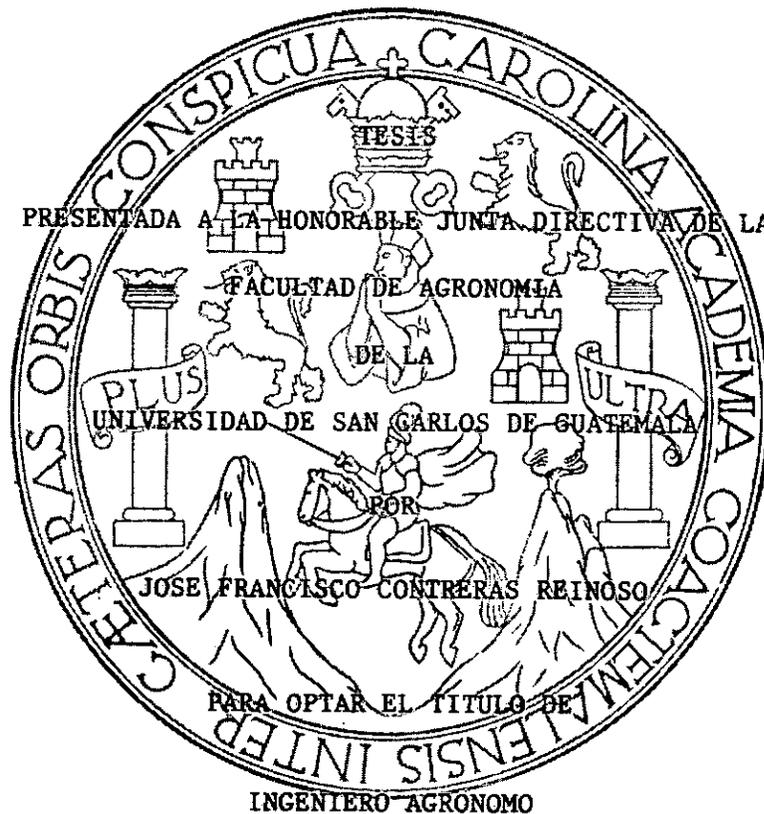


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMIA

"ESTUDIO DEL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DEL
Pinus caribaea MORELET EN MACHAQUILA, POPTUN
PETEN"



EN EL GRADO ACADEMICO DE
LICENCIADO EN CIENCIAS AGRICOLAS

Guatemala, junio de 1987

DL
01
T(998)

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Lic. Roderico Segura Trujillo

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO:	Ing. Agr. César A. Castañeda S.
VOCAL 1o.:	Ing. Agr. Gustavo A. Méndez G.
VOCAL 2o.:	Ing. Agr. Jorge E. Sandoval I.
VOCAL 3o.:	Ing. Agr. Mario Melgar Morales
VOCAL 4o.:	Br. Luis Molina Monterroso
VOCAL 5o.:	T.U. Carlos E. Méndez M.
SECRETARIO:	Ing. Agr. Luis A. Castañeda



Referencia
Asunto

FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1545

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

5 de Junio de 1987.

Ing. Agr.
César Castañeda S.
Decano de la
Facultad de Agronomía.
Presente.

Señor Decano:

Me permito informarle que procedí a asesorar y a revisar el trabajo de tesis titulado "Estudio del crecimiento y rendimiento del Pinus Caribaea Morelet en Machaquilá, - Poptún, Petén", desarrollado por el estudiante JOSE FRANCISCO CONTRERAS REINOSO, Carnet No. 8010078. Esta investigación constituye parte del programa de investigaciones que sobre silvicultura desarrolla el Instituto de Investigaciones Agronómicas y es un aporte importante para el conocimiento y manejo de nuestros bosques.

El presente trabajo de investigación fué realizado considerando los procedimientos y normas de todo trabajo científico, por lo que recomiendo su aprobación para que sea aceptado como trabajo de tesis de graduación en la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Agr. Luis F. Ortíz. Castillo.

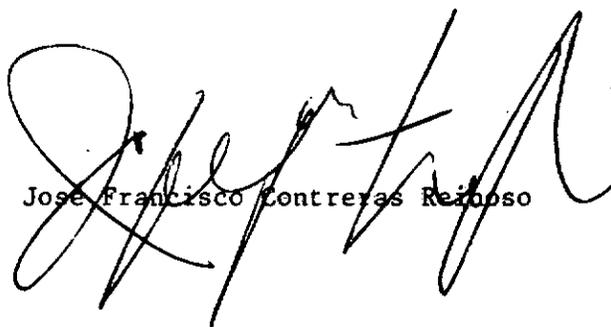
A S E S O R .

Guatemala, 3 de junio de 1987

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador

De conformidad con las normas establecidas en la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de Tesis titulado: ESTUDIO DEL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DEL *Pinus caribaea* MORELET EN MACHAQUILA, POPUTUN, PETEN; como requisito previo para optar el título de Ingeniero Agrónomo en el grado académico de Licenciado.

Atentamente,



Handwritten signature of José Francisco Contreras Reinoso, consisting of a large, stylized initial 'J' followed by the name in cursive script.

José Francisco Contreras Reinoso

ACTO QUE DEDICO

A MIS PADRES	Fernando Contreras Aurora Reinoso de Contreras
A MI ESPOSA	Norma V. Paz Chávez de Contreras
A MI HIJO	Carlo Giovanni Contreras Paz
A MIS HERMANOS	René Antonio Ofelia Concepción Carlos Fernando (Q.E.P.D.)
A MI ABUELO	Marcos Contreras Valle
A LA FAMILIA	Paz Chávez, especialmente a Don Felipe Paz Torres y Doña María Luisa Chávez Enríquez
A MIS CUÑADOS	Marco Vinicio, José Domingo, María Rosaura y Yolda Lisbeth
A MIS COMPAÑEROS	Grupo del curso especializado de la Cuenca del Río Salamá, 1986
A MI TIERRA NATAL	Petén

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Agr. Luis F. Ortíz Castillo por la asesoría y asistencia en la realización de este trabajo.

A la Cooperativa Agrícola e Industrial de Servicios Varios "Machaquilá" R. L., por el apoyo brindado en la etapa de campo.

CONTENIDO

Título	Página
Resumen	iv
Lista de Cuadros	v
Lista de Figuras	vii
Lista de Abreviaturas	ix
I. INTRODUCCION	1
II. OBJETIVOS	3
III. REVISION DE LITERATURA	4
1. DISTRIBUCION NATURAL DE <u>Pinus caribaea</u>	4
2. CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO	6
2.1 Crecimiento de árboles individuales	7
2.2 Crecimiento de masas forestales	8
2.3 Crecimiento e incremento en altura del árbol individual y de la masa forestal	8
2.4 Crecimiento e incremento en diámetro del árbol individual y de la masa forestal	9
2.5 Crecimiento e incremento del volumen	13
2.6 Métodos para calcular incrementos	15
2.7 Metodología para la predicción del crecimiento y rendimiento	15
3. VARIABLES INDIVIDUALES Y VARIABLES DEL RODAL	16
3.1 Relaciones alométricas	16
3.2 Variables del rodal	17
4. PRODUCTIVIDAD DE LOS SITIOS FORESTALES	19
4.1 Método de evaluación de la calidad de sitio	19
4.2 La altura dominante como indicador de la calidad de sitio	21
4.3 Curvas de índice de sitio	21
4.4 Propiedades del suelo y sus relaciones con el índice de sitio	22
4.5 Requerimientos edáficos de <u>Pinus caribaea</u> Morelet	23
4.6 Efecto del fuego sobre los sitios forestales	23
5. EVALUACION DE LA FORMA DE LOS ARBOLES	25
6. ESTABLECIMIENTO DE PARCELAS DE MUESTREO	26
6.1 Ubicación de las parcelas	26

Título	Página
6.2 Tamaño de las parcelas	26
6.3 Forma de las parcelas	26
6.4 Número de parcelas	26
6.5 Frecuencia y época de mediciones	26
IV. METODOLOGIA	28
1. INFORMACION GENERAL DEL RODAL	28
1.1 Selección del rodal	28
1.2 Localización	28
1.3 Accesibilidad	28
1.4 Superficie y límites	31
1.5 Altitud y fisiografía	31
1.6 Clima	31
1.7 Zona de vida	33
1.8 Flora	33
1.9 Suelos	34
2. INFORMACION GENERAL DE LAS PARCELAS	37
2.1 Trazo de las parcelas	37
2.2 Prueba de homogeneidad de especie	37
2.3 Prueba de homogeneidad de altura	38
2.4 Características de las parcelas	40
2.5 Mapeo de los árboles	40
2.6 Cálculo del área basal	40
2.7 El aclareo	42
2.8 Altura total	42
2.9 Análisis troncal	42
V. PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS	44
1. RELACION ENTRE VARIABLES	44
1.1 Relación área ocupada por árbol-área basal total por subparcela	44
1.2 Relación área ocupada por árbol-altura promedio	47
1.3 Relación área ocupada por árbol-volumen promedio individual	47
1.4 Relación área ocupada por árbol-volumen total por subparcela	47
2. CARACTERISTICAS PRODUCTIVAS DEL BOSQUE	50
3. CARACTERISTICAS CUALITATIVAS	57
4. RESULTADOS DE RELACIONES INDIVIDUALES	57

Título	Página
4.1 Relación dap - altura total	57
4.2 Relación dap - volumen real individual	60
4.3 Relación altura - volumen real individual	60
4.4 Relación área basal - altura total	60
4.5 Relación área basal - volumen real	60
4.6 Tabla de volumen local	63
4.7 Edad	63
5. ANALISIS DE INCREMENTOS	66
5.1 Incremento en diámetro	66
5.2 Incremento en área basal	72
5.3 Incremento en altura	76
5.4 Incremento en volumen	76
5.5 Gráfico fustal	79
5.6 Cálculo del tiempo de paso	79
5.7 Cálculo del factor mórfoico y de corteza	79
VI. CONCLUSIONES	83
VII. RECOMENDACIONES	85
VIII. BIBLIOGRAFIA	86
IX. ANEXO	89

R E S U M E N

El presente trabajo es un estudio de las principales variables del crecimiento y rendimiento de un rodal natural de Pinus caribaea en las proximidades de la aldea Machaquilá, Poptún, Petén.

El estudio de crecimiento está basado fundamentalmente en la determinación de la edad mediante el conteo de anillos, los cuales eran suficientemente visibles. Se establecieron incrementos en diámetro, área basal, altura y volumen, obteniéndose valores muy similares a los de otras áreas de bosques naturales de P. caribaea.

Por medio de regresión simple se relacionaron las variables del rodal como área basal y área por árbol y relaciones alométricas con la finalidad de describir el desarrollo del bosque y hacer algunos modelos matemáticos para la predicción del crecimiento y rendimiento. Por medio de regresión múltiple se construyó una tabla de volumen local. De este análisis se obtuvieron algunas ecuaciones estadísticamente significativas como dap y volumen, dap y altura total, etc.

El estudio incluye también la descripción del sitio; florísticamente y edafológicamente. La flora, para conocer la asociación de esta especie con otras especies arbóreas y herbáceas del rodal; el suelo, para relacionarlo con la productividad del sitio.

Entre los datos más importantes se menciona que la densidad promedio es de 494 arb/ha y 15.8 m²/ha de área basal. En el rodal se presenta un incremento medio anual sin corteza del dap de 0.7313 cm/año y 0.5866 m²/ha/año de área basal. El incremento medio en altura es de 0.7534 m/año y el incremento medio en volumen es de 6.2985 m³/ha/año.

LISTA DE CUADROS

En el texto

No.		Página
1	Crecimiento en altura, diámetro y volumen a lo largo de la vida del árbol	7
2	Datos de altura e incrementos a diferentes edades en plantaciones de <u>P. caribaea</u>	10
3	Incrementos en diámetro y área basal en plantaciones de <u>P. caribaea</u> a diferentes edades en distintos sitios	12
4	Incrementos en volumen en condiciones naturales de <u>P. caribae</u> en distintos sitios	13
5	Datos de producción e incrementos en volumen de <u>P. caribaea</u> en plantaciones a diferentes edades en distintos sitios	14
6	Cálculos de la distancia del espaciamiento y área por árbol	18
7	Intervalos aproximados entre dos mediciones sucesivas en parcelas de muestreo	27
8	Índice de valor de importancia del estrato herbáceo en las parcelas de muestreo	34
9	Área basal y frecuencia de los árboles por parcela, por bloque y total	38
10	Datos promedio de altura dominante por parcela	39
11	Datos de frecuencia y área basal de las especies latifoliadas del rodal	39
12	Datos promedios generales de las parcelas de muestreo permanente, bloque A	45
13	Datos promedios generales de las parcelas de muestreo permanente, bloque B	46
14	Datos de producción del rodal en estudio	52
15	Datos promedios de dap, área basal, altura y volumen por parcela y por bloque	53
16	Distribución de los volúmenes por clase diamétrica por parcela y por bloque	54
17	Distribución de los volúmenes por clase diamétrica en cada bloque	55
18	Porcentajes de defectos y anomalías de los árboles del rodal en estudio	59
19	Tabla local para cálculo de volumen total en metros cúbicos sin corteza	65
20	Datos generales de los árboles analizados	70
21	Incrementos periódicos en diámetro	73

En el texto No.		Página
22	Datos promedios por sección de los árboles analizados	74
23A	Descripción del perfil promedio del suelo de las parcelas de <u>mues</u> <u>treo</u> permanente en Machaquilá, Poptún, Petén	91
24A	Registros de precipitación, temperatura y humedad relativa mensual, Estación Poptún	93
25A	Datos iniciales y finales de frecuencia y área basal en las <u>parce</u> <u>las</u> de muestreo	94
26A	Requerimientos silviculturales de <u>Pinus caribaea</u> Morelet var <u>hon-</u> <u>durensis</u> Barr. y Golf.	95

LISTA DE FIGURAS

En el texto

No.		Página
1	Ubicación aproximada de la finca donde se encuentra el rodal experimental	29
2	Mapa de la región donde se encuentra el rodal en estudio	30
3	Climadiagrama correspondiente al área de Poptún	32
4	Croquis que muestra la ubicación de las parcelas	41
5	Relación entre el área/árbol y el área basal por subparcela	48
6	Relación entre el área/árbol y la altura promedio por subparcela	48
7	Relación entre el área/árbol y el volumen promedio individual por subparcela	49
8	Relación entre el área/árbol y el volumen total por subparcela	49
9	Relación entre el número de árboles y el área basal total por subparcela	51
10	Relación entre el número de árboles y el volumen total por subparcela	51
11	Distribución volumétrica y frecuencias por clase diamétrica en las parcelas de muestreo	56
12	Distribución diamétrica y curvas de distribución diamétrica del rodal	56
13	Distribución altimétrica de los árboles eliminados	58
14	Relación dap y altura total	61
15	Relación dap y volumen real individual	61
16	Relación entre la altura total y el volumen real individual	62
17	Relación entre el área basal y la altura total	62
18	Relación entre el área basal y el volumen real individual	64
19	Distribución por edad de los árboles seccionados	67
20	Relación entre edad y diámetro de los árboles seccionados	68
21	Relación entre la edad y el área basal de los árboles seccionados	68
22	Relación entre la edad y la altura de los árboles	69
23	Relación entre la edad y el volumen de los árboles	69
24	Variación del incremento en diámetro con respecto a la altura	72
25	Crecimiento e incremento en diámetro de las parcelas de muestreo	75
26	Crecimiento e incremento en área basal de las parcelas de muestreo	77
27	Crecimiento e incremento en altura en las parcelas de muestreo	78

En el texto

No.		Página
28	Crecimiento e incremento en volumen en las parcelas de muestreo en Machaquilá	80
29	Sección longitudinal del fuste	81
30A	Distribución natural de <u>Pinus caribaea</u>	90

LISTADO DE ABREVIATURAS

arb	árbol
cab.....	caballería
cc	centímetros cúbicos
^o C	grados centígrados
cm	centímetro
d	diámetro a 1.3 m
d _u	diámetros sin corteza
g	área basal individual
g _u	área basal sin corteza
gr	gramo
G	área basal total
h	altura
h _{dom}	altura dominante
i	incremento
I	incremento por unidad de superficie
km	kilómetro
m	metro
meq	miliequivalente
n	número de árboles
parc	parcela
ppm	partes por millón
r	coeficiente de correlación
t	edad
v	volumen del fuste
V	volumen por unidad de superficie o volumen total

1. INTRODUCCION

El Instituto de Investigaciones Agronómicas de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos ha venido desarrollando un proyecto de investigación sobre el crecimiento de coníferas en diferentes sitios del país. La finalidad de estos estudios es generar información sobre el crecimiento y rendimiento de estas especies maderables.

Los recursos naturales de Guatemala, especialmente el recurso forestal, están siendo objeto de una explotación irracional, la cual conlleva a una subutilización y deterioro de los mismos. Es evidente la necesidad de crear programas de investigación con la finalidad de hacer un mejor uso del recurso forestal, pero para ello es imprescindible conocer la dinámica de la población forestal para el manejo adecuado de las diversas comunidades vegetales.

La situación que se vive en el país en cuanto al uso del recurso forestal, es influenciada grandemente por el escaso conocimiento que se tiene de los bosques, lo cual no permite una buena planificación para aprovecharlos al máximo y sostenidamente.

El estudio de crecimiento y rendimiento de Pinus caribaea Morelet se desarrolló en un área donde esta especie está distribuida naturalmente, en la región de Poptún, Petén, en un Bosque Muy Húmedo Subtropical (cálido).

La investigación se enfocó en el estudio de las relaciones alométricas individuales de los árboles, del rodal e incrementos. También se pretende analizar las relaciones entre las variables del suelo y el crecimiento de la planta.

El Pinus caribaea Morelet es una especie forestal distribuida naturalmente en la vertiente atlántica de los países centroamericanos y es utilizada mayormente en aserrío, contrachapado y postes. Su amplio ámbito de adaptabilidad, resistencia a plagas y enfermedades y alta productividad fuera de su área de origen son factores para que se le haya adoptado como una de las principales especies en programas de reforestación, producción de pulpa, etc especialmente en los países sudamericanos y africanos.

Su rápido crecimiento en plantaciones, especialmente en zonas tropicales húmedas, condiciona una baja densidad de la madera y su utilización se ha orientado hacia la producción de pulpa. Otra de las características que hacen interesante esta especie es lo poco exigente en cuanto a fertilidad de los suelos ya que presenta buen crecimiento en sitios buenos y pobres,

además es bastante resistente a las quemas anuales.

Los estudios de crecimiento de esta especie en bosques naturales son es casos pero indican que P. caribaea presenta crecimientos más lentos que a ni vel de plantaciones, dado que es afectado por algunos factores adversos como quemas, competencia, suelos pobres, etc. Por lo tanto se debe de dar toda la importancia a los estudios de crecimiento y así proteger los rodales naturales de la explotación desmedida, ya sea en parcelas experimentales como en plantaciones.

En síntesis, con este trabajo se persigue generar datos básicos para pla nificar en mejor forma el manejo de ese bosque natural.

II. OBJETIVOS

- 1) Estudiar los incrementos (en diámetro, área basal, altura y volumen por árbol y por hectárea); las relaciones individuales entre variables de los árboles (diámetro, altura, edad) y variables del rodal (distanciamientos, área basal).
- 2) Estudiar las condiciones edáficas del rodal y relacionarla con la productividad del sitio.
- 3) Calcular el factor mórfoico, el factor de corteza y el porcentaje de corteza.
- 4) Establecer seis parcelas de muestreo permanente en el bosque.
- 5) Determinar la composición florística del rodal natural de P. caribaea.
- 6) Determinar la producción actual del rodal.
- 7) Construir una tabla de volumen local en el rodal experimental.

III. REVISION DE LITERATURA

1. DISTRIBUCION NATURAL DE Pinus caribaea

El rango latitudinal de la distribución de la especie abarca desde 27°25'N en Gran Bahama y Gran Abaco hasta 12°13'N, cerca de Bluefields, sobre la costa de Nicaragua (ver mapa de distribución en el anexo). La longitud varía desde 71°40' oeste en las islas Caicos a 89°20' oeste en Poptún, Petén, departamento de Guatemala (17).

Estos rangos cubren cuatro grandes islas de las Bahamas; tres pequeñas islas del grupo Caicos; parte de la provincia occidental de Pinar del Río, al noreste de la isla de los Pinos, Cuba; parte norte cordilleras y llanuras costeras de Belice; localidades aisladas en el oeste de Guatemala; a lo largo a la costa atlántica y valles elevados de Honduras y en la isla Guanaja, Honduras y por último en las costas atlántica de Nicaragua (17).

Altitudinalmente, la especie está distribuida desde el nivel de mar hasta 12 m en las Bahamas e islas Caicos; del nivel del mar a 280 m en Cuba; del nivel del mar a 1000 en Belice y a más bajas latitudes en Guatemala, Honduras y Nicaragua, ya que a partir de unos 800 metros es reemplazado por P. oocarpa (17).

La distribución no está definida por el tipo de suelo o el clima, ya que varía a lo largo de las fronteras. El pino compete con los árboles latifoliados de acuerdo a las incidencias de los huracanes, fuego o interferencias humanas. En ningún sitio está sujeto a heladas pero si hay condiciones adversas, especialmente de suelo (17).

Las tres variedades de Pinus caribaea, ahora clasificados botánicamente con el nombre específico de Pinus caribaea Morelet, se encuentra distribuida en tres regiones (17).

Al norte se entiende la especie Pinus caribaea var. bahamensis en las Bahamas y las islas Caicos. En el grupo de las Bahamas están Gran Bahama, Gran Abaco, Nueva Providencia y Andros. En el otro grupo se encuentran North Island, Pine Cay y Gran Caicos (17).

Más al sur, en Cuba y en la Isla de los Pinos, Cuba; se encuentra distribuida la especie Pinus caribaea var. caribaea, cuyos rodales no son continuos. En la Sierra del Rosario, en Pinar del Río, al occiden-

te de Cuba, existen rodales aislados rodeados de árboles de hoja ancha, Los principales rodales de la isla se encuentran entre 22°10' y 22°50' latitud norte y 83°12' a 84°10' longitud oeste. En la isla de los Pinos, P. caribaea está asociado con P. tropicalis. Los sitios son generalmente planos y rara vez exceden a 30 m de diferencia de altitud.

En las tierras continentales, los rodales más extensos de P. caribaea var. hondurensis, sinónimo de P. caribaea Morelet, está distribuida en una angosta faja en las costas del Atlántico, desde Nicaragua en el sur hasta Belice en el norte. También se extiende en el interior y a mayores elevaciones (17).

En el extremo sur de esta banda, de 60 km de ancho y a 12°13'N, los pinos son pequeños, los rodales dispersos y separados por extensas áreas de gramíneas y pantanos pequeños y bosques de latifoliadas. Al sur del Río Grande de Matagalpa, solamente unos pocos rodales esparcidos en las orillas de la isla del Pinar. Hacia el norte a lo largo de 300 km de las costas de Nicaragua, los bosques de pino son más o menos continuos hasta la frontera con Honduras. Cerca del Brus Lagoon, los rodales se extienden hasta 170 km tierra adentro, al sur del río Coco en la región de la Mosquitia (17). Observese el mapa de distribución del anexo.

A lo largo de 400 km de costas hondureñas existen rodales dispersos. En Guanaja, una isla hondureña a 50 km de la costa, los pinos crecen en las pendientes expuestas al viento y al fuego y compitiendo con las gramíneas. La mayoría de los pinos de la isla son de forma defectuosa y de crecimiento lento (17).

En las llanuras costeras de Belice, P. caribaea crece en una faja de 15 a 25 km de ancho, presentándose los mejores rodales en Colomel English Creek, 60 km al SO de la capital beliceña. El área total es de 3110 km² de bosques de sabana.

La especie también se extiende en el interior sobre algunos sitios elevados, variando en la distancia al litoral atlántico. En Mountain Pine Ridge, Belice, se encuentra a 60 y 80 km tierra adentro mientras que en el sureste de Honduras y al noroeste de Nicaragua se ubican de 200 a 300 km. Algunos rodales del interior, como en Honduras, presentan condiciones climáticas muy secas (17).

El área total de bosques de pino en Mountain Pine Ridge, Belice,

es alrededor de 647 km². En el lado sur de esas montañas, los bosques son en su mayoría de P. oocarpa y en los valles del lado norte las especies están asociadas. Sobre la cima de la cordillera los sitios son expuestos y degradados (17).

En Guatemala, P. caribaea, ocurre a lo largo del pie de monte de la Sierra de las Minas en el valle del Motagua. Los pinos no alcanzan la costa pero llegan a 50 km de distancia. Al irse incrementándose la altura en las montañas del lado oeste del valle, es reemplazado por P. oocarpa. Las dos especies se encuentran juntas a 450 y 750 m de elevación. Los bosques han sido destruidos fuertemente y los pocos rodales que quedan son dispersos y los árboles son defectuosos. En el departamento de Petén, en Poptún, existe uno de los rodales internos más conocidos de P. caribaea var. hondurensis y juntamente con los de Mountain Pine Ridge son los más importantes como proveedores de semilla. El ramal suroeste de las montañas Mayas se extienden en Guatemala, penetrando unos 30 km al NE de Poptún, a 500 msnm. Los rodales de pino están separados de Mountain Pine Ridge de Belice por 60 km de bosques de hoja ancha (17).

Los rodales interiores de Honduras tienen condiciones particulares. Están alejados de las poblaciones de la costa Atlántica y por las condiciones climáticas muy secas. En los valles altos del río Choluteca, donde la erosión ha causado estragos, existen rodales abiertos dispersos a elevaciones de 700 m y con 640 a 890 mm de precipitación. Con el P. oocarpa aparece mezclado en el pie de monte de estos valles.

En la frontera de Honduras y Nicaragua, en la Sierra de Dipilto, la cual se eleva hasta 1800 m es habitada por P. caribaea hasta 600 m al pie de monte de las montañas de Jalapa. A mayores alturas es reemplazado por P. oocarpa (17).

2. CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO

La importancia fundamental del estudio del crecimiento y rendimiento de los bosques radica en que es básico para todo proceso de planificación racional. Además, es útil en la investigación silvicultural y ecológica y manejo ambiental (1).

El crecimiento es el aumento de la masa forestal (número de árbo-

les, área basal, volumen) o de ciertas características del árbol (diámetro, área basal, altura, copa, raíces, valor) (33) mientras que rendimiento puede ser el volumen de los árboles en una cosecha o el volumen de los árboles en un grupo particular de especies o también de algún producto no maderable, tal como corteza, resina, etc. (1). El crecimiento de las es un carácter cultural de marca índole biológica y está influenciado también por las condiciones del medio, y a veces por los tratamientos selvícolas, cuando ello favorece al desarrollo en altura y diámetro (10).

Es poco práctico utilizar datos de crecimiento, de ahí que es más útil el término llamado Incremento que relaciona el crecimiento con un período determinado de tiempo (15).

2.1 Crecimiento de árboles individuales

En un árbol, la rapidez de crecimiento depende de una serie de factores no siempre fáciles de reconocer. En primer lugar, el sitio y la fertilidad del suelo, el clima y sus variaciones, luego la edad (los árboles viejos casi no crecen), los factores genéticos (especies, razas etc.) y por fin la competencia de otras plantas (mayormente árboles)(33).

Los tres elementos de crecimiento, altura, diámetro y volumen, no tienen un ritmo paralelo a lo largo de la vida del árbol, sino así como se presenta en el Cuadro 1.

CUADRO 1. Crecimiento en altura, diámetro y volumen a lo largo de la vida del árbol.

Período del árbol	Altura	Diámetro	Volumen
Muy Joven	muy rápida	lento	ninguno
Joven	rápido	rápido	rápido
Maduro	lento	regular	rápido
Viejo	ninguno	muy lento	lento

El crecimiento volumétrico del árbol, en general, alcanza su máximo en la edad mediana, lo cual puede ser muy diferente de una

especie a otra. En la ordenación forestal el conocimiento del pe ríodo de máximo crecimiento volumétrico reviste gran importancia para su debido aprovechamiento. También es importante conocer la edad en la cual los árboles de una especie llegan al estancamiento de su crecimiento (33).

2.2 Crecimiento de masas forestales

En principio, el crecimiento de una masa forestal es la suma del crecimiento de todos los árboles que componen dicha masa. En un inventario forestal se sigue este principio (33). El crecimiento total dentro de un rodal puede expresarse de muchas maneras, que dependen específicamente de la ordenación forestal; entre estas formas se cuenta el rendimiento total a lo largo de la rotación, incremento medio anual, incremento periódico anual, crecimiento en bruto y el crecimiento neto (8).

