

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

FACTORES EDAFICOS Y TOPOGRAFICOS QUE DETERMINAN LA CALIDAD DE SITIO EN  
PLANTACIONES JOVENES DE Pinus caribaea var. hondurensis EN PAVONES,  
TURRIALBA, COSTA RICA.

Tesis sometida a la consideración de la Comisión del Programa conjunto de  
Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales de la  
Universidad de Costa Rica y el Centro Agronómico Tropical de  
Investigación y Enseñanza para optar al grado de

Magister Scientiae

Por

HERBERT ORTEGA BALDIZON

Centro Agronómico Tropical De Investigación y Enseñanza  
Departamento de Recursos Naturales Renovables  
Turrialba, Costa Rica  
1986

## AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi sincero agradecimiento a las siguientes personas e instituciones:

Al Gobierno de Holanda por la beca otorgada para la realización de mis estudios.

A Héctor A. Martínez H., M. Sc. en su calidad de profesor consejero por su orientación y apoyo constante.

Al comité asesor, en especial Roberto Díaz-Romeu, M. Sc. por su valiosa ayuda e interés en el presente trabajo.

A Rodolfo Salazar, Ph. D. por sus valiosas sugerencias y apoyo brindado en el análisis de los datos.

A Romeo Martínez Rodas, Ph. D. por su amistad y apoyo para la realización de los análisis de suelo.

A la Compañía Celulosa de Turrialba, S. A. por su apoyo en la realización de este estudio al poner a disposición la plantación y apoyo logístico para la realización del trabajo de campo. Al Ing. Francisco Lega por la ayuda brindada, igualmente al Ing. Ruperto Quezada, ambos funcionarios de la empresa. Por la valiosa ayuda en el trabajo de campo al personal de Celulosa de Turrialba, S. A., especialmente a Melvin Fonseca y Manuel Barrientos.

Al Ing. Jorge Nuñez Solíz por su colaboración en el trabajo de caracterización de suelos.

Al Ing. Valentín Jiménez por su desinteresada ayuda en el análisis de datos y en la impresión de la tesis, al personal de apoyo del Proyecto MADELEÑA: Marcelino Montero, Hugo Brenes, Miguel Solano y Rita Aguilar por su amistad y apoyo en la realización del presente trabajo.

A Gerardo Martínez por su ayuda y amistad. A Teresita Rojas por su amistad y desinteresado apoyo. A las señoras y señoritas del Programa de

Posgrado UCR/CATIE y del Programa de Capacitación por su amistad, ayuda y amable atención recibida durante mi estancia en CATIE.

Al personal de la Biblioteca Conmemorativa Orton, en especial a las señoras Laura Coto Royo y Nidia García, a los señores Rigoberto Aguilar, Jesús Jiménez, Gerardo Brenes y Fabio Calderón.

A la señora Elizabeth Torres del Club Internacional por su amistad y amable atención.

A los compañeros de promoción Lincoln Quevedo, Róger Sequeira, Ramón Sánchez, Luciano Cárdenas y Sergio Alavez por su amistad.

A todas las personas que en Costa Rica me brindaron su amistad haciendo mas llevadera la maestría.

## BIOGRAFIA

El autor nació en la ciudad de Guatemala el 5 de noviembre de 1954. Realizó los estudios primarios en el Colegio Juana de Arco y los estudios secundarios en el Colegio de Infantes donde obtuvo el título de Bachiller en Ciencias y Letras en el año 1971.

En 1972 ingresó a la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en donde en el año de 1978 obtuvo el título de Ingeniero Agrónomo.

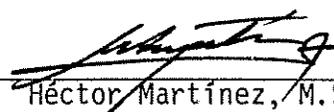
De 1978 a 1983 trabajó en el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas -ICTA-, y en los Centros Regionales de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

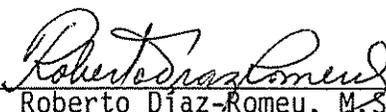
En marzo de 1984 ingresó al Programa de Estudios de Posgrado UCR/CATIE y en 1986 obtuvo el grado de Magister Scientiae en Recursos Naturales Renovables con especialidad en Manejo de Bosques.

Esta tesis fue aceptada por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales de la Universidad de Costa Rica y del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, como requisito para optar al grado de

*Magister Scientiae*

COMITE ASESOR

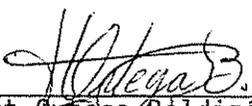
  
\_\_\_\_\_  
Héctor Martínez, M.Sc.      Consejero Principal

  
\_\_\_\_\_  
Roberto Díaz-Romeu, M.Sc.      Miembro del Comité

  
\_\_\_\_\_  
Jan Bauer, M.Sc.      Miembro del Comité

  
\_\_\_\_\_  
José Francisco Di Stefano, Ph.D.  
Director del Programa de Estudios  
de Posgrado en Ciencias Agrícolas  
y Recursos Naturales, UCR/CATIE

  
\_\_\_\_\_  
Luis Estrada, Ph.D.  
Decano del Sistema de Estudios  
de Posgrado de la Universidad  
de Costa Rica

  
\_\_\_\_\_  
Herbert Ortega Baldizón  
Candidato

## TABLA DE CONTENIDO

	Página
RESUMEN . . . . .	ix
SUMMARY . . . . .	xi
LISTA DE CUADROS . . . . .	xiii
LISTA DE APENDICES . . . . .	xv
LISTA DE FIGURAS . . . . .	xvi
<b>1. INTRODUCCION . . . . .</b>	<b>1</b>
1.1 Hipótesis . . . . .	2
1.2 Objetivos . . . . .	2
1.2.1 Objetivo general . . . . .	2
1.2.2 Objetivos específicos . . . . .	2
<b>2. REVISION DE LITERATURA . . . . .</b>	<b>4</b>
2.1 Generalidades . . . . .	4
2.2 Importancia de la determinación de la calidad de sitio . . . . .	4
2.3 El crecimiento de los árboles . . . . .	5
2.3.1 Crecimiento . . . . .	5
2.3.2 Anillos de crecimiento . . . . .	6
2.3.3 Factores que afectan el crecimiento de los árboles . . . . .	6
2.3.4 El crecimiento de <u>Pinus caribaea</u> var. <u>hondurensis</u> . . . . .	7
2.4 Métodos de evaluación de la calidad de sitio . . . . .	8
2.4.1 Altura . . . . .	8
2.4.2 Análisis de fuste . . . . .	10
2.4.3 Volumen . . . . .	11
2.4.4 Plantas indicadoras . . . . .	12
2.5 Factores que afectan la calidad de sitio . . . . .	13
2.5.1 Suelos . . . . .	13
2.5.1.1 Factores topográficos . . . . .	13
2.5.1.2 Propiedades físicas . . . . .	15
2.5.1.3 Propiedades químicas . . . . .	16
2.5.2 Otros métodos para estimar el índice de sitio . . . . .	19

	Página
2.6 Requerimientos ambientales y nutricionales de <u>P. caribaea</u> var. <u>hondurensis</u> . . . . .	20
2.6.1 Distribución natural . . . . .	20
2.6.2 Factores climáticos . . . . .	20
2.6.3 Factores edáficos . . . . .	21
2.6.3.1 Topografía y propiedades físicas . . . . .	21
2.6.3.2 Propiedades químicas . . . . .	21
<b>3. MATERIALES Y METODOS</b> . . . . .	<b>22</b>
3.1 Información general del área en estudio . . . . .	22
3.1.1 Localización . . . . .	22
3.1.2 Clima . . . . .	22
3.1.3 Suelos . . . . .	25
3.2 Material experimental . . . . .	25
3.3 Metodología . . . . .	25
3.3.1 Definición de la población y selección de la muestra . . . . .	25
3.3.2 Trabajo de campo . . . . .	30
3.3.3 Trabajo de laboratorio . . . . .	33
3.4 Análisis de datos . . . . .	36
3.4.1 Índice de sitio . . . . .	36
3.4.2 Análisis de los factores del sitio . . . . .	37
3.4.3 Análisis estadístico . . . . .	37
3.4.4 Análisis de caracterización . . . . .	39
3.4.5 Análisis fustal . . . . .	39
<b>4. RESULTADOS</b> . . . . .	<b>40</b>
4.1 Clases de sitio . . . . .	40
4.2 Ubicación de las parcelas en estudio por clase de sitio . . . . .	43
4.3 Cálculo de las características dasométricas por clase de sitio . . . . .	43
4.3.1 Índices de espaciamiento relativo . . . . .	46
4.3.2 Propuesta de raleo . . . . .	46
4.4 Factores edáficos y fisiográficos . . . . .	47
4.5 Correlaciones entre las variables dasométricas y los factores del sitio . . . . .	56

	Página
4.6 Selección de las variables de predicción del sitio . . . . .	58
4.7 Clasificación taxonómica de los sitios según el subgrupo de suelo . . . . .	60
5. DISCUSION . . . . .	62
6. CONCLUSIONES . . . . .	67
7. RECOMENDACIONES . . . . .	69
8. BIBLIOGRAFIA . . . . .	71
9. APENDICE . . . . .	80
10. ANEXO . . . . .	97

ORTEGA B., H. 1986. Factores edáficos y topográficos que determinan la calidad de sitio en plantaciones jóvenes de Pinus caribaea var. hondurensis en Pavones, Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc., Turrialba, C. R., CATIE. 108 p.

**FACTORES EDAFICOS Y TOPOGRAFICOS QUE DETERMINAN LA CALIDAD DE SITIO EN PLANTACIONES JOVENES DE Pinus caribaea var. hondurensis EN PAVONES, TURRIALBA, COSTA RICA**

Palabras clave: P. caribaea var. hondurensis, calidad de sitio, drenaje, factores edáficos, Costa Rica.

**RESUMEN**

La tasa de deforestación anual en América Central es superior al uno por ciento, por lo que se estima que la cobertura boscosa puede desaparecer aproximadamente en 35 años. Es urgente reforestar y garantizar el éxito de la misma. Se puede lograr este objetivo conociendo las condiciones ambientales que influyen en el crecimiento de las especies seleccionadas mediante el índice de sitio.

Una especie ampliamente utilizada en proyectos de reforestación es Pinus caribaea var. hondurensis, no es nativa de Costa Rica y hasta la fecha se han realizado pocos estudios con la finalidad de conocer los factores que determinan el crecimiento de la especie en los sitios donde se ha plantado. Por esta razón se realizó el presente estudio en la plantación de la empresa Celulosa de Turrialba S. A., con el cual se determinaron las condiciones de sitio que permiten mayores rendimientos de la especie en el área de Pavones, Turrialba, Costa Rica.

Se obtuvieron cuatro clases de sitio a la edad marca de ocho años, la mayor proporción de parcelas (46,7%) se localiza en la clase de sitio II, la que posee el mayor número de árboles/ha; la proporción de área del sitio I es menor. Los factores fisiográficos y edáficos que permitieron separar las diferentes calidades de sitio y que explican en más de 50 por ciento las variaciones en el índice de sitio fueron: el limo, la altitud sobre el nivel del mar, la profundidad efectiva y el microrrelieve, todas directa o indirectamente relacionadas con la calidad de drenaje. Las clases de sitio I, II y III requieren de un raleo para aprovechar mejor el potencial del

sitio, aunque en la clase de sitio III el raleo debe ser menor que en las otras dos clases. A la edad actual se puede esperar un rendimiento de 154 m<sup>3</sup>/ha sin corteza en la clase de sitio I, 150,88 m<sup>3</sup>/ha en la clase de sitio II, 80,72 m<sup>3</sup>/ha en la clase de sitio III y 48,18 m<sup>3</sup>/ha en la clase de sitio IV.

EDAPHIC AND TOPOGRAPHIC FACTORS WHICH DETERMINE SITE QUALITY IN YOUNG  
PLANTATIONS OF Pinus caribaea var. hondurensis IN PAVONES, TURRIALBA,  
COSTA RICA

Key words: Pinus caribaea var. hondurensis, site quality, edaphic factors, drainage, Costa Rica.

SUMMARY

The annual rate of deforestation in Central America is higher than one per cent and it is estimated that forest cover could disappear in approximately 35 years. There is an urgent need for reforestation to guarantee the survival of these forests. By means of site index, this objective can be achieved given knowledge of the environmental conditions influencing the growth of the selected species.

A species highly utilized in reforestation projects is P. caribaea var. hondurensis. It is not native to Costa Rica and to date, only a few studies have been undertaken with the aim of determining the factors which modify growth of the species in those areas in which it has been planted. For this reason, the present study was carried out on a plantation belonging to Celulosa de Turrialba S.A. in order to determine the local conditions which produce the best growth of the species in the area of Pavones, Turrialba, Costa Rica.

Four site classes, of eight years of age, were obtained. The greatest proportion of plots (46,7%) were located in site class II, which contained the greatest number of trees/ha; the proportion of area in site class I was the least. The physiographic and edaphic factors which allow separation of the different site qualities and which explain more than 50 per cent of the variation in site index were: silt, altitude above sea level, actual depth and microrelief, all direct and indirect relations in drainage quality. Site classes I, II and III required clearing in order to improve the potential of the site, although site class III required less clearing than the other two classes. At the present age, the expected output without cutting back pruning are: for site class I is

154,0 m<sup>3</sup>/ha; 150,88 m<sup>3</sup>/ha for site class II; 80,72 m<sup>3</sup>/ha for site class III; and 48,18 m<sup>3</sup>/ha for site class IV.

## LISTA DE CUADROS

	Página
1. Características de los subgrupos de suelos de la región de Pavones, Turrialba, Costa Rica. . . . .	26
2. Información general de la plantación de <u>P. caribaea</u> var. <u>hondurensis</u> de la finca Buenavista, Pavones, Turrialba . . . .	28
3. Características de las parcelas muestra en la plantación de <u>P. caribaea</u> var. <u>hondurensis</u> de la finca Buenavista, Pavones, Turrialba . . . . .	29
4. Coeficientes de regresión de los índices de sitio para <u>P. caribaea</u> var. <u>hondurensis</u> a los ocho años en la finca Buenavista, Pavones, Turrialba, Costa Rica. . . . .	40
5. Distribución de parcelas en clases de sitio en base a la altura mayor promedio en la finca Buenavista, Pavones, Turrialba. . . . .	44
6. Características dasométricas según clase de sitio en la finca Buenavista, Pavones, Turrialba . . . . .	45
7. Condiciones de espaciamiento actuales y propuestas para la plantación de <u>P. caribaea</u> var. <u>hondurensis</u> de la finca Buenavista, Pavones, Turrialba . . . . .	48
8. Características físicas y fisiográficas promedio por clase de sitio de los suelos de la finca Buenavista, Pavones, Turrialba. . . . .	49
9. Características químicas y de textura promedio por clase de sitio para la profundidad entre 0 y 20 cm, de los suelos de la finca Buenavista, Pavones, Turrialba . . . . .	50
10. Características químicas y de textura promedio por clase de sitio para la profundidad entre 20 y 50 cm, de los suelos de la finca Buenavista, Pavones, Turrialba . . . . .	52
11. Interpretación de las propiedades químicas de los suelos de la finca Buenavista, según clase de sitio y profundidad de muestreo . . . . .	55
12. Factores del sitio que presentan los mayores coeficientes de correlación con los parámetros dasométricos medidos en la finca Buenavista, Pavones, Turrialba. . . . .	57

13. Modelos de regresión obtenidos para predecir las clases de sitio, mediante las variables ambientales en plantaciones de <u>P. caribaea</u> var. <u>hondurensis</u> a los ocho años de edad en Pavones, Turrialba . . . . .	59
14. Subgrupos de suelo por clase de sitio de la finca Buenavista, Pavones, Turrialba . . . . .	61

## LISTA DE APENDICES

	Página
1A. Distribución mensual de la precipitación (en mm) en la finca Buenavista. . . . .	80
2A. Factores físicos y fisiográficos de las parcelas en estudio de la finca Buenavista, Pavones, Turrialba. . . . .	81
3A. Propiedades químicas y texturales de los suelos a la profundidad entre 0 y 20 cm de las parcelas en estudio en la finca Buenavista, Pavones, Turrialba. . . . .	82
4A. Propiedades químicas y texturales de los suelos a la profundidad entre 20 y 50 cm de las parcelas en estudio en la finca Buenavista, Pavones, Turrialba. . . . .	84
5A. Guía de interpretación para análisis de suelos (Díaz-Romeu y Hunter, 1978). . . . .	86
6A. Ambitos para la interpretación de análisis de suelos. . . . .	87
7A. Coeficientes de correlación lineal de las variables dasométricas con las variables físicas y fisiográficas de los suelos de la finca Buenavista, Pavones, Turrialba. . . . .	90
8A. Coeficientes de correlación lineal de las variables dasométricas con las variables químicas y de textura a la profundidad entre 0 y 20 cm de los suelos de la finca Buenavista, Pavones, Turrialba. . . . .	91
9A. Coeficientes de correlación lineal de las variables dasométricas con las variables químicas y de textura a la profundidad entre 20 y 50 cm de los suelos de la finca Buenavista, Pavones, Turrialba. . . . .	93
10A. Coeficientes de correlación lineal de la variable altitud con los otros factores del sitio en la finca Buenavista, Pavones, Turrialba. . . . .	95
11A. Subgrupos de suelo de las parcelas en estudio de la finca Buenavista, Pavones, Turrialba. . . . .	96

## LISTA DE FIGURAS

	Página
1. Mapa de localización de la región en estudio. . . . .	23
2. Precipitación mensual promedio (1978-1984) en la finca Buenavista, Celulosa de Turrialba, Pavones, Turrialba . . . .	24
3. Ubicación de lotes en la finca Buenavista, Pavones, Turrialba . . . . .	27
4. Código de clasificación topográfica de un área para predicción de índices de sitio. . . . .	32
5. Índices de sitio para <u>P. caribaea</u> var. <u>hondurensis</u> en Pavones, Turrialba, 1986 (función de intercepto común). . . .	41
6. Índices de sitio para <u>P. caribaea</u> var. <u>hondurensis</u> en Pavones, Turrialba, 1986 (función de pendiente común). . . .	42

## 1. INTRODUCCION

En los últimos años se ha incrementado la deforestación en América Latina. Para finales de 1985 en América Central la cobertura boscosa estimada, latifoliadas y coníferas, era de aproximadamente 12 millones 670 mil ha. En el quinquenio 1981-1985 se deforestaron 371 mil ha/año, con una tasa de deforestación anual superior al uno por ciento (30). Al ritmo actual de deforestación se estima que la cobertura boscosa puede desaparecer en aproximadamente 35 años (34).

El aumento de la población ha incrementado la presión sobre el bosque al expandirse la frontera agrícola, buscar en él madera para construcción y combustible. Los bosques naturales remanentes no se explotan racionalmente y cada vez se encuentran mas alejados de los centros de consumo, lo que incrementa los costos de extracción y los precios de los productos de madera. Ante este panorama se vuelve imperioso realizar investigaciones para determinar las especies que se desarrollan mejor en las áreas que han sido deforestadas. Estas especies deberán ser de rápido crecimiento y al mismo tiempo proveer los productos que la población requiere en mayores cantidades: madera, pulpa y leña.

Uno de los problemas principales para determinar las especies que cumplen con los requisitos mencionados anteriormente es conocer las condiciones de sitio que influyen en el crecimiento. Esto puede lograrse mediante el conocimiento del índice de sitio y la relación con los factores tanto edáficos como climáticos que lo determinan.

Conocer esta relación permitirá clasificar los sitios según la calidad, lo que a la vez servirá para decidir técnicas de manejo mas adecuadas en cada sitio para maximizar la producción.

Una especie de crecimiento rápido ampliamente utilizada en proyectos de reforestación en diversos países del mundo es Pinus caribaea var. nondurensis Barr y Golf., utilizada en la producción de papeles rústicos y resistentes como papel periódico o papeles de mayor resistencia como los de uso doméstico.

P. caribaea var. hondurensis es originario de la costa atlántica de América Central, desde Belice hasta Nicaragua. Fue introducida en Costa Rica en el año de 1960 inicialmente en plantaciones pequeñas. Posteriormente se realizaron plantaciones de mayor escala. A la fecha se han realizado pocos estudios con la finalidad de conocer los factores que determinan el crecimiento de la especie en los sitios donde se ha plantado en Costa Rica. El presente estudio pretende determinar las condiciones de sitio que permiten mayores rendimientos de P. caribaea var. hondurensis en el área de Pavones, Turrialba, buscando una forma de clasificación de sitios que permitan hacer un mejor uso de la tierra en los lugares donde es factible plantar esta especie y posteriormente aplicar técnicas de manejo acordes a la calidad de los sitios.

## 1.1 Hipótesis

La hipótesis nula planteada en la realización de este estudio fue: ningún factor fisiográfico o edáfico está influyendo en el crecimiento de P. caribaea var. hondurensis en la zona de Pavones de Turrialba. La hipótesis alterna: por lo menos un factor fisiográfico, edáfico o combinación de ellos influye en el crecimiento de P. caribaea var. hondurensis en la zona de Pavones de Turrialba.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo general

El objetivo general fue determinar los factores del sitio que condicionan el crecimiento de P. caribaea var. hondurensis en Pavones, Turrialba, Costa Rica.

### 1.2.2 Objetivos específicos

1. Determinar los índices de sitio a la edad marca de ocho años para las plantaciones de P. caribaea var. hondurensis en la zona de estudio.

2. Determinar los factores fisiográficos y/o edáficos que influyen en el crecimiento de P. caribaea var. hondurensis en la zona de estudio y establecer su relación con los índices de sitio.
3. Desarrollar un sistema de clasificación de la calidad de sitio, aplicable a zonas parecidas al área de estudio.
4. Determinar el rendimiento de P. caribaea var. hondurensis en la zona de estudio y establecer la relación con la clase de calidad de sitio.

## 2. REVISION DE LITERATURA

### 2.1 Generalidades

Las primeras observaciones registradas sobre el comportamiento de los árboles en diferentes sitios se le acreditan a Theophrastus (370-285 A.C.), un estudiante de Aristóteles. El romano Cato (234-139 A.C.) desarrolló el primer sistema de clasificación de sitios con base en la fertilidad del suelo en nueve categorías; el bosque comercial quedó en la parte media de la clasificación (96).

Desde entonces el hombre se ha preocupado por definir y clasificar los sitios que utiliza para producir los bienes que satisfagan sus necesidades. Un sitio se ha definido como un lugar en la superficie de la tierra con características propias de fisiografía, suelo y vegetación (81,112). Sin embargo lo que realmente interesa en forestería es medir la capacidad de producir bosque u otro tipo de vegetación como producto de la interacción de factores edáficos, bióticos y climáticos, es decir, la calidad de sitio (82).

En un sitio forestal la calidad se mide en función de la capacidad para producir madera y la medida mas práctica para expresarlo cuantitativamente es el índice de sitio, el cual se define como la altura que los árboles dominantes alcanzan a cierta edad (102).

Los estudios sobre índices de sitio y los modelos desarrollados para su evaluación, están sujetos a varias limitaciones: 1) los estudios son locales y por consiguiente tienen, a lo sumo, validez regional, 2) los procedimientos de evaluación y cuantificación con base en regresiones o modelos matemáticos son complicados. Dichas limitaciones obligan a desarrollar modelos de evaluación de sitios que involucren factores fáciles de determinar y que puedan ser aplicados a otras zonas(82).

### 2.2 Importancia de la determinación de la calidad de sitio

El aumento de la población hace inaplazable la necesidad de estudiar la calidad de las tierras para diferentes usos (82), desde el

punto de vista del manejo forestal es importante realizar dicho estudio para lograr el objetivo de alcanzar la producción sostenida del bosque (48).

En plantaciones a nivel comercial, para hacer una planificación efectiva, se requiere información sobre el rendimiento de las especies en diferentes condiciones de sitio (102), porque el tamaño de los productos a diferentes edades está controlado por la capacidad de producción del sitio, es decir, calidad de sitio y los sistemas de manejo silvicultural (93). Buenos sitios responden y usualmente justifican manejo intensivo para producción de madera. Sitios pobres pueden justificar solamente manejo extensivo (5).

Los datos obtenidos en los estudios de calidad de sitio pueden ser utilizados para determinar la capacidad de productividad potencial de los sitios y luego para planificar el manejo de las plantaciones existentes, es decir, el grado de esfuerzo necesario para alcanzar el potencial de producción y como una guía para el establecimiento de nuevas plantaciones. Puede usarse además para la planificación y ejecución de trabajos de investigación como ensayos de procedencias, regímenes de clareo y rendimiento.

## **2.3 El crecimiento de los árboles**

### **2.3.1 Crecimiento**

El cambium se define como la zona reproductiva localizada bajo la corteza, se encuentra en el perímetro del fuste (96). Esta zona es la responsable del crecimiento diamétrico del árbol y como todo crecimiento, también está influenciado por factores físicos y fisiológicos como temperatura, luz, localización geográfica de la planta, agua, contenido de auxinas y tasa de fotosíntesis (72). El período de más alta actividad del cambium coincide con el período de mas alta producción fotosintética (4). Sin embargo Lojan (62) indica que a pesar de esa estrecha relación que existe, el inicio y fin de sus respectivos períodos no coinciden con exactitud.

### 2.3.2 Anillos de crecimiento

La manifestación de las variaciones periódicas en el crecimiento del cambium se llama anillo de crecimiento y está definido como una capa formada por el crecimiento concéntrico de la madera e identificable por las fluctuaciones de ciertas características de los tejidos formados. En coníferas, estas fluctuaciones tienen un efecto sobre el tamaño de la vacuola de la fibra de traqueida y el grosor de su pared. En las latifoliadas estas variaciones generalmente afectan el tamaño y número de vasos (97). Estudios en un ámbito amplio de ambientes forestales han mostrado que las variaciones en la amplitud de los anillos del árbol están bien correlacionados con variaciones en factores macroclimáticos (12). El patrón de anillos anuales es causado por la formación de un crecimiento vigoroso de una pared de células delgadas en la madera temprana, conforme el tiempo progresa el crecimiento es lento y en la madera tardía la pared de células es mas gruesa (65).

