

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS

INDICES DE SITIO PRELIMINARES PARA *Cupressus lusitanica* Miller, *Pinus caribaea* Morelet
var. *hondurensis* Barret & Golfari, *Pinus maximinoii* H. E. Moore Y *Pinus strobus* L. var. *chiapensis*
Martínez, ESTABLECIDAS EN PLANTACION EN EL PROYECTO DE REFORESTACION
SAQUICHAJ, COBAN, ALTA VERAPAZ



PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA DE
LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

JULIO TZIRIN BATZIN

En el acto de investidura como

INGENIERO AGRONOMO

EN

RECURSOS NATURALES RENOVABLES

EN EL GRADO ACADEMICO DE

LICENCIADO

Guatemala, agosto de 1998

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Ing. Agr. EFRAIN MEDINA GUERRA

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO Ing. Agr. JOSE ROLANDO LARA ALECIO
VOCAL I. Ing. Agr. JUAN JOSE CASTILLO MONT
VOCAL II. Ing. Agr. WILLIAM ROBERTO ESCOBAR LOPEZ
VOCAL III. Ing. Agr. ALEJANDRO A. HERNANDEZ FIGUEROA
VOCAL IV. Br. OSCAR JAVIER GUEVARA PINEDA
VOCAL V. P. Agr. EDGAR DANILO JUAREZ QUIM
SECRETARIO Ing. Agr. GUILLERMO E. MENDEZ BETETA

Guatemala, agosto de 1998

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente.

Honorables Miembros:

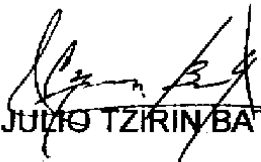
De conformidad con las normas establecidas en la ley orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a su consideración el trabajo de tesis titulado:

INDICES DE SITIO PRELIMINARES PARA *Cupressus lusitanica* Miller, *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* Barret & Golfari, *Pinus maximinoii* H. E. Moore Y *Pinus strobus* L. var. *chiapensis* Martínez, ESTABLECIDAS EN PLANTACION EN EL PROYECTO DE REFORESTACION SAQUICHAJ, COBAN, ALTA VERAPAZ.

Presentándolo como requisito previo para optar el título de Ingeniero Agrónomo en Recursos Naturales Renovables, en el grado académico de Licenciado.

Esperando merezca su aprobación, me suscribo de ustedes,

Atentamente:


JULIO TZIRIN BATZIN

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS

Fuente de bondad y sabiduría.

Gracias por las oportunidades que me has dado.

MIS PADRES

Matilde Tzirin Hernández
Patricia Batzin Boch

Gracias por sus esfuerzos y sacrificios.

MIS HERMANOS

Patricia
Roxana (Q.E.P.D.)
Rene
Otoniel (Q.E.P.D.)
Débora
Prisila (Q.E.P.D.)

Gracias por su apoyo.

MIS SOBRINOS

Gracias por su cariño.

MIS AMIGOS

Gracias por su amistad.

TESIS QUE DEDICO

A:

Guatemala, país que merece un mejor futuro en el cual sea realidad el desarrollo humano sostenible.

Mi pueblo Patzún, lugar que siempre llevaré en el corazón.

A mis centros de estudio, en especial a la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala

AGRADECIMIENTOS

A:

Ing. Agr. Msc. Luis Fernando Ortíz (Q.E.P.D.), por su valioso aporte a la investigación realizada.

Ing. Agr. Msc. Mario Alberto Méndez, por su apoyo en la conclusión de este trabajo.

Ing. Agr. Msc. Víctor Manuel Álvarez, por la asesoría brindada en el análisis estadístico de la información.

Familia Batzin Yaqui por haberme brindado su apoyo incondicional, con el cual he alcanzado una meta más en mi vida.

Empresa Reforestadora Industrial S. A. - REFINSA -, especialmente a las siguientes personas:

**Ing. Gustavo Sinibaldi
Sr. Manuel del Valle Cano
Ing. Agr. Rudy Osorio Vásquez
Sr. Carlos Rosales Betancourt**

Personal de campo del proyecto de reforestación Saquichaj, en particular a:

**Pedro Alveño Zarceño
Ronaldo Salazar Pérez
Geovani Salazar Pérez**

CONTENIDO GENERAL

INDICE DE FIGURAS.....	xi
INDICE DE CUADROS.....	xii
RESUMEN.....	xv
1. INTRODUCCION.....	01
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	02
3. MARCO TEORICO.....	03
3.1 Marco conceptual	
3.1.1 <i>Cupressus lusitanica</i> Miller.....	03
A. Descripción taxonómica.....	03
B. Distribución natural.....	03
3.1.2 <i>Pinus caribaea</i> Morelet var. <i>hondurensis</i> Barret & Golfari.....	04
A. Descripción taxonómica.....	04
B. Distribución natural.....	04
3.1.3 <i>Pinus maximinoii</i> H. E. Moore.....	05
A. Descripción taxonómica.....	05
B. Distribución natural.....	05
3.1.4 <i>Pinus strobus</i> L. var. <i>chiapensis</i> Martínez.....	06
A. Descripción taxonómica.....	06
B. Distribución natural.....	07
3.1.5 Calidad de sitio.....	07
3.1.6 Métodos para la determinación de la calidad de sitio.....	08
3.1.7 Índice de sitio.....	08
A. Uso de la altura dominante como indicador del sitio.....	08
B. Curvas de índice de sitio.....	09
3.1.8 Modelos de estimación de sitios basados en factores ambientales.....	11
3.1.9 Análisis fustal.....	12
3.2 Marco referencial	
3.2.1 Ubicación geográfica y vías de acceso.....	13
3.2.2 Clima.....	13
A. Precipitación.....	13
B. Temperatura.....	16
C. Humedad relativa.....	16
3.2.3 Zona de vida.....	16
3.2.4 Geología y suelos.....	16
3.2.5 Fisiografía.....	17
3.2.6 Topografía.....	17
3.2.7 Hidrografía.....	17

CONTENIDO GENERAL

4.	OBJETIVOS	
4.1	General.....	18
4.2	Específicos.....	18
5.	METODOLOGIA	
5.1	Delimitación del área de estudio.....	19
5.2	Selección de la muestra.....	19
5.3	Forma y tamaño de las parcelas temporales de medición.....	22
5.4	Medición de variables.....	23
	5.4.1 Diámetros.....	23
	5.4.2 Altura dominante.....	23
	5.4.3 Muestreo de suelos.....	23
	5.4.4 Características físicas y fisiográficas.....	24
	A. Profundidad del suelo.....	24
	B. Posición topográfica.....	24
	C. Exposición.....	25
	D. Pendiente.....	25
5.5	Análisis fustal.....	25
5.6	Procesamiento de la información.....	25
	5.6.1 Determinación de la calidad de sitio.....	25
	5.6.2 Elaboración de curvas de índice de sitio.....	27
	5.6.3 Análisis de los factores de sitio.....	27
6.	RESULTADOS Y DISCUSION	
6.1	<i>Cupressus lusitanica</i> Miller.....	30
	6.1.1 Índices de sitio.....	30
	6.1.2 Curvas de índices de sitio.....	31
	6.1.3 Análisis de los factores de sitio.....	34
6.2	<i>Pinus caribaea</i> Morelet var. <i>hondurensis</i> Barret & Golfari.....	38
	6.2.1 Índices de sitio.....	38
	6.2.2 Curvas de índices de sitio.....	41
	6.2.3 Análisis de los factores de sitio.....	42

CONTENIDO GENERAL

6.3	<i>Pinus maximinoii</i> H. E. Moore	46
	6.3.1 Indices de sitio.....	46
	6.3.2 Curvas de índices de sitio.....	48
	6.3.3 Análisis de los factores de sitio.....	49
6.4	<i>Pinus strobus</i> L. var. <i>chiapensis</i> Martínez	52
	6.4.1 Indices de sitio.....	52
	6.4.2 Curvas de índices de sitio.....	53
	6.4.3 Análisis de los factores de sitio.....	56
7.	CONCLUSIONES.....	59
8.	RECOMENDACIONES.....	61
9.	BIBLIOGRAFIA.....	62
10.	APENDICE.....	65

INDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1 Ubicación geográfica de la finca Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz.....	14
2 Vías de acceso a la finca Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1997.....	15
3 Mapa de estratificación y ubicación de las parcelas temporales de muestreo establecidas en el proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz.....	20
4 Curvas anamórficas de evolución en altura dominante, por clase de sitio, para la especie <i>Cupressus lusitanica</i> , establecida en el proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1996.....	33
5 Mapa preliminar de calidades de sitio de las especies establecidas en el proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1997.....	35
6 Curvas anamórficas de evolución en altura dominante, por clase de sitio, para la especie <i>Pinus caribaea var. hondurensis</i> , establecida en el proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1996.....	42
7 Curvas anamórficas de evolución en altura dominante, por clase de sitio, para la especie <i>Pinus maximinoli</i> , establecida en el proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1996.....	49
8 Curvas anamórficas de evolución en altura dominante, por clase de sitio, para la especie <i>Pinus strobus var. chiapensis</i> , establecida en el proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1996.....	55

INDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1 Distribución de las parcelas temporales de medición por rango altitudinal. Proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1996.....	21
2 Número de parcelas temporales de medición establecidas por especie en el proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1996.....	22
3 Índices de sitio estimados para la especie <i>Cupressus lusitanica</i> en el proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1996.....	32
4 Clases de sitio para los rodales de <i>Cupressus lusitanica</i> establecidos en el proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1996.....	32
5 Características fisiográficas de 13 parcelas temporales establecidas en los rodales de <i>Cupressus lusitanica</i> . Proyecto de reforestación, Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1996.....	34
6 Características químicas promedio, por clase de sitio, para la especie <i>Cupressus lusitanica</i> (Cc) en el proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1997.....	36
7 Coeficientes de correlación canónica entre la calidad de sitio y los factores de sitio medidos en los rodales de <i>Cupressus lusitanica</i> . Proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1997.....	37
8 Índices de sitio estimados para la especie <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> en el proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1996.....	40
9 Clases de sitio para los rodales de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> establecidos en el proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1996.....	41
10 Características fisiográficas de 15 parcelas temporales establecidas en los rodales de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> . Proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1996.....	43
11 Características químicas promedio, por clase de sitio, para la especie <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> (Pc) en el proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1997.....	43

INDICE DE CUADROS

xiii

Cuadro	Página	
12	Coeficientes de correlación canónica entre la calidad de sitio y los factores de sitio medidos en los rodales de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> . Proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1997.....	44
13	Indices de sitio estimados para la especie <i>Pinus maximinoii</i> en el proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1996.....	47
14	Clases de sitio para los rodales de <i>Pinus maximinoii</i> establecidos en el proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1996.....	48
15	Características fisiográficas de 16 parcelas temporales establecidas en los rodales de <i>Pinus maximinoii</i> . Proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1996.....	50
16	Características químicas promedio, por clase de sitio, para la especie <i>Pinus maximinoii</i> (Pt) en el proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1997.....	50
17	Coeficientes de correlación canónica entre la calidad de sitio y los factores de sitio medidos en los rodales de <i>Pinus maximinoii</i> . Proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1997.....	51
18	Indices de sitio estimados para la especie <i>Pinus strobus</i> var. <i>chiapensis</i> en el proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1996.....	54
19	Clases de sitio para los rodales de <i>Pinus strobus</i> var. <i>chiapensis</i> establecidos en el proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1996.....	54
20	Características fisiográficas de 10 parcelas temporales establecidas en los rodales de <i>Pinus strobus</i> var. <i>chiapensis</i> . Proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1996.....	56
21	Características químicas promedio, por clase de sitio, para la especie <i>Pinus strobus</i> var. <i>chiapensis</i> (Ps) en el proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1997.....	57

INDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
22 Coeficientes de correlación canónica entre la calidad de sitio y los factores de sitio medidos en los rodales de <i>Pinus strobus</i> var. <i>chiapensis</i> . Proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1997.....	57
23A Boleta de campo utilizada para la toma de datos de las características de sitio y del análisis fustal.....	66
24A Modelos para estimar la calidad de sitio para <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> y <i>Cupressus lusitanica</i> , por medio de factores de sitio, determinados en Costa Rica y Panamá y Colombia, respectivamente.....	67

INDICES DE SITIO PRELIMINARES PARA *Cupressus lusitanica* Miller, *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* Barret & Golfari, *Pinus maximinoii* H. E. Moore Y *Pinus strobus* L. var. *chiapensis* Martínez, ESTABLECIDAS EN PLANTACION EN EL PROYECTO DE REFORESTACION SAQUICHAJ, COBAN, ALTA VERAPAZ

PRELIMINARY SITE INDEX FOR *Cupressus lusitanica* Miller, *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* Barret & Golfari, *Pinus maximinoii* H. E. Moore AND *Pinus strobus* L. var. *chiapensis* Martínez, ESTABLISHED IN PLANTATIONS IN THE SAQUICHAJ REFORESTATION PROJECT, COBAN, ALTA VERAPAZ

RESUMEN

La empresa Reforestadora Industrial Sociedad Anónima -REFINSA- posee en el municipio de Cobán, Alta Verapaz, la finca conocida como Saquichaj, la cual se encuentra ubicada dentro de la zona de vida Bosque muy Húmedo Subtropical (frío). Dentro de esta finca, **REFINSA** inició en el año de 1977 el establecimiento del proyecto de reforestación denominado Saquichaj, utilizando las siguientes especies coníferas: *Cupressus lusitanica* Miller, *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* Barret & Golfari, *Pinus maximinoii* H. E. Moore y *Pinus strobus* L. var. *chiapensis* Martínez.

En el año de 1996, considerando la necesidad de obtener información básica para la elaboración de un plan de manejo para el proyecto de reforestación Saquichaj, se establecieron un total de 54 parcelas temporales dentro de la plantación forestal. La información de la relación edad-altura dominante obtenida en las parcelas, fue la base para la determinación preliminar de las calidades de sitio por especie.

La relación edad-altura dominante se utilizó para ajustar el modelo de Schumacher, a través del programa SINDEX del sistema de paquetes estadísticos PALMER (PSP).

Cupressus lusitanica presentó índices de sitio que variaron de 14.69 a 21.79 metros. En los rodales de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* los índices de sitio estimados variaron de 12.40 a 18.80 metros, para *Pinus maximinoii* el índice de sitio menor estimado fue de 13.34 metros y el índice de sitio mayor estimado fue de 20.00 metros. *Pinus strobus* var. *chiapensis* presentó un rango de variación de índice de sitio de 20.75 a 29.88 metros.

En la investigación también se realizó un análisis de correlación entre las calidades de sitio y algunos factores de sitio. Para este análisis específicamente se utilizó la correlación canónica con ayuda del sistema SAS (Statistical Analysis System). En los resultados obtenidos las características químicas del suelo presentaron los coeficientes de correlación más altos.

Complementando la información del análisis de correlación, en el documento se presenta un modelo de regresión para estimar el índice de sitio, por medio de algunos factores de sitio, para cada especie bajo estudio. La selección de estos modelos se realizó con ayuda del sistema SAS y son los que se presentan a continuación:

$$IS=11.254208+1.018906Mg+2.129232Zn$$

(*Cupressus lusitanica* con $R^2=0.75$)

$$IS=19.163325+0.011501Pf-0.05328Mn-0.805288Mo$$

(*Pinus caribaea* var. *hondurensis* con $R^2=0.89$)

$$IS=23.82-0.000134Pf-124.93589K+0.910413Zn$$

(*Pinus maximinoii* con $R^2=0.99$)

$$IS=17.463041+0.006058Ex-0.448079PT+93.211921K+0.559576Al$$

(*Pinus strobus* var. *chiapensis* con $R^2=0.69$)

Donde:

- IS = Índice de sitio (metros)
- Mg = magnesio (meq/100ml)
- Zn = Zinc(microgramos/ml)
- Pf = Profundidad del suelo (centímetros)
- Mn = Manganeso(microgramos/ml)
- Mo = Porcentaje de materia orgánica
- K = Potasio (meq/100ml)
- Ex = Exposición (grados)
- PT = Posición topográfica
- Al = Aluminio(meq/100ml)

Se recomienda aprovechar las parcelas de muestreo establecidas en este estudio para recabar la información necesaria y así ajustar el modelo de Schumacher de cada especie a la edad de turno. Además, es importante obtener información adicional sobre índices de sitio, estableciendo parcelas temporales dentro de las plantaciones, ya que es necesario elaborar un mapa más preciso de calidad de sitio.

En futuros proyectos de reforestación dentro de la finca Saquichaj, la calidad de sitio debe de ser uno de los aspectos importantes a considerar al momento de seleccionar la especie a establecer, por lo cual se pueden utilizar los modelos de regresión seleccionados para cada especie, especialmente para estimar el índice de sitio en áreas sin cobertura forestal.

1. INTRODUCCION

En el año de 1977 dentro de la finca Saquichaj, ubicada en Cobán, Alta Verapaz, fue establecido el proyecto de reforestación Saquichaj. Este proyecto se ejecutó bajo el Programa de incentivos fiscales establecido en la anterior ley forestal de Guatemala, promulgada mediante el decreto 58-74 (13).

La finca Saquichaj posee una extensión de 1897.08 hectáreas, de las cuales 1114.83 hectáreas fueron abarcadas por el proyecto de reforestación, equivalente al 58.77% del área total. El resto de la finca (694.34 hectáreas) aún posee vegetación natural primaria (23).