El crecimiento de los rodales se ve afectado por el estado de desarrollo de la comunidad, la edad, la calidad de sitio, las especies, la densidad de área basal, los tratamientos silvícolas (8). El desarrollo de un rodal es función de la edad, pero su carácter depende de la especie y de la calidad de sitio; a medida que aumenta la calidad se alcanza un estadio particular de desarrollo a una edad más corta.

2.3 Crecimiento e incremento en altura del árbol individual y de la masa forestal

El crecimiento en altura está relacionado con la edad, es más acentuado durante la juventud de las masas. La ubicación ejerce una influencia decisiva en el crecimiento en altura, el cual disminuye a medida que la altitud aumenta pero su máximo no tiene lugar en las altitudes más bajas, sino en altitudes medias, posiblemente por estar más abrigado a la acción de los vientos. El factor principal del crecimiento en altura es la fertilidad del suelo ya que los árboles más altos se encuentra siempre en terrenos sueltos, profundos y ricos en materia orgánica (10).

El desarrollo del rodal presenta un crecimiento sigmoideo, un bajo crecimiento en los primeros estadios y finales y un período de gran crecimiento en la fase intermedia. La culminación del in-

crecimiento en altura de la masa forestal ocurre siempre después, en comparación con la culminación del incremento en altura de los árboles individuales. Esto es debido fundamentalmente al aclareo natural (16).

El crecimiento en altura es, en general, mucho más uniforme que el crecimiento en diámetro. Sin embargo, cuando el vuelo alcanza el cierre completo de sus copas, se inicia una diferenciación entre árboles dominantes, codominantes y dominados, con una dispersión del crecimiento en altura (33).

En los países donde se da la distribución natural de Pinus caribaea, se reportan algunos datos de altura media de los rodales. En la Isla de los Pinos, Cuba, P. caribaea var. caribaea presenta alturas de 38 m. El pino natural de Islas Bahamas, P. caribaea var. bahamensis, en Caicos, Bahamas, alcanza alturas media de 21 m. En la región continental, P. caribaea var. hondurensis, sinónimo de P. caribaea Morelet presenta uno de sus mejores rodales en Poptún, Guatemala, con una altura media de 38 m. En Guanaja, Honduras hay rodales naturales de 25 m de altura (17).

En los bosques naturales de Pinus caribaea de Belice en Mountain Pine Ridge, se han realizado estimaciones de incrementos en altura en parcelas, reportándose valores de 0.8 m/año. También en Nicaragua, al sur del Río Coco se reportan incrementos en bosques naturales de 0.46 m/año para esta especie (17).

En el Cuadro 2 se representan diferentes alturas alcanzadas a diferentes edades en plantaciones en varias partes del mundo.

2.4 Crecimiento e incremento en diámetro del árbol individual y de la masa forestal.

El crecimiento en diámetro depende más del medio ambiente, que el incremento en altura. Señaladamente depende de la intensidad de la luz (10) y del espaciamiento entre los individuos al competir por la energía lumínica. Además el crecimiento en diámetro está relacionado con la precipitación total anual con la formación de los anillos de crecimiento (10).

Al igual que la altura, el crecimiento en diámetro sigue un comportamiento sigmoideo. El crecimiento diamétrico es buen indi-

CUADRO 2. Datos de altura e incrementos a diferentes edades en plantaciones de P. caribaea Morelet en diferentes sitios del mundo.

Sitio	\bar{t} (años)	\bar{h} (m)	I m/año
CATIE, Costa Rica (27)	12	24	2.00
CATIE, Costa Rica (27)	9	19	2.11
Cerro Azul, Argentina (28)	8	21	2.62
Queensland, Australia (28)	4	7	1.75
Longepon, Africa del Sur (28)	7	10.7	1.52
Misiones, Argentina (28)	4	6.5	1.62
Topes de Collantes, Cuba(29)	10	10	1.00
Blue Mountains, Jamaica (17)	15	23.8	1.59
Fiji, Island (17)	17	22.3	1.31
Queensland, Australia (17)	17	27.4	1.61
Surinam (17)	11.5	18.5	1.61
Trinidad y Tobago (17)	20	25.9	1.29
Curua, Brasil (17)	11	20.4	1.85
Kaunda, Tanzania (17)	6	9.14	1.52
Zomba, Malawí (17)	14	10.7	0.76
Mtao. Forest, Rhodesia (17)	10	19.6	1.96

cador del desarrollo del árbol. Este crecimiento se debe a la actividad del cambio, el que a su vez está influenciado por ciertos factores internos y externos. Entre los elementos climáticos el de mayor influencia es la lluvia teniendo más estrecha relación con las especies caducifolias que dejan de crecer en cierta parte del año, mientras que las perennifolias continúan creciendo a un ritmo menor en el período seco. Loján (18) en un estudio que realizó en Turrialba, Costa Rica, estableció que Pinus caribaea reduce fuertemente su crecimiento en la estación seca.

A medida que el número de árboles por hectárea aumenta, el área basal aumentará con cada árbol, sumando al total una cantidad igual de área basal hasta el momento en que los árboles empiezan a competir entre sí. Al iniciarse la competencia el área basal es mayor, pero el área basal individual disminuirá (8). Esto se debe a la reducción de la producción fotosintética, limitación de la cantidad de agua y nutrientes. En síntesis, el volumen total aumentará con el número de árboles hasta que se alcanza cierta densidad crítica, después de la cual, se da una reducción del volumen total (8).

El incremento en área basal es una medida de la capacidad que tienen los árboles o rodales para la producción de los elementos del xilema. Esta producción está parcialmente controlada por factores físicos, bióticos y químicos del ambiente. A medida que se desarrolla los rodales, el área basal se acumula y alcanza su máximo bajo condiciones de la población completa.

En bosques naturales de P. caribaea Morelet en la región de Mountain Pine Ridge, Belice, midiendo en un período de seis años se obtuvieron incrementos de 0.7 cm/año y en el sur de Río Coco, Nicaragua, se han observado diámetros de 5.2 cm a la edad de 10 años, con un incremento de 0.52 cm/año y a la edad de 35 años, incrementos de 0.74 cm/año. Estos incrementos en diámetro y los incrementos en altura presentados anteriormente, demuestran la baja tasa de crecimiento de P. caribaea bajo condiciones naturales (17).

A nivel de plantaciones, esta especie está muy difundida. En el Cuadro 3 aparecen algunos valores de incrementos a diferente

CUADRO 3. Incrementos en diámetro y área basal en plantaciones de P. caribaea a diferentes edades en distintos sitios del mundo.

Sitio	\bar{t} (años)	\bar{d} (cm)	\bar{i} (cm/año)	G (m ² /ha)	I m ² /ha/año
CATIE, Costa Rica (27)	12	26.4	2.20	36.75	3.06
CATIE, Costa Rica (27)	9	18.3	2.03	30.83	3.42
Seagoga, Fiji (17)	17	33.5	1.97	39.20	2.30
Queensland, Australia (17)	17	23.8	1.40	77.60	4.56
Surinam (17)	11.5	16.3	1.42	41.57	3.61
Trinidad y Tobago (17)	20	37.2	1.86	32.10	1.60
Curua, Brasil (17)	11	17.5	1.59	30.80	2.80
Dukuduku, Africa del Sur (28)	27	45.7	1.69	68.89	2.55
Longepon, Africa del Sur (28)	7	20.3	2.90	35.18	5.02
Miango, Nigeria (28)	9.5	16.3	1.71	35.68	3.75
Topes de Collantes, Cuba (29)	10	20.0	2.00	-----	-----

edad y área basal en distintas partes del planeta.

2.5 Crecimiento e incremento en volumen

El crecimiento en volumen es función del crecimiento en altura y el área basal. La altura que alcanzará un árbol es dependiente del suelo y el clima, excepto cuando la densidad afecta el rodal. En rodales cerrados, el desarrollo en altura permanece casi constante y el crecimiento en volumen tiene una relación lineal con el área basal. Cuando el área basal disminuye al aumentar el número de árboles por unidad de superficie, el crecimiento en volumen, y probablemente el crecimiento en altura, se reducen (8). Esto tiene una repercusión en la culminación del incremento en volumen, es decir, que no decrece tan rápidamente como el diámetro y altura (8).

En condiciones naturales, se reportan los siguientes valores de incrementos de volumen en P. caribaea Morelet (28) que aparecen en el Cuadro 4.

CUADRO 4. Incrementos en volumen en condiciones naturales en P. caribaea en distintos sitios

Sitio	I (m ³ /ha/año)
Mosquitia, Honduras	3.0
Poptún, Guatemala	2.6
Puerto Cabezas, Nicaragua	6.3

En el Cuadro 5 aparecen algunos datos de producción e incrementos en volumen de P. caribaea Morelet en distintos sitios del mundo en condiciones de plantas introducidas.

En Guatemala se han realizado algunas estimaciones de crecimiento. En la Finca Nacional San Jerónimo, el crecimiento anual periódico en un período de cinco años de las especies del género Pinus (el estudio abarcó principalmente las especies P. oocarpa, P. pseudostrobus y P. tenuifolia) fluctúa entre 3.3 m³/ha/año y

CUADRO 5. Datos de producción e incrementos en volumen en plantaciones de P. caribaea a diferentes edades en distintos sitios.

Sitio	\bar{t} (año)	V (m ³ /ha)	I (m ³ /ha/año)
Topes de Collantes, Cuba (29)	10	170	17.0
Miango, Nigeria (28)	9.5	225	23.7
Longepon, Africa del Sur (28)	7	288	41.0
Njombre, Tanzania (17)	15.7	362	23.1
Dukuduku, Africa del Sur (28)	27	118	4.3
Curua, Brasil (17)	11	195	17.7
Trinidad y Tobago (17)	20	264	13.2
Surinam (17)	11.5	380	33.0
Queensland, Australia (17)	17	624	36.7
Seagoga, Fiji (28)	17	313	21.5
Blue Mountains, Jamaica (17)	15	298	19.9
Misiones, Argentina (28)	4	92	23.0
CATIE, Costa Rica (27)	9	318	31.6
CATIE, Costa Rica (27)	12	406	34.3

7.7 m³/año con un promedio de 5.7 m³/año. Con respecto al incremento medio anual, varía desde 0.8 m³/ha/año en bosques ralos que crecen en suelos pobres a 8.1 m³/ha/año en bosques creciendo en buenos sitios y con una densidad de 25 a 30 m²/ha de área basal. El incremento medio se estimó en 5 m³/ha/año (25). Núñez (21) en Chichén, Alta Verapaz, estableció que el incremento medio anual en bosques naturales de P. maximinoi es de 9.6 m³/ha/año.

2.6 Métodos para calcular incrementos

Keplac indica que los principales métodos para calcular el incremento se clasifican en tres grupos (15).

a. Método del incremento absoluto

Se usa el incremento en diámetro (Huernal, Meyer, Hohe-nadl y otros) o en altura observado en el crecimiento total del árbol. En aspectos prácticos este método se usa para la determinación total de la masa, para determinar el precio del volumen, para calcular el incremento total de la masa, etc.

b. Método del incremento porcentual

Se basa en tablas promedio de incrementos de dos entradas (diámetro promedio-número de anillos en X centímetros) presentando los resultados en porcentaje de incremento de área basal. Las fórmulas de Schaeffer, de Scheider, de L. Schaeffer representan este método.

c. Método de paso de una categoría a otra

Se basa en la dinámica del crecimiento del árbol. Abarca el método general del tiempo de paso (basado en la medición del incremento en diámetro, por medio del cual se calcula el porcentaje de árboles que pasan de una categoría diamétrica a otra) y el método gráfico de Kenneth Davis (basado en la elaboración de gráficas, por medio de aumento en longitud de barras, en relación a un incremento promedio).

2.7 Metodología para la predicción del crecimiento y rendimiento

La metodología puede considerarse en cuatro fases principales (1).

a. Estimación del crecimiento y rendimiento

Existen métodos directos e indirectos. Los primeros se basan en la comparación entre dos inventarios sucesivos o in-

ventarios continuos. Este método puede modificarse trabajando sobre parcelas pequeñas y extender los resultados al cuartel. En síntesis, necesitan las mediciones repetidas del crecimiento de los árboles tipo o de parcelas de muestreo dentro del cuartel (33).

Los métodos indirectos consisten en calcular el crecimiento por medio de la tasa de crecimiento (% de crecimiento). Están basados en fórmulas empíricas como la de Schneider, Wahlenberg, Borggreve y la de Pressler (33).

b. Construcción de un modelo matemático

Un modelo matemático consiste en un conjunto de ecuaciones o gráficos que muestran relaciones cuantitativas entre las variables. El procedimiento puede ser estadístico (regresión lineal) o subjetivo (trazando gráficos).

c. Prueba del modelo para su validación

Un modelo ya construido debe ser probado para determinar su validez. Es preferible hacerlo con un conjunto de datos que no hayan sido utilizados para ajustar el modelo.

d. Aplicación del modelo para el uso final requerido

Puede aplicarse como una simple tabla o gráfica, como un programa para el computador que pueda producir una tabla o gráfico de crecimiento y rendimiento y como un programa de computación en forma de subrutina, contenido en un programa generado de planificación forestal.

3. VARIABLES INDIVIDUALES Y VARIABLES DEL RODAL

3.1 Relaciones Alométricas

La metodología para la predicción del crecimiento y rendimiento en una de sus cuatro fases indica la construcción de modelos matemáticos. Las relaciones alométricas constituyen un tipo de modelo para la predicción. Una relación alométrica es la que se establece entre dos mediciones en un árbol. Por ejemplo, la relación entre el diámetro de la copa y el diámetro del fuste o entre la altura total y la altura del fuste. Las relaciones alométricas pueden ser importantes en algunos modelos. Los datos necesarios, a menudo, no se obtienen en forma utilizable de un inventario fores-

tal, de modo que es deseable hacer un programa de muestreo para determinar las relaciones (1).

3.2 Variables del rodal

La densidad del rodal es un factor de importancia para la de terminación de la productividad del sitio forestal. A diferencia de la calidad de sitio, la densidad del rodal puede ser manejada para influir sobre el establecimiento de las especies durante el período de regeneración, modificar la calidad de los fustes, la tasa de crecimiento en diámetro y la producción en volumen (8).

La densidad se define como la medida cuantitativa de la población de los árboles expresada, sea relativamente, como un coe eficiente que toma números normales, área basal o volumen como uni dad, o absolutamente, en términos del número de árboles, del área basal total o del volumen por unidad de área (8).

Uno de los métodos prácticos comunes es el de espacio de cre cimiento que se refiere al área ocupada por cada árbol y se expre sa mediante la distancia que existe entre los individuos de un ro dal. Este método es muy importante para establecer espacios defi nidos de crecimiento (8).

Existen dos métodos principales para hacer el cálculo por es paciamiento: uno supone que el área ocupada por las raíces y la copa del árbol es cuadrada y el otro, que el área es un círculo. Ambos son ineficaces en cuanto a la utilización del espacio. Por lo general, las raíces y las copas de los árboles son circulares, al menos antes de que se produzca la competencia; por consiguien te, un espacio rectangular no presenta una utilización total ini cial del sitio (8).

Del mismo modo, el método del espaciamiento circular ocasiona una sobre estimación del número de árboles debido a que el círculo no se toma en cuenta el hecho de que, físicamente, deben quedar es pacios no ocupados entre los círculos adyacentes (8).

Independientemente de cuál se utilice, la distribución real de los árboles en el campo, empleando ambos métodos será en forma de cuadros. En la práctica, el espaciamiento se calcula por lo regular suponiendo que el espacio de crecimiento es cuadrado o rec tangular, esto obedece a que los cálculos resultan más simples y a

que los árboles habitualmente se desarrollan en todo el espacio disponible, en el Cuadro 6 se ejemplifica cada uno de los métodos mencionados para una hectárea y una población de 300 árboles (N).

CUADRO 6. Cálculos de la distancia del espaciamiento y área por árbol

	Cuadrado	Círculo
Distancia de espaciamiento	$d = \frac{10000}{N}$	$d = \frac{10000 \cdot 4}{N}$
	= 5.8 m	= 6.5 m
Area disponible por árbol	33.4 m ²	33.4 m ²

4. PRODUCTIVIDAD DE LOS TERRENOS FORESTALES

La productividad de los terrenos forestales se define, en gran parte, por la calidad del sitio, que se estima mediante la máxima cosecha de madera que el bosque produce en un tiempo determinado. La calidad del sitio es la suma de muchos factores ambientales: la profundidad del suelo, su textura, las características de los perfiles, su composición mineral, lo pronunciado de las pendientes, la exposición, el microclima, las especies que viven sobre él y otros mas (8).

Un cambio cualesquiera de cada uno de los factores influirá directamente en el volumen y en la clase de vegetal. Por consiguiente, la calidad de sitios se considera como la capacidad de producir bosque u otro tipo de vegetación como producto de la interacción de los factores edáficos y climáticos, este último sobre la base de la cantidad de la precipitación anual únicamente (9).

Dentro de los factores del medio asociados con el crecimiento de los árboles, el suelo es el que más se ha considerado. Las propiedades físicas han representado características más ventajosas en la definición de la calidad del sitio que las propiedades químicas (3).

La medida de la profundidad del suelo está descrito como un indicador de la calidad de sitio. Saldarriaga, citado por Estrada, indica la profundidad efectiva como uno de los principales factores en la clasifi

cación de los suelos con fines de utilización. Lodewick en una investigación sobre la relación entre ciertos factores del clima y el crecimiento en diámetro en Florida, encontró que la temperatura no tuvo efecto sobre la producción de madera y notó una clara relación entre el ancho de los anillos de crecimiento y la precipitación total anual (9).

La interacción de los factores del ambiente de un habitat particular sobre el crecimiento de los árboles, muchas veces es expresado en términos de volumen de madera producida, pero el crecimiento en altura parece ser más satisfactorio porque no es afectado por la densidad del rodal (16). También puede variar según la especie de los árboles y la longitud del lapso asignado (8).

Para Alexander y otros, citado por Campos, ninguna medida de la calidad del sitio es enteramente satisfactoria. La altura de los árboles puede ser afectado por supresión en la fase inicial, daños causados por animales, densidad, algún efecto directo sobre el sitio que pueden afectar la calidad en mayor o menor grado (3).

4.1 Métodos de evaluación de la calidad de sitio

4.1.1 Método directo

Un método preciso de estimación de la calidad de sitio es desarrollar un bosque de una especie determinada, sobre un sitio señalado y durante un período dado. Es necesario llevar registros completos del crecimiento del bosque en el lugar. Cuando se utiliza este método en un rodal se presentan algunas dificultades técnicas o inherentes a la forma de elaboración de las curvas de volumen-edad. La adopción de estas curvas supone la existencia de los mismos patrones de crecimiento en todos los sitios (8).

4.1.2 Métodos indirectos

a. Método de la vegetación

La presencia de ciertas plantas dentro de ambientes locales definidos ha llevado al conocimiento popular de que se pueden sacar conclusiones acerca del ambiente a partir de la cubierta vegetal. Este método tiene falta de consistencia, porque se pretende generalizar las virtudes de un ambiente, trasladándolo sin modificación a un área distinta. No obstante, en todo momento se ha

reconocido que la vegetación es útil en la determinación de los cambios de sitio o para delimitar el alcance de ciertas condiciones físicas (8).

b. Método ambiental

El método de la vegetación tuvo problemas especialmente en áreas desprovistas de vegetación y por la diversidad de especies, esto condujo a explorar el uso de algunos factores del ambiente. La calidad de sitio está asociada con la capacidad que tiene el suelo para aportar humedad y nutrientes a la comunidad vegetal (8).

c. Índice de sitio

Quizá la medida más práctica para expresar cuantitativamente la calidad del lugar para producir madera sea la altura que los árboles alcanzan a cierta edad, lo que comunmente se llama Índice de Sitio (31).

Existen dos parámetros importantes en esta definición, está basado en la altura de la copa dominante y la edad que es arbitrariamente escogida (13). Los países templados del norte, han fijado la edad de 50 años pero para los trópicos no hay razones para seguir con esa determinación. De acuerdo a los trabajos de Vicent, citado por Isolán, se puede efectuar estudios de sitio con plantaciones jóvenes en los países tropicales porque la tasa de crecimiento es elevadísima. En Turrialba se reporta un crecimiento de 2.5 m/año en Pinus caribaea var. hondurensis (13).

El Índice de Sitio es un indicador más sensible de la calidad de sitio que las expresiones de tablas de rendimiento de volumen de productividad debido a que la altura del árbol dominante, en una edad particular, representa la máxima altura alcanzable, en contraste, el volumen normal de la tabla de rendimiento representan solo el volumen promedio que se encontró en un período, para muchos rodales, con un índice particular de sitio (8). El uso del volumen es de poco valor práctico debido a que es de difícil medición y puede variar mucho, según

el manejo sufrido (3).

4.2 La altura dominante como indicador del sitio

La altura de un rodal uniforme a una edad dada es un buen indicador del potencial productivo de ese tipo de bosque en ese sitio en particular. Por eso, la construcción de curvas altura-edad para diferentes clases de sitio es el primer paso en la construcción de modelos de crecimiento y rendimiento. Sin embargo, la altura promedio de un rodal es usualmente sensitiva no sólo a la edad del rodal. Por consiguiente se usa normalmente la altura dominante en la definición de la altura del rodal. La altura dominante es casi insensible a diferencia de densidad de los rodales (1).

La altura dominante puede definirse de varias maneras, pero la definición ampliamente aceptada, es la altura promedia de los 100 árboles más gruesos por hectárea (1).

Bajo algunas circunstancias encontradas en bosques uniformes en los trópicos, la altura dominante deja de ser un buen indicador de la clase de sitio, especialmente en rodales jóvenes de especies de muy rápido crecimiento (1). El índice de sitio varía de acuerdo a las especies (8).

4.3 Curvas de índice de sitio

La relación altura-edad-índice de sitio es básica para la predicción del crecimiento en bosques uniformes.

Esta relación usualmente se denomina como curvas de índice de sitio para una especie en un medio ambiente dado (1). Básicamente su construcción requiere la medición de la altura de los árboles dominantes de numerosas parcelas cuya edad se conoce y la regresión entre la edad y la altura (13).

La construcción de curvas de índice puede realizarse por métodos gráficos o por análisis de regresión. Las curvas elaboradas con el método gráfico tienen la desventaja de que dependen en gran parte del juicio de la persona que hace el trabajo y el volumen de datos hace muy lento el proceso. Pero no necesariamente las curvas provenientes del análisis de regresión son más precisas, dependen en gran parte de lo adecuado que sea el modelo de crecimiento

en altura escogido y de la validez de las suposiciones estadísticas de los parámetros del modelo (1).

4.4 Propiedades del suelo y sus relaciones con el índice de sitio

La profundidad del suelo tiene una decisiva importancia en la silvicultura. En áreas con formaciones rocosas la profundidad potencial del suelo se reduce y se ve restringida la capacidad geotrófica de las raíces, aunque esto depende también de las exigencias de la especie (14).

Texturalmente el suelo está formado por dos fracciones granulométricas. La fracción gruesa (mayor de 0.05 mm de diámetro) tiene una función de sostenimiento de la planta y la fracción fina (menos de 0.05 mm) constituye la parte activa y central del suelo. Coile indica que la calidad del sitio puede ser estimada con bastante aproximación determinando la profundidad promedio del suelo y el porcentaje de limo y arcilla (14).

La materia orgánica tiene un efecto puramente físico complementando a los coloides minerales del suelo e incrementando la capacidad de retención de agua y nutrientes. Afecta positivamente la estructura, porosidad, permeabilidad y aereación del suelo. Aunque valores mayores al 15% afecta el drenaje y reduce la productividad (14).

Las estructuras macroscópicas indican la capacidad de infiltración, aereación y predisposición de la penetración de raíces, mientras que los suelos lodosos reducen el porcentaje de aire hasta un nivel crítico del necesitado para el crecimiento de la planta. Dependiendo del tamaño de los poros se ejerce diferente influencia sobre el crecimiento. Si tiene abundancia de microporos el suelo tiene mayor capacidad de retención de humedad. En contraste, los de preponderancia en macroporos tienen buena infiltración y aereación. Generalmente hablando los suelos forestales tienen una porosidad de 30-65%. Experiencias de investigadores dicen que para un crecimiento satisfactorio el contenido de aire no debe ser menor del 10% (14).

Es evidente que el sistema de clasificación de índice de sitio es bastante empírico y proporciona información sólo a la comunidad inmediata. No puede utilizarse para los terrenos que no ten

gan árboles, ni para aquellos que no tengan árboles adecuados, ni para la conversión de especies. Además, proporciona escasas explicaciones sobre las limitaciones biológicas de una localidad, es decir, el índice de sitio no puede tomarse para predecir la productividad potencial de un terreno sujeto a un manejo intensivo (26).

A pesar de todo, el índice de sitio es una guía adecuada y conveniente para el crecimiento potencial de los árboles de una especie determinada y sigue siendo de amplio uso para estos propósitos (26).

4.5 Requerimientos edáficos de *Pinus caribaea* Morelet

En Bélize, este pino crece en dos sitios muy diferentes: en la costa relativamente plana con suelos aluviales, altamente arenosos, lixiviados y muy infértiles con poca capacidad de sostener altos bosques y en las montañas hasta 1000 m de altitud, donde los suelos son graníticos, con buen drenaje, profundos y arenos-arcillosos. El rendimiento es mayor en estos suelos que en la costa, encontrándose los mejores árboles en los valles aislados y en las cuencas graníticas (28).

En Nicaragua se encuentra en las costas bajas del Atlántico, desde Bluefields hasta Río Coco en la frontera con Honduras, donde los suelos están compuestos de rodales silíceos, arenas gruesas, drenaje muy variable y muy pobre (28).

Haufe indica que en Poptún, Guatemala, se encuentra uno de los mejores bosques en lugares de topografía relativamente plana, con cerros que alcanzan 650 m de altitud y con suelos poco profundos, arcillosos, áridos y erosionados. En Honduras crece en una gran variedad de suelos, siempre que presenten buen drenaje; desde pobres en las costas hasta suelos de mayor fertilidad en las montañas (28).

4.6 Efectos del fuego sobre los sitios forestales

Los incendios naturales constituyen una influencia no provocada sobre la evolución de las comunidades vegetales en muchas partes del mundo, obligando a las plantas a retroceder a las primeras etapas de la sucesión ecológica. Las plantas que tiene una amplia variedad de adaptaciones para protegerse del fuego se hallan en los ecosistemas frecuentemente quemados. Estas condiciones abar

can: corteza resistente al fuego, semillas resistentes al calor y yemas protegidas (26).

En el llano costero del sudeste de Estados Unidos, el pino de aguja larga es más resistente al fuego que otras especies de árboles. La yema terminal de los pinos jóvenes está bien protegida por un manojo de agujas largas resistentes. Los fuegos bajos favorecen selectivamente a esta especie. En ausencia completa del fuego, los arbustos de madera dura crecen rápidamente y ahogan a los pinos de aguja larga (22).

Aunque los incrementos de temperatura del suelo son reducidos pueden ser importantes respecto a los cambios en la estructura, la química, la microbiología y la cantidad de semillas viables de malezas (4). La relación entre la quema y la impermeabilidad es más manifiesta en suelos arenosos que en los suelos de textura fina. La densidad aparente aumenta con la quema, pero debido a las bajas densidades de los suelos forestales es poco probable observar en éstos consecuencias adversas con la quema (4). El fuego generalmente afecta la tendencia del suelo a la erosión si queda expuesto el suelo mineral, ya sea por un incendio a altas temperaturas o por quemas repetidas. Las tasas de porosidad e infiltración disminuyen y la densidad volumétrica aumenta después de los incendios. Los agregados del suelo se dispersan por el efecto de las lluvias y los poros quedan obstruidos. La acción de los gusanos y demás fauna del suelo que contribuyen con la porosidad se reducen (26).

Las quemas aceleran la transformación u oxidación de los nutrientes contenidos en los materiales orgánicos de la vegetación viva, aumentando considerablemente las cantidades disponibles a una cantidad mayor de la que los árboles absorben. El exceso se pierde por volatilización y principalmente, por lixiviación (26).

La materia orgánica decrece buscamente en la capa de 0 a 5 cm del suelo. Por el efecto básico de las cenizas, el pH del suelo se incrementa y la magnitud del cambio depende de las bases de las cenizas (26). Un incremento del pH de 4.5 a 5.5 puede neutralizar totalmente los efectos tóxicos del aluminio, acelerar la descomposición de la materia orgánica y alterar los procesos microbiológicos.

