

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS

FACTORES EDÁFICOS Y FISIAGRÁFICOS QUE AFECTAN EL CRECIMIENTO
INICIAL DE *Pinus maximinoi* H.E. Moore EN PLANTACIONES ESTABLECIDAS
DENTRO DEL PROGRAMA DE INCENTIVOS FORESTALES EN LAS VERAPACES



TESIS

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

POR

WALTER VINICIO O. ALVARADO JERÓNIMO

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

INGENIERO AGRÓNOMO

EN

RECURSOS NATURALES RENOVABLES

EN EL GRADO ACADÉMICO DE

LICENCIADO

GUATEMALA JULIO 2004

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

DL
01
T(2090)

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Dr. M.V. LUIS ALFONSO LEAL MONTERROSO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO

VOCAL PRIMERO

VOCAL SEGUNDO

VOCAL TERCERO

VOCAL CUARTO

VOCAL QUINTO

SECRETARIO

Dr. Ariel Abderramán Ortiz López

Ing. Agr. Alfredo Itzep Manuel

Ing. Agr. Manuel de Jesús Martínez Ovalle

Ing. Agr. Erberto Raúl Alfaro Ortiz

Prof. Juvencio Chom Canil

Prof. Bayron Geovany González Chavajay

Ing. Agr. Pedro Peláez Reyes

Guatemala, Julio 2004

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

Señores miembros:

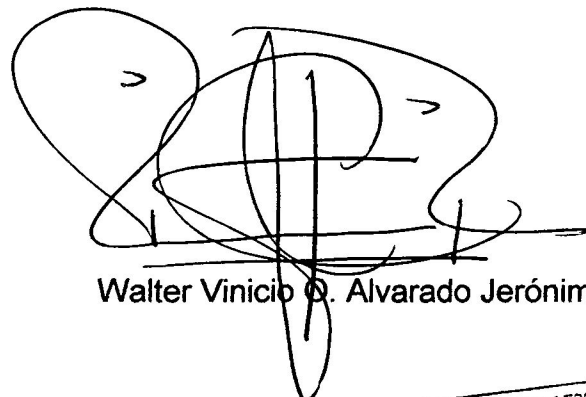
De conformidad con las normas establecidas en la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de tesis titulado:

FACTORES EDÁFICOS Y FISIAGRÁFICOS QUE AFECTAN EL CRECIMIENTO INICIAL DE *Pinus maximinoi* H.E. Moore EN PLANTACIONES ESTABLECIDAS DENTRO DEL PROGRAMA DE INCENTIVOS FORESTALES EN LAS VERAPACES

Presentado como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Recursos Naturales Renovables, en el grado académico de Licenciado.

Esperando que la presente investigación llene los requisitos necesarios para su aprobación, me suscribo.

Atentamente.



Walter Vinicio O. Alvarado Jerónimo

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

*...cortaron nuestras ramas,
cortaron nuestro árboles,
pero jamás podrán arrancar
nuestras raíces...*

*En memoria de Juana Manuel, Ana
y Raymundo Alvarado*

ACTO QUE DEDICO

A: DIOS

Sin su fuerza divina no somos nada

MI MAMÁ

Por ser ejemplo de amor y humildad, que Dios te bendiga siempre

MIS HERMANOS

Gilda, Jaime, Héctor, especialmente a Diana como muestra de cariño

MIS CUÑADAS

Por darme seis razones de amor

MIS SOBRINOS

Dulce, Fernando, Dinora, Adolfo, Rolando y Josué

MIS TÍOS

Mariano, Irene, Francisca y Telma, especialmente a Cruz y Felipe Jerónimo, por ser ejemplos de profesionalismo y amor cristiano

MIS PRIMOS

Principalmente aquellos que han estado siempre a mi lado

MIS AMIGOS (AS) Y COMPARAÑEROS

Como muestra de amistad y compañerismo y por compartir gratos momentos

EL VARÓN RABINAL ACHÍ

Y sus descendientes que lucharon y luchan por un futuro mejor

A MI PATRIA GUATEMALA

ÍNDICE

CONTENIDO	PÁGINA
f. Ventajas del <i>Pinus maximinoi</i>	22
g. Desventajas del <i>Pinus maximinoi</i>	23
3.2.3. Estudios de crecimiento y rendimiento de la especie a nivel de plantación y bosque natural.....	23
3.2.4. Características generales del área de estudio.....	24
A. Localización y extensión.....	24
B. Condiciones climáticas.....	25
C. Topografía y vegetación.....	25
D. Suelos.....	26
E. Geología y fisiografía.....	27
F. Hidrografía.....	27
3.2.5. Estudios relacionados con la calidad y los factores de sitio.....	27
3.2.6. Generalidades del Programa de Incentivos Forestales.....	29
3.2.7. Generalidades del programa Mira Silv versión 2.9.....	30
4. OBJETIVOS	31
4.1 General.....	31
4.2 Específicos.....	31
5. HIPÓTESIS	32
6. METODOLOGÍA	33
6.1. Selección del área de estudio.....	33
6.2. Diseño del muestreo y tamaño de la muestra.....	33
6.3. Selección de los proyectos.....	34
6.3.1. Criterios de selección.....	34
6.3.2. Revisión de expedientes.....	35
6.4. Selección y número de parcelas.....	35
6.4.1. Método de muestreo dentro de cada proyecto seleccionado.....	35
6.4.2. Intensidad de muestreo.....	35
6.4.3. Tipo de parcela.....	35
6.4.4. Tamaño y forma de la parcela.....	35
6.4.5. Número de parcelas y distribución por sitio.....	36
6.4.6. Ubicación e instalación de las parcelas.....	39
6.5. Recopilación de datos de campo.....	41
6.5.1. Elaboración del croquis de la parcela.....	41
6.5.2. Variables evaluadas.....	41
A. Variables dasométricas.....	41
a. Variables cuantitativas.....	41
b. Variables cualitativas.....	42
b.1. Evaluación de la calidad de las plantaciones.....	42
b.2. Sanidad de las plantaciones.....	43
c. Variables de crecimiento.....	43
c.1. Determinación de la calidad en base al crecimiento.....	44

AGRADECIMIENTOS

A:

El Instituto Normal Mixto del Norte "Emilio Rosales Ponce" y a la Universidad de San Carlos de Guatemala por abrimme sus puertas del saber

El Departamento de Bienestar Estudiantil de la Universidad por el apoyo económico brindado en mi formación, especialmente a las Licenciadas: Anselma, Patricia, Cruz Aidé y Estela.

El Doctor Luis Ugalde Arias, por su ayuda y enseñanza incondicional en la realización de ésta investigación

El Instituto Nacional de Bosques por haberme dado la oportunidad de realizar la presente investigación, así como la ayuda económica brindada para el análisis de las muestras de suelos.

El Ing. Carlos Ernesto Archila por el apoyo logístico brindado en la etapa de campo, así también a los diferentes Subregionales, personal técnico, administrativo y de servicio de la Región II (Las Verapaces)

El Ing. Marco Tulio Aceituno por su apoyo indiscutible en el proceso de la investigación y la valiosa ayuda en el análisis estadístico

El Ing. Edwin Cano por su asesoramiento brindado en el análisis silvicultural de las plantaciones

La Ing. Griselda Lily Gutiérrez por sus sugerencias acertadas

El Ing. Rolando Aragón y Jorge Mario Monzón por la ayuda brindada en la presentación y revisión del documento, así mismo al Ing. Mario Alberto Méndez.

ÍNDICE DE CUADROS

	CONTENIDO	PÁGINA
Cuadro 1	Crecimiento en altura, diámetro y volumen de un árbol.....	05
Cuadro 2	Montos para proyectos de reforestación en el PINFOR.....	30
Cuadro 3	Municipios donde se localizan los diferentes proyectos evaluados....	33
Cuadro 4	Características generales de los proyectos evaluados.....	37
Cuadro 5	Evaluación de las variables fisiográficas.....	45
Cuadro 6	Evaluación de las variables edáficas.....	46
Cuadro 7	Proyectos evaluados para la fertilidad del suelo.....	47
Cuadro 8	Variables evaluadas en la fertilidad del suelo.....	49
Cuadro 9	Variables cuantitativas evaluadas por parcela.....	53
Cuadro 10	Condiciones fisiográficas de parcelas en el mismo sitio y edad.....	59
Cuadro 11	Características fisicoquímicas de parcelas en el mismo sitio y edad..	60
Cuadro 12	Condiciones fisiográficas de parcelas en sitios distintos.....	60
Cuadro 13	Condiciones fisicoquímicas de parcelas en sitios distintos.....	60
Cuadro 14	Rangos dasométricos de las plantaciones por edad.....	63
Cuadro 15	Frecuencia general de códigos para forma y defectos del fuste.....	65
Cuadro 16	Calidad en base a la posición sociológica y ejes rectos por edad.....	69
Cuadro 17	Calidad de las plantaciones en base a plagas y defectos del fuste....	70
Cuadro 18	Frecuencias de códigos para sanidad del fuste por edad.....	71
Cuadro 19	Determinación de la sanidad del fuste por edad.....	71
Cuadro 20	Resumen de los diferentes IMAs en diámetro, altura y volumen.....	72
Cuadro 21	Condición fisiográfica de parcelas en el mismo sitio y edad distinta...	78
Cuadro 22	Condiciones edáficas de parcelas en el mismo sitio y edad distinta...	78
Cuadro 23	Rangos de los IMAs en diámetro, altura y volumen por edad.....	79
Cuadro 24	Calidad de las plantaciones en base a los IMAs por edad.....	81
Cuadro 25	IMAs en diámetro, altura y volumen por año en las Verapaces.....	82
Cuadro 26	Número de parcelas que se ubican en sitios buenos y malos.....	82
Cuadro 27	Características fisiográficas y edáficas de las parcelas.....	83
Cuadro 28	Descripción general de las variables edáficas y fisiográficas.....	87
Cuadro 29	Análisis químico de las parcelas muestreadas a dos profundidades..	88
Cuadro 30	Promedio de rangos de variación de las variables químicas por proyecto.....	92
Cuadro 31	Rangos de valores de las propiedades químicas del suelo.....	94
Cuadro 32	Rango de valores del pH del suelo.....	94
Cuadro 33	Análisis físicos de los sitios muestreados por parcela.....	99
Cuadro 34	Rangos generales para factores físicos del suelo.....	103
Cuadro 35	Efecto de las características fisiográficas.....	104
Cuadro 36	Efecto de las características fisicoquímicas del suelo.....	104
Cuadro 37	Modelos propuestos para el Estrato I.....	105
Cuadro 38	Modelos propuestos para el Estrato II.....	109

ÍNDICE

CONTENIDO	PÁGINA
ÍNDICE DE CUADROS.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
RESUMEN.....	vi
1. INTRODUCCIÓN.....	01
2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	03
3. MARCO TEÓRICO.....	04
3.1. MARCO CONCEPTUAL.....	04
3.1.1. Generalidades.....	04
A. Productividad.....	04
B. Crecimiento.....	04
a. Crecimiento de árboles individuales.....	05
b. Crecimiento de masas forestales.....	05
C. Incremento.....	06
a. Incremento Corriente Anual.....	06
b. Incremento Medio Anual.....	06
c. Incremento Periódico.....	06
D. Sitio.....	06
E. Calidad de sitio.....	06
F. Importancia de la calidad de sitio.....	07
G. Importancia de la calidad de las plantaciones.....	07
3.1.2. Evaluación de la calidad de sitio.....	07
A. Métodos directos.....	08
B. Métodos indirectos.....	08
3.1.3. Factores de crecimiento que influyen en la calidad de sitio.....	08
A. Factores edáficos.....	09
a. Características físicas.....	09
b. Características químicas.....	12
B. Factores fisiográficos.....	15
3.1.4. Importancia de las parcelas de medición permanente.....	17
3.1.5. Generalidades del análisis de regresión múltiple.....	18
A. Objetivos de un análisis de regresión múltiple.....	18
B. Construcción y selección de variables ambientales.....	18
3.2. MARCO REFERENCIAL.....	18
3.2.1. Género <i>Pinus</i> en Guatemala.....	18
3.2.2. Caracterización de la especie.....	19
A. Clasificación taxonómica.....	19
B. Características principales.....	19
a. Descripción de la especie.....	20
b. Distribución de la especie.....	21
c. Biología reproductiva.....	21
d. Características y propiedades de la madera.....	22
e. Secado, preservado y usos de la madera.....	22

ÍNDICE

CONTENIDO	PÁGINA
B. Variables fisiográficas.....	44
C. Variables edáficas.....	45
6.5.3. Criterios de selección de las parcelas para evaluar la fertilidad.....	47
A. Evaluación de la fertilidad del suelo.....	48
B. Ordenamiento y análisis de las variables químicas evaluadas.....	49
6.6. Construcción de modelos.....	49
6.6.1. Análisis de regresión separando las variables (Estrato I).....	50
6.6.2. Análisis de regresión múltiple de todos los factores evaluados.....	50
6.7. Ordenamiento, procesamiento y análisis de datos.....	50
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52
7.1. Características generales de las parcelas y proyectos evaluados.....	52
7.1.1. Variables dasométricas.....	52
A. Variables cuantitativas.....	52
B. Variables cualitativas.....	64
a. Determinación de la calidad en base a los códigos de forma....	69
b. Sanidad de las plantaciones.....	70
7.1.2. Variables de crecimiento.....	72
A. Determinación de la calidad en base al crecimiento.....	81
7.1.3. Variables fisiográficas.....	82
7.1.4. Factores edáficos.....	88
A. Evaluación de los factores químicos a nivel de laboratorio.....	88
B. Evaluación general de la fertilidad del suelo por proyecto.....	91
C. Comportamiento de diferentes variables químicas del suelo.....	96
D. Análisis físico de las muestras del suelo.....	99
7.2. Construcción de modelos de predicción del crecimiento inicial.....	103
7.2.1. Construcción de modelos de predicción del Estrato I.....	103
A. Efecto de las características fisiográficas.....	103
B. Efecto de las características fisicoquímicas del suelo.....	104
C. Efecto combinado de las características fisiográficas y edáficas.....	105
D. Relación gráfica de variables evaluadas con el crecimiento.....	107
7.2.2. Construcción de modelos del Estrato II.....	109
A. Relación gráfica de variables evaluadas con el crecimiento.....	112
8. CONCLUSIONES.....	115
9. RECOMENDACIONES.....	116
10. BIBLIOGRAFÍA.....	117
11. APÉNDICES.....	123

Se determinó también la influencia de algunas características fisicoquímicas del suelo a una profundidad de 0-20 cm y de 20-40 cm conjuntamente con características fisiográficas, sobre el crecimiento inicial, utilizando modelos de regresión múltiple por el método Stepwise del paquete SAS.

De acuerdo a la investigación se observó que es difícil hacer una estimación del comportamiento del crecimiento inicial en base a las variables edáficas y fisiográficas en un área muy extensa, por lo tanto es recomendable segregar los modelos, con la finalidad de disminuir la varianza. Los modelos propuestos lograron explicar entre un 45 y 72% de la variación del crecimiento, lo que demuestra que el crecimiento inicial es afectado por las variables evaluadas, confirmando así la hipótesis planteada.

Entre los factores fisiográficos que influyeron sobre el crecimiento se encuentra: La pendiente, exposición, pedregosidad, drenaje, profundidad, erosión, contorno y posición de la pendiente.

Las variables fisicoquímicas del suelo: Conductividad eléctrica, Magnesio, limo, Zinc, Potasio a una profundidad de (0-20 cm), conjuntamente con el Fósforo, Zinc, Sodio, Potasio y limo a la profundidad de (20-40 cm) se encontraron relacionadas con el crecimiento inicial de la especie.

Con base a los resultados obtenidos, se recomienda que en la planificación y aprobación de proyectos que incluyan la especie de *Pinus maximinoi* H.E. Moore dentro del PINFOR en Las Verapaces se consideren seleccionar aquellas áreas que reúnan las características edáficas y fisiográficas propuestas en esta investigación, principalmente las variables de fácil medición e identificación en el campo, como terrenos con pendientes menores al 35%, con exposiciones Noreste y Oeste, ubicados en las partes medias y bajas de la pendiente que posean contornos o formas planas, cóncavas o en terrazas, con suelos mayores a los 90 cm y texturas medias.

Se espera que se les proporcione mantenimiento a las parcelas con el propósito de darle continuidad a mediciones que permitan en un futuro reafirmar o consolidar los resultados de la investigación. Así mismo para futuras investigaciones similares dentro de la Región y con la misma especie se recomienda poner mayor énfasis, en las variables no explicadas en esta investigación (tratamientos silviculturales y procedencia del material vegetativo).

ÍNDICE DE FIGURAS

	CONTENIDO	PÁGINA
Figura 1	Ubicación geográfica de los proyectos evaluados en la Región.....	40
Figura 2	Relación de la materia orgánica Vrs Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) a 0-20 cm de profundidad.....	97
Figura 3	Relación Calcio Vrs Magnesio a 0-20 cm de profundidad.....	97
Figura 4	Relación de la arcilla Vrs Capacidad de Intercambio Catiónico -CIC- a 0-20 cm de profundidad.....	98
Figura 5	Relación de la arcilla Vrs Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) a 20-40 cm de profundidad.....	98
Figura 6	Relación del porcentaje de materia orgánica Vrs CIC a 20-40 cm...	99
Figura 7	Relación de la pendiente Vrs IMA en diámetro (DAP).....	107
Figura 8	Relación de la pendiente Vrs IMA en altura.....	107
Figura 9	Relación del Magnesio a 0-20 cm Vrs IMA en volumen.....	108
Figura 10	Relación del potasio a 20-40 cm Vrs IMA en diámetro.....	112
Figura 11	Relación del Sodio a 20-40 cm Vrs IMA en altura.....	112
Figura 12	Relación del Limo a 0-20 cm Vrs IMA en volumen.....	113

En base a lo anterior se pretende con este estudio conjuntar nuevas herramientas de trabajo que respondan a la necesidad de buscar nuevas alternativas de manejo forestal, especialmente en la aprobación y establecimiento de futuros proyectos de reforestación a través de los factores edáficos y fisiográficos de mayor incidencia relacionados con el crecimiento inicial, en donde se aproveche mejor la capacidad productiva de los terrenos forestales y con ello conocer la productividad actual de las áreas forestales de la Región.

Así mismo con los datos de campo tomados continuamente de las parcelas permanentes, se pueden formular lineamientos en cuanto al manejo silvícola, proyecciones económicas a futuro y establecer los mejores sitios de un área en particular.

FACTORES EDÁFICOS Y FISIAGRÁFICOS QUE AFECTAN EL CRECIMIENTO INICIAL DE *Pinus maximinoi* H.E. Moore EN PLANTACIONES ESTABLECIDAS DENTRO DEL PROGRAMA DE INCENTIVOS FORESTALES EN LAS VERAPACES

EDAPHIC AND PHISIOGRAPHIC FACTORS THAT AFFECT THE INITIAL GROWTH OF *Pinus maximinoi* H.E. Moore ON PLANTATIONS ESTABLISHMENT ON FOREST INCENTIVE PROGRAM AT LAS VERAPACES

RESUMEN

Según Castañeda et al, de 1997 al 2002, se habían establecido a nivel nacional 33,900 ha de plantaciones forestales y manejado 30,000 ha de bosque natural, a través del Programa de Incentivos Forestales -PINFOR-, con una inversión del Estado sólo en incentivos para los propietarios de tierras, de Q365 millones (\$38 millones), sin embargo de acuerdo a Ugalde varias de las plantaciones han sido establecidas en sitios y/o con especies no apropiadas, muchas de ellas han fracasado o no han tenido el crecimiento y calidad esperada, así mismo el mayor esfuerzo se ha centrado en el establecimiento de plantaciones, pero se ha descuidado el manejo, monitoreo y evaluación del crecimiento.

