del terreno, tiempo de pastoreo antes de la plantación y densidad aparente del suelo.

La distancia a la cima no se pudo registrar en el presente estudio ya que la topografía era generalmente plana y no se disponía de una cima de referencia, por esto mismo la pendiente ni la forma del terreno fueron importantes. No se consideró medir el grosor de la capa de humus, considerando que ya se estaban evaluando otros indicadores de fertilidad. Pocas parcelas se establecieron en terrenos pastoreados y por lo tanto ni la resistencia a la penetración ni la densidad aparente mostraron indicios de compactación en los suelos.

Vega y Bodegom (1987) establecieron que los mayores incrementos en altura de laurel se dan en llanuras aluviales (suelos ricos en bases), en comparación a terrazas antiguas y colinas (suelos ácidos) en Chocó, Colombia. En este estudio también se detecta esta tendencia, aunque se observa que terrenos aluviales pueden tener dos limitantes no detectadas por el análisis estadístico: exceso y deficiencia de drenaje. Drenaje excesivo se detectó en un suelo areno franco en este estudio, que obtuvo menor IS que otra parcela franco arenosa ubicada en la misma finca. El drenaje excesivo puede disminuir la absorción de agua y nutrientes. Las inundaciones pueden estar ligadas a un drenaje deficiente y a suelos arcillosos como en Sixaola y Guabito o a altos niveles freáticos como en los linderos de Hone Creek, causando tanto crecimientos lentos como mortalidad.

Por otra parte el modelo indica que en suelos ricos en bases puede haber problemas de distribución de las mismas. La variable  $(Ca+Mg)/K$  es inversamente proporcional al IS, indicando que hay un exceso de Ca que está provocando la baja absorción de los otros dos elementos, principalmente del Mg que muestra su importancia en el modelo. También el modelo indica que para un mayor crecimiento el contenido de arcilla en el suelo debe ser menor, esto es importante tanto para un buen drenaje del suelo como para la absorción de nutrientes.

La variable SAF esconde muchos factores que influyen sobre el crecimiento desde el momento de la siembra hasta la actualidad: la sombra es uno de ellos. El laurel soporta algo de sombra en su estado juvenil, pero luego requiere de sitios abiertos. Butterfield (1995) encontró que árboles en pastizales (al sol) tenían un promedio de 3 cm de diámetro y 2.7 m



de altura al tercer año, mientras que laureles como enriquecimiento en bosques secundarios (a la sombra) solo 1.2 cm de diámetro y 1.2 m de altura. Ambientes a la sombra se observan en dos SAF: linderos: fincas San Miguel, Hone Creek, Bordon y la primera parcela de San Rafael. Ahí no se observó claramente la influencia de esta sombra porque hubo otros factores como la napa freática alta que provocó alta mortalidad en todos esos sitios. El otro ambiente con sombra fueron los cacaotales viejos, donde tomó de 2 a 5 años para que los laureles sobresalgan sobre el dosel del cacao (Somarriba y Dominguez 1994), lo que pudo haber provocado un lento crecimiento inicial.

Otro factor que encierra el SAF es el cultivo. En los CLP se fertiliza el cacao y el plátano tres veces al año y se aprovecha los restos de cosecha y podas como materia orgánica, igualmente en CN se fertilizó, encaló y podó a los cacaotales, mientras PL y PP no reciben esos beneficios. Por otro lado, los cacaotales y CLP tienen instalados y mantenidos canales de drenaje.

El factor más importante podría ser la competencia intra e inter-específica, evidenciado por el amplio rango de densidades de plantación y por la vegetación colindante. La competencia no siempre implica contacto de copas sino que puede estar ocurriendo competencia entre las raíces por los nutrientes del suelo.

### 3.6 Conclusiones

Los suelos de las parcelas de investigación en Talamanca, Costa Rica y Changuinola, Panamá no presentan problemas graves de fertilidad, con excepción de ciertas deficiencias de P, y Zn.

Las variables edafo-fisiográficas más relacionadas con el crecimiento de los árboles de *C. alliodora* resultaron ser, directamente proporcional, P y Mg, e inversamente, arcilla y la relación  $(Ca+mg)/K..$

El tipo de sistema agroforestal fue la variable más correlacionada con el crecimiento de los árboles de *C. alliodora*. Se demostró que en este caso, la altura dominante no es buen indicador del potencial del sitio, ya que su valor estuvo en gran parte influido por el manejo y la competencia por los recursos del sitio, incluyendo luz en los primeros años.

Los índices de sitio más altos se registraron en el sistema cacao-laurel-plátano, cacaotales nuevos y asociación con arazá, lo que demuestra que cuanto más intenso es el manejo de un cultivo asociado, los beneficios para el crecimiento de los árboles pueden ser mayores. Cacaotales viejos, plantación pura y linderos tuvieron los índices de sitio más bajos.

### 3.7 Bibliografía

- ALDER, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento. FAO. Montes no. 22/2 (Italia). 80 p.
- BARRANTES F., J.A.; LIAO, A.; ROSALES, A. 1985. Atlas climatológico de Costa Rica. Costa Rica. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Instituto Meteorológico Nacional San José, CR. 29 p.
- BEER, J. 1981. *Cordia alliodora* with *Theobroma cacao*: A traditional combination in the humid tropics. Turrialba, CR., CATIE. 2 p.
- BEER, J.; KAPP, G.B.; LUCAS, C. 1994. Alternativas de reforestación: Taungya y sistemas agrosilviculturales permanentes vs. plantaciones puras. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico no. 230 (CR.). 25 p.
- BERGMANN, C.; STUHRMANN, M; ZECH, W. 1994. Site factors, foliar nutrient levels and growth of *Cordia alliodora* plantations in the humid lowlands of Northern Costa Rica. Plant and Soil (Netherlands) 166 (2) : 187-191.
- BERTSCH, F. 1995. Manual para interpretar la fertilidad de los suelos de Costa Rica. 2 ed. San José, CR., Universidad de Costa Rica. 80 p.
- BUTTERFIELD, R. 1995. Desarrollo de especies forestales en tierras bajas húmedas de Costa Rica. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico no. 260 (CR.). 41 p.
- CAMPOS A., J.J. 1989. Environmental effects on the productivity of *Eucalyptus camaldulensis*, *Leucaena leucocephala* and *Gliricidia sepium* in Central America. Tesis PhD. University of Oxford. 279 p.
- CARMEAN, W. 1975. Forest site quality evaluation in the United States. Advances in Agronomy (EUA) 27: 209-269.
- CATIE. 1994. Laurel; *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavón) Oken, especie de árbol de uso múltiple en América Central. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico no. 239 (CR.). 42 p.