En los rodales naturales de Pinus caribaea la ausencia del fuego en largos períodos permite la formación de humus en la superficie y la invasión de árboles de maderas duras. Los fuegos periódicos aumentan la frecuencia de P. caribaea en competición con otros árboles latifoliados y fomentan el crecimiento de las gramíneas convirtiendo a éstas ser la vegetación dominante e impiden la supervivencia de la regeneración del pino más allá del primer año. Los pinos jóvenes llegan a ser resistentes después de 3-6 años, dependiendo de la calidad del sitio. Es evidente que las quemadas periódicas controladas es efectivo para asegurar la supervivencia de la regeneración del pino. Esta medida puede realizarse donde las gramíneas hierbas son bajas como en los bosques de pino de América Central. En estas áreas, los suelos minerales son menos fértiles y no son suficientes para soportar gramíneas y hierbas de mayor altura (17).

Los fuegos de relámpago son frecuentes en el período de mayo-junio y en agosto en Mountain Pine Ridge, Belice. Los árboles golpeados por el rayo son muy atractivos para el escarabajo de corteza (Dendroctonus sp.) el P. caribaea joven generalmente sobrevive al fuego cuando está aislado y con más de 1 m de alto pero el incendio de copas puede matar el 75% de los árboles arriba de 5 m causando una severa interrupción del crecimiento. El fuego resulta beneficioso al disminuir la regeneración natural y eliminando las ramas mas bajas, asegurándose la limpieza del bosque (17).

5. EVALUACION DE LA FORMA DE LOS ARBOLES

La forma de los árboles es una resultante de un complejo de factores, debido por un lado a los mecanismos de la herencia, al medio ambiente (suelos, topografía, plagas, enfermedades, vientos predominantes, espesura, competencia, etc) y la interacción que se produce entre los dos (12).

Entre los intentos más importantes que se han hecho para calificar la forma de los árboles a través de expresiones numéricas, el coeficiente mórfo es el que más se ha utilizado. El coeficiente mórfo es el cociente que existe entre el volumen real del fuste y el volumen de un cilindro (12).

Reyna y Gewald (27) reportan valores de 0.46 para un dap de 28 cm y 0.49 para un dap de 18 cm en Pinus caribaea Morelet en plantaciones de 10 años.

6. ESTABLECIMIENTO DE PARCELAS DE MUESTREO

Con la finalidad de establecer el rendimiento de los rodales se implementan las parcelas de muestreo que consiste en delimitar pequeñas áreas donde se realizarán mediciones periódicas de las distintas variables del árbol y del rodal (23).

6.1 Ubicación de las parcelas

Pueden ubicarse en diferentes sitios, en cuanto a la calidad, densidad y edad. Esto conlleva a una distribución muy desigual pero es del método más eficiente de muestreo para determinar los parámetros de regresión (1).

6.2 Tamaño de las parcelas

El tamaño está determinado por el tipo de bosques, homogeneidad de la masa forestal y la distribución de las especies. En bosques mixtos tropicales un tamaño de una ha es usualmente apropiado. Puede ser conveniente dividir las parcelas de 10 por 10 m. En bosques uniformes se usan parcelas de 0.05 ha (1).

6.3 Forma de las parcelas

Las parcelas circulares son más adecuadas para tamaños inferiores a 0.1 ha y las rectangulares para mayores de 0.1 ha. En terrenos pendientes es preferible que la longitud de las parcelas sigan a lo largo de la pendiente y la anchura las curvas de nivel (1).

6.4 Número de parcelas

La precisión de un modelo ajustado a datos de parcelas de muestreo depende de la localización de las parcelas, de la duración de las mediciones posteriores, de las covarianzas de las diferentes variables predictorias y de los coeficientes de correlación. La cantidad depende del objeto de estudio (1).

6.5 Frecuencia y época de mediciones

Depende de la tasa de crecimiento de los árboles. A continuación se indican intervalos aproximados entre dos mediciones sucesivas (1). Ver Cuadro 7.

CUADRO 7. Intervalos aproximados entre dos mediciones sucesivas
en parcelas de muestreo

Tipo de bosque	Intervalo entre mediciones (años)
Plantaciones jóvenes en los trópicos	1
Plantaciones viejas u otro tipo de bosque uniforme en trópicos	2-4
Bosques mixtos tropicales	3-5
Bosques templados uniformes	3-5

IV. METODOLOGIA

1. INFORMACION GENERAL DEL RODAL

1.1 Selección del rodal

El rodal seleccionado es un bosque natural de Pinus caribaea Morelet en el municipio de Poptún, Petén, el cual no ha sido objeto de aprovechamiento en alguna forma ni se le ha brindado ningún manejo como raleo, poda o resinación. Es un bosque puro de coníferas, presentando una densidad de 512 arb/ha, de los cuales el 96.5% son de pino.

1.2 Localización

Las parcelas de muestreo permanente se localizan en el departamento de Petén, municipio de Poptún, en las proximidades de la aldea de Machaquilá. El rodal en estudio se localiza en la finca de la Cooperativa Machaquilá R. L., cuyas coordenadas son las siguientes:

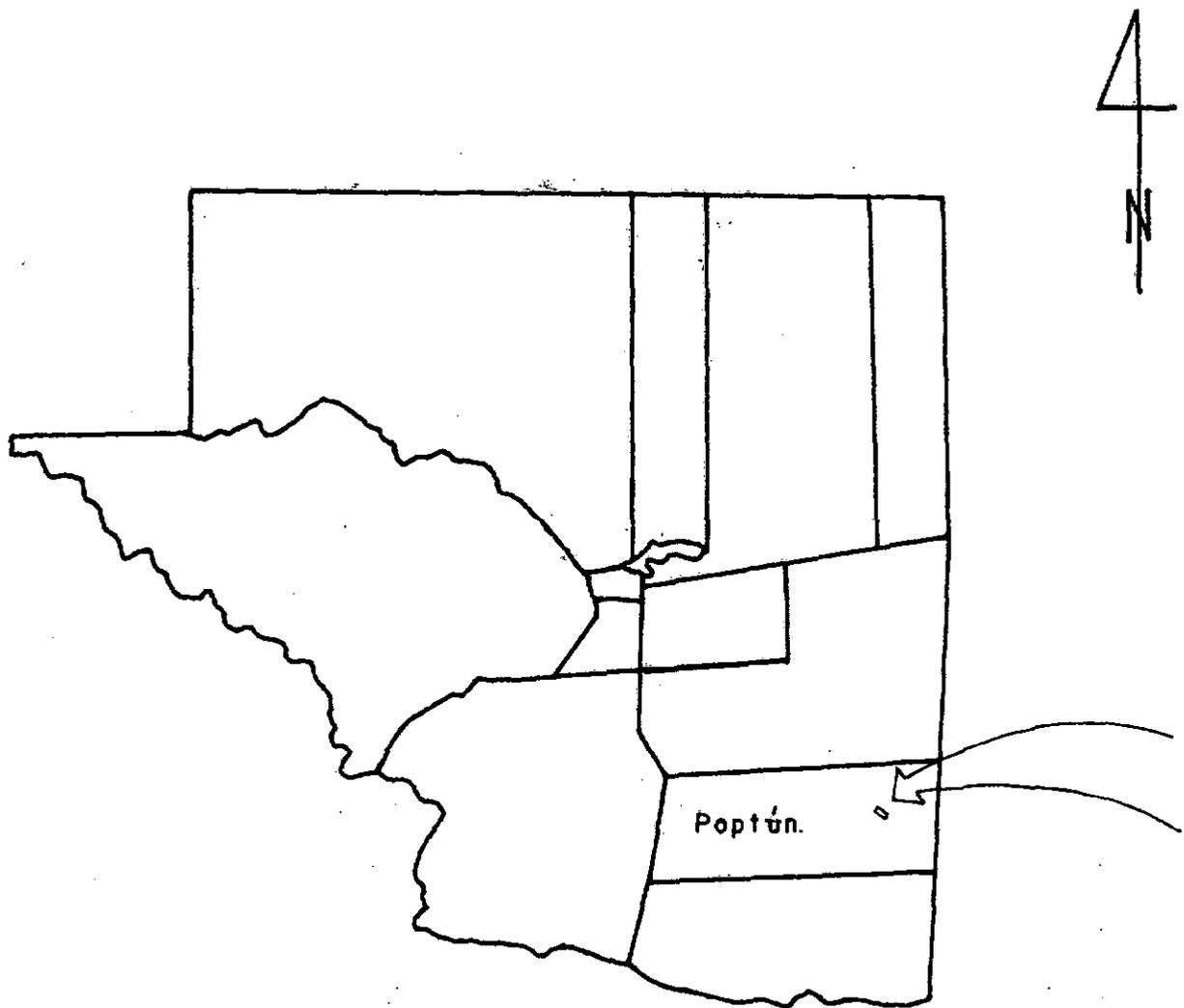
Longitud: extremo oeste 89°26'12"
 extremo este 89°19'27"
 Latitud: extremo norte 16°26'16"
 extremo sur 16°23'58"

La altitud va de 440 a 660 msnm, incrementándose de oeste a este. En la figura 1 aparece el departamento y la ubicación aproximada de la finca.

1.3 Accesibilidad

En la figura 2 se puede observar la finca de la cooperativa, la carretera que comunica a Petén con el resto de la república y el camino que conduce hacia el rodal experimental. La finca está a orillas de la carretera en el kilómetro 87 de la carretera que conduce de Ciudad Flores a Poptún, la entrada está en la aldea de Santo Domingo, municipio de Poptún.

Desde la Ciudad Capital a la entrada de la finca distan 400 km, que se distribuyen así: de la Capital hasta Modesto Méndez, 314 km, límite departamental entre Izabal y Petén los cuales son totalmente asfaltados; desde este punto hasta la cabecera municipal de Poptún distan 72 km y para la finca 13 más. La carretera dentro del departamento de Petén es balastada, la cual tiene un constante

**FIGURA No. 1**

Ubicación aproximada de la finca donde se encuentra el rodal experimental. La división interna del Departamento corresponde a los Municipios.

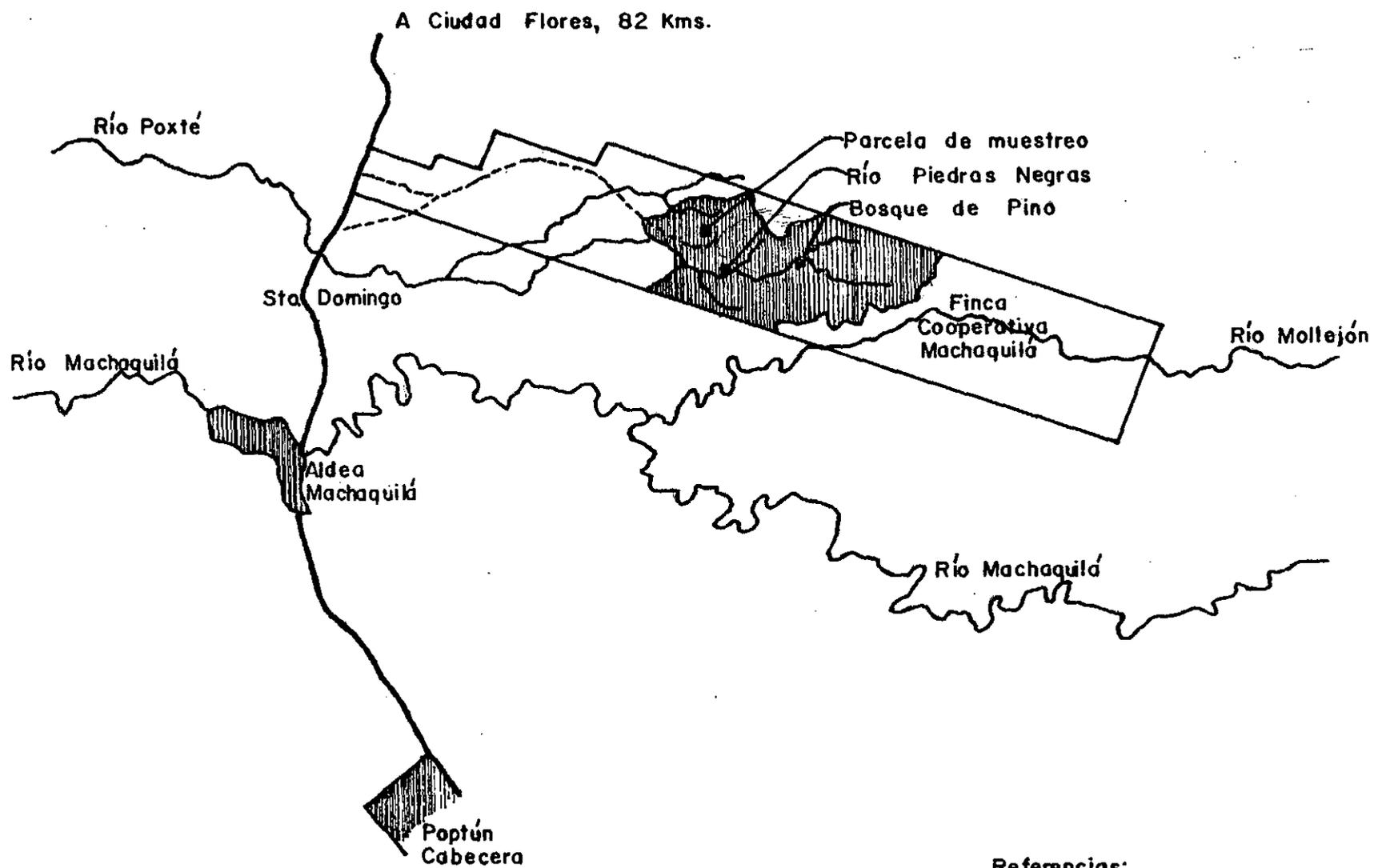


FIGURA No.2

Mapa de la región donde se encuentra el rodal en estudio.

A Guatemala, 382 Kms.

Referencias:

Escala 1:100,000

Carretera balastada 

Carretera sin revestimiento 

Río 

mantenimiento y está catalogada como carretera transitable en todo tiempo. De la entrada de la finca hasta las parcelas de muestreo permanente hay 10 km de camino de herradura, sin revestimiento que fueron habilitados hace algunos años para la extracción de madera en rollo. En la actualidad puede ingresarse únicamente a pie.

Las coordenadas de las parcelas de muestreo permanente son $16^{\circ} 25'15''$ latitud norte y $89^{\circ}22'28''$ longitud oeste.

1.4 Superficie y límites

La finca tiene una extensión de 2484 ha (55.2 cab), de las cuales 490 ha son de bosque natural de Pinus caribaea, a esta área comúnmente se le llama área de sabanas. La finca está rodeada de otras, también adjudicadas por el FYDEP. Contiguo al rodal experimental no se han realizado cultivos ni descombro. Los bosques de latifoliadas sí se han explotado para el corte selectivo de madera, únicamente.

1.5 Altitud y fisiografía

El sitio experimental está a una altura de 500 msnm. La pendiente es variada en cuanto al grado y orientación. Las pendientes van desde un 14% a un 40% en las partes más pronunciadas. La orientación de la pendiente en su mayor parte es para el noreste y en algunas partes para el norte. El sitio pertenece a las últimas estratificaciones de las montañas Mayas. El drenaje se da a través del río Piedras Negras, en la subcuenca del río Machaquilá y éste es afluente del río La Pasión, en la vertiente del Golfo de México.

1.6 Clima

Para el estudio del clima se tomaron los datos de la estación Poptún del Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), a 500 msnm y a 10 km del rodal experimental. Estos datos indican que en 10 meses del año (excluyendo marzo y abril) llueve en más de trece días, aunque en la época seca siempre se presentan algunas lluvias. En la figura 3 aparece el climadiagrama, con registros desde 1983, año en que se fundó la estación. Se observa que a partir de febrero se presenta un fuerte decremento de la precipitación y en el mes de marzo se da un período de relativa sequía. En los meses de marzo y abril, la preci

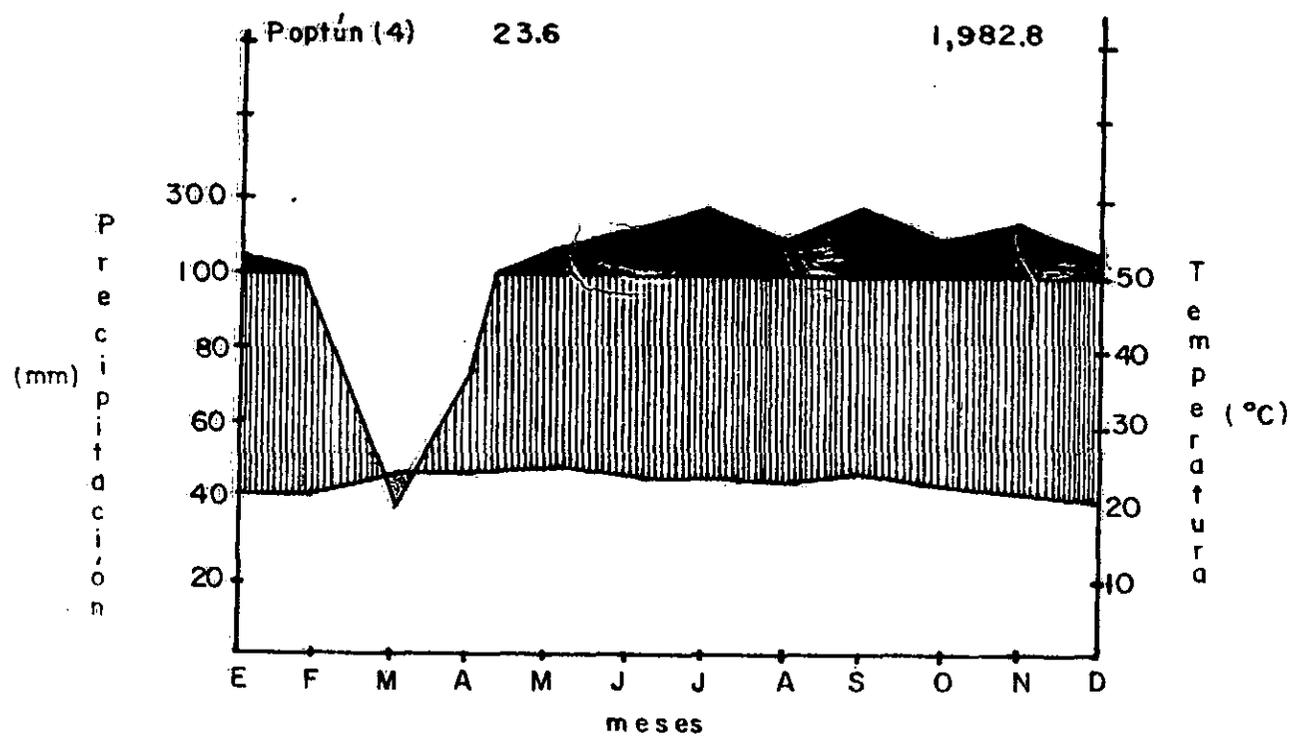


FIGURA No. 3
Climadiagrama correspondiente al área de Poptún

pitación es menor de 80 mm. A partir de mayo existe un fuerte incremento de las lluvias, manteniéndose hasta el mes de diciembre y en enero comienza el descenso del valor de la precipitación.

La precipitación media anual es de 1982.8 mm. El mes de septiembre resulta ser el más lluvioso con 277.7 mm, en tanto que marzo es el más seco con 39.2 mm. La temperatura media anual es de 22.6°C, variando desde 20.40°C en diciembre a 24.4°C en mayo. La humedad relativa va del 74% en abril a un 88% en diciembre, con una media anual de 83%. Ver cuadro 24A del anexo.

1.7 Zona de vida

Con base en el sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge, el área pertenece a un Bosque muy Húmedo Subtropical (cálido) (6).

Esta zona de vida se caracteriza por poseer una biotemperatura de 21.6°C y la evapotranspiración potencial puede estimarse en un promedio de 0.45 (6). Las especies mas representativas de esta zona de vida para esta área son: Orbignya cohune (corozo), Terminalia amazonia (canxan), Brosimum alicastrum (ramón), Cecropia peltata (guarumo), Pinus caribaea (pino del Petén) (6).

1.8 Flora

Además de la especie en estudio, existen otras dos especies representativas en el estrato arbóreo, las cuales son: Byrsonima crassifolia (nance) y Clethra macrophylla (roble), éstas presentan una frecuencia muy baja en el rodal. Dentro del área de las parcelas de muestreo se encontró tan sólo un espécimen de Quercus oleoi-des Schlecht & Cham (encino).

El estrato arbustivo está representado por Baccharis trinervis, Conostegia plumosa, Verbesina sp., Miconia sp. Psidium sp. La incidencia de las quemadas anuales ha impedido el desarrollo de este estrato, causando una irregular distribución. Debido a ello las muestras se colectaron al azar.

En lo referente al nivel herbáceo la especie dominante es Tripsacum laxum (pasto Guatemala) que cubre un alto porcentaje del piso forestal. Las otras especies importantes por su frecuencia son las siguientes, de mayor a menor: Pteridium aquilinum Kuhn

(chispa); Setaria tenacissima (navajuela); Desmodium barbatum; Juncus sp.; Canavalia mexicana; Solanum sp. Estas muestras se colectaron de igual forma que el estrato anterior.

Para el estudio de la vegetación se utilizó el Índice de valor de Importancia. El Índice de importancia es la suma aritmética de la abundancia relativa, frecuencia relativa y expansión horizontal expresados en porcentaje (2). La expansión horizontal se calculó en base a las mediciones de dap de los árboles. Abundancia y frecuencia se calculó a partir de los datos de campo.

Pinus caribaea ostenta el índice de valor de importancia más alto (232.35), muy superior a los índices de las otras especies arbóreas (Byrsonima crassifolia, 45.33; Clethra macrophylla, 22.32).

En el estrato herbáceo, para establecer el Índice de valor de importancia se establecieron parcelas de 2 x 2 m, una en cada una de las parcelas de 40 x 40 m. En el Cuadro 8 se resumen los valores de frecuencia relativa, cobertura relativa y el Índice de valor de importancia (IVI) de cada especie.

CUADRO 8. Índice de valor de importancia del estrato herbáceo en las parcelas de muestreo

Especie	Familia	Frecuencia relativa	Cobertura relativa	IVI
<u>Tripsacum laxum</u>	Poaceae	25.12	55.83	80.95
<u>Pteridium aquilinum</u>	Polypodiaceae	25.12	28.67	53.79
<u>Setaria tenacissima</u>	Poaceae	20.85	8.17	29.02
<u>Canavalia mexicana</u>	Melastomataceae	12.58	1.50	14.07
<u>Desmodium barbatum</u>	Fabaceae	8.31	4.17	12.47
<u>Miconia</u> sp.	Melastomataceae	4.02	0.83	4.85
<u>Solanum</u> sp.	Solanaceae	4.02	0.83	4.85
Totales		100.00	100.00	200.00

1.9 Suelos

Simmons, Tárano y Pinto (30), indican que estos suelos pertenecen a la serie Mopan, al confrontarlo en el mapa de reconocimiento de suelos. Esta serie pertenece a suelos de bosques latifoliados muy densos de caoba y cedro. Moderadamente profundos, aluviales y

levemente alcalinos (30). Las observaciones de campo y los resultados de laboratorio señalan que se ajustan más a la serie Suchachín, muy próxima al área de estudio. Estos suelos están caracterizados por ser suelos de sabanas y de poco desarrollo y profundidad, de relieve ondulado y mal drenaje interno. De baja fertilidad natural y con un declive dominante del 15%. Son suelos desarrollados sobre material residual de rocas calcáreas arenosas.

Los primeros 5 cm del suelo superficial de la serie Suchachín son de material franco arenoso, friable, de color café grisáceo, de estructura granular y de reacción fuertemente ácida, pH alrededor de 5.5. El horizonte subsiguiente es franco limoso, friable, de color gris plomizo claro, de reacción fuertemente ácida; pH, 5.0 (30).

Se realizaron 6 calicatas, una por parcela. Estos suelos poseen un horizonte A de una profundidad de 3 cm; un horizonte AC hasta 15 cm; el C, hasta los 50 cm y el 2C hasta más de 100 cm. Las raíces son abundantes hasta 15 cm y escasas hasta los 50 cm.

La textura es franco arcillo arenoso, franco arcilloso, arcillosos o franco arenosos. El contenido de arcilla se incrementa a medida que la profundidad es mayor. Los suelos son de consistencia suelta en seco y húmedo y ligeramente adhesivos cuando mojados. La estructura es granular y en pequeños bloques subangulares y el suelo saturado va de ligeramente plástico a plástico, variando con la profundidad.

La coloración en el horizonte superficial es café grisáceo en seco, 10YR 5/3 y 10YR 3/2 en húmedo. A mayor profundidad, a 50 cm, el color va de amarillo, 2.5Y 7/6 a café amarillento, 10YR 5/6. A unos 75 cm el color tiende a ser rojizo, 5YR 3/5. A esta profundidad también se presenta coloración blanca, 10YR 8/2 con moteaduras rojas, 10YR 4/8 (20).

La reacción es, en su mayoría, medianamente ácido, pH alrededor de 5.8. Los extremos desde fuertemente ácidos, pH de 5.4 a ligeramente ácido, pH de 6.2.

El contenido de materia orgánica es alto en los primeros 3 cm, con 4.86%. En el horizonte AC, de 3 a 15 cm el contenido es medio con un 3.2%. Haciendo un promedio ponderado e incluyendo los horizontes mas profundos (ver Cuadro 23_A del Anexo), estos suelos son po

bres en materia orgánica, con un 1.98%. Este bajo porcentaje afecta negativamente el crecimiento de los árboles (14). La densidad aparente máxima es de 1.21 gr/cc y la mínima de 0.99 gr/cc. La porosidad va de 43 a 53%, lo cual está comprendido dentro del rango que poseen los suelos forestales que es de 30 - 65% (14).

En cuanto a nutrientes disponibles, son deficientes en fósforo, calcio, potasio y magnesio. El contenido de fósforo es de 2.50 ppm en los primeros 15 cm y a mayores profundidades, 1.45 ppm. El potasio es de 72.5 ppm en los primeros 5 cm y 45.0 ppm a los 15 cm. El contenido de calcio es de 0.94 meq/100 g de suelo y a mayor profundidad es menor. El magnesio también se encuentra en cantidades deficientes, dado que de 0 a 15 cm el contenido es de 0.41 meq/100 g de suelo. En el Cuadro 23A se presenta con mayor detalle esta información.

Los resultados de laboratorio indican que la sumatoria de bases extraíbles más el aluminio extraíble del horizonte diagnóstico (15 - 50 cm) es de 3.38 meq/100 gr de suelo que equivalen a 9.97 meq/100 gr de arcilla, además el porcentaje de saturación de bases es menor del 45%. Estos suelos poseen un horizonte óxido de por lo menos 30 cm de espesor. Pertenecen al orden de los oxisoles, caracterizados por su reserva muy escasa de nutrientes y de fertilidad extremadamente baja. Concretamente, por taxonomía se suelos pertenecen al gran grupo de los Umbriorthox.

2. INFORMACION GENERAL DE LAS PARCELAS

2.1 Trazo de las parcelas

Para la ubicación de las parcelas se utilizó topografía aérea de 1962, escala 1:40000 con la finalidad de establecer áreas de mayor densidad y una topografía que permitiera el establecimiento de las parcelas. También se realizaron varios caminamientos tratando de encontrar rodales adecuados para el estudio, considerando la homogeneidad de altura y buen estado sanitario.

2.2 Prueba de homogeneidad de especie

Se realizó el conteo de todos los árboles de pino y latifoliados ubicados dentro de las parcelas, calculándose además el área basal por especie. Además de la especie en estudio se encuentran en el rodal: Clethra macrophylla y Byrsonima crassifolia. La prueba homogeneidad de especie se efectuó en función del área basal del estrato arbóreo en el Cuadro 9 están los resultados de la prueba.

Las parcelas poseen 1600 m², por consiguiente la densidad del rodal es de 512 arb/ha incluyendo todas las especies y 494 arb/ha si se incluye solamente al pino.

El área basal por hectárea para todas las especies es de 16.241 m²/ha y para el pino, 15.800 m²/ha.

CUADRO 9 . Area basal y frecuencia de los árboles por parcela, por bloque y total.