En la actualidad el área plantada se ha reducido en un 46.28% del área que inicialmente abarcó el proyecto (23), debido a la falta de un manejo silvícola adecuado. Esta situación se debió principalmente a ciertas situaciones que desestimularon la inversión en el proyecto, por ejemplo, la falta de mercado para productos intermedios (diámetros menores).

Para el rescate y desarrollo de la masa forestal existente es importante obtener la información básica que permita elaborar un plan general de manejo, dentro del cual se formulen las actividades silvícolas pertinentes. La calidad de sitio es parte de esa información.

El presente estudio se realizó con el fin de estimar preliminarmente las calidades de sitio para las especies establecidas en el proyecto, mediante índices de sitio. Este carácter preliminar se debe a que la plantación en general aún no alcanza la edad de turno. También se obtuvo información sobre la correlación existente entre la calidad de sitio con algunas características fisiográficas y edáficas del área de estudio. Además, como complemento al análisis de correlación en este documento se presentan algunos modelos de regresión, los cuales presentan las variables que más relación presentaron con la calidad de sitio.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para lograr el manejo sostenible de una plantación forestal se debe de contar con la información básica para elaborar los respectivos planes de manejo que aseguren el rendimiento máximo y continuo del recurso.

La poca información desarrollada en especies forestales en Guatemala, especialmente en lo concerniente a calidad de sitio, ha influido en que generalmente los planes de manejo forestal elaborados no tomen en consideración este aspecto importante.

Esta limitación de información ha provocado una incertidumbre en la inversión, ya que se desconocen objetivamente los resultados a obtener a corto, mediano y largo plazo.

La información de la potencialidad de producción de los sitios determinada en este estudio, integrada a la información obtenida en los inventarios forestales ejecutados en las plantaciones del proyecto Saquichaj, son las herramientas básicas para elaborar el plan de manejo para los rodales aún establecidos en el proyecto.

La información obtenida del análisis de correlación entre calidad de sitio y las características fisiográficas y edáficas de sitio consideradas en este estudio, también es de suma importancia para que en futuros proyectos de reforestación en las áreas suprimidas por la vegetación natural secundaria o en áreas cercanas con características similares a las áreas bajo estudio, se tome en cuenta la calidad de sitio para establecer determinada especie.

3. MARCO TEORICO

3.1 Marco conceptual

3.1.1 *Cupressus lusitanica* Miller

A. Descripción taxonómica

Arbol que alcanza diámetros de hasta dos metros y alturas de 45 metros. Según la posición del árbol su copa puede ser desde ancha y redondeada hasta angosta y columnar, por lo general densa y ramificada (20).

La corteza de color gris-rojizo presenta fisuras longitudinales. Es fibrosa y se puede desprender del tronco en largas tiras (20).

Las ramas son tendidas horizontalmente con ramillas colgantes de color gris-rojizo. Las hojas son escamiformes, densamente imbricadas de color verde opaco hasta glaucoscente, ovales, agudas en cuatro filas de 1 a 2 milímetros de largo, aplastados, con una depresión glandular dorsal. Las flores presentan de 10 a 16 escamas artiríferas. Los conos de 12 a 15 milímetros de diámetro, son pedunculados, globosos, cubiertos con una pelusilla pálido opaca de color glauco (20).

B. Distribución natural

Probablemente su zona de vida natural se haya extendido entre los 2200 y 3300 metros sobre el nivel del mar, en los departamentos de Huehuetenango, Totonicapán, Quetzaltenango, San Marcos, El Progreso (Sierra de las minas), Chimaltenango, Sololá y Jalapa, sin embargo artificialmente fue plantado en casi toda la república hasta alturas cercanas al nivel del mar. Tiene excelente adaptación incluso en relación a los suelos (20).

3.1.2 *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* Barret & Golfari

A. Descripción taxonómica

El árbol alcanza hasta 30 metros de altura y 80 centímetros de diámetro. La copa durante la juventud del árbol es de forma agudo-cónica y muy densa, en los árboles maduros es más esparcida, algo irregular con una terminación redondeada (20).

La corteza es de color gris-blanquecino hasta gris-moreno o moreno-rojizo. La corteza se ve interrumpida por largas grietas de color gris blanquecino o por placas delgadas y escamosas de color moreno rojizas (20).

Las ramas son de color verduzco y ascendentes en los ejemplares jóvenes, más tarde de color rojizo, horizontales en la parte inferior y en los ejemplares solitarios, colgantes (20).

Las hojas se presentan en grupos de tres ascículas ascendentes por fascícula, pero también se encuentran de dos y de cuatro. El largo de las hojas fluctúa entre 6.5 y 33.5 centímetros de largo y su espesor entre 0.9 y 1.7 milímetros (20).

Los conos son oblongos conóideos, de 4 a 13 centímetros de largo por 3.5 a 6 centímetros de diámetro, de color moreno-amarillento algo lustroso hasta moreno rojizo y opaco (20).

B. Distribución natural

En Guatemala habita entre los 400 y 1000 metros sobre el nivel del mar. Sólo la poseen en su flora, el Este del departamento de Alta Verapaz y el Norte del departamento de Izabal. Las formaciones mayores se hallan en Poptún, Petén (1). Tiene excelente crecimiento en ambientes adecuados y con alta y bien distribuida precipitación (20).

3.1.3 *Pinus maximinoii* H. E. Moore.

A. Descripción taxonómica

Arbol hasta de 48 metros de altura, con diámetros mayores a un metro. La copa es redondeada, densa, suave por las hojas finas colgantes (20).

La corteza en árboles jóvenes es lisa, de color gris; los árboles adultos tienen la corteza gruesa surcada longitudinalmente, áspera y tosca, de color café-grisáceo. Ramas en verticilos horizontales, finas, de color moreno-rojizo. En árboles solitarios, las ramas son muy extendidas (20).

Hojas en grupos de cinco, de 16 a 18 centímetros de largo, finas, flexibles y colgantes, de color verde claro, brillantes (20).

Los conos son oblongos o largamente ovoides, en la base aplanados, asimétricos de 6.5 a 10 centímetros, deciduos. Las escamas del cono son delgadas, quebradizas, blandas, con ápice redondeado, débilmente aquillada, con una pequeña espina decidua (20).

B. Distribución natural

Pinus maximinoii vegeta en altitudes relativamente bajas (1100 a 2400 metros sobre el nivel del mar). Al parecer exige temperaturas "calientes" y necesita alguna humedad. Esta especie forma bosques hasta cierto punto puros y densos, y se halla mezclada con especies latifoliadas como *Liquidambar styraciflua* y *Quercus spp.*, en sitios bastante secos se encuentra con *Pinus oocarpa* y *Pinus montezumae*. La regeneración se presenta en lugares donde la vegetación es poco densa. Se reporta en la zona de vida de Bosque Muy Húmedo Subtropical (frío) [bmh-s(f)] (17). Su principal distribución natural es en Alta Verapaz, Quiché y en sitios con buen suelo y precipitación abundante (mayor de 900 milímetros). Su distribución en Guatemala es bastante amplia (20).

3.1.4 *Pinus strobus* L. var. *chiapensis* Martínez.

A. Descripción taxonómica

Arbol de 18 a 35 metros de altura, de tronco cilíndrico, recto, hasta de 1 metro de diámetro; corteza relativamente lisa o moderadamente agrietada, color moreno claro o gris blanquecina, siempre notablemente más oscuro en la grietas, con placas escamosas ásperas, de poco espesor en ejemplares adultos, casi lisa color oscilante entre gris blanquecino hasta el amarillento opaco en árboles jóvenes (1).

Ramaje relativamente liviano, verticilado, primero ascendente, más tarde horizontal, con los extremos ascendentes, espacioso cuya corteza presenta color gris blanquecina, casi lisa con cicatrices poco manifiestas (1).

Fascículos ordinariamente de 5 agujas de sección triangular, brevemente aceradas, delgadas, flexibles, extendidas o ligeramente arqueadas, color verde con suaves tonalidades azuladas, de 14 a 18 centímetros de longitud, por 0.60 a 0.65 milímetros de espesor; vainas de los fascículos caedizas, de 1.2 a 1.5 centímetros de longitud, carnosas, color ocre claro, faltando en el follaje adulto; pedúnculo rollizo leñoso delgado, más o menos curvo, fuerte, de 2 a 3.5 centímetros de longitud (1).

Conos más o menos numerosos, solitarios, con frecuencia en grupos de 2 y 3, colgantes, largamente ovals u oval-oblongos, brevemente encorvados, de 8 a 16 centímetros de longitud, color bruno-rojizo, hasta amarillo dorado, en los recientemente maduros; escamas ligeras, flexibles, siendo las mayores hasta de 3 centímetros de longitud, por 1.5 centímetros de anchura de apófisis deprimido (1).

B. Distribución natural

La especie *Pinus strobus* L. es nativa de América del Norte, pero también se encuentra en el estado de Chiapas, México, sin que se vea un lugar intermedio ni en el Norte ni en centro de México. Al notar diferencias anatómicas entre el *Pinus strobus* L. encontrado en América del Norte y el encontrado en Chiapas, se determinó que las diferencias eran que las hojas son más delgadas y finas y que los canales resiníferos son tres en lugar de dos, por lo que la especie encontrada se renombró como una variedad: *Pinus strobus* L. var. *chiapensis* Martínez (16). En el departamento de Quiché esta especie es particularmente abundante en San Juan Cotzal, Cunén y Uspantán la poseen en sus montañas de coníferas (1).

3.1.5 Calidad de sitio

Vásquez (25), indica que el sitio es un complejo de factores bióticos y abióticos, y que la calidad del mismo es el resultado de la interacción de estos factores ambientales y de la vegetación.

Zepeda y Rivera (1984), citados por Escobedo (8), definen "calidad de sitio como el carácter o cualidades distintivas que indican, en forma un tanto relativa, el grado de productividad de un lugar bajo las condiciones imperantes en el momento en que se efectúa la estimación de ésta; considerando que tal productividad es la resultante de la suma de todos los efectos de los factores de sitio que interactúan en ese lugar, que está determinado por el producto entre la capacidad y eficiencia de producción del sitio y que se entiende, en la generalidad de los casos, como la aptitud o susceptibilidad de ese sitio para sostener o soportar el crecimiento de cierta cantidad y tipo de biomasa".

3.1.6 Métodos para la determinación de la calidad de sitio

Carmean (1975) y Clutter *et al.* (1983), citados por Vásquez (25), dividen los métodos para estimar la calidad de sitio en directos e indirectos. En los **métodos directos** la calidad de sitio se estima en función de datos históricos de rendimiento en volumen, crecimiento en altura dominante o con base en datos de crecimiento entre nudos. Los **métodos indirectos** utilizan relaciones entre especies, características de la vegetación inferior o factores topográficos, edáficos y climáticos, y son utilizados cuando no hay bosque en el terreno a evaluar (25).

3.1.7 Índice de sitio

De acuerdo a Zepeda y Rivero (1984), citados por Escobedo (8), el índice de sitio es el proceso mediante el cual es posible estimar la calidad de sitio de masas coetáneas, preferiblemente puras, con base en relaciones edad-altura dominante. Además, señalan que el índice de sitio es, en este caso, la altura dominante alcanzada por un rodal coetáneo, puro por lo general, a una edad determinada, a la que se denomina edad base (8). La edad base es el número de años que se eligen para determinar un índice de sitio. También se le conoce como edad de referencia o edad índice (2).

A. Uso de la altura dominante como un indicador del sitio

La altura de un rodal uniforme a una edad dada, es un buen indicador del potencial productivo de un bosque en un sitio particular. Sin embargo, la altura promedio de un rodal es usualmente sensible no sólo a la edad y a la clase de sitio, sino también a la densidad del rodal (2). Por lo anteriormente mencionado, normalmente se utiliza la altura dominante en la definición de la altura de un rodal, ya que ésta es casi insensible a diferencias de densidad de los rodales. La altura dominante se define como la altura promedio de los 100 árboles más gruesos por hectárea (2).

B. Curvas de índice de sitio

Morales et al. (1979), citado por Castillo (4), indica que las curvas de índice de sitio muestran las relaciones entre la edad del rodal y su altura dominante, para diferentes niveles de calidad de sitio. Estas curvas son empleadas para evaluar la calidad de sitio en rodales que no han alcanzado la edad de referencia a la cual se determina el índice de sitio.

Para la construcción de curvas de índice de sitio se reconocen dos variantes: curvas anamórficas de índice de sitio y curvas polimórficas de índice de sitio. Las **curvas anamórficas** son familias de líneas proporcionales con pendientes constantes entre ellas a una misma edad, con intercepción variable en el origen. Las **curvas polimórficas** son familias de líneas con pendientes variables, que generalmente no guardan una relación de paralelismo entre sí.

Alder (2), utilizando análisis de regresión jerárquica y el modelo de Schumacher, detalla los cálculos necesarios para generar los modelos anamórficos y polimórficos. Ortiz (19), menciona que el modelo de Schumacher, han mostrado ser un modelo simple adecuado para explicar el crecimiento en altura.

Modelo de Schumacher

$$h_{dom} = h_{max} \times e^{(B/E^k)}$$

Donde:

h_{dom} = Altura dominante

h_{max} = Altura máxima que la especie podría alcanzar

e = 2.71828

B, k = Parámetros a ser ajustados

E = Edad del rodal

Si se hace una transformación usando logaritmos naturales en ambos lados de la ecuación se tiene que:

$$\ln(h_{dom}) = \ln(h_{max}) + \frac{B}{E^k}$$

Si $A = \ln(h_{max})$, entonces A y B pueden ajustarse por regresión lineal, siempre que k sea conocido. Para la mayor parte de las especies los valores apropiados de k varían entre 0.2 y 2, y se pueden estimar por técnicas no lineales. Para muchas especies, un valor asumido $k=1$ suministrará un ajuste satisfactorio.

Considerando lo descrito anteriormente, el modelo de Schumacher queda de la siguiente forma:

$$\ln(h_{dom}) = A + \frac{B}{E^k}$$

Donde:

- Ln = Logaritmo natural
- h_{dom} = Altura dominante
- A = Término independiente común
- B = Pendiente común
- E = Edad del rodal
- k = Coeficiente de ajuste

Para desarrollar las curvas de crecimiento en altura dominante anamórficas y polimórficas, hay que estimar A_1 y B_1 para cada modelo, respectivamente, las que dependen del índice de sitio y la edad base seleccionada como sigue:

$$A_1 = \ln(IS) - \frac{B}{E_0^k}$$

$$B_1 = (\ln(IS) - A) \times E_0^k$$

Donde:

A, B y k se obtienen del modelo de Schumacher

- Ln = Logaritmo natural
- IS = Índice de sitio a la edad E_0
- E_0 = Edad base seleccionada

Las ecuaciones del índice de sitio de un rodal, para la edad base seleccionada y utilizando el modelo polimórfico o anamórfico son:

$$\text{Ln}(IS) = A + (\text{Ln}(h_{dom}) - A) \times \left(\frac{E}{E_0}\right)^k$$

$$\text{Ln}(IS) = \text{Ln}(h_{dom}) - B\left(\frac{1}{E^k} - \frac{1}{E_0^k}\right)$$

Donde:

- Ln = Logaritmo natural
- h_{dom} = Altura dominante
- IS = Índice de sitio a la edad base E₀
- E = Edad actual del rodal

A, B y k se obtienen del modelo de Schumacher

3.1.8 Modelos de estimación de sitios basados en factores ambientales

Vásquez (25), indica que debido a que la calidad del sitio está en gran parte determinada por propiedades del suelo y otros factores del sitio, la forma más usual de evaluar la productividad es usar las propiedades del sitio como indicadores. Hagglund (1981), citado por Vásquez (25), menciona que el mejor sistema para enfocar este problema es expresar la relación entre el índice de sitio y las propiedades del sitio a través del análisis de regresión.

Turner (1984), citado por Vásquez (25), menciona que la mayoría de los investigadores se han limitado al uso de estimaciones de campo cuantitativas, fácilmente medibles, más que hacia aquellas que requieren extensivos procedimientos de laboratorio, debido a la baja respuesta encontrada a características químicas del suelo.

Como indica Alder (2), Un modelo que explique la variación del índice de sitio utilizable, deberá contener la menor cantidad de variables posibles, con el propósito de evitar interrelaciones y así poder utilizarlo en una región extensa.

3.1.9 Análisis fustal

Una gran cantidad de información sobre la dinámica de un rodal, puede ser obtenida del análisis fustal, en el caso de la clasificación de sitios, el principal interés radica en la reconstrucción histórica del crecimiento de la altura dominante de un rodal. El procedimiento solamente es posible en climas estacionales y con especies que produzcan anillos claramente definidos (2).

Para este propósito el árbol debe ser derribado. Del árbol apeado se toman secciones o rodajas transversales de las cuales dos de ellas deben ubicarse en sitios precisos. La primera debe tomarse a la altura del apeo (20-30 cm), y la segunda a la altura del pecho (1.30 m), las restantes se obtienen a igual distancia unas de otras (1,2 ó 3 m) si es posible (14).