La mayoría de árboles del bosque húmedo no muestran anillos de crecimiento anuales tal como sucede en zonas templadas (4), aunque hay veces en que las especies caducifolias no presentan anillos y veces en que las perennifolias sí (62). En las perennifolias a menudo ocurren anomalías, causadas por condiciones ambientales adversas tales como anillos discontinuos, anillos perdidos, anillos extremadamente oscuros (65). Además no todos los anillos son anuales, algunos años un árbol puede formar dos anillos y en otros años puede no formar ninguno, al menos no alrededor de toda la circunferencia, ya que cuando la humedad llega a alcanzar los límites de tolerancia los anillos de crecimiento se reducen o se pierden (64).

### 2.3.3 Factores que afectan el crecimiento de los árboles

El árbol modifica su crecimiento en respuesta a diversos factores: clima, ambiente, factores biológicos internos (como la procedencia) y la intervención humana sobre el árbol o el rodal (97). Dentro del clima los factores que son de gran importancia para el crecimiento de los árboles son la precipitación, la temperatura y luz (38), uno o más de estos factores puede ejercer mayor influencia que los otros y convertirse en

limitante del crecimiento. Entre las características del ambiente, el suelo es la más importante al regular el suplemento de agua y nutrimentos. Entre los factores biológicos internos, la edad del árbol tiene un marcado efecto al reducir el crecimiento al envejecer el árbol. Los aclareos pueden incrementar el crecimiento y la aplicación de pesticidas lo pueden reducir (97).

En un estudio realizado en Wisconsin en un rodal de Pinus resinosa Ait. se determinó que el crecimiento en diámetro de árboles individuales es un proceso sumamente intermitente (55). Mientras en el trópico las especies siempreverdes continúan creciendo a un ritmo mayor durante el período lluvioso y menor en el período seco, las caducifolias dejan de crecer en cierta parte del año (período de reposo) y el período de máximo crecimiento anual coincide mas o menos con el período lluvioso (61).

#### 2.3.4 El crecimiento de Pinus caribaea var. hondurensis

Debido a que la región de origen de P. caribaea var. hondurensis es de clima tropical, la especie no tiene un periodo de descanso definido hereditariamente. El crecimiento es continuo si la humedad y los nutrimentos están disponibles en cantidades suficientes (57), lo cual influye en el incremento y calidad de la madera (45).

En la juventud, cuando las condiciones de humedad y nutrimentos son adecuadas, P. caribaea tiene tendencia a crecer rápidamente en altura una vez que ha establecido un sistema radical productivo y suficiente superficie de hojas, lo que ocurre entre el segundo y tercer año (57), sin embargo Musálem (66) indica que el mayor crecimiento ocurre entre los cuatro y seis años, edad en la cual el desarrollo inicial ininterrumpido comienza a ser menos pronunciado, el incremento en diámetro aumenta sustancialmente despues del tercer año, dependiendo dicho crecimiento de factores tales como densidad, prácticas de manejo, etc.

En Turrialba, Costa Rica se observó un aumento en el crecimiento de P. caribaea entre mayo y junio coincidiendo mas o menos con el aumento de las lluvias (62). En Pavones, Turrialba se encontró incrementos en diámetro (a 1,30 m sobre el nivel del suelo -dap-) de 2,26 cm/año y en altura de 2,0 m/año (80). Ramírez et al.(79) indican como normal un

crecimiento del dap de 2,0 cm/año durante los primeros 17 años en las condiciones de Turrialba.

En las condiciones de sitio en que crece P. caribaea en América Central, los árboles están sujetos a sequías periódicas y a menudo prolongadas o en algunos casos, anegamientos. Ambas situaciones detienen el crecimiento y se producen numerosos anillos falsos, con bandas oscuras alternas de madera temprana y madera tardía, con mas madera tardía que temprana (18).

Para la lectura de anillos, se toman muestras en forma de discos, generalmente a 1,30 m de altura y a cada metro a lo largo del fuste. La medición se hace directamente sobre la superficie de la muestra en un plano transversal al grano de la madera, midiéndose la amplitud de anillos (57).

## 2.4 Métodos de evaluación de la calidad de sitio

### 2.4.1 Altura

La altura es una de las herramientas en la clasificación de sitios, a la cual se le atribuyen las siguientes ventajas en su utilización:

- a) es una medida sensitiva de diferencias en sitios, porque a diferencia de los otros parámetros dasométricos como diámetro y área basal, casi no es influenciada por tratamientos de manejo y por lo tanto expresa mejor la condición del sitio.
- b) la altura es, hasta cierto grado, independiente de la densidad y la mezcla de especies.
- c) la relación altura/edad es fácil de determinar (96).

Existen tres criterios principales respecto a la altura como estimador de la calidad de sitio:

a) Altura Mayor:

Es el promedio de altura de los cien árboles mas altos por hectárea.

b) Altura Dominante:

Es el promedio de altura de los cien árboles de mayor diámetro por hectárea (53).

c) Altura Promedio:

Definida como la altura del árbol de área basal promedio (102).

La altura también puede ser definida como la altura de los dominantes y codominantes. Sin embargo, esta forma no es empleada frecuentemente ya que algunas veces se dificulta su medición (53). Alder (2) indica que en rodales jóvenes de especies de rápido crecimiento y ciertas especies como P. caribaea que varían notablemente en sus crecimientos en altura dominante éste deja de ser un buen indicador del sitio.

La altura promedio presenta ciertas desventajas ya que es afectada por los métodos de aclareos normales, donde son retirados los árboles suprimidos y defectuosos (88). Por esta razón se recomienda el uso de un parámetro que sea fácil de medir y a la vez relativamente independiente de las intervenciones silviculturales, principalmente aclareos. Se considera que la altura mayor es una manifestación de la productividad del sitio, relativamente independiente de la espesura de la plantación, ya que los árboles mas altos son los más desarrollados y por consiguiente los que sufren relativamente menos competencia de sus vecinos (112).

Voorhoeve y Schulz (114) comparten el criterio que la altura mayor es el mejor estimador de la calidad de sitio pues expresan que en plantaciones coetáneas las diferencias evidentes en altura mayor deben explicarse por diferencias de sitio, los árboles más altos ocupan los mejores sitios y los de menor altura los sitios más pobres.

Pulido (78) en una revisión de literatura sobre los métodos de evaluación de la calidad de sitio concluye que la altura mayor es el método mas práctico de evaluación.

Al mismo tiempo Curtis (22) reconoce que la altura es una medición muy utilizada para estimar la calidad de sitio, pero que presenta las siguientes limitaciones:

- a) La altura es sólo uno de los componentes del volumen, el índice de sitio no es sinónimo de productividad en volumen
- b) La información de índice de sitio como usualmente se presenta dice poco acerca de las relaciones ecológicas, las cuales son a menudo los factores dominantes en la determinación de la capacidad productiva.
- c) La estimación del índice de sitio involucra la proyección de la medición presente de la altura hacia adelante o hacia atrás en el tiempo a una edad marca de referencia, por medio de una familia de curvas de índice de sitio y depende de la exactitud con que la curva generalizada de índice de sitio pueda representar el crecimiento de rodales individuales, ya que generalmente se introduce un error desconocido.

#### 2.4.2 Análisis de fuste

Varios investigadores utilizan el conteo de anillos de crecimiento para determinar la edad de los árboles y así construir las curvas de índice de sitio. Adegbehin (1) y Curtis (22) señalan las siguientes ventajas de este procedimiento: 1) mejor estimación del área bajo la curva de crecimiento, 2) eliminación de la distorsión resultante de la posible asociación de la edad del rodal y la calidad de sitio, 3) investigación de posible polimorfismo, y 4) prueba de diferencias de curvas de índice de sitio entre especies.

Otros, sin embargo, encuentran grandes desventajas al uso de este procedimiento, entre ellas está el hecho de que ciertos árboles pueden no haber sido dominantes durante la fase joven (13), la tendencia altura/edad de los árboles dominantes individuales no va necesariamente

paralela a la tendencia altura dominante/edad del lote muestra (40). Estos aspectos vistos como limitantes, dejan de serlo si se piensa que la condición de dominancia la manifiestan los árboles desde la etapa juvenil. Además la dominancia está determinada por factores genéticos y de sitio, los cuales no cambian tan bruscamente en periodos cortos de tiempo. La alta probabilidad de encontrar pocos o muchos anillos hace incierto el uso del conteo de anillos como indicador de la edad de los árboles (64).

### 2.4.3 Volumen

El crecimiento en volumen ha sido la variable principal para clasificación de sitios en Europa (96). Esta clasificación, basada en la producción de las masas forestales, alcanza más directamente la finalidad de clasificar la capacidad productiva de los sitios y se realiza según el número de metros cúbicos de masa total, principal y extraída, formados en un tiempo fijo (75).

Este método presenta problemas de aplicación sobre todo en países donde la experimentación forestal casi no existe. El volumen alcanzado por un rodal a una edad dada puede ser afectado por otros factores mas que por la calidad de sitio: la densidad del rodal, la composición de especies, factores genéticos y prácticas culturales (20). La productividad del sitio en términos de  $m^3/ha/año$ , es difícil de cuantificar ya que depende del régimen de aclareo, la sobrevivencia y es mas laborioso calcularlo (112). Frecuentemente es muy difícil encontrar parcelas o rodales en las que se conozca el volumen de la masa extraída con anterioridad (75).

Según Cluter (20) en bosques donde se ha aplicado un régimen de manejo en forma consistente e igual para todo el rodal, o no se le ha aplicado ningún regimen de manejo, es posible usar la información del volumen como indicador de la calidad de sitio. Según Davis (25) el volumen por árbol en relación a la edad es un indicador útil porque refleja el efecto del sitio en el crecimiento en altura y diámetro en términos de productos útiles.

#### 2.4.4 Plantas indicadoras

Existe evidencia que ciertos tipos de vegetación están asociados con condiciones de suelos forestales relativamente fértiles, mientras otros tipos de vegetación están asociados con condiciones infértiles (21) o con el índice de sitio de especies forestales (95).

Muchos factores ambientales afectan a la vegetación, por lo tanto las características de la vegetación pueden proveer información sobre la calidad de sitio para el crecimiento de los árboles (20). Los principios básicos para usar los tipos de vegetación en la evaluación de terrenos forestales son: 1) la vegetación natural no alterada refleja la suma de todos los elementos del medio ambiente que son importantes para las plantas y 2) las especies con mayor poder de competencia son las mejores indicadoras del sitio (24). Con base en esto, la presencia o ausencia de ciertas especies de plantas bajo rodales maderables pueden tomarse como una indicación de condiciones de fertilidad o infertilidad de suelos forestales (21).

Basado en las asociaciones de plantas que son clímax, en ciertos sitios Daubenmire (23) obtuvo correlaciones para utilizarlas como un método rápido y útil de predecir la tasa probable de crecimiento de Pinus ponderosa.

Hazard (43) clasificó la vegetación que crece bajo rodales de Pinus strobus L. en tipos indicadores. Se arregló en progresión de xerofíticos y sitios pobres hasta mesofíticos y sitios ricos. Estos tipos se correlacionaron con distintos valores de pH del suelo, densidad de copas y clases de edad y se encontró que están en concordancia con la habilidad de los sitios para producir pino.

Ure (103) determinó el índice de sitio para Pinus radiata en Kaingaroa, Nueva Zelandia y lo correlacionó con la composición de la vegetación, de la cual seleccionó las especies características de varios sitios y las clasificó, según la frecuencia, en una escala desde muy abundante hasta muy ocasional o rara. Otra variable del método fue registrar el vigor de dos especies arbustivas (Leptospermun scoparium y

Pteridium esculentum) ya que su vigor es mas sensible como indicador que su frecuencia.

Platteborze (76), en el Oeste malayo en plantaciones de P. caribaea, dió especial atención a la presencia y abundancia de la maleza Dicranopteris linearis. El área experimental se dividió en dos sublotes, uno donde Dicranopteris era la principal especie y otro donde otras especies dominaban. Las condiciones de sitio no diferían de un lote a otro (pendientes de 24 a 37 por ciento, estructura blocosa a prismática, consistente aún húmedo). Se comprobó que el crecimiento y la apariencia de P. caribaea es extremadamente pobre en los sitios cubiertos por Dicranopteris, cuya presencia posiblemente indica un suelo muy degradado y deficiente en fósforo.

Aunque la información muestra que existe correlación, la vegetación menor no es confiable como rasgo distintivo para estimar el índice de sitio, por varias razones: no es un buen indicador durante el período de dormancia de algunas especies, aún bajo cubierta forestal la vegetación está influenciada por la luz, tanto las especies como la proporción del piso del bosque que ocupan varía con el grado de apertura del dosel (98). Las características de los horizontes mas profundos del suelo pueden mostrar poco impacto sobre la vegetación menor, pero tienen gran influencia sobre la calidad del sitio para el crecimiento de los árboles. Además la abundancia y composición de la vegetación es a menudo alterada por agentes externos como incendios o quemas controladas, pastoreo, limpiezas y tratamientos de preparación de la tierra (20).

## **2.5 Factores que afectan la calidad de sitio**

### **2.5.1 Suelos**

#### **2.5.1.1 Factores topográficos**

La topografía juega un papel importante en relación con la calidad de sitio por la influencia que ejerce a través de sus tres elementos: aspecto, exposición y posición. El aspecto se refiere a la dirección del

frente de la pendiente con relación al Norte magnético, la exposición a la ausencia de protección contra vientos secos y la posición al lugar que ocupa sobre la pendiente ya sea arriba o abajo (5). De esta manera la topografía se relaciona con la humedad y luz disponibles para las plantas (29).

Ninguno de los elementos de la topografía ejerce una influencia directa sobre el crecimiento, pero condicionan una serie de factores que si pueden influir sobre los procesos fisiológicos del árbol, como son: desplazamiento del agua dentro y sobre el suelo, que a su vez determina el desarrollo del suelo mismo, aumento de la posibilidad de lixiviación de nutrimentos (102) y mayor acumulación de materia orgánica (112).

Tschinkel (102) evaluó factores como distancia de la parcela al cerro y al valle mas cercanos, la exposición, la elevación, la concavidad o convexidad del relieve y la pendiente, con el objeto de encontrar un método de clasificar sitios para Cupressus lusitanica con base en factores sencillos de medir en el campo o posibles de obtener mediante fotografías aéreas antes de plantar. Encontró una relación causal entre el crecimiento y la pendiente y la forma topográfica.

Hannan (41) encontró variaciones en índices de sitio como resultado de cambios en el aspecto. Einspahr y McCombe (29) determinaron en el norte de Iowa, que en aspecto Norte y Este el índice de sitio era de 8 a 12 puntos más alto que sitios similares con aspectos Sur y Oeste. Otro estudio realizado por Tajchman y Wiant (93) en el Hemisferio Norte, establecieron que sobre pendientes de cara al Norte se incrementa la biomasa con el incremento de la inclinación y sobre pendientes Sur sucede lo contrario. Esto parece ser efecto de la variabilidad de la radiación con inclinación y aspecto. Castaños (17) encontró que el índice de sitio es mayor en exposiciones Oeste que en exposiciones Este en Oaxaca, México.

El porcentaje de pendiente y la posición topográfica explicaron el 72 por ciento de la variación en índice de sitio para Cupressus lusitanica en Colombia (101). En términos generales al incrementarse la pendiente, decrece el índice de sitio. Por ejemplo, en Surinam el buen

crecimiento de Virola surinamensis es mejor en pendientes inferiores y pie de colinas, la pendiente no debe exceder del cinco por ciento (109). En el sur de Arkansas y el norte de Louisiana, Zahner (116) encontró que para varias especies del género Pinus los sitios con pendientes arriba del 15 por ciento son los mas pobres.

#### 2.5.1.2 Propiedades físicas

Los factores de suelo que mas influyen en el crecimiento de la vegetación son aquellos que están estrechamente relacionados con la humedad del suelo.

Shrivastava (90) determinó que el suplemento de agua disponible fue el factor mas importante al aportar la mayor variabilidad en índice de sitio para Picea abies Karst, en la región de Hesse, provincia de la Republica Federal Alemana. Este factor aumenta su importancia cuando el efecto se combina con textura, estructura, profundidad, contenido de materia orgánica, compactación, características topográficas y permeabilidad del subsuelo.

Igualmente en la región de Dehra Dun, India, el crecimiento de Shorea robusta correlacionó positivamente con el contenido de humedad, la humedad equivalente y la capacidad de retención de humedad de los suelos donde estaba creciendo (89). Mader (63) encontró que los factores asociados a los mejores sitios donde crece Pinus strobus en Massachusetts fueron el incremento de limo y arcilla del horizonte A, lo cual, probablemente, contribuye a mejorar la humedad y fertilidad del suelo en la zona de raíces primarias. Mientras que Van Eck y Whiteside (107) determinaron que el índice de sitio para Pinus resinosa se correlacionó significativamente con suelos que poseían una textura arenosa y moderadamente arenosa, factores que favorecían un adecuado suplemento de humedad, además de no poseer factores que limiten la profundidad efectiva del mismo.

Alfaro (3), evaluando la relación entre el índice de sitio y los factores edáficos para Cupressus lusitanica en el Valle Central de Costa Rica, encontró que el 61 por ciento de la variabilidad del índice de sitio se podía atribuir al porcentaje de limo, porcentaje de arcilla,

porcentaje de poros y porcentaje de agua disponible. Linnartz (60) trabajó con varias especies de pino y determinó que el índice de sitio se incrementa con un mínimo aumento de la profundidad de la capa permeable. Castaños (17), Oliver (69), Hannah (41) y Hurtado y Jerez (46) encontraron que la profundidad del suelo influye en la calidad de sitio. Slager y Schulz, citados por Vincent (112) llegaron a la conclusión de que las características del suelo más importantes para la estimación de la calidad de sitio para P. caribaea en Surinam son: la influencia del agua freática, la textura, la materia orgánica y la bioporosidad.

El otro factor relacionado con la humedad del suelo, que tiene mucha influencia sobre el índice de sitio, es el drenaje. Page (71) concluyó que las características de sitio más importantes son régimen de humedad del suelo, textura expresada en términos cuantitativos como contenido de arena, limo y arcilla, profundidad de acumulación de humus, contenido de materia orgánica del perfil del suelo, porcentaje de retención de humedad y otras variables relacionadas. Estas características actuando en conjunto determinan si un sitio está bien o pobremente drenado.

Según Keat (51) los factores físicos que parecen predominar en la limitación del crecimiento son: profundidad del suelo, inundación, pendiente, compactación del subsuelo, estructura y drenaje. Leack (59) encontró que el índice de sitio para las especies: Acer saccharinum, Betula lutea y B. papyrifera generalmente era más bajo en sitios pobremente drenados y rocosos. Albizia falcataria presenta mejor crecimiento en suelos originados en las proximidades de cursos de agua; aunque estos suelos son variables en morfología y nutrimentos tienen buen drenaje interno (19).

### 2.5.1.3 Propiedades químicas

El análisis de las investigaciones realizadas en diversos países y para otras especies diferentes a P. caribaea parece mostrar que el contenido de fósforo es el factor que mejor correlacionó con el índice de sitio. Otros elementos que influyen en el índice de sitio, ya sea actuando solos o en combinación con el fósforo, son el nitrógeno y el calcio.

Varias investigaciones realizadas con ciprés, Cupressus lusitanica, refuerzan esta afirmación. Por ejemplo Alfaro (3) determinó que el fósforo, el nitrógeno y la capacidad de intercambio catiónico mostraron mayor asociación con el índice de sitio. Fassbender y Tschinkel (32) encontraron que las reservas de fosfatos de aluminio mostraron las correlaciones más significativas. Del Valle (105) en Antioquia Colombia, estableció que el nitrógeno y el fósforo actuando conjuntamente explican el 85 por ciento de la variación en el índice de sitio para C. lusitanica. En otro estudio (106) concluyó que el 58 por ciento de la variación en el crecimiento del ciprés en suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia, se debe al nitrógeno mineralizado expresado en kg/ha. Según Tschinkel (100), en el oriente antioqueño (Colombia), las plantaciones de ciprés que en algunos sitios presentan un crecimiento pobre, éste se debe a una disponibilidad deficiente del fósforo y nitrógeno.

Velez (111) trabajando con Eucalyptus saligna en Colombia, encontró que el único factor que mostró una correlación significativa con el índice de sitio fue el fósforo disponible. Bowersox (10) encontró que calcio, nitrógeno y fósforo fueron variables importantes que determinaron la altura y el rendimiento de varias especies maderables. Truman, Humphreys y Lambert (99) detectaron que el fósforo total y el calcio intercambiable contribuyen con el 88 por ciento de la variación de índice de sitio para Pinus radiata.

El estudio realizado por Carter (16) sobre la asociación del  $\text{CaCO}_3$  y el  $\text{CaCO}_3$  activo sobre el crecimiento de Populus sp. y Larix siberica Ledeb. mostró que el  $\text{CaCO}_3$  activo (una estimación del  $\text{CaCO}_3$  en la arcilla y partículas de sedimento fino), fue más efectivo para la determinación del índice de sitio de varias especies de árboles que el  $\text{CaCO}_3$  total. Según Giraldo, Del Valle y Escobar (37) el máximo crecimiento en altura a los 46 años (índice de sitio 28 m -S=28 m-) de Cordia alliodora se alcanza en suelos con un pH de 5,5 y una capacidad de intercambio catiónico de 40 meq/100 gr de suelo en el suroeste antioqueño, en Colombia. Estas fueron las únicas propiedades químicas del suelo que correlacionaron significativamente con el sitio.

Orantes y Musálem (70) trabajando con P. hartwegii Lind encontraron que las características dasométricas y edáficas que mas intimamente se correlacionaron fueron el incremento medio anual en altura y el contenido de materia orgánica del horizonte A. Para Van Goor (108) el contenido de bases intercambiables en suelos tipo Latosol y Podzólicos, según la nomenclatura de la División de Pedología y Fertilidad de Suelos de Río de Janeiro, es el factor principal que limita el crecimiento de las especies Pinus patula, P. caribaea y Pinus elliottii y el nutrimento mas importante parece ser el Magnesio.

El contenido de aluminio detectado por Veiga (110) en Sao Paulo, Brasil, en plantaciones de P. elliottii var. elliottii, sobrepasó, en la mayoría de los casos, el límite de tolerancia de 0,5 meq/100 g sin que hubiese influencia sobre la capacidad productiva del sitio. La Bastide y Van Goor (56) encontraron que Ca y Mg son nutrimentos especialmente importantes en el crecimiento de Pinus elliottii y Araucaria angustifolia. Payandeh (73) mostró que existen diferencia entre los patrones de crecimiento en altura de Picea nigra en sitios pobres y aquellos que crecen en suelos minerales.

Según Yadav (115) el porcentaje de nutrimentos, especialmente N, P, K y Ca no parecen ejercer un papel decisivo en el crecimiento de Shorea robusta. Igualmente Tarrant (94) no encontró una relación estadísticamente significativa entre el contenido de nutrimentos del suelo y las clases de sitio estudiadas para Pseudotsuga menziesii (Mirb) Franco.

Sin embargo Platteborze (77) encontró que el fósforo parece ser un factor importante que afecta el crecimiento de P. caribaea var. hondurensis en el oeste Malayo, donde suelos con menos de 30 kg/ha de fósforo disponible pueden ser calificados como altamente deficientes y un pequeño incremento en fósforo resulta en un gran incremento en altura de los árboles.

Las experiencias con P. caribaea también muestran que los factores físicos que ejercen mayor influencia sobre el crecimiento son el drenaje y los factores asociados al mismo. Carmean y Kok (15) encontraron que el pino caribe produce rápidamente altos rendimientos sobre suelos profundos

y bien drenados. Brito et al. (13) en Venezuela, concluyeron que la distribución de la textura en el perfil y el drenaje son los elementos de mas peso en la determinación de la calidad de sitio para P. caribaea y lo interpretan como una consecuencia de la importancia de la retención de humedad y en general del balance hídrico. Isolan (47) en Turrialba, encontró que en sitios con mal drenaje la especie no se desarrolló bien, concluyendo que el mayor impedimento al crecimiento en la zona es el drenaje del suelo y sus efectos correlacionados, capa freática y profundidad de raíces. Entre las propiedades químicas, se puede concluir que los nutrimentos que ejercen mayor influencia son magnesio y fósforo.

### 2.5.2 Otros métodos para estimar el índice de sitio

Otros investigadores han probado métodos diferentes a las curvas altura/edad para calcular el índice de sitio de diferentes especies.

Doolittle (28) estudió el índice de sitio para diez especies. Llegó a la conclusión que cuando se conoce el índice de sitio de una especie para un área de terreno dada, es posible determinarlo para una o todas las demas especies, mediante el uso de ecuaciones o mapas. Carmean y Vasilevsky (14) trabajando con rodales mixtos, determinaron los valores de índice de sitio para todas las combinaciones posibles de pares de especies y prepararon diagramas para cada par de especies. Se derivaron ecuaciones de regresión para calcular directamente el índice de sitio de una especie, basado en la medición del índice de sitio de la especie asociada. De este modo se puede estimar el índice de sitio para especies deseadas que no están presentes en el rodal, basado en la medición del índice de sitio de especies actualmente presentes en el rodal.

Farr y Harris (31) determinaron que el promedio de índice de sitio de Picea sitchensis está altamente correlacionado con la latitud y con las temperaturas diarias de la estación de crecimiento, expresadas en grados, y detectó que el índice sitio decrece hacia el Norte a razón de un metro por grado de latitud. Schiller (87) determinó que los árboles de P. halepensis que crecen sobre marga tienen un mejor comportamiento que aquellos que están creciendo sobre dolomita con marga y son tambien superiores a aquellos que crecen sobre piedra caliza. Bonnor y Morrier (8)

probaron un método de clasificar sitios mediante fotointerpretación y datos de campo, en el cual por medio de fotografías aéreas se elaboró un mapa de tipos de bosque. Cada área delimitada se muestreó para dar una idea del volumen de cada área. Una prueba posterior demostró que el método tiene una precisión de 76 por ciento. Tajchman y Wiant (93) sugieren incluir la distribución actual de biomasa en los estudios de índice de sitio, ya que la calidad de sitio debe ser expresada en unidades de rendimiento.