Bloque	Parcela	n pinos	G pinos (m ²)	n latifoliadas	G latifoliadas (m ²)
A	1	100	2.6650	3	0.0427
	2	79	2.5513	4	0.0909
	3	71	2.5570	4	0.0585
B	1	84	2.8704	2	0.0638
	2	61	2.7178	5	0.1596
	3	80	2.6703	2	0.0612
Total		475	16.0318	20	0.4767
Porcentaje		96%	97%	4%	3%

2.3 Prueba de altura dominante

Para esta prueba se midieron los diámetros de los árboles y a los 10 por parcela que presentaron los mayores diámetros se les estimó la altura por medio del clinómetro, obteniéndose los valores promedio por parcela que aparecen en el Cuadro 10.

La altura media dominante es de 22.81 m, la desviación estándar es de 1.41 y el coeficiente de variación es 1.69. El análisis estadístico indica que la altura dominante de ese sitio es homogénea, dado que no existen diferencias significativas entre bloques y entre parcelas al 5% utilizando la prueba de "F".

De estas pruebas se deduce que el bosque ofrece las características favorables para el estudio. Tan solo el 3% del área basal corresponde a otras especies. Este bajo porcentaje se debe a las condiciones imperantes, considerando que es un bosque natural.

Existen marcadas diferencias entre estos suelos y los contiguos. Los suelos Mopán presentan alta fertilidad natural, buena profundidad y declives de 0 - 5%. El contenido de materia orgáni-

CUADRO 10 . Datos promedio de altura dominante por parcela.

Bloque	Parcela	h_{dom} (m)
A	1	20.32
	2	23.93
	3	22.77
B	1	24.39
	2	23.93
	3	22.65

ca de los suelos aludidos es de 7% mientras que en el área de estudio es de 1.98%. Otra diferencia es el origen de estos suelos; los Mopán son aluviales y en el rodal experimental son residuales de roca caliza. Estas diferencias han causado una barrera en la distribución de las especies latifoliadas, permitiendo únicamente la difusión de Pinus caribaea que tiene la característica de crecer en suelos fértiles y muy pobres (28).

Las especies arbóreas que viven en asociación con Pinus caribaea son Clethra macrophylla y Byrsonima crassifolia, cuya frecuencia y área basal por parcela y por hectárea se presentan en el Cuadro 11 .

CUADRO 11 . Datos de frecuencia y área basal de las especies latifoliadas del rodal.

Especie	n/parc	G/parc	n/ha	G/ha
<u>Clethra macrophylla</u>	1	0.0327	6	0.2043
<u>Byrsonima crassifolia</u>	3	0.0534	18	0.3337

Es importante hacer notar que son escasas las especies arbóreas de menor altura en el rodal. Esto es causado por las quemadas anuales

que eliminan a las especies en períodos iniciales de crecimiento. Esta situación también se presenta en la especie en estudio, dado que no se encontró ningún árbol de altura pequeña, los menores diámetros oscilan entre 8 y 10 cm, aunque si se observa plántulas recién germinadas.

2.4 Características de las parcelas

Tamaño: cada parcela posee un tamaño de 1600 m^2 (0.16 ha)

Forma: de forma cuadrada, de 40 x 40 m

Número: se establecieron 6 parcelas distribuidas en dos bloques.

Delimitación: se delimitaron con mojones de concreto de 30 cm de largo.

Diseño: el diseño experimental fue de bloques al azar. En cada bloque se realizaron 3 intensidades de raleo (0%, 30% y 50%) en función del área basal.

Ubicación: las parcelas están ubicadas en dos bloques, cuya separación entre bloques y parcelas es de 10 m. En la figura 4 se muestra la disposición de las parcelas, las cuales están perpendiculares a la pendiente.

2.5 Mapeo de los árboles

Se realizó la identificación de todos los árboles, marcándolos y numerándolos provisionalmente con cinta de nylon. Para el mapeo de los árboles se subdividieron las parcelas en 4 subparcelas de 20 m por lado y se midieron las coordenadas de cada árbol con respecto a una esquina de referencia. Todos los árboles remanentes quedaron identificados con una plaquita de aluminio clavada de 2 m de altura en el fuste. En cada plaquita se anotó el número del árbol, la parcela y el bloque correspondiente. Los árboles latifoliados fueron eliminados en las parcelas de muestreo permanente.

El área/árbol se calculó para cada subparcela dividiendo el área entre el número de árboles.

2.6 Cálculo del área basal

Se realizó la medición del diámetro a la altura del pecho (1.3 m) con forcípula. Por cada árbol se hicieron 2 mediciones perpendiculares, tomándose el diámetro promedio. Con este valor se calculó

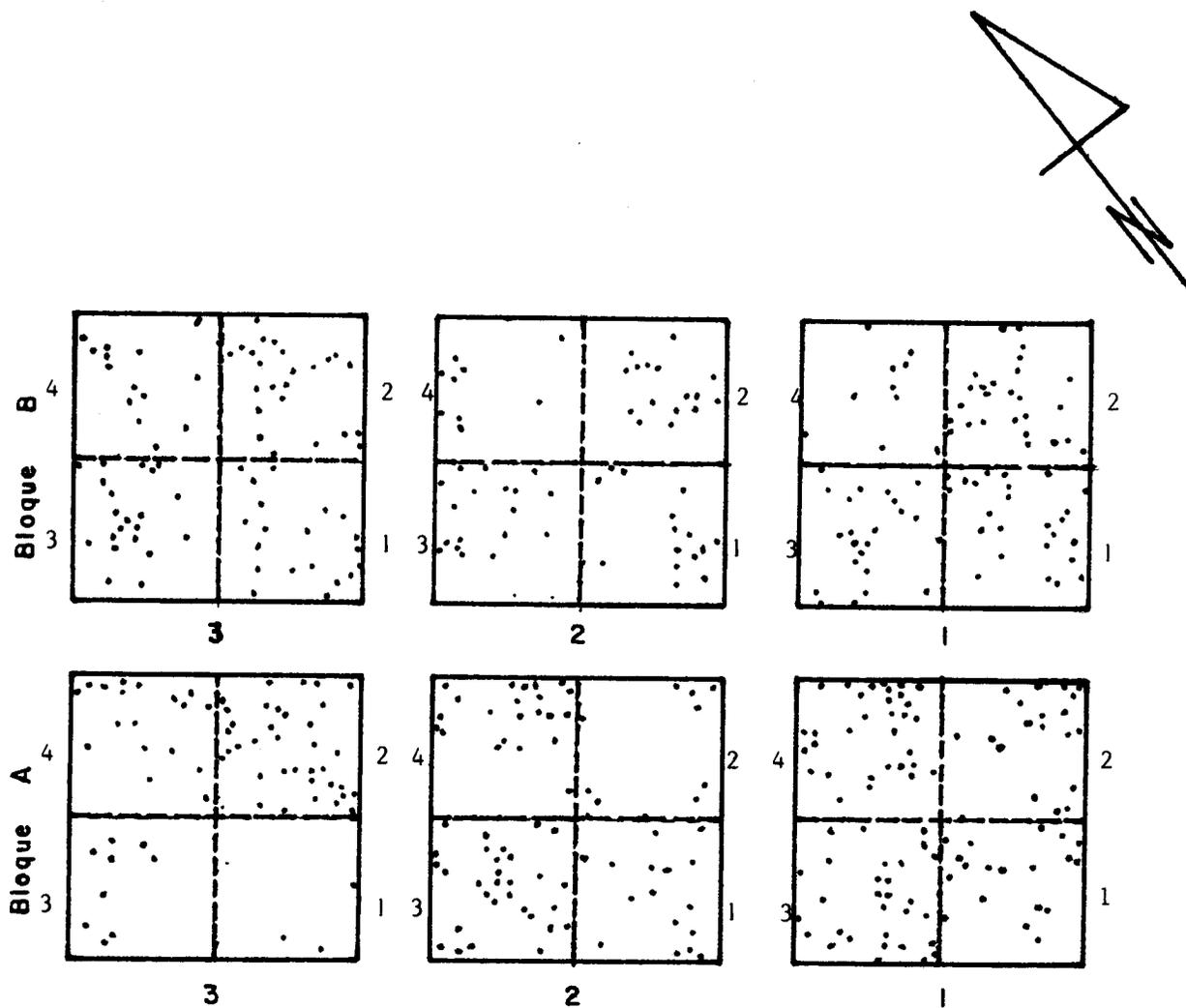


FIGURA No. 4

Escala 1:1000

Croquis que muestra la forma de como están ubicadas las parcelas. Los puntos representan los árboles estudiados. La división con líneas punteadas corresponden a las subparcelas.

el área basal por árbol, por parcela, por bloque y total.

2.7 El aclareo

Se efectuaron 3 intensidades de aclareo en función del área basal por parcela. Las intensidades son: 0%, 30% y 50%. Los árboles a eliminar se distribuyeron en las distintas clases diamétricas y en el campo si era conveniente se cambiaba por otro que presentara mal estado sanitario o bien, para que los árboles remanentes estuvieran mejor distribuidos en el espacio. La operación se realizó con motosierra y el corte a 0.3 m de altura.

2.8 Altura total

A todos los árboles tumbados se les determinó la altura total con cinta métrica. Para estimar la altura promedio se realizó el análisis de regresión entre el diámetro a la altura del pecho y la altura total, utilizándose para ello 130 datos de diámetro y altura total.

2.9 Análisis troncal

De los árboles eliminados, a 26 se les realizó análisis de fuste. Los árboles fueron seccionados a intervalos de un metro desde 0.3 m hasta 10.3 m. De esta lectura en adelante el largo de las secciones fue de 2 m hasta 20.3 m y luego a intervalos de un metro hasta la altura total. En cada sección se realizó el conteo de anillos a lo largo de 2 diámetros perpendiculares; se midieron el diámetro con corteza y sin corteza. En las secciones a 0.3 y 10.3 m se midió el diámetro cada cinco años para calcular el incremento periódico para esas alturas.

También se obtuvo información para calcular el tiempo de paso de una clase diamétrica a otra contando el número de anillos a 2.5 cm del diámetro sin corteza, medidos del exterior al interior.

El incremento en diámetro se estimó como el promedio de incrementos de cada sección a distintas alturas. El incremento en diámetro a la altura del pecho se obtuvo del promedio de las 26 secciones a dicha altura. El incremento en área basal se realizó en la misma forma que el incremento en diámetro.

Para el estudio de incrementos en altura y volumen se dividieron estos valores entre la edad total del árbol.

El volumen real se calculó en los 26 árboles analizados. El volumen del tocón, por medio de la fórmula del cilindro; para las demás secciones por la fórmula de Huber y la fórmula del cono para la última sección. El volumen total es la sumatoria del volumen de cada sección.

El factor de forma para ese rodal se obtuvo del promedio de cada uno de los 26 árboles. El factor de forma se obtiene dividiendo el volumen real entre el volumen del cilindro.

El factor de corteza se estableció mediante la siguiente fórmula:

$$K = \frac{DAP_{cc} \times DAP_{sc}}{(DAP)^2}$$

V. PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS

1. RELACION ENTRE VARIABLES

Para el estudio de las relaciones entre variables, se subdividieron las parcelas de muestreo en cuatro subparcelas de 0 m por lado, 00 m². El área de cada subparcela se dividió entre el correspondiente número de árboles para obtener el área promedio ocupada por cada árbol. Las relaciones establecidas fueron las siguientes, considerándose solamente a P. caribaea:

- a) Area/árbol -- área basal total de la especie en la subparcela
- b) Area/árbol -- altura promedio de los árboles en la subparcela
- c) Area/árbol -- volumen promedio individual
- d) Area/árbol -- volumen total de la especie en la subparcela

Estas relaciones se establecieron en base a los datos promedios generales del bosque que aparecen en el Cuadro 12 y 13. Los análisis solo incluyen la especie en estudio. Los modelos considerados fueron los siguientes:

- i) Modelo lineal: $Y = b_0 + b_1 * X$
- ii) Modelo logarítmico: $Y = b_0 * X^{b_1}$
- iii) Modelo geométrico: $Y = b_0 * b_1^X$
- iv) Modelo cuadrático: $Y = b_0 + b_1 * X + b_2 * X^2$
- v) Modelo radical: $Y = b_0 + b_1 * X + b_2 * X^{0.5}$

1.1 Relacion área ocupada por árbol - área basal total por subparcela

En la figura 5 se observa una relación inversa entre el área disponible por árbol y el área basal de cada subparcela. A menor área/árbol el bosque presenta mayor área basal total y a medida que el área/árbol aumenta el área basal total disminuye. A partir de 40 m²/árbol, el aumento del área disponible/árbol ya no influye en el área basal por unidad de superficie. El modelo mas ajustado es el cuadrático con un coeficiente de correlación de 0.7387.

Con el aumento del número de árboles se incrementa el área basal hasta una densidad de 40 árboles/subparcela, equivalente a 250 árboles/ha. A mayor densidad el área basal ya no presenta mayor aumento. La relación número de árboles y área basal se observa en la figura 9, aunque el coeficiente de correlación del modelo cuadrático, 0.6903, es bajo, se nota la tendencia de la relación.

CUADRO 12. Datos promedios generales de las parcelas de muestreo permanente

Bloque .48 ha	Parcela 0.16 ha	Subparcela 0.04 ha	n	Area/arb (m ²)	Dist. prom. (m)	\bar{g}_2 (m ²)	\bar{h} (m)	\bar{d} (cm)	\bar{y}_3 (m ³)
A	1	1	19	21.05	4.59	0.0358	17.90	20.6	0.3666
		2	20	20.00	4.47	0.0325	17.62	19.0	0.3472
		3	29	13.79	3.71	0.0273	17.73	18.0	0.2808
		4	32	12.50	3.54	0.0182	16.42	14.8	0.1908
	2	1	16	25.00	5.00	0.0277	18.07	17.7	0.2944
		2	11	36.36	6.03	6.0381	19.43	21.2	0.4203
		3	30	13.33	3.65	0.0278	18.30	18.4	0.2938
		4	22	18.18	4.26	0.0388	19.12	20.9	0.4124
	3	1	6	66.67	8.16	0.1054	23.69	35.2	1.2276
		2	38	10.53	3.24	0.0273	18.76	17.6	0.2875
		3	9	44.44	6.66	0.0326	16.84	19.2	0.3445
		4	18	22.22	4.71	0.0340	18.80	20.1	0.3274
\bar{X} Subparcela			21	25.34	4.34	0.0371	18.54	20.2	0.3994

CUADRO 13. Datos promedios generales de las parcelas de muestreo permanente.

Bloque	Parcela	Subparcela	n	Area/arb (m ²)	Dist. prom. (m)	\bar{g} (m ²)	\bar{h} (m)	\bar{d} (cm)	\bar{v} (m)
B	1	1	25	16.00	4.00	0.0261	18.54	17.2	0.2694
		2	26	15.38	3.92	0.0373	20.07	21.1	0.3846
		3	23	17.39	4.17	0.0309	21.11	18.9	0.3216
		4	10	40.00	6.32	0.0535	22.57	25.4	0.5668
	2	1	16	25.00	5.00	0.0449	19.32	21.6	0.5024
		2	16	25.00	5.00	0.0419	20.73	22.9	0.4375
		3	20	20.00	4.47	0.0393	19.22	21.3	0.4165
		4	9	44.44	6.66	0.0600	19.96	23.4	0.7139
	3	1	20	20.00	4.47	0.0390	20.62	20.8	0.4172
		2	24	16.66	4.08	0.0251	17.49	16.8	0.2668
		3	21	19.04	4.31	0.0416	20.04	19.6	0.4243
		4	15	26.66	5.16	0.0248	18.90	17.8	0.2806
\bar{X} /subparcela			19	23.80	4.79	0.0435	19.88	20.6	0.4168

1.2 Relación área ocupada por árbol - altura promedio

La asociatividad entre la altura promedio y el área por árbol es bajo, 0.5562. La variabilidad en el área ocupada por un árbol no afecta la altura de los árboles, es decir, la altura no depende de la densidad, más bien que de la calidad del sitio. La curva cuadrática de la figura 6 muestra una ligera tendencia de que a mayor distancia o mayor área la altura es mayor, dado que aumenta la disponibilidad de nutrientes, espacio y luz.

1.3 Relación área ocupada por árbol - volumen promedio individual

El coeficiente de correlación del modelo cuadrático, 0.8979, demuestra la asociatividad entre el área ocupada por el árbol y el volumen promedio individual. El volumen de los árboles se incrementa a mayor área por árbol promedio, alcanzándose valores de 1.2276 m³/árbol cuando el área disponible para cada árbol es de 65 m², tal como lo muestra la figura 7.

La densidad afecta significativamente el volumen individual. Los árboles de la subparcela 3, bloque 1, parcela 3 presentan una altura promedio de 23.69 m y un diámetro promedio de 35.2 cm con una densidad de 150 árboles/ha. En la figura 7 se observa la nube de dispersión y la curva, producto de la ecuación de regresión.

1.4 Relación entre área ocupada por árbol y el volumen total por subparcela

La curva de la figura 8 es bastante similar a la de la relación con el área basal. También es similar el grado de asociatividad entre ambas variables. El modelo más ajustado es el cuadrático con un coeficiente de correlación de 0.6954. A menor área disponible para cada árbol se da el mayor volumen total por subparcela, de igual forma que la relación aludida. En la curva se observa que el volumen total va disminuyendo con el aumento del área disponible para cada árbol hasta los 40 m².

Comparando con la relación área/árbol y el volumen promedio individual se demuestra que el volumen de cada árbol es mayor a mayor área disponible pero la masa boscosa en conjunto disminuye. En síntesis, a mayor densidad mayor volumen total pero menos volumen por árbol individual.

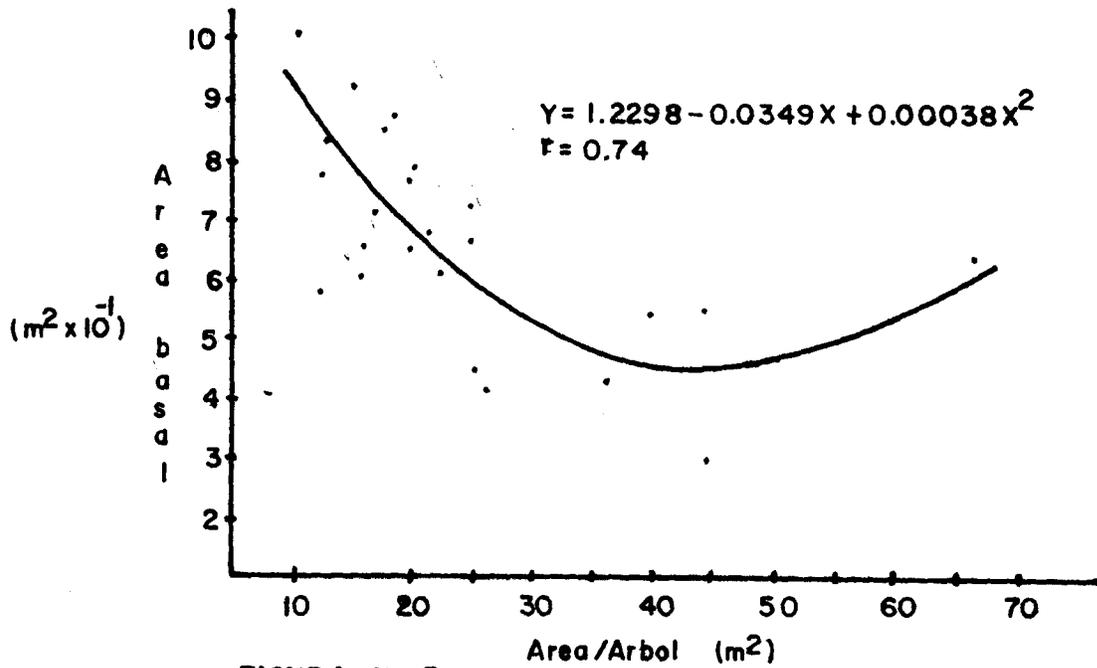


FIGURA No. 5

Relación entre área ocupada por árbol y área basal total por subparcela

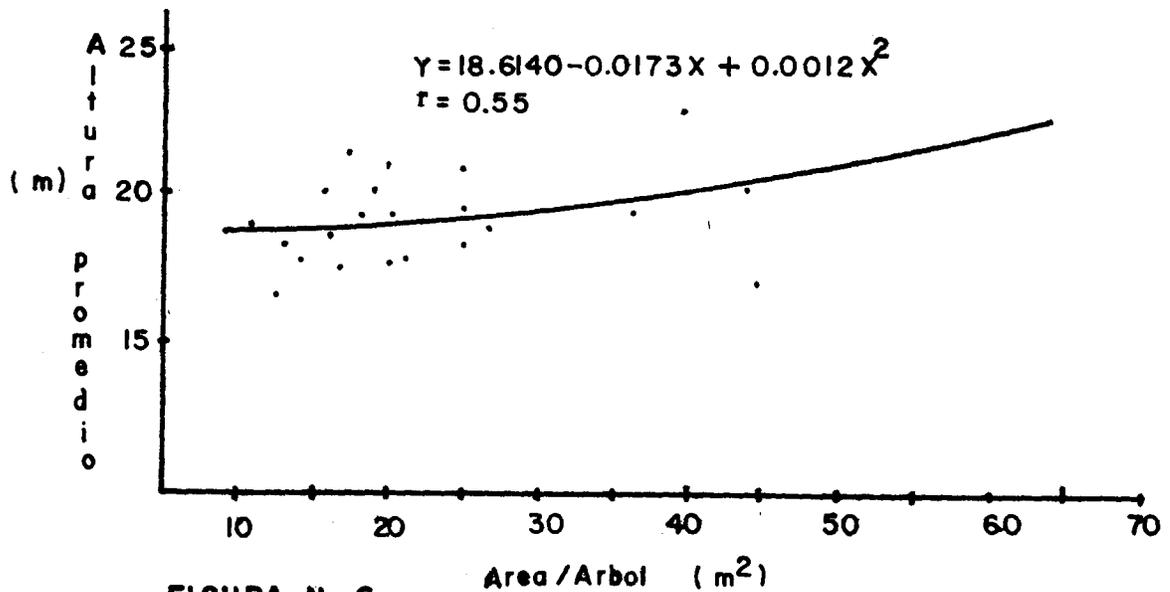


FIGURA No. 6

Relación entre el área ocupada por el árbol y altura promedio por subparcela.

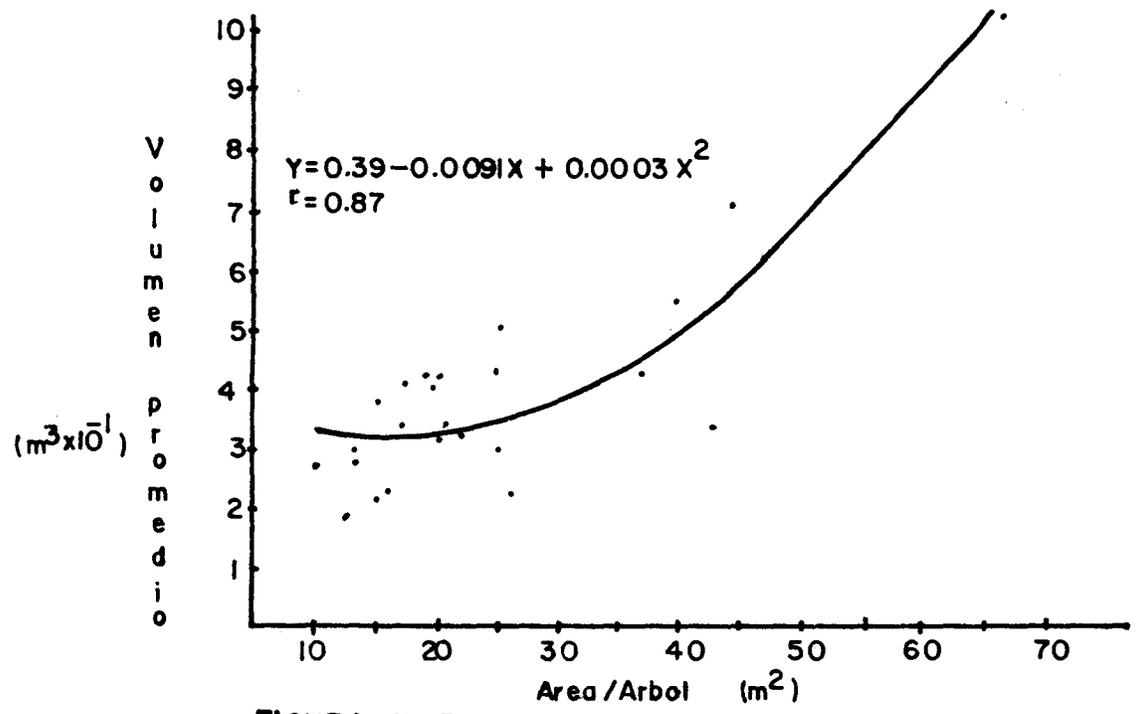


FIGURA No. 7

Relación entre el área por árbol y el volúmen promedio individual por subparcela.

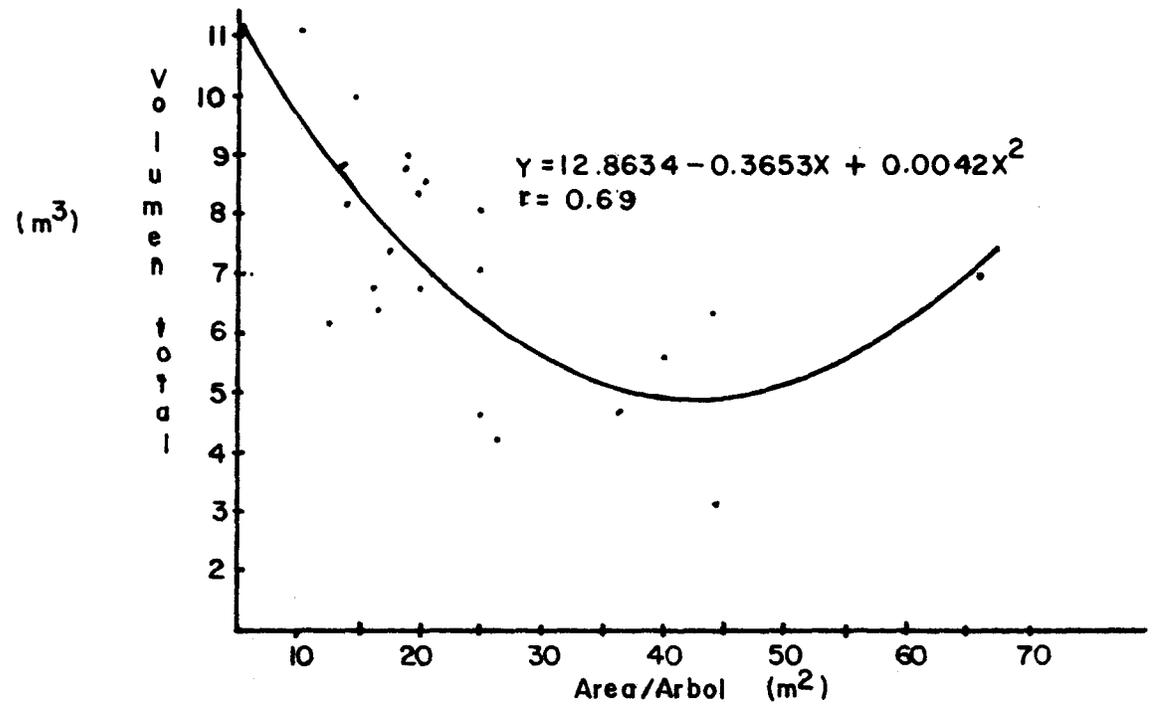


FIGURA No. 8

Relación entre el área por árbol y el volumen total por subparcela

Relacionando el número de árboles por subparcela con el volumen total, se observa en la figura 10 que conforme aumenta el número de árboles aumenta el volumen total. La tendencia de la curva indica que a estos valores de densidad no se alcanza el máximo potencial de volumen por unidad de superficie. El modelo más ajustado es el cuadrático con un coeficiente de correlación de 0.72.

2. CARACTERISTICAS PRODUCTIVAS DEL BOSQUE

En el Cuadro 14 aparecen los datos productivos del bosque como densidad promedio, área basal promedio y volumen promedio.

En el cuadro 15 se presentan los datos de producción por parcela y por bloque, basados en las relaciones individuales. Los datos de altura se estimaron mediante regresión, relacionando diámetro por árbol y la altura total de los árboles eliminados. La ecuación aparece en la figura 14. Los valores de volumen se calcularon también con regresión relacionando el diámetro a 1.3 m con el volumen real de los 26 árboles eliminados y la ecuación aparece en la figura 15.