La Región de Las Verapaces concentra aproximadamente un 30% de proyectos dentro del PINFOR, a nivel de especie, *Pinus maximinoi* posee el mayor porcentaje de área reforestada, existiendo hasta el 2002 2,874.82 ha que corresponden al 29%, sin embargo actualmente se desconoce las condiciones de crecimiento, calidad, sanidad y los principales factores edáficos y fisiográficos que influyen en el crecimiento.

En función de lo anterior el presente estudio se realizó en Las Verapaces, con el propósito de determinar el comportamiento del crecimiento inicial, la calidad del fuste y el estado fitosanitario de las plantaciones de *Pinus maximinoi* en base a la metodología del Mira Silv. Evaluando 32 proyectos, con edades de 1 a 6 años, para lo cual fue necesario establecer y medir 143 parcelas permanentes de monitoreo -ppm-, como parte de un convenio entre CATIE-INAB. Se estableció que el 52% de los ejes presentan un rango de dominancia bueno, las plagas no influyen en la calidad de las plantaciones, así mismo del total de ejes evaluados el 79% presentan algún defecto, en cuanto a la sanidad, la mayoría presenta un rango muy bueno. El crecimiento inicial, establece que el 50% de las plantaciones se encuentran desarrollándose por debajo de los diferentes Incrementos Medios Anuales obtenidos en este estudio.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. MARCO CONCEPTUAL

3.1.1. GENERALIDADES

A. Productividad

Zepeda y Rivero (1984), citados por Escobedo (21), consideran que debido a la dificultad para determinar la productividad de los terrenos forestales, se ha recurrido a enfocarla en función de factores ambientales; tal es el caso de la calidad de sitio, que se estima mediante la máxima cosecha de madera que el bosque produce en un tiempo determinado.

La productividad de los bosques depende de una serie de factores ambientales que comprenden radiación, temperatura, agua y disponibilidad de nutrientes. Este último factor también depende de dichas condiciones ambientales y en la mayoría de los bosques, la productividad está relacionada directamente con la absorción y disponibilidad de nutrientes (9).

B. Crecimiento

Es el aumento gradual en el tamaño de un organismo (árbol), población (bosque) en un período de tiempo. Este aumento se produce por la actividad fisiológica de la planta. El ritmo o tasa de crecimiento está determinado por factores internos (genéticos), externos (sitio) y por el tiempo (23).

Los requisitos internos para el crecimiento de los árboles según Bockheim (10) son:

- Suministro adecuado de carbohidratos.
- Agua.
- Minerales.
- Reguladores hormonales del crecimiento.

El crecimiento de un árbol en un bosque, depende de la capacidad de adaptarse y expresar su potencial genético en el medio ambiente a que está expuesto según Daniel et al (17).

1. INTRODUCCIÓN

Guatemala es considerado como un país netamente forestal, debido a sus características climáticas y fisiográficas, donde el manejo de la cobertura forestal debe considerarse como una de las actividades socioeconómicas más importantes de la economía nacional. Para el año 1996, se reportaban tasas de deforestación anual de 90,000 ha y tasas de reforestación menores a 4,000 ha existiendo un déficit de 86,000 ha (18).

Esto ha venido cambiando de forma acelerada, Ugalde (60) establece que el desarrollo forestal en la última década, ha tenido un mayor auge en varios países tropicales, especialmente en América Central con respecto al establecimiento de plantaciones forestales. Esto se ha visto favorecido en gran parte, por la aprobación y puesta en marcha en varios países, de Programas de Incentivos Forestales -PINFOR-, con el propósito de promover la reforestación con la participación de productores individuales, comunidades, cooperativas y/o empresas privadas.

El *Pinus maximinoi* es la especie prioritaria en la Región de las Verapaces (30) y una de las más importantes a nivel comercial, debido a su rango de distribución, características propias de la madera y el fácil abastecimiento a la industria regional de las Verapaces, que conjuntamente con los departamentos de Izabal y Petén, son considerados como polos de desarrollo forestal por tener una mayor concentración de masa boscosa y un porcentaje significativo de Proyectos dentro del -PINFOR-, aproximadamente un 65%.

Sin embargo se debe reconocer que existe hasta ahora la incertidumbre en cuanto al desarrollo de los diferentes proyectos de reforestación dentro del -PINFOR-, que el Estado a través del 1% de sus ingresos generales a invertido, especialmente en la Región.

Por tal motivo este estudio en un principio, en base a la implementación de parcelas permanentes de monitoreo -ppm- con la metodología del Mira Silv, determinó el comportamiento del crecimiento inicial, calidad y sanidad en que se encuentran actualmente las plantaciones de *Pinus maximinoi* en diferentes proyectos en la zona de las Verapaces, específicamente dentro de la zona de vida bosque muy húmedo subtropical frío bmh-S(f)

El objetivo central de la investigación radica en determinar la influencia de algunas características fisiográficas y fisicoquímicas del suelo sobre el crecimiento inicial expresado en los Incrementos Medios Anuales en diámetro (DAP), altura (Altura total) y volumen (m^3/ha), así mismo formula modelos matemáticos que permitan cuantificar la variación del crecimiento.

C. Incremento

Consiste en la diferencia de tamaño entre el comienzo y final de un periodo de crecimiento. El crecimiento se manifiesta en el cambio de dimensiones de las diferentes variables que lo caracterizan según Ferreira (23). Así mismo, menciona que existen varios tipos de incrementos:

a. Incremento Corriente Anual

Corresponde al incremento producido en un año de intervalo. Se calcula haciendo la diferencia entre el valor al final del año menos el valor al inicio del año.

b. Incremento Medio Anual

Corresponde al promedio de incremento hasta el momento actual. Se calcula dividiendo el valor actual entre el tiempo transcurrido o edad.

c. Incremento Periódico

Corresponde al incremento producido en un período de tiempo mayor de un año.

D. Sitio

El sitio se define como un área considerada en términos de su ambiente, particularmente determinado por el tipo y calidad de la vegetación que el área soporta (3).

De acuerdo con Oliva (40), con este concepto se logra identificar la productividad potencial de los terrenos forestales, lo cual permite seleccionar las especies, delimitar áreas homogéneas como unidades de manejo y estimar su rendimiento, mejorar condiciones difíciles del suelo y prever riesgos de enfermedades.

E. Calidad de sitio

La calidad de un sitio se identifica con la capacidad de producir bosque u otro tipo de vegetación como producto de la interrelación de factores edáficos, bióticos y climáticos (51).

2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La creación del -PINFOR- ha causado motivación e interés por parte de los propietarios de tierras por establecer plantaciones forestales, esto ha llevado en ciertos casos, a que varias de ellas hayan sido establecidas en sitios y/o con especies no apropiadas según Ugalde (60). Así mismo menciona dicho autor que en algunos casos existe, muy poca experiencia en las especies seleccionadas en cuanto a los requerimientos y a las características de sitio y suelo para una zona o región, se han establecido proyectos de mediana y gran escala, que han fracasado o las plantaciones no han tenido el crecimiento esperado, influyendo otros factores como el tipo de planta, material genético, mantenimiento y manejo de las plantaciones.

El *Pinus maximinoi* (Pino candelillo) es una especie nativa de la Región, sin embargo a nivel de plantación según el PAFG (43), una de las mayores limitantes es el no contar con información precisa sobre la dinámica de las especies. Actualmente no se ha establecido el crecimiento inicial y la calidad en base a las formas y defectos del fuste, así como la sanidad que ha tenido esta especie en los diferentes sitios, ni mucho menos los requerimientos edáficos y fisiográficos que influyen en el desarrollo.

Santos (53), establece que la determinación de índices de sitio se ha realizado para estimar en forma indirecta la productividad de especies forestales a través de la relación altura-edad. Esta relación por sí sola, no proporciona información acerca de los factores abióticos (suelo, clima y fisiografía) que influyen en el crecimiento de los árboles, cuya interacción en cierto modo definen la calidad de un sitio o área.

A. Métodos directos

- a. Estimación a través del rendimiento por registros históricos.
- b. Estimación basada en datos del volumen del rodal.
- c. Estimación basada en datos de altura de las especies.
- d. Estimación a partir de datos de incremento periódico en altura.

La calidad de sitio es determinada a través de esta metodología en función de datos históricos de rendimiento de volumen, crecimiento en altura dominante (índice de sitio) o crecimiento entre nudos. Se utiliza en plantaciones ya establecidas (62).

B. Métodos indirectos

- a. Estimación a partir de las relaciones entre especies del estrato superior.
- b. Estimación a través de la relación de las especies del sotobosque.
- c. Estimación a través de los factores climáticos, edáficos y topográficos.

Estos métodos se utilizan para clasificar sitios donde aún no hay plantaciones, utilizan relaciones entre especies, características de la vegetación inferior (sotobosque) o factores climáticos, edáficos y topográficos (62).

3.1.3. FACTORES DE CRECIMIENTO QUE INFLUYEN EN LA CALIDAD DE SITIO

Un factor de crecimiento es cualquier característica ambiental que en su mínima expresión, es capaz de crear un efecto en el crecimiento de un árbol y que una vez estudiado y analizado, puede generar una predicción en la productividad de una especie forestal (37).

Los factores de crecimiento suelen ser conocidos también como factores de sitio y son clasificados en tres grandes grupos: climáticos, fisiográficos y edáficos. El desconocimiento de cómo estos factores determinan la fenología del crecimiento de las especies forestales, constituye uno de los múltiples problemas que es necesario resolver para obtener los mejores resultados en el manejo de bosques naturales y plantaciones forestales, con el propósito de aplicar las técnicas silvícolas en el momento preciso (7).

Para sobrevivir y crecer, los árboles deben tener ciertos requisitos internos como lo son: suministro adecuado de carbohidratos, agua, minerales y reguladores hormonales del crecimiento (10).

El crecimiento se puede entender a nivel de un sólo árbol o bien a nivel de un rodal. Del mismo modo, puede ser enfocado básicamente bajo aspectos fisiológicos.

a. Crecimiento de árboles individuales

El comportamiento de crecimiento de los árboles y de las masas forestales, sigue un patrón sigmoide, variando según el genotipo y ambiente de acuerdo a Daniel et al (17).

El crecimiento de los árboles varía naturalmente según las especies, edad y lugar donde crecen (clima, calidad y humedad del suelo, exposición al sol, posición sociológica, etc). También agentes externos pueden afectar el crecimiento (intervenciones humanas, daños causados por fuego, plagas, enfermedades y elementos atmosféricos, etc) y finalmente la competencia con otras plantas (principalmente otros árboles) (37).

Paiz (41) cita a Simmons et al (1959), estableciendo que los tres elementos de crecimiento (altura, diámetro y volumen) no tienen ritmo paralelo a lo largo de la vida del árbol, sino que varía dependiendo de su etapa fenológica, como se presenta en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Crecimiento en altura, diámetro y volumen de un árbol

Período del árbol	Altura	Diámetro	Volumen
Muy joven	Muy rápida	Lento	Ninguno
Joven	Rápido	rápido	Rápido
Maduro	Lento	regular	Rápido
Viejo	Ninguno	Muy lento	Lento

Daniel et al (17) y Klepac (35) establecen que la mayoría de especies crecen en períodos limitados, dependiendo de la especie, la edad y el ambiente. La época de crecimiento está determinada principalmente por la temperatura y las relaciones hídricas adversas, que influyen en la suspensión del crecimiento del tronco.

b. Crecimiento de masas forestales

El crecimiento total dentro de un rodal, puede expresarse en muchas formas que dependen específicamente de la ordenación forestal; entre estas formas, se encuentra el rendimiento total a lo largo de la rotación, incremento medio anual, incremento periódico anual, crecimiento bruto y el crecimiento neto. El crecimiento de los rodales se ve afectado por el estado de desarrollo de la comunidad, la edad, la calidad de sitio, las especies, la densidad, el área basal y los tratamientos silvícolas según De La Cruz (1976) consultado por Paiz (41).

La profundidad del suelo es otra característica edáfica importante que influye sobre la productividad de los pinos. Wolffsohn (1982) citado por Revolorio (47) indica que para el caso de los pinos, la profundidad de suelo disponible a las raíces, es más importante que la fertilidad y éstos pueden crecer bien en suelos con limitaciones de Nitrógeno y Fósforo.

- **Drenaje**

La falta de aireación impide la actividad biológica. La descomposición de la materia orgánica se retarda y la tasa de mineralización de los compuestos orgánicos de Nitrógeno disminuye según Baver et al (6).

- **Textura**

La textura del suelo se refiere a la proporción relativa de las diversas partículas minerales como arena, limo y arcilla, en el suelo (10).

Es determinante en la calidad del sitio, ya que su contenido de arcilla regula la disponibilidad de nutrientes, la capacidad de retención de humedad, la aireación y la penetración de raíces. Esto último varía con la especie, por ejemplo Jadan (32), Spurr y Barnes (57) han determinado que *Pinus resinosa* crece en suelos, con altos contenidos de arena o en horizontes "A" engrosados por lixiviación y *Picea mariana* en suelos pesados.

- **Estructura del suelo**

Según Daniel et al (17), Jadan (32), Spurr y Barnes (57), establecen que el bosque favorece la conformación de una estructura deseable por la incorporación de materia orgánica y junto a la textura, influyen el crecimiento forestal. La estructura puede compensar efectos indeseables de la textura.

- **Materia Orgánica**

Bockheim (10) afirma que la materia orgánica en el suelo forestal realiza varias funciones importantes:

- Mejora la estructura del suelo y aumenta la porosidad y ventilación del mismo.
- Influye en el régimen de temperatura.
- Sirve como fuente de energía para los microbios del suelo.
- Aumenta la capacidad de retención de la humedad de los suelos forestales.
- Retiene las sustancias nutritivas y las intercambia.

Clutter et al (14) hace mención que la calidad de sitio puede ser definida, en términos de manejo forestal, como el potencial de producción de madera de un sitio para determinada especie.

La calidad de sitio es la suma de muchos factores ambientales: la profundidad del suelo, su textura, las características de sus perfiles, su composición mineral, lo pronunciado de las pendientes, el microclima, las especies que viven sobre él y otros más. Estos factores a su vez son función de la historia geológica, fisiográfica, macroclima y del desarrollo de la sucesión vegetal (39).

De acuerdo a Prodan et al (46) definen la calidad de sitio como la capacidad de un área determinada para el crecimiento de los árboles. Es la respuesta, en el desarrollo de una determinada especie, a la totalidad de las condiciones ambientales (edáficas, climáticas y bióticas) existentes en un determinado lugar. Su conocimiento resulta fundamental en la ingeniería forestal para elegir los mejores sitios, para plantar la especie apropiada en el lugar adecuado y para cambiar sus características.

F. Importancia de la calidad de sitio

Según Castaños (1962) citado por Revolorio (47), menciona que la productividad forestal varía considerablemente en función de la calidad de sitio. Por tal razón, es muy importante conocer y evaluar las variables que más influyen en la calidad de un sitio para una especie determinada. El conocimiento de la calidad del sitio, es una valiosa herramienta para planificar trabajos silvícolas y para tomar decisiones económicas en programas de ordenación forestal y de reforestación.

Schriavstava y Ulrich (56), determinan que los resultados obtenidos en los estudios de sitio, pueden ser utilizados como herramientas para establecer una nueva plantación con ciertas prioridades, para predecir el crecimiento de los árboles y para futuras producciones y así como para responder a preguntas como cuándo cortar, cuánto cortar y qué cortar, por lo que pueden elaborarse mejores planes de manejo.

G. Importancia de la calidad de las plantaciones

La calidad radica en obtener árboles que estén más cerca de la condición deseada que aquellos que se utilizan comúnmente según Zobel (65).

3.1.2. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE SITIO

Clutter et al (14) divide la cuantificación de la calidad de sitio de la siguiente forma:

b. Características químicas

Además de las propiedades físicas, la composición química del suelo también influye en el desarrollo de los árboles. Esta composición depende de la roca madre, del clima, de la actividad biológica, del tiempo y de la topografía (22).

Los fenómenos químicos del suelo contribuyen a permitir el almacenamiento de agua y de nutrientes, que son determinantes en el crecimiento y capacidad competitiva de las especies forestales. La formación del suelo es afectada en gran medida por el movimiento de sustancias entre la planta y el retorno a través del mantillo, y tendrá como efecto influencia sobre la vegetación posterior según Daniel et al (17), Spurr y Barnes (57).

Se distinguen tres grupos de nutrientes según la FAO (22):

- *Macronutrientes:* Estos son requeridos en cantidades sustanciales. Son elementos tales como Nitrógeno (N), Fósforo(P), Potasio(K), Calcio(Ca), Magnesio(Mg) y Azufre (S).
- *Micronutrientes:* Estos son requeridos en cantidades pequeñas. Son elementos tales como Cobre (Cu), Boro (B) y Hierro (Fe).
- *Elementos trazas:* Estos son requeridos en cantidades mínimas. Uno de estos elementos es el Cobalto (Co)

Mengel y Kirkby (1982), citados por Binkley (9), mencionan que cada uno de estos elementos presentará un patrón único de origen, transformaciones y disponibilidad para las plantas en diferentes condiciones ambientales.

Las raíces y raicillas de los árboles que absorben los nutrientes, se concentran en los primeros 30 cm de la tierra. Sin embargo, la raíz pivotante y las raíces laterales pueden penetrar profundamente en el suelo (22).

- **Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)**

El intercambio catiónico es la capacidad que tiene el suelo de retener e intercambiar formas positivamente cargadas, de sustancias nutritivas de las plantas (10).

Jadan (32), Spurr y Barnes (57), establecen que de la gran cantidad de estudios realizados trabajando con estas premisas, se ha observado que el crecimiento de los árboles forestales es afectado principalmente, por la cantidad de suelo ocupado por las raíces de los árboles y por la disponibilidad de humedad y nutrimentos en este espacio limitado.

Haig (26), establece que las coníferas tropicales parecen ser, en general, poco exigentes a los factores del medio; sin embargo, muchos factores intervienen en el desarrollo de las mismas.

A. FACTORES EDÁFICOS

Arteaga (3), señala que el suelo y la topografía de un lugar están estrechamente relacionados, ya que las características topográficas de un sitio afectan el desarrollo de los perfiles edáficos, así como la textura y estructura de la superficie del suelo.

Los factores del suelo en la clasificación de sitios, constituyen una valiosa ayuda por cuanto muchos de ellos son fáciles de medir y además pueden cuantificarse (51).

Daniel et al (17), establecen que la productividad de los rodales depende de las características físicas y químicas de los suelos, considerándose las físicas más importantes, debido a que el nivel de nutrientes dependen en gran medida de las propiedades físicas.