## 2.6 Requerimientos ambientales y nutricionales de Pinus caribaea var. hondurensis

### 2.6.1 Distribución natural

La estimación del área de distribución natural del P. caribaea difiere de un autor a otro. Hughes (45) indica que crece entre las latitudes 16° N y 27° N. Para Kemp (52) los rodales naturales de P. caribaea en América Central crecen en dos regiones ecológicas diferentes: 1) la planicie de la costa atlántica de América Central localizada entre la latitud 12° 13'N, hasta 16° 30'N en la costa de Belice y en la isla Guanajua, localizada a 200 km al oriente de Belice aproximadamente a la misma latitud. De Belice se dirige hacia el norte hasta la frontera con México, aproximadamente 18° N, y 2) en las montañas secas del interior desde los 13° 15' en Nicaragua hasta los 17° 18'N en el Petén, Guatemala y alrededor de la misma latitud en Mountain Pine Ridge en Belice. Mientras que Barret y Golfari (6) indican que se encuentra creciendo naturalmente en masas discontinuas y fragmentadas desde los 18° N en Orange Walk, Belice, hasta 12° N en Bluefields, Nicaragua.

### 2.6.2 Factores climáticos

La precipitación que cae en el ámbito de distribución natural del P. caribaea, es muy variable. Crece en sitios con un ciclo de lluvia de verano y una estación seca en invierno (39,58,66,83). Golfari (39) anota que las precipitaciones varían entre 1.000 y 3.000 mm al año, predominantemente en el semestre más cálido, o sea, con sequía en invierno. Según Kemp (52) en la costa atlántica de América Central la precipitación media anual es de 4.000 mm y un sólo mes seco de 76 mm. En América Central, en

Las montañas secas del interior donde crece P. caribaea, la precipitación media anual es de 1.600 mm o menos y la estación seca mas severa.

La ausencia de heladas es uno de los factores característicos de la región de origen (58,83). La temperatura media del mes mas frío está entre 16° y 25°C, la temperatura media del mes mas cálido se encuentra entre 22° y 28°C (39). Según Barret y Golfari (6) las temperaturas medias anuales en la planicie de la costa atlántica varían entre 24° y 27,2°C, y en la región de tierra adentro entre 20° y 24°C. Parece estar poco influenciado por la longitud del día (57,58).

### **2.6.3 Factores edáficos**

#### **2.6.3.1 Topografía y propiedades físicas**

Kemp (52) indica que en América Central P. caribaea crece abajo de los 800 m.s.n.m. y se desarrolla mejor en laderas bien drenadas. Para Lamb (60) crece desde cerca del nivel del mar en Nicaragua y Guatemala hasta 800 m.s.n.m., y si la profundidad del suelo es adecuada, la humedad es el factor predominante del ambiente que controla el crecimiento.

Crece bien sobre suelos lateríticos, fértiles, arcillosos y profundos y en areniscas. Prefiere suelos ácidos (79). Se obtienen buenos crecimientos en suelos con una mezcla de arenas, humus, limo y arcilla; comparado con los obtenidos en los dos extremos, arenas gruesas y arcillas de pobre aireación en los cuales el crecimiento de los pinos es reducido (57).

#### **2.6.3.2 Propiedades químicas**

Crece en una gran variedad de suelos, con buen drenaje, desde los de muy baja fertilidad en las costas hasta suelos de mayor fertilidad en las montañas, valles y riberas de ríos donde la especie presenta mayor crecimiento (83).

### 3. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 Información general del área en estudio

##### 3.1.1 Localización

El estudio se realizó en la plantación de P. caribaea var. hondurensis de la finca Buenavista propiedad de la empresa Celulosa de Turrialba S. A., subsidiaria de Scott Paper Company de Costa Rica S. A., que posee un área de 668 ha ubicadas en el distrito de Pavones, Cantón de Turrialba, de la Provincia de Cartago, Costa Rica.

El área plantada con pino es de 538,31 ha, con otras especies forestales 62,29 ha, con cultivos agrícolas 10,65 ha y el resto está cubierto de vegetación secundaria. El área bajo plantación de pino fue utilizada anteriormente para ganadería. Actualmente alguna de las áreas bajo plantación de pino son pastoreadas en forma rotativa y controlada, lo que puede haber influido en el desarrollo de los árboles, especialmente en las zonas bajas planas.

Las coordenadas geográficas del punto central de la finca son 9° 57' latitud Norte y 83° 37' longitud Oeste (Figura 1).

##### 3.1.2 Clima

Según el sistema Holdridge (44) el área de estudio se encuentra dentro de la formación bosque muy húmedo premontano tropical (bmh-P), con una precipitación promedio anual de 3.364 mm (Figura 2), sin meses con déficit hídrico (Cuadro 1A) y una temperatura media anual de 22,3° C. Los anteriores promedios corresponden a un período de observación de seis años (1978-1984), registrados en la finca Buenavista. La altitud varía de 400 a 714 msnm.

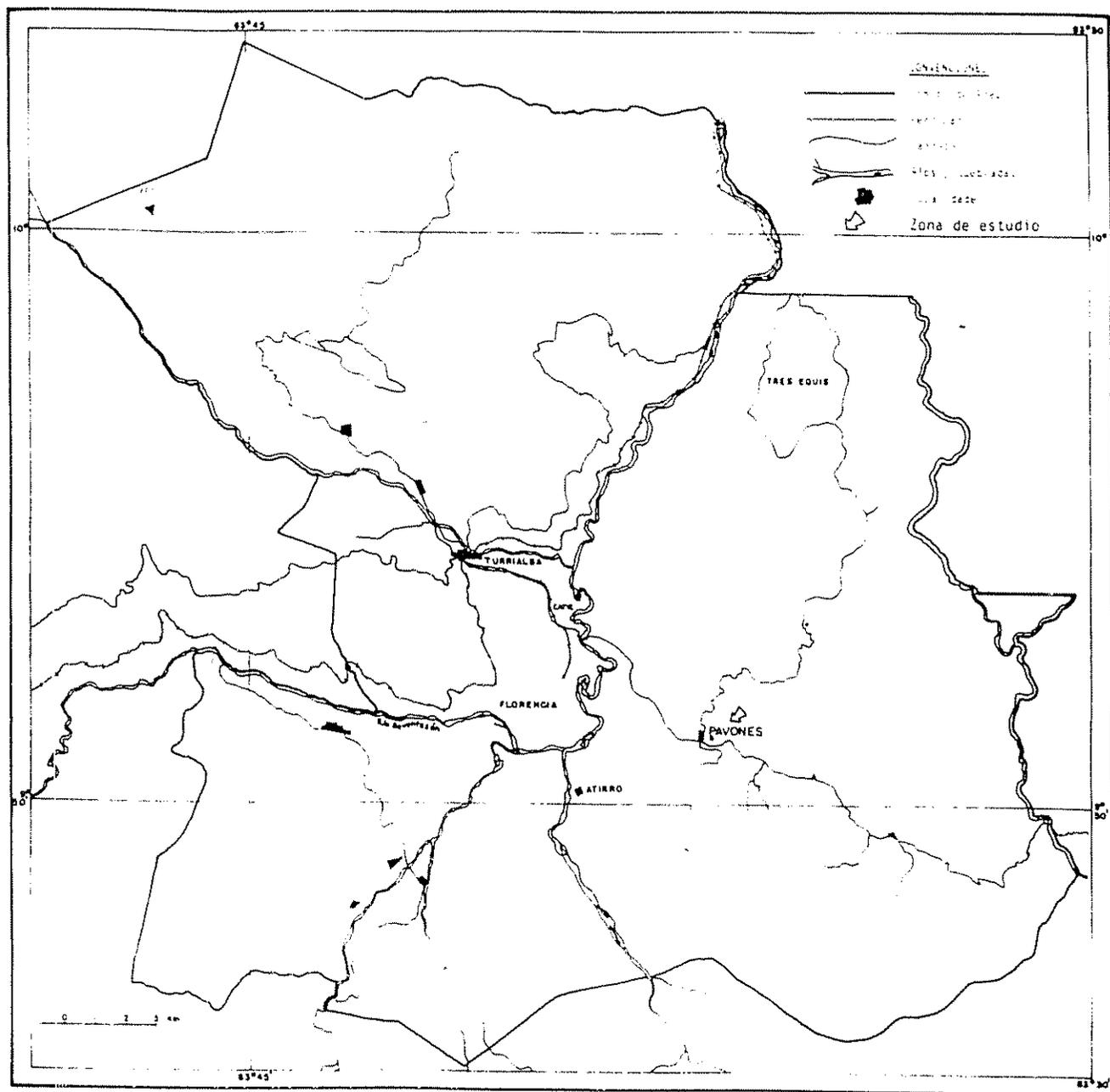


Figura 1- Mapa de localización de la región en estudio.

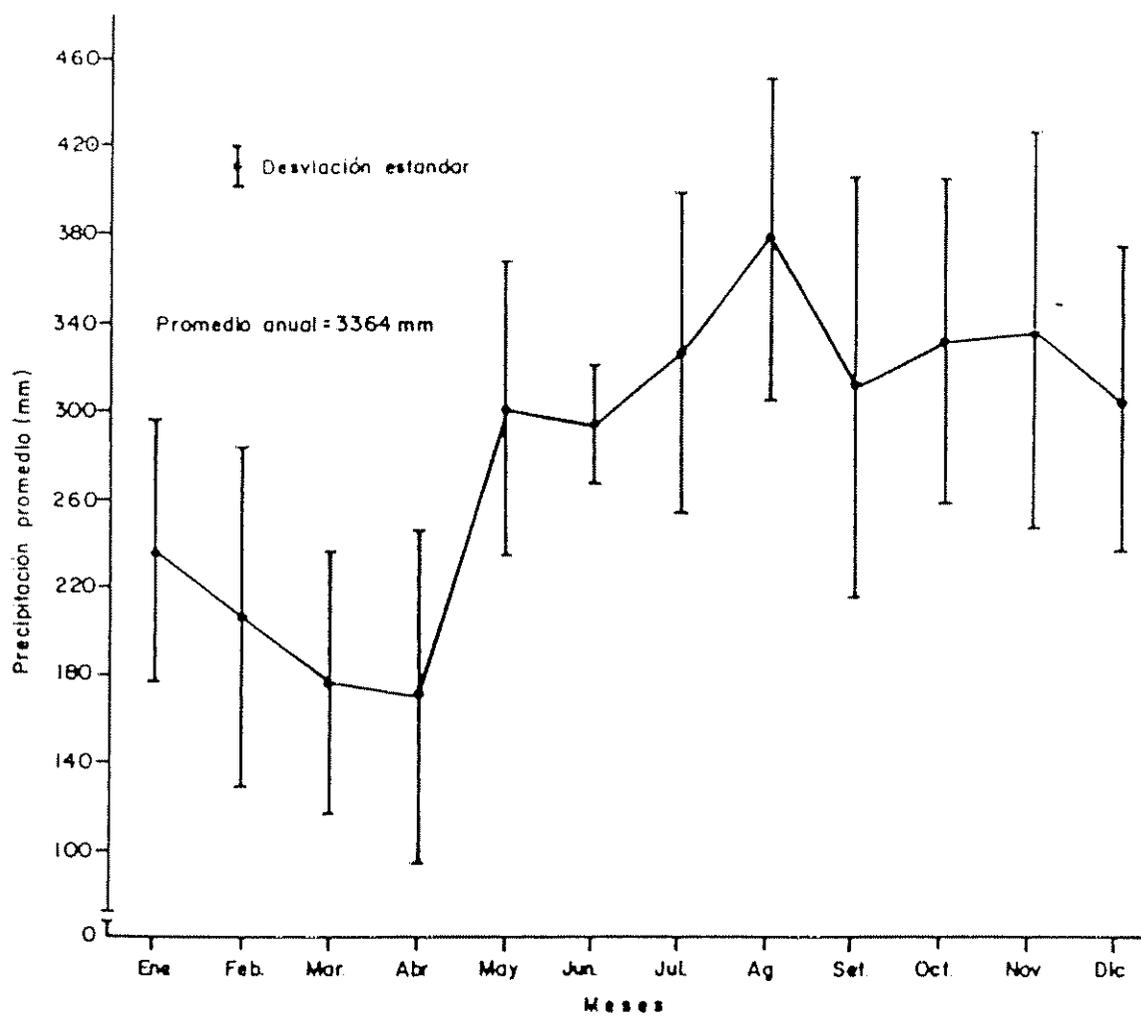


Figura 2. Precipitación mensual promedio (1978-1984) en la finca Buenavista, Pavones, Turrialba.

Fuente: Somarriba et al. (92).

### 3.1.3 Suelos

En general los suelos de la zona estudiada pertenecen a los órdenes Ultisol e Inceptisol. Según el mapa de asociaciones de subgrupos de suelos de Costa Rica (E: 1:200.000) en el área de estudio se presentan dos subgrupos principales de suelos: Typic Tropohumult (40%) y Typic Humitropept (40%). El material parental es de rocas de origen volcánico, materiales coluviales y residuos, y el material subyacente roca saprolítica. Las características de ambos subgrupos se resume en el Cuadro 1.

### 3.2 Material experimental

El material experimental estuvo conformado por la plantación de P. caribaea var. hondurensis de la finca Buenavista, la cual tiene ocho años de edad (Figura 3), y fue realizada con semillas procedentes de Poptún, Guatemala. Se disponía de información sobre mediciones anuales consecutivas obtenidas en 63 parcelas permanentes de crecimiento recopiladas por la compañía Celulosa de Turrialba S. A. En 1985 se seleccionó una muestra de 30 parcelas para la realización del presente estudio; los datos de este año y en estas parcelas fueron colectados por el autor. El Cuadro 2 presenta las características de la plantación.

### 3.3 Metodología

#### 3.3.1 Definición de la población y selección de la muestra

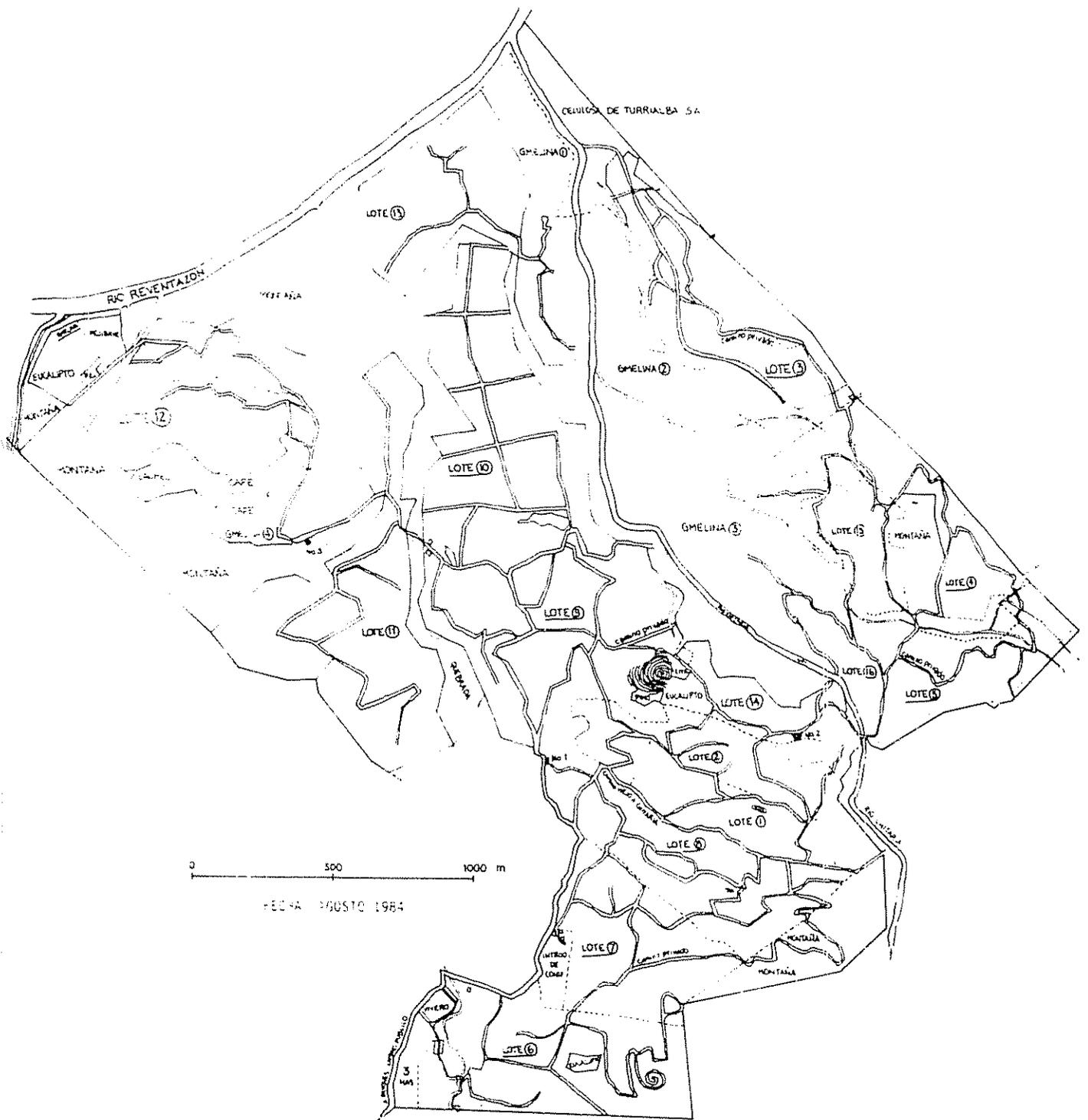
La población estuvo constituida por ocho lotes de aproximadamente ocho años de edad plantados con P. caribaea var. hondurensis. El espaciamiento inicial de la plantación fue 2 x 2 m (2.500 árboles/ha). El Cuadro 3 presenta las características de las parcelas muestra. El número de árboles por hectárea es variable en las diferentes parcelas muestra (desde 707 hasta 1450 árboles/ha), como consecuencia de la mortalidad natural.

Cuadro 1. Características de los subgrupos de suelos de la región de Pavones, Turrialba, Costa Rica.

CARACTERISTICAS	TYPIC TROPOMULT	TYPIC HUMITROPEPT
Pendiente (%)	15-30	30-60
Drenaje	bueno	bueno
Profundidad a la roca (m)	> 2	1-2
Suelo	arcillosa	arcillosa
Textura		
Subsuelo	arcillosa	arcillosa
Fragmentos en el perfil (%)	< 5	5-20
Capacidad de retención de agua (cm)	< 20	15-20
Permeabilidad	lenta	mod. lenta
Inundaciones-encharcamientos	nunca	nunca
Reacción	f.* ácida	f. ácida
Saturación de bases	media	media

\* f: fuertemente

Fuente: Pérez, S. et al. (74).



**UBICACION DE LOTES**  
**CELULOSA DE TURRIALBA, S.A.**

<u>SITUALIDAD</u>		<u>SIMBOLOGIA</u>	
DISTRITO	5 <sup>o</sup> PAVONES	-----	LINEA DIVISORIA DE LOTES
CANTON	5 <sup>o</sup> TURRIALBA	—————	LINEA PERIMETRO FINCA
PROVINCIA	CARTAGO	— — — — —	FAJA CONTRA INCENDIOS
		■	TAJOS
		LOTE (X)	LOTES USADOS EN EL ESTUDIO

Figura 3-. Ubicación de lotes en la finca Buenavista, Pavones, Turrialba.

Cuadro 2. Información general de la plantación de P. caribaea var. hondurensis en la finca Buenavista, Pavones, Turrialba.

Lote	Area (ha)	Fecha de plantación	Número de parcelas permanentes Establecidas en 1978	Elegidas en 1985
3	56,7	feb/1977	16	5
4	24,6	mar/1977	7	2
5	28,3	jun/1977	8	2
6	43,4	jul/1977	12	3
7	33,0	sep/1977	10	3
8	32,7	oct/1977	10	3
9	47,00	dic/1977	11	5
10	76,00	jul/1978	20	7

Cuadro 3. Características de las parcelas muestra en la plantación de *P. caribaea* var. *nondurensis* de la finca Buenavista, Pavones, Turrialba.

Lote	Parcela	Area (m <sup>2</sup> )	N	Sobrevivencia (%)	Altura X (m)	IMA (m)	Diámetro X (cm)	IMA (cm)
3	2	282,24	22	34,38	10,5	1,3	13,3	1,7
3	5	431,25	24	36,36	12,3	1,5	17,7	2,2
3	9	317,85	23	35,94	12,2	1,5	15,6	2,0
3	11	342,25	37	58,73	11,3	1,4	13,5	1,7
3	12	297,50	21	28,77	14,3	1,8	19,5	2,4
4	5	323,75	32	56,14	13,3	1,7	20,0	2,5
4	7	324,00	24	45,28	12,8	1,6	16,9	2,1
5	5	324,00	26	53,06	12,6	1,6	5,3	0,7
5	6	334,85	35	63,64	11,1	1,4	4,7	0,6
6	5	380,25	48	77,42	12,7	1,6	18,6	2,3
6	9	342,00	27	40,30	14,3	1,8	19,6	2,5
6	10	324,00	47	68,12	12,8	1,6	16,7	2,1
7	2	353,25	49	90,74	13,7	1,7	18,2	2,3
7	6	342,25	42	87,50	13,4	1,7	18,2	2,3
7	10	338,40	32	60,38	13,9	1,7	22,3	2,8
8	2	360,00	38	79,17	14,2	1,8	20,0	2,5
8	8	360,00	42	85,71	13,8	1,7	20,5	2,6
8	10	324,00	35	79,54	13,5	1,7	20,4	2,6
9	5	322,00	35	61,40	14,4	1,8	18,5	2,3
9	6	324,00	40	63,49	14,2	1,8	20,4	2,6
9	8	324,00	26	43,33	11,6	1,4	19,2	2,4
9	9	334,98	28	45,90	8,4	1,0	15,1	1,9
9	11	334,80	31	49,21	11,1	1,4	16,5	2,1
10	2	331,20	32	65,31	11,2	1,4	18,5	2,3
10	5	324,00	29	56,86	13,5	1,7	21,4	2,7
10	6	321,27	24	48,98	10,2	1,3	15,6	2,0
10	10	324,00	34	60,71	12,6	1,6	19,7	2,5
10	12	327,60	30	60,00	9,6	1,2	14,8	1,8
10	13	324,00	27	55,10	8,5	1,1	12,8	1,6
10	19	334,89	38	69,09	11,6	1,4	16,6	2,1

La empresa proporcionó la información sobre el crecimiento de los árboles en las 63 parcelas permanentes. Cada una de ellas tenía aproximadamente 324 m<sup>2</sup> y estaban distribuidas en los ocho lotes seleccionados. Se obtuvo copia de los análisis estadísticos correspondientes a las mediciones realizadas entre 1978 y 1984. Con este análisis se obtuvo la variabilidad existente dentro de cada lote y se procedió a determinar el número de parcelas a muestrear en función de dicha variabilidad. Por medio de una tabla de números aleatorios se escogió una parcela de cada cuatro en los lotes mas homogéneos y una parcela de cada tres dentro de los lotes que presentan mas variabilidad. Se realizó un reconocimiento de campo para la selección definitiva de parcelas.

La muestra para la clasificación de sitio la constituyó los cinco árboles de altura mayor en cada parcela. Las normas internacionales, según Voorhoeve y Schulz (114), recomiendan que el número de árboles muestra a utilizar en estos estudios sea equivalente a 100 árboles/ha. Para el presente estudio, la proporción anterior indicaría el uso de tres árboles/parcela, pero se consideró necesario utilizar cinco para abarcar toda la variabilidad y ser más precisos al determinar las curvas de índice de sitio. La unidad muestral para el estudio de las propiedades edáficas y topográficas fue constituida por todas las parcelas seleccionadas. Los estudios de caracterización del perfil de suelos se realizaron en nueve parcelas representativas del total de las parcelas muestra.

### 3.3.2 Trabajo de campo

En las parcelas muestra se midió la altura y el diámetro de todos los árboles, utilizando un hipsómetro Suunto y una cinta diamétrica con aproximación al milímetro. En cada parcela se muestreó el suelo a dos profundidades, de 0 a 20 cm y de 20 a 50 cm, debido a que la mayoría de las raíces de los árboles en zonas húmedas tropicales generalmente se localizan en los primeros 50 cm de profundidad, a que los análisis rutinarios de fertilidad se hacen para los primeros 20 cm de profundidad

en cultivos agrícolas (54, 67, 86) y además a que existen cambios mayores en la concentración de elementos entre las capas superficiales del suelo y las capas mas profundas. Se obtuvo una muestra compuesta a partir de 10 submuestras distribuidas en toda el área de la parcela, para cada profundidad por parcela\*. Las muestras se colocaron en bolsas de polietileno identificadas adecuadamente y se llevaron al laboratorio de suelos del Departamento de Producción Vegetal del CATIE para el análisis. La determinación de la densidad aparente se realizó tomando tres muestras de suelo no alterado por parcela, utilizando un cilindro de volumen conocido ( $131,47 \text{ cm}^3$ ), según la metodología descrita por Forsythe (35).

En todas las parcelas se determinó la pendiente de mayor longitud, se determinó el porcentaje con un clinómetro Suunto y el aspecto con una brújula. Al mismo tiempo se determinaron las dimensiones exactas de cada parcela y se hicieron anotaciones sobre el drenaje, el microrelieve y la altitud de cada parcela. El drenaje se estimó, por observaciones, en bueno, moderado o imperfecto y la altitud se midió con un altímetro.