- COMBE, J. 1983. Advantages and limitations of pasture management with agroforestry systems. *In* Agroforestry Seminar (1., 1983, Turrialba, Costa Rica). Proceedings. Heuvelodp. J ; Lagemann, J. (eds.). Turrialba, Costa Rica. CATIE/GTZ. p. 41-47.
- COSTA RICA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA; MINISTERIO DE RECURSOS NATURALES DE ENERGÍA Y MINAS (MAG/MIRENEM). 1991. Metodología para la determinación de la capacidad de uso de las tierras de Costa Rica. San José, CR., SEPSA. 51 p.
- CHINCHILLA V, E. 1987. Atlas cantonal de Costa Rica. Instituto de Fomento y Asesoría Municipal, San José, CR. 396 p.
- GIRALDO, L.G.; DEL VALLE, J.I.; ESCOBAR, M. 1980. El crecimiento del nogal, *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavón) Oken, en relación con algunos factores climáticos, edáficos y fisiográficos en el sureste de Antioquía, Colombia. *In*: Producción de Madera en los Neotrópicos por Medio de Plantaciones (1., 1980, Río Piedras, Puerto Rico). Actas de un simposio internacional. Whitmore, J.L. Río Piedras, Puerto Rico, IUFRO/MAB/Servicio Forestal. p. 32-44.
- HERRERA F., B. 1996. Evaluación del efecto del 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 M. Sc. Turrialba, CR., CATIE. 152 p.
- HUGHELL, D.A. 1991. Lineamientos para el desarrollo de modelos para la predicción del crecimiento y rendimiento de árboles de uso múltiple.; informe interno; silvicultura. Turrialba, CR., CATIE. 131 p.
- JOHNSON, P.; MORALES, R. 1972. A review of *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken. Turrialba (CR.). 22 (2): 210-220.
- KAPP, G.B. 1989. Perfil ambiental de la zona baja de Talamanca, Costa Rica. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico no. 155 (CR.). 42 p.
- LUCAS A., C.; BEER, J.; KAPP, G. 1995. Reforestación con maderables: Sistemas Agrosilviculturales vs. Plantaciones puras en Talamanca, Costa Rica; Resultados

- agrícolas y forestales. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico no. 243 (CR.). 65 p.
- LUJAN, R.; BEER, J.; KAPP, G. 1996. Manejo y crecimiento de linderos de tres especies maderables en el valle de Sixaola, Talamanca, Costa Rica. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico no. 241 (CR.). 69 p. (En prensa).
- LUJAN, R.; CAMACHO, B. 1994. Manejo y crecimiento de linderos: resultados de ensayos del Proyecto agroforestal CATIE/GTZ de tres especies maderables en la zona de Talamanca, Costa Rica. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico no. 224 (CR.). 94 p.
- MIRANDA, A. 1992. Caracterización de la producción de cacao en Panamá. Santiago, Veraguas, Panamá, MIDA, PROCACAO. 53 p.
- NIEUWENHUYSE, A. 1994. Clasificación de los suelos en los ensayos agroforestales del Proyecto CATIE/GTZ. Turrialba, CR. (no publicado).
- POEL, P. VAN DER. (comp.). 1988. *Cordia alliodora* (Ruiz & Pavon) Oken: experiencias en Colombia. Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (CONIF). Serie de documentación no. 15 (Col.). 38 p.
- SAS INSTITUTE. 1988. SAS/STAT user's guide, release 6.03 edition. Cary, N.C. (EUA). 1028 p.
- SOMARRIBA C., E. 1994. Sistemas cacao-plátano-laurel; el concepto. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico no. 226 (CR.). 33 p.
- SOMARRIBA, E.; BEER, J. 1994. Maderables como alternativa para la substitución de sombra de cacaotales establecidos; el concepto. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico no. 238 (CR.). 29 p.
- SOMARRIBA, E.; DOMÍNGUEZ, L. 1994. Maderables como alternativa para la substitución de sombra en cacaotales establecidos; Manejo y crecimiento. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico no. 240 (CR.). 95 p.

- SOMARRIBA, E.; DOMÍNGUEZ, L.; LUCAS, C. 1994. Cacao-Plátano-Laurel; Producción agrícola y crecimiento maderable. Resultados de ensayos del Proyecto Agroforestal CATIE / GTZ en la región de Changuinola, Panamá. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico no. 233 (CR.). 71 p.
- SOMARRIBA, E.; DOMÍNGUEZ, L.; LUCAS, C. 1996. Cacao bajo sombra de maderables en Ojo de Agua, Changuinola, Panamá: Manejo, crecimiento y producción de cacao y madera. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico no. 276 (CR.). 49 p.
- SOMARRIBA, E.; MELÉNDEZ, L.; CAMPOS, W.; LUCAS, C. 1995. Cacao bajo sombras de maderables en Puerto Viejo, Talamanca, Costa Rica; Manejo, crecimiento y producción de cacao y madera. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico no. 249 (CR.). 73 p.
- SOMARRIBA, E.J.; BEER, J.W. 1987. Dimensions, Volumes and Growth of *Cordia alliodora* in Agroforestry Systems. *Forest Ecology and Management* (Netherlands) 18 (2): 113-126.
- VALLEJOS, O. 1996. Productividad y relaciones del índice de sitio con variables fisiográficas, edafoclimáticas y foliares para *Tectona grandis* L. F., *Bombacopsis quinatum* (Jacq.) Dugand y *Gmelina arborea* Roxb. en Costa Rica. Tesis M.Sc. Turrialba, CR., CATIE. 147 p.
- VASQUEZ C., W.; UGALDE A., L.A. 1994. Rendimiento y calidad de sitio para *Gmelina arborea*, *Tectona grandis*, *Bombacopsis quinata* y *Pinus caribaea* en Guanacaste, Costa Rica. Informe final. Convenio de cooperación. Proyecto Forestal Chorotega (IDA/FAO) Proyecto Madeleña-3 (CATIE). Turrialba, CR. 88 p. + 43 p. en anexo.
- VEGA G., L.E.; BODEGOM, A.J. VAN. 1987. Resultados Preliminares del Crecimiento de *Cordia alliodora* (Laurel) en la Zona del Río Bojayá - Choco - Colombia. Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal. CONIF informa no. 9 (Col.). 22 p.

ZECH, W.; BERGMANN, CH.; STUHRMANN, M.; 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. COSEFORMA. Documento  
del proyecto no. 39 (CR.). 53 p.

### 3.8 Anexo

#### Anexo 3.1 Descripción de las variables edafo-fisiográficas y de manejo.

- Propiedades químicas del suelo hasta una profundidad de 20 cm:
  - pH en agua destilada.
  - Acidez extraíble (cantidad de iones de  $H^+$  y  $Al^{+++}$ ).
  - Disponibilidad de fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K), cobre (Cu), zinc (Zn) y manganeso (Mn).
  - Porcentaje de saturación de acidez:
 
$$SatAc = \text{Acidez extractible} / (\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{acidez})$$
  - Relaciones Ca/Mg, Mg/K, Ca/K y (Ca+Mg)/K.
  - Capacidad de intercambio de cationes efectiva (CICE):
 
$$CICE = \text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{acidez}$$
  
- Propiedades físicas:
  - Textura.
  - Densidad aparente, se tomó tres muestras (repeticiones) de suelo por parcela con un cilindro de volumen conocido y se secó en un horno a  $105^{\circ}C$  por 48 horas. Se calcula con la ecuación:
 
$$DA = PS / V$$
 Donde: DA = densidad aparente ( $g/cm^3$ ), PS = peso seco (g) y V = volumen de la muestra sin alteraciones ( $cm^3$ ).
  - Compactación o resistencia a la penetración: se determinó con un medidor de compactación de suelos (Dickey-john® Soil compaction tester) a los 7.5, 15, 22.5, 30,

37.5, 45, 52.5 y 60 cm de profundidad, tomando 5 lecturas por parcela. Se registró en libras por pulgada cuadrada (psi).