Para la reconstrucción del crecimiento de la altura, se necesita anotar la altura de la medición y contar los anillos. La edad a la cual el árbol alcanza una altura determinada, está dada por el número de anillos en la base del árbol menos el número de anillos a dicha altura. Si el árbol que forma parte de la muestra es un árbol dominante, la curva edad-altura dominante, puede ser considerada esencialmente igual a la curva edad-altura dominante obtenida de una parcela de muestreo permanente y puede analizarse de la misma manera (2).

3.2 Marco referencial

3.2.1 Ubicación geográfica y vías de acceso

La finca Saquichaj se ubica en el municipio de Cobán, Alta Verapaz. Geográficamente se encuentra dentro de las coordenadas siguientes: 15°31'28" y 15°35'41" Latitud Norte y entre 90°24'18" y 90°27'39" Longitud Oeste (Figura 1).

La principal vía de acceso a la finca la constituye la carretera CA-14 que partiendo de la ruta CA-9 en el Rancho, El Progreso, conduce al Norte pasando por los municipios de Purulhá, Tactic y Santa Cruz Verapaz, hasta llegar a la ciudad de Cobán. El acceso entre la cabecera departamental (Cobán) y la finca, se realiza a través de la carretera de tercera categoría que se extiende al Norte con rumbo al municipio de Chisec, recorriendo una distancia aproximada de 22 kilómetros. A través de este sistema vial la finca Saquichaj dista 235 kilómetros de la ciudad capital (Figura 2).

3.2.2 Clima

La estación meteorológica más cercana a la finca, está localizada en la ciudad de Cobán, a una altitud de 1323 metros sobre el nivel del mar en las coordenadas 15°20'00" Latitud Norte y 90°24'27" Longitud Oeste. En esta estación se han obtenido los datos climatológicos de 20 años de registro (periodo 1970-1989), resumidos a continuación.

A. Precipitación

La Precipitación Media Anual es de 2074.90 milímetros, la cual se distribuye de mayo a diciembre con una precipitación media mensual mayor a 120 milímetros. En los meses de enero a abril la precipitación media mensual es menor a 97 milímetros.

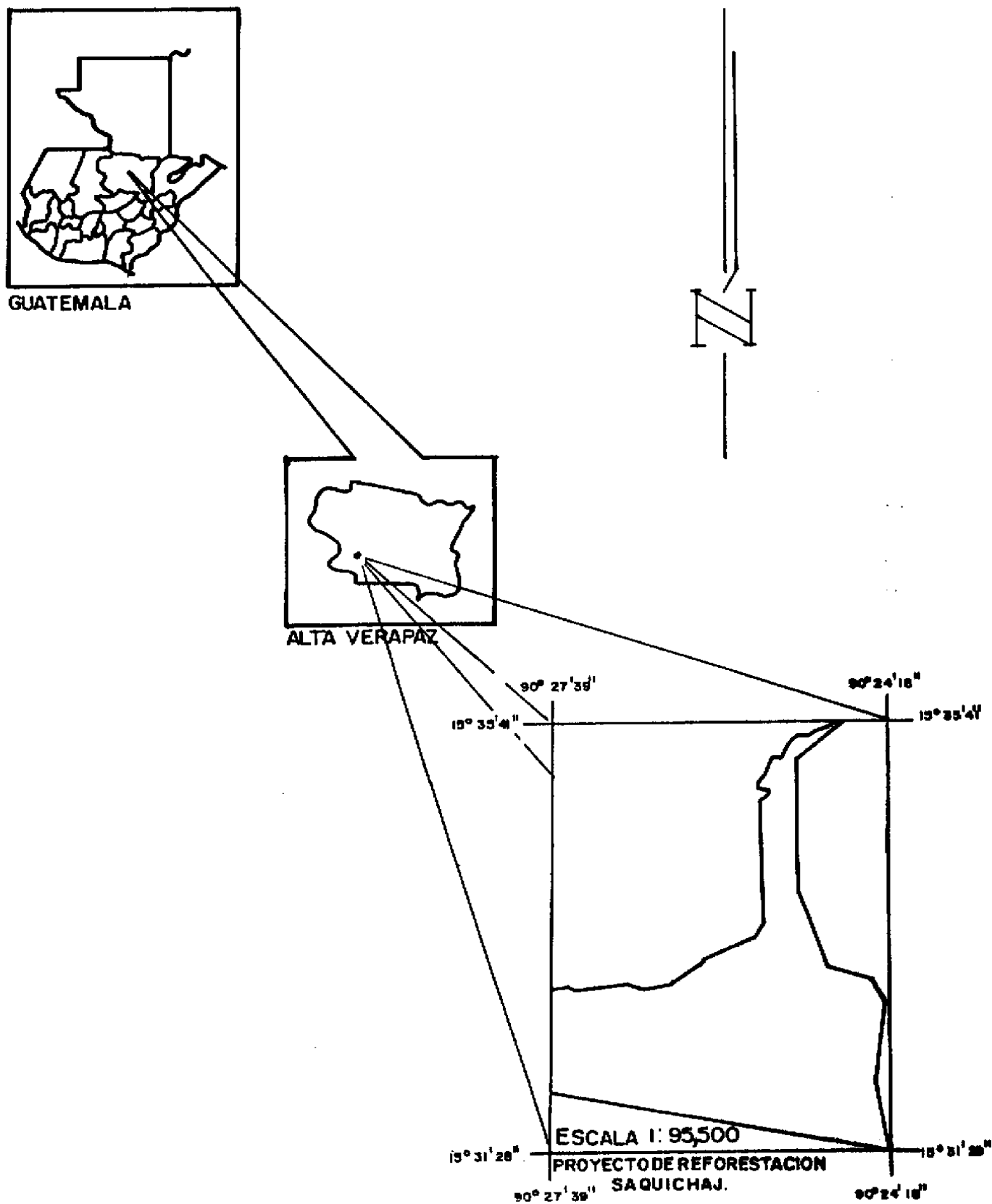


Figura 1. Ubicación geográfica de la finca Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz.

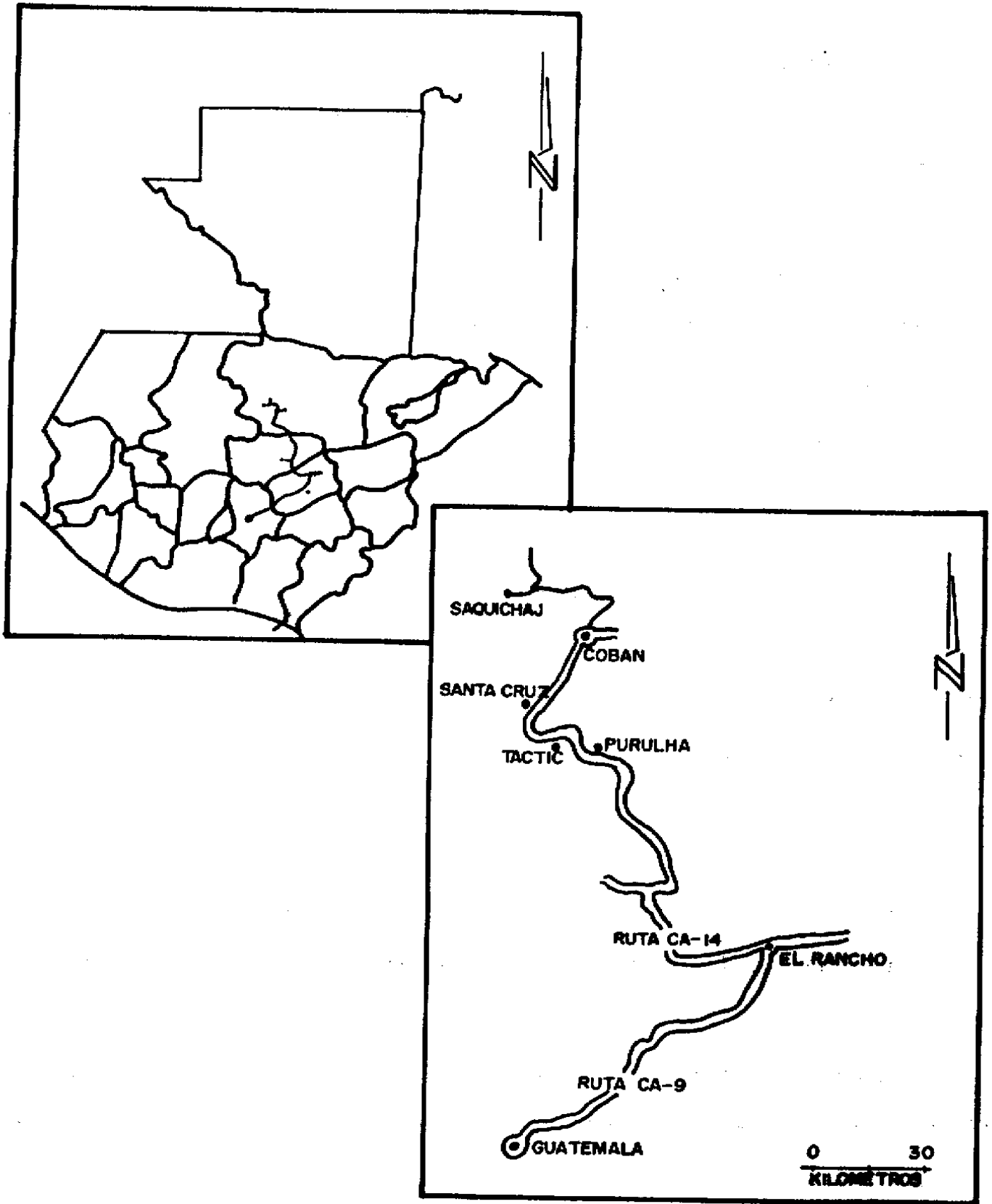


Figura 2. Vías de acceso a la finca Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1997.

B. Temperatura

La Temperatura Media Anual es de 17.4 °C, con una máxima media anual de 24.5 °C y una mínima media anual de 13 °C.

C. Humedad relativa

La humedad relativa varia de 90 % en los meses de octubre y diciembre a 85 % en los meses de marzo y mayo.

3.2.3 Zona de vida

El área de estudio se encuentra dentro de la zona de vida denominada Bosque muy Húmedo Subtropical (frío); que se caracteriza por ser el segmento de mayor altura del bosque muy húmedo.

La vegetación natural indicadora está constituida por: *Liquidambar styraciflua*, *Pinus maximinoii*, *Persea schiediana*, *Myrica cerifera*. El régimen de lluvia es de larga duración, lo que influye en el tipo de la vegetación (5).

3.2.4 Geología y suelos

Las estructuras geológicas presentes en el área de la finca, según el mapa geológico de la República de Guatemala (12), pertenecen al cretácico Albiano-Cenomaniano, formados por rocas de caliza.

Con respecto a los suelos del área de estudio, Simmons, Tarano y Pinto (22) indican que pertenecen a la serie Tamahú, que se caracterizan por ser poco profundos de bien a excesivamente drenados, desarrollados sobre caliza en un clima húmedo o húmedo-seco. La descripción del perfil de esta serie de suelo es la siguiente:

- El suelo superficial, a una profundidad de 2 a 5 cm, es franco o franco arcilloso, friable, de color café muy oscuro, que tiene un contenido alto de materia orgánica (25%). La estructura es granular. El suelo es calcáreo.
- A una profundidad cerca de 50 cm, el suelo es franco calcáreo o franco arcilloso, friable, de color café oscuro, que tiene un contenido de materia orgánica de alrededor del 9%, la estructura es de granular a cúbica y en algunos lugares, el suelo es masivo.
- El substrato es caliza o mármol.

3.2.5 Fisiografía

La finca se encuentra comprendida dentro de la región de las Tierras Altas Sedimentarias, donde se presentan una gran variedad de formas, desde colinas paralelas, topografía kárstica anticlinales y sinclinales sumergidos (siguanes), así como cavernas de roca caliza (10).

3.2.6 Topografía

El área donde se ubica el proyecto de reforestación Saquichaj posee una topografía ondulada a quebrada y de quebrada a fuertemente quebrada. Las pendientes van de 10% a 70% y de 60% a 100%. Las elevaciones varían de 560 a 1500 metros sobre el nivel del mar (11).

3.2.7 Hidrografía

El sistema hidrográfico de la finca está constituido principalmente por una serie de corrientes efímeras que desembocan en sumideros o "siguanes" y en el río Sachichá. Según el mapa de cuencas de la República de Guatemala (9), la finca se ubica dentro de la microcuenca del río Sachichá, tributario del río Negro o Chixoy que a su vez drena a la cuenca del río Usumacinta dentro de la vertiente del golfo de México.

4. OBJETIVOS

4.1 General

Estimar preliminarmente la calidad de sitio de las plantaciones de *Cupressus lusitanica* Miller, *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* Barret & Goffari, *Pinus maximinoii* H. E. Moore y *Pinus strobus* L. var. *chiapensis* Martínez, establecidas en el proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz.

4.2 Específicos

4.2.1 Determinar los índices de sitio preliminares para las plantaciones forestales establecidas en el proyecto de reforestación Saquichaj.

4.2.2 Correlacionar las calidades de sitio de las plantaciones con algunos factores fisiográficos y edáficos.

5. METODOLOGIA

5.1 Delimitación del área de estudio

En la Figura 3 se puede observar la distribución de los rodales puros y asociados de *Cupressus lusitanica* Miller, *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* Barret & Golfari, *Pinus maximinoii* H. E. Moore y *Pinus strobus* L. var. *chiapensis* Martínez. Los rodales están distribuidos desde 600 hasta 1500 metros sobre el nivel del mar, abarcando un área aproximada de 598.89 hectáreas (23). Los rodales no fueron establecidos tomando un orden o criterio definido, solamente en *Pinus caribaea* se nota un relativo ordenamiento (Figura 3). Tal distribución fue debido a que las especies se plantaron de acuerdo a la disponibilidad de plántulas en los viveros locales. En ocasiones por carecer de plántulas en la finca, tuvieron que ser transportadas desde el departamento de Chimaltenango.

El estudio se realizó en los rodales de plantación forestal existentes en el proyecto, donde se obtuvieron los datos necesarios para estimar la potencialidad de producción de los sitios para las especies allí establecidas.

5.2 Selección de la muestra

Para obtener la información se establecieron parcelas temporales de medición, distribuidas en rangos altitudinales de 100 metros de amplitud, como se puede observar en la Figura 3. La información de la rodalización de las plantaciones forestales efectuada en 1995 (23) y las curvas de nivel presentadas en el mapa topográfico (11), fueron utilizadas para definir la cantidad de parcelas que se establecerían en cada rango altitudinal.

Alder (2), menciona que la unidad básica de muestreo usualmente es el árbol individual, pero por conveniencia se establecen parcelas y se miden todos los árboles de ellos.

El número de unidades muestrales dependerá de las relaciones a estudiar. Un buen procedimiento es analizar los datos a medida que se van obteniendo y terminar el muestreo una vez que se ha alcanzado el grado de precisión requerido (2). En esta investigación se tomaron en cuenta los coeficientes de determinación obtenidos en el proceso de ajuste del modelo de Schumacher para cada especie bajo estudio.

Los sitios de medición se seleccionaron tomando en cuenta el área y la representatividad de cada rodal dentro de los rangos de altitud. Se establecieron como mínimo 2 parcelas por rango altitudinal, con un total de 54. En el Cuadro 1 se presentan la distribución de las parcelas por rango altitudinal.

Cuadro 1. Distribución de las parcelas temporales de medición por rango altitudinal. Proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1996.

RANGO ALTITUDINAL (msnm)	RODAL	NUMERO PARCELAS	RANGO ALTITUDINAL (msnm)	RODAL	NUMERO PARCELAS
600-700	Pc	4	1000-1100	Pt	2
				Ps	2
700-800	Pc	4	1100-1200	Pt	4
	Pt	2		Cc	2
	Cc	2			
800-900	Pc	7	1200-1300	Ps	2
	Pt	2		Cc	2
	Ps	4			
	Cc	2			
900-1000	Pt	2	1300-1400	Pt	4
	Cc	2		Ps	2
				Cc	3

REFERENCIAS: esta es la nomenclatura utilizada por la empresa que maneja las plantaciones estudiadas (REFINSA).

Cc= *Cupressus lusitanica*
Pc = *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

Ps= *Pinus strobus* var. *chiapensis*
Pt = *Pinus maximinoli*

En el Cuadro 2 se presenta la cantidad total de parcelas temporales establecidas por especie.




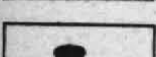
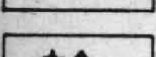
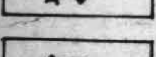
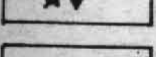




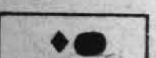

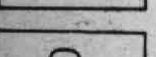
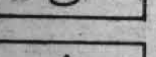
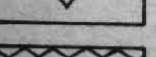





Cuadro 2. Número de parcelas temporales establecidas por especie en el proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1996.

ESPECIE	CANTIDAD DE PARCELAS
<i>Cupressus lusitanica</i>	13
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	15
<i>Pinus maximinoii</i>	16
<i>Pinus strobus</i> var. <i>chiapensis</i>	10
TOTAL	54

En el cuadro 2 se puede observar que la cantidad de parcelas establecidas no tuvo una distribución equitativa entre las especies. La razón es que en determinados rangos altitudinales algunos rodales son relativamente más extensos, por lo que fue necesario establecer más de dos parcelas. Por el contrario, en algunos rangos altitudinales se carece de rodales de determinada especie por lo que no se obtuvieron datos en esos rangos (ver Figura 3).