El aspecto topográfico se transformó en un código entre cero y uno, para direcciones septentrionales y pendientes meridionales respectivamente, tomando el seno de los ángulos y dividiéndolos entre dos (2). El drenaje también se transformó en un código simple:

Drenaje imperfecto = 10

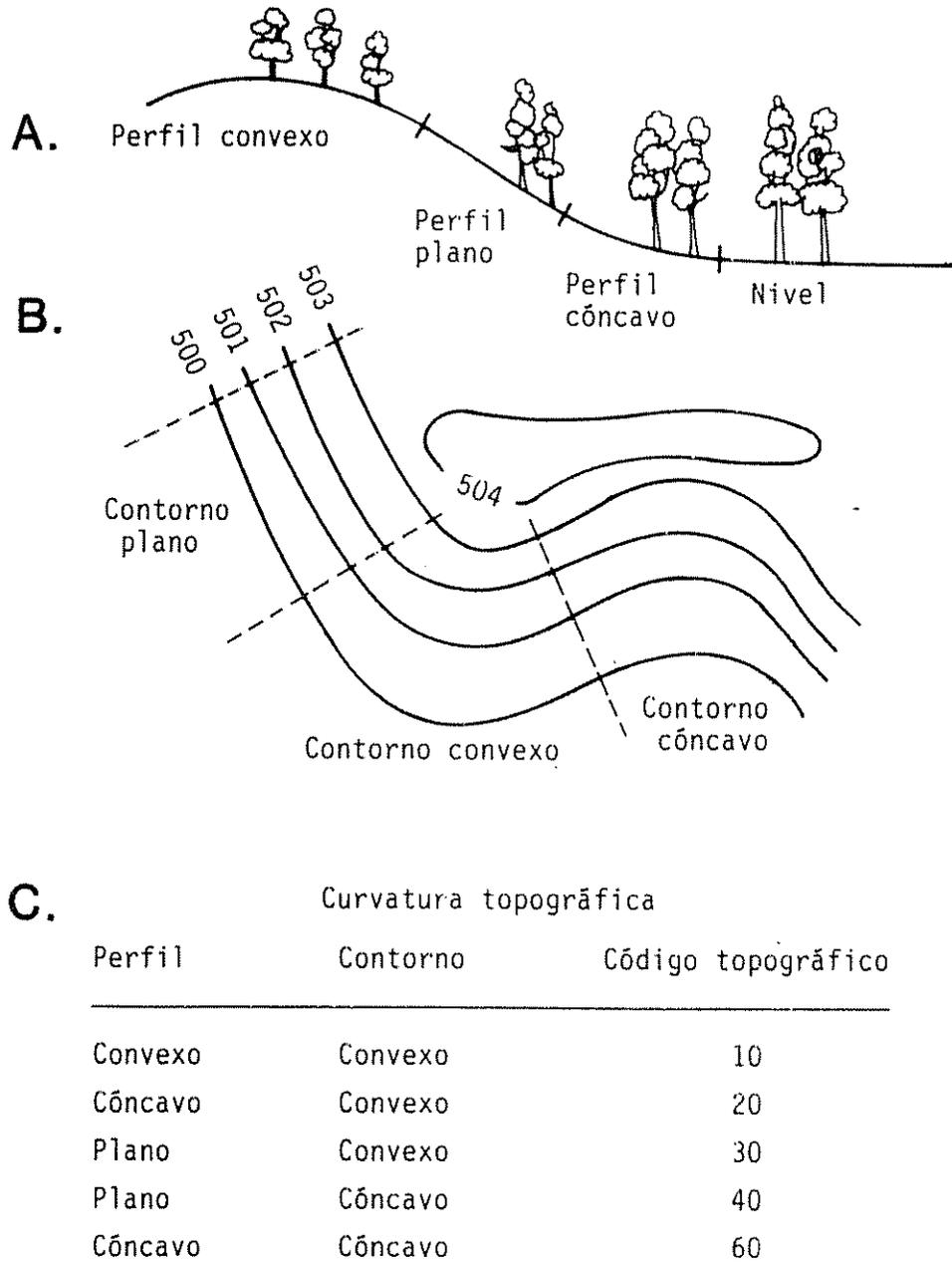
Drenaje moderado = 20

Drenaje bueno = 30

Se realizó un levantamiento de las curvas de nivel de cada parcela, con diferencia de un metro de altura entre cada curva, para obtener mayor información de las condiciones topográficas y junto con la medición del perfil de la pendiente aplicar el código topográfico propuesto por Tschinkel (101), el cual se presenta en la Figura 4.

Para realizar la caracterización de los suelos, se hizo un recorrido preliminar por todas las parcelas y mediante la determinación de características como color, cambio de color después de 16 cm de

\*DÍAZ-ROMEU, R. 1985. Metodología de muestreo de suelos. CATIE, Turrialba, C. R. (Comunicación personal).



**Figura 4- Clasificación topográfica de un área para predicción de índice de sitio.**

**Fuente:** Tschinkel (101)

profundidad, textura y estructura se establecieron diferencias entre parcelas. Se abrieron nueve calicatas de 1,0 x 1,0 x 1,5 m en aquellas parcelas representativas del conjunto de las parcelas muestra. En cada perfil se tomaron datos de descripción de suelos como clasificación preliminar, fisiografía, relieve, fertilidad aparente, clima del suelo en base a los regímenes de humedad, material parental, drenaje, erosión y datos de descripción del perfil como color, profundidad de horizontes, textura, estructura, consistencia, poros, raíces, límite de los horizontes. Para la descripción del sitio y de los perfiles se siguió la metodología del Manual de Levantamiento de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) (104). Se tomaron muestras de suelo de cada horizonte, se colocaron en bolsas de polietileno, identificando el perfil y horizonte al que pertenecían y fueron llevadas al laboratorio para su análisis.

### 3.3.3 Trabajo de laboratorio

En el laboratorio se secó el suelo al aire, se trituró, se tamizó con una malla de dos milímetros y se tomó una sub-muestra para los análisis. Para determinar los porcentajes de arena, limo y arcilla se utilizó el método de Boyoucos modificado (42), obteniendo finalmente la clase textural en el triángulo de texturas de USDA (104).

El análisis de P, K, Zn, Cu y Mn se realizó utilizando la solución extractora de Olsen modificada, con una relación suelo:solución de 1:10. El P se determinó colorimétricamente con azul de molibdeno en un espectrofotómetro Coleman Junior III, el K, Zn, Cu y Mn se determinaron usando un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer 370 A (27).

El Ca y Mg se extrajeron con KCl 1 N y se determinaron por absorción atómica. El S fue analizado utilizando la solución extractora de fosfato de calcio de 500 ppm de P; y se determinó por turbidimetría con cloruro de bario (27). En el laboratorio se determinó la materia orgánica, pero los resultados obtenidos no mostraban ninguna lógica al compararlos con resultados de suelos en condiciones similares, por lo que fueron desechados del análisis; sin embargo es necesario hacer notar que

este parámetro ha mostrado una alta correlación con el crecimiento de las especies forestales en diferentes partes del mundo, por lo que se recomienda incluirlo en nuevos análisis, para la misma zona de estudio, para determinar su influencia en el crecimiento y en la caracterización de las calidades de sitio.

El pH en agua se determinó utilizando un potenciómetro, en suspensión de suelo/agua en una relación 1:2,5; según lo descrito por Díaz-Romeu y Hunter (27).

La acidez intercambiable se extrajo con KCl 1N y se tituló con NaOH 0,01 N (49). La capacidad de intercambio catiónico y los cationes cambiables se determinaron por el método del acetato de amonio 1N a pH 7,0 según la metodología descrita por Díaz-Romeu y Balerdi (26). Las lecturas de los cationes se realizaron por absorción atómica, y el amonio se determinó por destilación en un equipo Semimicro Kjeldahl.

Para la determinación de la densidad aparente del suelo no alterado se secaron las muestras al horno a 105<sup>o</sup> C durante 48 horas, se determinó el peso seco y se relacionó éste con el volumen inicial.

El suelo secado al horno se utilizó en la determinación de la densidad de partículas, la cual se hizo por el método del kerosene deshidratado (35).

Se determinó la porosidad del suelo, utilizando la fórmula siguiente:

$$EPT (\%) = \frac{D_p - D_a}{D_p} \times 100 \quad (36)$$

donde: EPT = espacio poroso total

$D_p$  = densidad de partículas

$D_a$  = densidad aparente

Se determinó la retención de humedad a 1/3 de bar, utilizando una olla de presión y un plato poroso para extraer el agua de la muestra saturada. La capacidad de campo se calculó de la siguiente forma:

$$C.C. = \frac{\text{masa de agua retenida a 1/3 de bar}}{\text{peso seco}} \times 100 \quad (39)$$

donde: C.C.= capacidad de campo

La capacidad de campo fue utilizada en el cálculo del índice de textura, el cual da una medida aproximada de la cantidad de humedad que puede retener el espacio poroso capilar. La fórmula para el cálculo del índice de textura es la siguiente:

$$I.T.=C.C. - 1/5 \text{ del } \% \text{ de arena} \quad (42)$$

donde : I.T. = índice de textura

C.C. = capacidad de campo

Con el índice de textura y la densidad aparente se calculó el espacio poroso capilar con la siguiente fórmula:

$$EPC = IT \text{ Da} \quad (7)$$

donde: EPC = espacio poroso capilar

IT = índice de textura

Da = densidad aparente

Restando el valor del espacio poroso capilar de la porosidad total se determinó el espacio poroso no capilar:

$$EPNC = EPT - EPC \quad (7)$$

donde: EPNC = espacio poroso no capilar

EPT = espacio poroso total

EPC = espacio poroso capilar

A las muestras de suelo procedentes de las calicatas se les hizo los siguientes análisis: pH en agua, contenido de materia orgánica y textura, y los análisis para clasificación de suelos siguiendo las metodologías descritas anteriormente (27,42,81,104).

### 3.4 Análisis de datos

#### 3.4.1 Índice de sitio

Para los árboles del lote 10 que son 1,5 años menores que los árboles de los primeros lotes plantados, se realizó un ajuste por edad, utilizando como factor de corrección el incremento medio anual en altura para la edad actual de los árboles, de tal manera que los datos de altura utilizados para el cálculo de los índices de sitio para los árboles de este lote son iguales a la altura actual mas el incremento medio anual correspondiente a 1,5 años.

Con la información obtenida de la medición de la altura de todos los árboles por parcela realizada en 1985, se procedió a seleccionar los cinco árboles de altura mayor en cada parcela. Se comprobó en los registros de las mediciones anteriores que los árboles seleccionados tuvieran registros continuos de crecimiento. En aquellos casos en que faltaba un sólo dato, éste se obtuvo por interpolación y en los casos en que faltaba mas de un dato, se eliminó este árbol del análisis y se substituyó por otro árbol cuya altura no fuera mas de un metro menor que la altura del árbol seleccionado inicialmente. Si no existían árboles con la característica anterior, se reducía el número de árboles muestra por parcela quedando en esos casos parcelas con cuatro o hasta tres árboles seleccionados.

Se utilizó el programa SINDEK que forma parte del Palmer's Statistical Package (PSP)\* en la computadora IBM 4331 del Centro de Computo del CATIE. El programa calcula índices de sitio de parcelas forestales con mediciones anuales de altura dominante, haciendo los cálculos en seis etapas. En las primeras tres etapas calcula los coeficientes A, B y K de la función de Schumacher (2):

$$\ln \text{ altura dominante} = A + B/\text{edad}^K$$

donde: A: coeficiente del intercepto común

B: coeficiente de la pendiente común

K: parámetro de la ecuación de Schumacher

\* Desarrollado por H. J. Palmer, 1984. Del Programa Británico de Cooperación Técnica. Actualizado en 1985.

En la etapa cuatro calcula los coeficientes de regresión, basados en los coeficientes del intercepto común, para los índices de sitio dados por el usuario para la edad índice. En la etapa cinco calcula los índices de sitio basados en un intercepto y pendiente comunes para cada par de edad/altura dominante de los datos originales. En la etapa seis el programa grafica las curvas de índice de sitio sobrepuestas a los pares de datos de edad/altura dominante (2).

### 3.4.2. Análisis de los factores del sitio

Para el estudio de los factores del sitio que están influyendo en el crecimiento y/o rendimiento de los árboles, se formaron primero dos archivos de datos con los resultados del laboratorio de los factores químicos y de textura del suelo a cada profundidad de muestreo (0-20 y 20-50 cm) y un tercer archivo con los factores físicos a la profundidad de 0-20 cm y los aspectos fisiográficos del sitio (Cuadros del 2A al 4A).

Se calculó la altura mayor promedio, el área basal promedio, el volumen total promedio con y sin corteza por parcela, y como una medida de la densidad del rodal se calculó el índice de espaciamiento relativo de Hart (S%) uno de los índices que permite determinar la competencia dentro del rodal y formular los tratamientos de raleo cuando estos son necesarios. El índice de Hart relaciona la distancia promedio entre los árboles con la altura mayor.

La altura mayor promedio se determinó por el procedimiento descrito anteriormente; para el cálculo del área basal y volúmenes promedio se utilizaron todos los árboles de cada parcela. Para el cálculo del volumen total con y sin corteza se usó los modelos matemáticos desarrollados por Salazar, para la misma plantación (85).

### 3.4.3 Análisis estadístico

Se elaboró una matriz de correlación de cada uno de los aspectos de suelo: físicos, fisiográficos y químicos a cada profundidad de muestreo con los promedios de altura mayor, área basal, volumen total con corteza y volumen total sin corteza.

La estimación de las variables del sitio que están más asociadas al crecimiento y/o rendimiento se realizó mediante el coeficiente de correlación de Pearson, para lo cual se utilizó la escala de interpretación cualitativa del porcentaje de asociación presentado por Isolan (47):

% de asociación	< 25	25 - 50	50 - 75	75 - 100
Interpretación	baja	media	fuerte	muy fuerte

Con las variables que presentaron el mayor porcentaje de asociación se elaboró un cuadro que permitió clasificar sitios bajo las mismas condiciones de la plantación estudiada de una manera rápida, conociendo algunos factores del lugar.

Se realizó un análisis exploratorio para cada variable dependiente: altura, área basal, volumen con y sin corteza, y los aspectos físicos, fisiográficos y químicos, a cada profundidad de muestreo. Se realizó otro análisis exploratorio para las mismas variables dependientes y la combinación de los aspectos físicos y fisiográficos con las propiedades químicas a la profundidad de 20 cm; por último se realizó otro análisis exploratorio de las mismas variables dependientes con la combinación de todos los factores de suelo estudiados.

Este análisis se hizo para determinar cuales variables deben ser incluidas en el modelo de regresión que estime en forma adecuada las variables dasométricas del sitio. El método utilizado fue el **Stepwise** el cual consiste en agregar variables una por una al modelo. Para que una variable sea agregada, el valor de F debe ser estadísticamente significativo al nivel de 0,15 (SLSTAY) fijado por el programa. El método **Stepwise** considera todas las variables ya incluidas en el modelo y borra cualquier variable que no produzca una F estadísticamente significativa al nivel de 0,15 (SLENTY) y solamente después que se ha hecho esta revisión y se han completado las eliminaciones necesarias, puede agregarse otra variable al modelo. El proceso termina cuando ninguna de las variables que están fuera del modelo tiene una F estadísticamente

significativa al nivel de 0,15 (SLENTY) y ninguna de las variables incluidas en el modelo tienen significancia estadística menor al nivel de 0,15 (SLSTAY), o cuando la variable a ser agregada al modelo es una que ha sido eliminada previamente.

#### **3.4.4 Análisis de caracterización**

Con la descripción de los perfiles hecha en el campo y los resultados de los análisis de las muestras de cada horizonte, se procedió a caracterizar los suelos y luego a caracterizar las clases de sitio.

#### **3.4.5 Análisis fustal**

Se realizó el análisis fustal de un árbol por parcela que reunía características similares a las de los árboles de altura mayor, para luego elaborar un perfil de crecimiento por clase de sitio. Al practicar el conteo de anillos de crecimiento se encontró anillos falsos, anillos incompletos, anillos dobles y anillos no diferenciados, lo que imposibilitó la determinación del espesor de los mismos, razón por la cual se desechó la evaluación.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Clases de sitio

Se distinguieron cuatro clases de sitio con una amplitud de 2,5 metros. El Cuadro 4 presenta los índices de sitio y los coeficientes de regresión basados en intercepto común y en pendiente común a la edad marca de ocho años.

Cuadro 4. Coeficientes de regresión de los índices de sitio para Pinus caribaea var. hondurensis a los ocho años en la finca Buenavista, Pavones, Turrialba, Costa Rica.

Clase de sitio (m)	Coefficiente de Intercepto común	Regresión Pendiente común
I=19,5	10,475	-9,618
II=17,0	10,362	-9,756
III=14,5	10,231	-9,915
IV=12,0	10,075	-10,104

La Figura 5 presenta las curvas de índice de sitio obtenidas a partir de la ecuación de intercepto común:

$$\ln AM = -9,7443 + B/E^{-0,0932}$$

(para definición de variables ver 3.4.1)

La Figura 6 representa las clases de sitio obtenidas por la ecuación de pendiente común:

$$\ln AM = A + 10,3714/E^{-0,0932}$$

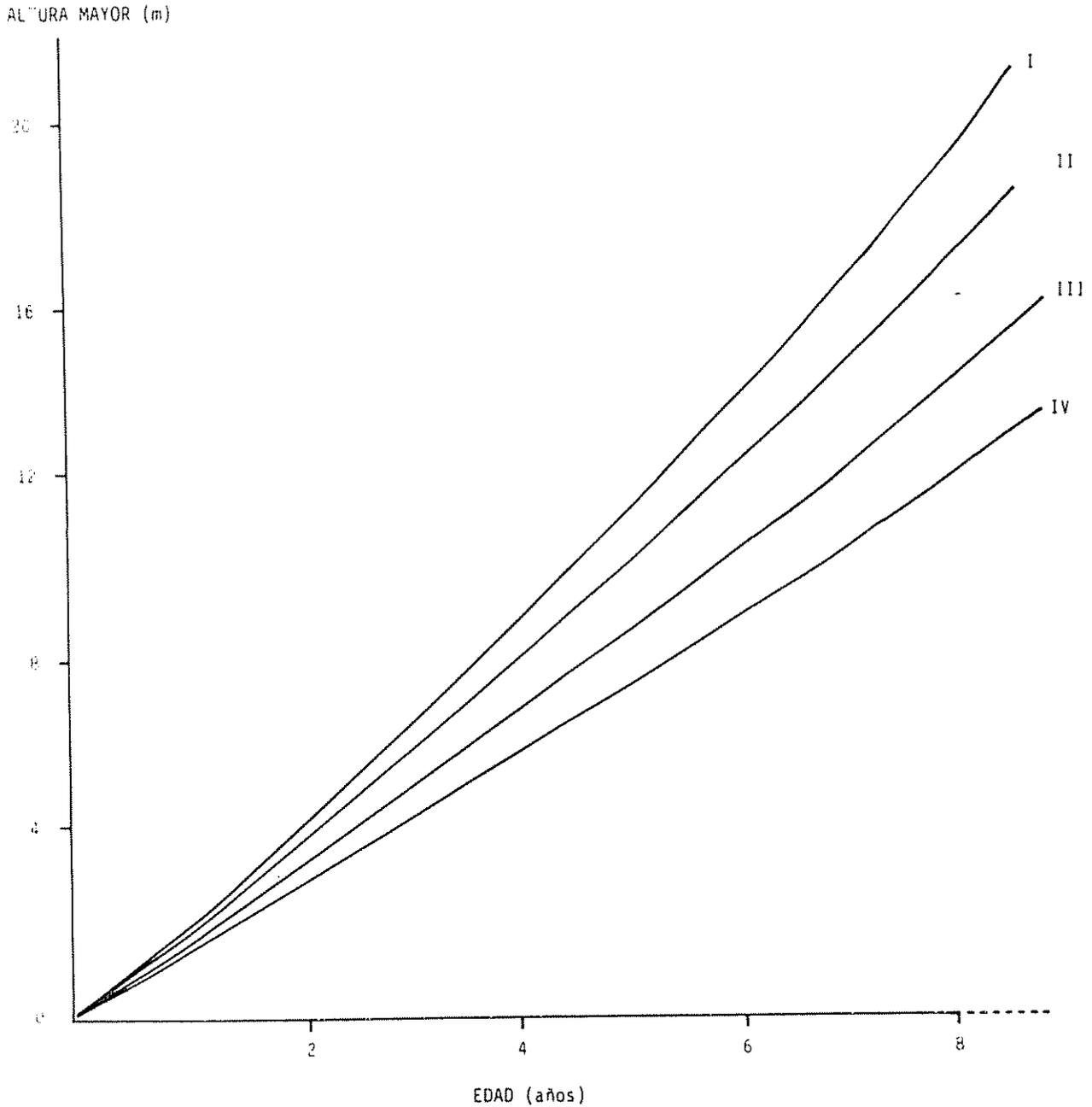


Figura 5.- Indices de sitio para P. caribaea var. hondurensis en Pavónes, Turrialba, 1986 (función de intercepto común).

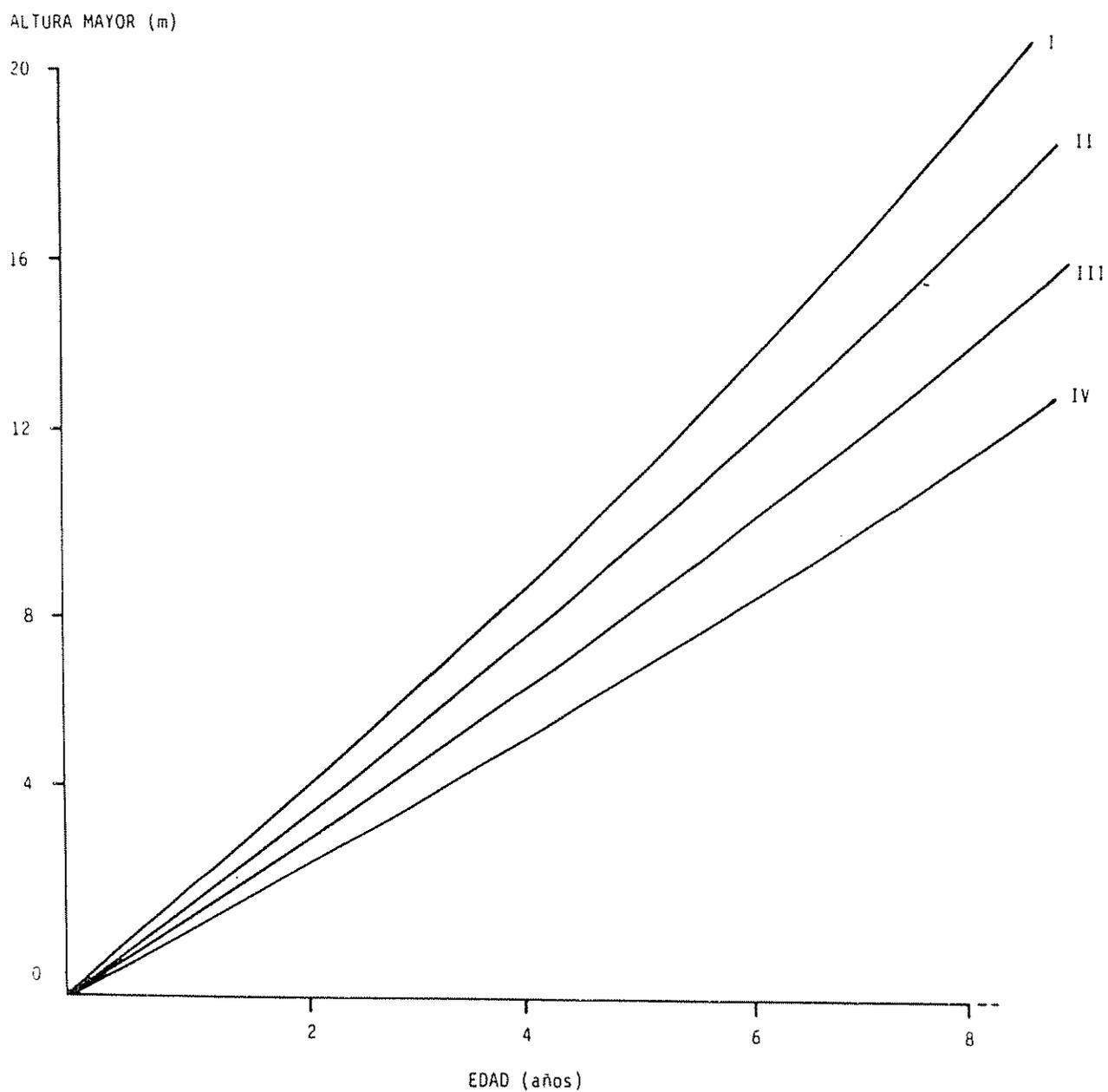


Figura 6.- Indices de sitio para *P. caribaea* var. *hondurensis* en Pavones, Turrialba, 1986 (función de pendiente común).

Debido a que la plantación en estudio es joven, los árboles aún se encuentran en la fase de crecimiento, lo que hace que las curvas obtenidas sean ascendentes. La falta de datos de mayor edad impide conocer el punto de inflexión de las curvas

#### **4.2 Ubicación de las parcelas en estudio por clase de sitio**

El Cuadro 5 presenta el promedio de altura mayor de las treinta parcelas estudiadas y la ubicación en clases de sitio según el promedio de altura mayor.

Las clases de sitio I y II se caracterizan por encontrarse en lugares con pendientes de medianas a fuertes, los cuales presentan buenas condiciones para el drenaje con microrrelieve plano o convexo. En las clases de sitio III y IV las pendientes son suaves, el microrrelieve es cóncavo y existe acumulación visible de agua en algunos sitios.

En la clase de sitio I (19,5) se ubicaron cinco parcelas. La mayor cantidad se ubicaron en las clases de sitio II (17,0 m) y III (14,5 m), lo que indica que la mayoría del área de la plantación presenta condiciones menos adecuadas para el desarrollo de la especie que las de los sitios de clase I. En la clase de sitio IV (12,0 m) solo se ubicaron dos parcelas. En estos sitios el drenaje es imperfecto, aunque no muy diferente de otros lugares donde se ubicaron parcelas clasificadas en el sitio III. Es posible que al pasar el tiempo estas parcelas puedan ser ubicadas en la clase de sitio III.

#### **4.3 Cálculo de las características dasométricas por clase de sitio**

El Cuadro 6 muestra las características dasométricas promedio por clase de sitio.

Las áreas basales de los sitios I y II son similares mientras que entre los sitios II y III hay una diferencia de 41 por ciento en el área basal y entre los sitios III y IV una diferencia del 21 por ciento. Entre

Cuadro 5. Distribución de parcelas en clases de sitio en base a la altura mayor promedio en la finca Buenavista, Pavones, Turrialba.