- Drenaje (MAG/MIRENEM 1991):

1. Excesivo.
2. Moderadamente excesivo.
3. Bueno
4. Moderadamente lento.
5. Lento.
6. Muy lento.
7. Nulo.

- Riesgo de inundación (MAG/MIRENEM 1991):

1. Nulo.
2. Leve. El agua permanece menos de una semana, en años lluviosos.
3. Moderado. El agua permanece menos de 2 semanas. Se inunda todos los años.
4. Severo. El agua permanece menos de 2 semanas, varias veces al año.
5. Muy severo. Se inunda más de 2 semanas, varias veces al año.

- Pedregosidad: El contenido de piedras y rocas del suelo interfieren en el el crecimiento de las raíces y el movimiento del agua (MAG/MIRENEM 1991). Se determinará la pedregosidad por volumen de suelo.

- Profundidad efectiva del suelo, que es hasta donde las raíces penetran sin dificultad.

- Su límite inferior está determinado por capas arcillosas compactas, horizontes cementados, duros o estratos rocosos o pedregosos, nivel freático asociado con gleización u horizontes tóxicos de Cu, Al, Mn o Na (Zech *et al* 1994). Se determinó empleando un barreno, en 3 lugares de la parcela.

- Fisiografía:

- Altitud, en metros sobre el nivel del mar.
- Pendiente, en porcentaje.
- Posición topográfica (Vásquez y Ugalde 1994):

1. Cumbre o cima.
2. Parte superior de la pendiente.
3. Parte inferior de la pendiente.
4. Fondo o parte baja



- Forma del terreno: (Vásquez y Ugalde 1994):

1. Cóncavo.
2. Plano.
3. Convexo.

- Erosión (MAG/MIRENEM 1991):

1. Nula.
2. Ligera o leve. Erosión laminar y/o en surcos ligera (canalículos de pocos centímetros de profundidad). El suelo pierde menos del 25% del horizonte A original.
3. Moderada. Erosión laminar y/o en surcos moderada. Se pierde hasta un 50% del horizonte A original.

4. Severa. Erosión laminar y/o en surcos fuerte, o cárcavas incipientes. El horizonte A se pierde hasta en un 100%.
5. Muy severa. Cárcavas profundas y/o densas. Suelos con exposición del horizonte B.

- Variables de manejo

- Tipo de vegetación circundante.

1. Cultivo.
2. Charral, barbecho de 1 a 2 años.
3. Bosque, tacotal.
4. Potrero.

- Tipo de uso actual de la tierra. Son los sistemas agroforestales en que plantaron los árboles:

1. Cacao plátano laurel.
2. Cacaotales nuevos.
3. Taungya con arazá.
4. Cacaotales viejos.
5. Plantación pura.
6. Linderos.

Anexo 3.2 Variables edafoclimáticas, de manejo, índice de sitio y mortalidad para 60 parcelas de sistemas agroforestales con *C. alliodora*.