5.3 Forma y tamaño de las parcelas temporales de medición

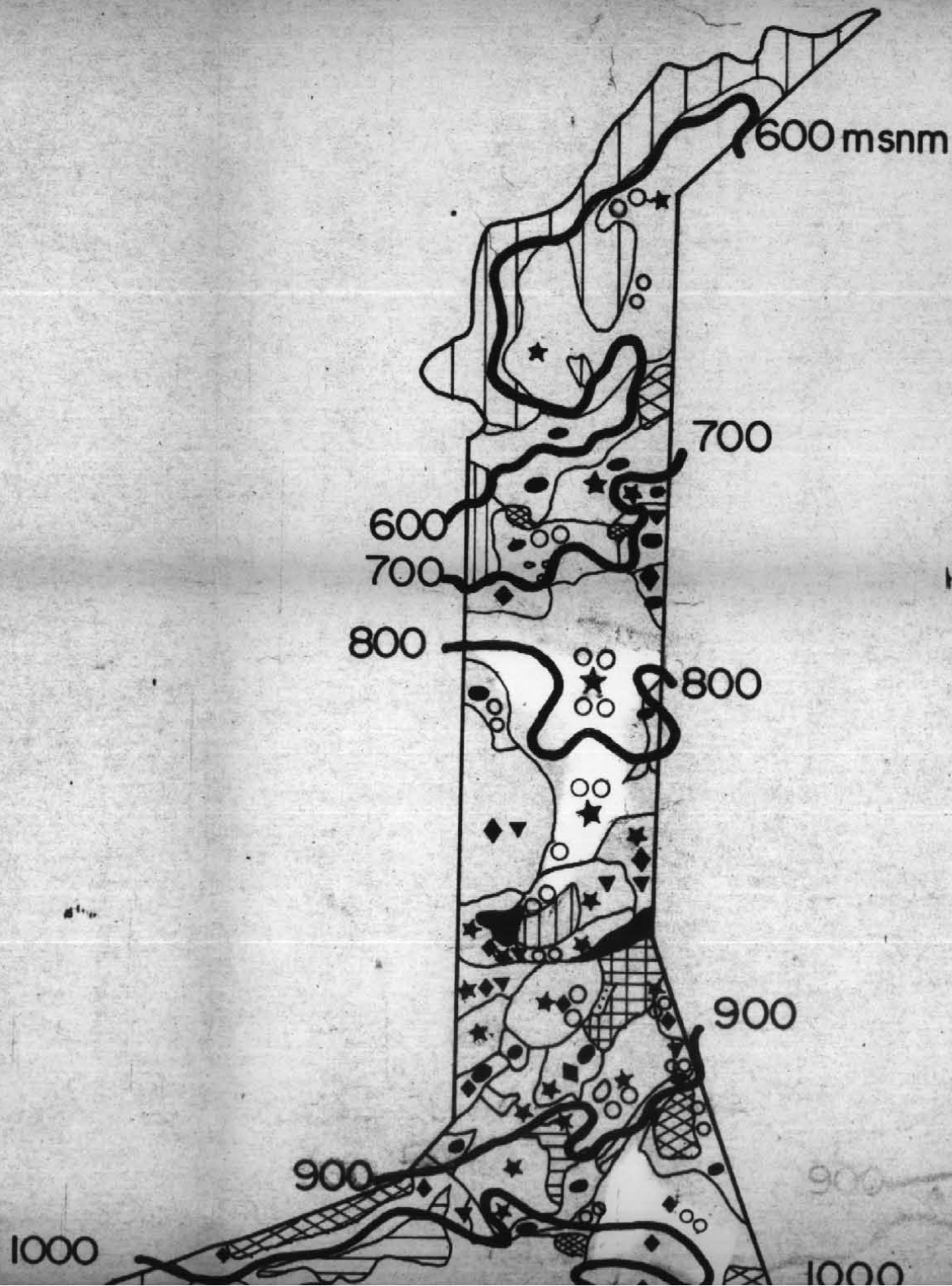
Se utilizaron parcelas temporales de forma rectangular de 500 metros cuadrados (20 × 25 metros). En 1993 un grupo de estudiantes de cursos especializados determinó en el proyecto de reforestación Chicocom, propiedad de REFINSA, que las dimensiones de 20 × 25 metros constituyen el área óptima para muestreo en ese proyecto (3). Tomando en cuenta que las condiciones climáticas, topográficas y de vegetación son similares en los proyectos de reforestación Chicocom y en el proyecto de reforestación Saquichaj, se decidió utilizar las dimensiones de parcela antes mencionadas.

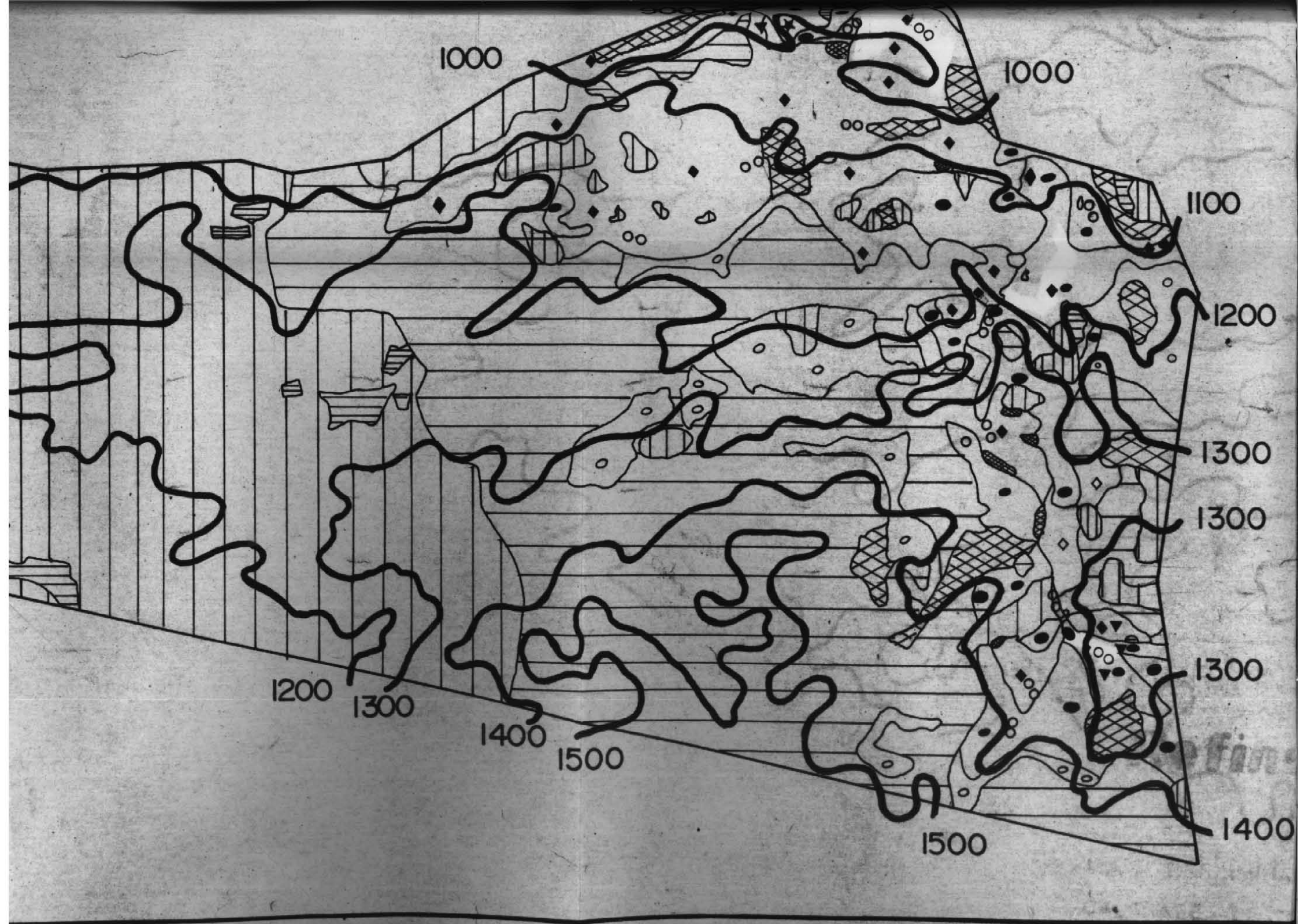
-  *Pinus caribaea* Morelet
-  *Pinus maximinoii* H. E. Moore
-  *Pinus strobus* L. var. *chiapensis* Martínez
-  *Cupressus lusitanica* Miller
-  *P. caribaea* + *P. maximinoii*
-  *P. caribaea* + *P. strobus* var. *chiapensis*
-  *P. caribaea* + *Cupressus lusitanica*
-  *P. caribaea* + *P. maximinoii* *P. strobus* var. *chiapensis*
-  *P. caribaea* + *P. maximinoii* + *C. lusitanica*
-  *P. maximinoii* + *P. strobus* var. *chiapensis*
-  *P. maximinoii* + *C. lusitanica*
-  *P. strobus* var. *chiapensis* + *C. lusitanica*
-  *C. lusitanica* (bosque ralo)
-  *P. maximinoii* (bosque ralo)
-  Plantación joven (menor de 5 años)
-  Area de citricos (naranja y limón)
-  Vivero forestal
-  Areas con viviendas para personal permanente y temporal
-  Areas con bosque natural
-  Area con guamil
-  PARCELAS DE MEDICION

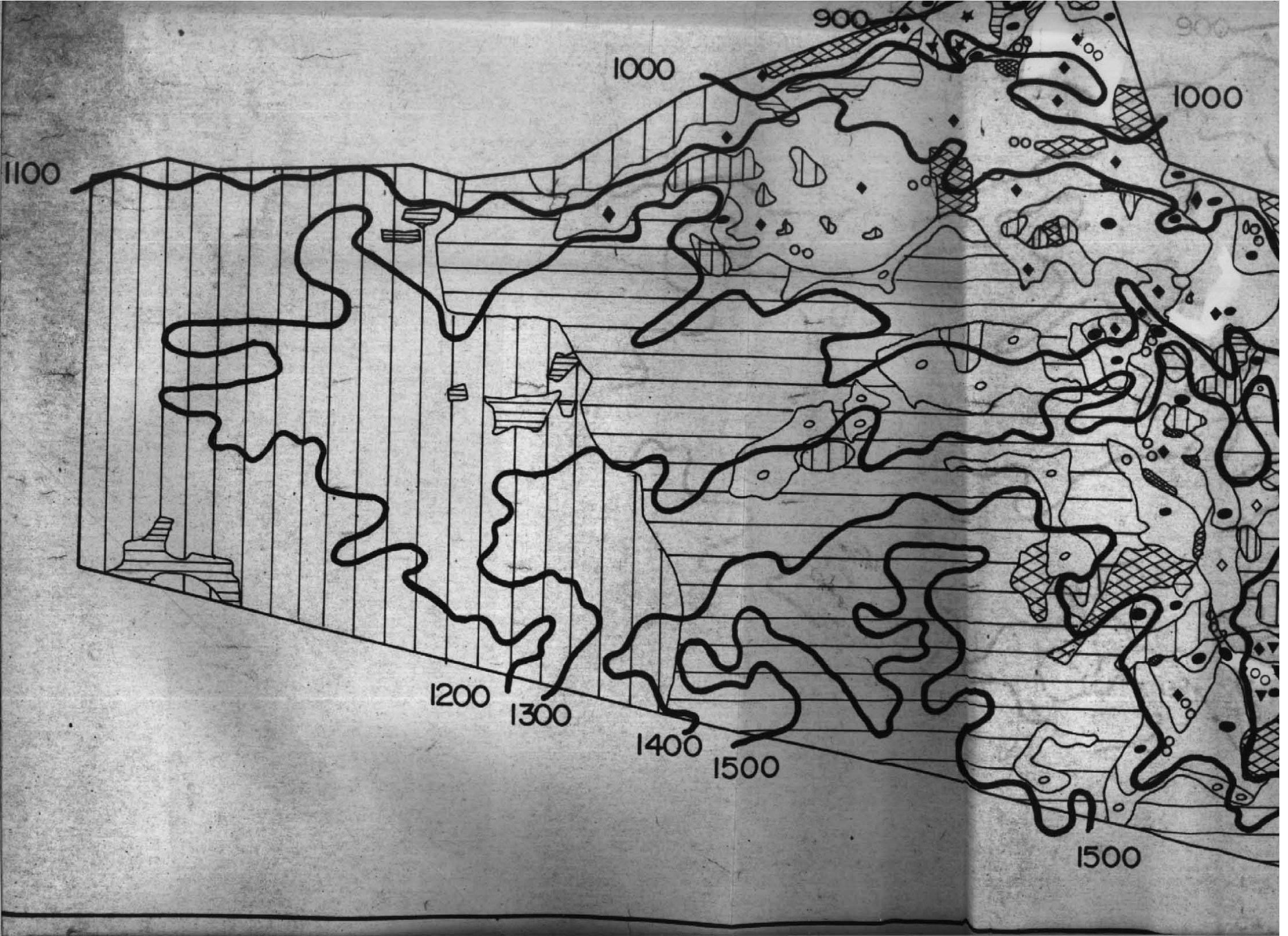
REFORESTADORA INDUSTRIAL S. A.

Refinsa

DIBUJO J. TZIRIN BATZIN	PROYECTO DE REFORESTACION SAQUICHAJ COBAN, ALTA VERAPAZ	APROBO M. DEL VALLE CANO
ESCALA 1:20,000	MAPA DE ESTRATIFICACION	FIGURA







5.4 Medición de variables

Las variables fueron medidas dentro de las parcelas temporales, siendo las que a continuación se describen.

5.4.1 Diámetros

A todos los árboles dentro de las parcelas se les tomó el Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) empleando una forcípula.

5.4.2 Altura dominante

Se le tomó la altura total a los 5 árboles más gruesos por parcela, tomando en cuenta el concepto de altura dominante (100 árboles más gruesos por hectárea). Las alturas se midieron utilizando un hipsómetro.

5.4.3 Muestreo de suelos

El muestreo de suelos se realizó después de haber determinado las calidades de sitio para cada especie. Se tomaron como mínimo dos muestras por calidad de sitio.

Se tomaron tres submuestras en cada parcela, una en la parte superior, otra en la parte media y la tercera en la parte inferior en dirección a la pendiente, hasta una profundidad de 50 cm. De las tres submuestras se sacó la muestra para el análisis en el laboratorio.

El análisis de laboratorio lo realizó el personal del laboratorio de suelos de la Asociación Nacional del Café (ANACAFE).

Según Simmons, Tarano y Pinto (22) los suelos de la finca Saquichaj pertenecen a la serie Tamahú, la descripción del perfil de esta serie de suelo es la siguiente:

El primer horizonte lo describen como superficial (2-5 centímetros de profundidad), el segundo mencionan que tiene una profundidad hasta 50 centímetros e indican que existe un substrato de caliza o mármol, esta información fue la base para definir hasta que profundidad se realizaría el muestreo de suelos.

5.4.4 Características físicas y fisiográficas

Se tomó como referencia el trabajo de Vásquez (25), para definir las características de sitio a medir en las parcelas temporales. A continuación se describen dichas características.

A. Profundidad del suelo

Para obtener la información de la profundidad del suelo, se estableció un límite de hasta 75 centímetros, ya que hasta esta profundidad se facilitaba obtener la información con la herramienta disponible en el proyecto. Como se describió anteriormente la bibliografía consultada indica que los suelos de la región son poco profundos, aunque en el campo se encontraron algunas áreas con profundidades de suelo mayores al límite establecido.

B. Posición topográfica

Para la posición topográfica se utilizaron cuatro categorías:

cima	= 1
pendiente superior	= 2
pendiente inferior	= 3
fondo plano	= 4

C. Exposición

Se tomó la exposición de las parcelas en grados.

D. Pendiente

En cada parcela se obtuvo la información de pendiente superior, pendiente inferior y la pendiente promedio.

5.5 Análisis fustal

Para la realización del análisis fustal se tumbó un árbol en cada parcela. Los árboles tumbados tuvieron las siguientes características:

- Árboles dominantes o codominantes.
- Árboles sin señales de daño.
- Árboles con fuste bien conformado, sin bifurcación.

Los árboles elegidos se seccionaron a 1.0%, 2.5%, 5.0%, 7.5%, 10.0%, 15.0%, 20.0%, 30.0%, 40.0%, 50.0%, 60.0%, 70.0%, 80.0% y 90.0% de la altura total, considerando la metodología desarrollada para el Sistema de Conservación y Desarrollo Silvícola (SICODESI) (27). Para hacer las lecturas de anillos se cortó una rodaja de 10 centímetros de espesor en cada sección del árbol.

5.6 Procesamiento de la información

5.6.1 Determinación de la calidad de sitio

La información edad-altura dominante obtenida en el campo fue utilizada para ajustar el modelo de Schumacher para cada especie.

Modelo de Schumacher

$$\text{Ln}(h_{\text{dom}}) = A + \frac{B}{\text{edad}^k} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

- Ln = Logaritmo natural
- h_{dom} = Altura dominante
- A, B = Coeficientes estimados por regresión lineal
- k = Coeficiente de ajuste

La ecuación de Schumacher es un modelo simple que ha demostrado estadísticamente ser adecuado para explicar el crecimiento en altura. El ajuste del modelo de Schumacher se realizó por medio de la regresión jerárquica, a través del programa SINDEK del sistema de paquetes estadísticos PALMER (PSP), desarrollado exclusivamente para este modelo.