		I N D I C E		D E		S I T I O					
		II=17,0 m ± 1,25		III=14,5 m ± 1,25		IV=12,0 m ± 1,25					
Lote	Parcela	A.M. $\bar{X}$	Lote	Parcela	A.M. $\bar{X}$	Lote	Parcela	A.M. $\bar{X}$	Lote	Parcela	A.M. $\bar{X}$
3	9	18,5	3	12	17,7	3	2	14,1	9	9	12,2
7	10	19,1	4	5	16,6	3	5	15,7	10	13	12,2
8	2	18,8	4	7	17,1	3	11	15,7			
9	5	18,7	5	5	16,5	5	6	13,8			
			6	5	15,8	9	8	14,6			
			6	9	17,5	9	11	15,2			
			6	10	16,2	10	2	15,5			
			7	2	18,0	10	6	15,4			
			7	6	17,2	10	12	14,8			
			8	8	17,9	10	19	15,4			
			8	10	16,9						
			9	6	17,1						
			10	5	18,2						
			10	10	16,8						

Cuadro 6. Características dasométricas promedio según clase de sitio en la finca Buenavista, Pavones, Turrialba.

Clase de sitio	Densidad actual (N/ha)	Altura mayor $\bar{x}$ (m)	Altura media (m)	I M A (m)	DAP (cm)	I M A (cm)	G (m <sup>2</sup> /ha)	Indice de espacia- miento S%	Volcc/ha (m <sup>3</sup> )	Volsc/ha (m <sup>3</sup> )
I	956	18,70	13,70	1,71	19,10	2,38	31,15	19,00	230,44	54,79
II	1062	17,10	13,40	1,67	18,20	2,27	31,46	19,30	224,17	50,88
III	888	15,00	11,00	1,37	15,10	1,88	18,53	23,00	119,19	80,72
IV	834	12,20	8,40	1,05	14,20	1,77	14,68	30,00	75,45	48,18

donde: IMA = Incremento medio anual  
 DAP = Diámetro a la altura del pecho (1,30 m)  
 G = Área basal  
 Volcc = Volumen con corteza  
 Volsc = Volumen sin corteza

el sitio de mayor área basal (sitio II) y el de menor área (sitio IV) hay una diferencia de 114 por ciento.

El volumen sin corteza de la clase de sitio I es similar al volumen de la clase de sitio II (sitio I dos por ciento mayor que sitio II), mientras que entre las clases II y III hay una diferencia de 86 por ciento y entre los sitios III y IV un 67 por ciento. La diferencia entre el sitio I y el sitio IV es del 221 por ciento.

#### **4.3.1 Índices de espaciamiento relativo**

La clase de sitio I tiene un S% de 19,0 por ciento, lo que indica dentro de los términos de Hart que existe competencia por espacio de crecimiento, si el objeto final de la plantación fuese la producción de madera para aserrío o pulpa. La clase de sitio II presenta una situación similar en tanto que el sitio III tiene un espaciamiento relativo de 23 por ciento, cercano a los índices utilizados en plantaciones para pulpa. El sitio IV tiene un espaciamiento relativo del 30 por ciento que indica poca o ninguna competencia.

Si el objetivo de la plantación es la producción de madera para aserrío se puede fijar tentativamente un espaciamiento relativo de 26 por ciento y por tanto los sitios I, II y III necesitan ser raleados.

#### **4.3.2 Propuesta de raleo**

La sobrevivencia en cada una de las clases de sitio es diferente. La mortalidad en las clases de sitio III y IV puede atribuirse principalmente al mal drenaje.

La clase de sitio II presenta mayor número de árboles/ha, debido posiblemente a menor competencia (menor tamaño de los árboles dominantes respecto de la clase de sitio I) y a las buenas condiciones del drenaje por la posición topográfica. La clase de sitio I presenta menos árboles/ha que la clase II debido al mayor tamaño de los árboles. Las clases de sitio III y IV muestran mayores diferencias respecto a la clases de sitio I y II debido en este caso a la mortalidad producida por las malas condiciones de drenaje.

Para la plantación en estudio se propone llevar el espaciamiento relativo a 26 por ciento, lo cual significa que debe eliminarse 471 árboles/ha (49,27 %) en la clase de sitio I; 479 árboles/ha (45,10 %) en la clase de sitio II; 129 árboles/ha (14,53 %) en la clase de sitio III. En la clase de sitio IV no es posible reducir el % que presenta actualmente. Es necesario analizar la conveniencia de mantener la población actual o sustituir la especie por otra que se adapte mejor a las condiciones del lugar en las clases de sitio III y IV. El Cuadro 7 muestra las condiciones actuales y futuras de la masa al aplicar la propuesta de raleo.

#### 4.4 Factores edáficos y fisiográficos

En los Cuadros 8, 9 y 10 se presentan las características físicas, fisiográficas y químicas promedio para cada profundidad de muestreo (0-20 y 20-50 cm) en cada clase de sitio.

El índice de textura puede ser utilizado para clasificar texturalmente un suelo y calcular el espacio poroso capilar. Se utilizó la clasificación textural sugerida por Garay (36).

<u>Índice de textura</u>	<u>Clasificación</u>
55 - 60	arcilla pesada
40 - 55	arcilla
30 - 40	limo
20 - 30	franco
10 - 20	arena
0 - 10	arena ligera

Los índices de textura para las clases de sitio I y IV aunque están dentro del ámbito 20-30 no difieren grandemente de los índices de textura de los sitios II y III localizados dentro del ámbito 30-40. Por lo tanto en general los suelos se pueden clasificar como francos en transición a limosos. Los contenidos de arcilla en las parcelas del sitio IV a la profundidad 20-50 cm son elevados en tanto que el contenido de arena es

Cuadro 7. Condiciones de espaciamiento actuales y propuestas para la plantación de *P. caribaea* var. hondurensis de la finca Buenavista, Pavones, Turrialba.

Clase de Sitio	ACTUAL				PROPUESTO			
	N	Distancia miento (m)	S %	Arboles a eliminar Total	Arboles a eliminar (%)	N	Distancia miento (m)	S %
I	956	3,48	19,0	471	49,27	485	4,88	26
II	1062	3,30	19,3	479	45,10	583	4,45	26
III	888	3,61	23,0	129	14,53	759	3,90	26
IV	834	3,72	30,0	---	-----	---	----	--

Cuadro 8. Características físicas y fisiográficas promedio por clase de sitio de los suelos de la finca Buenavista, Pavones, Turrialba.

Clase de Sitio	Pendiente (%)	Aspecto	Micro-relieve	Altitud (msnm)	Drenaje	Profun. Efectiva (m)	Densidad Aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad Partic.	C.C.	Indice Textura	EPT (%)	EPC	EPNC
I	29,32	0,36	40	624	20	0,37	0,63	2,34	31,54	29,46	73,05	18,53	54,52
II	26,14	0,33	40	641	20	0,22	0,64	2,36	31,62	30,20	72,58	19,31	53,27
III	21,64	0,32	30	540	20	0,17	0,62	2,22	33,45	32,64	72,10	20,12	51,98
IV	9,99	0,34	40	550	10	0,16	0,56	2,30	31,26	28,27	75,66	15,96	59,70

donde: CC = Retención de humedad a capacidad de campo

EPT = Espacio poroso total

EPC = Espacio poroso capilar

EPNC = Espacio poroso no capilar

Cuadro 9. Características químicas y de textura promedio por clase de sitio para la profundidad entre 0 y 20 cm de los suelos de la finca Buenavista, Pavones, Turrialba.

Clase de Sitio	pH	Fósforo ug/ml	Potasio	Calcio -meq/100 ml	Acidez		Azufre	Cobre ug/ml	Zinc	Manganeso	CIC meq/100 ml
					Magnesio	Extraib.					
I	5,26	4,16	0,34	12,04	1,98	1,20	16,44	16,98	4,26	21,12	42,62
II	5,22	5,91	0,26	8,35	1,80	1,42	15,88	14,68	6,13	18,00	38,00
III	5,33	6,30	0,41	14,50	1,88	1,04	18,49	8,55	5,05	20,01	45,78
IV	5,07	4,51	0,13	4,73	1,36	2,70	14,70	7,78	4,00	18,11	39,82

Cuadro 9. Cont.

Clase de Sitio	Cationes cambiabiles			Arena	Limo	Arcilla	Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K	
	K	Ca	Mg							
	meq/100 ml			%						
I	0,89	11,98	2,29	0,47	42,09	24,22	33,69	4,02	3,18	15,28
II	0,57	7,37	2,12	0,32	39,47	26,34	34,19	2,97	7,26	25,78
III	0,94	13,81	2,46	0,24	40,17	28,21	31,62	4,82	3,60	20,33
IV	0,32	4,85	1,53	0,25	49,47	20,03	30,50	3,41	5,86	28,05

Cuadro 10. Características químicas y de textura promedio por clase de sitio para la profundidad entre 20 y 50 cm de los suelos de la finca Buenavista, Pavones, Turrialba

Clase de Sitio	pH	Fósforo ug/ml	Potasio	Calcio -meq/100 ml	Acidez			Zinc ug/ml	Cobre . . . . .	Manganeso . . . . .	CIC meq/100 ml
					Magnesio	Azufre	Cobres				
I	5,39	3,07	0,22	11,92	1,89	1,20	15,58	16,60	3,52	14,67	40,97
II	5,30	4,37	0,19	8,31	1,53	1,72	14,34	15,47	3,72	14,10	36,09
III	5,46	4,61	0,30	14,05	1,66	1,25	14,19	8,61	3,30	16,81	42,29
IV	5,08	3,29	0,08	4,68	1,30	6,23	10,63	7,78	2,55	17,99	38,38

Cuadro 10. Cont.

Clase de Sitio	Cationes cambiables									
	K	Ca	Mg	Na	Arena	Limo %	Arcilla	Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K
I	0,54	11,09	2,23	0,41	33,69	23,30	43,01	3,93	4,29	21,37
II	0,38	7,20	1,86	0,43	34,75	22,93	42,32	3,34	9,15	37,30
III	0,74	12,78	2,15	0,23	32,57	24,41	43,02	5,13	4,29	23,45
IV	0,18	4,24	1,46	0,26	28,60	21,26	50,14	3,30	8,13	35,38

mas bajo que en los otros sitios; esta condición unida a la posición topográfica explica las condiciones de mal drenaje y por tanto las diferencias en crecimiento que se observan entre esta clase de sitio y las otras.

Con relación a la densidad aparente es notorio que aunque no existen grandes diferencias entre las cuatro clases de sitio, la clase de sitio IV tiene el menor valor de ésta que indicaría mayor disponibilidad de espacio libre, lo cual concuerda con un menor valor de la densidad de partículas con relación a las clases de sitio I y II y un menor valor del espacio poroso capilar aunado a un mayor valor del espacio poroso total. Estas condiciones deberían permitir un buen desarrollo de la especie forestal, sin embargo, los altos contenidos de arcilla en la profundidad 20-50 cm hacen que el drenaje sea deficiente (reflejado en el menor valor del índice de drenaje) y por tanto hay un menor desarrollo general de la plantación.

Los valores de porosidad total son muy altos para todos los sitios, lo cual se explica por el alto contenido de material fino que presenta cada uno, haciendo que la topografía tenga una marcada influencia en el drenaje.

Para analizar el contenido de nutrimentos del suelo a ambas profundidades de muestreo, se utilizó la guía de interpretación para análisis de suelos (Díaz-Romeu y Hunter, 1978, Cuadro 5A). Es de anotar que esta guía fue desarrollada para interpretar análisis de suelos con cultivos agrícolas. Para el análisis de las otras propiedades del suelo se utilizó los ámbitos de interpretación de análisis usados por Obando (68) presentados en el Cuadro 6A.

El pH de los cuatro sitios, en ambas profundidades, se clasifica dentro de la categoría muy ácido. La capacidad de intercambio catiónico se clasifica como alta para ambas profundidades en las cuatro clases de sitio.

La interpretación de las propiedades químicas de los suelos se presenta en el Cuadro 11. Exceptuando el fósforo, los demás nutrimentos se encuentran dentro de los niveles de disponibilidad media alta, sin que

Cuadro 11. Interpretación de las propiedades químicas de los suelos de la finca Buenavista, según la clase de sitio y profundidad de muestreo.

		CLASES DE SITIO							
		I		II		III		IV	
		0-20	20-50	0-20	20-50	0-20	20-50	0-20	20-50
Nutrimiento		0-20	20-50	0-20	20-50	0-20	20-50	0-20	20-50
P		b	b	b	b	b	b	b	b
K		m	m	m	b	a	m	b	b
Ca		a	a	a	a	a	a	m	m
Mg		m	m	m	m	m	m	m	m
S		m	m	m	m	m	m	m	b
Cu		a	a	a	a	a	a	a	a
Zn		m	m	a	m	m	m	m	d
Mn		a	a	a	a	a	a	a	a
CIC		a	a	a	a	a	a	a	a
Ca/Mg		a	a	a	a	a	a	a	a
Mg/K		b	a	a	a	a	a	a	a
Ca+Mg/K		a	a	a	a	a	a	a	a

a: alto  
m: medio  
b: bajo

exista diferencias notables entre los sitios. El fósforo se encuentra en un nivel bajo de disponibilidad para todos los sitios. En consecuencia es dable suponer que ninguna de las propiedades químicas permiten diferenciar clases de sitio dentro de la plantación.

#### 4.5 Correlaciones entre las variables dasométricas y los factores del sitio

Utilizando el Programa SAS 1985 se confeccionó una matriz de correlación de los factores del sitio y las variables dasométricas de la plantación en estudio (Cuadros 7A, 8A y 9A) y se incluyó un análisis particular de la correlación entre la altitud y los otros factores del sitio (Cuadro 10A). Para la interpretación de las correlaciones se utilizó la escala cualitativa del porcentaje de asociación presentada por Isolan (47). El Cuadro 12 presenta los coeficientes de correlación de las variables con mayor porcentaje de asociación. Es notable que en todos los casos la asociación se clasifica de media a baja. El grado de asociación puede variar al aumentar el número de muestras de suelo consideradas en los análisis.

Las propiedades del suelo que mostraron mas correlación con la altura mayor (índice de sitio) fueron: densidad de partículas, la profundidad efectiva, el contenido de cobre y el contenido de sodio, a las dos profundidades de muestreo.

Para las variables área basal y volumen con y sin corteza los coeficientes de correlación mas altos se obtuvieron con las propiedades físicas del suelo y fisiográficas que determinan las condiciones de drenaje: pendiente, altitud. La correlación fue negativa para la retención de humedad a capacidad de campo y para el índice de textura lo cual significa que el desarrollo de la especie está asociado a condiciones de buen drenaje. Con relación a las propiedades químicas los mayores coeficientes de correlación se obtuvieron con los elementos calcio y cobre. Según la guía de clasificación cualitativa, los contenidos de calcio en los sitios I, II y III son altos y medios en el sitio IV, lo cual puede ser consecuencia del lavado de bases provocado

Cuadro 12. Factores del sitio que presentan los mayores coeficientes de correlación con los parámetros dasométricos medidos en la finca Buenavista, Pavones, Turrialba.

Parámetro dasométrico	Altitud	Pend.	CC	IT	DDP	PE	DA	Ca	Cu	0-20 cm Ca/Mg	Na	Ca	.20-50 cm Cu	Ca/Mg
Alt. Mayor	0,53	0,38			0,26	0,23			0,30		0,37		0,23	
A. Basal	0,13		-0,36	-0,34	0,31		-0,23	-0,32	0,31	-0,33		-0,33	0,31	0,33
Voltcc	0,15		-0,30	-0,28	0,30		-0,22	-0,27	0,29	-0,28		-0,27	0,29	0,27
Voltsc	0,15		-0,29	-0,27	0,28		-0,22	-0,26	0,28	-0,27		-0,26	0,28	0,26

por la presencia de mayor cantidad de agua acumulada por efecto de la pendiente suave y el relieve cóncavo. Los contenidos de cobre son altos aunque en los sitios I y II los contenidos son el doble que en los sitios III y IV. Es necesario ahondar en la investigación sobre los requerimientos de cobre para el pino para determinar las causas de las altas correlaciones presentadas en este estudio entre los contenidos de cobre y el crecimiento.

#### 4.6 Selección de variables de predicción del sitio

Con el objeto de determinar las variables ambientales que permitan predecir el sitio se realizó un análisis de regresión múltiple paso a paso (**Stepwise**) para seleccionar estadísticamente las variables más significativas. Los resultados se presentan en el Cuadro 13. Como puede observarse los modelos que incluyen un menor número de variables tienen un menor coeficiente de determinación que varía desde el 37 por ciento en modelos con una sola variable química hasta el 97 por ciento en el modelo que incluye 14 variables entre físicas, fisiográficas y químicas considerando las dos profundidades de muestreo.

Para una determinación preliminar del sitio se puede utilizar el modelo número dos que incluye la altitud como única variable ( $r=0,53$ ). Es de anotar que para el caso particular de la plantación en estudio las variaciones en altitud están relacionadas con mejores condiciones de drenaje por efecto de la pendiente, el aspecto, el índice de textura y la retención de humedad a capacidad de campo (ver Cuadro 10A).

Para una determinación más precisa del sitio se puede utilizar el modelo tres que incluye solo variables físicas y fisiográficas: limo, altitud, profundidad efectiva y microrrelieve ( $r=0,71$ ). Para una determinación de mayor exactitud del sitio se utilizaría el modelo siete que incluye 14 variables entre fisiográficas, físicas y químicas ( $r=0,97$ ).

Cuadro 13. Modelos de regresión obtenidos para predecir las clases de sitio mediante las variables ambientales en plantaciones de P. caribaea var. hondurensis a los ocho años de edad en Pavones, Turrialba.

No.	MODELO	r	R <sup>2</sup>	Variables
1.	$S = 14,7018 + 3,6781 Na$	0,37	0,14	Físicas y químicas (0-20 cm de profundidad)
2.	$S = 7,5499 + 0,0138 A$	0,53	0,28	Físicas y fisiográficas
3.	$S = -1,0215 + 0,1471 L + 0,0187 A + 1,9402 PE + 0,0377 MR$	0,71	0,50	Físicas y fisiográficas
4.	$S = 7,4390 + 0,0142 A + 0,0541 MR - 0,6103 AE_2 - 0,2369 Ca/Mg_2$	0,74	0,55	Fisiográficas y químicas (20-50 cm de profundidad)
5.	$S = 9,3464 + 0,2151 Cu + 0,1760 S - 0,1056 Mn + 1,4586 Mg$	0,75	0,50	Químicas (20-50 cm de profundidad)
6.	$S = 11,8448 - 0,1145 Ar + 2,5409 Na + 0,1762 Cu - 4,8576 K + 0,23165 S + 1,8151 Mg$	0,83	0,69	Físicas y químicas (20-50 cm de profundidad)
7.	$S = 13,7876 + 0,0133 A + 0,1666 D - 0,4116 EPC + 5,1871 As + 0,0212 MR - 1,3900 Na + 0,2893 Ca + 0,0795 Cu_2 + 1,3051 PE - 0,4706 AE_2 - 0,194 Mn_2 + 0,1145 L_2 - 1,4958 Ca/Mg_2 - 0,1514 Mg/K_2$	0,97	0,94	Fisiográficas, físicas y químicas (0-20 y 20-50 cm de profundidad)

Donde: Na = contenido de sodio en meq/100 ml

A = altitud en metros sobre el nivel del mar

L = porcentaje de limo

PE = profundidad efectiva del suelo en metros

MR = microrrelieve según código utilizado

AE = acidez extraíble en meq/100 ml

Ca/Mg = relación calcio/magnesio

Cu = contenido de cobre en ug/ml

Mn = contenido de manganeso en ug/ml

Mg = contenido de magnesio en meq/100 ml

Ar = porcentaje de arcilla

K = contenido de potasio en meq/100 ml

S = contenido de azufre en ug/ml

D = drenaje según código propuesto

EPC = porcentaje de espacio poroso capilar

As = aspecto según código utilizado

Mg/K = relación magnesio/potasio

Nota: cuando las variables llevan un 2 significa que pertenecen a la profundidad entre 20 y 50 cm

#### 4.7 Clasificación taxonómica de los sitios según el subgrupo de suelo

La clasificación taxonómica de los suelos del área en estudio se realizó mediante la descripción de los perfiles en el campo y los resultados de los análisis de laboratorio hechos a las muestras tomadas en cada horizonte. El Anexo 1 muestra la descripción de los perfiles y el Cuadro 11A presenta las parcelas en estudio y los tipos de suelo correspondientes. Se puede observar que la plantación en estudio se encuentra sobre seis subgrupos de suelo, de los cuales los subgrupos Typic Humitropept y Typic Dystrandept cubren la mayor parte del área. Los subgrupos Andic Humitropept y Typic Troporthent les siguen con aproximadamente la mitad del área de los dos anteriores. Finalmente cubriendo una pequeña extensión están los tipos Andeptic Troporthent y Fluventic Dystrandept. El Cuadro 14 muestra las clases de sitio y los subgrupos de suelo correspondientes, no parece existir un efecto directo del tipo de suelo sobre el crecimiento de la especie.

Cuadro 14. Subgrupos de suelo por clase de sitio de la finca Buenavista, Pavones, Turrialba.

	C L A S E	D E	S I T I O	
I	II		III	IV
Andic Humitropept Typic Humitropept Fluventic Dystrandept	Andic Humitropept Typic Humitropept Typic Troporthent Typic Dystrandept	Andic Humitropept Typic Dystrandept Typic Troporthent Andeptic Troporthent	Typic Dystrandept	

## 5. DISCUSION

La clasificación de calidades de sitio desarrollada en este estudio es de utilización restringida debido a la poca edad de la plantación utilizada. Es necesario continuar las observaciones durante mas tiempo para validar o introducir modificaciones en los modelos desarrollados.

La utilización de la altura mayor como criterio para expresar el índice de sitio concuerda con lo expresado por Alder (2) y Vincent (112), aunque otros investigadores utilizan otros criterios, tales como la altura dominante, altura codominante y otros.

Se obtuvo cuatro curvas con un intervalo de 2,5 metros. La obtención del intervalo entre las curvas se hizo mediante la utilización de la diferencia entre la máxima y la mínima alturas mayores observadas. Tobar, citado por Vincent (113), utilizó intervalos de 2,0 metros en plantaciones de pino de nueve años, mientras que el propio Vincent utilizó intervalos variables entre clases en plantaciones de seis años. Para la plantación en estudio, dado el carácter preliminar de la presente clasificación de sitio y las diferencias marcadas entre los sitios con mejor crecimiento y los sitios de menor crecimiento, el intervalo adoptado parece satisfacer los requerimientos actuales. Las curvas no presentaron puntos de inflexión como es común en plantaciones maduras, lo que en este caso es explicable debido a la poca edad de la plantación estudiada.

La proporción del número de parcelas muestreadas por calidad de sitio se debe exclusivamente al azar y no a un sesgo introducido en el momento de la medición. Sin embargo, aunque las áreas con menor desarrollo (sitio IV) son también de menor extensión dentro del total de la plantación, es conveniente tomar en cuenta el posible sesgo debido a la poca proporción de sitios con crecimiento pobre, lo que puede producir una sub-estimación de la productividad de los sitios pobres y una sobre estimación en los sitios de mejor desarrollo. Vincent (113) al desarrollar el sistema de clasificación de sitios para P. caribaea en el oriente venezolano encontró también diferencias en la distribución de los

lotes muestra dentro de las cuatro clases de sitio consideradas, con una mayor proporción de éstos en las clases de sitio II y III.

Los índices de sitio encontrados en este estudio fueron mayores que los índices proyectados, para edades de ocho años, a partir de los índices obtenidos por Vincent (113) en el oriente venezolano, en plantaciones de seis años; similares a los obtenidos por Tobar (citado por Vincent) en las plantaciones de Cachipo en Venezuela y a los proyectados para la edad de ocho años por Isolan (47) en Turrialba, obtenidos a partir de la evaluación de plantaciones de cuatro años. Son menores que los encontrados en los mejores sitios en Malasia (15) y en Surinam (114).

Con relación a la altura mayor promedio, la obtenida en la clase de sitio I (18,7 m) es menor que la altura dominante promedio de la clase de sitio II (19,4 m) en plantaciones, a 3,0 x 3,0 metros, no raleadas, de 8,5 años, en Surinam (114). La altura mayor promedio del rodal (15,7 m) es mayor que la altura dominante promedio (13,7 m) para plantaciones de nueve años en Curua, Brasil, y menor que la altura dominante promedio encontrada en Seaqaqa, Fiji, a la edad de 9,5 años (17,7 m) en plantaciones de 741 árboles por hectárea. La altura promedio del rodal en Turrialba (11,6 m) es menor que la altura promedio (16,2 m) de la plantación de Fiji (58).

El área basal promedio (26,45 m<sup>2</sup>) de esta plantación (935 árboles/ha en promedio) es mayor que la encontrada en Jamaica en plantaciones raleadas de ocho años (21,35 m<sup>2</sup>/ha) con 618 árboles/ha y en Seaqaqa, Fiji (21,8 m<sup>2</sup>/ha, con 741 árboles/ha) en plantaciones de 9,5 años y similar a la encontrada en Curua, Brasil a la edad de nueve años (26,4 m<sup>2</sup>/ha con 1.789 árboles/ha). El área basal de las clases de sitio I y II (31,15 y 31,46 m<sup>2</sup>/ha) es similar al área basal encontrada en la clase de sitio II en plantaciones no raleadas de 8,5 años en Surinam (31,32 m<sup>2</sup>/ha) con 1.000 árboles/ha (58).

Con relación al crecimiento del volumen total promedio sin corteza (108,6 m<sup>3</sup>/ha) es ligeramente mayor que el encontrado en Curua (98,7 m<sup>3</sup>/ha) a los nueve años, pero menor que el encontrado a los 9,5 años en

Fiji ( $126 \text{ m}^3/\text{ha}$ ) y mucho menor que el encontrado en Ruiga River, Tanzania a los 8,5 años en una plantación de  $1.546$  árboles/ha ( $265,5 \text{ m}^3/\text{ha}$ ). La clase I ( $154,79 \text{ m}^3/\text{ha}$ ) tiene un volumen menor que la clase II de la plantación de Surinam, ya mencionada, con  $188 \text{ m}^3/\text{ha}$ .

En resumen la plantación de P. caribaea en Turrialba tiene un mayor crecimiento en altura y volumen que la plantación de Curua en Brasil y menor crecimiento en estas mismas dos variables que las plantaciones de Surinam y Fiji. En área basal el crecimiento es mayor que en Fiji y Jamaica y similar al de Brasil y Surinam, lo que indica que esta plantación tiene un factor de forma similar o mayor que los de las otras plantaciones analizadas.