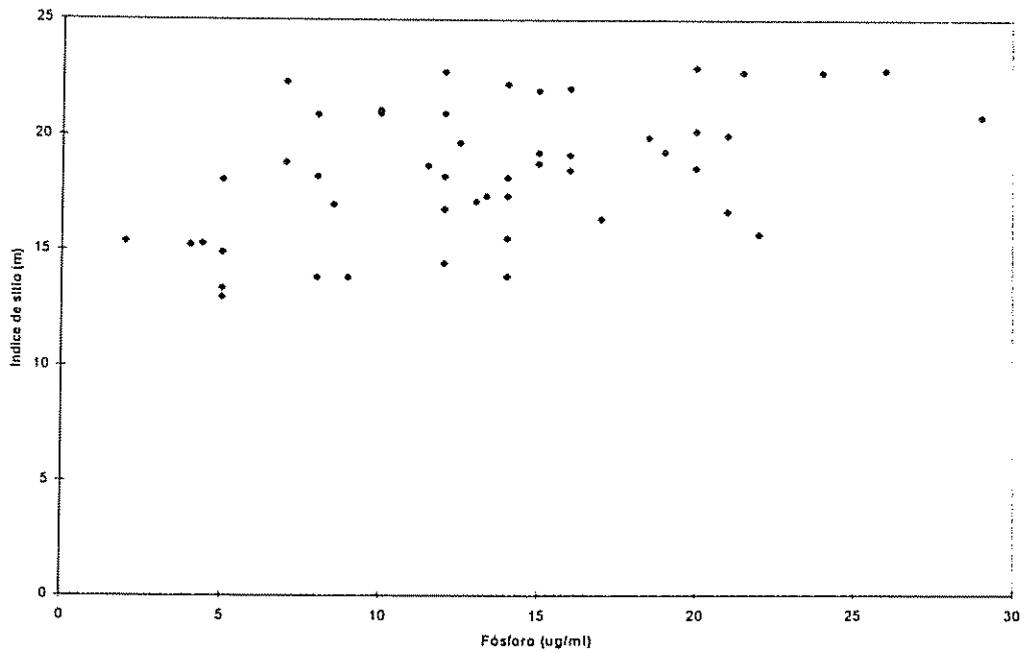
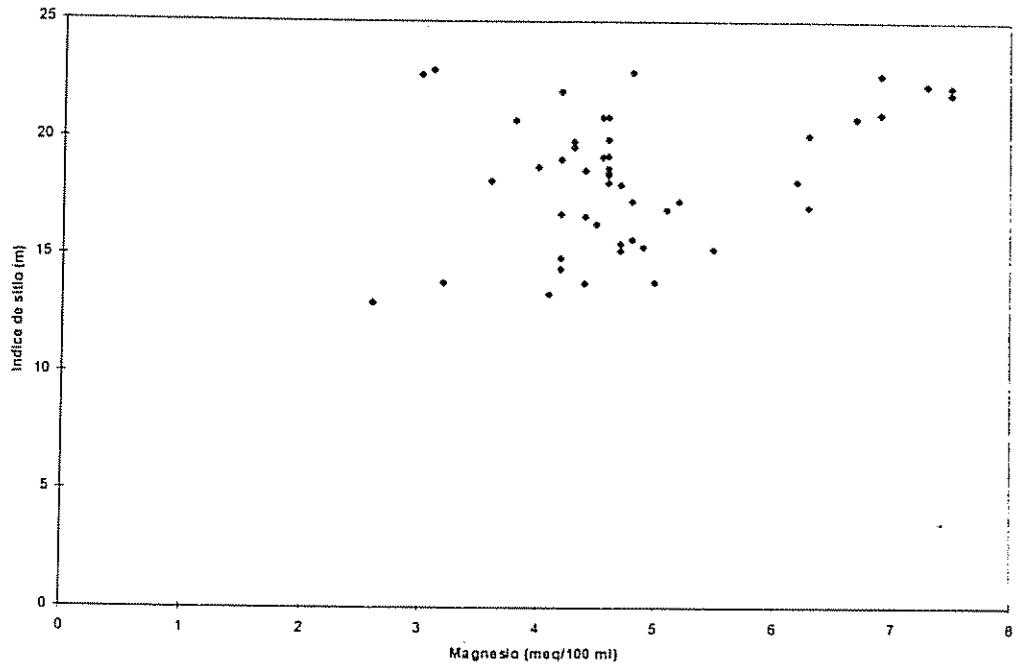
Parcela	pH	Acidez	Ca	Mg	K	P	Zn	Mn	Cu	M.O.	CaMg	Ca/K	Mg/K	(Ca+Mg)/K	CICE	Sa/Kc	Arena	Limo	Arcilla	Posi	Drenaje	Inunda	Forma
13-A1	6.0	0.15	21.6	4.4	0.8	11.5	1.0	15.5	5.0	2.1	4.85	27.97	5.71	33.68	26.92	0.62	25	52	22	4	3	2	2
13-A2	6.2	0.20	21.5	4.3	0.8	12.5	1.5	27.0	5.5	2.4	5.07	25.99	5.30	31.29	26.77	0.76	21	58	20	4	3	2	2
13-A3	6.1	0.20	23.8	4.6	0.6	12.0	1.0	17.5	7.0	2.2	5.02	50.07	8.96	59.04	29.14	0.78	9	56	34	4	3	2	2
13-A4	6.3	0.10	23.2	4.6	0.7	15.0	1.5	23.5	8.5	2.9	5.08	36.34	6.81	43.15	28.54	0.37	7	58	34	4	3	2	2
13-P1	6.0	0.10	23.2	4.6	0.7	14.0	1.5	21.0	5.0	2.8	5.10	39.32	7.36	46.68	28.56	0.36	25	46	28	4	3	2	2
13-P2	5.9	0.10	26.1	5.1	0.5	8.5	1.0	13.5	5.5	1.5	4.97	62.13	11.52	73.64	31.78	0.35	25	50	24	4	3	2	2
13-P3	6.5	0.10	21.9	4.8	0.6	13.3	2.3	10.3	8.0	2.1	4.58	49.53	10.57	60.10	27.45	0.38	9	56	34	4	3	2	2
13-P4	6.3	0.10	22.4	4.5	1.0	17.0	1.5	16.0	7.5	2.8	5.00	21.50	4.33	25.82	28.04	0.37	7	56	36	4	3	2	2
14-1	4.1	4.30	7.1	2.6	0.4	5.0	2.0	64.0	6.0	3.9	3.86	19.72	7.22	26.94	14.36	29.94	23	28	48	1	5	1	3
14-2	4.6	1.30	10.8	2.8	0.4	9.0	3.0	58.0	4.0	3.9	3.86	28.42	7.37	35.79	15.28	8.51	15	44	40	1	5	1	3
14-3	5.3	0.20	33.6	5.7	0.5	2.0	3.0	46.0	2.0	4.6	5.89	68.57	11.63	80.20	39.99	0.50	11	33	56	2	5	1	1
16-1	6.1	0.20	22.7	4.2	0.9	12.0	2.0	35.0	5.0	2.4	5.40	25.80	4.77	30.57	27.98	0.71	17	57	26	4	3	2	2
16-2	6.1	0.10	23.6	4.8	1.2	22.0	3.0	45.0	7.0	2.5	4.92	20.34	4.14	24.48	29.66	0.34	17	45	38	4	3	2	2
16-3	5.8	0.20	23.7	4.4	1.2	21.0	2.0	66.0	6.0	2.4	5.39	20.26	3.76	24.02	29.47	0.68	13	61	26	4	3	2	2
17-1	6.2	0.20	25.7	4.2	0.9	12.0	1.0	27.0	5.0	2.1	6.12	29.20	4.57	33.98	30.98	0.65	11	61	28	1	1	2	2
17-2	6.0	0.10	26.6	4.4	0.8	9.0	2.0	23.0	6.0	1.7	6.05	33.67	5.27	39.24	31.89	0.31	5	65	30	4	1	2	2
17-3	6.2	0.10	28.4	4.7	0.6	14.0	1.0	17.0	5.0	1.5	6.04	49.82	8.25	58.07	33.77	0.30	7	59	34	1	1	2	2
18-1	7.1	0.20	35.7	6.2	1.0	12.0	2.0	17.0	8.0	1.2	5.76	37.19	6.46	7.46	43.06	0.46	17	40	43	4	4	2	2
18-2	7.0	0.20	35.6	6.3	1.1	13.0	2.0	19.0	8.0	2.1	5.65	31.50	5.58	6.58	43.23	0.46	7	58	35	4	4	2	2
18-3	7.2	0.10	36.0	6.3	1.2	20.0	2.0	6.0	9.0	2.3	5.71	30.00	5.25	6.25	43.60	0.23	9	54	37	4	4	2	2
19-1	5.5	0.40	14.1	5.0	0.4	6.0	3.0	37.0	3.0	3.0	2.82	39.17	13.89	14.89	19.86	2.01	11	42	47	4	5	2	2
19-2	5.7	0.20	20.1	4.7	0.3	4.0	3.0	15.0	3.0	3.7	4.28	59.12	13.82	14.82	25.34	0.79	13	42	45	4	4	2	2
19-3	5.6	0.20	20.1	4.7	0.4	5.0	2.0	29.0	2.0	4.3	4.28	52.89	12.37	13.37	25.38	0.79	7	42	51	4	5	2	2
20-1	6.2	0.20	25.5	5.0	0.4	14.0	1.0	10.0	4.0	2.7	5.10	65.38	12.82	13.82	31.09	0.64	21	44	35	4	4	2	2
20-2	6.3	0.10	30.6	5.2	0.8	17.0	1.0	17.0	5.0	4.0	5.88	40.26	6.84	7.84	36.66	0.27	5	45	50	4	4	2	2
20-3	6.2	0.10	30.1	5.2	0.6	14.0	1.0	23.0	5.0	3.8	5.79	50.17	8.67	9.67	36.00	0.28	7	51	42	4	4	2	2
21-1	7.2	0.20	20.3	4.2	0.2	5.0	1.0	2.0	0.2	5.2	4.83	84.58	17.50	18.50	24.94	0.80	79	15	6	4	4	4	2
21-2	6.8	0.20	17.0	3.2	0.4	8.0	1.0	4.0	1.0	3.9	5.31	44.74	4.42	9.42	20.78	0.96	75	13	12	2	2	1	1
21-3	6.4	0.10	16.6	4.0	0.4	7.0	2.0	13.0	1.3	1.3	4.15	46.11	11.11	12.11	21.06	0.47	67	17	16	1	1	1	1
22-1	5.9	0.10	30.7	5.1	0.2	3.0	1.0	12.0	3.0	3.5	6.02	191.88	31.88	32.88	36.06	0.28	59	19	22	4	2	1	2
22-2	5.7	0.10	32.9	4.9	0.2	3.0	1.0	3.0	2.0	3.4	6.71	137.08	20.42	21.42	38.14	0.26	29	35	36	4	2	1	2
22-3	5.8	0.10	32.8	5.5	0.6	6.0	2.0	1.0	3.0	2.3	5.66	55.59	9.32	10.32	38.99	0.26	43	37	31	4	2	1	2
23-1	5.6	0.20	35.1	5.5	0.4	4.4	3.0	39.0	7.0	2.6	6.38	97.50	15.28	16.28	41.16	0.49	23	37	40	4	5	1	2
23-2	5.3	0.10	34.2	5.4	0.3	4.7	3.0	57.0	7.0	2.7	6.33	103.64	16.36	17.36	40.03	0.25	15	39	39	4	5	1	2
23-3	5.3	0.10	31.6	4.8	0.3	5.4	4.0	48.0	4.0	3.0	6.58	98.75	15.00	16.00	36.82	0.27	11	33	56	4	5	1	2
3-1	5.8	0.20	20.4	7.3	0.5	7.0	8.0	67.0	4.0	3.2	2.79	44.35	15.87	60.22	28.36	0.71	29	42	29	4	4	2	2
3-2	6.1	0.10	25.9	7.5	0.5	15.0	5.0	47.0	7.0	2.2	3.45	53.96	15.63	69.58	33.98	0.29	30	47	23	4	4	2	2
3-3	6.1	0.10	24.8	7.5	0.3	14.0	3.0	41.0	7.0	3.1	3.31	88.57	26.79	115.36	32.68	0.31	37	42	21	4	4	1	3
52-1	5.4	0.30	11.3	4.6	0.4	15.0	7.0	98.0	6.0	6.4	2.46	29.74	12.11	41.84	16.58	1.81	17	37	46	1	4	1	3
52-2	5.3	0.70	9.1	5.2	0.5	14.0	11.0	95.0	7.0	6.1	1.75	18.96	10.83	29.79	15.48	4.52	27	31	42	2	4	1	1
52-3	5.3	0.80	10.4	4.2	0.5	16.0	4.0	34.0	3.0	8.8	2.48	19.62	7.92	27.55	15.93	5.02	39	25	36	2	4	1	1
52-4	5.8	0.20	13.5	4.6	0.5	10.0	6.0	49.0	4.0	5.0	2.93	30.00	10.22	40.22	18.75	1.07	15	35	50	2	4	1	3
54-1	6.6	0.10	38.9	6.7	0.4	8.0	1.0	21.0	9.0	2.4	5.68	186.67	32.86	33.86	46.51	0.43	24	27	48	4	4	2	2
54-2	6.1	0.20	39.2	6.9	0.2	10.0	2.0	5.0	19.0	3.4	5.68	186.67	32.86	33.86	46.51	0.43	24	27	48	4	4	2	2
55	5.3	0.10	11.1	4.9	0.5	2.0	3.0	3.0	5.0	5.5	2.27	20.94	9.25	30.19	16.63	0.60	14	59	25	2	5	1	2
56	6.2	0.10	12.5	3.6	0.5	8.0	5.0	1.0	1.0	6.9	3.47	26.04	7.50	33.54	16.68	0.60	32	31	37	2	5	1	2
57	4.8	0.20	7.6	4.1	0.4	5.0	4.0	8.0	1.0	4.4	1.85	21.71	11.71	33.43	12.25	1.63	14	27	59	2	4	1	1
58	6.7	0.50	38.3	6.6	0.7	18.0	2.0	1.0	9.0	3.0	5.80	52.47	9.04	10.04	46.13	1.08	6	41	53	4	5	1	1
59-1C	5.9	0.20	14.3	4.6	0.2	21.0	2.0	78.0	49.0	2.9	3.11	68.10	21.90	90.00	19.31	1.04	7	68	25	4	3	1	2
59-2C	5.9	0.20	13.0	4.6	0.1	2.0	2.0	90.0	29.0	2.7	2.83	53.00	35.38	135.38	17.93	1.12	7	64	27	4	3	1	2
59-2P	5.7	0.20	13.9	4.6	0.3	19.0	2.0	56.0	44.0	2.2	3.02	54.46	17.69	71.15	18.96	1.05	9	66	27	4	3	1	2
59-3C	6.0	0.20	13.9	4.6	0.2	16.0	2.0	68.0	34.0	2.5	3.02	63.18	20.91	84.09	18.92	1.08	8	65	27	4	3	1	2
59-3P	5.9	0.20	11.3	3.8	0.2	29.0	2.0	63.0	23.0	2.2	2.97	47.08	15.83	62.92	15.54	1.29	13	64	23	4	3	1	2
59-CP	5.8	0.20	13.3	4.3	0.2	18.5	2.5	71.5	35.0	2.6	3.09	76.71	24.80	101.51	17.98	1.11	10	64	27	4	3	1	2
60-1C	5.8	0.20	21.3	6.9	0.6	12.0	4.0	46.0	5.0	4.3	3.09	33.81	10.95	44.76	29.03	0.69	33	46	21	4	4	2	2
60-2C	6.4	0.20	15.1	4.2	0.3	16.0	2.0	18.0	7.0	2.1	3.60	50.33	14.00	64.33	19.80	1.01	43	45	11	4	4	2	2
60-2P	6.3	0.10	12.5	3.1	0.4	20.0	1.0	12.0	7.0	1.6	4.03	31.25	7.75	39.00	16.10	0.62	69	24	7	4	4	2	2
60-3C	6.5	0.10	13.6	3.0	0.4	21.5	1.0	9.0	5.5	2.5	4.52	37.64	8.33	45.97	17.01	0.59	77	20	4	4	2	2	
60-3P	6.6	0.10	16.5	4.8	1.2	26.0	3.0	11.0	8.0	2.5	3.44	13.87	4.03	17.90	22.59	0.44	75	16	9	4	4	2	2
60-CP	5.9	0.10	23.6	6.9	0.5	24.0	6.0	56.0	8.0	3.4	3.42	46.27	13.53	59.80	31.11	0.32	30	51	19	4	2	2	2