El modelo de Schumacher con sus coeficientes estimados, es la base para generar las ecuaciones anamórficas o polimórficas (pendiente común e intercepto común, respectivamente), las cuales se utilizan para construir las curvas de índice de sitio.

Ecuación anamórfica

$$\text{Ln}(IS) = \text{Ln}(h_{\text{dom}}) - B \left(\frac{1}{E^k} - \frac{1}{E_0^k} \right) \quad (\text{Ecuación 2})$$

Ecuación polimórfica

$$\text{Ln}(IS) = A + (\text{Ln}(h_{\text{dom}}) - A) \times \left(\frac{E}{E_0} \right)^k \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

- Ln = Logaritmo natural
- IS = Índice de Sitio
- h_{dom} = Altura dominante
- A, B, k = Parámetros a estimar
- E = Edad actual del rodal
- E₀ = Edad base seleccionada

La edad base fue seleccionada considerando la edad mínima de los rodales establecidos en el proyecto. En el caso de *Cupressus lusitanica* se utilizó una edad base de 17 años, para *Pinus caribaea var. hondurensis* la edad base seleccionada fue de 16 años, para *Pinus maximinoii* se utilizó una edad base de 14 años y para *Pinus strobus var. chiapensis* la edad base seleccionada también fue de 16 años.

5.6.2 Elaboración de curvas de índice de sitio

El índice de sitio para cada parcela se estimó utilizando la Ecuación 2. Castillo (4), menciona que el modelo anamórfico por su sencillez es de uso más común.

Una vez asignado el índice de sitio para cada parcela, éstas se agruparon en clases de sitio. El número de clases de sitio para cada especie fue definido de acuerdo a la diferencia de los valores máximo y mínimo de índice de sitio determinados para cada especie.

Definidas las clases de sitio se elaboraran las curvas de índice de sitio a la edad base seleccionada para cada especie. Las curvas de índice de sitio muestran la evolución en altura dominante con respecto a la edad que presenta la especie bajo estudio en cada calidad de sitio.

5.6.3 Análisis de los factores de sitio

Para determinar las variables de sitio más asociadas a las calidades de sitio de cada especie, se realizó el análisis de correlación canónica (Calidades de sitio vrs. factores de sitio).

El análisis de correlación canónica determina el grado de asociación que hay entre la variable dependiente y las variables independientes seleccionadas. En este análisis se realiza la transformación y estandarización de las variables independientes para analizar en conjunto todos los datos (análisis multivariado).

Considerando que la calidad de sitio está muy influenciada por las condiciones del sitio (clima, fisiografía, propiedades del suelo, etc.), la forma más usual de evaluar la productividad es utilizando las propiedades del sitio como indicadores.

El análisis de correlación se desarrolló con ayuda del sistema **SAS** (Statistical Analysis System) en el Centro de Estadística y Cálculo de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Inicialmente se realizó el análisis de correlación entre las calidades de sitio y todos los factores de sitio (factores fisiográficos y factores físico-químicos del suelo). Luego se realizaron los siguientes análisis: calidad de sitio vrs. factores fisiográficos y calidad de sitio vrs. factores físicoquímicos del suelo, para observar el comportamiento de las variables en grupos específicos.

Como complemento al análisis anteriormente descrito se procedió a seleccionar un modelo de regresión para cada especie, con el objetivo que pueda ser utilizado para estimar la calidad de sitio en áreas similares a las abarcadas en este estudio. Para la selección de los modelos también fue utilizado el sistema **SAS**, el proceso se llevó a cabo de la siguiente forma:

- a) Se graficaron individualmente los factores de sitio analizados con la calidad de sitio para observar el comportamiento de los datos. Las variables que mostraron una tendencia similar a algún modelo estadístico conocido se consideraron con probabilidades de ser incluidas en el modelo de regresión.
- b) Se solicitó al sistema la matriz de correlación de todas las variables contra todas, se seleccionaron las variables con mayor coeficiente de correlación. En algunos casos determinada variable presentó colinealidad con una o más variables, por lo que ésta representó a una o más variables en siguiente paso del análisis.

- c) También se solicitó al sistema cuatro procedimientos para la selección de variables (ADJRS, AIC, BIC Y MSE).
- d) Luego se solicitaron los métodos de selección de variables BACKWARD, STEPWISE Y MAXR (máximo R^2).
- e) Posteriormente se realizó el análisis de multicolinealidad al modelo seleccionado. En el análisis de regresión múltiple, los coeficientes de regresión se vuelven menos confiables a medida que aumenta el grado de correlación entre las variables independientes (multicolinealidad).
- f) Después de haber corregido colinealidad, se elaboró por medio del sistema la gráfica de residuales.
- g) Finalmente, el sistema presentó la gráfica de puntos. Si la gráfica presentaba una nube de puntos sin tendencia definida, el modelo se consideró adecuado.

6. RESULTADOS Y DISCUSION

6.1 *Cupressus lusitanica* Miller

6.1.1 Indices de sitio

Para la estimación de los índices de sitio de la especie *Cupressus lusitanica* en el proyecto de reforestación Saquichaj, fueron analizados los datos de análisis fustal de 13 árboles provenientes de los diferentes rodales de dicha especie. Los coeficientes estimados para el modelo de Schumacher son los siguientes:

$$\begin{aligned} \text{Coeficiente de intercepto común } A &= 8.26339 \\ \text{Coeficiente de pendiente común } B &= -12.424 \\ \text{Valor de } k &= 0.299815 \\ R^2 &= 0.9453 \end{aligned}$$

Sustituyendo los valores de los coeficientes en la ecuación de Schumacher, esta queda de la siguiente manera:

$$\text{Ln}(h_{dom}) = 8.26339 - \frac{12.424}{E^{0.299815}} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

- Ln = Logaritmo natural
- h_{dom} = Altura dominante (metros)
- E = Edad (años)

Con la ecuación de Schumacher ajustada, se desarrolló la ecuación que se presenta a continuación, la cual se utilizó para estimar el índice de sitio a la edad base de 17 años para cada parcela establecida.

$$\text{Ln}(IS) = \text{Ln}(h_{dom}) - 12.424(Eb^{-0.299815} - E^{-0.299815}) \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

- Ln = Logaritmo natural
- IS = Índice de sitio (metros)
- h_{dom} = Altura dominante (metros)
- E_b = Edad base (17 años)
- E = Edad del rodal (años)

Los índices de sitio estimados con la ecuación anterior variaron desde 14.69 a 21.74 metros, lo que corresponde a un incremento medio anual en altura dominante que va desde 0.86 a 1.28 metros por año. En parcelas medidas en otras regiones de nuestro país, los incrementos medios anuales en altura variaron de 0.7 a 1.4 metros para plantaciones de 12 a 15 años (24). En general para plantaciones establecidas en el área centroamericana, los valores de incremento medio anual en altura se encuentran alrededor de 1 metro (24).

El Cuadro 3 presenta los índices de sitio estimados para cada parcela temporal establecida en los rodales de *Cupressus lusitanica*. Los índices de sitio fueron agrupados en 4 clases de sitio, en rangos de 2 metros de amplitud, los cuales se presentan en el Cuadro 4.

6.1.2 Curvas de índice de sitio

Las Ecuaciones anamórficas 6, 7, 8 y 9 corresponden al punto medio de cada clase de sitio definida para la especie *Cupressus lusitanica*.

Cuadro 3. Índices de sitio estimados para la especie *Cupressus lusitanica* en el proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1996.

NUMERO DE PARCELA	RANGO ALTITUDINAL (msnm)	SECCION	EDAD (años)	ALTURA DOMINANTE (m)	INDICE DE SITIO (m)
1	1300-1400	18	17	19.14	19.14
2	1300-1400	18	19	17.50	14.69
3	1300-1400	17	17	16.84	16.84
4	1300-1400	17	19	19.70	16.53
5	1200-1300	15	19	18.75	15.74
6	1100-1200	12	18	20.38	18.61
7	1100-1200	12	19	19.70	16.53
8	900-1000	7	18	18.26	16.68
9	900-1000	7	18	19.98	18.25
10	800-900	3	18	16.60	15.06
11	800-900	3	19	18.52	15.54
12	700-800	19	18	21.04	19.22
13	700-800	19	17	21.74	21.74

Cuadro 4. Clases de sitio para los rodales de *Cupressus lusitanica* establecidos en el proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1996.

CLASE DE SITIO	INDICE DE SITIO (m)
I	17.00 - 18.99
II	15.00 - 16.99
III	13.00 - 14.99
IV	11.00 - 12.99

$$\ln(h_{dom}) = 8.357698 - \frac{12.424}{E_i^{0.299815}} \quad (\text{Ecuación 6})$$

$$\ln(h_{dom}) = 8.257618 - \frac{12.424}{E_i^{0.299815}} \quad (\text{Ecuación 7})$$

$$\ln(h_{dom}) = 8.146388 - \frac{12.424}{E_i^{0.299815}} \quad (\text{Ecuación 8})$$

$$\ln(h_{dom}) = 8.021228 - \frac{12.424}{E_i^{0.299815}} \quad (\text{Ecuación 9})$$

Por medio de las ecuaciones que se presentaron anteriormente se elaboraron las curvas de crecimiento en altura dominante presentadas en la Figura 4, las que corresponden a las clases de sitio I, II, III y IV, respectivamente.

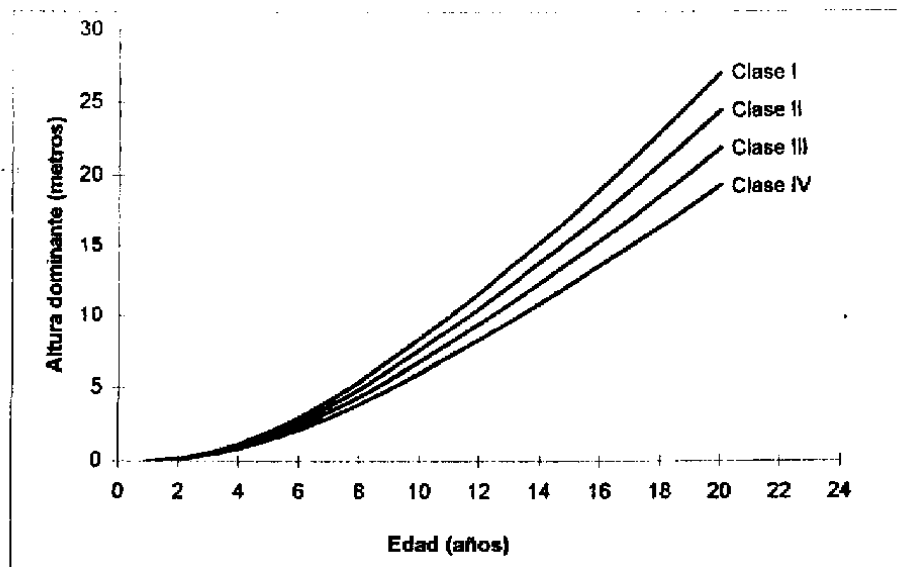


Figura 4. Curvas anamórficas de evolución en altura dominante, por clase de sitio, para la especie *Cupressus lusitanica*, establecida en el proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1996.

En la Figura 5 se presenta el mapa preliminar de calidades de sitio para las cuatro especies forestales establecidas en el proyecto forestal Saquichaj. En esta Figura se presentan rangos de clases de sitio para cada especie ya que en ciertas áreas la calidad de sitio varió en distancias cortas, por lo que la delimitación de la calidad de sitio para cada rodal se dificultó dentro del mapa.

6.1.3 Análisis de los factores de sitio

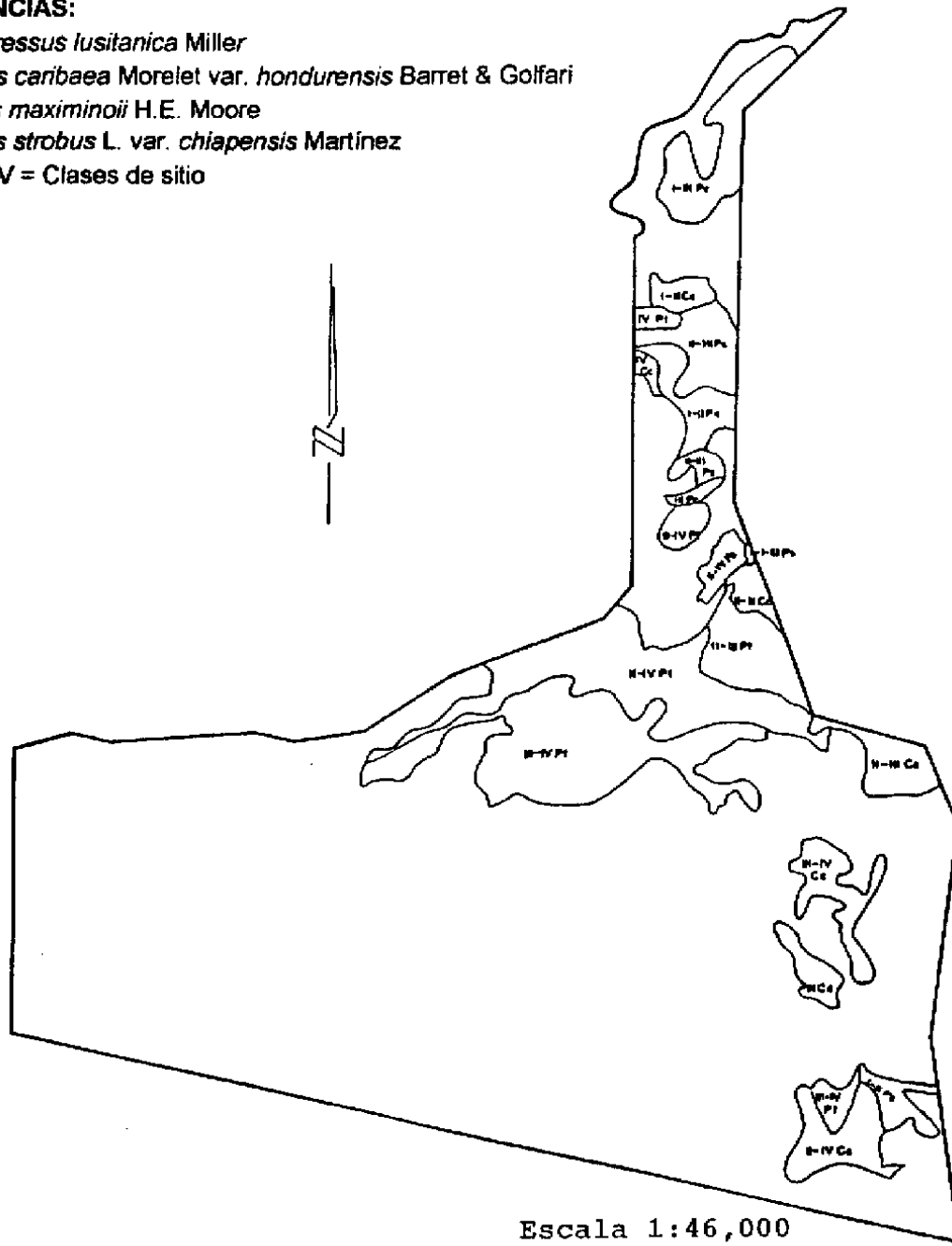
En los Cuadros 5 y 6 se presentan los valores de las características del sitio y las características fisicoquímicas del suelo, respectivamente.

Cuadro 5. Características fisiográficas de 13 parcelas temporales establecidas en los rodales de *Cupressus lusitanica*. Proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1996.

NÚMERO DE PARCELA	CLASE SITIO	PROXIMIDAD DEL SUELO (cm)	EXPOSICIÓN PENDIENTE (grados)	ÁNGULO	ALCANTARILLA	TIPO DE PÉNDULO
1	II	Mayor 75	135	19	1390	Pend inferior
2	IV	Mayor 75	124	28	1390	Pend inferior
3	III	Mayor 75	68	40	1370	Pend superior
4	III	Mayor 75	80	35	1370	Pend superior
5	IV	Mayor 75	300	33	1250	Pend inferior
6	II	46.67	132	24	1130	Pend superior
7	III	50	217	36	1130	Pend superior
8	III	58.33	235	25	930	pend inferior
9	II	58.33	262	29	930	pend inferior
10	IV	Mayor 75	138	23	810	pend superior
11	IV	20	153	20	810	pend superior
12	II	Mayor 75	60	38	710	pend superior
13	I	Mayor 75	60	35	710	pend superior

REFERENCIAS:Cc = *Cupressus lusitanica* MillerPc = *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* Barret & GolfariPt = *Pinus maximinoii* H.E. MoorePs = *Pinus strobus* L. var. *chiapensis* Martínez

I, II, III, IV y V = Clases de sitio



Escala 1:46,000

Figura 5. Mapa preliminar de calidades de sitio de las especies forestales establecidas en el proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1997.

Cuadro 6. Características químicas promedio, por clase de sitio, para la especie *Cupressus lusitanica* (Cc) en el proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1997.