Existen diferencias evidentes en cuanto al número de árboles por hectárea entre una clase de sitio y otra, pero el número de árboles por hectárea no puede usarse aisladamente de la calidad de sitio, ya que a igual número de árboles con diferentes alturas mayores en diferentes calidades de sitio la competencia es diferente. Las diferencias en el número de árboles entre las calidades de sitio I y II se pueden explicar por la diferencia de competencia entre los sitios (mayor competencia en el sitio I y en consecuencia menor número de árboles). La diferencia entre estos dos sitios y los sitios III y IV pueden atribuirse a la mortalidad producida por las malas condiciones del drenaje.

Estas diferencias en cuanto al número de árboles, unidas a la diferencia en altura mayor producen diferencias en el espaciamiento relativo y por consecuencia en la competencia en cada uno de los sitios. Es necesario definir el uso final de esta plantación para de esta manera establecer el régimen de manejo adecuado. Asumiendo que el uso final sea el de madera para aserrío es necesario disminuir la competencia en los sitios I, II y III para poder aprovechar mas eficientemente la potencialidad del sitio.

Del análisis de las características físicas y fisiográficas se deduce que la presencia de mayor proporción de arcilla en los horizontes abajo de  $20 \text{ cm}$  de profundidad podría constituirse en un impedimento para el desarrollo de las raíces por disminución de la aireación la cual

condiciona el desarrollo radicular. Las diferencias en el drenaje entre las clases I y II, y la clases III y IV pueden atribuirse a factores relacionados con el drenaje como son la pendiente, la profundidad efectiva, el índice de textura y la densidad de partículas y como ya se indicó a la mayor proporción de arcilla en la capa de suelo entre 20 y 50 cm.

Los resultados confirman que en el área de Turrialba el drenaje y sus efectos correlacionados son los principales factores limitantes de orden físico para el crecimiento de P. caribaea var. hondurensis, tal como encontró Isolan (47) para plantaciones de cuatro años.

El análisis de las propiedades químicas del suelo indican que en general no existen factores limitantes para el crecimiento de P. caribaea var. hondurensis, si los requerimientos de nutrimentos y de las demás condiciones químicas del suelo son similares a las de los cultivos para los que se desarrollaron las tablas de interpretación utilizadas en este estudio. Otra forma de interpretación de la poca influencia de las condiciones químicas del suelo en la determinación de los índices de sitio puede ser la de que en general los suelos de todos los sitios presentan aproximadamente las mismas características químicas y los mismos patrones de variación.

El contenido de cobre mostró correlaciones positivas. Los sitios I y II presentaron contenidos de cobre que son aproximadamente el doble de los contenidos presentados en los sitios III y IV lo que podría indicar algún tipo de relación directa entre los contenidos de cobre y el crecimiento de la especie, aunque en ensayos de fertilización en Queensland no se hayan obtenido respuestas a las aplicaciones de cobre (58).

El concepto moderno de acidez incluye el hidrógeno, aluminio y manganeso como contribuyentes a la acidez total del suelo (9). Cuando la proporción de aluminio y manganeso es muy fuerte aumenta la acidez pudiendo provocar problemas de toxicidad que pueden afectar el crecimiento de las plantas hasta en un 50 por ciento (50). Sin embargo en el presente estudio las parcelas dentro de cada clase de sitio

presentaron un amplio ámbito de porcentaje de saturación de acidez que va desde valores muy altos (51,99%) hasta valores muy bajos (0,43%) para los primeros 20 cm del suelo. Si a esto se agrega la tolerancia alta del pino a la acidez, es explicable que no se observe un efecto detrimental de la acidez sobre la altura o rendimiento del pino. Resultados similares se obtuvieron en estudios realizados por Veiga et al. (110), donde se encontró que varias especies de pino entre ellas P. caribaea var. hondurensis presentaron buenos crecimientos en sitios con bajos contenidos de nutrimentos y exceso de aluminio.

Se seleccionaron como modelos de predicción del sitio aquellos que contenían poco número de variables y presentaban coeficientes de determinación superiores al 35 por ciento. Los modelos que contienen cuatro variables o más explican en más de un 50 por ciento las variaciones en el índice de sitio ( $R^2 > 0,5$ ). Lo anterior concuerda con lo observado por Covell y McClurkin, citados por Tschinkel (101) quienes indican que las ecuaciones para estimar el índice de sitio derivadas a partir de factores ambientales raramente explican más del 50% o 60% de las variaciones en el índice de sitio.

No se encontró ninguna correlación fácilmente distinguible entre los subgrupos de suelo y los índices de sitio.

## 6. CONCLUSIONES

1. Se obtuvo cuatro curvas de índice de sitio, con intervalos de 2,5 metros a la edad marca de ocho años para la plantación de P. caribaea var. hondurensis de la finca Buenavista. Estas curvas son de utilización restringida debido a la poca edad actual de la plantación.
2. Los factores fisiográficos y edáficos que permitieron separar las diferentes calidades de sitio, que explican en más de un 50 por ciento las variaciones en el índice de sitio y son fácilmente determinables en el campo fueron el limo, la altitud sobre el nivel del mar, la profundidad efectiva y el microrrelieve. Es de anotar que todas estas variables están directa o indirectamente relacionadas con la calidad del drenaje.
3. A la edad actual de ocho años se puede esperar un rendimiento de 154,79 m<sup>3</sup>/ha sin corteza en la clase de sitio I, 150,88 m<sup>3</sup>/ha en la clase de sitio II, 80,72 m<sup>3</sup>/ha en la clase de sitio III y 48,18 m<sup>3</sup>/ha en la clase de sitio IV.
4. La clasificación de sitios indica que la mayor proporción de parcelas (46,7%) se localizan en la clase de sitio II, la que posee el mayor número de árboles/ha. Es necesario realizar un raleo que permita aprovechar mejor el potencial del sitio. En el sitio I también es necesario un raleo, pero la proporción de área de este sitio es menor. La clase de sitio III también requiere de un raleo, menor que en los dos casos anteriores.
5. Los índices de sitio encontrados fueron similares a los obtenidos en plantaciones de nueve años en Cachipo, Venezuela, pero inferiores a los mejores sitios en Malasia y Surinam.
6. En general la plantación de Pinus caribaea en estudio presenta menor desarrollo en volumen total sin corteza que plantaciones de edad similar en Surinam y Fiji. El crecimiento en área basal es superior a los obtenidos en Fiji y Jamaica y similar a los de Brasil y

desarrollo en volumen total sin corteza que plantaciones de edad similar en Surinam y Fiji. El crecimiento en área basal es superior a los obtenidos en Fiji y Jamaica y similar a los de Brasil y Surinam lo que indica que el factor de forma es similar o mayor que los de esos sitios.

## 7. RECOMENDACIONES

1. Realizar un análisis financiero de la producción esperada en las clases de sitio III y IV para determinar la rentabilidad y decidir si es justificable plantar P. caribaea en estos sitios.
2. En los sitios con malas condiciones de drenaje se debe investigar el rendimiento de la especie al realizar prácticas de drenaje, para decidir sobre la continuidad de utilización de la especie o la sustitución por otra u otras especies.
3. Definir el objetivo de esta plantación para decidir sobre el manejo futuro de la misma. Si dicha definición indicara que el producto esperado es madera para aserrío será necesario realizar un raleo en las clases de sitio I, II y III, utilizando como criterio de decisión alguno de los índices utilizados comunmente en silvicultura para determinar la intensidad de raleo. Se propone utilizar el índice de espaciamiento relativo de Hart para llevar la plantación a un índice de 26 por ciento, concentrando, de esta manera el crecimiento en un menor número de árboles.
4. Realizar estudios más detallados del drenaje del suelo, tales como determinación de la fluctuación de la napa freática en las diferentes clases de sitio, compactación producida por el pastoreo anterior y actual y la velocidad de infiltración en estos sitios, relacionándolas con el crecimiento y/o rendimiento del P. caribaea var. hondurensis.
5. Determinar la influencia de la materia orgánica, el nitrógeno y la relación C/N en la determinación de los índices de sitio para la especie.
6. Realizar estudios detallados sobre la influencia del cobre y la tolerancia a la acidez en el crecimiento de P. caribaea.
7. En estudios posteriores de determinación de índices de sitio se recomienda utilizar tamaños de muestra mayores que los utilizados en este estudio. Igualmente recomendable cubrir una mayor área geográfica

y profundizar mas sobre los factores fisicos que determinan los indices de sitio.

## 8. BIBLIOGRAFIA

1. ADEGBEHIN, J. O. 1982. Growth and yields of Pinus patula in some parts of eastern Africa with particular reference to Sao-Hill, southern Tanzania. Commonwealth Forestry Review (G.B.) 61(1):27-32.
2. ALDER, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos. II. Predicción del rendimiento. Roma, FAO. 80 p. (Estudio FAO: Montes 22/2).
3. ALFARO M., M. A. 1983. Relación entre factores edáficos e índice de sitio para Cupressus lusitanica Mill. en el valle central, Costa Rica. Tesis Lic. Cs. Forest. Heredia, C.R., Universidad Nacional. 111 p.
4. ALVIM, P. T. 1964. Tree growth periodicity in tropical climates. Ed. by M. H. Zimmermann. The formation of wood in forest trees. New York, Academic Press. p. 479-495.
5. AUTEN N., J. T. 1945. Prediction of site index for Yellow Poplar from soil and topography. Journal of Forestry (EE.UU.) 43(9):662-668.
6. BARRET, W.H.G.; GOLFARI, L. 1962. Descripción de dos nuevas variedades de "Pino del Caribe" (Pinus caribaea Morelet). Caribbean Forester (P.R.) 23(2):59-71.
7. BAZAN S., R. 1963. Soil survey of La Lola cacao farm. Tesis Mag. Sc. Turrialba, IICA. 127 p.
8. BONNOR, G. M.; MORRIER, K. C. 1981. Site classification from air photos in a forest inventory. Forestry Chronicle (Can.) 57(6):265-266.
9. BORNEMISZA, E. 1965. Conceptos modernos de acidez del suelo. Turrialba (C.R.) 15(1):20-24.
10. BOWERSOX, T. W.; WARD, W. W. 1977. Soil fertility, growth and yield of young Hibrid Poplar plantations in Central Pennsylvania. Forest Science (EE.UU.) 23(4):463-469.
11. BRITO, P., COMERMA, J.; CANIZALES, R. 1975. Aptitud de las tierras de la zona de Chaguaramas, estado Monagas, para la siembra de Pinus caribaea. Agronomía Tropical (Ven.) 25(4):295-304.
12. BRUBAKER, L. B. 1980. Spatial patterns of tree growth anomalies in the Pacific Northwest. Ecology (EE.UU.) 61(4):798-807.

13. CAMPOS C., J. C.; TURNBULL, K. J. 1980. Um metodo de estimar indices de local utilizando a análise de tronco. *Revista Arvore (Bra.)* 4(1):47-61.
14. CARMEAN, W. H.1; VASILEVSKY, A. 1971. Site-index comparisons for tree species in northern Minnesota. U. S. Department of Agriculture. Forest Service. Research Paper NC-65. 8 p.
15. \_\_\_\_\_; KOK, C. T. 1974. Site quality for Caribbean Pine in Peninsular Malaysia. *Malaysian Forester (Malaysia)* 37(2):109-119.
16. CARTER, M. R. 1981. Association of total CaCO<sub>3</sub> and active CaCO<sub>3</sub> with growth of five tree species on chernozemic soils. *Canadian Journal of Soil Science (Can.)* 61(1):173-175.
17. CASTANOS M., L. J. 1962. Evaluación de la calidad de estación de *Pinus patula* en el norte de Oaxaca. México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Boletín Técnico no. 2. p. 6-8, 23.
18. CHITTENDEN, A. E.; JARMAN, G. C.; PALMER, E. R.; HUGHES, J. F. The pulping properties of *Pinus caribaea*. *Commonwealth Forestry Review* 46(1):22-35. 1967.
19. CHONG, T. K.; JONES, N. 1982. Fast growing hardwood plantations on Logged-over forest sites in Sabah. *Malaysian Forester (Malaysia)* 45(4):558-575.
20. CLUTER, J. L.; FORTSON, J. C.; PIENAAR, L. V.; BRISTER, G. H.; BAILEY, R. L. 1983. Timber management: a quantitative approach. New York, Wiley. 333 p.
21. COILE, T. S. 1938. Forest classification, classification of forest sites with especial reference to ground vegetation. *Journal of Forestry (EE.UU.)*36(10):1062-1066.
22. CURTIS, R. O. 1964. A steam-analysis approach to site-index curves. *Forest Science (EE.UU)* 10(2):241-256.
23. DAUBENMIRE, R. 1961. Vegetative indicators of rate of height growth in Ponderosa Pine. *Forest Science (EE.UU.)* 7(1):24-34.
24. \_\_\_\_\_ 1976. The use of vegetation in assessing the productivity of forest lands. *Botanical Review (EE.UU)* 42(2):115-143.
25. DAVIS, K. P. 1954. American forest management. New York, McGraw-Hill. 482 p.
26. DIAZ-ROMEU, R.; BALERDI, F. 1967. Determinación de la capacidad de intercambio de cationes del suelo. Turrialba, C.R., IICA. 3 p.

27. DIAZ-ROMEU, R.; HUNTER, A. 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, C.R., CATIE. 62 p.(Proyecto Centroamericano de Fertilidad de Suelos).
28. DOOLITTLE, W. T. 1958. Site index comparisons for several forest species in the Southern Appalachians. Soil Science Society of America Proceedings (EE.UU.) 22(5):455-458.
29. EINSPAHR, D.; McCOMBE, A. L. 1951. Site index of Oaks in relation to soil and topography in Northeastern Iowa. Journal of Forestry (EE.UU.) 49(10):719-723.
30. FAO (ITALIA). 1981. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Proyecto de evaluación de los recursos forestales tropicales (en el marco del Sistema Mundial de Vigilancia del Medio Ambiente - SINUVIMA), los recursos forestales de la América Tropical; Informe técnico 1. Roma. 343 p.
31. FARR, W. A.; HARRIS, A. S. 1979. Site index of Sitka Spruce along the Pacific coast related to latitude and temperatures. Forest Science (EE.UU.) 25(1):145-153.
32. FASSBENDER, H. W.; TSCHINKEL, H. 1974. Relación entre el crecimiento de plantaciones de Cupressus lusitanica y las propiedades de los suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia. Turrialba (C.R.) 24(2):141-149.
33. \_\_\_\_\_ 1975. Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina. Turrialba, C. R., IICA. 398 p.
34. FLORES R., J. G. 1984. Supply and demand trends of mechanical wood products in Central America. San José, C. R., AID-ROCAP. 115 P.
35. FORSYTHE, W. 1980. Física de suelos, manual de laboratorio. San José, C. R., IICA. 212 p.
36. GARAY I., A. F. 1965. Aireación del suelo en un campo de café. Tesis Mag. Sc. Turrialba, IICA. 95 p.
37. GIRALDO, L. G.; VALLE, J. I. DEL ; ESCOBAR, M. 1980. El crecimiento del nogal (Cordia alliodora Ruiz y Pavon) Oken en relación con algunos factores climáticos, edáficos y fisiográficos en el sur-oeste de Antioquia (Colombia). Revista Facultad Nacional de Agronomía (Col.) 33(1):21-32.
38. GLOCK, W. S. 1941. Growth rings and climate. Botanical Review (EE.UU.) 7(12): 49-713.
39. GOLFARI, L. 1963. Exigencias climáticas de las coníferas tropicales y subtropicales. Unasyuva (Italia) 17(1):33-42.

40. GREAVES, A. 1978. Site index curves for Gmelina arborea Roxb. England. Commonwealth Forestry Institute. Occasional Papers no. 2. 8 p.
41. HANNAH, P. R. 1971. Soil-site relationships for White, Scotch and Red Pine plantations in Vermont. Vermont Agricultural Experiment Station. Bulletin no. 667. 27 p.
42. HARDY, F.; BAZAN, R. 1975. Análisis de textura, método de Boyoucos. Turrialba, C. R., CATIE. 5 p. (Presentado en el Curso de Productividad y Fertilidad de Suelos).
43. HAZARD, H. E. 1937. Plant indicators of pure White Pine site in Southern New Hampshire. Journal of Forestry (EE.UU.) 35(5):477-486.
44. HOLDRIDGE, L. R. 1978. Ecología basada en zonas de vida. Trad. por H. Jiménez Saa. San José, C. R., IICA, p. 1-28.
45. HUGHES, J. F. 1967. The natural distribution, growth and botanical variation of Pinus caribaea and its cultivation in South Africa. Commonwealth Forestry Review (G.B.) 46(1):177-179.
46. HURTADO P., G.; JEREZ C., L. A. 1975. Índice de sitio, rendimiento y algunos aspectos económicos del Eucalyptus globulus en la sabana de Bogotá. Tesis Ing. For. Bogotá, Col., Universidad Distrital Fco. José de Caldas. 63 p.
47. ISOLAN, F. B. 1972. Estudo da qualidade de sitio para Pinus caribaea Morelet var. hondurensis Barret e Golfari no cantao de Turrialba, Costa Rica. Tese Mag. Sc. Turrialba, C. R., IICA. 83 p.
48. JADAN P., S. V. 1972. Sistema de clasificación de índice de sitio para Eucalyptus deglupta Bl. en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C. R., IICA. 98 p.
49. KAMPRATH, E. J. 1967. Soil acidity and response to liming. North Carolina State University. Technical Bulletin no. 4. 22 p.
50. \_\_\_\_\_ 1984. Crop response to lime on soils in the tropics. In Soil acidity and liming. Ed. by F. Adams. EE.UU., American Society of Agronomy. p 349 - 366. (Series Agronomy no. 12).
51. KEAT, T. S. 1981. Soil suitability in relation to Caribbean Pine growth and yield. Malaysian Forester (Malaysia) 44(1):60-73.
52. KEMP, R.H. 1972. Seed sources and seed procurement of low-altitude tropical pines in Central America. In Selection and breeding to improve some tropical conifers. Ed. by J. Burley; D. G. Nikles. Oxford, Commonwealth Forestry Institute. v.1, p 9-16.

53. KEOGH, R. M. 1982. Teak (Tectona grandis Linn. f.) provisional site classification chart for the Caribbean, Central America, Venezuela and Colombia. Forest Ecology and Management (Holanda) 4(2):143-153.
54. KLINGE, H. s.f. Biomasa y materia orgánica del suelo en el ecosistema de la pluviselva Centro-Amazónica. s.l., s.e. 22 p.  
Presentado en el IV Congreso Latino Americano y II Reunión nacional de la Ciencia del Suelo.
55. KOZLOWSKI, T. T.; PETERSON, T. A. 1963. Seasonal growth of dominant, intermediate and suppressed Red Pine trees. Botanical Gazette (EE.UU.) 124(2):146-154.
56. LA BASTIDE, J. G. A.; GOOR, C. P. VAN. 1970. Growth-site relationships in plantations of Pinus elliottii and Araucaria angustifolia in Brazil. Plant and Soil (EE.UU.) 32(2):349-366.
57. LAMB, A. F. A. s.f. Impressions of tropical pines and hardwoods in some eastern countries. Oxford, Commonwealth Forestry Institute. 93 p.
58. \_\_\_\_\_ 1973. Pinus caribaea. v. 1. Commonwealth Forestry Institute, England. The Lowland Tropics no. 6. 254 p.
59. LEAK, W. B. 1978. Relationships of species and site index to habitat in the White Mountains of New Hampshire. Northeastern Forest Experiment Station. Research Paper NE-397. 9 p.
60. LINNARTZ, N. E. 1963. Relation of soil and topographic characteristics to site quality for Southern pines in the Florida Parishes of Louisiana. Journal of Forestry (EE.UU.) 61(6):434-438.
61. LOJAN, L. 1965. Aspectos del crecimiento diamétrico quincenal de algunos árboles tropicales. Turrialba (C.R.) 15(3):231-237.
62. \_\_\_\_\_ 1967. Periodicidad del clima y del crecimiento de especies forestales en Turrialba, Costa Rica. Turrialba (C.R.) 17(1):71-83.
63. MADER, D. L. 1976. Soil site productivity for natural stands of White Pine in Massachusetts. Soil Science Society of America Journal (EE.UU.) 40(1):112-115.
64. MCGINNIES, W. G. 1963. Dendrochronology. Journal of Forestry (EE.UU.) 61(1):5-11.
65. MIROV, N. T. 1967. The genus Pinus. New York, Ronald Press, 602 p.

66. MUSALEM S., M. A. 1973. Estudio del comportamiento de Pinus caribaea Morelet en el trópico húmedo, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 108 p.
67. NYE, P. H.; GREENLAND, D. J. 1960. The soil under shifting cultivation. England. Commonwealth Bureau of soils. Technical Communication no. 51. 156 p.
68. OBANDO, A., O. 1985. Estudio de suelos Proyecto Leña y Fuentes Alternas de Energía (CATIE - DGF - ROCAP), Costa Rica; informe principal. San José, C. R., CATIE/DGF. 169 P.
69. OLIVER, C. D. 1978. Subsurface geologic formations and site variation in upper sand hills of South Carolina. Journal of Forestry (EE.UU.) 76(6):352-354.
70. ORANTES G., F. R.; MUSALEM S., M. A. 1982. Determinación de calidad de estación de Pinus hartwegii Lind. en Zoquiapan, México. Ciencia Forestal (Méx.) 7(35):3-20.
71. PAGE, G. 1976. 1976. Quantitative evaluation of site potential for Spruce and Fir in Newfoundland. Forest Science (EE.UU.) 22(2):131-143.
72. PALIWAL, G. S.; PRASAD, N. V. S. R. K. 1970. Seasonal activity of cambium in some tropical trees, 1. Dalbergia sissoo. Phytomorphology (India) 20(4):333-339.
73. PAYANDEH, B. 1978. A site index formula for peatland Black Spruce in Ontario. Forestry Chronicle (Can.) 54(1):39-41.
74. PEREZ, S.; RAMIREZ, E.; ALVARADO, A.; KNOX, E. G. 1979. Manual descriptivo del mapa de asociaciones de sub-grupos de suelos de Costa Rica. San José, Oficina de Planificación Sectorial Agropecuaria. Escala 1:200 000. .p. 61.
75. PITA C., P. A. 1964. La calidad de la estación en las masas de P. silvestris de la península Ibérica. Anales del Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias (Esp.) 36(9):5-27.
76. PLATTEBORZE, A. 1970. A soil and vegetation study under a Pinus caribaea plantation in West Malaysia. Malayan Forester (Malaysia) 33(3):243-255.
77. \_\_\_\_\_; CHONG S., E.; SUNDRALINGAM, P. 1971. A preliminary study of the correlation between the N, P and K contents of the soils and growth of Pinus caribaea var. hondurensis in West Malaysia. Malayan Forester (Malaysia) 34(2):113-132.
78. PULIDO P., H. 1971. Métodos de evaluación y principales factores del medio ambiente que afectan la calidad de sitio (Investigación bibliográfica). Mérida, Ven., Universidad de los Andes, Centro de Estudios Forestales de Posgrado, 36 p.

79. RAMIREZ C., A.; BONILLA S., L. M.; RIVERA G., D.; SAN ROMAN J., M. DE; UGALDE, L. 1981. Propiedades y usos de Pinus caribaea var. nondurensis procedente de Turrialba, Costa Rica. Turrialba, C. R., CATIE 19 p.
80. REYNA R., N. 1978. Análisis del incremento de madera y estudio de la mancha azul en Pinus caribaea var. nondurensis Barr. y Golf. en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., UCR/CATIE. 128 p.
81. SAIZ DEL RIO, J. R.; BORNEMISZA, E. 1961. Análisis químico de suelos; métodos de laboratorio para diagnosis de fertilidad. Turrialba, C.R., IICA. 107 p.
82. SALAS, G. DE LAS. 1974. Factores edáficos y climáticos en la clasificación de sitios forestales. Bosques de Colombia (Col.) 1:15-30.
83. SALAZAR F., R. 1973. Zonificación ecológica de Pinus caribaea var. nondurensis Barr. y Golf. y Tectona grandis Linn. para Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., IICA. 120 p.
84. \_\_\_\_\_; ALBERTIN, W. 1973. Requerimientos edáficos y climáticos para Pinus caribaea var. nondurensis Barr. y Golf. Turrialba (C.R.) 23(4):444-450.
85. \_\_\_\_\_ 1985. Productividad del Pinus caribaea var. nondurensis Barr. y Golf. en Turrialba, Costa Rica. IPEF (Bra.) no. 29:19-24.
86. SANCHEZ, P. A. 1981. Suelos del trópico: características y manejo. Traducido del inglés por Edilberto Camacho. San José, Costa Rica, IICA. 660 p.
87. SCHILLER, G. 1982. Significance of bedrock as a site factor for Aleppo Pine. Forest Ecology and Management (Holanda) 4(3):213-223.
88. SCHNEIDER, P. R.; SILVA, J. A. DA. 1980. Índice de sitio para Acacia Negra, Acacia mearnsii de Wild, site index for Black Wattle, Acacia mearnsii de Wild. Brasil Florestal (BRA.) 10(42):53-58.
89. SETH, S. K.; BHATNAGAR, H. P. 1960. Interrelations between mineral constituents of foliage, soil properties, site quality and regeneration status in some Shorea robusta forest. Indian Forester (India) 86(10):590-601.
90. SHRIVASTAVA, M. B.; ULRICH, B. 1978. Quantitative assessment of forest site productivity. Indian Forester (India) 104(1):79-89.