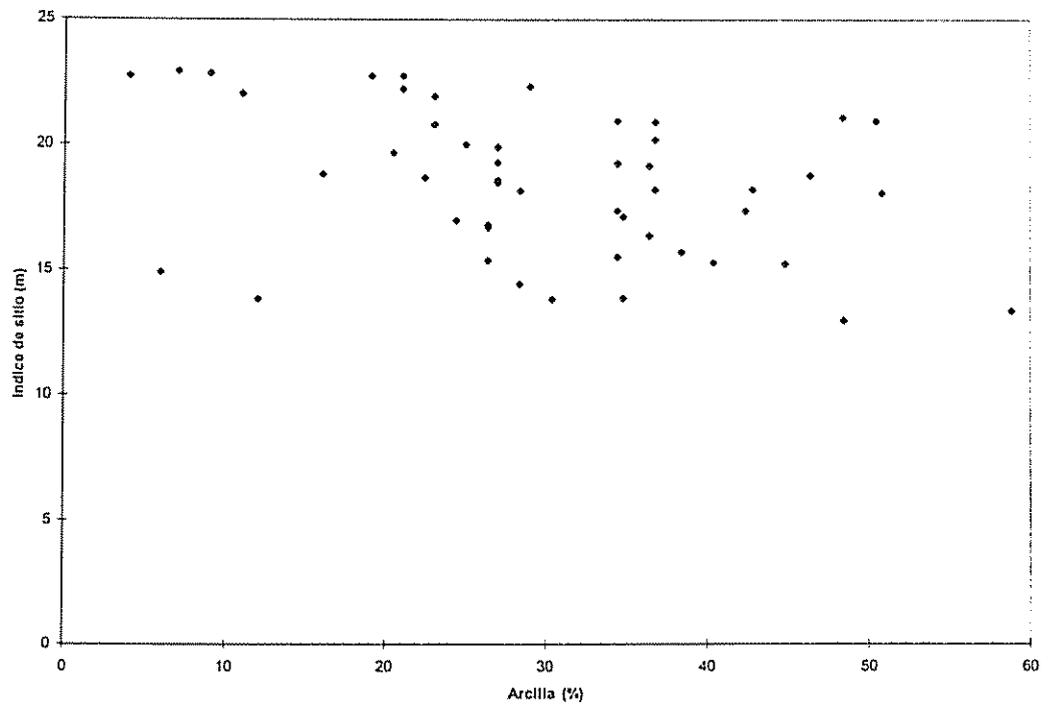
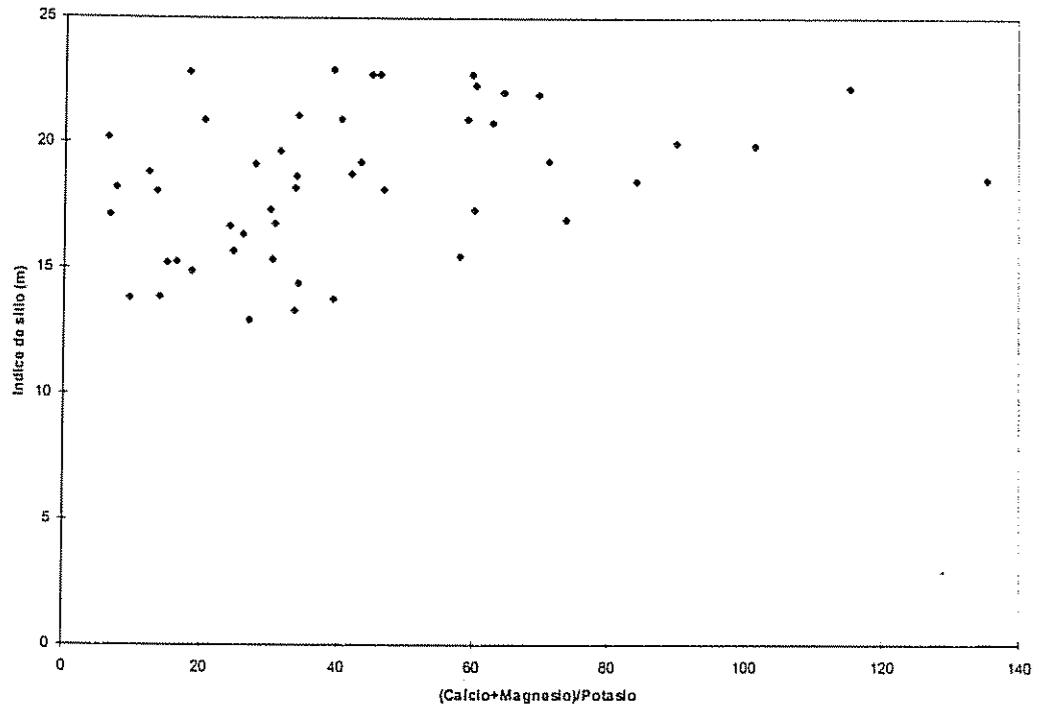
Parcela	Erosi6n	Piedra	Pend	Res1	Res2	Res3	Res4	Res5	Res6	Res7	Res8	PromRes	Veg	Hum	Prof	Proce	Altitud	DA	Porosidad	SAF	IS	Moz2	Clase
13-A1	1	0	1	116	128	137	118	106	92	80	62	105	2	2	70	1	30	0.91	64.9	3	18.66	27	1
13-A2	1	0	1	150	175	163	170	146	138	112	77	144	2	2	60	1	30	1.03	60.5	3	19.66	20	1
13-A3	1	0	2	114	156	196	246	252	202	192	176	192	2	2	64	1	30	0.93	64.1	3	20.88	37	1
13-A4	1	0	2	114	148	194	230	212	196	178	184	182	2	2	70	1	30	0.92	64.6	3	19.26	31	1
13-P1	1	0	1	170	294	318	282	260	232	240	236	264	3	3	60	1	30	0.72	72.5	5	18.16	26	2
13-P2	1	0	1	150	192	168	178	170	158	148	138	163	2	2	80	1	30	0.83	66.1	5	16.96	43	2
13-P3	1	0	2	152	150	176	186	224	206	184	166	183	3	3	70	1	30	0.83	66.0	5	17.36	36	2
13-P4	1	0	2	214	232	336	356	420	495	350	268	334	2	2	70	1	30	0.74	71.5	5	16.36	66	2
14-1	1	0	8	166	138	109	118	116	118	114	126	125	4	4	60	1	175	0.86	71.5	6	12.96	10	3
14-2	1	0	3	172	158	128	126	116	118	124	132	134	4	4	45	1	175	0.89	70.3	6	-	44	1
14-3	2	0	33	166	120	94	96	102	98	104	102	110	4	2	30	1	180	0.90	70.0	6	-	46	1
16-1	1	0	1	130	214	221	358	364	404	430	348	321	3	3	50	2	30	0.77	70.3	6	16.81	0	2
16-2	1	0	2	130	184	221	254	254	256	258	234	224	2	2	40	2	30	0.77	70.5	6	15.70	24	2
16-3	1	0	2	96	154	212	248	292	282	276	250	226	3	3	50	2	30	0.78	69.9	6	16.71	0	2
17-1	1	0	1.5	120	149	118	146	146	156	156	152	143	2	2	100	2	15	0.92	63.7	6	14.41	19	3
17-2	1	0	4	153	173	135	190	157	198	168	158	167	2	2	100	2	15	0.87	66.7	6	13.81	56	3
17-3	1	0	4	124	142	142	138	122	120	112	124	128	2	2	80	2	15	0.83	66.0	6	15.51	0	3
18-1	2	0	5	88	63	68	112	143	125	118	122	105	3	3	80	2	15	0.85	67.2	6	18.20	45	2
18-2	1	0	3	67	73	74	102	107	115	132	114	98	3	3	80	2	15	0.75	71.2	6	17.10	20	2
18-3	1	0	1	32	60	64	88	112	134	126	136	97	3	3	80	2	15	0.77	70.5	6	20.20	0	1
19-1	1	0	1	114	160	190	218	278	306	308	320	237	1	1	60	2	10	0.72	72.5	6	-	100	3
19-2	1	0	1	94	150	180	206	224	260	282	302	212	1	1	60	2	10	0.87	66.7	6	15.23	11	3
19-3	1	0	1	94	140	140	184	222	248	262	282	197	1	1	60	2	10	0.79	66.0	6	18.05	0	2
20-1	1	0	2	192	146	116	112	104	112	112	114	127	4	4	100	2	10	1.01	61.2	6	13.86	25	3
20-2	1	0	5	106	130	130	134	148	168	150	166	140	3	3	100	2	10	1.02	60.8	6	-	51	1
20-3	1	0	2	158	134	132	122	130	154	172	194	150	4	4	120	2	10	1.08	56.6	6	-	6	1
21-1	1	0	4	78	92	100	50	60	100	90	81	150	2	2	30	1	3	1.06	57.3	6	14.90	10	3
21-2	1	10	5	168	242	315	373	392	434	450	525	362	1	1	54	1	3	1.11	55.6	6	13.80	10	3
21-3	1	2	4	306	514	528	483	397	386	308	313	406	1	1	51	1	3	1.12	55.0	6	18.80	36	1
22-1	1	0	2	268	345	475	450	457	422	378	345	353	1	1	70	1	10	0.92	63.4	6	-	60	1
22-2	1	0	2	122	132	142	178	180	173	147	153	153	1	1	50	1	10	0.83	66.7	6	-	83	1
22-3	1	0	2	190	174	150	154	124	116	114	116	142	1	1	70	1	10	0.97	61.3	6	15.30	72	1
23-1	1	0	2	126	138	118	116	152	126	172	162	139	1	1	45	1	10	0.82	72.8	6	15.30	46	3
23-2	1	0	1	108	108	100	108	132	124	124	120	116	1	1	60	1	10	0.68	77.2	6	8.99	71	3
23-3	1	0	2	100	78	72	80	93	123	127	138	101	1	1	60	1	10	0.66	77.9	6	-	70	3
3-1	0	0	2	157	203	217	236	279	325	358	373	269	3	3	60	4	5	0.78	68.8	2	22.32	0	1
3-2	1	0	2	87	113	102	110	130	135	140	155	122	3	3	60	4	5	0.81	68.7	2	21.92	0	1
3-3	1	0	2	80	110	142	162	142	124	160	160	117	3	3	60	4	5	0.73	71.9	2	22.22	12	1
52-1	1	15	7	236	286	320	304	354	375	355	513	344	4	4	40	4	280	0.79	68.4	2	18.76	0	1
52-2	1	20	19	191	255	242	275	320	325	313	305	278	3	3	40	4	280	0.80	68.0	2	17.37	17	2
52-3	2	25	17	130	232	262	204	256	256	338	363	253	3	3	40	4	280	0.72	72.1	2	19.16	0	1
52-4	1	25	22	160	183	202	242	253	266	306	390	250	3	3	30	4	280	0.79	68.5	2	20.96	0	1
54-1	1	0	2	132	144	112	130	148	148	136	141	136	3	3	40	4	280	0.84	67.5	4	20.90	0	1
54-2	1	0	0	132	144	134	122	132	142	146	140	137	3	3	40	3	10	0.84	67.4	4	21.10	6	1
55	1	32	30	140	132	120	122	120	122	154	135	131	3	3	35	3	110	0.74	71.6	4	15.38	13	3
56	1	60	20	184	290	290	280	295	355	355	400	304	3	3	30	3	70	0.73	70.7	4	18.20	6	2
57	1	40	25	167	258	293	325	351	383	380	318	318	3	3	30	3	110	0.76	70.7	4	13.36	28	3
58	1	0	1	114	101	103	81	67	76	83	66	86	2	2	15	3	10	0.76	70.6	4	-	50	1
59-1C	1	0	1	236	272	290	330	354	518	488	400	362	3	3	80	3	15	0.90	65.7	1	19.99	1	1
59-2C	1	0	1	160	207	250	322	362	388	380	310	297	3	3	80	3	15	0.90	64.1	1	18.59	0	2
59-2P	1	0	1	164	164	240	282	284	354	348	316	269	3	3	80	3	15	0.90	65.7	1	18.29	0	1
59-3C	1	0	1	150	198	216	210	208	238	208	212	207	3	3	90	3	15	0.80	69.5	1	18.49	0	2
59-3P	1	0	1	204	256	364	362	330	366	308	302	302	3	3	70	3	15	0.85	67.7	1	20.79	11	1
59-CP	1	0	1	206	274	320	418	464	486	386	312	358	3	3	80	3	15	0.92	65.4	1	20.79	0	1
60-1C	1	0	1	94	142	154	180	208	218	260	270	191	3	3	100	3	30	0.82	73.8	1	22.74	0	1
60-2C	1	0	1	144	172	166	150	150	144	150	210	164	3	3	100	3	30	0.82	69.3	1	22.04	0	1
60-2P	1	0	1	120	96	144	174	182	188	198	208	164	3	3	100	3	30	0.88	67.8	1	22.94	0	1
60-3C	1	0	1	104	146	208	228	250	178	192	206	189	3	3	100	3	30	0.87	63.2	1	22.74	0	1
60-3P	1	0	1	93	140	145	148	152	147	145	305	159	3	3	100	3	30	0.87	73.4	1	22.84	0	1
60-CP	1	0	1	106	136	158	178	206	226	235	264	189	3	3	100	3	30	0.62	77.4	1	22.74	0	1