Los árboles de las parcelas de muestreo se distribuyeron en clases diamétricas en un rango de 5 cm. La distribución por clase diamétrica y volumétrica aparecen en los cuadros 16 y 17.

Un bajo porcentaje, el 6%, poseen un diámetro mayor de 30 cm, el cual aporta un 24% del volumen total. Del porcentaje restante, la tercera parte presenta un diámetro de 10 a 15 cm. Realmente es bajo el número de árboles con dimensiones de diámetro aconsejable con fines de aserrío.

La clase diamétrica de mayor concentración de volumen es la de 20 a 25 cm con un 22% del volumen total a pesar de no ser la más numerosa (20%). Esto se debe a que poseen mayor área basal acumulada, con 3.7 m^2 , mientras que la clase de mayor número de individuos posee 1.65567 m^2 .

La figura 11 representa la distribución volumétrica en donde se observa que el punto más alto de las barras no pertenece a la clase diamétrica intermedia, es decir, el mayor volumen lo conforman las clases diamétricas menores, observándose el bajo volumen que representan las clases diamétricas superiores.

La curva de la figura 11 demuestra que la clase de mayor frecuencia no representa el mayor volumen del rodal. Esta curva no tiene una distribución normal, los árboles de la clase diamétrica intermedia no son los

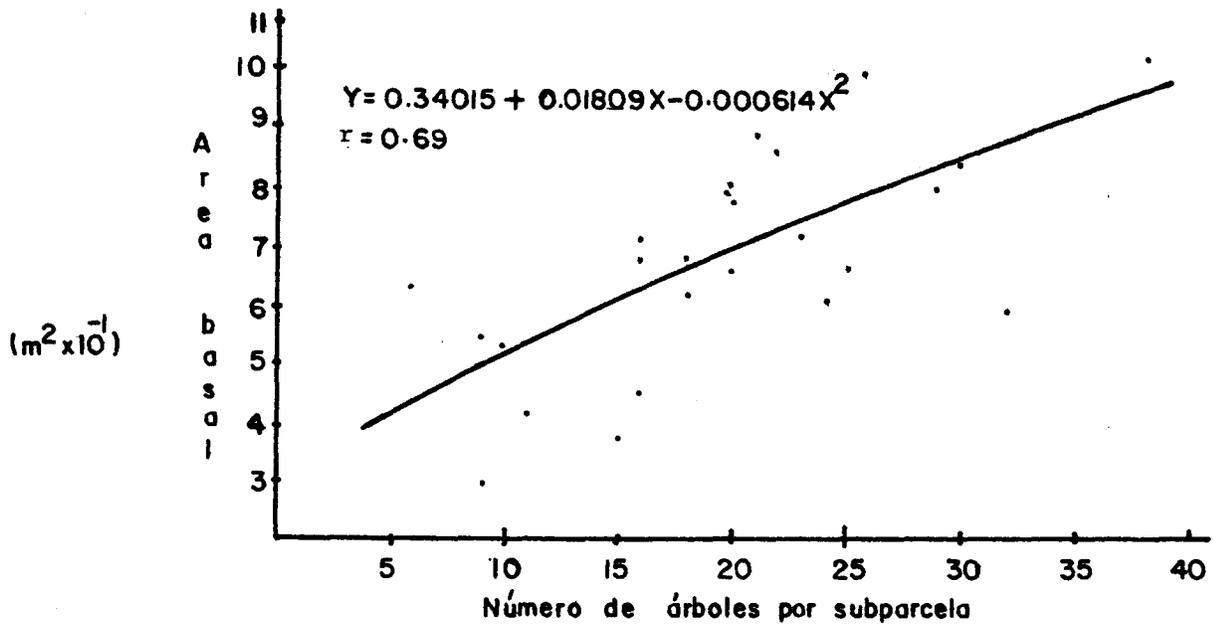


FIGURA No.9

Relación entre número de árboles y el área basal total por subparcela

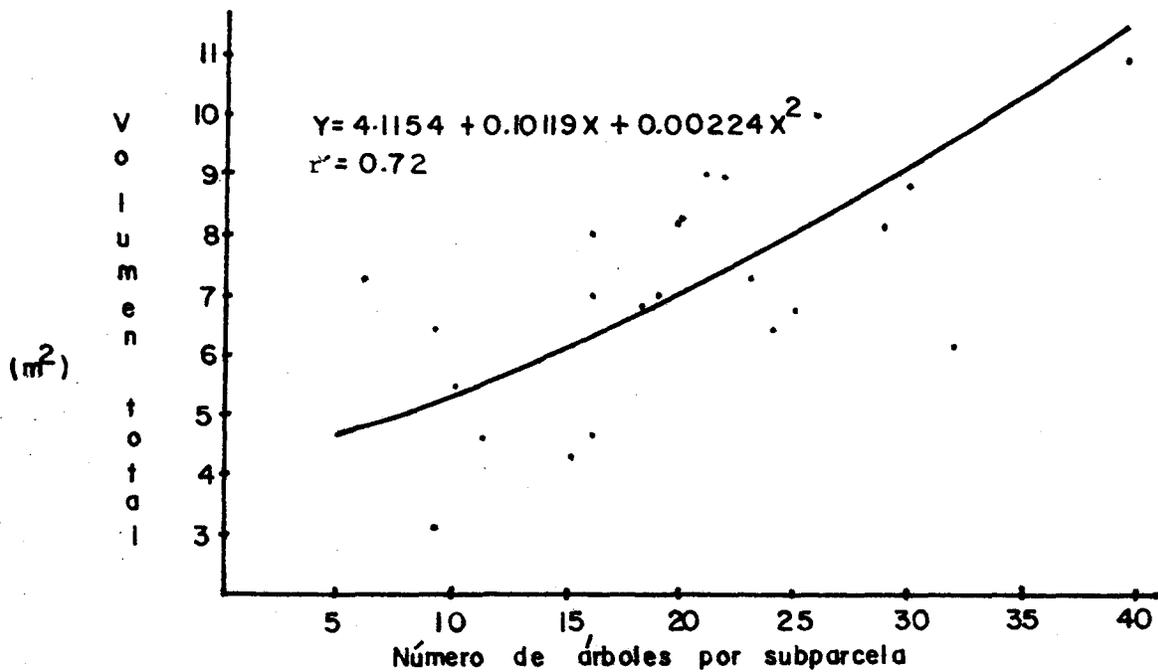


FIGURA No.10

Relación entre el número de árboles y el volumen total por subparcela

CUADRO 14 . Datos promedios de producción del rodal en estudio.

Variable	Pino	Latifoliadas	Total
Densidad promedio	79 árboles/parcela 494 árboles/ha	3 árboles/parcela 19 árboles/ha	82 árboles/parcela 513 árboles/ha
\bar{d}	19.53 cm	17.30 cm	
\bar{g}	0.0304 m ² /árbol	0.0235 m ² /árbol	
G	2.5280 m ² /parcela 15.800 m ² /ha	0.0705 m ² /parcela 0.4406 m ² /ha	2.5985 m ² /parc 16.241 m ² /ha
\bar{h}	18.97 m		
h_{dom}	22.81 m		
\bar{v}	0.4082 m ³ /árbol		
V	28.1820 m ³ /parcela 176.1377 m ³ /ha		

más abundantes, tal como debiera ser en un bosque normal. Esto es consecuencia de que el rodal es un bosque natural sin manejo, además se ve afectado por las eventuales quemas que restringen el desarrollo natural de los individuos.

Con los datos del Cuadro 17 donde aparece la distribución diamétrica del rodal se construyó el diagrama de barras de la figura 12. La estructura diamétrica es típica de un bosque tropical irregular (bosque irregular se define como un conjunto de árboles de diferentes edades y desarrollo) (33), ya que el aspecto de la curva de tendencia de la distribución

CUADRO 15. Datos promedios de dap, área basal, altura total y volumen por parcela y por bloque.

Bloque	Parcela	n	\bar{d} (cm)	\bar{g} (m ²)	\bar{h} (m)	\bar{v} (m ³)	G (m ²)	V (m ³)
A	1	100	17.5	0.0266	18.09	0.2784	2.6650	27.8423
	2	79	20.2	0.0323	19.22	0.3446	2.5513	27.2211
	3	71	19.9	0.0360	19.12	0.3843	2.5570	27.2850
	Subtotales	250	57.6	0.0949	56.43	1.0073	7.7733	82.3484
	Media	83	19.2	0.0316	18.81	0.3357	2.5911	27.4494
B	1	84	20.0	0.0342	19.15	0.3548	2.8704	29.8016
	2	61	21.9	0.0445	19.85	0.4884	2.7178	29.7949
	3	80	18.7	0.0334	19.65	0.3393	2.6703	27.1475
	Subtotales	225	60.6	0.1121	58.65	1.1825	8.2585	86.7438
	Media	75	20.2	0.0373	19.55	0.3942	2.7528	28.9146
Totales		475	118.2	0.2070	115.08	2.1898	16.0318	169.0922
Media		79	19.7	0.0345	19.18	0.3649	2.6719	28.1820

CUADRO 16. Distribución de los volúmenes por clase diamétrica por parcela y por bloque

Clase	\bar{h} (m)	\bar{b}_3 (m ³)	Bloque A						Bloque B											
			Parcelas			Parcelas			Parcelas			Parcelas								
			n	l	V	n	2	V	n	3	V	n	l	V	n	2	V	n	3	V
10-15	15.20	0.1327	39		5.1753	24		3.1848	19		2.5213	21		2.6540	13		1.7251	38		5.0426
15-20	18.12	0.2384	28		6.6752	24		5.7216	25		5.9600	26		6.1984	21		5.0064	14		3.3376
20-25	20.03	0.3929	24		9.4296	18		7.0722	13		5.1077	20		7.8580	05		1.9645	14		5.5006
25-30	21.38	0.6074	07		4.2518	09		5.4666	08		4.8592	12		7.2888	17		10.3258	07		4.2518
30-35	22.28	0.9074	01		0.9074	03		2.7222	01		0.9074	02		1.8148	01		0.9074	04		3.6296
35-40	22.59	1.3011	01		1.3011	01		1.3011	01		1.3011	03		3.9033	01		1.3011	01		1.3011
40-45	22.26	1.7642	00		0.0000	00		0.0000	03		5.2926	00		0.0000	00		0.0000	01		1.7642
45-50	21.72	2.0947	00		0.0000	00		0.0000	01		2.0947	00		0.0000	02		4.1894	01		2.0947
+ 50	22.50	3.8834	00		0.0000	00		0.0000	00		0.0000	00		0.0000	01		3.8834	00		0.0000
Suma de Frecuencias			100			79			71			84			61			80		
Suma de Volúmenes					27.7404			25.4685			28.0440			29.7173			29.3081			26.9222
Media de Volúmenes					4.6234			4.2447			3.5055			4.9529			3.6635			3.3653

CUADRO 17. Distribución de los volúmenes por clase diamétrica en cada bloque.

Clase	Bloque A		Bloque B		Total		Porcentajes	
	n	V (m ³)	n	V (m ³)	n	V (m ³)	n	V (m ³)
10-15	82	10.8414	72	9.5544	154	20.4358	32.42	12.21
15-20	77	18.3568	61	14.5424	138	32.8992	29.05	19.66
20-25	55	21.6095	39	15.3231	94	36.9326	19.79	22.07
25-30	24	14.5776	36	21.8664	60	36.4440	12.63	21.78
30-35	05	4.5370	07	6.3518	12	10.8888	2.53	6.51
35-40	03	3.9033	05	6.5055	08	10.4088	1.68	6.22
40-45	03	5.2926	01	1.7642	04	7.0568	0.84	4.22
45-50	01	2.0947	03	6.2841	04	8.3788	0.84	5.01
+ 50	00	0.0000	01	3.8834	01	3.8834	0.22	2.32
Sumatoria	250	81.2129	225	86.0753	475	167.3282	100.00	100.00
Media		10.1516		9.5639		18.5920		

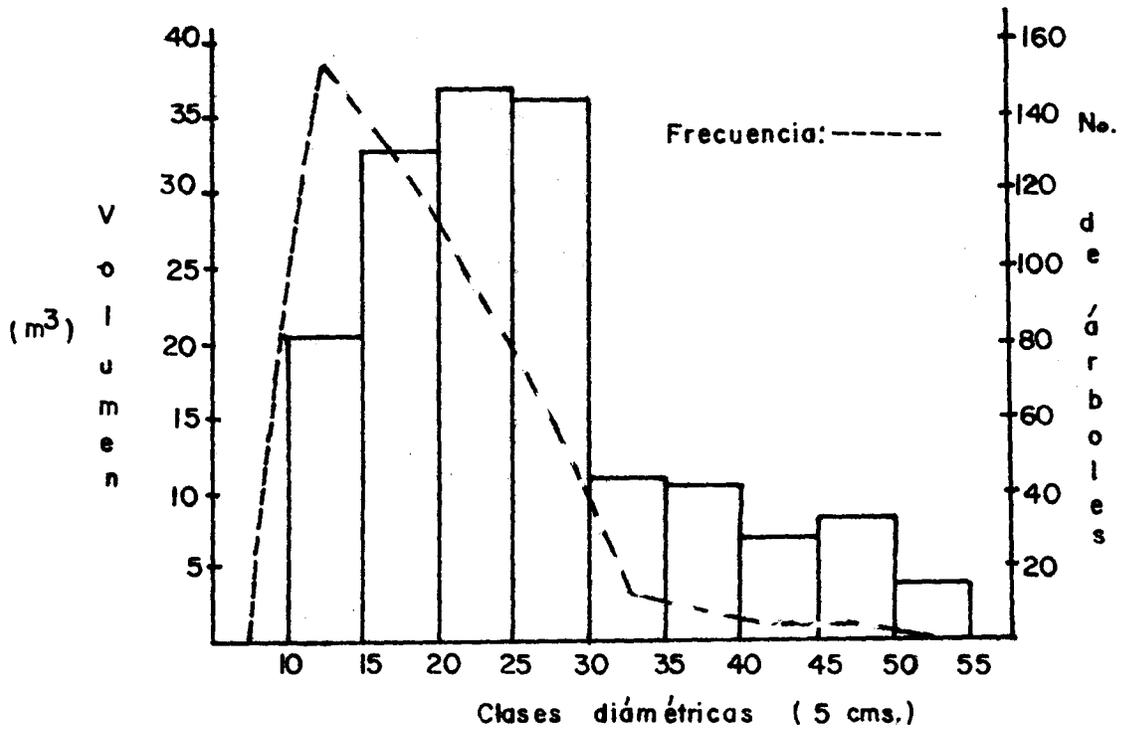


FIGURA No. II

Distribución volumétrica y frecuencia por clase diamétrica en parcelas de muestreo.

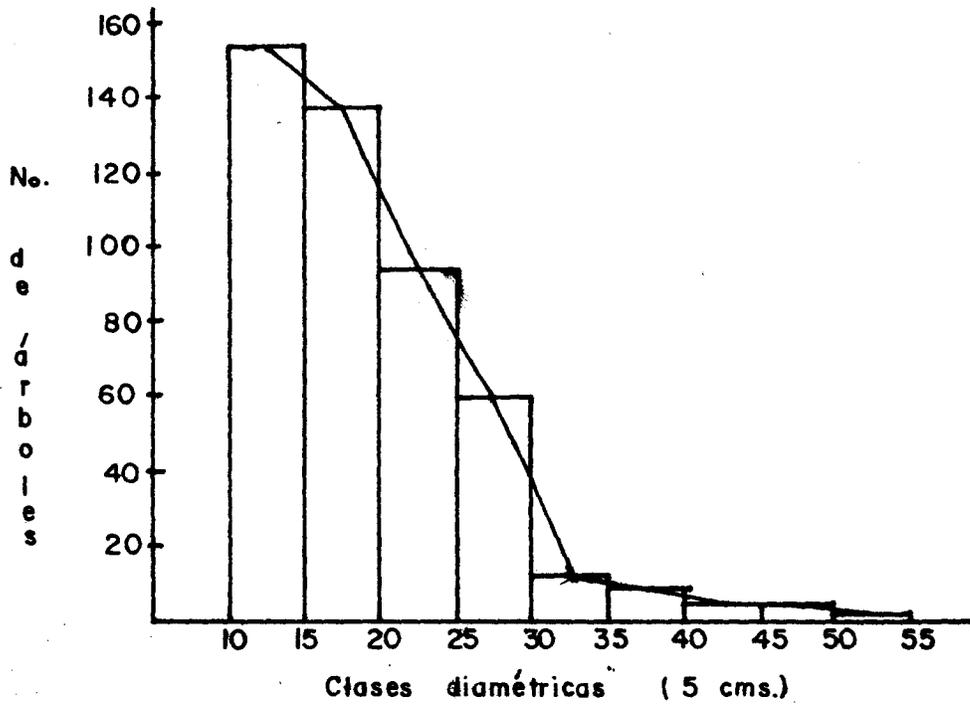


FIGURA No. 12

Distribución diamétrica y curva de distribución diamétrica del sitio de muestreo.

diamétrica tiene la forma de una curva representativa de una ecuación exponencial.

Factores edáficos, climáticos y/o genéticos pueden ser la causa de que los árboles no rebasen los diámetros de poco tamaño, de ahí que la casi totalidad de árboles están concentrados en las clases diamétricas inferiores (33). También la densidad y una distribución irregular de los árboles en el espacio pueden llevar a esta situación. Es necesario realizar tratamientos de aclareos para favorecer el aumento de los individuos de las clases diamétricas intermedias y superiores.

En la figura 13 aparece la distribución altimétrica en la que se aprecia que los árboles de 17 a 18 m son los más numerosos en el área de estudio.

3. CARACTERISTICAS CUALITATIVAS

En base a la observación de los árboles dentro de las parcelas se obtuvieron los siguientes porcentajes del estado cualitativo del Cuadro 18. Los aspectos considerados son: la rectitud del fuste, defectos de formación y anomalías de crecimiento.

Del cuadro aludido se obtienen las siguientes consideraciones. Existe un alto porcentaje de fustes sinuosos (39%). Dentro de los defectos, la copa asimétrica (83%) es el que más afecta a los árboles a causa de la distribución irregular de los individuos en el campo. Los árboles inclinados también son comunes en el rodal (39%), afectado también por la competencia. Es interesante hacer notar que la anomalía "cola de zorro" no se manifiesta en rodal, pues a edades mayores esta anomalía ya ha sido superada. En plantaciones jóvenes puede alcanzar, esta especie, hasta un 31% de cola de zorro (27).

La ausencia de pinos pequeños es consecuencia de los incendios anuales que destruyen la regeneración y que a su vez, causan daños en la corteza de los árboles, favoreciendo así el ataque de termitas (28).

4. RESULTADOS DE RELACIONES INDIVIDUALES

Se analizaron las relaciones por medio de regresión simple, utilizándose los mismos modelos descritos anteriormente.

4.1 Relación dap - altura total

En esta relación el modelo más ajustado es el cuadrático, con un coeficiente de correlación de 0.76, el cual es altamente signifi

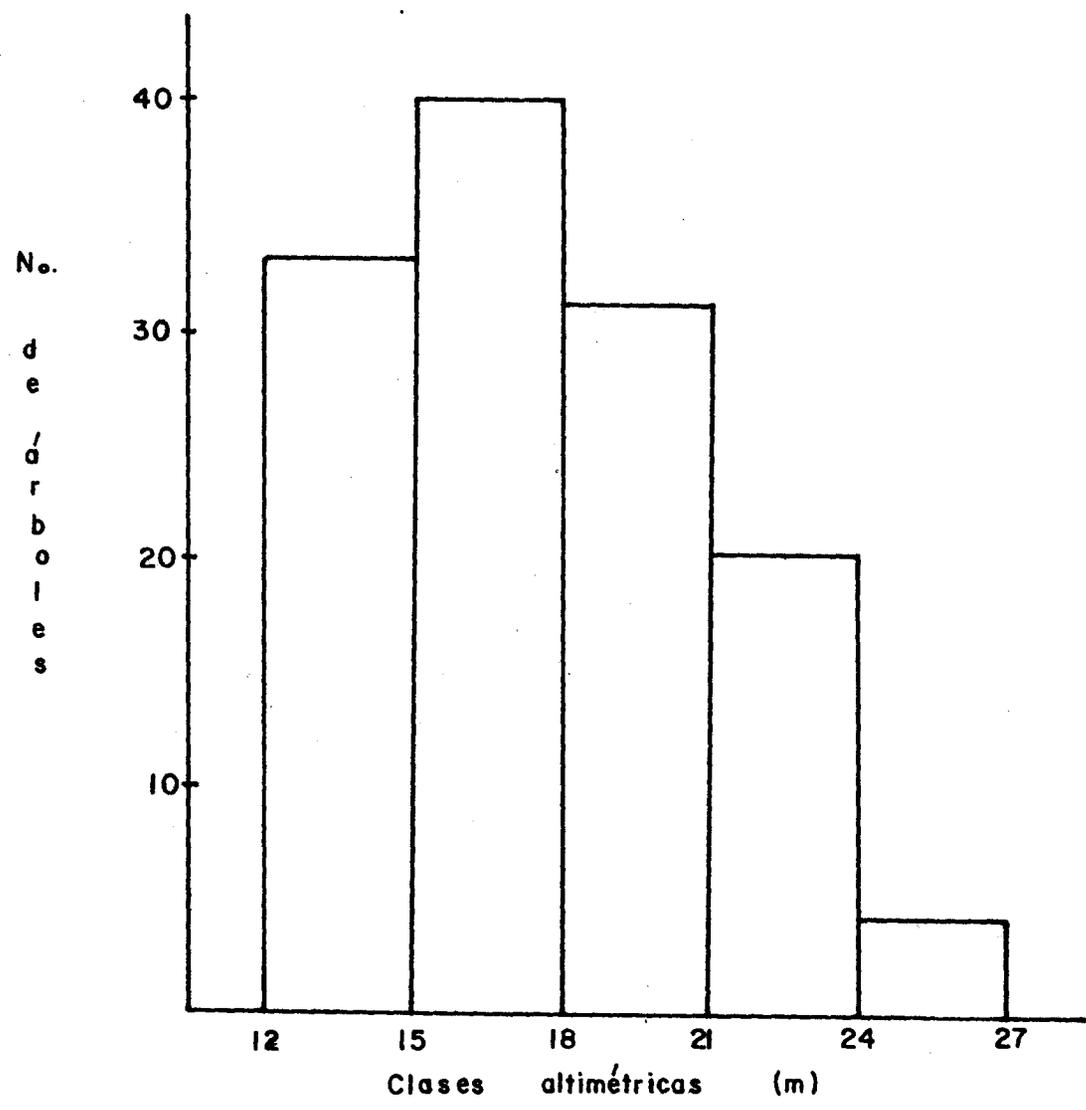


FIGURA No. 13

Distribución altimétrica de los árboles eliminados en el sitio de muestreo.

CUADRO 18. Porcentajes de defectos y anomalías de los árboles del rodal en estudio.

Bloque	Parcela	Fuste		Defectos			Anomalías				
		1	2	1	2	3	1	2	3	4	5
A	1	53	47	5	85	10	4	1	41	8	50
	2	58	42	2	87	11	3	1	35	6	55
	3	62	38	7	81	12	5	0	41	6	48
B	1	57	43	5	78	17	4	2	42	1	51
	2	69	31	5	86	9	7	4	38	6	45
	3	69	31	10	80	10	6	3	37	4	39
Media		61	39	6	83	11	5	2	39	6	48

Fuste: 1: recto; 2: sinuoso

Defectos: 1: sin copa; 2: copa asimétrica; 3: sano

Anomalías: 1: torcedura basal; 2: bifurcado; 3: inclinado; 4: 1 y 3 juntos; 5: árbol sano.

cativo. En la figura 14 se observa la curva y la nube de puntos. En los valores menores de diámetro se aprecia mucha variación en la altura. La relativa uniformidad de la altura es debido a la alta densidad.

La ecuación es la siguiente:

$$Y = 7.0607 + 0.823 * X - 0.0109 * X^2$$

$$Y = \text{altura total (m)} \quad X = \text{DAP (cm)}$$

Esta ecuación es confiable, dado el gran número de datos utilizados en su confección, los cuales fueron 130 y muy bien se puede utilizar para estimar la altura.

Se aprecia un incremento de la altura con el incremento en diámetro hasta los 35 cm, que corresponde a una altura de 23 m. A mayores diámetros no existe variación en la altura, dado que ya ha alcanzado la altura dominante.

4.2 Relación dap - volumen real individual

Existe un alto grado de asociación entre ambas variables, siendo todos los modelos altamente significativos, de los cuales el más representativo es el cuadrático con un coeficiente de correlación de 0.9444. La ecuación del modelo es la siguiente:

$$Y = 0.1842 - 0.0198 * X + 0.0013 * X^2$$

Donde Y es el volumen en m³ y X es el diámetro en cm. Esta ecuación es importante, en virtud de que a través de ella se puede construir una tabla de volumen local.

Se observa en la figura 15 la nube de dispersión, notándose la coincidencia de la línea de regresión con los datos. La curva es de poca pendiente, indicativo de bajos incrementos en el volumen.

4.3 Relación altura - volumen real individual

Es escasa la coincidencia de los datos con la línea de regresión de la figura 16. El modelo más significativo es el radical con un coeficiente de correlación de 0.6693, aunque la tendencia de la curva indica que a valores mayores de altura se presentan los volúmenes más grandes.

Se evidencia que el volumen de los árboles está, principalmente, en función del área basal. Además es más factible y con valores más reales el cálculo de madera en pie trabajando con el DAP.

4.4 Relación área basal - altura total

El mayor coeficiente de correlación es el correspondiente al modelo radical con valor de 0.7585. El modelo es altamente significativo. La ecuación es la siguiente:

$$Y = 7.0803 - 0.0139 * X + 0.9267 * X^{0.5}$$

Donde Y es la altura en metros y X, el área basal en cm². La figura 17 tiene mucha similitud con la figura de la relación dap - altura, dado que el área basal es función del dap.

4.5 Relación área basal - volumen real

El alto coeficiente de correlación (0.9476) del modelo radical confirma que el volumen está en función más del área basal que de

la altura. Todos los modelos resultaron con un coeficiente mayor

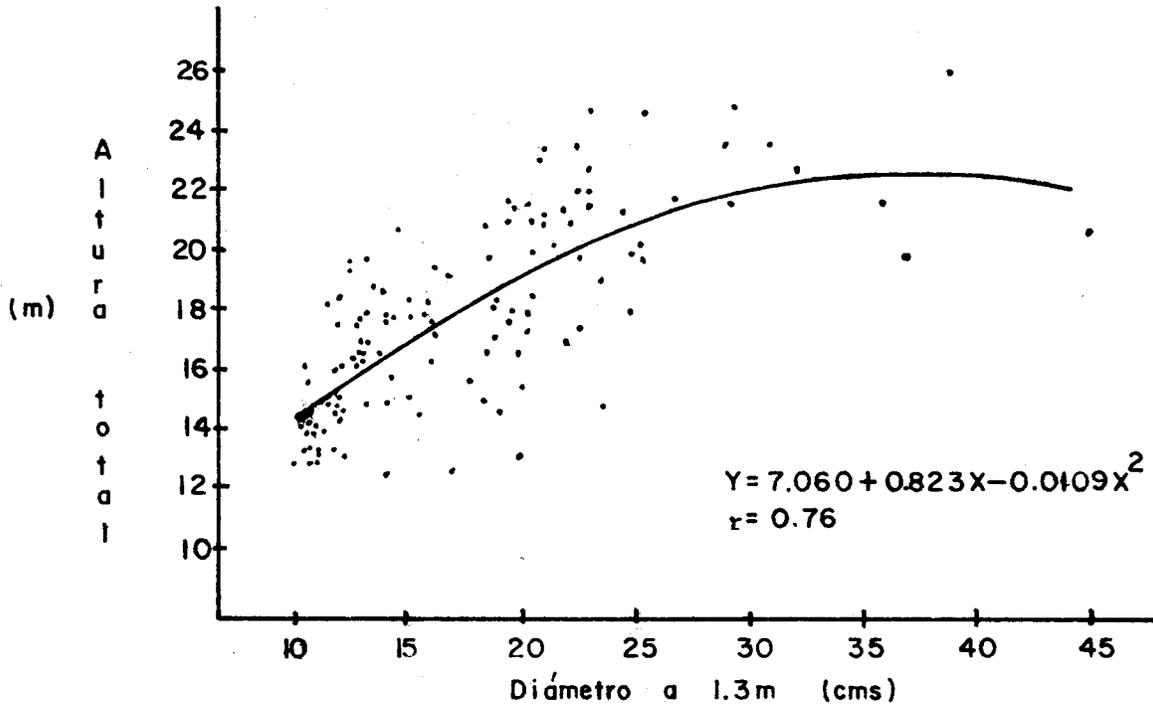


FIGURA No. 14

Relación entre el diámetro a la altura del pecho y la altura total.