Sp	CS	pH	P	K	Ca	Mg	Al	A.I.	Cu	Fe	Mn	Zn	% Mo	Textura
Cc	I	6.20	1.10	0.02	13.26	6.38	0.04	0.06	0.21	0.29	4.46	0.28	5.38	al
Cc	II	4.50	1.10	0.05	1.42	0.48	1.47	1.75	0.65	24.94	8.20	1.84	3.62	Fa
Cc	III	4.50	1.10	0.03	3.26	1.00	1.16	1.28	0.41	19.29	14.35	0.32	5.24	Fa
Cc	IV	4.80	1.10	0.04	3.57	0.50	0.51	0.85	0.62	11.03	33.62	0.72	60.3	Fa

REFERENCIAS:

Sp	= Especie	A.I.	= Acidez Intercambiable (meq/100ml)
CS	= Calidad de Sitio	Cu	= Cobre (microgramos/ml)
pH	= potencial de hidrógeno	Fe	= Hierro (microgramos/ml)
P	= Fósforo (Ug/ml)	Mn	= Manganeso (microgramos/ml)
K	= Potasio (meq/100ml)	Zn	= Zinc (microgramos/ml)
Ca	= Calcio (meq/100ml)	% Mo	= Porcentaje de materia orgánica
Mg	= Magnesio (meq/100ml)	al	= arcilloso limoso
Al	= Aluminio (meq/100ml)	fa	= franco arcilloso

El proceso de análisis de los factores de sitio se realizó en el Centro de Cómputo de la FAUSAC, utilizando el sistema SAS (Statistical Analysis System). Específicamente dentro de este paquete estadístico se utilizó la correlación canónica para medir el grado de asociación entre la calidad de sitio y las características fisiográficas y edáficas del sitio.

En el análisis de la información en conjunto (correlación entre calidad de sitio y características fisiográficas y edáficas de los sitios), las características edáficas obtuvieron los coeficientes de correlación más altos. En el Cuadro 7 se muestran los valores de los diez coeficientes de correlación más altos obtenidos en el análisis anteriormente mencionado.

Cuadro 7. Coeficientes de correlación canónica entre la calidad de sitio y los factores de sitio medidos en los rodales de *Cupressus lusitanica*. Proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1997.

CARACTERÍSTICAS DE SITIO	COEFICIENTES DE CORRELACIÓN
Concentración de manganeso	-0.9374
Concentración de magnesio	0.5514
Concentración de zinc	0.4061
Concentración de aluminio	0.3429
Exposición	-0.3270
pH	0.3179
Concentración de cobre	-0.3078
Concentración de calcio	0.2985
Altura sobre nivel del mar	-0.2599
Acidez intercambiable	0.2225

Luego de analizar los datos en forma general, se procedió al análisis de correlación de la calidad de sitio vs. características fisiográficas y calidad de sitio vs. características edáficas en forma separada.

En el análisis de los datos de calidad de sitio vs. características fisiográficas del sitio, la correlación obtenida fue baja ($r=0.51$ y $\alpha=0.78$) ya que se espera obtener un coeficiente de correlación (r) cercana a la unidad y que alfa (α) tenga una tendencia a cero.

En el análisis de correlación entre la calidad de sitio y las características edáficas del sitio, la correlación obtenida fue excelente ($r=1$ y $\alpha=0.00$). De estas características sobresalió el manganeso con un coeficientes de correlación de -0.94 , lo que indica que a mejor calidad de sitio la tendencia es encontrar una concentración relativamente baja del elemento manganeso.

El modelo para estimar los índices de sitio en los rodales de *Cupressus lusitanica* es la que se presenta a continuación:

$$IS=11.254208+1.018906Mg+2.129232Zn$$

Donde:

IS	=	Índice de sitio (metros)
Mg	=	magnesio (meq/100ml)
Zn	=	Zinc(microgramos/ml)
R ²	=	0.7502

Al ejecutar la matriz de correlación de todas las variables independientes, se observó que había una gran correlación entre la mayoría de estas variables, por lo que se seleccionaron las que podrían ser representativas sin causar colinealidad dentro del modelo.

En el Cuadro 24A se presenta un modelo para estimar el índice de sitio, para esta especie, con base en condiciones ambientales. Este modelo resulta más práctico ya que la integran variables que en el campo son fácilmente medibles.

6.2 *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* Barret & Golfari

6.2.1 Índices de sitio

En la determinación de los índices de sitio para esta especie fueron analizados los datos de edad-altura dominante obtenidos del análisis fustal de 15 árboles. Los coeficientes estimados para el modelo de Schumacher son los que se presentan a continuación:

Coefficiente de intercepto común A=	12.2524
Coefficiente de pendiente común B=	-15.9678
Valor de k	= 0.193123
R ²	= 0.9596

El modelo de Schumacher ajustado para la especie *Pinus caribaea* var. *hondurensis* quedó de la siguiente forma:

$$\text{Ln}(h_{\text{dom}}) = 12.2524 - \frac{15.9678}{E^{0.193123}} \quad (\text{Ecuación 10})$$

Donde:

- Ln = Logaritmo natural
- h_{dom} = Altura dominante (metros)
- E = Edad (años)

Con la Ecuación 10, se desarrolló la Ecuación 11, la cual se utilizó para estimar el índice de sitio a la edad base de 16 años para cada parcela de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

$$\text{Ln}(IS) = \text{Ln}(h_{\text{dom}}) - 15.9678(E_b^{0.193123} - E^{0.193123}) \quad (\text{Ecuación 11})$$

Donde:

- Ln = Logaritmo natural
- IS = Índice de sitio (metros)
- h_{dom} = Altura dominante (metros)
- E_b = Edad base (16 años)
- E = Edad del rodal (años)

Los índices de sitio estimados con la Ecuación 11 variaron desde 12.40 a 18.80 metros, lo que corresponde a un incremento medio anual en altura dominante que va desde 0.78 a 1.18 metros por año. En Panamá, Vásquez (25) reporta para esta especie, un incremento medio anual en altura dominante que va desde 0.75 hasta 1.81 metros por año, estimado a una edad base de 15 años. Vásquez (25) también indica que en rodales de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* en Costa Rica y Venezuela se obtuvieron incrementos medio anual en altura dominante de 1.5 y 1.6 metros por año, en los sitios menos productivos y 2.4 y 2.0 metros por año, en los sitios más productivos, a la edad de 8 y 9 años, respectivamente.

Los sitios en el proyecto de reforestación Saquichaj para la especie *Pinus caribaea* var. *hondurensis* pueden considerarse poco productivos, ya que los incrementos obtenidos en Costa Rica y Venezuela son más altos y fueron estimados a una edad base menor. Vásquez (25) indica que los sitios en la reserva forestal La Yeguada (Panamá) son poco productivos al hacer la misma comparación, ya que los datos de incremento en altura dominante que él obtuvo son similares a los estimados para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* en el proyecto de reforestación Saquichaj.

El Cuadro 8 muestra los índices de sitio estimado para cada parcela temporal establecida en los rodales de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

Cuadro 8. Índices de sitio estimados para la especie *Pinus caribaea* var. *hondurensis* en el proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1996.

NUMERO DE PARCELA	RANGO ALTITUDINAL (msnm)	SECCION	EDAD (años)	ALTURA DOMINANTE (m)	INDICE DE SITIO (m)
1	600-700	19	18	21.30	17.25
2	600-700	19	18	19.60	15.87
3	600-700	19	18	17.00	13.77
4	600-700	19	18	19.70	15.96
5	700-800	19	18	18.90	15.31
6	700-800	19	18	17.90	14.50
7	700-800	2	18	20.20	16.36
8	700-800	2	18	20.30	16.44
9	800-900	2	18	18.60	15.07
10	800-900	2	18	18.60	15.07
11	800-900	1	18	17.85	14.46
12	800-900	1	18	18.20	14.74
13	800-900	6	20	18.40	12.40
14	800-900	6	18	20.30	16.44
15	800-900	2	16	18.80	18.80

Los índices de sitio fueron agrupados en 4 clases de sitio, en rangos de 2 metros de amplitud. La cantidad de clases de sitio se definió considerando el dato mínimo y el dato máximo de índice de sitio determinado para dicha especie. El Cuadro 9 muestra las clases de sitio definidas con sus rangos respectivos.

Cuadro 9. Clases de sitio para los rodales de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* establecidos en el proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1996.

CLASE DE SITIO	ÍNDICE DE SITIO (m)
I	17.00 - 18.99
II	15.00 - 16.99
III	13.00 - 14.99
IV	11.00 - 12.99

6.2.2 Curvas de índice de sitio

Para el desarrollo de las curvas de índices de sitio para la especie *Pinus caribaea* var. *hondurensis* fue utilizado el modelo anamórfico. Las ecuaciones 12, 13, 14 y 15 corresponden al punto medio de cada clase de sitio definidas para esta especie. Por medio de las ecuaciones anteriormente mencionadas se elaboraron las curvas de crecimiento en altura dominante que se presentan en la Figura 6, las cuales corresponden a las clases de sitio I, II, III y IV, respectivamente.

En la Figura 5 se puede apreciar el mapa preliminar de calidades de sitio que se elaboró en este estudio.

$$\ln(h_{dom}) = 12.23801 - \frac{15.9678}{E_1^{0.193123}} \quad (\text{Ecuación 12})$$

$$\ln(h_{dom}) = 12.12023 - \frac{15.9678}{E_1^{0.193123}} \quad (\text{Ecuación 13})$$

$$\ln(h_{dom}) = 11.9867 - \frac{15.9678}{E_1^{0.193123}} \quad (\text{Ecuación 14})$$

$$\ln(h_{dom}) = 11.83255 - \frac{15.9678}{E_1^{0.193123}} \quad (\text{Ecuación 15})$$

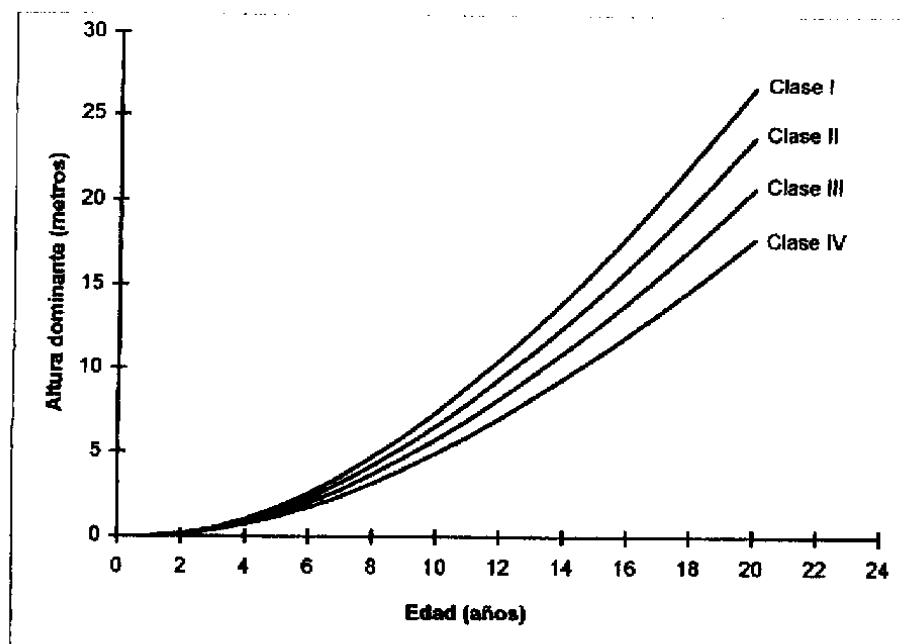


Figura 6. Curvas anamórficas de evolución en altura dominante, por clase de sitio, para la especie *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, establecida en el proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1996.

6.2.3 Análisis de los factores de sitio

En los Cuadros 10 y 11 se presentan los valores de las características fisiográficas y las características fisicoquímicas del suelo de las parcelas temporales de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, respectivamente.

Cuadro 10. Características fisiográficas de 15 parcelas temporales establecidas en los rodales de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. Proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1996.

NÚMERO DE PARCELA	CLASE SITIO	PROFUNDIDAD DEL SUELO (cms)	EXPOSICIÓN (grados)	PENDIENTE (porcentaje)	ALTITUD (metros)	POSICIÓN TOPOGRÁFICA
1	I	Mayor 75	85	20	610	Pend inferior
2	II	Mayor 75	88	23	610	pend inferior
3	III	50	105	26	655	pend superior
4	II	Mayor 75	118	30	660	pend superior
5	II	45.33	40	8	770	fondo plano
6	III	mayor 75	49	9	765	fondo plano
7	II	mayor 75	175	7.5	790	Cima
8	II	mayor 75	180	32	790	pend superior
9	II	mayor 75	156	19	810	pend superior
10	II	mayor 75	170	27	810	pend superior
11	III	63.33	186	34	850	pend inferior
12	III	mayor 75	202	25	850	pend inferior
13	IV	58.33	320	29	890	pend superior
14	II	mayor 75	309	27	890	pend superior
15	I	mayor 75	15	22	830	pend superior

Cuadro 11. Características químicas promedio, por clase de sitio, para la especie *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (Pc) en el proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1997.

Sp	CS	pH	P	K	Ca	Mg	Al	A.I.	Cu	Fe	Mn	Zn	% Mo	TEXTURA
Pc	I	5.80	3.81	0.07	1.50	0.69	0.32	0.37	9.53	13.97	1.87	0.31	1.85	Fa
Pc	II	5.80	1.10	0.20	4.04	1.41	0.02	0.24	0.46	17.95	13.55	0.63	4.62	Fal
Pc	III	4.70	1.10	0.10	1.16	0.29	0.81	0.95	0.29	9.29	9.45	0.55	6.15	fa
Pc	IV	5.60	1.10	0.09	6.36	1.02	0.06	0.13	0.76	8.11	48.34	0.98	5.76	fal

REFERENCIAS:

Sp = Especie

CS = Calidad de Sitio

pH = potencial de hidrógeno

P = Fósforo (Ug/ml)

K = Potasio (meq/100ml)

Ca = Calcio (meq/100ml)

Mg = Magnesio (meq/100ml)

Al = Aluminio (meq/100ml)

A.I. = Acidez Intercambiable (meq/100ml)

Cu = Cobre (microgramos/ml)

Fe = Hierro (microgramos/ml)

Mn = Manganeso (microgramos/ml)

Zn = Zinc (microgramos/ml)

% Mo = Porcentaje de materia orgánica

fa = franco arcilloso

fal = franco arcilloso limoso

En el análisis de la calidad de sitio vs. las características fisiográficas y edáficas de los sitios, la correlación obtenida fue excelente ($r=1$, $\alpha=0.00$), aunque es importante mencionar que los factores edáficos del sitio obtuvieron los coeficientes de correlación más altos, como puede apreciarse en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Coeficientes de correlación canónica entre la calidad de sitio y los factores de sitio medidos en los rodales de *Pinus caribaea var. hondurensis*. Proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1997.

CARACTERÍSTICAS DE SITIO	COEFICIENTES DE CORRELACION
Concentración de hierro	0.7167
Concentración de zinc	-0.6908
Concentración de manganeso	-0.6620
Concentración de fósforo	0.6438
pH	0.6419
Concentración de cobre	0.6407
Exposición	-0.4968
Acidez intercambiable	-0.4318
Profundidad del suelo	0.4192
Concentración de aluminio	-0.4155

Luego de analizar los datos en forma general, se procedió al análisis de correlación de la calidad de sitio vs. características fisiográficas y calidad de sitio vs. características edáficas en forma separada. En el primer caso la correlación fue relativamente baja ($r=0.73$ y $\alpha=0.17$). En el segundo caso la correlación obtenida fue excelente ($r=1$ y $\alpha=0.00$). De estas características sobresalieron el hierro, el zinc y el manganeso, con coeficientes de correlación 0.72, -0.69 y -0.66, respectivamente. Los coeficientes obtenidos indican que la concentración de hierro actúa en forma directamente proporcional con la calidad de sitio, los otros dos elementos actúan en forma inversamente proporcional a la calidad de sitio.

Vásquez y Ugalde (26), en Costa Rica, realizando un análisis de correlación entre el índice de sitio (IS) y algunos factores de sitio en parcelas de *Pinus caribaea var. hondurensis*, indican que las variables que mostraron mayor correlación con el IS fueron la profundidad del suelo, la precipitación media anual y el viento. Los mejores sitios para esta especie fueron aquéllos donde la precipitación media anual y la profundidad del suelo eran mayores.

El modelo de regresión seleccionado para *Pinus caribaea var. hondurensis* es el que se presenta a continuación.

$$IS=19.163325+0.011501Pf-0.05328Mn-0.805288Mo$$

Donde:

- IS = Índice de Sitio (metros)
- Pf = Profundidad del suelo (centímetros)
- Mn = Manganeseo(microgramos/ml)
- Mo = porcentaje de materia orgánica
- R² = 0.89

Este modelo la integran las variables profundidad del suelo, concentración de manganeso y porcentaje de materia orgánica. Estas tres variables fueron seleccionadas luego de realizar el análisis de multicolinealidad. Las variables que componen dicho modelo presentaron el mayor coeficiente de determinación y la prueba de "t" indicó que estos son los mejores estimadores.

En el apéndice 24A se presentan algunas ecuaciones determinadas para *Pinus caribaea var. hondurensis* en otros países. En estas ecuaciones puede observarse en forma general la utilización de variables fisiográficas y características físicas del suelo como estimadores, la mayoría de estas variables son medibles en el campo, aspecto muy importante a considerar al seleccionar un modelo para estimar la calidad de sitio.