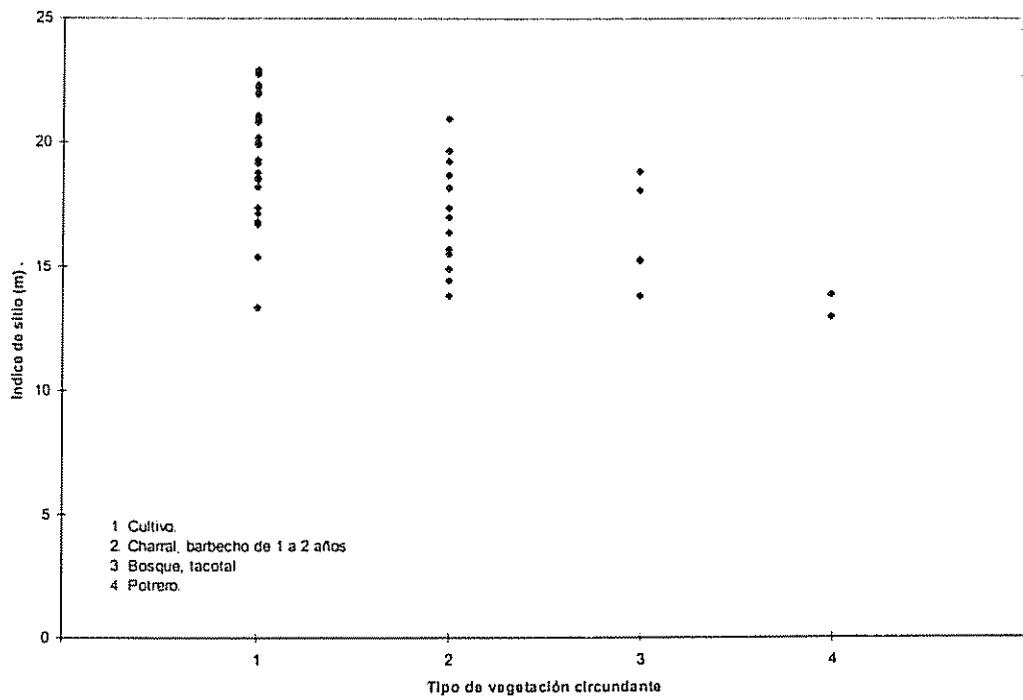
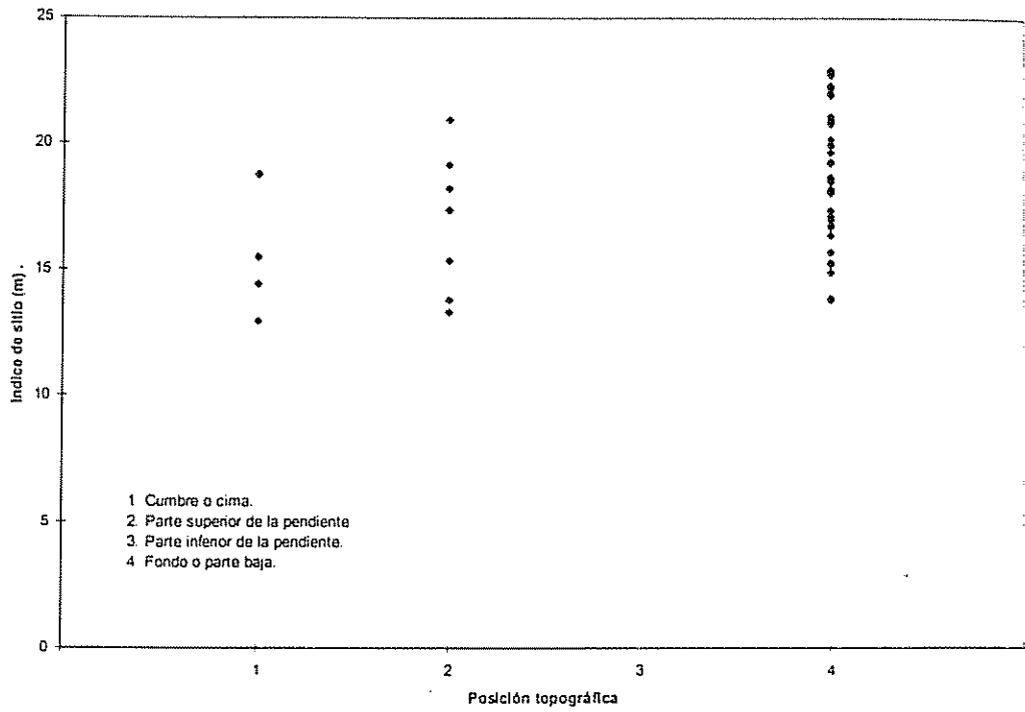
Anexo 3.3 Características químicas de los suelos de 50 parcelas agroforestales con laurel en Talamanca y Changuinola. Frecuencia de ocurrencia de parcelas en las categorías propuestas por Bertsch (1987).