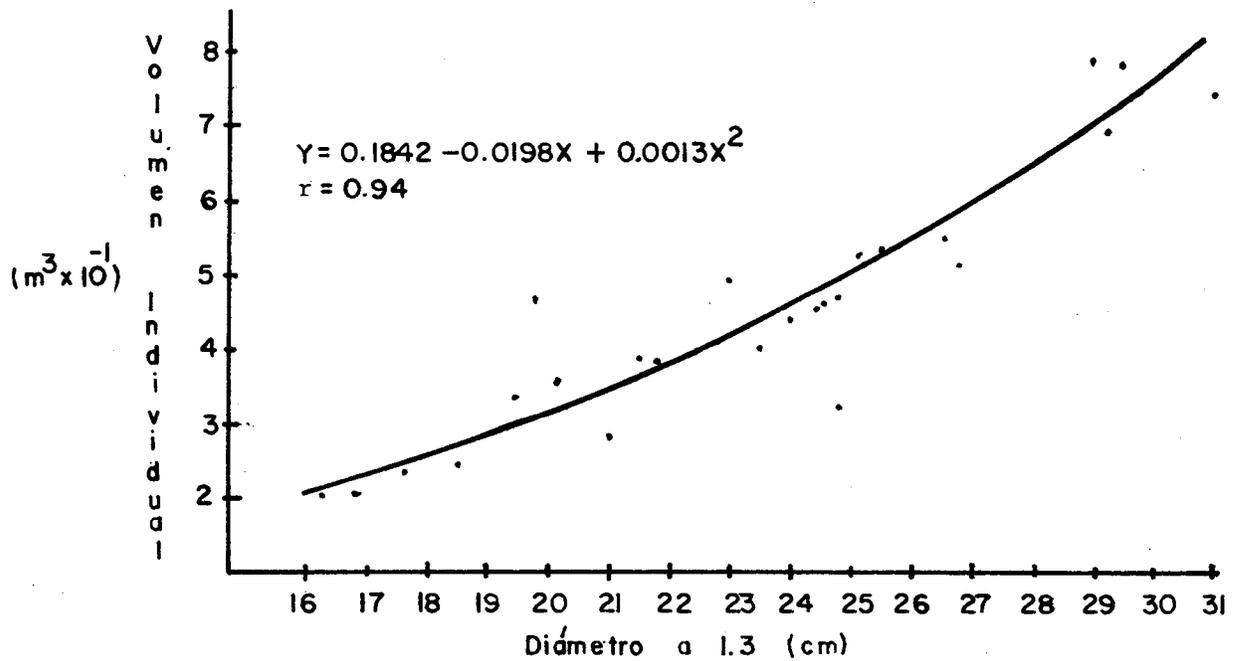


FIGURA No. 15

Relación entre el diámetro a 1.3 m y el volúmen real individual.

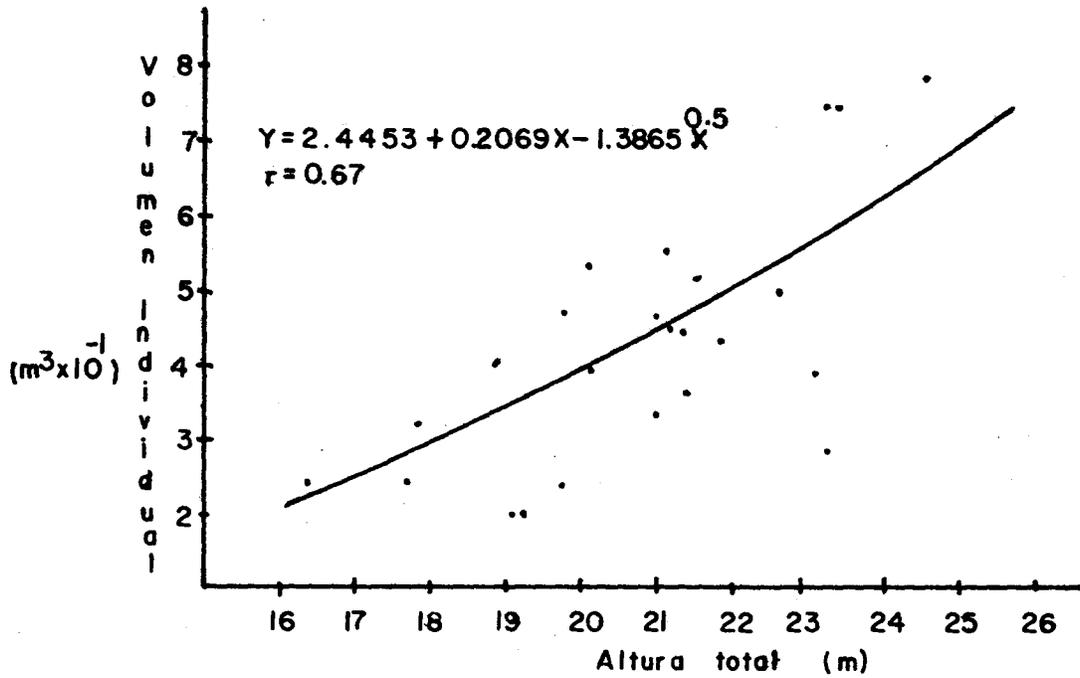


FIGURA No. 16

Relación entre la altura total y el volumen real individual.

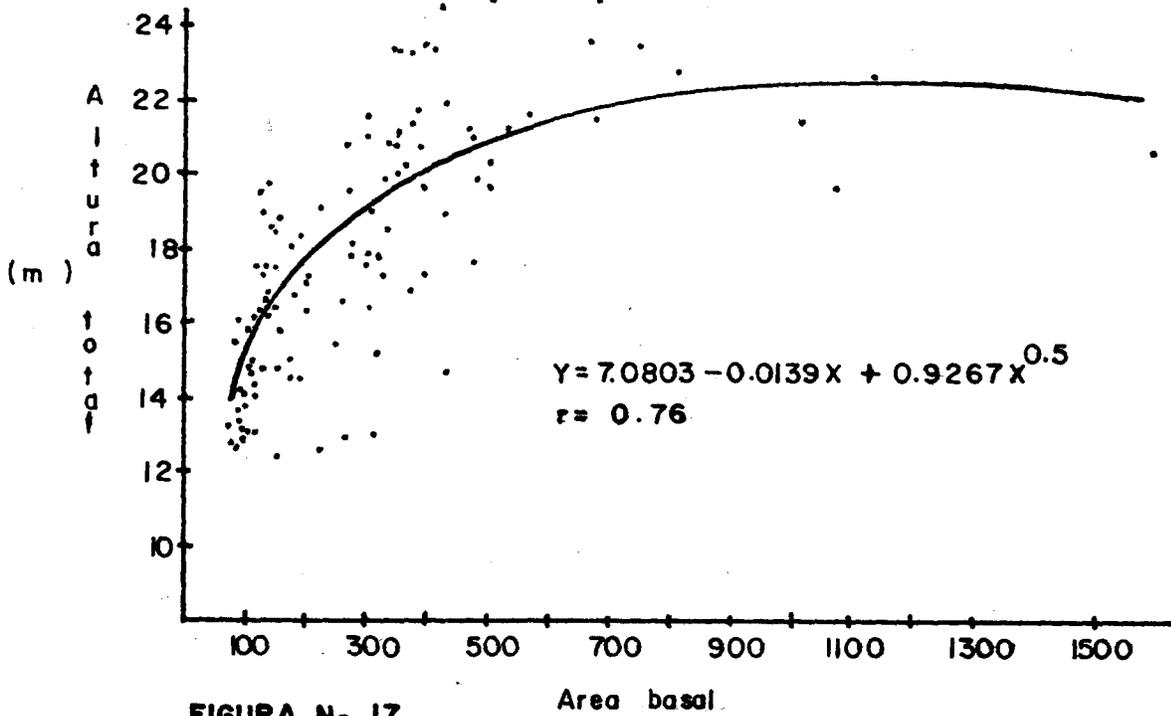


FIGURA No. 17

Relación entre el area basal y la altura total

de 0.93. La ecuación del modelo radical es:

$$Y = 0.1564 + 0.0015 * X - 0.0192 * X^{0.5}$$

En la figura 18 se observa que la pendiente de la curva es pronunciada un poco más que la de DAP - volumen porque el área basal se da en unidades cuadráticas.

4.6 Tabla de volumen local

Relacionando el volumen con el dap y la altura se obtuvo la ecuación de regresión múltiple que se utilizó para la construcción de la tabla de volumen local para la estimación de volúmenes en pie en la finca en donde se realizó el estudio.

La tabla de volumen realizada por Peters (24) para Pinus caribaea posee un coeficiente de correlación de 0.909 mientras que el coeficiente de correlación para la desarrollada localmente es de 0.9137, de ahí lo conveniente de utilizar esta nueva ecuación para la estimación de volúmenes en pie en el lugar de estudio.

La ecuación es la siguiente:

$$\text{Modelo : } Y = b_0 + b_1 \text{ DAP}^2 h$$

$$\text{Ecuación: } Y = 0.006704806 + 0.00002812803 \text{ DAP}^2 h$$

La tabla de volumen aparece en el Cuadro 19. Los valores están referidos a volúmenes sin corteza en m³.

4.7 Edad

La edad se relacionó con el diámetro, área basal, altura y volumen. Estas relaciones presentan muy bajos coeficientes de correlación, influenciado principalmente por la irregularidad del bosque (33).

La estructura diamétrica presentada en la figura 11 es indicativo de la situación aludida. Árboles grandes y pequeños pueden ocurrir en grupos y grupos de regeneración pueden crecer en ventanas producidas por el raleo natural y otros pueden crecer a la sombra de los árboles. Los bosques vírgenes tienen aspectos muy variados en su distribución diamétrica y de la estructura de la masa forestal, según las condiciones climáticas, ecológicas y edáficas que predominan en la zona (33).

En síntesis, el bosque no ha tenido un desarrollo regular, ha sido afectado por la alta densidad, provocando la supresión de al-

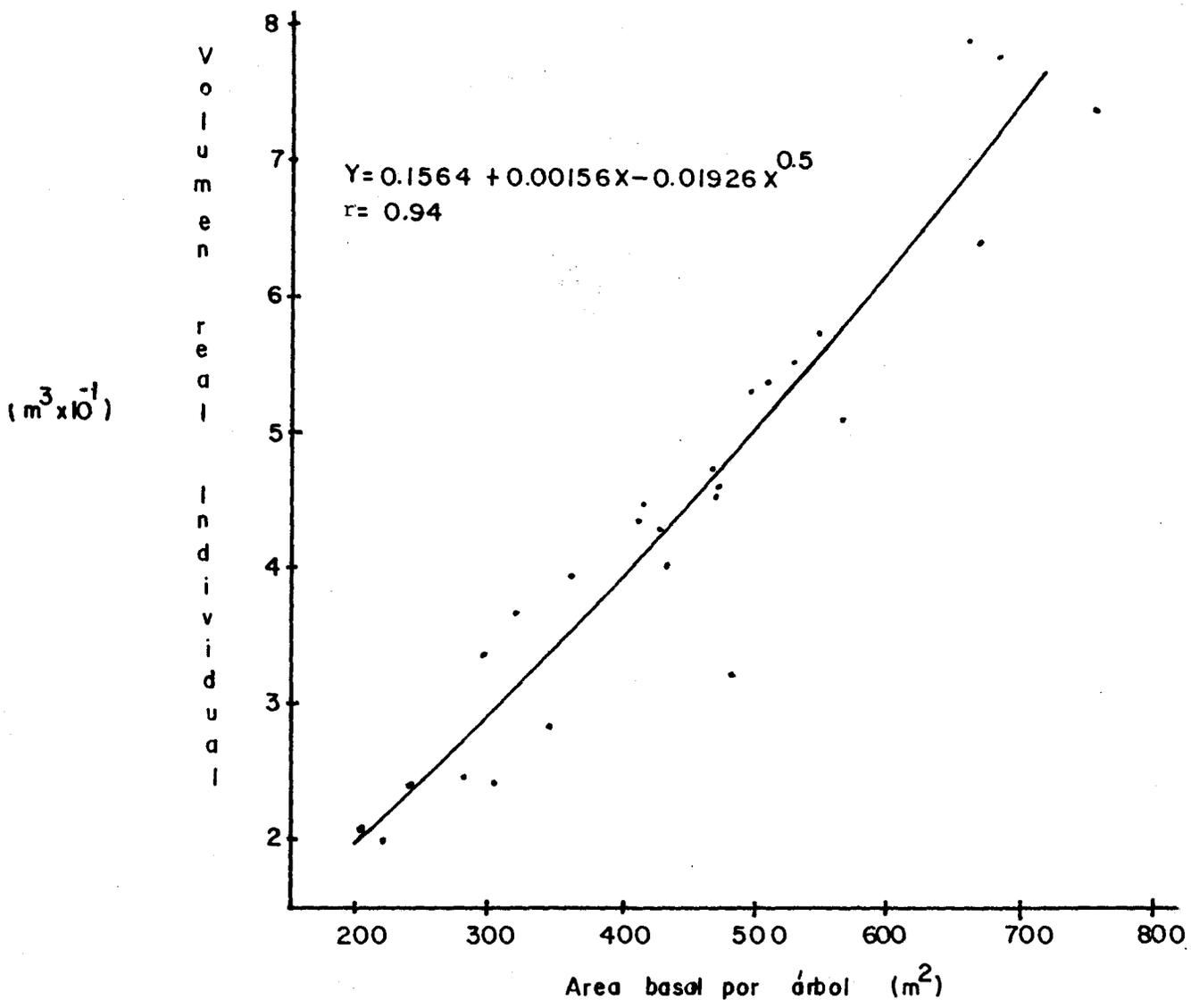


FIGURA No. 18

Relación entre el area basal y el volumen real Individual

CUADRO 19. Tabla local para cálculo de volumen total en metros cúbicos sin corteza.

$$V = 0.006704806 + 0.00002812803 \text{ DAP}^2 h$$

dap cc (cm)	Altura Total (m)										
	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
8	0.0211	0.0247	0.0283	0.0319	0.0355	0.0391	0.0427	0.0463	0.0499	0.0535	0.0571
10	0.0292	0.0348	0.0404	0.0461	0.0517	0.0573	0.0629	0.0686	0.0742	0.0798	0.0854
12	0.0391	0.0472	0.0553	0.0574	0.0715	0.0796	0.0877	0.0958	0.1039	0.1120	0.1201
14	0.0508	0.0618	0.0728	0.0839	0.0949	0.1059	0.1169	0.1280	0.1390	0.1500	0.1611
16	0.0643	0.0787	0.0931	0.1075	0.1219	0.1363	0.1507	0.1651	0.1795	0.1939	0.2083
18	0.0796	0.0978	0.1161	0.1343	0.1525	0.1707	0.1890	0.2072	0.2254	0.2436	0.2619
20	0.0967	0.1192	0.1417	0.1642	0.1867	0.2092	0.2317	0.2542	0.2767	0.2992	0.3217
22	0.1156	0.1428	0.1701	0.1973	0.2245	0.2517	0.2790	0.3062	0.3334	0.3606	0.3879
24	0.1363	0.1687	0.2011	0.2335	0.2659	0.2983	0.3307	0.3631	0.3955	0.4279	0.4603
26	0.1588	0.1968	0.2349	0.2729	0.3109	0.3489	0.3870	0.4250	0.4630	0.5010	0.5391
28	0.1831	0.2272	0.2713	0.3154	0.3595	0.4036	0.4477	0.4918	0.5359	0.5800	0.6242
30	0.2092	0.2598	0.3105	0.3611	0.4117	0.4624	0.5130	0.5636	0.6143	0.6649	0.7155
32	0.2371	0.2947	0.3523	0.4099	0.4675	0.5251	0.5827	0.6404	0.6980	0.7555	0.8132
34	0.2668	0.3318	0.3969	0.4619	0.5269	0.5920	0.6570	0.7220	0.7871	0.8521	0.9171
36	0.2983	0.3712	0.4441	0.5170	0.5899	0.6628	0.7358	0.8087	0.8816	0.9545	1.0274

gunos individuos; los clareos naturales que han provocado el crecimiento acelerado de la regeneración natural en algunas partes.

Para las relaciones mencionadas se consideró la edad total del árbol a 0.3 m, más dos años de establecimiento de la especie. Este estudio se basó en un total de 26 árboles seccionados.

Algunos de los árboles estudiados duplican a los de menor edad. La mayoría de ellos están comprendidos en un rango de 23 a 30 años (14 árboles) y los árboles padres oscilan alrededor de 50 años de edad, los datos aparecen en el Cuadro 20. Esta variación incide en que se dé una varianza de 49 y un coeficiente de variación de 22.45%.

En la figura 19 se observa la distribución por edad de los árboles seccionados en donde se aprecia la situación aludida.

En referencia a la relación de la edad con el diámetro, el coeficiente de correlación de 0.6547 indica la poca representatividad de la ecuación del modelo radical. También en la figura 21 se observa que es escasa la asociatividad entre la edad y el área basal ya que el coeficiente de correlación del modelo cuadrático (0.6909) está fuera del rango aceptable. La relación con menor coeficiente de correlación es con la altura de los árboles; en la figura 22 se observan valores muy distantes de altura a pesar de tener la misma edad. El coeficiente de correlación es de 0.4730 y el modelo más ajustado es el cuadrático.

La curva estimada de edad y volumen de la figura 23 pasa en medio de la nube de puntos pero los valores están muy dispersos. El coeficiente de correlación del modelo cuadrático (0.6616) demuestra que no es representativo utilizar este modelo y ecuación para predecir datos de volumen en pie en función de la edad.

No obstante, las curvas indican el aumento de las variables con respecto a la edad hasta los 35 años y después de esa edad las variables en mención se hacen más constantes.

5. ANÁLISIS DE INCREMENTOS

5.1 Incremento en diámetro

En la figura 24 se observa la variación del incremento en diámetro a lo largo de toda la longitud del fuste. En los primeros

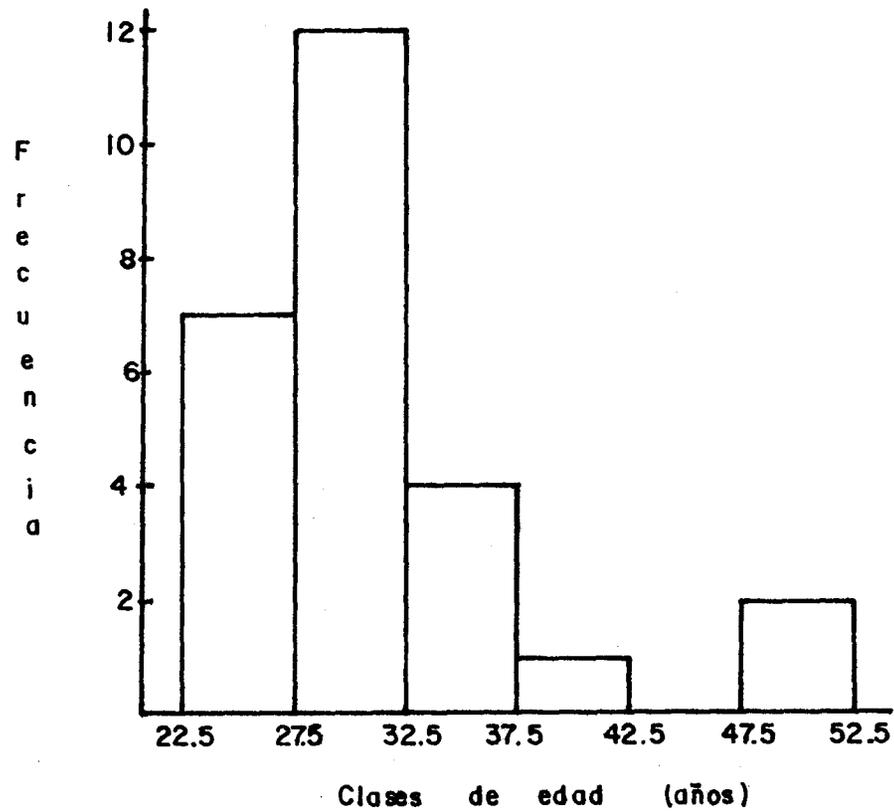


FIGURA No. 19

Distribucion por edad de los árboles seccionados en el sitio de muestreo.

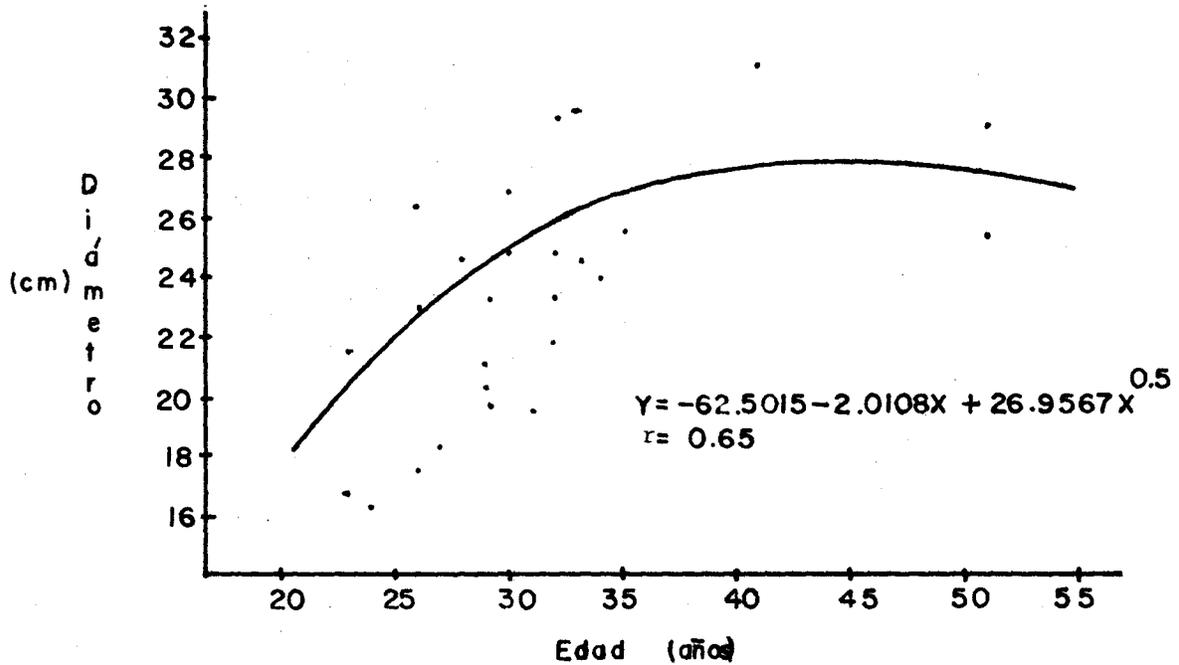


FIGURA No. 20

Relación entre la edad y el diámetro (1.3 m) de los árboles seccionados.

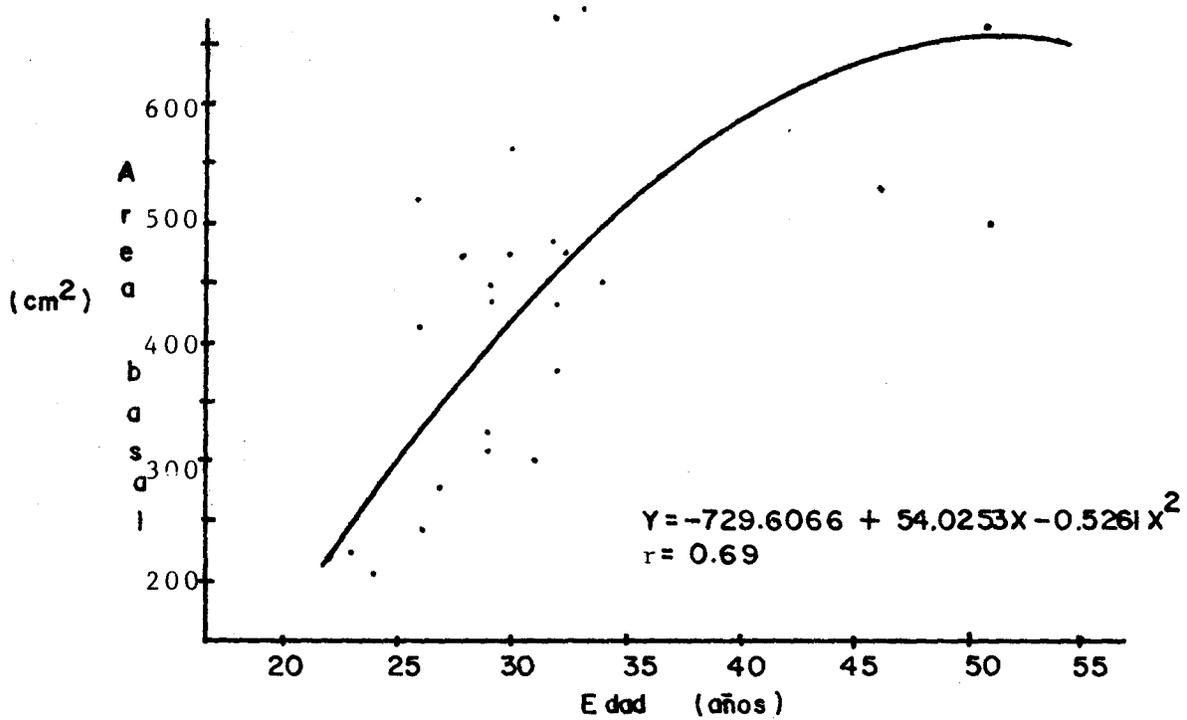


FIGURA No. 21

Relación entre la edad y el área basal de los árboles seccionados

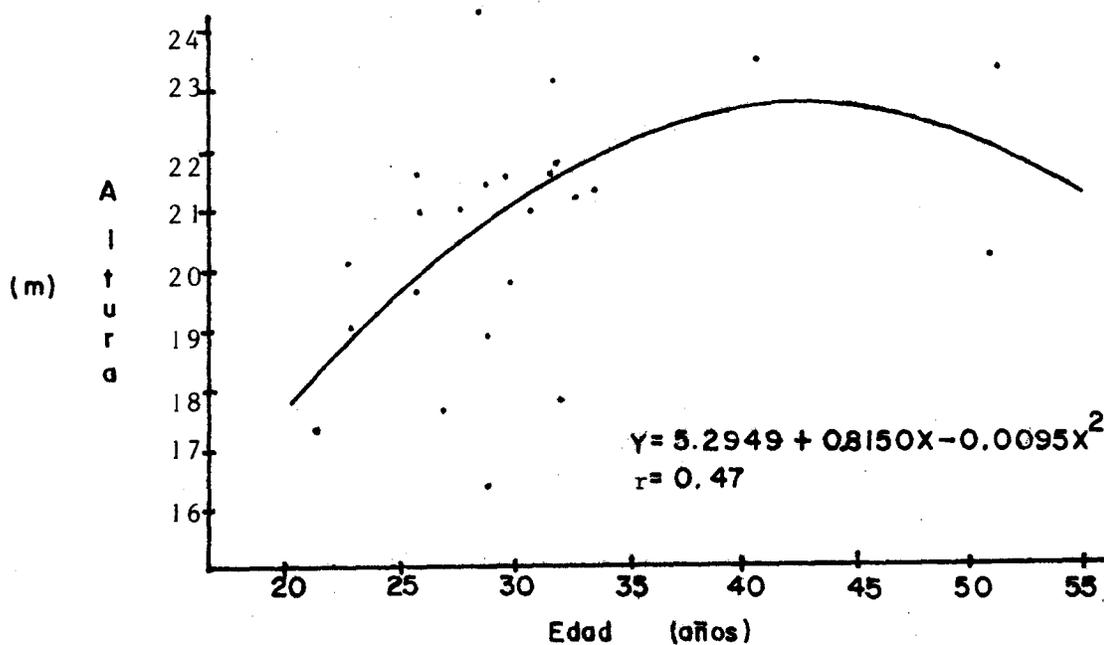


FIGURA No. 22

Relación entre la edad y la altura de las arboles seccionados

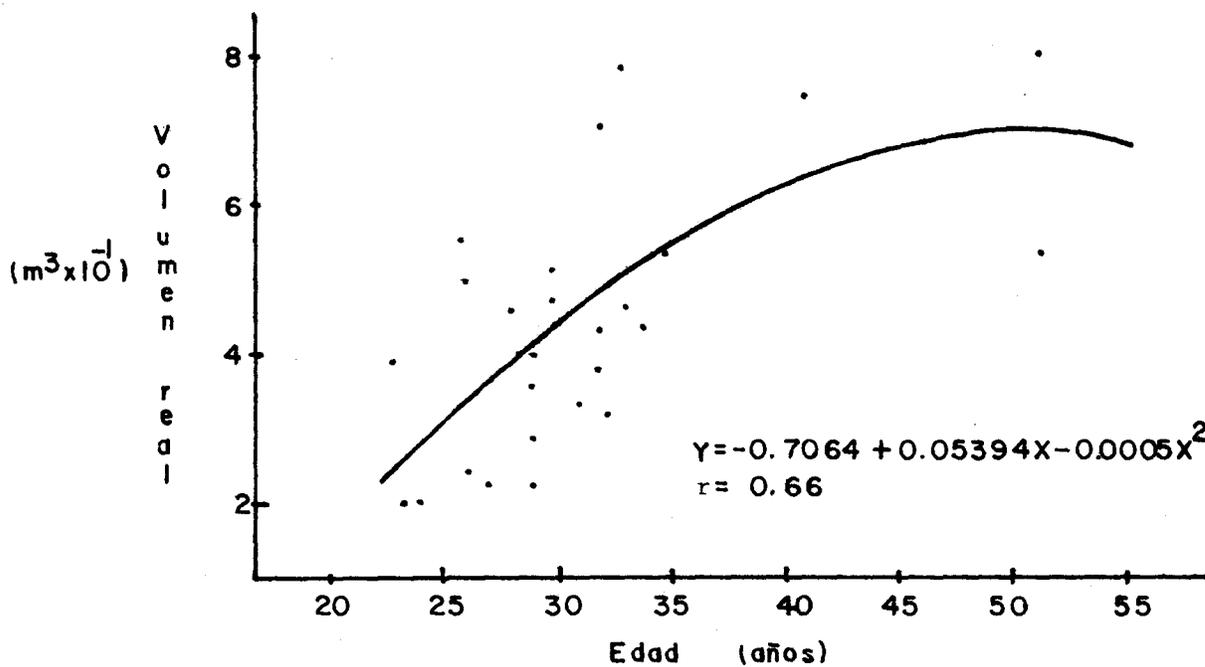


FIGURA No. 23

Relación entre la edad y el volumen individual de los árboles seccionados.