Según Forsythe (24), la calidad del suelo es un complejo de sus propiedades físicas, químicas y biológicas que proporcionan a) un medio para el crecimiento de la planta, b) la regulación y distribución del flujo de agua en el ambiente, c) un filtro ambiental eficaz.

a. Características físicas

Los factores físicos del suelo como la porosidad, aireación y retención de agua, crean una influencia en la formación de tejidos leñosos, porque la mayoría de los suelos forestales están en la capacidad de relacionarse con los nutrimentos químicos requeridos por los árboles, de acuerdo a Kadambi (33).

- ***Profundidad efectiva del suelo***

El suelo debe proporcionar un espacio adecuado para el desarrollo de las raíces de las plantas. Esto está relacionado con el almacenaje de nutrimentos y agua para las plantas y la posibilidad de que el árbol desarrolle un buen soporte mecánico (24).

➤ **Potasio**

Es un nutriente clave para las plantas, ya que consumen más Potasio que cualquier otro nutriente, exceptuando el Nitrógeno. Activa las necesidades de enzimas en la formación de proteína, almidón, celulosa y lignina. Regula la apertura y el cierre del estoma de la hoja. Contribuye al movimiento de los azúcares producidos por la fotosíntesis dentro de la planta según Plaster (44).

➤ **Fósforo**

Su deficiencia rara vez se manifiesta, es altamente móvil dentro de la planta y se considera que 50 ppm de Fósforo disponible son suficientes para la mayoría de especies forestales de acuerdo a lo expresado por Jadan (32).

Forma parte de las transformaciones de energía de las células en forma de adenosín trifosfato (ATP).

En los suelos, existe en las rocas en forma de fosfato inorgánico (adsorbido en las superficies o precipitado como sales), y en la materia orgánica no descompuesta (9).

➤ **Calcio**

Es un elemento nutritivo principal, así como de gran importancia en cuanto a la fertilidad del suelo a través del efecto que tiene sobre las propiedades físicas y químicas del mismo. Salvo en algunos casos de acidez elevada, se encuentra en cantidades suficientes en los suelos según Daniel et al (17) y Jadan (32).

La función del Calcio es unir a las moléculas orgánicas. Las plantas absorben el Ca^{2+} a partir de sales de la solución del suelo y lo utilizan para las moléculas orgánicas, particularmente en las paredes celulares (9).

➤ **Magnesio**

Es el único constituyente mineral de la molécula de clorofila y es un elemento esencial para la fotosíntesis según Pritchett (45).

• **pH**

El pH es sumamente importante en los suelos forestales, porque influye en la población microbiana del suelo, la disponibilidad del Fósforo, Calcio, Magnesio y

La mayor parte de la materia orgánica se añade al suelo forestal en forma de hojarasca, que incluye las hojas recientemente caídas, los brotes, los tallos, la corteza, los conos y las flores.

- **Porosidad**

Se refiere al porcentaje de volumen del espacio de suelo total no ocupado por partículas sólidas. Influye en la retención y movimiento del agua, aireación del suelo y penetrabilidad de las raíces (10).

- **Color**

Para Jadan (32), el color se relaciona con otros aspectos, el origen geológico, cantidad de materia orgánica, oxidación y reducción, acumulación de hierro y otros factores.

- **Agua disponible**

Los árboles pueden presentar déficit temporal de agua interna, al medio día debido a la resistencia del movimiento del agua dentro del suelo y las raíces, retrasando la absorción respecto a la transpiración (14).

No solamente la humedad del suelo influye en la distribución y crecimiento de la vegetación forestal, sino que también actúa como un solvente para transportar nutrientes hacia la raíz del árbol. El contenido de agua del suelo influye en su consistencia, ventilación, temperatura, grado de actividad microbiana, concentración de sustancias tóxicas y grado de erosión del suelo (10).

Spurr y Barnes (57) citan a Kramer (s.f.), éste determinó que algunos árboles crecen más durante la noche, en respuesta al patrón de disponibilidad de agua; es por esa razón que en el verano por el déficit de agua en el suelo, los tejidos al sufrir escasez de agua reducen el crecimiento arbóreo.

Revolorio (47), menciona que diversos estudios relacionados con la calidad de sitio de bosques pinares, coinciden en señalar que los factores asociados con el drenaje del suelo, son los que más influyen en el crecimiento y desarrollo de los pinos.

d. Superficie

Estudia las características de un perfil superficial en el sitio a estudiar, puede expresarse dependiendo de la ondulación o planicie de los sitios (29).

e. Orientación de las laderas

Se expresa de acuerdo a la exposición de las laderas al sol. La orientación de una ladera puede ser Este-Oeste o Norte-Sur. Es de esperarse que en las laderas orientadas Este-Oeste, la recepción de la energía solar sea más eficiente puesto que se recibe bien la mayor parte del año, mientras que la exposición Norte-Sur, en algunas épocas del año una de las laderas recibe menos energía solar que las otras (29).

Castaños (1962) citado por Revolorio (47), menciona que en el norte de Oaxaca, México, rodales de *P. patula* con exposiciones Oeste tienen índices de sitio hasta 2.5 veces mayores que aquellos con exposición Este, cuando el resto de variables permanecen aproximadamente iguales. Estas diferencias, las atribuye el autor al hecho que la exposición tiene influencia sobre la insolación, la temperatura, los vientos y la humedad del suelo y aire. Las laderas con exposición Oeste en ese estudio, reciben mayor radiación que aquellas con exposición Este.

f. Pedregosidad

Es la cantidad de piedras encontradas por metro cuadrado en un sitio determinado. La acción volcánica y los sismos que caracterizan a Guatemala, hace que sea una región en la que algunos sitios pueden contener excesiva cantidad de piedra, la cual perjudica al desarrollo de las plantas en general (29). Se pueden citar términos sencillos para definir el tipo de material o fragmentos de roca o grava en el interior del suelo o sobre éste, como los siguientes:

- Grava: Fragmentos de hasta 7.5 cm de diámetro.
- Piedras: Fragmentos de 7.5 a 25 cm de diámetro.
- Pedregón: Fragmentos mayores de 25 cm de diámetro.

g. Altitud

Donoso (1981) citado por Revolorio (47), menciona que la altitud o altura sobre el nivel del mar, es un importante factor que influye en la variación geográfica de la temperatura. En general, la temperatura del aire disminuye con el aumento de altitud debido a que la atmósfera se hace menos densa y más seca, siendo, por lo tanto, menos capaz de absorber calor.

Los suelos arenosos tienen baja CIC y los arcillosos alta CIC, que es una medida de la fertilidad del suelo¹. La precipitación y la descomposición de la materia orgánica, favorecen la disponibilidad de los cationes (Al, Ca, Mg, K, Na, N, H), tanto para la absorción de las raíces como para la lixiviación. Los aniones móviles en la solución del suelo, contribuyen a la lixiviación, pudiendo dejar pocas bases para ser absorbidas por el sistema radicular según Daniel et al (17), Spurr y Barnes (57).

- **Nutrientes**

Los nutrientes minerales realizan muchas funciones en los árboles. Son constituyentes de los tejidos vegetales, catalizadores en diversas reacciones, reguladores osmóticos, constituyentes de sistemas de amortiguamiento y reguladores de la permeabilidad de las membranas (10).

Spurr y Barnes (57), indican que los pinos requieren cantidades mucho menores de nutrientes que la mayoría de especies de hoja caduca. Haig (26), lo afirma para pinos tropicales respecto a las latifoliadas.

El N, P, K, y Ca son los que generalmente se encuentran restringidos en el suelo, el S, Mg y Fe rara vez presentan disponibilidad limitada; los elementos menores son requeridos en mínimas cantidades, por lo que rara vez son deficientes (49).

- **Nitrógeno**

Es el componente más importante de todos los aminoácidos, los cuales son las unidades estructurales de las proteínas. Las proteínas desempeñan una gran variedad de funciones, que van desde la formación de las paredes celulares hasta la regulación de la velocidad de las reacciones químicas (9).

El Nitrógeno más que cualquier otro elemento, facilita el crecimiento rápido y el color verde oscuro. Las plantas necesitan mucha cantidad de Nitrógeno, porque forma parte de muchos compuestos importantes como las proteínas y la clorofila según Plaster (44).

Se incorpora al sistema por la precipitación y por fijación (*Azotobacter*, *Clostridium*). La acidez de los bosques de coníferas limita la velocidad de la fijación según Daniel et al (17), Spurr y Barnes (57).

¹ A nivel de este estudio se observó que a pesar de que los suelos poseen un bajo contenido de arcilla, los valores de la Capacidad de Intercambio Catiónico fueron altos, debido a la influencia del alto contenido de materia orgánica en la mayoría de los suelos muestreados.

3.1.5. GENERALIDADES DEL ANÁLISIS DE REGRESIÓN MÚLTIPLE

A. Objetivos de un análisis de regresión múltiple

El objetivo de un análisis de regresión múltiple, es relacionar una variable de respuesta y , con un conjunto de variables predictoras utilizando un modelo matemático. En el fondo, se desea poder estimar el valor medio de y , y/o predecir valores particulares de y a observar en el futuro, cuando las variables predictoras toman valores específicos (38).

B. Construcción y selección de variables ambientales

Alder (1), menciona que el número total de variables ambientales medidas puede ser muy grande, posiblemente hasta cien por parcela, aun cuando un modelo utilizable deberá contener el menor número posible de las variables más fácilmente medibles. La reducción del número total de variables puede lograrse de diferentes maneras.

3.2. MARCO REFERENCIAL

3.2.1. Género *Pinus* en Guatemala

Rosales (50) consulta a Aguilar (s.f.), donde establece que los bosques de pino en su mayor parte como arbolado de altiplanos y altas montañas, cubren aproximadamente una extensión de 16,000 km² de superficie del país. Sin embargo, se estima que en la actualidad sólo quedan aprovechables 11,000 km², localizados en Huehuetenango, El Quiché, San Marcos, Quetzaltenango, Totonicapán, Sololá, Chimaltenango, Jalapa, Santa Rosa y en menor proporción en Alta Verapaz, Baja Verapaz, El Progreso, Chiquimula, Jutiapa, Zacapa y El Petén.

En general, la mayoría de masas de pino se encuentran localizadas, de acuerdo a la Zonificación Ecológica del Dr. Holdridge, en la faja Montano Tropical, conocida como de altitud media, que se localiza entre los 1,000 a 4,000 msnm. Abarcando unos 21,000 km², aproximadamente todo el altiplano de Guatemala, con buenos suelos, clima agradable.

Las especies más representativas de los bosques de coníferas en el país son: para el género *Pinus*, *Pinus oocarpa* –pino de ocote-, *P. pseudostrobus* –pino triste-, *P. maximoi* –pino candelillo-, *P. caribaea* –pino del norte-, *P. rudis*, *P. montezumae* –pino macho-, *P. ayacahuite* –pino blanco o curtidor-, principalmente, otros géneros de coníferas en Guatemala: *Abies*, *Cupressus*, *Taxodium* (15).

elementos residuales, así como en la tasa de nitrificación, o sea, la oxidación biológica de amonio a nitrato. A menudo, los suelos forestales son más ácidos que los agrícolas. Esto se debe a que la hojarasca de los árboles en general es ácida y libera los iones de hidrógeno cuando se descomponen (10).

Francke (1988) consultado por Revolorio (47), menciona que la basicidad del pH del suelo y las texturas arcillosas, influyen negativamente sobre el índice de sitio de *Pinus radiata*.

B. FACTORES FISIAGRÁFICOS

Algunas de las características topográficas de uso más frecuente son la exposición, la forma del relieve y la pendiente de los terrenos (48).

a. El relieve y la pendiente

En el trópico, se considera que la pendiente y la forma topográfica son determinantes indirectos del crecimiento, condicionando una serie de factores que sí influyen los procesos fisiográficos según Daniel et al (17) y Jadan (32).

Revolorio (47) cita a Stiff et al (1991) refiriéndose en que a medida que aumenta la pendiente, menor es la productividad de *P. oocarpa* en las tierras altas del centro de Honduras. Esto posiblemente se debe a que normalmente, a mayor pendiente la calidad y cantidad de suelo disponible para el crecimiento, es menor.

b. Geología

Se considera como el material original en el que descansan los suelos de un sitio, la presencia de material geológico puede influir de manera positiva o negativa en el crecimiento de una especie arbórea (29).

c. Forma topográfica

La exposición, la elevación y la convexidad o concavidad del terreno influyen sobre el drenaje del agua, disponibilidad de luz y nutrientes, y sobre todo los vientos. Las elevaciones orientadas hacia el sur reciben mayor intensidad lumínica en el hemisferio norte; la convexidad y concavidad favorecen erosión, cambios diarios y microclima forestal según Tschinkel (1972), Spurr y Barnes (57) citados por Rojas (49).

a. Descripción de la especie

- **Árbol:** El fuste puede alcanzar los 48 m de altura, con diámetros hasta más de 1 m.
- **Acículas:** Se encuentran conformada en grupos de cinco por fascícula, de 16 a 28 cm de largo, finas, flexibles y colgantes, cuenta con dos o tres canales resiníferos medios, rara vez uno interno y 0.7 a 0.8 mm de ancho, márgenes finalmente cerrados. Estomas presentes en la superficie dorsal y ventral.
- **Vainas:** Estas son perennes, apretadas y anilladas, de 14 a 18 mm de largo y color 2.5YR 4/2. Canales resiníferos medios, usualmente dos a tres, los haces fibrovasculares son dos aproximadamente difícil de distinguirlos.
- **Yemas:** Son cilíndricas y rojizas, a veces algo resinosas.
- **Conillos:** (estróbilos femeninos) Oblongos, atenuados, de color moreno - rojizo en grupos de hasta cinco.
- **Conos:** (estróbilos masculinos) También oblongos o largamente ovoides, en la base están aplanados y asimétricos. Alcanzan longitudes de 6.5 a 10 cm y son deciduos.
- **Pedúnculos:** Generalmente son oblicuos y curvados, con un largo de 15 mm.
- **Escamas del Cono:** Son delgadas, quebradizas, con ápice redondeado, débilmente aquilladas; y con una pequeña espina decidua.
- **Copa:** Es normalmente redondeada, densa y suave por las finas hojas.
- **Ramas:** Son finas de color moreno - rojizo, con las huellas de las brácteas poco marcadas. Los árboles solitarios desarrollan ramas muy extendidas con ángulo recto y horizontalmente verticiladas. Presentan follaje denso, verde azulado mate o verde grisáceo, notoriamente colgantes.
- **Corteza:** En árboles jóvenes, es lisa y delgada, en árboles adultos es muy tosca y está surcada longitudinalmente elongadas con fisuras color café rojizas, se quiebra en plaquetas. Es de color café a gris.
- **Maduración de semilla:** La maduración de la semilla se presenta en los meses secos de enero a febrero.
- **Semillas:** Color marrón oscuro, pequeñas, de 5 a 7 mm y de 5 mm de ancho, alas articuladas, marrón claro amarillentas, de 16 a 20 mm de largo y cerca de 8 mm de ancho, con 6 y 7 cotiledones.
- **Uso:** Tiene múltiples usos, tanto en la construcción como en carpintería ejemplo: construcciones livianas, muebles, artículos torneados, contrachapados, artesanías, puertas, gabinetes, ventanas, postes para transmisión eléctrica. Podrá ser interesante para la producción de pulpa, por su rápido crecimiento (8, 52).

3.1.4. IMPORTANCIA DE LAS PARCELAS DE MEDICIÓN PERMANENTE

Las parcelas de medición permanente -ppm- son definidas por Silva Salazar (1971) citada por Ugalde (60) como las superficies de terreno (de forma cuadrangular, rectangular, circular, en faja) demarcadas en forma permanente para cumplir con los objetivos siguientes:

- A. Permitir la medición repetitiva de los árboles individuales durante la vida de la plantación.
- B. Comparar el efecto de diversos espaciamientos iniciales, métodos y regímenes de aclareo - poda, a efecto de ayudar a definir el tratamiento más adecuado para una especie en particular.
- C. Estudiar el comportamiento (crecimiento y producción) de una especie o una mezcla de ellas, bajo un manejo definido y continuo.

Las parcelas de medición son la herramienta más eficaz para conocer y monitorear el crecimiento y rendimiento de los árboles individuales y de los rodales. Además, proporcionan información valiosa para establecer estrategias de manejo, para desarrollar modelos de crecimiento, elaborar tablas de rendimiento en volumen y área basal, entre otros.

Muchos de los principios y metodologías de establecimiento de parcelas de crecimiento, se aplican tanto a plantaciones como a bosques naturales, aunque lógicamente entre éstos hay diferencias en el tamaño, los tratamientos que se aplican y las variables a medir, debido especialmente a la complejidad por el número de especies y al manejo silvicultural (60).

Muchos forestales consideran los datos obtenidos de las -ppm- como la contribución más importante para los modelos de crecimiento y rendimiento. Las -ppm- pueden ser utilizadas en estudios sin diseño experimental, es posible elaborar modelos mediante análisis de regresión y correlación, aplicar técnicas de validación estadística de los modelos mediante muestras independientes (25).

d. Características y propiedades de la madera

No hay diferencia entre albura y duramen; la madera es de color amarillo cremoso y de olor ligeramente perceptible, no presenta ningún sabor. El hilo es típicamente recto, la textura fina, brillo alto y veteado suave. La gravedad específica es de 0.41 gr/cm^3 (es decir moderadamente liviana). Su estabilidad dimensional y contracciones son comparables con *Pinus pseudostrobus* Lindl según Benítez (8).

La densidad de la madera es moderada, a nivel comercial es mejor que *Pinus patula*. Las áreas entre los entrenudos son de calidad fina y proporcionan una madera excepcional para los productos de madera articulados. La madera nudosa genera preocupación a los interesados de madera de larga dimensión, a la hora de cortarla con sierra según Dvorak et al (19).

Los resultados del trabajo de 1990 en Zimbabwe de Wright y Osario (1993) de Crockford et al en Colombia citados por Dvorak et al (19), establecen que la densidad de la madera de *Pinus maximinoi* disminuye con el aumento de la elevación.

e. Secado, preservado y usos de la madera

Es de rápido secado al aire libre, requiriendo buena ventilación cuando es recién aserrada para evitar la mancha azul. En el secado convencional, se pueden emplear programas normales o rápidos. La madera es susceptible al ataque de hongos e insectos, es decir, que es de baja resistencia. Es fácil de preservar por los métodos de baño caliente-frío y vacío-presión. Pueden emplearse materiales hidrosolubles u oleosos (8).

f. Ventajas del *Pinus maximinoi*

- ❖ Crece rápidamente en el campo, es una especie pionera extremadamente agresiva.
- ❖ La propagación vegetativa es relativamente fácil.
- ❖ Información de la procedencia está disponible.
- ❖ Madera de calidad excelente.
- ❖ Conveniente para la pulpa y un número de productos de papel.
- ❖ Se recupera bien después de la heladas ligeras (19).