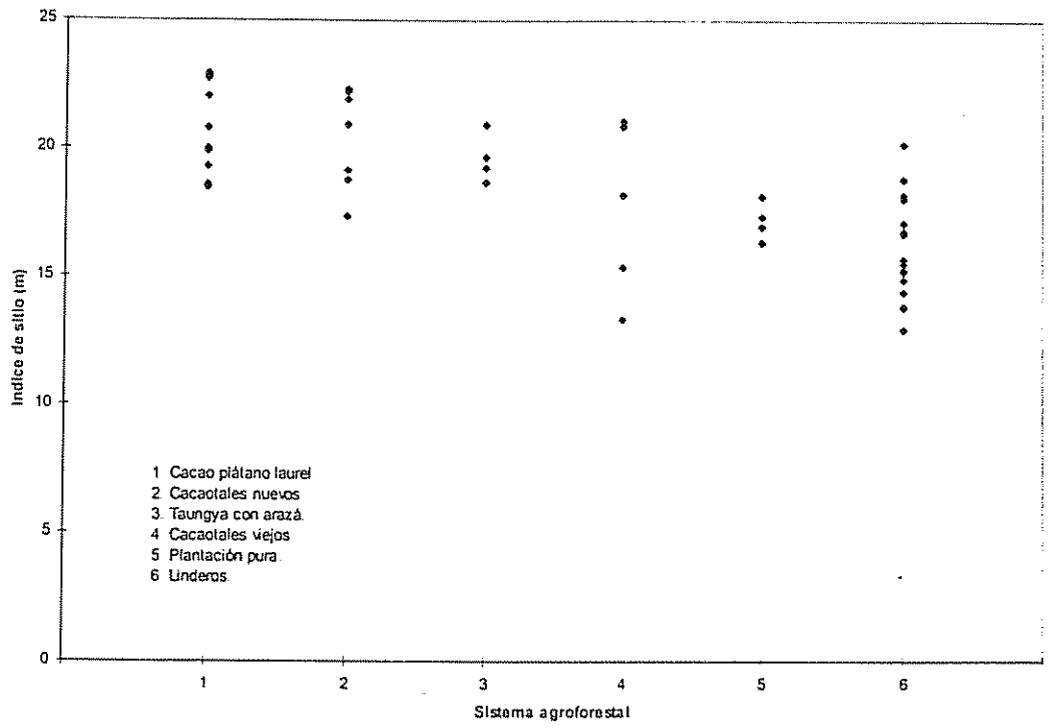
Característica	Número de parcelas en la categoría		
	Baja	Media	Alta
pH	7	36	7
Acidez extraíble	47	2	1
Saturación de acidez	49	1	0
Ca	0	20	30
Mg	0	36	14
K	2	32	16
Ca/Mg	2	29	19
Ca/K	0	9	41
Mg/K	0	36	14
(Ca+Mg)/K	4	25	21
CICE	0	21	29
P	17	26	7
Zn	31	18	1
Mn	5	32	13
Cu	6	38	6