91. SLAGER, S.; SCHULZ, J. P. 1969. A study on the suitability of some soils in Northern Surinam for Pinus caribaea var. hondurensis. Netherlands Journal of Agricultural Science (Holanda) 17(2):92-98.
92. SOMARRIBA, E.; VEGA, E.; DETLEFSEN, G.; PATINO, H.; TWUM-AMPOFO, K. 1985. Pastoreo bajo plantaciones de Pinus caribaea. Proyecto Agroforestal UNU/CATIE (C.R.). 1-11 p.
93. TAJCHMAN, S. J.; WIAANT, H. V. 1983. Topography and biomass characteristics of a forested catchment in the Northern Appalachians. Forest Ecology and Management (Holanda) 5(1):55-69.
94. TARRANT, R. F. 1949. Douglas-Fir site quality and soil fertility. Journal of Forestry (EE.UU.) 47(9):716-720.
95. TAYLOR, R. F. 1932. Plant indicators in Southeastern Alaska. Journal of Forestry (EE.UU.) 30(6):746.
96. TESCH, S. D. 1980/1981. The evolution of forest yield determination and site classification. Forest Ecology and Management (Holanda) 3(3):169-182.
97. TRENARD, Y. 1982. Making wood speak, an introduction to dendrochronology. Forestry Abstracts (G.B.) 43(12):729-759.
98. TRIMBLE, G. R.; WEITZMAN, S. 1956. Site-index studies of upland Oaks in the Northern Appalachians. Forest Science (EE.UU.) 2(3):162-172.
99. TRUMAN, R.; HUMPHREY, F. R.; LAMBERT, M. J. 1983. Prediction of site index for Pinus radiata at Mullions Range State Forest, New South Wales. Australian Forest Research (A.C.T.) 13(3/4):207-215.
100. TSCHINKEL, H. 1972. Factores limitantes del crecimiento de plantaciones de Cupressus lusitanica en Antioquia, Colombia. Revista Facultad Nacional de Agronomía (Col.) 27(2):3-56. ✓
101. \_\_\_\_\_ 1972. Growth, site factors and nutritional status of Cupressus lusitanica plantations in the highlands of Colombia. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades des Fachbereichs Geowissenschaften. Hamburg, Universität Hamburg. 167 p.
102. \_\_\_\_\_ 1972. La clasificación de sitios y el crecimiento del Cupressus lusitanica en Antioquia, Colombia. Revista Facultad Nacional de Agronomía (Col.) 27(1):3-30.
103. URE, J. 1950. The natural vegetation of the Kaingaroa plains as a indicator of site quality for exotic conifers. New Zealand Journal of Forestry (New Zealand) 6(2):112-123.

104. USDA. 1975. Soil taxonomy; a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Department of Agriculture. Handbook no.436. 754 p.
105. VALLE, J. I. DEL. 1975 Estado nutritivo de plantaciones de ciprés (Cupressus lusitanica Mill.) en Antioquia. Revista Facultad Nacional de Agronomía (Col.) 30(2):59-71.
106. \_\_\_\_\_ 1976. La mineralización del nitrógeno en suelos de cenizas volcánicas de Colombia y su relación con el crecimiento de Cupressus lusitanica. Turrialba (C.R.) 26(1):18-23.
107. VAN ECK, W. A.; WHITESIDE, E. P. 1963. Site evaluation studies in Red Pine plantations in Michigan. Soil Science Society of America Proceedings (EE.UU) 27(6):709-714.
108. VAN GOOR, C. P. 1965/1966. A nutrição de alguns pinheiros tropicais. Silvicultura em São Paulo (Bra.) 4/5(4):313-340.
109. VEGA, L. 1969. Calidad de sitio para Virola surinamensis con relación al suelo y la topografía en Mapane-Surinam. Revista Forestal Venezolana (Ven.) 12(18):53-65.
110. VEIGA, A. DE A.; VEIGA, J.E.R.; LIMA, O. DE S.; PINHEIRO, G. DE S. 1977. Macronutrientes e alumínio em povoamentos de Pinus elliotti var. elliottii. Instituto Florestal, São Paulo, Bra. Boletim Técnico no. 27. 13 p.
111. VELEZ M., J. G. 1982. Índice de sitio su estimación edáfica y rendimiento del Eucalyptus saligna Sm. en Antioquia. Tesis Ing. For. Medellín, Col., Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, 142 p.
112. VINCENT, L. W. 1970. Plantaciones de Pinus caribaea var. hondurensis en Surinam con referencia especial a la calidad de sitio. Revista Forestal Venezolana (Ven.) 13(19-20):27-59.
113. \_\_\_\_\_ 1978. Site - classification for young caribbean pine (Pinus caribaea var. hondurensis) in grasslands Venezuela. Tesis Ph.D. Knoxville, Tennessee, University of Tennessee, 149 p.
114. VOORHOEVE, A. G.; SCHULZ, J. P. 1968. La necesidad de parcelas permanentes de clareo y rendimiento en plantaciones forestales. Venezuela, Instituto Forestal Latinoamericano de Investigación y Capacitación. Boletín no. 27/28:3-17.
115. YADAV, J. S. P. 1966. Soil studies in Sal forest of Dehra Dun division. Indian Forester (India) 92(4):240-252.
116. ZAHNER, R. 1957. Mapping soil for pine site quality in South Arkansas y North Louisiana. Journal of Forestry (EE.UU.) 55(6):430-433.

## 9. APENDICE

Cuadro 1A. Distribución mensual de la precipitación (en mm) en la finca Buenavista, Pavones, Turrialba.

	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	$\bar{X}$
Enero	218	89	248	452	118	226	302	236
Febrero	512	112	260	150	71	73	258	206
Marzo	151	84	112	372	151	312	52	176
Abril	110	434	165	312	101	28	34	169
Mayo	259	262	254	172	297	588	278	301
Junio	263	320	336	205	366	298	267	294
Julio	270	180	283	406	613	251	279	326
Agosto	236	338	258	669	443	346	352	377
Sept.	314	245	187	737	196	257	227	309
Octubre	231	266	180	383	509	544	211	332
Noviem.	429	263	350	691	222	255	143	336
Diciem.	252	388	564	271	155	194	314	305
Total	3245	2981	3197	4820	3242	3348	2717	3364

Fuente: registro pluviométrico diario, Celulosa de Turrialba,  
S.A.

Cuadro 2A. Factores físicos y fisiográficos de las parcelas en estudio, de la finca Buenavista, Pavones, Turrialba.

LOTE	PARCELA	PEND. (%)	ALTITUD (msnm)	DRENAJE	PROF EFEC (m)	EXPOS.	MICROR.	CAPCAM	EPT	EPC	EPNC	DA gm/cm3	DP	IND.IEX %
3	2	49	550	30	0,16	0,07	30	30,97	74	16,24	57,76	0,55	2,13	29,53
3	5	25	500	30	0,20	0,45	30	36,44	71	24,10	46,90	0,61	2,12	39,50
3	9	51	500	10	0,16	0,35	60	30,97	75	16,24	58,76	0,55	2,20	29,53
3	11	23	500	10	0,21	0,44	20	37,20	72	23,39	48,61	0,58	2,08	40,32
3	12	20	500	10	0,16	0,23	60	30,97	70	19,49	50,51	0,66	2,22	29,53
4	5	19	650	20	0,16	0,18	10	30,97	69	21,56	47,44	0,73	2,39	29,53
4	7	10	650	10	0,16	0,40	20	30,97	73	18,60	54,40	0,63	2,35	29,53
5	5	20	625	10	0,17	0,10	60	41,89	78	20,92	57,08	0,47	2,15	44,52
5	6	35	625	30	0,17	0,43	30	41,89	73	25,82	47,18	0,58	2,17	44,52
6	5	12	700	20	0,16	0,50	30	30,97	76	16,24	59,76	0,55	2,34	29,53
6	9	28	750	30	0,16	0,50	40	30,97	75	17,13	57,87	0,58	2,33	29,53
6	10	52	700	30	0,16	0,44	40	30,97	72	20,08	51,92	0,68	2,40	29,53
7	2	33	700	30	0,16	0,45	30	30,97	73	19,79	53,21	0,67	2,46	29,53
7	6	61	700	30	0,16	0,34	30	30,97	72	19,79	52,21	0,67	2,40	29,53
7	10	16	700	30	0,16	0,33	30	30,97	76	16,54	59,46	0,56	2,35	29,53
8	2	25	675	30	1,19	0,26	40	30,97	72	20,08	51,92	0,68	2,43	29,53
8	8	50	700	30	0,16	0,32	40	30,97	70	21,56	48,44	0,73	2,41	29,53
8	10	33	675	30	0,16	0,18	40	30,97	74	19,19	54,81	0,65	2,49	29,53
9	5	21	650	30	0,12	0,50	40	33,21	69	21,65	47,35	0,74	2,40	29,26
9	6	21	625	20	0,22	0,05	40	30,39	71	18,84	52,16	0,69	2,42	27,30
9	8	10	575	30	0,16	0,12	10	31,26	71	18,66	52,34	0,66	2,31	28,27
9	9	14	550	20	0,16	0,38	60	31,26	77	14,70	62,30	0,52	2,24	28,27
9	11	18	550	20	0,16	0,48	40	31,26	76	14,98	61,02	0,53	2,18	28,27
10	2	6	525	30	0,16	0,17	10	31,26	72	18,66	53,34	0,66	2,36	28,27
10	5	6	525	30	1,03	0,42	40	31,26	72	18,66	53,34	0,66	2,36	28,27
10	6	8	500	20	0,16	0,50	30	31,26	68	21,77	46,23	0,77	2,38	28,27
10	10	5	500	30	0,16	0,45	40	30,97	72	19,49	52,51	0,66	2,34	29,53
10	12	6	500	30	0,11	0,07	40	30,75	72	18,81	53,19	0,65	2,29	28,94
10	13	5	550	10	0,16	0,30	30	31,26	74	17,53	56,47	0,62	2,37	28,27
10	19	28	575	20	0,16	0,42	40	31,26	71	18,94	52,06	0,67	2,31	28,27

Cuadro 3A. Propiedades químicas y texturales de los suelos a la profundidad ente 0 y 20 cm de las parcelas en estudio en la finca Buenavista, Pavones, Turrialba.

LOTE	PARCELA	%SATIC	pH	K	Ca	Mg	ACIDEZ	EX	P	S	Cu	Zn
				---	meq/100 ml	ml	---	---	microgramos	microgramos	por mililitro	por mililitro
3	2	0,54	5,44	0,20	33,90	2,71	0,20	3,97	18,00	0,20	4,00	
3	5	0,68	5,92	0,82	20,20	1,75	0,15	9,60	22,40	2,00	4,00	
3	9	0,43	5,78	0,33	31,50	3,33	0,15	4,70	9,80	0,40	3,00	
3	11	0,70	5,85	0,75	19,20	1,95	0,15	13,63	13,00	4,00	3,00	
3	12	0,67	5,88	0,33	19,70	2,62	0,15	6,54	9,80	4,00	4,00	
4	5	4,96	5,60	0,46	10,00	2,46	0,65	8,05	12,20	6,00	4,00	
4	7	5,29	5,25	0,61	11,90	2,43	0,80	9,60	13,00	9,00	7,00	
5	5	0,73	5,66	0,57	30,80	3,07	0,25	8,82	11,40	1,00	6,00	
5	6	0,59	5,75	0,54	31,50	2,15	0,20	3,97	10,60	0,20	6,00	
6	5	51,26	5,16	0,12	2,40	1,07	3,65	3,61	15,50	15,00	3,00	
6	9	39,95	5,00	0,07	1,80	0,83	1,75	3,61	21,50	20,00	4,00	
6	10	18,72	4,50	0,08	4,80	1,93	1,55	2,90	18,90	20,00	4,00	
7	2	51,99	4,81	3,22	0,05	2,10	0,67	3,00	2,20	16,40	24,00	
7	6	10,68	5,16	3,95	0,22	6,70	2,08	1,05	2,90	19,80	18,00	
7	10	35,46	4,87	3,35	0,45	2,80	0,84	2,00	2,90	20,60	26,00	
8	2	15,21	5,08	4,42	0,14	4,80	1,61	1,15	2,90	19,80	22,00	
8	8	4,97	5,25	5,70	0,39	7,70	1,85	0,50	2,90	14,70	10,00	
8	10	25,97	5,40	3,95	0,12	4,80	1,47	2,20	2,90	17,20	24,00	
9	5	20,19	5,21	3,08	0,44	4,90	1,82	1,70	5,80	17,20	23,00	
9	6	3,10	5,61	4,56	0,50	7,20	2,18	0,30	19,70	14,70	22,00	
9	8	28,20	5,00	6,36	0,41	4,30	1,81	2,40	6,54	27,40	17,00	
9	9	40,20	5,02	9,51	0,20	4,20	1,60	3,90	5,80	15,10	6,00	
9	11	6,72	5,02	7,84	0,20	13,40	2,57	1,15	5,06	14,20	4,00	
10	2	18,89	5,08	7,84	0,36	4,80	1,64	1,50	5,06	24,70	17,00	
10	5	26,00	4,97	7,70	0,08	4,30	1,25	1,95	3,61	19,40	16,00	
10	6	19,31	5,17	5,83	0,17	3,90	1,74	1,35	3,61	20,20	14,00	
10	10	32,12	4,90	6,63	0,09	3,40	1,25	2,20	3,61	18,50	17,00	
10	12	37,92	4,97	7,91	0,11	3,30	1,12	2,70	4,33	11,70	10,00	
10	13	15,64	5,14	7,77	0,05	5,40	1,07	1,20	2,90	14,20	10,00	
10	19	20,43	4,93	7,64	0,38	3,40	1,08	1,15	5,43	22,90	22,00	

Cuadro 3A. Cont.

LOTE	PARCELA	Mn ug/ml	ARENA	LIMO -%	ARCILLA	CIC	K	Ca meq/100 ml	Mg	Na	Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K
3	2	9,00	21,00	26,60	52,40	56,80	0,64	36,04	3,22	0,23	11,19	5,03	61,34
3	5	6,00	59,00	30,60	10,40	53,30	1,56	16,38	2,82	0,18	5,81	1,70	11,57
3	9	6,00	33,00	28,60	38,40	61,10	1,60	32,08	4,32	0,27	7,43	2,70	22,75
3	11	6,00	47,00	34,60	18,40	54,00	1,84	18,25	3,36	0,19	5,43	1,83	11,74
3	12	5,00	33,20	36,40	30,40	53,30	1,14	17,49	3,81	0,24	4,59	3,34	16,68
4	5	16,00	47,20	30,40	22,40	37,60	0,89	8,32	3,32	0,20	2,51	3,73	13,08
4	7	14,00	39,20	36,40	24,40	44,10	1,35	10,14	3,09	0,19	3,28	2,29	9,80
5	5	9,00	35,20	32,40	32,40	64,40	1,44	30,08	4,28	0,17	7,03	2,97	23,86
5	6	8,00	45,20	26,40	28,40	65,20	1,96	31,00	3,44	0,23	9,01	1,76	17,57
6	5	19,00	59,00	14,40	26,60	36,30	0,17	2,11	1,08	0,20	1,95	6,35	18,76
6	9	26,00	36,40	19,80	43,80	30,40	0,11	1,97	0,81	0,15	2,43	7,36	25,27
6	10	20,00	32,40	21,80	45,80	33,30	0,09	4,01	1,80	0,20	2,23	20,00	64,56
7	2	2,00	16,00	38,40	15,80	45,80	30,00	0,03	1,50	0,66	0,18	2,27	22,00
7	6	3,00	23,00	38,40	23,80	37,80	29,40	0,49	5,75	2,54	1,17	2,26	5,18
7	10	4,00	33,00	38,40	21,80	39,80	33,00	0,74	2,17	0,80	0,66	2,71	1,08
8	2	3,00	20,00	48,40	21,80	29,80	33,00	0,22	3,96	1,51	0,52	2,62	6,86
8	8	2,00	17,00	34,40	33,80	31,80	35,90	0,76	6,24	1,86	0,76	3,35	2,45
8	10	4,00	24,00	42,80	19,20	38,00	35,20	0,18	4,44	1,60	0,44	2,78	8,89
9	5	7,00	28,00	50,40	23,60	26,00	38,90	0,79	5,31	2,05	0,47	2,59	2,59
9	6	31,00	17,00	40,40	29,60	30,00	35,00	1,01	6,37	2,42	0,31	2,63	2,40
9	8	6,00	37,00	34,20	27,80	38,00	37,10	0,72	4,40	2,02	0,29	2,18	2,81
9	9	4,00	19,00	58,20	17,80	24,00	42,80	0,46	4,52	1,85	0,27	2,44	4,02
9	9	6,00	35,00	38,20	27,80	34,00	48,00	0,46	12,04	3,25	0,30	3,70	7,07
10	2	5,00	21,00	42,40	28,60	29,00	35,20	0,66	3,65	1,56	0,25	2,34	2,36
10	5	5,00	24,00	42,40	28,60	29,00	34,60	0,18	3,18	1,29	0,24	2,47	7,17
10	6	6,00	28,00	36,40	22,80	40,80	31,50	0,31	3,50	1,82	0,24	1,92	5,87
10	10	4,00	25,00	34,60	26,60	38,80	32,00	0,19	2,38	1,09	0,24	2,18	5,74
10	12	4,00	20,00	38,60	26,60	34,80	36,30	0,19	2,89	1,11	0,23	2,60	5,84
10	13	4,00	17,00	38,60	22,80	38,60	36,10	0,14	5,27	1,14	0,23	4,62	8,14
10	19	7,00	34,00	38,60	28,60	32,80	32,80	0,66	3,05	1,35	0,24	2,26	2,05

Cuadro 4A. Propiedades químicas y texturales de los suelos a la profundidad entre 20 y 50 cm de las parcelas parcelas en estudio en la finca Buenavista, Pavones, Turrialba.

LOTE	PARCELA	%SATAC.	pH	K	Ca	Mg	ACIDEZ EX.	P	S	Cu	Zn
				---	meq/100 ml	---	---	---	microgramos	por mililitro	
3	2	0,44	5,81	0,19	32,30	1,81	0,15	3,97	13,80	0,50	3,00
3	5	0,51	6,08	0,61	18,10	1,24	0,10	7,29	14,70	3,00	3,00
3	9	0,73	5,91	0,23	30,70	3,07	0,25	3,97	10,60	0,50	2,00
3	11	0,49	6,10	0,63	18,40	1,85	0,10	9,60	12,20	5,00	2,00
3	12	0,67	6,08	0,14	19,90	2,45	0,15	3,61	9,80	6,00	3,00
4	5	6,58	5,01	0,33	10,40	1,66	0,85	6,54	10,60	4,00	2,00
4	7	6,02	5,42	0,40	11,90	2,15	0,90	6,17	15,50	10,00	5,00
5	5	0,81	5,78	0,49	33,20	3,39	0,30	8,05	10,60	0,30	3,00
5	6	0,73	6,01	0,42	32,00	2,10	0,25	5,43	12,20	0,30	2,00
6	5	60,89	5,00	0,08	1,90	0,83	4,25	3,97	13,00	16,00	3,00
6	9	46,67	5,04	0,06	1,80	0,60	2,10	3,61	23,30	24,00	3,00
6	10	28,99	4,87	0,06	4,20	1,31	2,25	2,90	16,40	21,00	3,00
7	2	67,83	4,72	0,04	1,30	0,36	3,50	1,85	14,70	23,00	1,00
7	6	15,14	5,30	0,10	6,00	1,85	1,40	2,55	16,40	19,00	3,00
7	10	35,43	5,03	0,29	2,40	0,88	1,80	2,20	21,50	27,00	3,00
8	2	10,67	5,18	0,09	4,90	1,38	0,75	2,20	14,70	19,00	2,00
8	8	8,08	5,91	0,29	7,80	1,87	0,85	3,26	18,00	14,00	3,00
8	10	39,30	5,29	0,07	4,00	1,02	3,25	2,20	9,80	30,00	3,00
9	5	21,76	5,33	0,25	5,60	1,95	2,10	3,61	16,40	23,00	7,00
9	6	2,00	5,65	0,50	7,70	2,12	0,20	10,38	13,80	21,00	13,00
9	8	34,06	4,99	0,28	3,80	1,62	2,80	3,26	15,10	15,00	5,00
9	9	61,20	4,98	0,13	4,50	1,68	9,75	3,61	8,40	6,00	3,00
9	11	8,08	5,19	0,15	15,00	3,20	1,60	2,90	11,70	4,00	4,00
10	2	25,96	5,13	0,16	4,10	1,32	1,90	2,90	15,10	18,00	3,00
10	5	25,64	5,08	0,05	4,10	1,12	1,80	2,20	15,10	14,00	3,00
10	6	26,67	5,18	0,10	4,10	1,40	2,00	2,90	16,80	15,00	3,00
10	10	32,83	5,00	0,06	3,00	0,86	2,45	3,26	12,60	15,00	3,00
10	12	49,07	4,76	0,05	2,80	0,78	3,45	2,90	12,60	8,00	3,00
10	13	24,37	5,22	0,03	4,90	0,84	1,85	2,90	13,40	10,00	2,00
10	19	17,21	4,98	0,28	3,10	0,99	0,85	3,61	18,50	22,00	5,00

LOTE	PARCELA	Mn ug/ml	ARENA	LIMO	ARCILLA	CIC	K	Ca meq/100 ml	Mg	Na	Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K
3	2	6,00	23,00	22,60	54,40	52,90	0,58	31,02	2,66	0,24	11,66	4,59	58,07
3	5	6,00	45,00	32,60	22,40	45,60	1,15	14,64	2,22	0,18	6,59	1,93	14,66
3	9	6,00	27,00	28,60	44,40	59,20	0,95	29,09	4,17	0,25	6,98	4,39	35,01
3	11	4,00	45,20	26,40	28,40	48,60	1,71	16,24	3,09	0,18	5,26	1,81	11,30
3	12	4,00	29,20	36,40	34,40	49,80	0,57	18,01	3,59	0,26	5,02	6,30	37,89
4	5	12,00	49,20	30,40	20,40	33,90	0,65	8,39	2,61	0,22	3,21	4,02	16,92
4	7	10,00	43,20	28,40	28,40	41,00	0,76	10,57	3,30	0,22	3,20	4,34	18,25
5	5	7,00	33,20	30,40	36,40	62,90	1,29	31,01	4,29	0,17	7,23	3,33	27,36
5	6	6,00	43,20	28,40	28,40	62,60	1,70	32,01	3,03	0,24	10,56	1,78	20,61
6	5	19,00	47,00	16,40	36,60	35,20	0,06	1,77	0,80	0,19	2,21	13,33	42,83
6	9	21,00	34,40	13,80	51,80	25,50	0,04	1,84	0,50	0,15	3,68	12,50	58,50
6	10	13,00	20,40	19,80	59,80	30,40	0,04	3,17	1,29	0,23	2,46	30,00	11,50
7	2	9,00	28,40	15,80	55,80	27,40	0,08	1,34	0,40	1,77	3,35	5,00	1,75
7	6	15,00	40,40	17,80	41,80	35,40	0,20	5,25	2,03	0,84	2,59	10,15	36,40
7	10	22,00	36,40	15,80	47,80	30,70	0,47	2,34	0,86	0,58	2,72	1,83	6,81
8	2	13,00	36,40	21,80	41,80	31,30	0,21	4,06	1,30	0,52	3,12	6,19	25,52
8	8	17,00	34,40	25,80	39,80	33,50	0,49	5,52	1,75	0,54	3,15	3,57	14,84
8	10	11,00	32,40	19,60	48,00	33,50	0,10	3,39	1,05	0,40	3,23	10,50	44,40
9	5	19,00	36,40	25,60	38,00	38,20	0,44	4,94	2,14	0,34	2,31	4,86	16,09
9	6	17,00	38,40	25,60	36,00	34,80	0,91	6,11	2,36	0,28	2,59	2,59	9,31
9	8	29,00	24,20	23,80	52,00	34,50	0,48	4,01	1,84	0,27	2,18	3,83	12,19
9	9	22,00	30,20	21,80	48,00	42,30	0,25	4,57	1,94	0,27	2,36	7,76	26,04
9	11	27,00	22,20	27,80	50,00	46,90	0,37	12,62	3,35	0,28	3,77	9,05	43,16
10	2	20,00	34,40	14,60	51,00	32,00	0,27	3,17	1,31	0,25	2,42	4,85	16,59
10	5	24,00	32,40	22,80	44,80	33,30	0,12	3,15	1,13	0,26	2,79	9,42	35,67
10	6	20,00	28,60	18,60	52,80	30,40	0,19	3,09	1,39	0,24	2,22	7,32	23,58
10	10	19,00	26,60	16,60	56,80	30,40	0,12	1,97	0,90	0,74	2,19	7,50	23,92
10	12	17,00	32,60	20,60	46,80	33,50	0,13	2,06	0,83	0,23	2,48	6,38	22,23
10	13	13,00	26,60	20,60	52,80	33,50	0,10	3,84	0,86	0,24	4,47	8,60	47,00
10	19	37,00	26,60	24,60	48,80	29,40	0,54	2,81	1,15	0,23	2,44	2,13	7,33

Cuadro 5A. Guía de interpretación para análisis de suelos (Adaptado de Díaz-Romeu y Hunter, 1978).

	Deficiente	Nivel Crítico	Adecuado		
Ca <sup>1</sup>	0,3	2,2	4,0		36
Mg <sup>1</sup>	0,12	0,8	2,0		18
K <sup>2</sup>	0,03	0,2	0,4	0,6	3
P <sup>2</sup>	2	12	20	36	80
Mn <sup>2</sup>	0,7	5	10	15	100
Zn <sup>2</sup>	0,4	3	6	9	36
Cu <sup>2</sup>	0,1	1	3	3	20
Fe <sup>2</sup>	1	10	20		80
B <sup>3</sup>	0,03	0,2	0,5	0,6	8
S <sup>3</sup>	2	12	20	36	80
Ca/Mg	0,2	1,2	1,9		6,2
Mg/K	0,2	1,6	3,6		14
Ca+Mg/K	0,2	3,5	10		60
<u>1/</u> KCl 1N		1:10			
<u>2/</u> Olsen modificado		1:10			
<u>3/</u> CaH <sub>4</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>		1:2,5			

Cuadro 6A. Ambitos para la interpretación de análisis de suelo.