CUADRO 20. Datos generales de los árboles analizados.

No.	t (año)	d* (cm)	g+	d _u	g _u	h (m)	v= (m ³)
1	23	16.8	222	12.5	123	19.10	0.2003
2	27	18.5	269	16.6	216	17.68	0.2459
3	31	19.5	294	17.4	238	21.06	0.3388
4	26	23.0	415	20.2	320	22.65	0.4946
5	32	29.2	670	26.3	543	21.56	0.6948
6	30	24.8	469	21.4	360	19.80	0.4723
7	29	19.8	305	16.0	201	16.40	0.2493
8	29	23.5	434	18.9	280	18.90	0.4040
9	29	21.0	346	17.5	240	24.58	0.2826
10	26	26.4	531	23.0	415	21.09	0.5520
11	34	24.0	452	20.2	320	21.38	0.4486
12	35	25.5	511	20.7	336	24.58	0.5397
13	33	29.5	683	24.0	452	24.61	0.7833
14	32	23.3	434	20.5	330	21.84	0.4314
15	26	27.6	243	15.0	177	19.71	0.2370
16	51	25.2	499	24.0	452	20.14	0.5318
17	32	21.8	373	19.2	290	23.15	0.3872
18	41	31.0	755	26.6	556	23.40	0.7402
19	30	26.8	564	24.1	456	21.54	0.5138
20	32	24.8	483	20.0	314	17.82	0.3228
21	28	24.6	471	20.7	336	21.03	0.4641
22	29	20.2	320	18.4	266	21.41	0.3694
23	23	21.5	393	18.7	275	20.15	0.3958
24	24	16.3	206	14.2	158	19.26	0.2051
25	33	24.5	471	19.6	302	21.12	0.4618
26	51	29.0	660	26.7	560	23.33	0.7918
Media	31	23.4	453	20.1	328	21.0	0.4445

* En cm y a 1.3 de altura

+ En cm²

= Volumen sin corteza

(cms./año x 10)

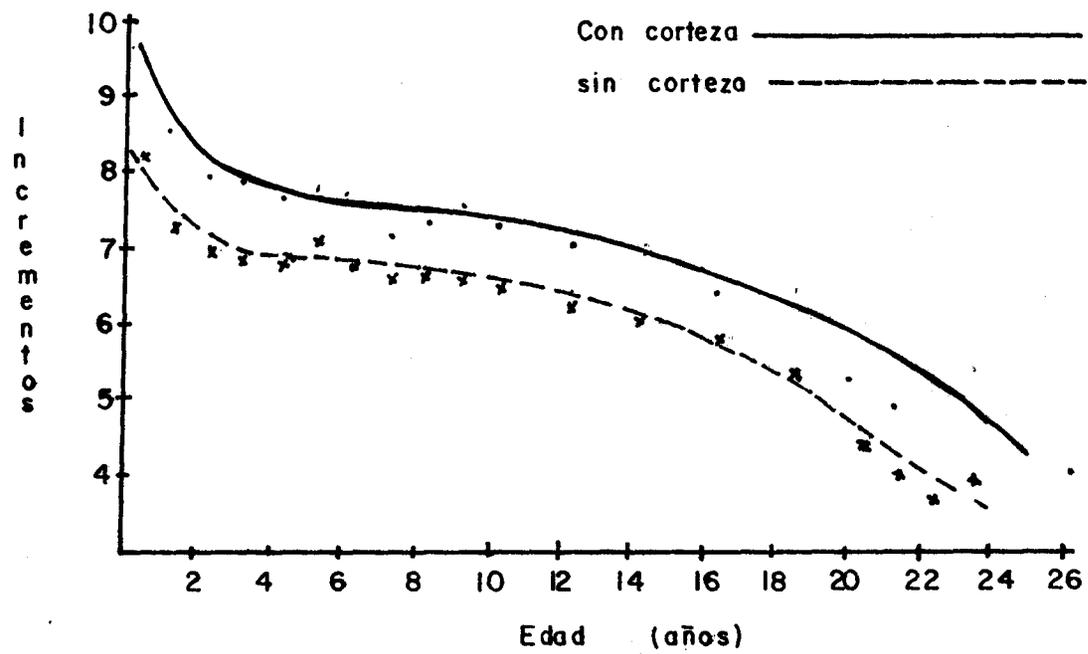


FIGURA No. 24

Variación del incremento en diámetro con respecto a la altura

metros el incremento ha sido mayor, tanto en diámetro con corteza como en diámetro sin corteza.

El incremento medio con corteza de todas las secciones, medidos en los 26 árboles es de 0.6945 cm/año. El incremento medio anual del dap con corteza fue de 0.8573 cm/año y de 0.7313 cm/año del dap sin corteza.

En el Cuadro 21 se presentan los incrementos periódicos cada cinco años a la altura de 0.3 m y 10.3 m, observándose la disminución del crecimiento en los últimos años en relación a los primeros.

Para la elaboración de las gráficas de crecimiento y rendimiento se promedió la edad, diámetro y volumen por sección de todos los fustes estudiados. Los datos promedios aparecen en el Cuadro 22.

En la figura 25 se observa la curva de crecimiento e incremento en diámetro, en ella se muestra que el crecimiento continúa aumentando, considerando que todavía no se ha alcanzado el diámetro máximo. El valor promedio de los árboles analizados es de 23 cm y para esta especie en el área de Poptún se reportan diámetros de 80 cm (17).

5.2 Incremento en área basal

El incremento en área basal por año con corteza de todo el árbol en sus diferentes secciones es de $10.2955 \text{ cm}^2/\text{año}$ y el incremento medio anual sin corteza es de $7.9596 \text{ cm}^2/\text{año}$. Referido al dap, el incremento medio anual sin corteza es de $15.5104 \text{ cm}^2/\text{año}$ y el incremento sin corteza es de $11.8748 \text{ cm}^2/\text{año}$.

Este último valor convertido a metros cuadrados se obtiene $0.00118 \text{ m}^2/\text{año}$ y multiplicándolo por la densidad del rodal de 494 árboles/ha se obtiene un valor de $0.5866 \text{ m}^2/\text{ha/año}$. Si el área basal actual de $15.800 \text{ m}^2/\text{ha}$ se divide entre la edad media de los árboles analizados se obtiene un incremento medio anual de $0.5097 \text{ m}^2/\text{ha/año}$ y utilizando la media ponderada de edad (ponderando el factor de frecuencia en diámetro con la edad de ese diámetro) de 27 años se tiene un incremento de $0.585 \text{ m}^2/\text{ha/año}$.

El crecimiento en área basal es lento en los primeros años pero

CUADRO 21. Incrementos periódicos en diámetro

Modalidad del incremento	Incremento cm/año
Incremento periódico sin corteza a 0.3 m en los 5 años iniciales	1.5567
Incremento periódico sin corteza a 0.3 m en los 5-10 años	0.7817
Incremento periódico sin corteza a 0.3 m en los 10-15 años	0.6773
Incremento periódico sin corteza a 0.3 m en los 15-20 años	0.6350
Incremento periódico sin corteza a 0.3 m en los 20-25 años	0.5824
Incremento periódico sin corteza a 10.3 m en los 5 años iniciales	1.3254
Incremento periódico sin corteza a 10.3 m en los 5-10 años	0.6035
Incremento periódico sin corteza a 10.3 m en los 10-15 años	0.4626
Incremento periódico sin corteza a 10.3 m en los 15-20 años	0.4338

CUADRO 22. Datos promedios por sección de los árboles analizados

Altura de la Sección (m)	Edad Media Actual (años)	Edad a la que se alcanza la altura de la Sección	Diámetro medio cc (cm)	Diametro medio sc (cm)	Volumen por Sección (m ³)	Volumen Acumulado (m ³)
0.3	29.4	2.0	28.12	23.63	0.0131	0.0131
1.3	28.5	2.90	23.32	20.29	0.0381	0.0512
2.3	27.7	3.7	21.44	18.97	0.0303	0.0815
3.3	27.2	4.2	20.80	18.34	0.0273	0.1088
4.3	26.6	4.8	19.86	17.78	0.0256	0.1344
5.3	26.0	5.4	19.24	17.16	0.0239	0.1583
6.3	25.2	6.2	18.44	16.68	0.0225	0.1808
7.3	24.8	6.6	17.76	15.92	0.0209	0.2017
8.3	23.8	7.6	16.62	15.39	0.0192	0.2209
9.3	22.7	8.7	16.47	14.79	0.0179	0.2388
10.3	22.2	9.2	15.85	14.33	0.0166	0.2554
12.3	20.4	11.0	13.99	12.64	0.0287	0.2841
14.3	18.1	13.3	12.29	10.81	0.0217	0.3058
16.3	15.6	15.8	9.40	8.35	0.0146	0.3204
18.3	10.7	20.7	6.36	5.29	0.0077	0.3281
20.3	5.8	25.6	2.93	2.40	0.0026	0.3307
21.3	3.0	28.4	1.27	1.11	0.0003	0.3310
22.3	1.8	29.6	0.87	0.71	0.0001	0.3311

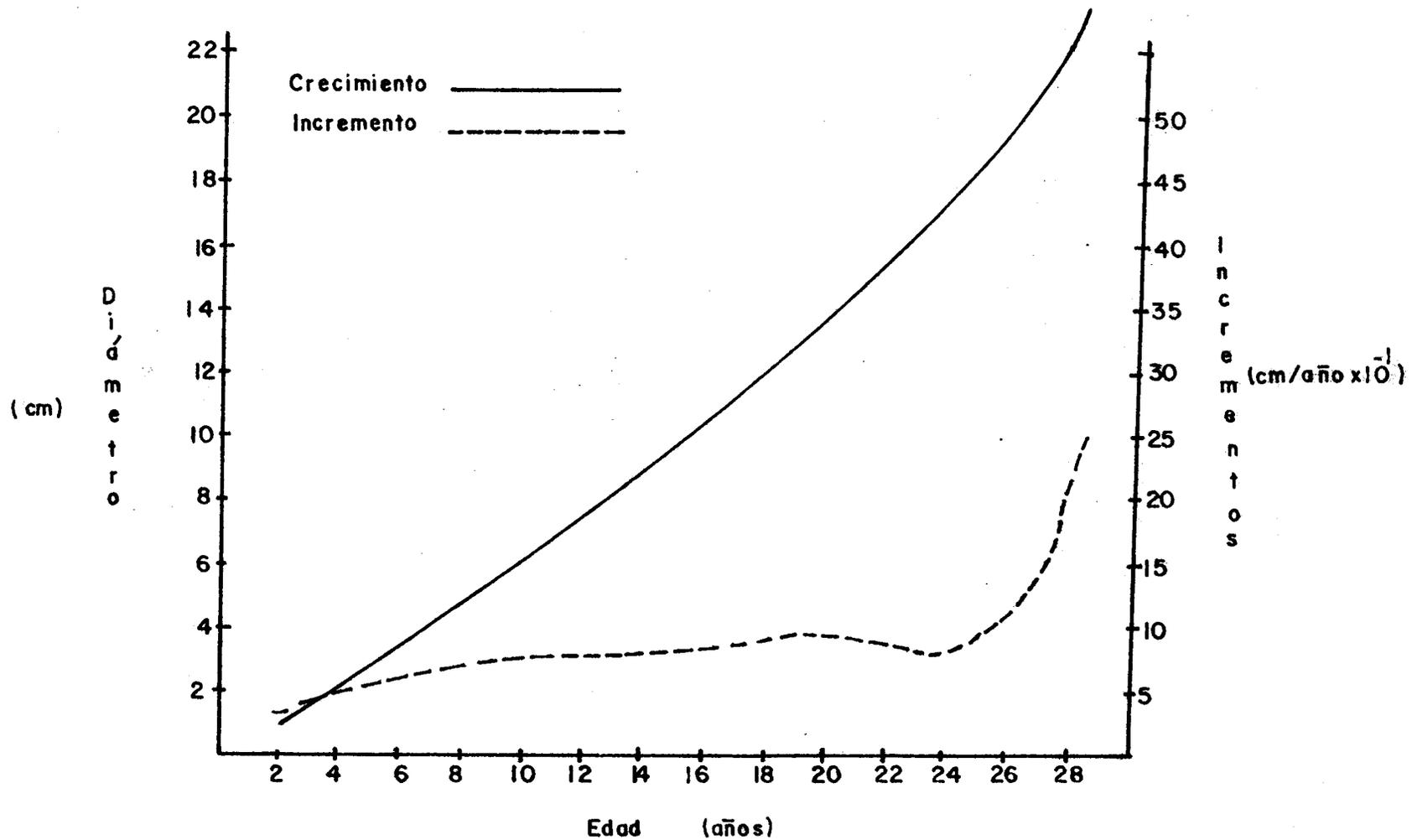


FIGURA No. 25

Crecimiento e incremento endiámetro promedio a 1.3 m en Pinus caribaea en las parcelas de muestreo en Machaquilá, Poptun Petén.

alrededor de los 10 años el crecimiento es mayor, tal como se muestra en la figura 26. La tendencia de la curva es similar a la de crecimiento en diámetro, ya que aquella está en función de éste.

En síntesis, los árboles no han alcanzado los valores máximos de crecimiento en diámetro ya que la curva indica incrementos alrededor de $12 \text{ cm}^2/\text{año}$ a los 26 años de edad.

5.3 Incremento en altura

A diferencia del crecimiento en diámetro, el crecimiento en altura ya se va acercando a sus valores máximos es decir, los incrementos se han reducido a valores mínimos, tal como se muestra en la figura 27. Los incrementos se han reducido desde alrededor de los 12 años. En Poptún se reportan crecimientos mayores, de 40 m. Comparando los suelos del rodal con los suelos Poptún (30) se aprecia la diferencia ya que estos suelos poseen mayor contenido de materia orgánica (9%) y la profundidad del horizonte A se incrementa hasta 17 cm. Además estas áreas presentan menor densidad (34 arb/ha) (28).

Es evidente la baja productividad del sitio. Los resultados de nutrientes disponibles, fósforo, calcio, potasio y magnesio, están muy debajo de los rangos adecuados.

El incremento medio anual es de 0.7534 m/año . El período de mayor crecimiento se da entre los 4 y 10 años con incrementos hasta de 2.5 m/año . En suelos pobres, el crecimiento de *P. caribaea* es lento (28). Este incremento concuerda a los obtenidos en Belice en un área relativamente cerca al rodal en estudio, el cual es de 0.8 m/año (17).

5.4 Incremento en volumen

El incremento medio de volumen sin corteza es de $0.0127 \text{ m}^3/\text{árbol/año}$ que equivale a $6.2985 \text{ m}^3/\text{ha/año}$. Este valor de incremento es muy similar a los obtenidos en otras áreas de la costa atlántica de América Central (28).

Dividiendo la producción total del rodal, $176.1377 \text{ m}^3/\text{ha}$ entre la edad media de los árboles analizados se tiene un incremento de $5.6818 \text{ m}^3/\text{ha/año}$ que es cercano a este valor. Dividiendo la media de ponderada de 27 años se tiene un incremento en volumen de 6.2985

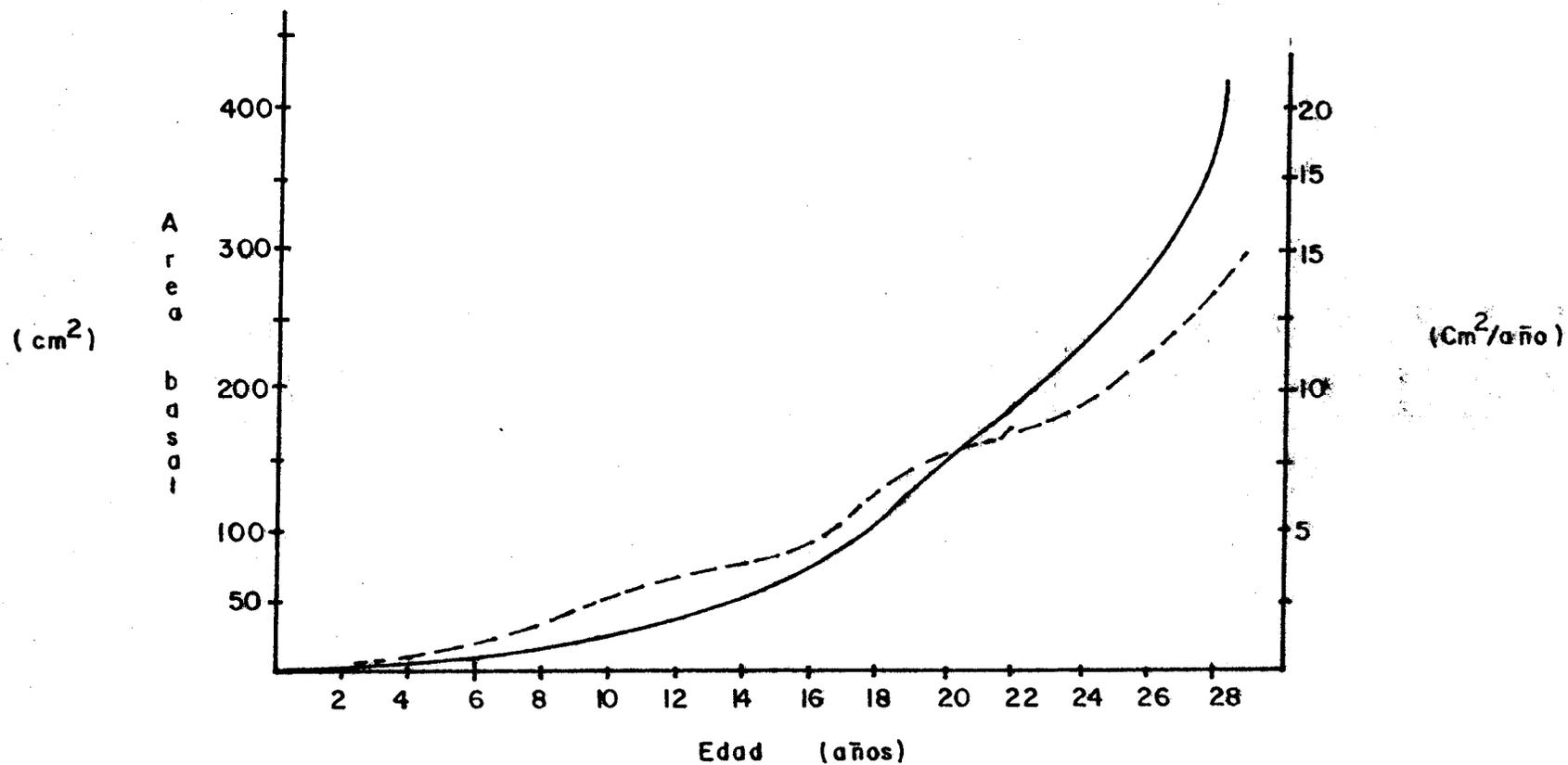


FIGURA No. 26

Crecimiento e incremento promedio en área basal en Pinus caribaea en las parcelas de muestreo en Machaquilá, Poptún, Petén.

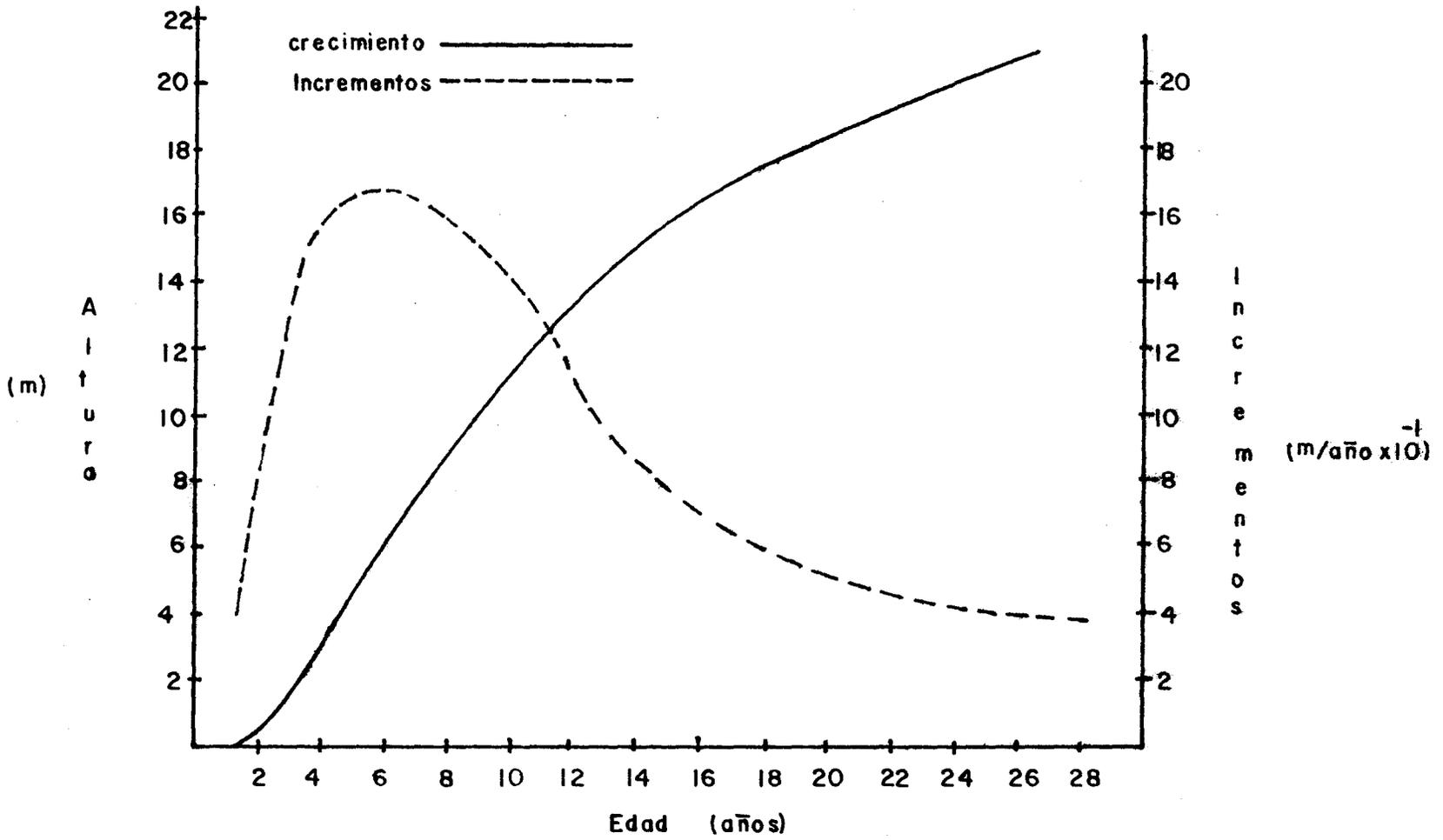


FIGURA No. 27

Crecimiento e incremento promedio en altura en Pinus caribaea en las parcelas de muestreo permanente.

$\text{m}^3/\text{ha}/\text{año}$.

La figura 28 presenta la curva de crecimiento e incremento en volumen del árbol promedio. En ella se aprecia un fuerte incremento en los primeros años, alcanzándose incrementos de $0.0398 \text{ m}^3/\text{año}$ a los 6 años y $19.6612 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$. A la edad de 20 años el crecimiento se ha reducido grandemente, consiguiéndose incrementos de $0.79 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$.

La curva de crecimiento reduce la pendiente a los 10 años y a esa edad se obtienen incrementos de $0.0373 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$.

5.5 Gráfico fustal

La construcción del gráfico fustal de la figura 29 se basó en los datos de crecimiento en altura y diámetro del Cuadro . La utilidad de este gráfico es para relacionar la edad con altura y diámetro con altura. Así, para la edad de 5 años se tienen 4.3 m de altura y a la edad de 20 años, 18 m de altura.

Del mismo modo, un árbol de diámetro de 10 cm tiene una altura de 14 m y un diámetro de 20 cm con una altura de 19 m.

5.6 Cálculo del tiempo de paso

El tiempo de paso es el tiempo en años en que tarda un árbol en pasar de una clase diamétrica a otra inmediatamente superior. El tiempo de paso se calculó a 1.3 m, obteniéndose una media de 7 años.

En la actualidad el 93% de los árboles poseen un diámetro menor de 30 cm y en un período de 14 años disminuirá a 61%. Al final de este período, el 39% de los árboles alcanzará el diámetro aconsejable con fines de aserrío, suponiendo que se mantendrán las condiciones actuales.

5.7 Cálculo del factor mórfoico y de corteza

El factor mórfoico o factor de forma relaciona el volumen real de los árboles con el volumen de un cilindro de diámetro igual al dap y altura total del árbol.