## Anexo 3.4 Variables correlacionadas significativamente con el IS.









#### 4. Recomendaciones generales

Se recomienda generar funciones de predicción de la altura en función del diámetro para cada parcela individualmente, con el fin de agilizar las mediciones en la fase de campo, así como la tabulación e interpretación de la información, ya que por la edad y la altura alcanzada por los árboles se dificulta la determinación de la altura y en el trabajo de gabinete se observan algunas incoherencias en el crecimiento. Se sugiere medir la altura para actualizar las funciones cada dos o tres años, ya que pasado ese tiempo, no se observan decrecimientos o crecimientos exagerados. Esto además permitirá una mayor eficiencia en la evaluación de otros parámetros de las parcela.

También se recomienda realizar análisis de fertilidad de suelos por finca. Los análisis realizados en 1990 y 1993 podrían ser mejor interpretados teniendo un tercer punto de referencia, ya que se podría observar la tendencia que siguen los sistemas agroforestales ya sea hacia el mejoramiento o mantenimiento de la fertilidad. Se sugiere simplemente tomar una muestra compuesta por parcela.

Para conocer el verdadero potencial de los sistemas agroforestales instalados se sugiere comparar el crecimiento y las características de sitio con otras parcelas de laurel de la zona, que no hayan estado bajo el monitoreo del proyecto.

Finalmente, se recomienda realizar análisis de costos y comparar los sistemas desde el punto de vista financiero.

## 5. Conclusiones generales

Los árboles de los sistemas agroforestales evaluados alcanzaron mayor crecimiento en altura y diámetro de acuerdo al siguiente orden: sistema cacao-laurel-plátano, taungya (asocio con arazá), cacaotal nuevo, cacaotal viejo, lindero y plantación pura.

El tipo de sistema agroforestal fue la variable más correlacionada con el crecimiento de los árboles de *C. alliodora*.

Las variables edafo-fisiográficas más relacionadas con el crecimiento de los árboles de *C. alliodora* resultaron ser el P, arcilla, (Ca+Mg)/K, Mg y posición topográfica.

La selección de sitios fértiles y bien drenados es importante para establecer plantaciones de laurel, pero es aún más importante asociarlo con cultivos y manejarlos adecuadamente.