6.3 *Pinus maximinoii* H. E. Moore

6.3.1 Índices de sitio

Para la estimación de los índices de sitio de *Pinus maximinoii* se analizaron los datos obtenidos del análisis fustal de 16 árboles provenientes de diferentes rodales.

En el ajuste del modelo de Schumacher, los coeficientes obtenidos son los que se presentan a continuación:

Coficiente de intercepto común A= 9.09725

Coficiente de pendiente común B= -13.1687

Valor de k = 0.279402

R² = 0.9257

$$\text{Ln}(h_{dom}) = 9.09725 - \frac{13.1687}{E^{0.279402}} \quad (\text{Ecuación 16})$$

Donde:

Ln = Logaritmo natural

h_{dom} = Altura dominante (metros)

E = Edad (años)

Con la ecuación de Schumacher ajustada (Ecuación 16) se desarrolló la Ecuación 17, la cual se utilizó para estimar el índice de sitio a la edad base de 14 años para cada parcela establecida en los rodales de la especie.

$$\text{Ln}(IS) = \text{Ln}(h_{dom}) - 13.1687(Eb^{-0.279402} - E^{-0.279402}) \quad (\text{Ecuación 17})$$

Donde:

Ln = Logaritmo natural

IS = Índice de sitio (metros)

h_{dom} = Altura dominante (metros)

E_b = Edad base (14 años)

E = Edad del rodal (años)

Los índices de sitio estimados con la Ecuación 17 variaron desde 13.34 a 20.0 metros, lo que corresponde a un incremento medio anual en altura dominante que va desde 0.95 a 1.43 metros por año. Para esta especie, Nuñez (17) reporta un crecimiento promedio en altura de 1.0911 metros por año en Cobán, Alta Verapaz.

Escobar (7) reporta un incremento en altura de 1.32 metros por año, en el período de 10-15 años, en el departamento de Jalapa, el Cuadro 13 muestra los índices de sitio estimados para cada parcela temporal establecida en los rodales de *Pinus maximinoii*.

Cuadro 13. Índices de sitio estimados para la especie *Pinus maximinoii* en el proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1996.

NUMERO DE PARCELA	RANGO ALTITUDINAL (msnm)	SECCION	EDAD (años)	ALTURA DOMINANTE (m)	INDICE DE SITIO (m)
1	1300-1400	18	16	20.50	16.28
2	1300-1400	18	17	19.84	14.15
3	1300-1400	15	17	18.62	13.34
4	1300-1400	15	14	18.14	18.14
5	1100-1200	10	14	20.00	20.00
6	1100-1200	10	17	19.88	14.24
7	1100-1200	10	16	20.36	16.17
8	1100-1200	10	16	19.26	15.30
9	1000-1100	11	15	20.82	18.44
10	1000-1100	11	17	20.70	14.83
11	900-1000	7	15	19.72	17.47
12	900-1000	7	15	18.66	16.53
13	800-900	5	19	24.10	14.40
14	800-900	5	19	25.16	15.04
15	700-800	19	17	18.68	13.39
16	700-800	19	17	20.16	14.45

Los índices de sitio fueron agrupados en 4 clases de sitio, en rangos de 2 metros de amplitud.

El Cuadro 14 muestra las clases de sitio definidas con sus rangos respectivos.

Cuadro 14. Clases de sitio para los rodales de *Pinus maximinoii* establecidos en el proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1996.

CLASE DE SITIO	INDICE DE SITIO (m)
I	19.00 - 20.99
II	17.00 - 18.99
III	15.00 - 16.99
IV	13.00 - 14.99

6.3.2 Curvas de índice de sitio

Las ecuaciones anamórficas 18, 19, 20 y 21 corresponden al punto medio de cada clase de sitio definido para la especie *Pinus maximinoii*. Utilizando estas ecuaciones se elaboraron las curvas de crecimiento en altura dominante presentadas en la Figura 7, las cuales corresponden a las clases de sitio I, II, III y IV, respectivamente.

$$\ln(h_{dom}) = 9.295312 - \frac{13.1687}{E_i^{0.279402}} \quad (\text{Ecuación 18})$$

$$\ln(h_{dom}) = 9.189962 - \frac{13.1687}{E_i^{0.279402}} \quad (\text{Ecuación 19})$$

$$\ln(h_{dom}) = 9.072182 - \frac{13.1687}{E_i^{0.279402}} \quad (\text{Ecuación 20})$$

$$\ln(h_{dom}) = 8.938652 - \frac{13.1687}{E_i^{0.279402}} \quad (\text{Ecuación 21})$$

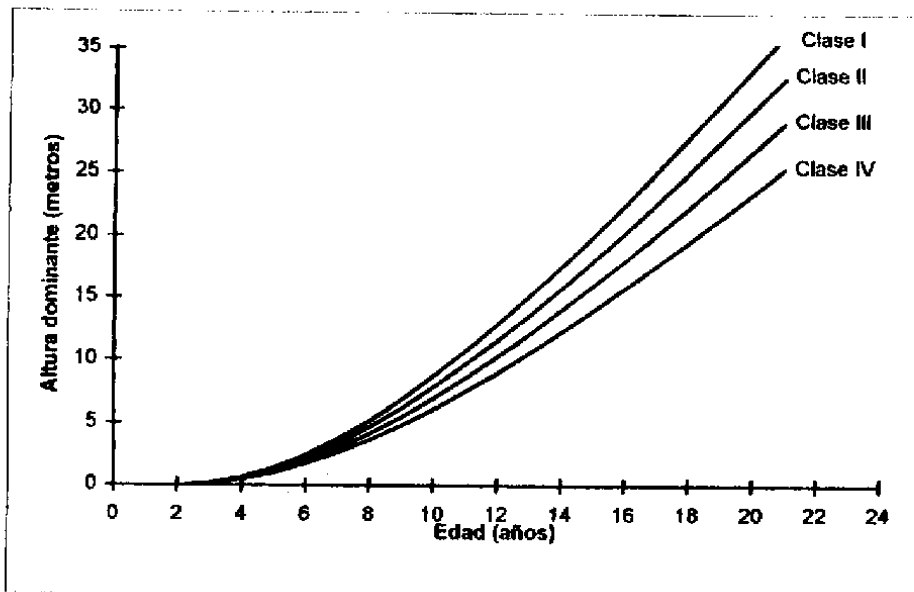


Figura 7. Curvas anamórficas de evolución en altura dominante, por clase de sitio, para la especie *Pinus maximinoii*, establecida en el proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1996.

El mapa preliminar de calidades de sitio para las especies establecidas en el proyecto forestal Saquichaj, es presentada en la Figura 5.

6.3.3 Análisis de los factores de sitio

En los Cuadros 15 y 16 se presentan los valores de las características del sitio y las características fisicoquímicas del suelo, respectivamente.

Utilizando la correlación canónica se analizaron los factores de sitio, obteniendo los siguientes resultados: En el análisis de la calidad de sitio y los factores de sitio en conjunto, las características edáficas obtuvieron los coeficientes de correlación más altos, como se puede observar en el Cuadro 17.

Cuadro 15. Características fisiográficas de 16 parcelas temporales establecidas en los rodales de *Pinus maximinoli*. Proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1996.

NÚMERO DE PARCELA	CLASE SITIO	PROFUNDIDAD DEL SUELO (cms)	EXPOSICIÓN (grados)	PENDIENTE (porcentaje)	ALTITUD (msnm)	POSICIÓN TOPOGRÁFICA
1	III	Mayor 75	65	20	1360	pend superior
2	IV	65	113	23	1355	pend superior
3	IV	Mayor 75	67	26	1330	pend inferior
4	II	Mayor 75	75	30	1330	pend inferior
5	I	66.67	23	8	1185	pend inferior
6	IV	Mayor 75	04	9	1185	pend inferior
7	III	Mayor 75	07	7.5	1120	pend inferior
8	III	66.67	331	32	1120	pend inferior
9	II	61.67	34	19	1050	pend superior
10	IV	Mayor 75	09	27	1050	pend superior
11	II	44	98	34	990	pend superior
12	III	60	75	25	990	pend superior
13	IV	63.33	119	29	870	pend inferior
14	III	Mayor 75	102	27	870	pend inferior
15	IV	Mayor 75	20		750	Cima
16	IV	Mayor 75	28	22	750	Cima

Cuadro 16. Características químicas promedio, por clase de sitio, para la especie *Pinus maximinoli* (Pt) en el proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1997.

Sp	CS	pH	P	K	Ca	Mg	Al	A.I.	Cu	Fe	Mn	Zn	% Mo	TEXTURA
Pt	I	4.40	1.10	0.04	1.26	0.23	0.45	0.61	0.79	20.72	35.19	1.3	3.98	fa
Pt	II	4.40	1.10	0.05	1.72	0.37	0.86	1.06	0.58	15.93	21.78	0.47	4.82	fa
Pt	III	4.20	1.46	0.07	1.30	0.23	4.16	4.40	0.76	29.51	37.03	1.03	5.44	fa
Pt	IV	4.53	1.10	0.09	1.46	0.28	0.60	0.82	0.70	11.19	30.02	1.57	4.66	fa

REFERENCIAS:

Sp = Especie

CS = Calidad de Sitio

pH = potencial de hidrógeno

P = Fósforo (Ug/ml)

K = Potasio (meq/100ml)

Ca = Calcio (meq/100mf)

Mg = Magnesio (meq/100m)

Al = Aluminio (meq/100ml)

A.I. = Acidez Intercambiable (meq/100ml)

Cu = Cobre (microgramos/ml)

Fe = Hierro (microgramos/ml)

Mn = Manganeseo (microgramos/ml)

Zn = Zinc (microgramos/ml)

% Mo = Porcentaje de materia orgánica

fa = franco arcilloso

fal = franco arcilloso limoso

Cuadro 17. Coeficientes de correlación canónica entre la calidad de sitio y los factores de sitio medidos en los rodales de *Pinus maximinoii*. Proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1997.

CARACTERÍSTICAS DE SITIO	COEFICIENTES DE CORRELACION
Concentración de potasio	0.9936
Concentración de zinc	0.7583
pH	0.4407
Profundidad del suelo	0.4111
Concentración de hierro	-0.4058
Posición topográfica	-0.2664
Pendiente	-0.2327
Concentración de magnesio	-0.2263
Altura sobre nivel del mar	-0.2086
Concentración de cobre	0.1806

En el análisis de correlación de la calidad de sitio vrs. características fisiográficas y calidad de sitio vrs. características edáficas en forma separada, se obtuvo la siguiente información: en el primer caso la correlación fue baja ($r=0.56$ y $\alpha=0.50$). En el otro caso la correlación obtenida fue excelente ($r=1$ y $\alpha=0.00$), sobresaliendo las concentraciones de los elementos potasio y zinc, con coeficientes de correlación de 0.99 y 0.76, respectivamente. Esto indica que en la mejor calidad de sitio se encontraran relativamente mayores concentraciones de estos dos elementos.

El modelo obtenido en el análisis de regresión entre la calidad de sitio y los factores de sitio para *Pinus maximinoii* es la que se presenta a continuación. Las variables profundidad del suelo, concentración de potasio y concentración de zinc en el suelo son las que integran este modelo. Luego de realizar la depuración respectiva, estas tres variables se consideraron las representativas del grupo original de variables.

$$IS=23.82-0.000134Pf-124.93589K+0.910413Zn$$

Donde:

IS	=	Indice de sitio (metros)
Pf	=	Profundidad del suelo (centímetros)
K	=	Potasio (meq/100ml)
Zn	=	Zinc (microgramos/ml)
R ²	=	0.99

6.4 *Pinus strobus* L. var. *chiapensis* Martínez

6.4.1 Índices de sitio

En el caso de la especie *Pinus strobus* var. *chiapensis*, se utilizaron los datos obtenidos del análisis fustal realizado a 10 árboles para ajustar la ecuación de Schumacher. Los rodales de esta especie son relativamente menores comparadas con las otras especies establecidas en el proyecto, por tal razón se analizaron menos árboles. Los coeficientes de la ecuación de Schumacher estimados utilizando el programa SINDEK del PSP, son los siguientes:

Coefficiente de intercepto común A=	8.51985
Coefficiente de pendiente común B=	-12.5108
Valor de k	= 0.316282
R ²	= 0.9599

La ecuación de Schumacher ajustada para la especie *Pinus strobus* var. *chiapensis* quedó de la siguiente forma:

$$\ln(h_{dom}) = 8.51985 - \frac{12.5108}{E^{0.316282}} \quad (\text{Ecuación 22})$$

Donde:

Ln	=	Logaritmo natural
h _{dom}	=	Altura dominante (metros)
E	=	Edad (años)

Con el modelo de Schumacher ajustado (Ecuación 22), se desarrolló la Ecuación 23, la cual se utilizó para estimar el índice de sitio a la edad base de 16 años para cada parcela temporal establecida. La edad base fue definida considerando la edad mínima encontrada en las áreas muestreadas.

$$\ln(IS) = \ln(hdom) - 12.5108(Eb^{-0.316282} - E^{-0.316282}) \quad (\text{Ecuación 23})$$

Donde:

- Ln = Logaritmo natural
- IS = Índice de sitio (metros)
- hdom = Altura dominante (metros)
- Eb = Edad base (16 años)
- E = Edad del rodal (años)

La variación de los índices de sitio estimados con la anterior ecuación fue de 20.75 a 29.88 metros, lo que corresponde a un incremento medio anual en altura dominante que va desde 1.30 a 1.87 metros por año. Klepac (14), reporta que en varias localidades del valle del río Sava, en la antigua Yugoslavia, *Pinus strobus* alcanza una altura de 11.3 metros a los 20 años. Esta diferencia significativa en el crecimiento en altura entre las dos regiones, ratifica el mayor ritmo de crecimiento que alcanzan las especies vegetales en las regiones tropicales.

El cuadro 18 muestra los índices de sitio para *Pinus strobus var. chiapensis* estimados para cada parcela temporal establecida. Los índices de sitio para esta especie fueron agrupados en 5 clases de sitio, con rangos de 2 metros de amplitud. El Cuadro 19 muestra las clases de sitio definidas con sus rangos respectivos.

6.4.2 Curvas de índice de sitio

Las ecuaciones anamórficas 24, 25, 26, 27 y 28 corresponden al punto medio de las clases de sitio I, II, III, IV y V definidos para *Pinus strobus var. chiapensis* en este estudio.

Cuadro 18. Índices de sitio estimados para la especie *Pinus strobus* var. *chiapensis* en el proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1996.

NUMERO DE PARCELA	RANGO ALTITUDINAL (msnm)	SECCION	EDAD (años)	ALTURA DOMINANTE (m)	INDICE DE SITIO (m)
1	1200-1300	18	16	28.40	28.40
2	1200-1300	18	16	26.14	26.14
3	1300-1400	18	17	24.80	22.47
4	1300-1400	18	17	22.94	20.78
5	1000-1100	6	18	29.48	24.37
6	1000-1100	6	17	22.90	20.75
7	800-900	6	16	29.88	29.88
8	800-900	6	17	27.90	25.28
9	800-900	1	16	27.10	27.10
10	800-900	1	18	30.04	24.84

Cuadro 19. Clases de sitio para los rodales de *Pinus strobus* var. *chiapensis* establecidos en el proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1996.

CLASE DE SITIO	INDICE DE SITIO (m)
I	28.00-29.99
II	26.00-27.99
III	24.00-25.99
IV	22.00-23.99
V	20.00-21.99

$$\ln(h_{dom}) = 8.572574 - \frac{12.5108}{E_i^{-0.316282}} \quad (\text{Ecuación 24})$$

$$\ln(h_{dom}) = 8.501114 - \frac{12.5108}{E_i^{-0.316282}} \quad (\text{Ecuación 25})$$

$$\ln(h_{dom}) = 8.424154 - \frac{12.5108}{E_i^{-0.316282}} \quad (\text{Ecuación 26})$$

$$\ln(h_{dom}) = 8.340764 - \frac{12.5108}{E_i^{-0.316282}} \quad (\text{Ecuación 27})$$

$$\ln(h_{dom}) = 8.249794 - \frac{12.5108}{E_i^{-0.316282}} \quad (\text{Ecuación 28})$$

La Figura 8 muestra las curvas de crecimiento en altura dominante de las cinco ecuaciones anteriores, las que corresponden a las clases de sitio I, II, III, IV y V, respectivamente.