3.2.2. CARACTERIZACIÓN DE LA ESPECIE

A. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

La clasificación taxonómica, según Benítez (8) se describe a continuación:

FAMILIA:	<i>Pinaceae</i>
GENERO:	<i>Pinus</i>
ESPECIE:	<i>Pinus maximinoi</i> H.E. Moore
SINÓNIMO:	<i>Pinus tenuifolia</i> Bentham
NOMBRE COMÚN:	Pino candelillo (Guatemala), Pino canis (México), Pinabete (Honduras).

B. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Peters (42), indica que *Pinus maximinoi* H.E. Moore está estrechamente relacionado con la especie *Pinus pseudostrobus* Lindl. Sin embargo, tiene características propias, por lo que debe ser reconocida como especie separada y no una variedad, sus hojas son más delgadas, sus conos muy diferentes, la corteza del fuste y sus ramas más delgadas. A menudo, crece asociado con *Pinus pseudostrobus*, *P. oocarpa*, *P. herrarai* y *P. michoacana*.

Para Dvorak y Donahue 1988 citados por Dvorak et al (19), mencionan que el crecimiento de la especie puede ser rápido en algunas localizaciones, así mismo reportan que en un bosque natural de Oaxaca con una edad de 35 años los incrementos anuales en altura y los Incrementos Medios Anuales en diámetro son de 0.70 m y 1.5 cm respectivamente. En un bosque natural de Cobán los árboles tienen un promedio de altura de 1.1 m / año.

Crece en suelos fértiles, texturas livianas, húmedos, de ácidos a básicos (pH de 4.5 a 7.5), con buen drenaje, profundos y con buen contenido de materia orgánica según Dvorak et al (19).

La madera es liviana, blanda y de color blanco amarillento, textura fina, grano recto, superficie medianamente lustrosa, olor agradable y sabor no característico. Tiene su peso específico de 0.44 a 0.50, g/cm³, fácil de tratar con preservantes, moderadamente fácil de trabajar y con buena velocidad de secado, sin presentar defectos. El hipodermo forma de una a tres entradas triangulares, a veces formando una unión con el endodermo. Esta característica también la separa de la especie de *pseudostrobus*. Endodermo compuesto de células relativamente grandes con paredes extremas engrosadas (8).

mismo un IMA en volumen para el mejor sitio de 0.015 m³/año y para el sitio más bajo un 0.006 m³/año.

- ❖ Castañeda Salguero et al (12)* realizaron una caracterización técnica de las plantaciones establecidas con el Programa de Incentivos Forestales, a nivel de gabinete con cuatro especies forestales: *Tectona grandis*, *Gmelina arborea*, *Pinus caribaea* y *Pinus maximinoi* a nivel nacional, basados en el análisis del 60% de los expedientes, dictámenes técnicos y estudios de capacidad de uso de la tierra, entre los hallazgos obtenidos para la última especie mencionan que la altitud, precipitación y profundidad, son las variables que más influyen en el crecimiento en altura, a nivel de crecimiento inicial obtuvieron un Incremento Medio Anual promedio en altura de 0.688 m. También clasifican en sitios altos como aquellos que alcanzan un Incremento Medio Anual en altura mayor de 0.72 m, para sitios medios el valor está entre el intervalo de 0.5994-0.72 m, para los bajos, el IMA es menor a 0.5994 m.
- ❖ Villatoro (63) reporta que en la Comunidad Baleu ubicada en San Cristóbal Alta Verapaz, la producción actual del bosque artificial en hectáreas es de 400 m³, una densidad de 758 árboles, un DAPcc medio de 32.45 cm y una altura de 20 m a una edad de 18 años, recibiendo una precipitación de 2234 mm/año. Así mismo el bosque presenta un IMA en diámetro de 1.80 cm/año, altura de 1.12 m/año y un volumen de 0.029 m³/año.

3.2.4. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL AREA DE ESTUDIO

A. Localización y extensión

El departamento de Baja Verapaz se localiza en el área geográfica ubicada entre los paralelos 16° 00' y 14° 00' latitud Norte y 91° 00' hasta 90° 00' longitud Oeste, tiene una extensión superficial de 3,124Km² (55)

El departamento de Alta Verapaz está localizado al Norte de la República de Guatemala a 15°29'00" latitud Norte y 90°19' 35" longitud Oeste. Tiene una extensión de 8,686 Km² (8%) del territorio nacional y, junto al departamento de Baja Verapaz forman la Región II (54).

* En base a la metodología de la investigación, no se utilizaron los resultados obtenidos del crecimiento inicial de este estudio, como comparadores debido a que los mismos provienen de parcelas temporales en forma circular (100 m²), tomadas en el campo al azar anualmente para la evaluación de los proyectos del -PINFOR-, por lo que los datos posiblemente tengan alguna variación significativa.

b. Distribución de la especie

El *Pinus maximinoi* se extiende desde Sinaloa (México), Guatemala, Honduras, El Salvador y Norte de Nicaragua, con una distancia de 2250 km. Se ha establecido en una amplia gama de microclimas y de ambientes. En América Central, los rangos de elevación oscilan entre 600 y 2400 msnm, aunque es común observarlos de 1100 a 1800. Después de *Pinus oocarpa* es el pino más común de Centro América según Dvorak et al (19).

A nivel de Mesoamérica se distribuye en un rango de precipitación anual que oscila de 900 y 2200 mm. la estación seca es a partir de noviembre y abril. Sin embargo; la especie se encuentra generalmente en sitios donde están las cantidades anuales de precipitación arriba de los 1200 mm. Cuando la especie se encuentra en las áreas que reciben menos de 1000 mm de precipitación, los sitios son caracterizados a menudo por suelos arcillosos que sostienen la humedad bien. En muchas áreas montañosas la niebla provee a menudo humedad adicional a los árboles. La gama de temperaturas medias mensuales oscilan en los meses fríos de 14 y 20° C y 20° y 27° C durante los meses más calientes según Dvorak et al (19).

De acuerdo a la clasificación de zonas de vida en Guatemala, por De la Cruz (1982) citado por Lemus (36), basado en el sistema Holdridge, la especie *Pinus maximinoii* H.E. Moore es indicadora de la zona de vida bosque muy húmedo subtropical frío bmh-S(f), la cual se encuentra a una altitud de 1,400 a 2,000 msnm, con una topografía ondulada montañosa, temperatura promedio de 16° C a 25° C, precipitación promedio de 2,400 mm anuales.

c. Biología reproductiva

En Guatemala la dispersión del polen comienza a finales de febrero y es completada cerca de la primera semana de abril según (Gutiérrez 1999) citado por Dvorak et al (19).

Las semillas se dispersan entre la segunda y tercera semana de abril, momentos antes del inicio de la estación de lluvias, es decir se dispersan rápidamente en tiempo caliente después de que los bastones maduren. El período de la colección del cono es a partir de la segunda a tercera semana de abril, apenas antes del principio de la estación de lluvias. La duración para la colección no es mas de 10 días. Los conos tienen un potencial de semilla aproximadamente de 145. Hay entre 55,000 y 115,000 semillas por kg (media = 75,500), dependiendo de la longitud del sitio de la colección según Dvorak et al (19).

pseudostrobus, *Persea schiediana*, *Rapanea ferruginea*, *Clethra* spp, *Myrica* spp, *Crotón draco*, *Eurya seemanii* (50)

D. Suelos

Según un documento preparado por GUATEMALA/DIGEBOS (1993) consultado por Rosales (50), se indica que los suelos de Alta Verapaz son muy susceptibles a ser erosionados. En parte esto se debe al alto porcentaje de subsuelos kársticos. Además en las zonas secas, la eliminación de la cobertura vegetal de las cuencas que protegen las pocas fuentes de agua, ocasionan una acelerada disminución del caudal hasta el agotamiento en el verano.

Las características de origen de los suelos son principalmente:

- Suelos sobre materiales volcánicos.
- Suelos de las tierras bajas de Petén Caribe.
 - Poco profundos sobre caliza.
 - Suelos aluviales.
- Suelos de los cerros Caliza.
 - Profundos sobre serpentina.
 - Poco profundos sobre serpentina.
- Miscelánea de terreno.
 - Incluye suelos aluviales no diferenciados.
 - Suelos de los valles no diferenciados.

Los suelos que predominan las áreas de estudio, pertenecen a la serie de los suelos Carchá (Cr) y los suelos Cobán, según Simmons et al (1959) citado por Rosales (50).

- **Suelos Carchá y Cobán**

Combinados constituyen 73,537 hectáreas o sea el 18% del área de la sección de los cerros de caliza. Son potencialmente los suelos más productivos y más arables, pero no son generalmente adaptables al cultivo con maquinaria agrícola, pues a excepción de los suelos Carchá, ocupan pendientes con declives de más del 15%.

- **Serie de suelos Carchá (Cr)**

Los suelos Carchá son profundos, desarrollados sobre ceniza volcánica blanca de grano fino. Se encuentran en climas húmedos en relieves suavemente ondulados y a altitudes entre 600 y 1,200 msnm. Son identificables en el sentido de estar asociados

g. Desventajas del *Pinus maximinoi*

- ❖ Mortalidad superiores en sitios expuestos a sequías.
- ❖ Requiere buen control de la mala hierba en los primeros años.
- ❖ Susceptible a heladas.
- ❖ La cola de zorro se propaga fácilmente cerca del ecuador.
- ❖ Tiene ramas grandes que forman un área de la madera débil.
- ❖ La fractura superior del vástago es un problema en algunas localidades.
- ❖ En ambientes exóticos en las altas latitudes (> 24 S) existe una potencialidad productiva pobre de la semilla (19).

3.2.3 ESTUDIOS DE CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE LA ESPECIE A NIVEL DE PLANTACIÓN Y BOSQUE NATURAL

- ❖ Tzirin (59), estimó un Incremento Medio Anual en altura dominante (Índice de sitio) de 0.95 a 1.43 m/año, en plantaciones con una edad base de 18 años en la finca Saquichaj ubicada en Cobán, Alta Verapaz.
- ❖ Núñez (39) determinó que la producción de la especie en la finca Chichén, ubicada en el municipio de Cobán A.V. para un bosque natural a una edad media de 22 años, fue de 153 m³/ha, con una densidad media de 352 árboles por ha, un DAP de 33.2 cm y una altura de 23.94 m. El IMA en volumen fue de 9.78 m³/ha/año. El IMA DAP de 1.23 cm/año, un IMA en altura de 1.09 m/año con una precipitación de 2,332 m.
- ❖ Escobar (20) estableció en Jalapa, Jalapa, en un bosque natural a una edad media de 22 años, una producción de 154 m³/ha, con una densidad media de 500 árboles por ha, un DAP de 23.5 cm y una altura de 16.5 m, recibiendo una precipitación de 1120 mm/año un IMA en DAP de 1 cm/año, un IMA en altura de 0.98 m/año y un IMA en volumen de 7.43 m³/ha/año.
- ❖ Paiz (41), encontró en la finca Saquichaj ubicada en Cobán A.V. a nivel de plantación a una densidad media de 520 árboles/ha y una edad 18 años, un IMA en DAP de 0.90 cm/año, un IMA en altura de 1.8 m/año y un IMA en volumen de 7.83 m³/ha/año.
- ❖ Vaidez (61), determinó en San Jerónimo Baja Verapaz, para una plantación de 9 años de edad, en los mejores sitios un IMA en altura de 1.5 y 2 m/año, los tres sitios inferiores no bajan de 0.9 m/año, así como un IMA en DAP de 1.5 y 1.6 cm/año para los mejores sitios, los otros tres sitios no bajan de 1 cm/año, así

- B. Revolorio (47), en su tesis de maestría, desarrolló modelos de predicción de la productividad de *P. oocarpa* en función de las variables ambientales, donde establece que el modelo ajustado para predecir el índice de sitio de *P. oocarpa* en la zona de amortiguamiento de la sierra de la reserva de la sierra de Las Minas es:

$$IS = 11.17 + 0.08 * \text{Prof. del suelo} + 0.0154 K_{10-30} + 0,846 Ca_{0-10}$$

R² = 67%

R²aj. = 64%

C.V. = 9,9%

Error estándar = 1,9 m

- C. Tzirin (59), estudió los índices de sitio en forma preliminar, para cuatro especies plantadas en el proyecto Saquichaj Cobán A.V. Una de ellas fue *Pinus maximinoi* H.E. Moore, obteniendo un modelo en el análisis de regresión entre calidad de sitio y los factores de sitio para esta especie que se presentan: las variables profundidad del suelo, concentración de potasio y concentración de zinc son las que integran dicho modelo.

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

Donde:

IS = Índice de sitio (mts).

Pf = Profundidad del suelo (cm).

K = Potasio (meq / 100ml).

Zn = Zinc (microgramos / ml).

R² = 0.99

- D. Ávila (5), en su tesis de maestría evaluó el estado y el crecimiento inicial de cuatro especies prioritarias en la Región de las Verapaces dentro del Programa de Incentivos Forestales -PINFOR- comparando las mismas en base a distintas estratificaciones como Subregiones forestales que conforman la Región II (Las Verapaces), el tamaño de finca y el tipo de propietario en particular. Observando que existen diferencias significativas en crecimiento y rendimiento de las cuatro especies, así mismo menciona en una de sus conclusiones que el desarrollo de dichas variables estudiadas no dependen de las estratificaciones evaluadas, sino de los requerimientos edáficos, fisiográficos y climáticos de cada una de las especies, la selección de los sitios, el manejo y los tratamientos silviculturales aplicados adecuadamente los que mantienen una alta productividad.

La Región limita al Norte con el departamento de El Petén, al Sur con los departamentos de Chimaltenango y Guatemala; al Oeste con Quiché y al Este con los departamentos de Izabal, Zacapa y El Progreso. Las elevaciones sobre el nivel del mar, varían de 50 m en la planicie Norte adyacente al departamento de El Petén (Franja transversal del Norte) y en el valle del Polochic, hasta 2,200 m en la Sierra de Chamá; las que junto con la Sierra de las Minas forman un límite natural en el lado Sur del departamento de Alta Verapaz (2).

Se identifican 7 de las 14 zonas de vida con que el país cuenta, lo cual condiciona diferentes formaciones vegetales, que se distribuyen a lo largo y ancho del territorio (2).

La mayor parte de los proyectos de reforestación dentro del -PINFOR-, donde se establecieron las parcelas de medición permanentes, están localizados dentro de la zona de vida denominada bosque muy húmedo subtropical frío que se identifica con el símbolo bmh-S(f).

La zona de vida bosque muy húmedo subtropical frío, constituye un segmento del muy húmedo subtropical, representándose con una (f) de más para la zona de mayor altura donde las temperaturas medias son iguales a las biotemperaturas. Este segmento abarca los alrededores de Cobán, siguiendo una faja angosta de 2 a 4 kilómetros de ancho para Baja Verapaz, pasando por la cumbre de Santa Elena. Luego, se separa la faja para seguir bordeando la Sierra de Las Minas por un lado y por el otro, sigue rumbo a la cumbre de El Chol en Baja Verapaz. La superficie total de esta zona de vida es de 2,584 km², lo que representa 2.37% de la superficie total del país (50).

B. Condiciones climáticas

El régimen de lluvias es de mayor duración, lo que influye en la vegetación. El patrón de lluvia varía de 2,045 a 2,514 mm promediando 2,284 mm de precipitación total anual. Las biotemperaturas van de 16° C a 23° C. La evapotranspiración potencial puede estimarse en promedio 0.50 (50).

C. Topografía y vegetación

La topografía es generalmente ondulada llegando en algunos casos a ser accidentada. La elevación varía entre 1,100 metros en la Finca Las Victorias, hasta 1,800 msnm en Xoncé, Nebaj, Quiché. La vegetación natural que se considera como indicadora está representada por: *Liquidambar styraciflua*, *Persea donnell smithii*, *Pinus*

Cuadro 2. Montos para proyectos de reforestación en el -PINFOR-

AÑO	FASE DE MANTENIMIENTO	MONTO Q / ha
1	0 Establecimiento	5000.00
2	1 Mantenimiento	2100.00
3	2 Mantenimiento	1800.00
4	3 Mantenimiento	1400.00
5	4 Mantenimiento	1300.00
6	5 Mantenimiento	800.00
TOTAL		12,400.00

3.2.7. GENERALIDADES DEL PROGRAMA "MANEJO DE INFORMACIÓN SOBRE RECURSOS ARBÓREOS COMPONENTE DE SILVICULTURA" (MIRA SILV Versión 2.9)

- A. Este programa se basa en el establecimiento de parcelas permanentes de monitoreo -ppm- en plantaciones y bosque natural, los objetivos principales son:
- a. Generar información sobre el crecimiento y productividad de las plantaciones y los bosques naturales.
 - b. Monitorear el estado sanitario y la condición del desarrollo de las plantaciones y bosques naturales.
 - c. Generar información relevante para conocer la dinámica de la masa forestal que permita tomar decisiones sobre las intervenciones silviculturales.
 - d. Permitir hacer proyecciones sobre la productividad esperada y los posibles retornos económicos (16).
- B. Entre los beneficios del sistema de monitoreo y evaluación en bosque natural y en plantaciones con parcelas permanentes de monitoreo están:
- a. El monitoreo y evaluación de las plantaciones y bosques permite y facilita la planificación técnica de las intervenciones silvícolas (limpias, podas, raleos).
 - b. Estimar en forma más precisa los volúmenes a extraer en los raleos y al final del turno, con el fin de establecer los recursos económicos que se deben invertir para su extracción.
 - c. Contar con una base técnica que permita la implementación de los planes de manejo.
 - d. Analizar los beneficios económicos provenientes de esta actividad (16).

con los suelos Cobán, Calanté, Tamahú, y otros desarrollados sobre caliza, pero se distinguen de estos, pues los suelos Carchá ocupan el fondo de los valles ondulados o ligeramente ondulados en la región de las calizas. También se distinguen por ser más amarillentos. Se encuentran sobre material madre, ceniza volcánica de grano fino relieve ondulado, drenaje interno rápido con un subsuelo de color café muy oscuro, textura, y consistencia franco-limoso friable y un espesor aproximadamente de 30 cm; además, cuenta con un subsuelo de color café amarillento, consistencia friable, textura francolimoso y un espesor aproximadamente de 60 cm.

E. Geología y fisiografía

El 91% del territorio del departamento de Alta Verapaz, está en la región fisiográfica denominada Tierras Altas Sedimentarias, cuya geoforma ha sido originada por pliegues, fallas, y procesos erosivos. Las formaciones geológicas más antiguas son las de la era Paleozoica constituyendo el 16.8% del departamento, las formaciones geológicas más extensas son de las eras Mesozoicas y Cenozoica que suman el 76.01% (54).

Baja Verapaz está localizado en una de las regiones más pobres de Guatemala, con suelos poco profundos, localizados en pendientes inclinadas que en gran parte yacen sobre roca serpentina (55).

La mayor parte del área bajo estudio se encuentra en las cuencas de las tierras altas y en menor proporción entre sumideros y colinas (50).

F. Hidrografía

Los ríos de mayor presencia son el Cahabón y Salamá; y los de menor presencia son el Polochic y el Chixsoy o Negro (50).