En el rodal en estudio, el factor mórfoico es de 0.48. Esto indica que el 48% del volumen del cilindro corresponde a volumen de madera. Este valor es similar al obtenido en otras áreas a nivel de plantaciones; en Costa Rica, para un diámetro (1.3 m) de 28 cm se

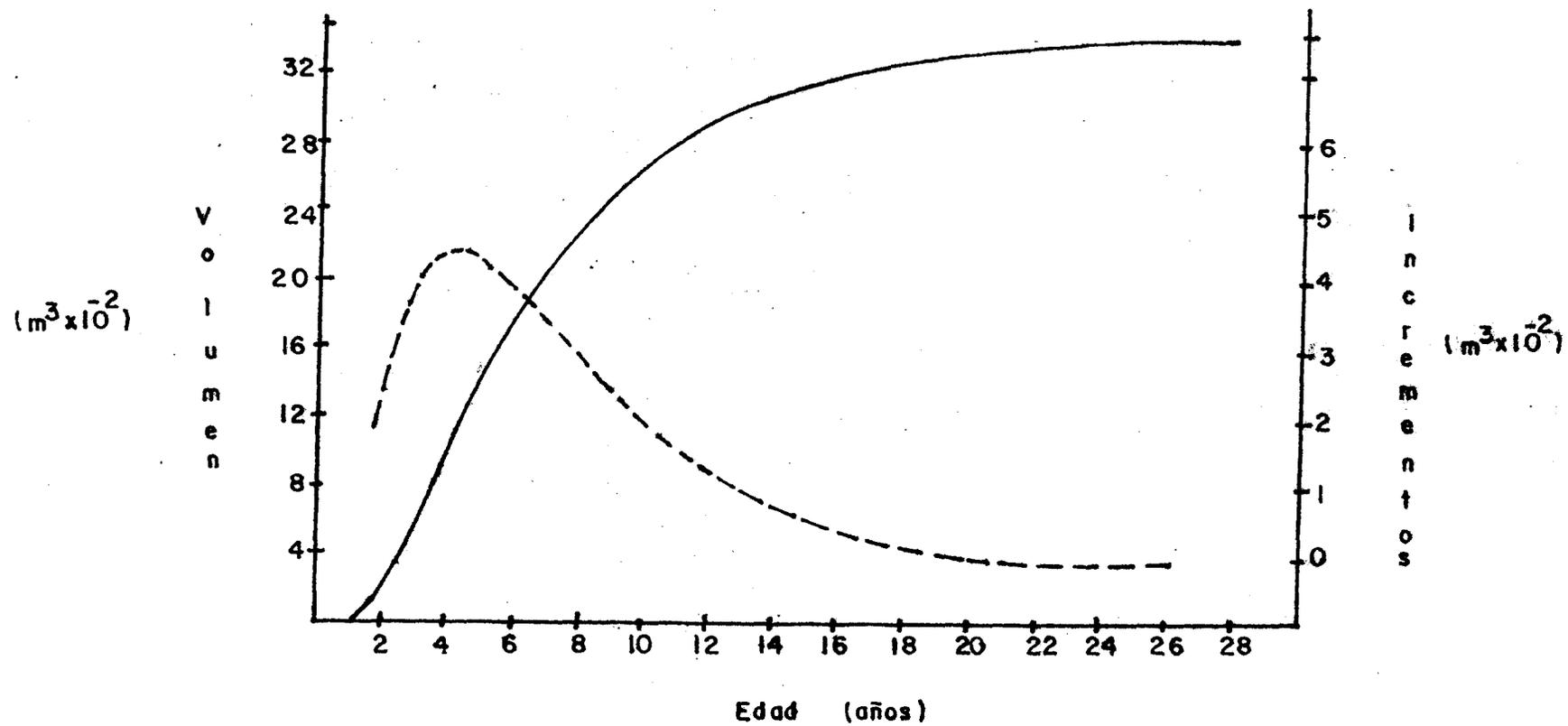


FIGURA No. 28

Crecimiento e incremento promedio en volumen en Pinus caribaea en las parcelas de muestreo en Machaquilá, Poptún, Petén.

Sección longitudinal del fuste.

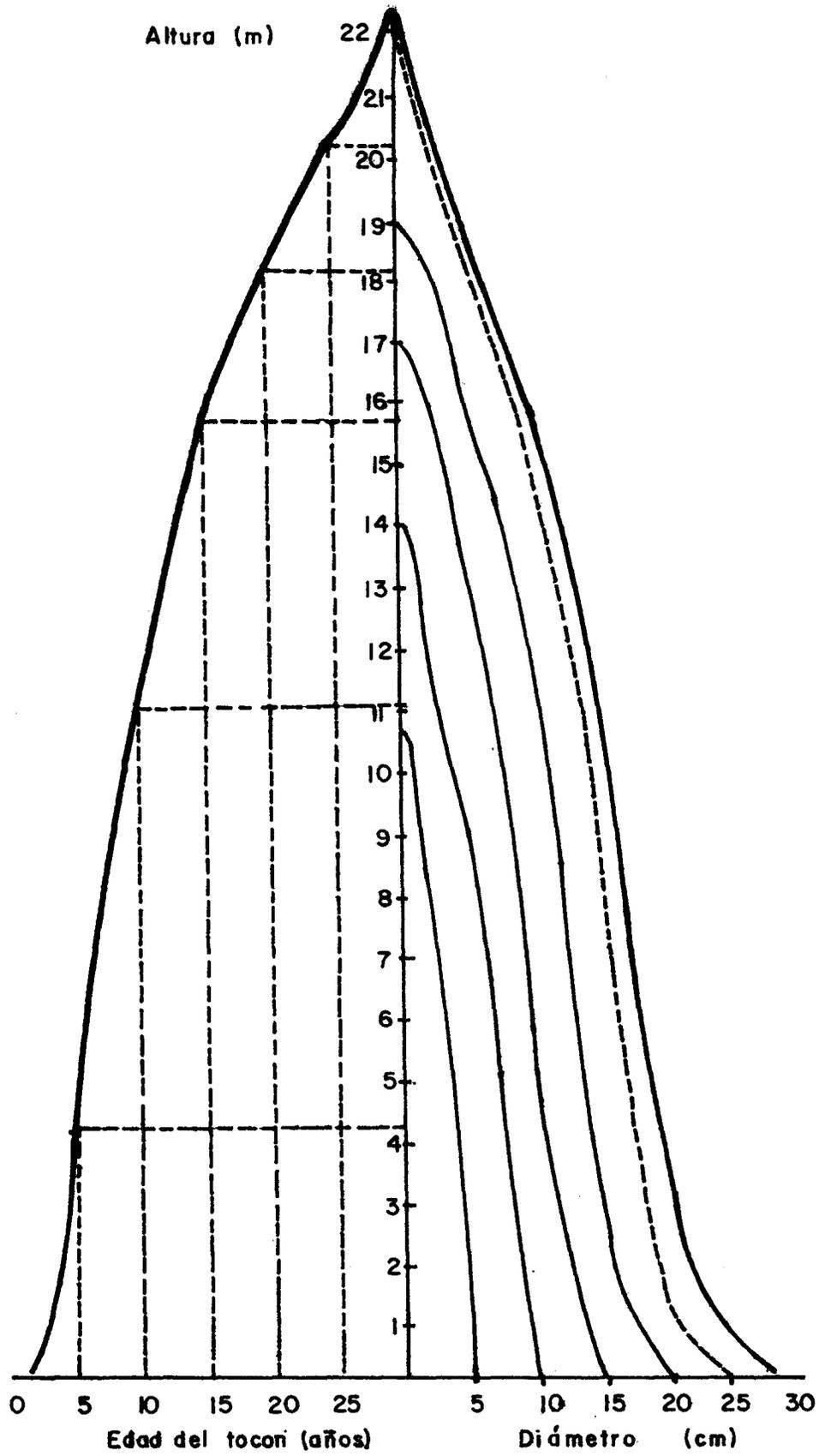


FIGURA No. 29

obtuvo un factor de forma de 0.46 y 0.49 para un diámetro de 18 cm.

El factor de corteza para el bosque en estudio es de 0.86. Este factor es útil para convertir los valores en diámetro, área basal y volumen con corteza expresados sin corteza.

El porcentaje de corteza se obtuvo con el promedio de los porcentajes de corteza individual, mediante la fórmula:

$$\% \text{ de corteza} = \frac{V_{cc} - V_{sc}}{V_{cc}} \times 100$$

El porcentaje fue de 20.1%, el cual es menor comparado con otras regiones para esta especie, donde el porcentaje de corteza es de 22 a 32%.

VI. CONCLUSIONES

1. El incremento medio con corteza del dap es de 0.8573 cm/año y el incremento medio en altura es de 0.7513 m/año. El período de mayor crecimiento en altura sucedió en el periodo de 5 a 10 años, en el cual se presentaron incrementos de 2.0 m/año. El incremento medio en volumen es de 0.0127 m³/árbol/año que equivale a 6.2985 m³/ha/año. El incremento de área basal sin corteza es de 0.00118 m²/árbol/año que equivale a 0.5866 m²/ha/año.
2. El incremento periódico máximo en diámetro sin corteza a 0.3 m, de 0 - 5 años, fue de 1.5567 cm/año. De la misma manera, el incremento periódico máximo sin corteza del diámetro a 10.3, de 0 - 5 años fue de 1.3254 cm/año.
3. El tiempo de paso de una categoría diamétrica a otra superior es de 7 años y en un periodo 14 años sólo el 39% de los árboles alcanzará un diámetro de 30 cm o más.
4. Las curvas de crecimiento en altura y volumen presentan un comportamiento sigmoide, aunque en los primeros años el crecimiento es mucho más rápido que en los últimos años. El P. caribaea es una especie de rápido crecimiento inicial. Las curvas de crecimiento en diámetro y área basal manifiestan que aún continua creciendo y no ha llegado a la última etapa de la curva sigmoidea.
5. Las relaciones individuales entre los árboles, diámetro-altura, área basal-altura, diámetro-volumen real y área basal-volumen real, son altamente significativas. La relación dap-volumen real puede utilizarse para el calculo de volúmenes en pie, dado el alto coeficiente de correlación (0.9444). La ecuación es la siguiente: $v = 0.1842 - 0.0198d + 0.0013d^2$.
6. Existe correlación altamente significativa entre el área ocupada por árbol y el área basal total por unidad de superficie; y el área disponible relacionada al volumen promedio individual. A menor área disponible mayor área basaltotal, contrariamente a la otra relación, donde a mayor área disponible por árbol, mayor volumen individual.
7. La densidad promedio del rodal es de 494 árboles /ha considerando al pino solamente y 513 árboles /ha incluyendo a las otras especies latifoliadas.

8. Los resultados de materia orgánica, nutrientes disponibles, cationes intercambiables y la capacidad de intercambio catiónico indican que el bosque está ubicado en un sitio de baja productividad. Esto está demostrado en la altura dominante que es muy inferior a la observada en otros sitios.
9. El factor mórfico es de 0.48 y el factor de corteza es de 0.86. El porcentaje de corteza en el rodal es de 20.1%.
10. Las otras especies arbóreas que habitan juntamente con el pino son: Clethra macrophylla y Byrsonima crassifolia. Con menos representatividad aparece Quercus oleoides. Las especies en el estrato herbáceo más importantes, ordenadas por su frecuencia de mayor a menor, son: Tripsacum laxum, Pteridium aquilinum y Setaria tenacissima.
11. El área basal promedio para P. caribaea es de $15.8 \text{ m}^2/\text{ha}$ y $16.241 \text{ m}^2/\text{ha}$, incluyendo a las otras especies. La altura promedio es de 18.97 m y la dominante es de 22.81 m. El diámetro a 1.3 m del fuste es de 19.5 cm.
12. La tabla de volumen local obtenida a través de correlación múltiple posee un coeficiente de correlación de 0.9137, ligeramente superior que el de la tabla de volumen estándar de Peters. La ecuación es la siguiente: $V = 0.006704806 + 0.00002812803 \text{ DAP}^2 h$. El volumen se obtiene en m^3 sin corteza, utilizándose el diámetro (1.3 m) en cm y la altura (h) en m.

VII. RECOMENDACIONES

1. Determinar la validez de los modelos para poder utilizarlos en los planes de manejo e inventario forestal en la finca Cooperativa Machaquilá.
2. Analizar los datos de incremento y crecimiento establecidos, conjuntamente con los factores económicos y comerciales para determinar la mejor época de extracción forestal.
3. Establecer el grado de representatividad de las correlaciones en las áreas aledañas, determinar su variación y realizar estandarización de ecuaciones para ser utilizadas a nivel regional.

VIII. BIBLIOGRAFIA

1. ALDER, D. 1980. estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento; predicción del rendimiento. FAO. Estudio FAO: Montes no. 22/2. v 2, 118 p.
2. BORRIES, O. 1967. Estudio de las características ecológicas de la asociación de encino (Quercus oleoides Schlecht. y Cham.) en Guanacaste, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Costa Rica, IICA. 94 p.
3. CAMPOS, J. 1970. Estudios sobre índice de sitio e tabelas de volume e producao para Pinus elliotti Engelm. No. Estado de Sao Paulo, Brasil. Tesis Mag. Sc. Costa Rica, IICA. 82 p.
4. CASTAÑEDA, L.A. 1983. El efecto de las quemas en las propiedades del suelo. Tikalia (Gua.) 2(1):57-74.
5. CATIE. PROGRAMA DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES. 1980. Formulario para la descripción de sitios y análisis dasométricos de parcelas. Turrialba, C.R. 29 p.
6. CRUZ, J.R. DE LA. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. p. 22-23.
7. CORPORACION HONDUREÑA DE DESARROLLO FORESTAL (Hond.) 1976. Manual del establecimiento y análisis de parcelas permantes de rendimiento. Honduras. 30 p.
8. DANIEL, T.; HELMS, J.; BAKER, F. 1982. Principios de silvicultura. Trad. por Ramón Elizondo Mata. 2 ed. México, D.F., Mc Graw Hill. 492 p.
9. GOITIA, E. 1954. Estudio del incremento volumétrico de Cupressus lusitanica en relación a la edad y al sitio. Tesis Mag. Sc. Costa Rica, IICA. 58 p.
10. GONZALES, E. 1947. Silvicultura. 3 ed. Madrid, Possat. p. 189-195.
11. GUATEMALA. INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL. 1977. Machaquilá. Guatemala. Esc. 1:50.000.
12. IICA (Perú). 1976. Documentos normativos de la evaluación y manejo de plantaciones forestales en la Sierra del Perú. In Evaluación de las plantaciones forestales del Perú. Lima, Perú, Ministerio de Agricultura, Dirección General Forestal y de Fauna. p. D1-D27. (Serie de Informes de conferencias, cursos y reuniones no. 100).
13. ISOLAN, F. 1972. Estudio da qualidade de sitio para Pinus caribaea Morelet var hondurensis Barret e Golfari no cantao de Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Costa Rica, IICA. 98 p.

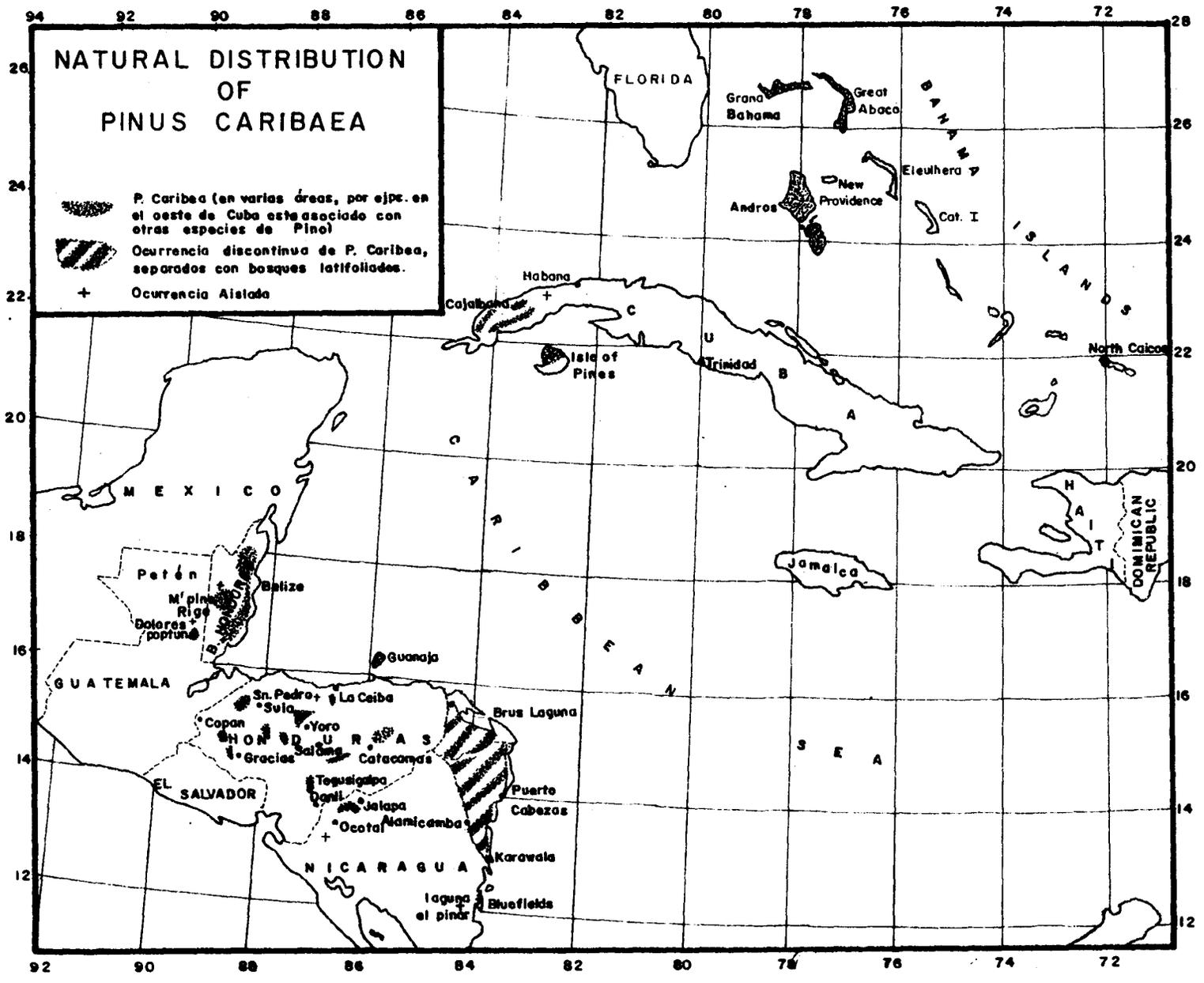
14. JADAN, P. 1972. Sistemas de clasificación de índice de sitio para Eucalyptus deglupta Bl. en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Costa Rica, IICA. 98 p.
15. KLEPAC, D. 1983. Crecimiento y rendimiento de árboles y masas forestales. 2 ed. Chapingo, Mex., Universidad Autónoma de Chapingo. 365 p.
16. KRAMER, P.; KOZLOWSKI, T. 1960. Physiology of tree. London, Mc Graw Hill. 642 p.
17. LAMB, A.F.A., comp. 1978. Pinus caribaea; fast growing timber trees of the lowland trionics. Oxford, University of Oxford; Department of Forestry. Now Tropical Forestry Papers no. 6. 254 p.
18. LOJAN, L. 1968. Tendencias del crecimiento radial de 23 especies forestales. Turrialba (C.R.) 18(3):275-281.
19. MUNSELL COLOR COMPANY (Md). 1954. Munsell soil charts. Maryland, EE.UU. 20 p.
20. MUSALEM, M.A.; ROSERO, P. 1973. Comportamiento de variedades y procedencias de Pinus caribaea Morelet, introducidas en Turrialba, Costa Rica. Turrialba (C.R.) 23(3):327-332.
21. NUÑEZ, O. 1986. Estudio de crecimiento y rendimiento de Pinus maximoi H.E. Moore, en Cobán, Alta Verapaz. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 112 p.
22. ODUM, E.P. 1982. Ecología. Trad. por Carlos Gerward Ottenwaelder. 3 ed. México, D.F., Interamericana. p. 149-150.
23. ORTIZ, L.; CASTAÑEDA, L. 1984. Proyecto; estudio del crecimiento de bosques de coníferas en diferentes sitios. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, IIA. 7 p. (mimeo.)
24. PETERS, R. 1976. Tablas de volumen para las especies de coníferas en Guatemala. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. Documento de Trabajo no. 17. p. 9, 60.
25. _____ . 1977. Inventarios y estudios dendrométricos en bosques de coníferas. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 69 p.
26. PRITCHETT, W.L. 1986. Suelos forestales; propiedades, conservación y mejoramiento. Trad. por José Hurtado Vega. México, D.F., Limusa. p. 309-310.

27. REYNA, N.; GEWALD, N. 1980. Análisis de incrementos en madera en plantaciones de Pinus caribaea var hondurensis Barret Golf en Turrialba, Costa Rica. Turrialba (C.R.) 30(2):167-171.
28. SALAZAR, R.; ALBERTIN, W. 1973. Requerimientos edáficos y climáticos para Pinus caribaea var hondurensis Barr y Golf en Turrialba, Costa Rica. Turrialba (C.R.) 23(4):444-449.
29. SEMINAR AND STUDY TOUR OF LATIN-AMERICAN CONIFERS. (1962, México, D.F.). 1962. México, D.F., Secretaría de Agricultura y Ganadería, Instituto Nacional de Investigaciones forestales. 38 p.
30. SIMMONS, Ch.; TARANO, J.; PINTO, J. 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. por Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, José de Pineda Ibarra. p. 825, 922-923.
31. TSCHINKEL, H. 1972. La clasificación de sitios y el crecimiento del Cupressus lusitanica en Antioquía, Colombia. Revista Facultad Nacional de Agronomía (Col.) 27(1):3-10.
32. VAN SOEST, J. et al. 1969. La normalización de los símbolos en dasometría. Roma, FAO. 19 p.
33. VEILLON, J. 1965. Curso de ordenación forestal. Turrialba, C.R., IICA, Programa Forestal. 85 p.
34. WEBB, D.B. 1980. Guía y clave para seleccionar especies de ensayos forestales de regiones tropicales y subtropicales. London, Overseas Development Administration. p. 179-180



IX. A N E X O

Figura 30A



CUADRO 23A. Descripción del perfil promedio del suelo en las parcelas de muestreo permanente en Machaquilá, Poptún, Petén.

Horizonte	A	AC	C	2C	
Características Generales	0 - 3 (cm)	3 - 15 (cm)	15 - 40 (cm)	40 - 100 (cm)	
Textura	franco arenoso	franco arcillo are noso	franco arcilloso	arcilloso	
Color	Seco	10YR 5/3 café	2.5Y 5/4 café oli- vo claro	2.5Y 7/6 amarillo	10YR 4/8 rojo
	Húmedo	10YR 3/2 café grisáceo	10YR 3/3 café fuer- te	2.5Y 6/8 amarillo olivo	2.5YR 4/6 rojo
Consisten- cia	Tipo	Granular	Granular	Bloques	Bloques
	Clase	fino	fino	mediano	mediano
	Grado	Débil	Débil	Débil	Media
Raíces	Abundantes	Abundantes	Pocas	Escasas	
pH	5.9	5.8	5.7	5.7	
Fósforo(ppm)	2.29	2.29	1.46	1.45	
Potasio (ppm)	72	45	19	21	
Calcio (meq/100 gr)	1.25	0.62	0.44	0.38	
Magnesio (meq/100 gr)	0.48	0.33	0.23	0.27	
% materia orgánica	4.86	3.20	1.41	0.84	
Densidad aparente (gr/ml)	1.05	1.13	1.14	1.17	
Límites	Nitidez	gradual	gradual	gradual	
	Forma	ondulado	ondulado	ondulado	

.... este cuadro continua en la pag. 92.

....continuación del Cuadro 23A.

Calicata 1

Horizonte	A	AC	C	2C
Profundidad (cm)	0 - 3	3 - 14	14 - 50	50 - 95
Capacidad de intercambio catiónico (meq/100 gr suelo)	3.5	2.4	2.4	3.3
Ca intercambiable (meq/100 gr suelo)	1.08	0.25	0.33	0.17
Mg intercambiable (meq/100 gr suelo)	0.44	0.15	0.18	0.08
Na intercambiable (meq/100 gr suelo)	0.085	0.10	0.07	0.08
K intercambiable (meq/100 gr suelo)	0.20	0.11	0.05	0.05
Al extraíble (meq/100 gr suelo)	2.25	2.25	2.75	5.25
% Saturación de bases	51.57	25.42	26.25	11.51

Calicata 2

Profundidad (cm)	0 - 3	3 - 16	16 - 58	58 - 110
Capacidad de intercambio catiónico (meq/100 gr suelo)	5.2	3.8	4.2	3.6
Ca intercambiable (meq/100 gr suelo)	2.62	0.75	0.33	0.25
Mg intercambiable (meq/100 gr suelo)	0.85	0.32	0.18	0.21
Na intercambiable (meq/100 gr suelo)	0.10	0.08	0.08	0.08
K intercambiable (meq/100 gr suelo)	0.49	0.30	0.08	0.11
Al extraíble (meq/100 gr suelo)	1.75	2.25	3.20	8.25
% Saturación de bases	78.07	41.43	15.95	18.05

CUADRO 24A Registros de temperatura, precipitación y humedad relativa mensual, estación Poptún.

Mes	Precipitación \bar{X} mensual (mm)	Temperatura \bar{X} mensual (mm)	Humedad Relativa (%)
Enero	20.8	128.3	86
Febrero	20.8	87.4	85
Marzo	23.7	39.3	79
Abril	24.2	75.0	74
Mayo	24.4	153.2	77
Junio	23.8	201.9	80
Julio	23.1	261.2	83
Agosto	23.2	187.6	81
Septiembre	23.5	277.7	86
Octubre	22.7	188.2	87
Noviembre	21.0	232.8	87
Diciembre	20.4	150.2	88
		1982.8 mm	

FUENTE: Datos obtenidos de la estación Poptún del INSIVUMEH.

CUADRO 25A. Datos iniciales y finales del aclareo efectuado

Bloque	Parcela	n	G inicial (m ²)	árboles elimina- dos.	G eliminada (m ²)	arb.re manen- tes.	G actual (m ²)
A	1	100	2.6650	54	1.3192 (50%)	46	1.3458
	2	79	2.5513	00	0.0000 (0%)	79	2.5513
	3	71	2.5570	20	0.7859 (30%)	51	1.7711
B	1	84	2.8704	28	0.8514 (30%)	56	2.0190
	2	61	2.7178	00	0.0000 (0%)	61	2.7178
	3	80	2.6702	38	1.3565 (50%)	42	1.3138
Totales		475	16.0318	140	4.3130	335	11.7188
Media		79	2.6719				

26A. ESPECIE : Pinus caribaea Moreletvar hondurensis Barr. y Golf. (34)Taxonomía

- 1 Familia Pinaceae
 2 Sinónimos -
 3 Nombres vulgares Pino caribbea (Caribbean pine)

Distribución natural

- 4 Latitud 12°N - 18°N
 5 Areas Costa atlántica de América Central,
 desde Belice hasta Nicaragua Septen
 trional.

Clima

- 6 Rango altitudinal 0 - 1.000 metros
 7 P.M.A. 660 - 4.000 mm
 8 Régimen de lluvia Verano
 9 Estación seca (meses) 0 - 6
 10 T. Max. Prom. del mes más cálido ... 29 - 34°C
 11 T. Min. Prom. del mes más frío..... 15 - 23°C
 12 T. Promedio Anual 21 - 27°C

Suelos

- 13 Textura Arenosos, o franco-arenosos.
 14 Reacción (pH) Neutros, o ácidos.
 15 Drenaje Bueno. Tolera drenaje moderadamente
 impedido.
 16 Otras características..... Suelos fértiles

Silvicultura

- 17 Tamaño 35 - 40 metros de altura
 18 Descripción Siempreverde
 19 Forma Aceptable
 20 Necesidad de luz Exigente de luz
 21 Otras características Semi resistente al fuego y suscepti-
 ble a heladas. Variación entre pro-
 cedencias.

Rendimiento

22 Volumen 21 - 28 m³/ha/año.

Usos conservacionales

23 -

Madera

24 Densidad 0.35 - 0.50

25 Durabilidad natural Moderadamente durable, o no durable.

26 Preservación Impregnación fácil.

27 Trabajabilidad Fácil

28 Condiciones de secado Sin problema

Utilización

30 Madera aserrada Construcciones pesadas y livianas.
Construcción de barcos.

31 Madera rolliza Postes de transmisión. Estacas.
Pulpa de fibra larga.

32 Otros productos Resina

Vivero

33 Fuentes de semilla Honduras, Guatemala, Belice, Africa
del Sur, Australia.

34 Semillas por Kg 52,000 - 72,000.

35 Almacenaje En seco, en frío, durante varios años.

36 Pre-tratamiento Ninguno

37 Sistema de producción..... En bolsas.

38 Necesidades especiales Mycorriza esencial/sujeto al "damping
off".

39 Tiempo de germinación y trasplante.. Germinación en 8 - 21 días. Alcan-
za el tamaño para plantar en 5 - 6
meses.

Plagas y enfermedades principales

40 Cercospora pini-densiflorae puede
atacar seriamente las acículas en
plantaciones exóticas. Los barrenadores
Dendroctonus constituyen la
plaga mas grave de América Central.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1845

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

Referencia
Asunto

"IMPRIMASE"

ING. AGR. CESAR A. CASTANEDA S.
D E C A N O