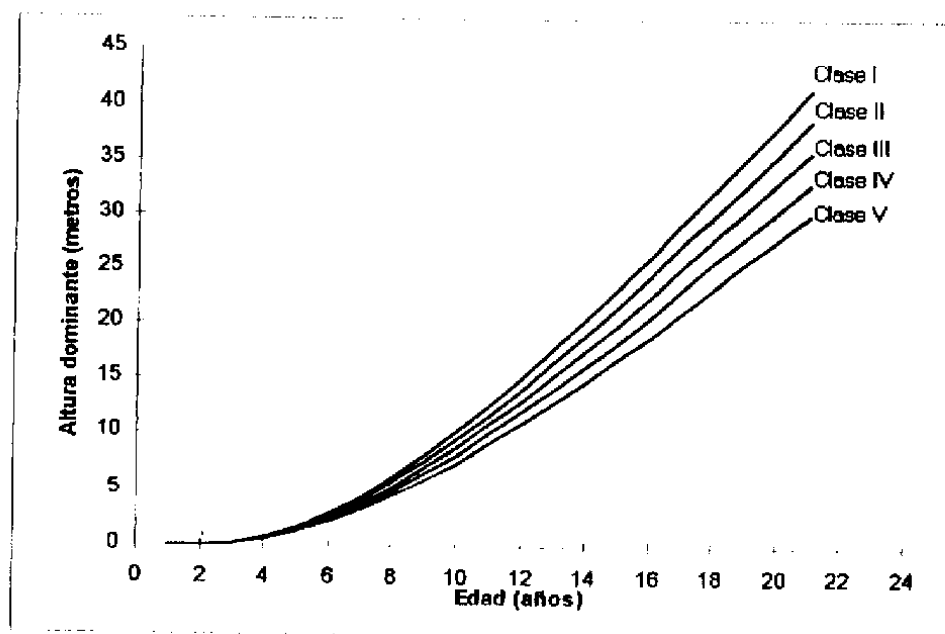


Figura 8. Curvas anamórficas de evolución en altura dominante, por clase de sitio, para la especie *Pinus strobus* var. *chiapensis*, establecida en el proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1996.

En la Figura 5 se presentan los rangos de clase de sitio preliminares para las cuatro especies establecidas en el proyecto de reforestación Saquichaj.

6.4.3 Análisis de los factores de sitio

En los Cuadros 20 y 21 se presentan los valores de las características del sitio y las características fisicoquímicas del suelo, respectivamente.

Cuadro 20. Características fisiográficas de 10 parcelas temporales establecidas en los rodales de *Pinus strobus var. chiapensis*. Proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1996.

NUMERO DE PARCELA	CLASE SITIO	PROFUNDIDAD DEL SUELO (cms)	EXPOSICION (grados)	PENDIENTE (porcentaje)	ALTTUD (manm)	POSICION TOPOGRAFICA
1	I	63.33	106	11	1290	Fondo plano
2	II	42.33	39	14	1290	Fondo plano
3	IV	Mayor 75	73	30	1320	Pend inferior
4	V	Mayor 75	60	19	1320	Pend inferior
5	III	51	82	28	1010	Pend superior
6	V	41.67	87	24	1015	Pend superior
7	I	mayor 75	20	34	890	Pend superior
8	III	mayor 75	18	39	890	Pend superior
9	II	52.67	303	33	825	Pend inferior
10	III	51.67	301	18	825	Pend inferior

En el análisis en conjunto de la información (correlación entre calidad de sitio y características fisiográficas y edáficas de los sitios), las características edáficas obtuvieron los coeficientes de correlación más altos, tal y como se muestra en el Cuadro 22.

Cuadro 21. Características químicas promedio, por clase de sitio, para la especie *Pinus strobus* var. *chiapensis* (Ps) en el proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1997.

Sp	CS	pH	P	K	Ca	Mg	Al	Al	Cu	Fe	Mn	Zn	% Mo	TEKTURA
Ps	I	4.70	1.29	0.12	2.29	0.58	1.13	1.32	0.91	15.87	51.54	2.60	2.34	fa
Ps	II	4.20	1.48	0.07	1.30	0.23	4.16	4.40	0.76	29.51	37.03	1.03	5.44	fal
Ps	III	5.00	1.10	0.07	4.43	0.77	0.29	0.48	0.59	12.92	47.07	0.64	6.47	fa
Ps	IV	4.30	1.10	0.11	0.94	0.26	0.74	1.01	1.52	14.43	53.23	2.62	4.11	fa
Ps	V	4.40	1.10	0.05	1.72	0.37	0.86	1.06	0.58	15.93	21.78	0.47	4.82	fa

REFERENCIAS:

Sp	= Especie	A.I.	= Acidez Intercambiable (meq/100ml)
CS	= Calidad de Sitio	Cu	= Cobre (microgramos/ml)
pH	= potencial de hidrógeno	Fe	= Hierro (microgramos/ml)
P	= Fósforo (Ug/ml)	Mn	= Manganeso (microgramos/ml)
K	= Potasio (meq/100ml)	Zn	= Zinc (microgramos/ml)
Ca	= Calcio (meq/100ml)	% Mo	= Porcentaje de materia orgánica
Mg	= Magnesio (meq/100ml)	fa	= franco arcilloso
Al	= Aluminio (meq/100ml)	fal	= franco arcilloso limoso

Cuadro 22. Coeficientes de correlación canónica entre la calidad de sitio y los factores de sitio medidos en los rodales de *Pinus strobus* var. *chiapensis*. Proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1997.

CARACTERÍSTICAS DE SITIO	COEFICIENTES DE CORRELACION
Concentración de potasio	0.7626
Concentración de manganeso	0.7135
Concentración de fósforo	0.7100
Concentración de zinc	0.6505
Posición topográfica	0.4001
Concentración de magnesio	0.3132
Concentración de aluminio	0.2899
pH	0.2892
Acidez intercambiable	0.2805
Concentración de hierro	0.2085

El análisis de correlación de la calidad de sitio vrs. características fisiográficas y calidad de sitio vrs. características edáficas en forma separada, presentó los siguientes resultados: En el primer caso, la correlación obtenida fue relativamente baja ($r=0.86$ y $\alpha=0.22$). En el segundo caso, el dato de correlación obtenido fue muy superior a la presentada anteriormente ($r=1$ y $\alpha=0.00$). De las características edáficas sobresalieron el potasio, el manganeso y el fósforo con coeficientes de correlación 0.76, 0.71 y 0.71, respectivamente, lo que indica que la calidad de sitio es directamente proporcional a las concentraciones de estos elementos en el suelo.

El modelo estadístico seleccionado para esta especie, es el que a continuación se presenta.

$$IS=17.463041+0.006058Ex-0.448079PT+93.211921K+0.559576Al$$

Donde:

- IS = Índice de sitio (metros)
- Ex = Exposición (grados)
- Pt = Posición topográfica (cuatro categorías, según Vásquez 1987) (25)
- K = Potasio (meq/100ml)
- Al = Aluminio (meq/100ml)
- R^2 = 0.69

7. CONCLUSIONES

- 7.1 *Cupressus lusitanica* presentó índices de sitio que variaron de 14.69 a 21.74 metros, lo cual representa un incremento medio anual en altura dominante que va desde 0.86 a 1.28 metros por año.
- 7.2 *Pinus caribaea var. hondurensis* presentó índices de sitio que variaron de 12.40 a 18.80 metros, lo cual representa un incremento medio anual en altura dominante que va desde 0.78 a 1.18 metros por año.
- 7.3 *Pinus maximinoii* presentó índices de sitio que variaron de 13.34 a 20.0 metros, lo cual representa un incremento medio anual en altura dominante que va desde 0.95 a 1.43 metros por año.
- 7.4 *Pinus strobus var. chiapensis* presentó índices de sitio que variaron de 20.75 a 29.88 metros, lo cual representa un incremento medio anual en altura dominante que va desde 1.30 a 1.87 metros por año.
- 7.5 Al comparar los datos de incrementos obtenidos en el proyecto de reforestación Saquichaj con datos obtenidos en otras regiones, se pudo establecer que *Cupressus lusitanica* y *Pinus maximinoii* se encuentran dentro de los valores obtenidos en otras regiones de Guatemala, *Pinus caribaea var. hondurensis* ha respondido de mejor forma en algunas localidades de Costa Rica y Venezuela. Para *Pinus strobus var. chiapensis* solamente se encontraron datos de crecimiento obtenidos en la antigua Yugoslavia. Este dato comparado con los obtenidos en Saquichaj muestran la diferencia significativa en el ritmo de crecimiento que se da en regiones que se encuentran en latitudes distantes.

7.6 En el análisis de los factores de sitio, las características químicas del suelo obtuvieron los coeficientes de correlación más altos. Para la especie *Cupressus lusitanica* la concentración de manganeso obtuvo un coeficiente de correlación de -0.94, el resto de variables obtuvieron coeficientes de correlación menores de 0.56. Para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* las variables con mayor coeficiente de correlación, fueron: concentración de hierro, concentración zinc y concentración de manganeso, con coeficientes de correlación 0.72, -0.69 y -0.66, respectivamente. Las variables sobresalientes en el análisis de los factores de sitio, para la especie *Pinus maximinoii*, fueron: la concentración de potasio y la concentración de zinc, con coeficientes de correlación 0.99 y 0.76, respectivamente. Para *Pinus strobus* var. *chiapensis* la concentración de los elementos potasio, manganeso y fósforo fueron las variables sobresalientes, con coeficientes de correlación 0.76, 0.71 y 0.71, respectivamente.

8. RECOMENDACIONES

- 8.1 Obtener dentro de las parcelas establecidas en este estudio la información necesaria para ajustar adecuadamente el modelo de Schumacher de cada especie a la edad de turno.
- 8.2 Los modelos de regresión seleccionados para *Cupressus lusitanica*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Pinus maximinoii* y *Pinus strobus* var. *chiapensis* nos dan una estimación de la calidad de sitio. Tomando en cuenta las variables que componen cada modelo, esta información puede utilizarse para seleccionar la especie o especies más convenientes para reforestar determinada área, dependiendo de las características del sitio dentro de la finca Saquichaj o en áreas cercanas a ella.
- 8.3 Integrar la información obtenida en las plantaciones (estratificación, inventarios forestales, calidad de sitio) con el fin de delimitar áreas de acuerdo a las condiciones de los diferentes rodales, para definir lineamientos de manejo de las diferentes áreas.
- 8.4 Las características químicas del suelo presentaron mayor correlación con la calidad de sitio, por lo que es básico obtener esta información al elaborar futuros proyectos de reforestación para la finca Saquichaj.
- 8.5 Es importante obtener información adicional sobre índices de sitio en el proyecto de reforestación Saquichaj, estableciendo parcelas temporales en sitios estratégicos dentro de las plantaciones, ya que es necesario elaborar un mapa más preciso de calidad de sitio.

9. BIBLIOGRAFIA

1. **AGUILAR, I.** 1958. Pinos de Guatemala. Guatemala, Ministerio de Agricultura, Dirección General Forestal. 32 p.
2. **ALDER, D.** 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento; con referencia especial a los trópicos. Roma, Italia, FAO. Estudio FAO; montes 22/2. v.2, 118 p.
3. **BARRIOS, J. et al.** 1993. Inventario forestal y plan de tratamientos silvícolas de la plantación de *Pinus maximinoii* H. E. Moore y *Cupressus lusitanica* Miller en la finca Chicocom, Cobán, Alta Verapaz. Cursos Especializados de Sistemas. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 89 p.
4. **CASTILLO CONTRERAS, D.** 1993. Tablas de producción preliminares para *Cupressus lusitanica* Miller: estudio de caso en la finca Florencia, Santa Lucía Milpas Altas, Sacatepequez y finca Santa Isabel, Fraijanes, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 80 p.
5. **CRUZ, J.R. DE LA.** 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 p.
6. **CHAVES, E.; FONSECA, W.** 1991. *Cupressus lusitanica* Mill; especie de árbol de uso múltiple en América Central. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico no. 168. 66 p.
7. **ESCOBAR SAGASTUME, A.** 1987. Estudio de crecimiento y rendimiento de (*Pinus maximinoii* H. E. Moore) en Jalapa, departamento de Jalapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 76 p.
8. **ESCOBEDO LOPEZ, M.** 1995. Índices de sitio para *Pinus pseudostrobus* Lindl., en los departamentos de Chimaltenango y Sololá. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 82 p.
9. **GUATEMALA. INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL.** 1982. Mapa de cuencas de la república de Guatemala, cuenca Usumacinta, subcuenca Salinas. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
10. _____. 1982. Mapa de regiones fisiográficas de la República de Guatemala. Guatemala. Esc. 1:1,000,000. Color.

11. _____. 1982. Mapa topográfico de la república de Guatemala, hoja cartográfica Rubeltem, Alta Verapaz, n.º 2162 IV. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
12. _____. 1988. Mapa geológico de la República de Guatemala. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
13. **GUATEMALA. INSTITUTO NACIONAL FORESTAL.** 1974. Ley forestal de Guatemala. Decreto 58-74.
14. **KLEPAC, D.** 1983. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. 2 ed. Chapingo, México, Escuela Nacional Agrícola. 365 p.
15. **LOPEZ PAYES, J.** 1992. Determinación de índices de sitio y estudio de crecimiento de ciprés común (*Cupressus lusitanica* Miller), establecido en plantación en tres localidades del departamento de Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 87 p.
16. **MARTINEZ, M.** 1948. Los pinos mexicanos. 2 ed. México, Botas. 361 p.
17. **NUÑEZ SARAVIA, O.M.** 1986. Estudio de crecimiento y rendimiento de *Pinus maximinoii* H. E. Moore, en Cobán, Alta Verapaz. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 130 p.
18. **ORTEGA B., H.** 1986. Factores edáficos que determinan la calidad de sitio en plantaciones jóvenes de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* en Pavones, Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., Sistema de Estudios de Posgrado UCR/CATIE. 108 p.
19. **ORTIZ, L.** 1995. La calidad del sitio. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 6 p.
20. **PETERS, R.** 1977. Tablas de volumen para las especies coníferas de Guatemala. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 162 p.
21. **ROJAS, F.; ORTIZ, W.** 1991. *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* (Barret y Golfari); especie de árbol de uso múltiple en América Central. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico n.º 175. 59 p.
22. **SIMMONS, CH.; TARANO, J.M.; PINTO, J.H.** 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. Pedro Tirado. Guatemala, Ed. José de Pineda Ibarra. 1000 p.

23. **TZIRIN BATZIN, J.R.** 1995. Determinación del uso actual de la tierra de la finca Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz. Diagnóstico EPSA. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 28 p.
24. **UGALDE A., L.** 1993. Notas sobre crecimiento y calidad de sitio de ciprés en América Central. En Curso Taller Manejo de Plantaciones Forestales de Coníferas en Guatemala (1993, Guatemala). Guatemala, CATIE, Sistema de Manejo de Información sobre Recursos Arbóreos. s.p.
25. **VASQUEZ CARBALLO, W.** 1987. Desarrollo de índices de sitio y selección de un modelo preliminar de rendimiento para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* en la Reserva Forestal La Yeguada, Panamá. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., Programa Universidad de Costa Rica/CATIE. 86 p.
26. **VASQUEZ CARBALLO, W.; UGALDE ARIAS, L.** 1995. Rendimiento y calidad de sitio para *Gmelina arborea*, *Tectona grandis*, *Bombacopsis quinatum* y *Pinus caribaea* en Guanacaste, Costa Rica. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico no. 256. 33 p.
27. **YLIJOKI, K.** 1993. Integración de curvas de fuste al Sicodesi: acuerdo de cooperación en materia forestal entre México y Finlandia. Helsinki, Finlandia. s.n. Informe técnico no. 4. 24 p.

Vo. Ba. *Rolando Barrios.*



10. APENDICE

Cuadro 24A. Modelos para estimar la calidad de sitio para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* y *Cupressus lusitanica*, por medio de factores de sitio, determinados en Costa Rica y Panamá y Colombia, respectivamente.

ESPECIE	MODELO	PAIS
<i>P. caribaea</i> var. <i>Hondurensis</i>	$IS(dm)=118.9706+21.676PT$	Panamá
	$IS(dm)=155.7363+18.4412PT-1.2354Limo50$	Panamá
	$IS(m) =1.0215+0.1471L+0.0187A+1.09402PE$ $+0.0377Mr$	Costa Rica
<i>C. lusitanica</i>	$IS = a + b CT - cp$	Colombia

Referencias:

IS(dm)= Índice de sitio en decímetros

IS(m) = Índice de sitio en metros

PT = Posición topográfica de 1 a 4

Limo50= Porcentaje de limo de 30 a 50 cm de profundidad del suelo

L = Porcentaje de limo de 0 a 20 cm de profundidad del suelo

A = Altitud msnm

PE = Profundidad efectiva del suelo en metros

Mr = Microrelieve según T. Schinkel (1972), citado por Ortega (18)

IS = Índice de sitio

CT = Código topográfico

p = Pendiente mínima en grados

a,b,c = Coeficientes de regresión



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 FACULTAD DE AGRONOMIA
 INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
 AGRONOMICAS

Ref. Sem.29-98

LA TESIS TITULADA: "INDICES DE SITIO PRELIMINARES PARA Cupressus lusitanica Miller, Pinus caribaea Morelet var. hondurensis Barret & Golfari, Pinus maximinoii H.E. Moore Y Pinus strobus L. var. chiapensis Martínez, ESTABLECIDAS EN PLANTACION EN EL PROYECTO DE REFORESTACION SAQUICHAJ COBAN, ALTA VERAPAZ".

DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE: JULIO ROLANDO TZIRIN BATZIN

CARNET No: 8917179

HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES: Ing. Agr. Walter García Tello
 Ing. Agr. Edwin E. Cano Morales

El Asesor y las Autoridades de la Facultad de Agronomía, hacen constar que ha cumplido con las normas Universitarias y Reglamentos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Ing. Agr. M.Sc. Mario Alberto Méndez
 ASESOR

Ing. Agr. Fernando Rodríguez
 DIRECTOR DEL IIA



IMPRIMASE

Ing. Agr. Rolando Lara Alepico
 DECANO

cc: Archivo
 Exp. est.
 Control Académico
 ER/prr.

APARTADO POSTAL 1545 • 01091 GUATEMALA, C. A.

TELEFONO: 769794 • FAX: (5022) 769770