3.2.5. ESTUDIOS RELACIONADOS CON LA CALIDAD Y LOS FACTORES DE SITIO

- A. Santos (53), en su trabajo de investigación de tesis, hace una determinación del crecimiento y calidad de sitio para *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh en cuatro departamentos; entre sus principales conclusiones, establece que los principales factores ambientales que influyen en el crecimiento y calidad de sitio de dicha especie, es la profundidad radical, exposición del viento y la pendiente, así mismo la superficie del terreno, pedregosidad y precipitación influyen en forma complementaria en la calidad de sitio.

5. HIPÓTESIS

- 5.1. Los factores edáficos y fisiográficos influyen significativamente en el crecimiento inicial de plantaciones de *Pinus maximinoi* H.E. Moore.
- 5.2. Es posible generar modelos de regresión múltiple para predecir el crecimiento inicial de *Pinus maximinoi* H.E. Moore en base a factores edáficos y fisiográficos en la Región de las Verapaces.

3.2.6. GENERALIDADES DEL PROGRAMA DE INCENTIVOS FORESTALES -PINFOR-

A. Misión

El -PINFOR- fomenta la creación de núcleos de producción forestal regional de alta productividad, para impulsar la oferta de productos forestales competitivos, reducir la deforestación, generar servicios ambientales y empleo en el área rural (31).

B. Objetivo principal

El Programa de Incentivos Forestales constituye un instrumento financiero de la política forestal, al igual que los incentivos crediticios y técnicos contemplados en la misma política y legislación forestal vigentes (31).

C. Objetivos específicos

- Mantener y mejorar la producción forestal sostenible, incorporando los bosques naturales y las plantaciones a la actividad económica productiva.
- Incorporar tierras de vocación forestal desprovistas de bosque a la actividad forestal, a través del establecimiento y mantenimiento de plantaciones forestales y/o la regeneración natural.
- Generar una masa crítica de bosques y plantaciones productores de materia prima, para el desarrollo de la industria forestal.
- Incentivar el mantenimiento y la creación de bosques y plantaciones para la generación de servicios ambientales (31)

D. Metas del PINFOR

El Programa de Incentivos Forestales es para un período de 20 años (1997-2017), mediante el cual el Gobierno incentiva el Manejo y Protección de Bosques Naturales, así como el establecimiento de plantaciones forestales, con especies priorizadas según los requerimientos por cada región y subregión de influencia. Las metas propuestas establecen que deben manejarse 650,000 hectáreas de bosque natural y establecerse 285,000 hectáreas de plantaciones forestales, con recursos provenientes del 1% de los ingresos ordinarios del Presupuesto General de la Nación (31).

Los montos para proyectos de reforestación se describen en el Cuadro 2.

Se eligió un 20% de la media general elevada al cuadrado, porque en este tipo de estudios se considera adecuado un 20% de precisión sobre la varianza estudiada en este caso el área expresada en (ha).

$\sigma^2 = 661 \text{ has}^2$ Dato proporcionado por el Departamento de Fomento del Instituto Nacional de Bosques -INAB-.

$$Z_{0.05/2} = 1.96$$

$$n = \frac{(1.96)^2 (661)}{85.53} = 29.68 \approx 30$$

NOTA:

En base al anterior procedimiento estadístico, se establece que de los 139 proyectos establecidos dentro del -PINFOR- con plantaciones de *Pinus maximinoi* H.E. Moore, 30 proyectos que representan el 22% se seleccionaron como mínimo para dicho estudio.

6.3. SELECCIÓN DE LOS PROYECTOS

6.3.1. Criterios de selección

- A. **Plantaciones puras:**
Debido a que existen muchos proyectos de reforestación con dos o más especies.
- B. **Cumplimiento con los requisitos mínimos que exige el PINFOR:**
En la actualidad, hay muchos proyectos que no se les ha dado un mantenimiento adecuado, es decir limpias, podas o simplemente la especie ya no está por causas de incendios forestales principalmente.
- C. **Accesibilidad:**
Hay algunos proyectos que se encuentran en zonas poco accesibles y en cuanto al área son insignificantes.
- D. **Anuencia de los propietarios:**
Para que el trabajo fuera reconocido, fue necesario contar con la autorización del propietario y su colaboración.
- E. **Edad de la plantación:** Se procedió a incluir todas las fases de mantenimiento que contempla el programa: Establecimiento (año 1), mantenimiento I (año 2), mantenimiento II (año 3), mantenimiento III (año 4), mantenimiento IV (año 5) y mantenimiento V (año 6).

4. OBJETIVOS

4.1. GENERAL

- 4.1.1. Determinar los factores edáficos y fisiográficos que influyen en el crecimiento inicial de plantaciones de *Pinus maximinoi* H.E. Moore dentro del Programa de Incentivos Forestales -PINFOR- en las Verapaces.

4.2. ESPECÍFICOS

- 4.2.1. Determinar el crecimiento inicial, calidad y sanidad de las plantaciones de *Pinus maximinoi* en las Verapaces
- 4.2.2. Identificar los factores edáficos y fisiográficos que influyen en el crecimiento inicial de *Pinus maximinoi*.
- 4.2.3. Determinar en forma cuantitativa las relaciones entre los factores edáficos y fisiográficos, con el crecimiento inicial de *Pinus maximinoi* en las Verapaces.

Castañes (1962) citado por Revolorio (47), establece que el tamaño de las parcelas debe permitir el muestreo de un número adecuado de árboles y así como asegurar que los valores de las propiedades del suelo y topografía sean lo más uniforme posible, a través de toda el área de la parcela.

Para el estudio, se pretendió reducir al máximo la variación dentro de la parcela y aumentarla entre parcelas. El tamaño y la forma de la parcela, resultó ser efectivo en los sitios, para la medición de los árboles.

6.4.5. Número de parcelas y distribución por sitio

Para determinar el número de parcelas a establecer en los diferentes proyectos seleccionados, se contó con los datos del área total reforestada por proyecto, los cuales fueron proporcionados por el Departamento de Fomento del -INAB-, la base de datos de beneficiarios del -PINFOR-.

Para establecer el número adecuado de parcelas a instalar en cada uno de los proyectos de reforestación, se procedió a utilizar la siguiente fórmula:

$$\text{Número de parcela por finca: } \frac{10,000 \text{ m}^2 \times \text{intensidad de muestreo} \times \text{área total de reforestación (ha)}}{\text{Tamaño de parcela a utilizar (500m}^2\text{)}}$$

Se instalaron un total de 143 parcelas permanentes de medición -ppm-, en los diferentes sitios de la región de las Verapaces como se muestra en el Cuadro 4.

6. METODOLOGÍA

6.1. SELECCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Se eligió el área de las Verapaces (Región II) para hacer dicho estudio debido a la importancia que tiene con respecto a la cantidad de proyectos relacionados con los incentivos forestales -PINFOR-. Hasta el año 2002, se contaba con un total de 139 proyectos de reforestación con la especie de *Pinus maximinoi* de un total de 455 proyectos. Así mismo, para ese año se había reforestado con dicha especie 2,874.82 hectáreas en la Región (29%) de un total de 10,085.47 hectáreas, el resto de hectáreas se establecieron con otras especies (30).

La mayor parte de proyectos de reforestación se ubican dentro de la Zona de vida bosque muy húmedo subtropical muy frío bmh-S(f). El área en estudio abarca los diferentes municipios que se mencionan en el siguiente Cuadro 3.

Cuadro 3. Municipios por subregión donde se localizan los diferentes proyectos evaluados

Subregión	Nombre de los municipios	Departamento
II-1	Tactic, San Critóbal y Santa Cruz	Alta Verapaz
II-2	Rabinal, El Chol, Granados	Baja Verapaz
II-3	Cobán, San Pedro Carchá	Alta Verapaz
II-4	San Jerónimo, Salamá, Purulhá	Baja Verapaz

6.2. DISEÑO DEL MUESTREO Y TAMAÑO DE LA MUESTRA

Para determinar el número de proyectos a evaluar, se procedió de la siguiente manera:

1. El marco lista (población) fueron los 139 proyectos que se establecieron en la Región II a partir de 1,997 al 2,002 con la especie en estudio.
2. Luego se calculó el tamaño de la muestra utilizando como variable el área de los proyectos de reforestación de la región en hectáreas con la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Z^2 \alpha/2 \sigma^2}{A}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra (No. de elementos de la muestra).

$Z_{\alpha/2}$ = Valor de la tabla de Z con un nivel de significancia α de dos colas.

σ^2 = Varianza del área de los proyectos.

A = $\% \mu^2$

μ = (Media general) La media general es de 20.68 hectáreas.

$$A = 0.2 (20.68 \text{ ha})^2 = 85.53 \text{ ha}$$

Cont...

Cuadro 4. Características generales de los proyectos evaluados

No	Depto	Sub Región	Municipio	Nombre del sitio o proyecto	Coordenadas del proyecto		No de lote	Año de plantación	Fase de crecimiento	Área reforestada (ha)	Total ppm
					Longitud	Latitud					
18	A.V.	II-1	Tactic	Finca Pansinic (Panchisivic)	89°52'02"	15°20'17"	1	2001	Mant. I	2.52	2
					90°23'16"	15°18'10"	2	1999	Mant. III	2.54	2
							3	1997	Mant. V	2.95	2
19	A.V.	II-1	Santa Cruz	Norman Roberto Iten Moino	90°26'10.5"	15°18'52"	1	1998	Mant. IV	9	2
							2	1997	Mant. V	22.84	3
20	A.V.	II-1	Tactic	Dieseldorff Sucesores (Fca. Río Frío)	90°25'08"	15°20'30"	1	1998	Mant. IV	26.08	5
							2	1998	Mant. IV	26.08	6
21	A.V.	II-1	Tactic	Finca Chamché (Óscar Prado)	90°20.5'58"	15°19'46"	1	2000	Mant. II	5.50	2
22	A.V.	II-1	Tactic	Finca Rocjá	90°18'04"	15°18'24"	1	2000	Mant. II	24.44	5
23	B.V.	II-4	Purulhá	Ram Tzul	90°17'45"	15°14'57"	1	1999	Mant. III	2.41	1
24	B.V.	II-4	Purulhá	Comunidad Mochán	90°15'40"	15°14'48.6"	1	2000	Mant. II	5.79	1
25	B.V.	II-4	San Jerónimo	Aixa Flores Muralles Sagastume	90°06'09"	15°06'14"	1	1999	Mant. III	4.77	1
							2	1998	Mant. IV	5	1
26	B.V.	II-4	San Jerónimo	Icagro S.A.	90°06'16"	15°06'09"	1	1998	Mant. IV	5.46	1
27	B.V.	II-4	San Jerónimo	Finca Monterrico	90°08'48"	15°06'22"	1	2001	Mant. I	10.00	2
							2	2000	Mant. II	35.00	6
28	B.V.	II-4	Salamá	Rogelio Ascencio Peláez	90°20'22"	15°00'44"	1	1998	Mant. IV	4.00	1
29	B.V.	II-4	Salamá	Edgar Arnoldo Cuéllar Enriquez	90°20'42"	15°00'51"	1	1998	Mant. IV	6.37	1
30	B.V.	II-2	Rabinal	Finca Las Cañas	90°30'45"	15°00'20"	1	2001	Mant. I	3.00	2
							2	2000	Mant. II	4.13	2
31	B.V.	II-2	El Chol	Finca El Mezcal	90°30'38"	14°59'42"	1	2002	Establec.	2.00	1
							2	2000	Mant. II	2.19	1
32	B.V.	II-2	Granados	Finca San Antonio	90°35'10"	14°35'00"	1	2000	Mant. II	10	2
TOTAL										660.94 ha	143

Fuente: Base de datos de beneficiarios del -PINFOR-

6.3.2. Revisión de expedientes

Luego de la selección de los proyectos, se revisaron cada uno de los expedientes.

Esta revisión consistió principalmente en definir el nombre del propietario, número total de hectáreas reforestadas, número de proyectos o lotes dentro del sitio con la especie en estudio, mapa de ubicación del (los) proyecto (s) dentro de la finca, coordenadas geográficas y elaboración del croquis de la finca (Ver Cuadro 4).

6.4. SELECCIÓN Y NÚMERO DE PARCELAS PERMANENTES DE MONITOREO

6.4.1. Método de muestreo dentro de cada proyecto seleccionado

Se realizó un muestreo selectivo o preferencial, es decir seleccionando personalmente la ubicación de las parcelas directamente en el campo. Durante la selección, se trató de cubrir toda la variabilidad posible en cada uno de los sitios evaluados de acuerdo a las variables en estudio (edáficas y fisiográficas).

6.4.2. Intensidad de muestreo

En forma general se trató de cubrir al máximo una intensidad de muestreo, del 0.8% al 1.5%, dependiendo del tamaño de cada proyecto de reforestación dentro de las diferentes fincas seleccionadas.

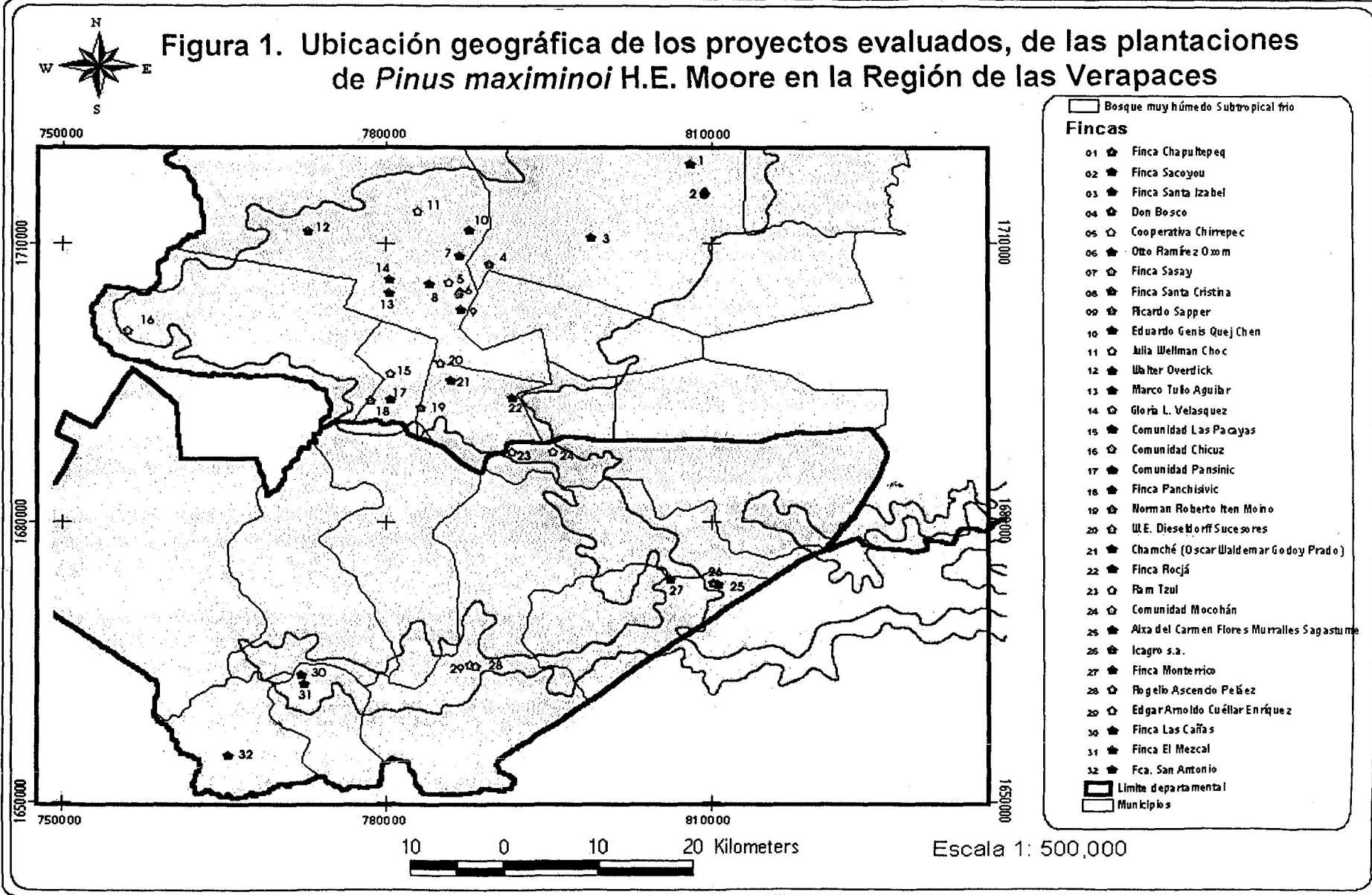
6.4.3. Tipo de parcela

Básicamente, existen dos tipos de parcelas, las temporales y las permanentes. Para el estudio, se implementaron parcelas permanentes de monitoreo -ppm-.

6.4.4. Tamaño y forma de la parcela

Se establecieron parcelas rectangulares debido a que facilitan la ubicación, la demarcación permanente y el sentido de medición de los árboles, en mediciones consecutivas a largo plazo.

El criterio inicial del tamaño de la parcela, fue de 500 m² (20x25 m), sin embargo la misma varió a 594 m² (22 x 27 m) en algunos proyectos seleccionados, debido a la densidad baja de los árboles, por los raleos que se han aplicado a algunos proyectos especialmente a los de 5 y 6 años, así como a la irregularidad del sitio, el promedio entre planta y surco es de 2.5 x 2.5 m. a 3.0 x 3.0 m.