Reacción del suelo

Menos de 4,5	extremadamente ácido
4,5 - 5,4	muy ácido
5,5 - 5,9	ácido
6,0 - 6,9	ligeramente ácido
7,0	neutro
más de 7,0	alcalino

Materia orgánica

más de 15%	muy alta
8 - 15%	alta
5 - 8%	media
2 - 5%	baja
menos de 2%	muy baja

Capacidad de intercambio catiónico

La interpretación de la CIC depende del tipo de suelo, no obstante se sugieren los niveles promedio siguientes:

más de 35 meq/100 gr	alta
25 - 35 meq/100 gr	media
menos de 25 meq/100 gr	baja

Suma de bases (Ca + Mg + K + Na)

más de 15 meq/100 g	alta
7 - 15 meq/100 g	media
menos de 7 meq/100 g	baja

Saturación de bases (%)

La interpretación de este valor es subjetivo y depende del tipo de suelo, no obstante se sugieren los niveles promedio siguientes:

más de 50%	alto
------------	------

## Cuadro 6A. Cont.

35 - 50%	medio
menos de 35%	bajo

Acidez intercambiable

más de 60%	toxicidad
10 - 60%	ácido
menos de 10%	no ácido

Macronutrientes

	alto	medio	bajo
Fósforo (ug/ml)	más de 20	11-20	menos de 11
Calcio (meq/100g)	más de 8	4-8	menos de 4
Magnesio (meq/100g)	más de 2	1-2	menos de 1
Potasio (meq/100g)	más de 0,4	0,2-0,4	menos de 0,2

Niveles críticos de algunos elementos esenciales\*

Calcio	4,0 meq/100 g
Magnesio	1,0 meq/100 g
Hierro	10,0 ug/ml
Cobre	1,0 ug/ml
Zinc	3,0 ug/ml
Manganeso	5,0 ug/ml

\*Nivel crítico: nivel del nutrimento en el suelo por debajo del cual las probabilidades de respuesta a su aplicación son altas.

Cuadro 6A. Cont.

Otros elementos analizados

Boro Se considera, en términos generales, que un nivel superior de 0,5 ug/ml de suelo es adecuado.

Aluminio menos de 0,3 meq/100 ml de suelo es lo deseable. Sin embargo y dependiendo del cultivo, lo mas importante es determinar el porcentaje de saturación del aluminio en el complejo de cambio.

Cuadro 7A. Coeficientes de correlación lineal de las variables dasométricas con las variables físicas y fisiográficas de los suelos de la finca Buenavista, Pavones, Turrialba.

Variable Dasométrica	EPT	EPNC	EPC	Altitud	Drenaje	Profund. Efectiva	Pendiente	DDP	DA	Aspecto relieve	Micro-relieve	Indice de textura	Capacidad de campo
Altura	-0,06	-0,08	0,09	0,53	0,11	0,23	0,39	0,26	0,13	0,09	0,17	-0,02	-0,09
A. Basal	-0,14	-0,01	-0,14	0,13	0,19	0,15	-0,01	0,31	0,23	-0,02	-0,07	-0,34	-0,35
Vtcc	-0,14	-0,02	-0,09	0,16	0,18	0,17	-0,01	0,29	0,22	-0,01	-0,04	-0,28	-0,30
Vtsc	-0,14	-0,02	-0,08	0,15	0,18	0,17	-0,05	0,28	0,22	-0,01	-0,04	-0,26	-0,29

donde: EPT = Espacio poroso total  
 EPNC = Espacio poroso no capilar  
 EPC = Espacio poroso capilar  
 DDP = Densidad de partículas  
 DA = Densidad aparente  
 Vtcc = Volumen total con corteza  
 Vtsc = Volumen total sin corteza

Cuadro 8A. Coeficientes de correlación lineal de las variables dasométricas con las variables químicas y de textura a la profundidad entre 0 y 20 cm de los suelos de la finca Buenavista, Pavones, Turrialba.

Variable Dasométrica	Arena	Arcilla	Limo	pH	Cu	P	K	Ca	Mg	S	Zn
Altura	-0,04	-0,01	0,07	0,13	0,30	0,06	0,16	0,02	0,16	-0,08	0,03
A. Basal	0,03	0,01	-0,06	-0,15	0,31	-0,04	-0,11	-0,32	-0,18	0,22	0,04
Vtcc	0,02	0,01	-0,04	-0,10	0,29	-0,03	-0,08	-0,27	-0,14	0,18	0,04
Vtsc	0,02	0,00	-0,04	-0,10	0,28	-0,03	-0,08	-0,26	-0,14	0,17	0,04

donde: Vtcc = Volumen total con corteza  
 Vtsc = Volumen total sin corteza

Cuadro 8A. Cont.

Variable Dasomé- trica	Mn	Acidez Ex.	CIC	K	Ca	Mg	Na	Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K
Altura	-0,07	-0,19	-0,05	0,14	0,00	0,13	0,37	-0,11	0,06	-0,07
A. Basal	0,22	0,13	-0,34	-0,22	-0,33	-0,25	0,16	0,33	-0,02	-0,09
Vtcc	0,16	0,08	-0,30	-0,17	-0,28	-0,20	0,16	-0,28	0,02	-0,08
Vtsc	0,16	0,08	-0,28	-0,17	-0,29	-0,19	0,16	-0,27	0,02	-0,09

Cuadro 9A. Coeficientes de correlación de las variables dasométricas con las variables químicas y de textura a la profundidad entre 20 y 50 cm de los suelos de la finca Buenavista, Pavones, Turrialba.

Variable Dasométrica	Arena	Arcilla	Limo	pH	Cu	P	K	Ca	Mg	S	Zn
Altura	0,26	-0,26	0,13	0,18	0,33	0,04	0,13	0,03	0,18	0,25	0,11
A. Basal	0,03	0,06	-0,15	-0,16	0,31	-0,15	-0,14	-0,33	-0,19	-0,18	0,10
Vtcc	0,05	0,02	-0,12	-0,11	0,29	-0,12	-0,11	-0,27	-0,15	0,18	0,09
Vtsc	0,05	0,01	-0,10	-0,11	0,28	-0,12	-0,10	-0,26	-0,15	0,17	0,08

Cuadro 9A. Cont.

Variable Dasométrica	Mn	Acidez Ex.	CIC	K	Ca	Mg	Na	Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K
Altura	-0,23	-0,33	-0,33	0,06	0,02	0,16	0,32	-0,09	-0,02	-0,04
A. Basal	0,18	0,04	-0,57	-0,35	-0,34	-0,19	0,11	-0,33	0,02	-0,06
Vtcc	0,11	-0,02	-0,48	-0,30	-0,28	-0,18	0,13	-0,27	0,04	-0,06
Vtsc	0,11	-0,02	-0,48	-0,29	-0,27	-0,24	0,12	-0,26	0,01	-0,06

Cuadro 10A. Coeficientes de correlación de la variable altitud con los otros factores del sitio en la finca Buenavista, Pavones, Turrialba.

	Acidez										
	PH	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Extraíble	Azufre	Cobre	Zinc	Manganeso	Arena
Altitud	-0,37	-0,22	-0,20	-0,35	-0,29	0,23	0,13	0,54	0,02	0,25	0,04
	Limo	Arcilla	CIC	Potasio	Calcio	Magnesio	Sodio	Pendiente	Capacidad de campo	Ca/Mg	Mg/K
Altitud	-0,47	0,25	-0,43	-0,32	-0,34	-0,36	0,36	0,35	-0,11	-0,32	0,36
	Ca+Mg/K	Aspecto	Micro- relieve	Drenaje	Profundi- dad efec.	Densidad aparente	Indice de textura	EPC	EPNC	EPT	Densidad particula
Altitud	0,18	0,13	-0,12	0,34	0,00	0,10	-0,10	-0,03	0,11	0,17	0,57

Cuadro 11A. Subgrupos de suelo de las parcelas en estudio de la finca Buenavista, Pavones, Turrialba.

Lote	Parcela	Subgrupo de suelo
3	2	Andic Humitropept
3	5	Typic Troporthent
3	9	Andic Humitropept
3	11	Andeptic Troporthent
3	12	Andic Humitropept
4	5	Andic Humitropept
4	7	Andic Humitropept
5	5	Typic Troporthent
5	6	Typic Troporthent
6	5	Typic Humitropept
6	9	Typic Humitropept
6	10	Typic Humitropept
7	2	Typic Humitropept
7	6	Typic Humitropept
7	10	Typic Humitropept
8	2	Typic Humitropept
8	8	Typic Humitropept
8	10	Typic Humitropept
9	5	Fluventic Dystrandept
9	6	Typic Troporthent
9	8	Typic Dystrandept
9	9	Typic Dystrandept
9	11	Typic Dystrandept
10	2	Typic Dystrandept
10	5	Typic Dystrandept
10	6	Typic Dystrandept
10	10	Typic Humitropept
10	12	Typic Dystrandept
10	13	Typic Dystrandept
10	19	Typic Dystrandept

## 10. ANEXO

Anexo 1. Descripción de los perfiles de suelo en la finca Buenavista, Pavones, Turrialba.

### Perfil 1

#### Información acerca del sitio

- a. Fecha de observación: 29 de agosto de 1985
- b. Ubicación: lote 3, parcela 5
- c. Nombre del suelo: Typic Troprothent
- d. Clasificación: Consociación Tuis, fase pedregosa
- e. Fisiografía: Terrazas muy erosionadas
- f. Relieve: Plano inclinado
- g. Gradiente: 10-12 %
- h. Fertilidad aparente: buena
- i. Clima del suelo: Udico, isohipertérmico
- j. Material matriz: sedimentario, brecha conglomerática  
volcanoclástica con clastos de andesita en una matriz  
tobácea
- k. Drenaje: bueno

#### Descripción del perfil

Ah 0-20 cm            Pardo oscuro (7,5 YR 3/1 húmedo); franco arenoso, estructura granular fina de moderado desarrollo. No adhesivo y no plástico en mojado, friable en húmedo.

Poros abundantes finos, muy finos y grandes. Raíces abundantes, finas y muy finas. Límite claro y plano. pH 5,58.

C1 20 cm + Pardo (7,5 YR 3/3 húmedo); franco; más de 35% de fragmentos angulares de 7 a 10 cm de diámetro, alargados.

Observaciones: Clase IV por pedregocidad según la clasificación de la USDA (106), piedras de 25-35 cm de diámetro y menos de un metro de separación entre sí.

## Perfil 2

### Información acerca del sitio

- a. Fecha de observación: 24 de septiembre de 1985
- b. Ubicación: Lote 8, parcela 2
- c. Nombre del suelo: Typic Humitropept
- d. Fisiografía: Antiguas terrazas muy disectadas por erosión
- e. Relieve: colinado
- f. Gradiente: 20 - 40 %
- g. Fertilidad aparente: pobre
- h. Clima del suelo: Udico, isohipertérmico
- i. Material matriz: tobas volcanoclásticas
- j. Drenaje: bueno

### Descripción del perfil

An 0-16 cm Pardo rojizo oscuro (5 YR 3/3 húmedo); estructura granular fina y mediana de moderado desarrollo. Ligeramente

adhesivo en mojado, friable en húmedo. Abundantes poros finos, muy muy finos y medianos. Pocas raíces finas. Límite claro y plano. pH 4,75.

Bs<sub>1</sub> 16-77 cm Pardo rojizo oscuro (5 YR 3/4,5 húmedo); arcilloso; estructura en bloques subangulares más granular. Ligeramente plástico en mojado, friable en húmedo. Abundantes poros muy finos, finos y medianos. Pocas raíces medianas y gruesas. Límite claro y plano. pH 4,51.

Bs<sub>2</sub> 77-119 cm Pardo rojizo (5 YR 4,5/4 húmedo); arcilloso. Bloques subangulares medios y finos débiles. Ligeramente adhesivo en mojado, friable en húmedo. Abundantes poros muy finos, finos y medianos. Límite claro y plano. pH 4,09.

C 119-161 cm + Pardo fuerte (7,5 YR 4/5 húmedo); Arcilloso. Ligeramente adhesivo en mojado, friable en húmedo. Frecuentes poros medianos y finos. pH 4,20.

Observaciones: Horizonte Ah con grava de 3 a 6 cm de diámetro, irregulares por volumen. Horizonte C con piedras de 15 a 25 cm de diámetro de 20 a 30 por ciento por volumen. Colores rojos por oxidación, hidratación y dispersión de óxidos de hierro. La grava y piedras son fragmentos de andesita y toba.

### Perfil 3

#### Información acerca del sitio

- a. Fecha de observación: 24 de septiembre de 1985
- b. Ubicación: lote 9, parcela 6
- c. Nombre del suelo: Typic Troorthent
- d. Fisiografía: Terrazas disectadas muy antiguas

- e. Relieve: colinado
- f. Gradiente: 15 - 20 %
- g. Fertilidad aparente: pobre
- h. Clima del suelo: Udico, isohipertérmico
- i. Material matriz: Tobas volcanoclásticas
- j. Drenaje: Moderado
- k. Pedregocidad o roca superficial: dentro del perfil de 20  
a 30 cm de diámetro a 7 m entre sí
- l. Erosión: laminar moderada

### Descripción del perfil

- |                            |  |
|----------------------------|--|
| Ah 0-22 cm                 | Pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2,5 húmedo); franco arenoso; estructura granular fina muy débil. No adhesivo ni plástico enmojado, friable en húmedo. Abundantes poros muy finos, finos, medianos y gruesos. Pocas raíces finas. Límite claro y plano. pH 4,40. |
| C <sub>1</sub> 22-53 cm    | Pardo oscuro (10 YR 3/4 húmedo); arcilloso; estructura masiva. Adhesivo y plástico en mojado, friable en húmedo. Abundantes poros muy finos, finos, medianos y gruesos. Pocas raíces medianas. Límite abrupto y plano. pH 4,72.                                    |
| C <sub>2</sub> 53-94 cm    | Pardo oscuro (7,5 YR 4/4 húmedo); arcilloso; sin estructura. Adhesivo y plástico en mojado, friable en húmedo. Frecuentes poros finos y gruesos. No hay raíces. Límite abrupto y plano. pH 5,05.   |
| C <sub>3</sub> 94-105 cm + | 7,5 YR 4/4 mezclado con 2,5 YR 4/0 que corresponde al color de la roca parental meteorizada. Arcilloso; sin  |

estructura. Ligeramente adhesivo en mojado. Poros frecuentes finos y gruesos. pH 4,29.

#### Perfil 4

##### Información acerca del sitio

- a. Fecha de observación: 24 de septiembre de 1985
- b. Ubicación: lote 9, parcela 5
- c. Nombre del suelo: Fluventic Dystrandept
- d. Fisiografía: Terrazas antiguas muy disectadas
- e. Relieve: Colinado
- f. Gradiente: 10 - 15 %
- g. Fertilidad aparente: Pobre
- h. Clima del suelo: Udico, isohipertérmico
- i. Material matriz: Toba volcánica
- j. Drenaje: Bueno
- k. Pedregocidad o roca superficial: Moderada
- l. Erosión: Ninguna

##### Descripción del perfil

An 0-12 cm      Pardo oscuro (10 YR 3/3 húmedo); franco arenoso; estructura granular fina y débil. No adhesivo ni plástico en mojado, friable en húmedo. 20 por ciento de fragmentos subangulares tamaño grava. Abundantes poros finos, medianos y gruesos. Frecuentes raíces finas y muy finas. Límite difuso y plano. pH 4,19.

- C 12-41 cm Pardo amarillento oscuro (10 YR 4/4 húmedo); franco arcilloso. Más de 35 por ciento en volumen de piedras de 10 a 30 cm de diámetro. Adhesivo y plástico en mojado, friable en húmedo. Abundantes poros finos, medianos y gruesos. Pocas raíces finas y medianas. Límite abrupto y ondulado. pH 4,30.
- Ah (b) 41-57 cm Pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2,5 húmedo); arcilloso; estructura en bloques subangulares finos y medianos débiles. Adhesivo y plástico en mojado, friable en húmedo. Abundantes poros finos, medianos y gruesos. Límite abrupto y ondulado. pH 4,34.
- 2B<sub>s</sub> 57-101 cm Pardo amarillento oscuro (10 YR 4/4 húmedo); arcilloso. Aproximadamente de 20 a 25 por ciento de grava de 2 a 7 cm de diámetro en fragmentos subangulares. Estructura en bloques subangulares finos y medianos débiles. Adhesivo y plástico en mojado, friable en húmedo. Abundantes poros finos y medianos, y pocos poros gruesos. Límite claro y ondulado. pH 4,61.
- 2C 101-150 cm Pardo amarillento oscuro (10 YR 4/6 húmedo); arcilloso. Toba residual con clastos de andesita (piedras) de 10 a 35 cm de diámetro en más de 35 por ciento por volumen. Ligeramente adhesivo y plástico en húmedo, friable en húmedo. Abundantes poros finos y medianos, y pocos poros gruesos. pH 4,90.

Observaciones: Tiene un horizonte enterrado Ah<sub>(b)</sub> entre 41 y 57 cm de profundidad por procesos coluviales.

## Perfil 5

### Información acerca del sitio

- a. Fecha de observación: 4 de abril de 1986
- b. Ubicación: Lote 10, parcela 5

- c. Nombre del suelo: Typic Dystrandept
- d. Fisiografía: Terrazas plioceno pleistoceno
- e. Relieve: Plano
- f. Clima del suelo: Udico, isohipertérmico
- g. Drenaje: Bueno
- h. Pedregosidad o roca superficial: moderada
- i. Erosión: no hay

### Descripción del perfil

- |             |   |
|-------------|---|
| An 0-16 cm  | Pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2 húmedo); arcilloso límite franco arcilloso; estructura en bloques subangulares más granular fina y mediana de moderado desarrollo. Ligeramente adhesivo en mojado y friable en húmedo. Abundantes poros finos, medianos y gruesos, pocas finas. Límite claro y plano. pH 4,79. |
| AB 16-48 cm | Pardo amarillento oscuro (10 YR 4/4 húmedo); arcilloso; estructura en bloques subangulares finos y medianos de moderado desarrollo. Adhesivo en mojado y friable en húmedo. Abundantes poros finos, medianos y gruesos. Pocas raíces medianas y grandes. Límite gradual y plano. pH 4,73.                           |
| B 48-103 cm | Pardo fuerte (7,5 YR 5/6 húmedo); arcilloso; estructura en bloques subangulares finos y medianos de moderado desarrollo. Adhesivo y plástico en mojado y ligeramente friable en húmedo. Abundantes poros finos, medianos y gruesos. Límite claro y plano. pH 4,62.  |
| C 103 cm +  | Pardo fuerte (7,5 YR 5/7 húmedo); arcilloso límite franco arcilloso; friable en húmedo. Abundantes poros finos, medianos y gruesos. Límite claro y plano. pH 4,50.  |

Observaciones: Horizonte C más de 35 por ciento de piedra por volumen.

## Perfil 6

### Información acerca del sitio

- a. Fecha de observación: 4 de abril de 1986
- b. Ubicación: Lote 10, parcela 12
- c. Nombre del suelo: Typic Dystrandept
- d. Fisiografía: Terrazas plioceno pleistoceno
- e. Relieve: Plano
- f. Gradiente: 3 - 5 %
- g. Fertilidad aparente: buena
- h. Clima del suelo: Udico, isohipertérmico
- i. Material matriz: Toba
- j. Drenaje: bueno
- k. Pedregocidad o roca superficial: Clase I, USDA (104)

### Descripción del perfil

- |             |   |
|-------------|---|
| Ah 0-11 cm  | Pardo oscuro (10 YR 3/3 húmedo); franco; estructura granular más bloques subangulares, medios y finos de moderado desarrollo. No adhesivo ni plástico en mojado, friable en húmedo. Abundantes poros finos, muy finos, medios y grandes. Pocas raíces finas. Límite claro y plano. pH 4,52. |
| AB 11-40 cm | Pardo oscuro (7,5 YR 4/4 húmedo); arcilloso; estructura en bloques subangulares medios y finos de moderado  |

desarrollo. Ligeramente adhesivo y plástico en mojado, friable en húmedo. Abundantes poros finos, muy finos, medios y grandes. Pocas raíces medianas. Límite claro y plano. pH 4,52.

B 40-75 cm Pardo fuerte (7,5 YR 5/6 húmedo); arcilloso; bloques subangulares medios y finos de fuerte desarrollo. No adhesivo ni plástico en mojado, friable en húmedo. Abundantes poros finos, muy finos, medios y grandes. pH 4,26.

Observaciones: El horizonte Ah contiene aproximadamente 10 por ciento de grava de 5 a 7 cm de diámetro por volumen, aproximadamente 25 por ciento de piedras de 5 a 15 cm de diámetro por volumen y saprolita de limonita muy meteorizada.

## Perfil 7

### Información acerca del sitio

- a. Fecha de observación: 4 de abril de 1986
- b. Ubicación: Lote 3, parcela 11
- c. Nombre del suelo: Andeptic Troprothent
- d. Fisiografía: Escarpes disectados de terraza
- e. Topografía: Ligeramente escarpada
- f. Relieve: Pendientes complejas
- g. Gradiente: 20 a 30 %
- h. Fertilidad aparente: pobre
- i. Clima del suelo: Udico, isohipertérmico
- j. Material matriz: Toba

k. Drenaje: Moderado

l. Pedregosidad o roca superficial: Clase III, USDA (104)

m. Erosión: Laminar moderada

### Descripción del perfil

- Ah 0-21 cm      Pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2,5 húmedo); franco arcilloso. No adhesivo ni plástico en mojado, masivo en húmedo. Abundantes poros finos, medianos y gruesos. Frecuentes raíces finas. Límite abrupto y plano. pH 5,56.
- C 21-70 cm      Toba con clastos de 5 a 20 cm de diámetro en 75 por ciento en volumen y fragmentos gravillosos.

### Perfil 8

#### Información acerca del sitio

- a. Fecha de observación: 4 de abril de 1986
- b. Ubicación: Lote 9, parcela 8
- c. Nombre del suelo: Andeptic Troorthent
- d. Fisiografía: Escarpes disectados de terraza
- e. Topografía: Ligeramente escarpada
- f. Relieve: Pendientes complejas
- g. Gradiente: 20 a 30 %
- h. Fertilidad aparente: pobre
- i. Clima del suelo: Udico, isohipertérmico

j. Material matriz: Toba

k. Drenaje: Moderado

l. Pedregocidad o roca superficial: clase III, USDA (104)

m. Erosión: Laminar moderada

### Descripción del perfil

- Ah 0-16 cm      Pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2 húmedo); arcilloso límite franco arcilloso; estructura en bloques subangulares más granular fina y mediana de moderado desarrollo. Ligeramente adhesivo en mojado y friable en húmedo. Abundantes poros finos, medianos y gruesos; pocas raíces finas. Límite claro y plano. pH 4,79.
- AB 16-50 cm      Pardo amarillento oscuro (10 YR 4/4 húmedo); arcilloso; estructura en bloques subangulares finos y medianos de moderado desarrollo. Adhesivo en mojado y friable en húmedo. Abundantes poros finos, medianos y gruesos. Pocas raíces medianas y grandes. Límite gradual y plano. pH 4,73.
- B 50-128 cm      Pardo fuerte (7,5 YR 5/6 húmedo); arcilloso; estructura en bloques sub angulares finos y medianos de moderado desarrollo. Adhesivo y plástico en mojado y ligeramente friable en húmedo. Abundantes poros finos, medianos y gruesos. Límite claro y plano. pH 4,62.
- C 128 cm +      Pardo fuerte (7,5 YR 5/7 húmedo); arcilloso; friable en húmedo. Abundantes poros finos, medianos y gruesos. Límite claro y plano. pH 4,44.

Observaciones: Igual al perfil 5 a excepción del horizonte C.

**Perfil 9****Información acerca del sitio**

- a. Fecha de observación: 4 de abril de 1986
- b. Ubicación: Lote 9, parcela 9
- c. Nombre del suelo: Andeptic Troprothent
- d. Fisiografía: Terrazas
- e. Topografía: Plana
- f. Relieve: Pendientes complejas
- g. Gradiente: 20 a 30 %
- h. Fertilidad aparente: Pobre
- i. Clima del suelo: Udico, isohipertérmico
- j. Material matriz: Toba
- k. Drenaje: Moderado
- l. Pedregosidad o roca superficial: Clase III, USDA (106)
- m. Erosión: Laminar moderada

**Descripción del perfil**

- |             |   |
|-------------|---|
| Ah 0-16 cm, | Pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2 húmedo); arcilloso, límite franco arcilloso; estructura en bloques subangulares más granular fina y mediana de moderado desarrollo. Ligeramente adhesivo en mojado y friable en húmedo. Abundantes poros finos, medianos y gruesos; pocas raíces finas. Límite claro y plano. pH 4,79. |
| AB 16-50 cm | Pardo amarillento oscuro (10 YR 4/4 húmedo); arcilloso; estructura en bloques subangulares finos y medianos de  |

moderado desarrollo. Adhesivo en mojado y friable en húmedo. Abundantes poros finos, medianos y gruesos. Pocas raíces medianas y grandes. Límite gradual y plano. pH 4,73.

B 50-101 cm Pardo fuerte (7,5 YR 5/6 húmedo); arcilloso; estructura en bloques subangulares finos y medianos de moderado desarrollo. Adhesivo y plástico en mojado y ligeramente friable en húmedo. Abundantes poros finos, medianos y gruesos. Límite claro y plano. pH 4,62.

C 101-150 cm + Toba meteorizada.

Observaciones: Horizonte AB con aproximadamente 10 por ciento de piedras de 5 a 15 cm de diámetro. Horizonte B con grises heredados del material parental.

## Perfil 10

### Información acerca del sitio

- a. Fecha de observación: 12 de abril de 1986
- b. Ubicación: Lote 5, parcela 6
- c. Nombre del suelo: Typic Troorthent
- d. Relieve: Ligeramente escarpado
- e. Gradiente: 20 - 25 por ciento
- f. Fertilidad aparente: buena
- g. Clima del suelo: Udico, isohipertérmico
- n. Material matriz: Limonita muy meteorizada
- i. Drenaje: Bueno
- j. Erosión: Laminar leve

## Descripción del perfil

- Ah 0-17 cm      Pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2 húmedo); franco arcilloso, límite franco; estructura granular medianamente fina de moderado desarrollo. Ligeramente adhesivo y plástico en mojado, No friable en húmedo. Abundantes poros medianamente finos y grandes. Frecuentes raíces finas y medianas. Límite abrupto y plano. pH 5,57.
- C 17-105 cm +      Pardo oscuro (10 YR 4/3 húmedo); franco arcilloso. Friable en húmedo. Abundantes poros finos, medianos y grandes. Pocas raíces medianas. Límite abrupto y plano. pH 5,75.