Cuadro 4. Características generales de los proyectos evaluados

No	Depto	Sub Región	Municipio	Nombre del sitio o proyecto	Coordenadas del proyecto		No de lote	Año de plantación	Fase de crecimiento	Área reforestada (ha)	Total ppm
					Longitud	Latitud					
1	A.V.	II-3	Carchá	Finca Chapultepeq (Zoila de Wohlers)	90°00'07"	15°38'07"	1	1998	Mant. IV	45.0	8
2	A.V.	II-3	Carchá	Finca Sacoyou	90°07'15"	15°34'10"	1	2001	Mant. I	30.0	3
3	A.V.	II-3	Carchá	Finca Santa Isabel (Gerda Judith)	90°13'11"	15°29'26"	1	2001	Mant. I	15.60	3
							2	1999	Mant. III	40	8
4	A.V.	II-3	Carchá	Asociación Salesiana Don Bosco	90°19'00"	15°27'40"	1	2001	Mant. I	10.00	2
							2	1999	Mant. III	20	5
5	A.V.	II-3	Cobán	Cooperativa Chirrepec R.L.	90°21'20"	15°26'12"	1	1997	Mant. V	42.35	11
							2	1998	Mant. IV	39.61	9
							3	1999	Mant. III	7.25	2
							4	2000	Mant. II	6.59	2
							5	2001	Mant. I	20.56	5
							6	2002	Establec.	15	3
6	A.V.	II-3	Cobán	Otto Ramírez Oxom	90°21'15.6"	15°24'31.9"	1	2002	Establec.	32.36	3
7	A.V.	II-3	Cobán	Finca Sasay	90°22'16"	15°27'08"	1	1998	Mant. IV	6	3
8	A.V.	II-3	Cobán	Finca Santa Cristina	90°21'15"	15°28'15"	1	1998	Mant. IV	13.00	2
9	A.V.	II-3	Cobán	Ricardo Sapper	90°22'59.5"	15°26'33.5"	1	2001	Mant. I	7.00	2
10	A.V.	II-3	Cobán	Eduardo Genis Quej Chen	90°20'10"	15°30'05"	1	2001	Mant. I	9.45	2
11	A.V.	II-3	Cobán	Julia Wellman Choc	90°23'35"	15°31'14"	1	1999	Mant. III	10	2
12	A.V.	II-3	Cobán	Walter Overdick	90°30'15"	15°29'59"	1	2001	Mant. I	14	3
13	A.V.	II-3	Cobán	Marco Tulio Aguilar	90°24'54"	15°25'58.2"	1	2001	Mant. I	10	2
							2	2000	Mant. II	8	2
14	A.V.	II-3	Cobán	Gloria L. Velásquez	90°24'54"	15°25'58.2"	1	2002	Establec.	9	2
15	A.V.	II-1	Santa Cruz	Comunidad Las Pacayas	90°22'50"	15°26'18"	1	1999	Mant. III	9	2
16	A.V.	II-1	San Cristóbal	Comunidad Chicuz	90°40'50"	15°23'25"	1	2000	Mant. II	10	2
							2	1999	Mant. III	2	1
17	A.V.	II-1	Tactic	Comunidad Pansinic.	90°24.5'25"	15°18.5'18"	1	2000	Mant. II	2.10	2

través de tubos de PVC plenamente identificados. Debido a que la forma de la región en general es bastante irregular, el distanciamiento entre planta y surco es variado lo cual no se pudo medir como se estableció en un principio. Para la recopilación de las variables cuantitativas, se contó con la boleta de campo de "Medición de árboles en pie" del Mira Silv (Apéndice 3).

b. Variables cualitativas

De acuerdo a la metodología del Mira Silv las principales variables cualitativas analizadas se obtuvieron por medio del formulario de árboles en pie, como se muestra en el Apéndice 3. Se contó con el resumen por parcela de "frecuencias de códigos de forma y defectos de ejes (fustes) de la medición" del programa Mira Silv.

Se evaluaron diferentes variables de forma y defectos de fuste en cada uno de los árboles ubicados en las diferentes parcelas, los cuales a su vez fueron analizados a través de los promedios de las diferentes parcelas por edad de plantación.

b.1. Evaluación de la calidad de las plantaciones

Debido que a través del sistema Mira Silv se obtiene información variada sobre diferentes condiciones de los árboles que en algún momento dificultan el análisis global de la calidad de las plantaciones se planteó una metodología adecuada en función a los objetivos del estudio.

Para determinar la calidad de las plantaciones se agruparon las diferentes características cualitativas evaluadas en cada uno de los árboles en cuatro variables clasificatorias las cuales son: Posición sociológica del árbol (dominancia y codominancia), ejes rectos y torcedura basal, plagas (enfermo, cola de zorro) y defectos del fuste (poco sinuoso, muy sinuoso, bifurcado, inclinado, tallo quebrado sin recuperación, sin copa).

Seguidamente se agruparon las diferentes parcelas por edad de plantación y se obtuvo el promedio de las diferentes variables, en base a las cuatro variables clasificatorias. Se asignó posteriormente a criterio personal una variable de clasificación y un porcentaje de valor específico a cada promedio, éstas son: excelente (83-100), muy bueno (66-83), bueno (50-66), regular (33-50), malo (16-33) y muy malo (0-16). Para determinar la calidad en base a los promedios obtenidos se agruparon nuevamente las variables clasificatorias en dos grupos. El primer grupo lo constituyó la posición sociológica del árbol y los ejes rectos. Se espera que a mayor porcentaje de las variables evaluadas (dominancia o codominancia y ejes rectos), mayor será la calidad de las plantaciones.

6.4.6. Ubicación e instalación de las parcelas

Para la ubicación e instalación de las parcelas permanentes, establecidas en el campo en los distintos proyectos, se hizo un reconocimiento general conjuntamente con personal de campo proporcionados por algunos beneficiarios y con la ayuda permanente de personal técnico de las diferentes subregiones de la Región II donde se realizó el estudio. La ubicación e instalación de las parcelas se hizo en función de la variación observada, principalmente en relación al crecimiento en altura de la plantación de forma visual, orientación de la pendiente, posición en la pendiente, exposición, porcentaje de la pendiente, rangos de pedregosidad entre otras.

Para la identificación de cada parcela, se hizo una zanja en forma de escuadra en cada una de las esquinas, así mismo se marcó en forma de anillos a una altura visible con pintura de spray los tres árboles de cada esquina de la parcela.

Dentro de cada sitio se trató de cubrir la mayor variabilidad posible. En la Figura 1 se muestra la ubicación geográfica de los 32 proyectos evaluados.

Donde: IMAV = Incremento Medio Anual en Volumen ($m^3/año$)

v = Volumen (m^3)

t = Tiempo de existencia de la plantación en años.

El volumen es proyectado posteriormente a m^3/ha .

c.1. Determinación de la calidad de las plantaciones en base a su crecimiento

El crecimiento de una especie se da en diámetro, altura y volumen. Para determinar si el crecimiento de una especie es bueno, regular o malo en un área específica, se han creado en base a datos de campo tablas de crecimiento y rendimiento de una especie en particular. Sin embargo en nuestro medio la mayoría de la tablas de crecimiento de especies forestales se han elaborado en bosques naturales, al utilizarlas en nuestro estudio se crea un sesgo en los datos. Se espera que en una plantación el crecimiento sea más acelerado por el manejo que se le puede dar a la misma.

Actualmente existe incertidumbre acerca del crecimiento que presentan las plantaciones, no se sabe si el crecimiento es bueno, regular o malo. Para las condiciones de los proyectos el crecimiento de los mismos se categorizó en bueno y malo (esta categoría puede variar al ser comparada posteriormente en otros estudios), en base al promedio de los diferentes Incrementos Medios Anuales en diámetro, altura y volumen por edad de plantación de los proyectos, para determinar la calidad preliminar de las plantaciones. Es decir abajo del promedio el crecimiento de la plantación es malo y arriba es bueno, se hace un análisis del número y porcentaje de parcelas que se ubican en dichos rangos.

Posteriormente se evaluaron las parcelas con edades comprendidas entre los 3, 4, 5 y 6 años, las parcelas con edades de 1 y 2 años no se tomaron en cuenta debido a que el análisis de productividad es poco significativo. En base a lo anterior se realizó el promedio de los diferentes IMAs en diámetro, altura y volumen para establecer el número de parcelas y el porcentaje de las mismas que se encuentran en sitios buenos y malos, con respecto al crecimiento anual.

B. Variables fisiográficas

a. Exposición de la parcela

En cada parcela, se midió con una brújula el azimut a partir del Norte magnético, siguiendo la dirección de la longitud de la pendiente dominante.

6.5. RECOPIACIÓN DE DATOS DE CAMPO

La toma de datos de campo se inició a partir del mes de abril y se finalizó en noviembre del 2003. Para la recopilación de la información de campo, se tomó como base algunos formularios que utiliza el programa Mira Silv versión 2.9, así como parte de la metodología que en el se establecen.

6.5.1. ELABORACIÓN DEL CROQUIS DE LA PARCELA

Luego de la delimitación de la parcela, se procedió a ubicar en forma espacial todos los árboles presentes en la boleta de campo (Apéndice 1).

Se enumeró cada árbol en forma serial con pintura en plantaciones con diámetros aceptables. En plantaciones de uno o dos años se identificó cada árbol con nylon blanco colocando el número serial con marcador permanente en forma visible. Los árboles que por error no se plantaron, se cortaron o fueron raleados, se les identificó en la boleta de campo con el código de -99, los árboles que por alguna razón no se midieron (árboles quebrados, muy delgados que no ameritaron medir el diámetro, etc.), pero que están vivos se le asignó el código -88 y que en una próxima oportunidad deberán medirse (Apéndice 2).

6.5.2. VARIABLES EVALUADAS

Las variables que se midieron en la investigación fueron dasométricas, fisiográficas y edáficas:

A. Variables dasométricas

Para su mejor interpretación se dividieron en dos partes: variables cuantitativas y variables cualitativas.

a. Variables cuantitativas

Estas variables están analizadas en base a los "promedios de crecimiento por parcela" del Mira Silv.

Para la medición del diámetro (mm), se utilizó una cinta diamétrica a la altura de 1.30 m (DAP) sobre el nivel del suelo a todos los árboles de cada parcela. En plantaciones jóvenes (menores a 1.30 m), no se consideró esta variable. La medición de la altura se hizo a la tercera parte del total de árboles ubicados dentro de la parcela, en plantaciones pequeñas se midió la altura de todos los árboles, esta se facilitó a

La profundidad efectiva del suelo se consideró como la profundidad del suelo hasta el material original o una capa cementada que impida la penetración de las raíces. La evaluación de la misma se realizó con seis barrenamientos dentro de cada parcela cortando la pendiente o en su defecto distribuirlos en forma representativa dentro de la parcela y asignándole el valor promedio.

La pedregosidad del terreno puede ser un factor limitante para el crecimiento de los árboles, se estimó en función del porcentaje de superficie cubierta por rocas en cada uno de los barrenamientos.

La textura se determinó preliminarmente al tacto en cada parcela a las dos profundidades (0-20 y 20-40 cm), el drenaje se evaluó en base a la textura y cortes de suelo cercanos al área de estudio.

La erosión superficial se estimó en función de la presencia o no evidencia de erosión dentro de la parcela. Para la evaluación de las variables edáficas y fisiográficas, se realizó la boleta de campo como se muestra en el Apéndice 4.

En el Cuadro 6 se presenta en forma resumida las diferentes variables edáficas evaluadas con sus respectivos códigos asignados.

Cuadro 6. Evaluación de las variables edáficas

VARIABLE	CLASIFICACIÓN	CÓD	VARIABLE	CLASIFICACIÓN	CÓD
Pedregosidad	Superficie cubierta por piedras (1 - 10%) Poco	0	Drenaje	Drenado muy escasamente	0
	Superficie cubierta por piedras (10 - 30%) Medio	1		Drenado escasamente	1
	Superficie cubierta por piedras (> 30%) Alto	2		Ligeramente drenado	2
Erosión	Grado de erosión superficial ninguno	0		Moderadamente bien drenado	3
	Grado de erosión superficial moderado	1		Bien drenado	4
	Grado de erosión superficial severo	2	Excesivamente bien drenados	5	
	Grado de erosión superficial muy severo	3	Profundidad efectiva (cm)	Profundidad (0 - 20)	0
Textura	Gruesa	0		Profundidad (20-40)	1
	Media	1		Profundidad (40 - 60)	2
	Fina	2		Profundidad (60 - 80)	3
				Profundidad (80 - 90)	4
				Profundidad > 90	5

Luego de la obtención de las diferentes variables edáficas y fisiográficas se presentan en forma detallada cada variable a nivel de parcela, posteriormente se hace un resumen en forma general de las condiciones edáficas y fisiográficas de la Región.

El grupo 2 lo conformaron las variables de plagas y defectos del fuste, el criterio a seguir fue que a menor porcentaje que presentan las variables, mejor será la calidad de las plantaciones.

b.2. Sanidad de las plantaciones

Es un factor importante de evaluar en la calidad de las plantaciones, la recopilación de los datos de campo se obtuvo por medio del formulario de árboles en pie del Mira Silv (Apéndice 2).

Esta se realizó en base a la "Frecuencia de códigos para la sanidad del fuste" del Mira Silv. Se estimó el promedio por parcela y seguidamente se ordenaron las parcelas por edad de plantación, determinando el promedio por edad.

Se estableció un criterio de sanidad del fuste, para determinar en forma precisa la vigorosidad del mismo. Asignándole una variable clasificatoria y rango de valores en porcentaje a criterio personal los cuales se mencionan a continuación: (0-33%, poco vigoroso; 33-66%, vigoroso y 66-100%, muy vigoroso) el criterio a seguir fue que mientras los árboles no eran afectados en el fuste el porcentaje de vigorosidad será excelente, mientras si es afectado el fuste, la vigorosidad será mala.

c. Variables de crecimiento

El crecimiento inicial de los diferentes proyectos de plantaciones forestales se obtuvo calculando el Incremento Medio Anual (IMA), para las variables altura, diámetro y volumen (variables cuantitativas). Para ello se procedió a ingresar todos los datos de diámetros y alturas incluidas en las boletas de campo de cada parcela establecida en los diferentes proyectos al programa Mira Silv., luego se calcularon las diferentes variables con las siguientes fórmulas que utiliza el programa:

El crecimiento inicial en altura, se obtuvo mediante la siguiente fórmula: $IMAA = \frac{h}{t}$

Donde: IMAA = Incremento Medio Anual Altura (m / año)

h = Altura en metros (m) t = Tiempo de existencia de la plantación en años.

El crecimiento inicial en diámetro, se obtuvo mediante la siguiente fórmula: $IMAD = \frac{d}{t}$

Donde: IMAD = Incremento Medio Anual en Diámetro (DAP) en cm/año

d = Diámetro en centímetros (cm) t = Tiempo de existencia de la plantación en años.

El crecimiento inicial en volumen, se obtuvo con la siguiente fórmula: $IMAV = \frac{v}{t}$

Cont...

Proyectos evaluados para la fertilidad del suelo

No	Nombre del proyecto	Municipio	Departamento	Edad (años)	No ppm
12	Dieseldorff sucesores (Fca. Río Frio)	Tactic	Alta Verapaz	5	5
13	Ram Tzul	Purulhá	Baja Verapaz	4	1
14	Aixa Flores Muralles	San Jerónimo	Baja Verapaz	4 y 5	2
15	Icagro S.A.	San Jerónimo	Baja Verapaz	5	1
16	Rogelio Ascencio Peláez	Salamá	Baja Verapaz	5	1
17	Edgar Cuéllar	Salamá	Baja Verapaz	5	1

A. Evaluación de la fertilidad del suelo

El procedimiento para la toma de muestras para determinar el contenido de nutrientes del suelo, consistió en lo siguiente:

a) Se fijaron dos profundidades de muestreo (0 a 20 cm y 20 a 40 cm)

Campos (1989) citado por Revolorio (47), establece que la técnica ideal de muestreo de suelos para este tipo de estudios, deberá representar la porción del suelo donde se dé el mayor desarrollo de raíces y donde ocurra la mayor absorción de nutrimentos y agua.

Page (1976) citado por Revolorio (47) indica que, para el caso de las coníferas el desarrollo de raíces dentro del perfil, es mínimo a profundidades mayores a los 30 cm.

b) Número de submuestras

En cada parcela, se tomaron cinco submuestras para cada una de las dos profundidades evaluadas. Este procedimiento se realizó cortando la pendiente o en áreas representativas de cada parcela. Las cinco submuestras en cada profundidad, se mezclaron y homogenizaron obteniendo luego una muestra representativa o compuesta aproximadamente de dos libras de suelo, el número total de submuestras analizadas a nivel de laboratorio fue de 116.

c) Variables evaluadas

En el Cuadro 8, se describen las variables físicas y químicas evaluadas a dos profundidades para la fertilidad del suelo, las cuales fueron realizadas en el Laboratorio de la Facultad de Agronomía

b. Porcentaje de pendiente

En cada parcela, se midió la pendiente dominante del área, utilizando un clinómetro.

c. Posición en la pendiente

Se consideraron principalmente tres posiciones (alta, media y baja), se establecieron también diferentes contornos o formas de pendientes de acuerdo a la metodología del Mira Silv Ugalde (60).

En el Cuadro 5 se presenta en forma detallada las diferentes variables fisiográficas evaluadas con sus respectivos códigos.

Cuadro 5. Evaluación de las variables fisiográficas

VARIABLE	CLASIFICACIÓN	CÓDIGO	VARIABLE	CLASIFICACIÓN	CÓDIGO	
Exposición de la parcela	No hay información	0	Contorno o forma de la pendiente	Plana o recta	1	
	Norte	1		Cumbre o cima (convexo)	2	
	Este	2		Escarpada	3	
	Sur	3		Cumbre redondeada	4	
	Oeste	4		Terraza	5	
	Llano	5		Depresión o cóncavo	6	
	Noreste	6		Llanura de inundación	7	
	Noroeste	7	Posición en la pendiente	Parte alta (loma)	1	
	Sureste	8		Parte media (ladera)	2	
	Suroeste	9		Parte baja (cañada)	3	
	Porcentaje de la pendiente	Porcentaje	%			

Los códigos asignados tanto a la posición como a la forma de la pendiente, están en función de las respuestas que se espera obtener y van de lo menos favorable a las mejores condiciones. La posición y la forma de la pendiente se estimaron por observaciones visuales.

C. Variables edáficas

El efecto de los factores edáficos se evaluó en base a barrenamientos efectuados dentro del área de la parcela, esto permitió un mejor criterio para la evaluación de variables estimadas por observación visual, como la pedregosidad superficial y erosión principalmente.

Para la construcción de los modelos y mejor interpretación del comportamiento de las diferentes variables edáficas y fisiográficas con respecto al crecimiento inicial, este procedimiento se dividió en dos fases.

6.6.1. Análisis de regresión separando las variables edáficas y fisiográficas

La primera parte del análisis se obtuvo separando las variables edáficas y fisiográficas (Variables independientes) y relacionar cada una de ellas con la variable dependiente Incremento Medio Anual (IMA), en diámetro, altura y volumen a nivel del Estrato I Cooperativa Chirrepec (proyecto 5).

6.6.2. Análisis de regresión múltiple de todos los factores evaluados

La segunda parte consistió en hacer el análisis de regresión múltiple de todos los factores edáficos y fisiográficos evaluados con las variables dependientes, expresada en los Incrementos Medios Anuales en diámetro, altura y volumen del Estrato I y II. Se realiza un análisis gráfico de algunas variables que influyen en el crecimiento de la especie a nivel de cada estrato.

6.7. ORDENAMIENTO, PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

- ❖ Luego de obtener todos los datos de las variables dasométricas, edáficas y fisiográficas recopiladas en las diferentes boletas de campo, se procedió a ingresar toda la información dasométrica, al programa Mira Silv versión 2.9.
- ❖ Seguidamente, se obtuvieron del programa los diferentes resultados de las distintas variables dasométricas por parcela evaluadas como: los porcentajes por parcela de las frecuencias de códigos para forma y defectos de ejes (fuste) y sanidad, los Incrementos Medios Anuales (IMA) en diámetro, altura y volumen, diámetro y altura promedio, altura dominante, área basal y volumen (ha), porcentaje de sobrevivencia, árboles vivos por parcela y por hectárea, área neta.
- ❖ Posteriormente a la obtención de los resultados, se crearon diferentes hojas electrónicas en el programa Excel, para el ordenamiento de la información de los resultados dasométricos obtenidos del programa Mira Silv, así mismo la ordenación individual de las variables edáficas y fisiográficas. Se obtuvieron los valores máximos, mínimos y medios de las variables cuantitativas y de los factores edáficos (a dos profundidades) y de algunos fisiográficos.

6.5.3. CRITERIOS DE SELECCIÓN Y ANÁLISIS DE LAS PARCELAS, PARA EVALUAR LA FERTILIDAD DEL SUELO

Para el análisis de la fertilidad del suelo, se seleccionaron diferentes parcelas representativas en base a criterios establecidos como: la altura dominante de los árboles de forma visual, la pendiente, orientación de la pendiente, posición en la pendiente entre otras. Dichos factores influyen significativamente en las características físicas y químicas del suelo, los cuales afectan considerablemente el crecimiento de los árboles.

Debido a que se contó con un recurso económico limitado, la evaluación de la fertilidad del suelo se estableció solamente en los proyectos con una edad de plantación de cuatro, cinco y seis años.

El proceso de toma de muestras para determinar el contenido de nutrientes del suelo, fue el siguiente:

1. En proyectos menores de 15 hectáreas, se seleccionaron dos parcelas que tengan calidades de sitio distintas en base a los criterios ya mencionados anteriormente. En proyectos de 15 - 45 hectáreas, se seleccionaron cuatro parcelas, dos parcelas en sitios buenos y dos en sitios malos.
2. En proyectos mayores a 45 hectáreas, se seleccionaron seis parcelas para la recolección de muestras de suelo, tres parcelas en sitios buenos y tres en sitios malos.

Los proyectos para evaluar la fertilidad del suelo fueron 17 en total. De los diecisiete proyectos seleccionados, se evaluaron un total de 58 parcelas como se muestra en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Proyectos evaluados para la fertilidad del suelo

No	Nombre del proyecto	Municipio	Departamento	Edad (años)	No ppm
1	Finca Chapultepeq	San PedroCarchá	Alta Verapaz	5	4
2	Finca Santa Isabel	San PedroCarchá	Alta Verapaz	4	4
3	Asociación Salesiana Don Bosco	San PedroCarchá	Alta Verapaz	4	3
4	Cooperativa Chirrepec R.L.	Cobán	Alta Verapaz	3,4,5 y 6	19
5	Finca Sacia	Cobán	Alta Verapaz	5	2
6	Finca Santa Cristina	Cobán	Alta Verapaz	5	2
7	Julia Wellman	Cobán	Alta Verapaz	4	2
8	Comunidad Las Pacayas	Santa Cruz	Alta Verapaz	4	2
9	Comunidad Chicuz	San Cristóbal	Alta Verapaz	4	1
10	Finca Pansinic (Panchisivic)	Tactic	Alta Verapaz	4	4
11	Norman Roberto Iten	Santa Cruz	Alta Verapaz	5 y 6	5

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con lo propuesto en la metodología y cumpliendo los objetivos de la investigación se presenta en forma detallada los resultados obtenidos.

7.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS PARCELAS Y PROYECTOS EVALUADOS

7.1.1. VARIABLES DASOMÉTRICAS

Son todas aquellas variables que determinan las características cuantitativas y cualitativas de cada uno de los árboles dentro de las parcelas establecidas. Los resultados se obtuvieron por medio del ingreso de toda la información registrada en las boletas de campo, al programa Mira Silv., éste ordenó cada boleta y analizó los resultados por parcela, para el caso particular del número de árboles vivos, el volumen y área basal lo proyecta por hectárea.

A. Variables cuantitativas

En el Cuadro 9 se presenta el resumen de las variables cuantitativas obtenidas en las diferentes parcelas de mediciones permanentes establecidas en los diferentes proyectos seleccionados dentro de la Región II (Las Verapaces). Estas variables están analizadas en base a los "promedios de crecimiento por parcela" del Mira Silv y se presentan por edad de plantación y la altura promedio (m) de cada parcela en forma descendente. Se observa también en base a las diferentes variables dasométricas que el crecimiento de la especie no es homogéneo a nivel de sitio y edad de plantación,

Ugalde (60), menciona que el crecimiento de una plantación depende en gran parte, de la capacidad productiva del sitio seleccionado, de la preparación y del manejo que se le de al mismo. En algunos sitios los árboles crecerán rápidamente en poco tiempo, mientras que en otros el crecimiento será menor o muy pobre.

El distanciamiento promedio entre planta y surco es variado en cada proyecto y sitio, los cuales oscilan de 2.5 x 2.5 m. a 3.0 x 3.0 m. Para Devorak et al (19) dichos espaciamientos los han aplicado también en otros países sin causarles ningún problema a las plantaciones. Sin embargo se debe de reconocer que algunos proyectos evaluados con edades de 1 y 2 años presentaron espaciamientos de 1.90 x 1.90 m, así como proyectos de 5 años que presentaban espaciamientos de 1.75 x 2.05 m (finca 8, Santa Cristina, ubicada en Cobán Alta Verapaz).

Cuadro 8. Variables evaluadas en la fertilidad del suelo

VARIABLE	CLASIFICACIÓN
Variables analizadas en el laboratorio	Físicas: Color en seco y húmedo, porcentaje de arena, limo y arcilla, clase textural.
	Variables químicas: pH, CE, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe, Mn, ClC, Na, %MO, %SB.

Los métodos empleados, para el análisis de la fertilidad del suelo se resumen en el Apéndice 5.

B. Ordenamiento y análisis de las variables químicas evaluadas

Para realizar un mejor análisis de las variables químicas se presenta en forma detallada los resultados obtenidos a nivel de parcela, posteriormente se realizó un análisis a nivel de proyecto para evaluar en forma general las características esenciales de la fertilidad de los suelos. Así mismo se relacionaron algunas variables significativas con la fertilidad de los suelos a nivel de la Región, con la finalidad de evaluar las variables fisicoquímicas que tienen mayor relación con la fertilidad de los suelos en base al nivel de significancia que presentaron las mismas.

6.6. CONSTRUCCIÓN DE MODELOS DE PREDICCIÓN DEL CRECIMIENTO INICIAL DE *Pinus maximinoi* EN BASE A LAS VARIABLES FISIAGRÁFICAS Y EDÁFICAS

El análisis de las correlaciones de las variables edáficas y fisiográficas, con el crecimiento inicial (variable dependiente o variable respuesta), permite definir preliminarmente qué variables están más relacionadas con el crecimiento inicial de *Pinus maximinoi*. Debido a la complejidad de los modelos de regresión resultantes, se tomó como base el R^2 y el nivel de significancia (una significancia abajo de 0.05 el R^2 es adecuado, arriba de 0.05 el R^2 no es adecuado), para seleccionar los modelos o ecuaciones que con un número razonable de variables, explicaran de mejor forma el comportamiento del crecimiento inicial (IMAs) de las plantaciones de *Pinus maximinoi*.

Se tomó en cuenta los criterios mencionados por Alder (1) en cuanto a la reducción del número total de variables los cuales son:

- ❖ Por síntesis de algunos elementos de información.
- ❖ Selección estadística de las variables más significativas.
- ❖ Análisis gráficos de las variables consideradas como las más importantes como factores limitantes del crecimiento.

Cont..

Cuadro 9. Variables cuantitativas evaluadas por parcela

No proyecto	No lote	No ppm	Edad (años)	Superv (%)	No árb vivos (parc)	No árb vivos (ha)	Área neta (m ²)	Altura prom (m)	DAP prom (cm)	Altura prom (m)	Altura domina (m)	Área Basal (m ² /ha)	Vol (m ³ /ha)
19	2	2	6	82	86	1720	500	7.4	11.8	7.4	8.6	18.7	62.7
5	1	11	6	45	38	670	567	7.4	10.4	7.4	8.8	5.7	19.45
5	1	4	6	63	59	1010	594	6.9	10.1	6.9	8.2	8.2	25.95
5	2	3	5	61	49	825	594	10.7	14.4	10.7	12.4	13.4	65.25
1	1	8	5	82	46	920	500	10.6	14.4	10.6	12.4	15.1	72.4
1	1	4	5	83	55	1120	500	10.4	13.2	10.4	13.8	15.3	73.5
20	1	1	5	86	68	1360	500	10.2	14.2	10.2	11.3	21.7	99.3
20	1	3	5	91	73	1460	500	9.8	13.3	9.8	11.2	20.3	89.6
7	1	2	5	89	71	1420	500	9.8	12.3	9.8	11.3	16.8	74.8
20	1	2	5	78	72	1460	500	9.7	12.1	9.7	11.5	16.8	74.5
20	2	3	5	96	85	1720	500	9.3	13.5	9.3	10.9	24.5	103.6
8	1	2	5	89	109	2180	500	9	10.3	9	10.4	18.1	73.4
5	2	1	5	62	47	791	594	9	13.4	9	10.9	11.2	46.05
1	1	6	5	79	44	880	500	9	11.9	9	9.9	9.8	40
20	2	2	5	91	73	1480	500	8.9	13.6	8.9	10.3	21.5	86.7
25	2	1	5	100	56	1120	500	8.9	13.3	8.9	9.7	15.5	62.4
20	2	5	5	76	68	1360	500	8.7	11.5	8.7	10.1	14.1	56
5	2	2	5	55	41	690	594	8.7	13.6	8.7	9.9	10.1	39.45
7	1	1	5	69	50	1000	500	8.6	11	8.6	10.2	9.6	37.5
20	2	4	5	89	67	1340	500	8.5	12.1	8.5	9.9	15.5	60
1	1	5	5	88	45	900	500	8.5	11.8	8.5	10.1	9.9	38.7
20	2	6	5	86	62	1240	500	8.4	13	8.4	9.7	16.4	62.5
5	2	4	5	46	46	791	594	8.4	12.9	8.4	10.2	10.3	39.55
1	1	3	5	85	44	880	500	8.4	12	8.4	10.9	9.9	39
20	2	1	5	86	69	1420	500	8.3	11.5	8.3	9.8	14.8	55.6
1	1	1	5	74	42	840	500	8.3	10.3	8.3	10.8	7	26.6
7	1	3	5	59	36	720	500	8.3	10.6	8.3	9.6	6.4	24.5
1	1	7	5	80	44	880	500	8.1	11.7	8.1	9.5	9.5	35.5
20	1	4	5	88	63	1260	500	8	9	8	10.4	7.9	29.3
1	1	2	5	86	44	880	500	8	9.9	8	8.8	6.7	24.3
19	1	1	5	68	50	1000	500	7.9	11.5	7.9	9.5	10.4	37.4
8	1	1	5	80	72	1440	500	7.8	9.6	7.8	9.5	10.5	37.6
5	2	6	5	71	70	1178	594	7.7	9.8	7.7	9.5	9	32.35
5	2	8	5	54	53	892	594	7.6	11.8	7.6	9.5	9.7	33.95
5	2	9	5	46	59	993	594	7.5	9.8	7.5	9.1	7.4	25.75
5	2	5	5	72	52	875	594	7.4	10.5	7.4	9.2	7.5	25.45
5	2	7	5	62	81	1364	594	7	8.2	7	8.7	7.2	23.75
28	1	1	5	54	48	808	594	6.9	10.2	6.9	7.9	6.6	20.8
20	1	5	5	82	74	1480	500	6.1	7.3	6.1	8.2	6.3	17.9
26	1	1	5	62	50	1000	500	5.1	9.7	5.1	5.9	7.4	16.8
29	1	1	5	53	52	875	594	4.5	7.7	4.5	6.3	4.1	9
19	1	2	5	65	47	940	500	4	6	4	4.9	2.7	4.9

- ❖ Para la evaluación de la calidad de las plantaciones, se tomó como herramienta básica el promedio de los porcentajes de las plantaciones por edad obtenidos de la "frecuencia general de códigos para forma y defectos de ejes (fuste) por parcela del programa Mira Silv., luego se agruparon todas las características en cuatro variables clasificatorias, para su posterior análisis de calidad.
- ❖ La sanidad de las plantaciones se realizó en base a la "Frecuencia de códigos para la sanidad del fuste" del Mira Silv. El programa estimó el porcentaje por parcela y seguidamente se ordenaron las parcelas por edad de plantación, determinando el promedio por proyecto, luego se estimó la sanidad de las plantaciones, de acuerdo a la metodología propuesta.
- ❖ En base a los resultados obtenidos a nivel de las características edáficas y fisiográficas se realizó un análisis en forma general y por proyecto de las diferentes parcelas, así mismo se relacionaron en forma gráfica algunas variables edáficas que tienen mayor relación con la fertilidad de los suelos.
- ❖ Cada base de datos se relacionó entre sí por el número de proyecto, parcela y lote, así como por la edad de plantación.
- ❖ Para el análisis de la relación entre los factores edáficos y fisiográficos con el crecimiento inicial, se procedió a crear una base de datos en la hoja electrónica Quattro-pro.
- ❖ Se tomaron en cuenta un total de 43 variables (edáficas y fisiográficas), para los análisis. Las variables edáficas de cada profundidad de muestreo se registraron como dos variables diferentes.
- ❖ El proceso de análisis de los factores edáficos y fisiográficos, se realizó usando el paquete SAS (Statistical Analysis System). Especialmente en este paquete estadístico se realizó el análisis de regresión múltiple utilizando el método Stepwise para la obtención de los diferentes modelos, se seleccionaron aquellas variables con un nivel de significancia preestablecido, en este caso se usó el 15%, con la finalidad de establecer las variables que tienen mayor influencia en el crecimiento inicial de *Pinus maximinoi* H.E. Moore.
- ❖ Se consideró el crecimiento inicial (expresado en IMAs en diámetro, altura y volumen) como variables dependientes, así mismo las variables independientes fueron las edáficas y fisiográficas, para ajustar modelos de regresión que permitieran predecir el crecimiento inicial en función de las variables independientes.

Cont...

Cuadro 9. Variables cuantitativas evaluadas por parcela

No proyecto	No lote	No ppm	Edad (años)	Superv (%)	No árb vivos (parc)	No árb vivos (ha)	Área neta (m ²)	Altura prom (m)	DAP prom (cm)	Altura prom (m)	Altura domina (m)	Área basal (m ² /ha)	Vol (m ³ /ha)
27	2	1	3	85	78	1560	500	2.3	2.4	2.3	3.4	0.7	0.8
32	1	2	3	95	75	1500	500	2.3	2.2	2.3	2.9	0.6	0.6
32	1	2	3	95	75	1500	500	2.3	2.2	2.3	2.9	0.6	0.6
27	2	5	3	66	47	980	500	2.2	2.6	2.2	2.6	0.5	0.5
13	2	2	3	95	54	1080	500	1.8	1.7	1.8	2.4	0.2	0.2
27	2	6	3	80	44	880	500	1.7	2.7	1.7	2.5	0.5	0.4
17	1	1	3	89	50	1020	500	1.7	1.6	1.7	2.3	0.2	0.2
16	1	1	3	89	50	1000	500	1.4	*	1.4	1.8	*	*
16	1	2	3	69	38	760	500	1.4	*	1.4	1.7	*	*
27	2	4	3	35	17	340	500	1.1	2.4	1.1	1.9	0.2	0.1
5	5	1	2	79	56	960	594	2.5	2.6	2.5	3.5	0.5	0.6
10	1	2	2	94	59	1180	500	2.2	2.2	2.2	3.3	0.4	0.4
12	1	1	2	77	40	800	500	2	*	2	3.2	*	*
18	1	2	2	97	59	1220	500	2	1.8	2	2.7	0.3	0.3
3	1	3	2	100	62	1240	500	1.9	*	1.9	2.6	*	*
30	1	2	2	98	78	1560	500	1.8	3.5	1.8	2.5	1.5	1.3
10	1	1	2	93	51	1020	500	1.6	1.7	1.6	2.2	0.2	0.2
5	5	2	2	47	47	825	594	1.5	2.3	1.5	2.1	0.3	0.2
18	1	1	2	96	52	1040	500	1.5	1.3	1.5	2	0.2	0.1
5	5	4	2	49	45	774	594	1.3	1.4	1.3	2.1	0.1	0.1
5	5	5	2	62	63	1111	594	1.3	1.3	1.3	2	0.2	0.1
13	1	2	2	91	49	980	500	1.3	*	1.3	1.9	*	*
30	1	1	2	85	68	1360	500	1.2	2.7	1.2	2.2	0.8	0.4
4	1	1	2	89	80	1600	500	1.2	1.7	1.2	2.5	0.4	0.2
27	1	2	2	78	73	1460	500	1.2	*	1.2	2.1	*	*
9	1	2	2	89	58	1160	500	1.2	*	1.2	1.9	*	*
27	1	1	2	71	46	920	500	1.2	*	1.2	1.8	*	*
3	1	1	2	94	59	1180	500	1.1	*	1.1	2	*	*
4	1	2	2	91	90	1800	500	1	*	1	1.6	*	*
12	1	2	2	86	30	600	500	1	*	1	1.3	*	*
2	1	2	2	96	51	1020	500	0.9	*	0.9	1.6	*	*
2	1	1	2	93	42	840	500	0.9	*	0.9	1.5	*	*
2	1	3	2	75	44	880	500	0.9	*	0.9	1.4	*	*
3	1	2	2	94	50	1000	500	0.8	*	0.8	1.5	*	*
9	1	1	2	89	51	1020	500	0.8	*	0.8	1.4	*	*
5	5	3	2	78	76	1279	594	0.7	*	0.7	1.7	*	*
13	1	1	2	81	57	1140	500	0.6	*	0.6	1	*	*
12	1	3	2	82	55	923	596	0.4	*	0.4	1.2	*	*

Según Galloway (2003), citado por Ávila (5), las implicaciones de no espaciar las plantaciones son serias, la recesión y la falta de expansión lateral de copas produce una reducción del crecimiento en diámetro, este proceso ocurre más rápidamente cuando los árboles se establecen a espaciamientos estrechos y en sitios donde pueden alcanzar tasas altas de crecimiento en altura, a nivel de campo se observó dicho fenómeno en la finca 8, Santa Cristina ubicada en Cobán Alta Verapaz.

Puede observarse en el Cuadro 9 que las variables dasométricas tienen un comportamiento irregular tanto entre proyectos ubicados en el mismo sitio con la misma edad como es el caso particular que presentan las parcelas 4 y 9 del proyecto 5 con una edad de 6 años de plantación ambas, las cuales muestran una clara irregularidad en cuanto a dichas variables.

Este fenómeno se puede observar con mayor precisión en proyectos de la misma edad, ubicados en diferentes sitios de la región, como lo muestra la parcela 1 del proyecto 18, con respecto a la parcela 1 del proyecto 19 con una edad base de 6 años, ambos proyectos se ubican en diferentes sitios dentro del municipio de Tactic Alta Verapaz.

Así mismo este fenómeno se observó también en proyectos de edades distintas, como se muestra en el Cuadro 9, el comportamiento que tiene la parcela 3 del proyecto 20 lote 1 con una edad de 5 años, cuyas variables dasométricas son mayores a los valores dasométricos que presenta la parcela 1 del proyecto 19, a pesar de que ésta última posee una edad de 6 años.

Cuadro 9. Variables cuantitativas evaluadas por parcela

No proyecto	No lote	No ppm	Edad (años)	Superv (%)	No árb vivos (parc)	No árb vivos (ha)	Área neta (m ²)	Altura prom (m)	DAP prom (cm)	Altura prom (m)	Altura domina (m)	Área Basal (m ² /ha)	Vol (m ³ /ha)
5	1	9	6	63	55	926	594	11.9	15.4	11.9	13.2	17.3	92.75
5	1	2	6	45	34	680	500	11.6	17.8	11.6	12.7	16.9	89.25
18	3	1	6	87	84	1680	500	10.2	11.8	10.2	11.9	18.5	86.2
5	1	8	6	45	38	640	594	8.9	12.2	8.9	10.3	7.4	30.35
5	1	7	6	50	50	842	594	8.6	14.2	8.6	9.7	13.3	52.05
18	3	2	6	82	74	1480	500	8.5	11	8.5	10.5	14	54.4
19	2	3	6	84	77	1540	500	8.4	12.5	8.4	10	18.8	71.9
5	1	10	6	62	53	1060	500	8.1	10.2	8.1	10.4	8.7	32.65
5	1	1	6	71	69	1380	500	8.1	8.1	8.1	10.2	7.1	26.65
5	1	6	6	72	79	1330	594	8	10.3	8	9.7	11.1	40.45
19	2	1	6	65	53	1060	500	8	10.6	8	9.9	9.4	34
5	1	3	6	74	45	900	500	7.9	10.4	7.9	9.8	7.7	28.05
5	1	5	6	51	55	926	594	7.8	10.5	7.8	10.7	8	30.05

parcela 8 del proyecto 1, ambas con una edad de 5 años. Se establece que la altura de la parcela del proyecto 1 es mayor en rodales con una densidad baja, mientras que a una densidad alta la altura se ve afectada negativamente.

Hawley y Smith (27) mencionan que existe una tendencia a la reducción del crecimiento en altura en las plantaciones excesivamente densas.

Daniel et al (17) cita a Barkerville (1965), donde menciona que a medida que el número de árboles por hectárea aumenta, el área basal aumentará con cada árbol.

Así mismo dicho autor menciona que una vez que se inicia la competencia entre los individuos y se intensifica al aumentar el número de éstos, la suma de las áreas basales será mayor, pero el área basal individual disminuirá finalmente; cuando el número de árboles sea excesivo, la suma de áreas basales disminuirá, esto último puede ejemplificarse claramente en el comportamiento que tiene la parcela 2 del proyecto 8, con relación a la parcela 1 lote 1 del proyecto 20, ambos con una edad de plantación de 5 años. El número de árboles vivos de la primera parcela posee una sobrepoblación lo que influye en la disminución del área basal por la competencia que se está generando con los árboles de dicha parcela, contrariamente a dicho fenómeno se encuentra la parcela del proyecto 20, que contiene una cantidad reducida de árboles lo cual favorece el desarrollo apropiado del área basal.

Entre las razones a que obedece la reducción en el área basal total con el aumento del número de individuos pueden influir la posible reducción fotosintética, la mayor proporción de la respiración respecto a la fotosíntesis y, lo que probablemente sea la causa principal es la limitación de la cantidad de agua y nutrientes absorbidos por cada individuo, debido a la falta de desarrollo radicular según Daniel et al (17).

La parcela 4 del proyecto 1 que se muestra en el Cuadro 9 comparada con la parcela 2 del proyecto 8 con la misma edad (5 años) muestra una notable diferencia en cuanto al número de árboles vivos, esto se refleja en la variación de las variables evaluadas. Esta irregularidad de árboles vivos se debe a que se han efectuado diferentes manejos silviculturales (podas y raleos) de forma irregular en los diferentes proyectos de la Región concentrándose los mismos en plantaciones con edades de 5 y 6 años, en algunos casos no se han efectuado raleos a las plantaciones, contradiciendo así uno de los objetivos del -PINFOR-. A nivel de campo se observó dicho fenómeno en la finca Santa Cristina ubicada en el municipio de Cobán, evidenciándose en la recesión de copas de dicha plantación, así mismo presentando un número considerable de árboles con diámetros menores y alturas considerables.

Cont...

Cuadro 9. Variables cuantitativas evaluadas por parcela

No proyecto	No lote	No ppm	Edad (años)	Superv (%)	No árb vivos (parc)	No árb vivos (ha)	Área neta (m ²)	Altura prom (m)	DAP prom (cm)	Altura prom (m)	Altura domina (m)	Área Basal (m ² /ha)	Vol (m ³ /ha)
3	2	4	4	94	45	900	500	6.9	10.3	6.9	8.2	7.5	23.6
4	2	3	4	76	57	1140	500	6.5	7.8	6.5	7.4	5.4	16
4	2	2	4	86	48	960	500	6.2	8.8	6.2	6.9	5.8	16.4
3	2	3	4	98	55	1140	500	6	8.5	6	6.9	6.4	17.2
3	2	5	4	93	53	1080	500	5.9	8.3	5.9	7.4	5.8	15.9
4	2	1	4	92	66	1320	500	5.8	7.9	5.8	6.7	6.6	17.3
3	2	1	4	87	48	960	500	5.6	7.3	5.6	7	4	10.5
18	2	2	4	75	52	1060	500	5.3	6.3	5.3	6.6	3.3	8.1
3	2	6	4	96	46	920	500	4.8	6.4	4.8	5.6	3	6.5
23	1	1	4	36	23	480	500	4.5	7.2	4.5	5.2	2	4.2
4	2	4	4	55	35	700	500	4.4	6.8	4.4	5.2	2.6	5.3
11	1	2	4	81	44	900	500	4.4	5.9	4.4	5.4	2.5	2.5
25	1	1	4	95	54	1080	500	4.3	5.7	4.3	5.4	2.8	5.5
18	2	1	4	75	62	1260	500	4.3	4.7	4.3	5.3	2.2	4.4
11	1	1	4	82	45	940	500	4.2	6	4.2	5.8	2.7	5.6
3	2	2	4	96	54	1080	500	4.2	5.2	4.2	5.1	2.3	4.4
5	3	1	4	56	44	920	500	4.1	5.9	4.1	5.9	2.5	5.1
5	3	2	4	82	50	1000	510	3.9	6	3.9	5	2.8	5
4	2	5	4	72	56	1140	500	3.9	4.6	3.9	5.1	1.9	3.5
3	2	8	4	96	54	1080	500	3.7	3.8	3.7	4.9	1.2	2.1
3	2	7	4	96	50	1000	500	3.3	4.2	3.3	4.4	1.4	2.2
16	2	1	4	75	47	960	500	2.5	2.6	2.5	3	0.5	0.6
5	4	2	3	71	66	1111	594	5.8	8.1	5.8	7.9	5.7	15.4
15	1	1	3	95	53	1060	500	5.1	6.5	5.1	8	3.5	8.6
15	1	2	3	88	49	1000	500	5	7.9	5	5.6	5	11.4
5	4	1	3	63	69	1127	621	4.9	6.7	4.9	6.4	3.9	8.9
31	2	1	3	99	79	1580	500	3.9	5	3.9	4.9	3.1	5.8
22	1	1	3	97	85	1700	500	3.8	4.4	3.8	5.2	2.6	1.6
22	1	4	3	74	67	1340	500	3.8	4.5	3.8	4.8	2.2	1.3
30	2	1	3	96	78	1560	500	3.3	4.5	3.3	5	2.5	4.3
22	1	3	3	97	92	1840	500	3.3	3.8	3.3	4.6	2	1.1
21	1	2	3	65	44	880	500	3.1	3.6	3.1	3.8	0.9	1.3
30	2	2	3	96	69	1380	500	3	3.7	3	4.4	1.5	2.4
13	2	1	3	100	56	1140	500	3	3.2	3	3.8	0.9	1.3
21	1	1	3	95	52	1040	500	3	3.1	3	3.7	0.8	1.1
17	1	2	3	100	56	1120	500	2.9	3.4	2.9	3.8	1	1.4
22	1	5	3	56	45	920	500	2.9	4.4	2.9	3.7	1.4	0.6
24	1	1	3	81	78	1560	500	2.8	3	2.8	3.8	1.1	1.5
22	1	2	3	96	77	1560	500	2.8	3.8	2.8	3.8	1.7	0.8
27	2	3	3	49	40	860	500	2.7	4.5	2.7	4.2	1.3	1.7
27	2	2	3	97	87	1820	500	2.7	2.3	2.7	3.5	0.8	1
32	1	1	3	77	57	1160	500	2.6	3	2.6	3.2	0.8	1

A nivel de esta finca se observa que el crecimiento está afectado posiblemente por los factores fisiográficos, donde la parcela 9 presenta los mejores crecimientos en altura, comparado con la parcela 5.

Sin embargo los factores edáficos también evaluados en las parcelas 5 y 9 muestran diferencias químicas y físicas en ambas parcelas, comparadas con la altura promedio como se muestra en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Características fisicoquímicas de parcelas en el mismo sitio y edad de plantación

Edad años	No ppm	No árb/ha	Alt prom (m)	Prof (cm)	pH	CE	P	Cu	Zn	Fe	Mn	CIC	Ca	Mg	Na	K	SB	MO	Arcilla	Limo	Arena
6	9	926	11.9	0-20	5.4	420	7.59	0.1	2	2.5	13.5	63.53	9.23	1.81	0.11	0.59	18.49	12.78	13.19	21	65.81
				20-40	5.4	195	7.46	0.5	0.5	3.5	8.5	41.76	5.49	0.9	0.12	0.31	16.34	5.81	40.49	21	38.51
	5	926	7.8	0-20	5.7	505	7.32	0.1	1	2	10.5	80.59	11.98	3.91	0.22	0.28	20.33	19.38	6.89	16.8	76.31
				20-40	5.8	205	7.53	0.1	0.5	2	4	56.47	5.49	1.93	0.17	0.11	13.64	9.96	13.19	14.7	72.11

En el Cuadro 11 se observa que el crecimiento de la especie se da mejor a nivel de estas parcelas analizadas en suelos menos alcalinos, se observa también que al haber menores cantidades de Magnesio los crecimientos son mejores, la especie tolera las cantidades mayores de Zinc como lo obtenido por Tzirin (59) en su trabajo de investigación estimó que dicho elemento es esencial para el desarrollo de la especie.

El segundo caso se observa que al haber una densidad baja y las condiciones edáficas y fisiográficas sean óptimas, para la especie, esta desarrollará su potencial de crecimiento como se observa en los Cuadros 12 y 13.

Cuadro 12. Condiciones fisiográficas de parcelas en sitios distintos a una misma edad de plantación

No proy	No ppm	No árb/ha	Altura prom (m)	Exposición	Posición	Contorno	Pendiente (%)	Pedregosidad	Erosión	Prof. (cm)	Textura	Drenaje
5	2	680	11.6	Oeste	baja	plano	4	poco	nula	> 90	media	Bueno
18	2	1480	8.5	Sur	media	cóncavo	22	alta	severa	35-50	finá	Pobre

Cuadro 13. Condiciones fisicoquímicas de parcelas en sitios distintos a una misma edad de plantación

No proy	No ppm	No árb/ha	Alt prom (m)	Prof (cm)	pH	CE	P	Cu	Zn	Fe	Mn	CIC	Ca	Mg	Na	K	SB	MO	Arci	Limo	Arena
5	2	680	11.9	0-20	5.2	555	7.3	0.1	4	2.5	9.5	81.7	6.7	1.7	0.14	0.6	11.2	16.1	15.2	33.6	51.1
				20-40	5.4	250	7.4	0.1	2	2	4.5	77.6	4.2	0.5	0.14	0.4	6.8	14.8	11.0	29.4	59.5
18	2	1480	8.5	0-20	7.6	685	0.6	0.1	1.5	0.5	3.5	45.2	26.2	11.9	0.13	0.3	69.0	5.75	33.0	32.0	34.9
				20-40	7.5	460	1.3	0.1	9	1	18.5	37.6	17.2	8.3	0.13	0.4	30.7	18.0	35.1	24.4	40.4

Cont...

Cuadro 9. Variables cuantitativas evaluadas por parcela

No proyecto	No lote	No ppm	Edad (años)	Superv (%)	No árb vivos (parc)	No árb vivos (ha)	Área neta (m ²)	Altura prom (m)	DAP prom (cm)	Altura prom (m)	Altura domina (m)	Área basal (m ² /ha)	Vol (m ³ /ha)
6	1	1	1	100	63	1260	500	0.8	*	0.8	1.1	*	*
31	1	1	1	94	87	1740	500	0.7	*	0.7	1.3	*	*
5	6	2	1	62	58	1099	546	0.7	*	0.7	1.1	*	*
6	1	2	1	100	56	1120	500	0.7	*	0.7	1	*	*
5	6	1	1	91	105	1773	598	0.6	*	0.6	1.4	*	*
6	1	3	1	100	56	1120	500	0.6	*	0.6	0.9	*	*
5	6	3	1	67	55	926	594	0.3	*	0.3	0.6	*	*
14	1	1	1	95	53	1060	500	0.2	*	0.2	0.3	*	*
14	1	2	1	98	50	1000	500	0.2	*	0.2	0.3	*	*

Para el caso particular de las parcelas de los diferentes proyectos, anteriormente expuestos en el Cuadro 9, el número de árboles vivos por parcela es variado.

Es de esperarse que las diferentes variables cuantitativas que puede presentar un árbol en cierto sitio y hasta una edad determinada esté influenciada probablemente por la fisiografía, el suelo y el clima. Sin embargo la densidad del rodal es un factor que también afecta, el comportamiento de las variables analizadas.

El efecto de altas variaciones en la densidad, para un rodal de la misma edad, provoca cambios drásticos en el diámetro y el volumen, a mayor densidad menor diámetro como se observa el comportamiento de la parcela 2 del proyecto 19 que posee una densidad de 1720 árboles/ha y un DAP promedio de 11.8 cm., con respecto a la parcela 2 del proyecto 5 que posee una densidad baja de árboles con respecto a la parcela anterior de 680 árboles vivos por hectárea y un DAP promedio mayor comparado con la parcela anterior de 17.8 cm. Ambas parcelas, poseen una edad de plantación de 6 años como se muestra en el Cuadro 9.

Al haber una mayor densidad de árboles, existe mayor competitividad entre los mismos en cuanto al espacio de crecimiento, por lo tanto habrá mayor competencia en la obtención de agua, luz, espacio radicular y nutrientes creando un ambiente de estrés para las plantas.

Además puede observarse que la variación en la densidad provoca una variabilidad en la altura, que es una de las variables que se ve más influenciada por la densidad. Esto se ejemplifica en el Cuadro 9 al comparar el efecto que tiene la densidad con respecto a la altura de la parcela 2 del proyecto 8 con relación a la

* Plantaciones menores a 1.30 m de altura.

Dvorak et al (19) mencionan que los árboles crecen rápidamente si se utiliza la fuente apropiada de la semilla y si la selección y la preparación del sitio se han realizado correctamente. Así mismo reportan que la altura media de *Pinus maximinoi* a la edad de 3 años en Brasil, Colombia y Suráfrica eran de 5.2 m, 6.3 y 5.2 respectivamente. A la edad de 5 años la altura media de la misma especie fue de 9 a 10 m. Para el caso particular de la Zona de las Verapaces la altura promedio de la especie a la edad de 3 años es de 2.82 m, lo que indica un crecimiento relativamente bajo al comparar los valores del crecimiento que se reportan de la misma especie en otros países a esa misma edad (Brasil, Colombia y Suráfrica). Este retardo del crecimiento en las plantaciones a la edad de 3 años se debe probablemente al manejo no adecuado de las prácticas culturales (eliminación no constante de la maleza en los proyectos de reforestación).

Dvorak et al (19) mencionan que el control de la mala hierba es esencial durante los primeros años después de plantar.

Para la edad de 5 años las plantaciones evaluadas de los diferentes proyectos presentan una altura promedio de 8.26 m ubicándose en un rango aceptable de crecimiento con respecto al crecimiento en altura reportado en otros países (Brasil, Colombia y Venezuela).

En la Región de Las Verapaces no se cuenta con muchos estudios a nivel de plantación y con la misma edad de la especie acerca del comportamiento del crecimiento. Sin embargo Vaidez (61) determinó curvas parciales de índice de sitio* para *Pinus maximinoi* en plantaciones en el municipio de San Jerónimo, departamento de Baja Verapaz donde estableció que los mejores sitios a una edad de 9 años se encuentran con una altura dominante de 16 m, los sitios intermedios se ubican en alturas dominantes de 11.8 m y los sitios bajos se ubican en una altura dominante de 8.1 m.

Para el caso particular de los diferentes proyectos evaluados a una edad de 6 años, a nivel de parcelas se obtuvo alturas dominantes de 13.2 m en los mejores sitios, en los sitios regulares la altura dominante fue de 10.29 m y en los sitios malos la altura dominante fue de 8.2 m. En base a los diferentes datos presentados se establece que a pesar de poseer una edad menor la altura dominante de las plantaciones a una edad de 6 años se encuentran en los rangos aceptables de crecimiento en base a dicha característica.

* Indica el potencial que tiene un sitio para una especie, se basa en la altura dominante que hay en esa parcela o plantación

Una de las principales razones de realizar un raleo, radica en que a medida que el árbol crece, sus requerimientos nutricionales en suelo, agua y luz aumentan, esta disminución de árboles provoca una estimulación, a la planta para desarrollar mejor su crecimiento, debido a que habrá mayor disponibilidad tanto de nutrientes, como de espacio físico, mayor disponibilidad de agua y luz como se muestra en la parcela 2 con una edad de plantación de 6 años de la Cooperativa Chirrepec (proyecto 5).

Esto es posible siempre y cuando no exista competencia con otras especies, principalmente malezas, de allí la importancia de hacer limpiezas constantes a las plantaciones, principalmente en plantaciones jóvenes (1, 2 y 3 años) para estimular el crecimiento de la especie plantada.

En los sitios buenos, la especie que se manifieste como dominante desde temprano, tendrá mayores posibilidades de colonizar, por lo que es preciso impedir la dominancia de las malezas con más potencial y estimular la de los árboles (13).

El porcentaje de sobrevivencia en los proyectos donde no se han efectuado raleos el promedio es de 84.48%. Sin embargo este dato es relativamente alto según Dvorak et al (19) quienes citan a (Gapare et al 2000) en donde mencionan que en plantaciones de la misma especie con 8 años de edad la sobrevivencia era de aproximadamente del 70% en el Brasil, 86% en Colombia y 68% en Suráfrica, la mayoría de la mortalidad ocurrió en los primeros meses después de plantar, los árboles fueron plantados en el mes lluvioso de diciembre, pero en el mes siguiente se produjo una sequía la cual se extendió por varios meses.

Otro factor que esté influyendo posiblemente con la variabilidad de los datos es la fisiografía y el suelo. Esto se visualiza desde dos puntos de vista:

El primer caso se presenta en al finca Chirrepec (proyecto 5) donde las parcelas (5 y 9) con una edad de 6 años de plantación presentan una densidad de 926 árboles/ha. Sin embargo se observa en el Cuadro 10 que los crecimientos son distintos, especialmente en la altura promedio, debido a que las condiciones fisiográficas son distintas.

Cuadro 10. Condiciones fisiográficas de parcelas en el mismo sitio y edad de plantación

No ppm	No árb/ha	Altura prom (m)	Exposición	Posición	Contorno	Pendiente (%)	Pedregosidad	Erosión	Prof (cm)	Textura	Drenaje
9	926	11.9	Oeste	Media	convexo	43	poco	moderada	> 90	Fina	Pobre
5	926	7.8	Noreste	Alta	convexo	29	poco	moderada	> 90	media	Bueno

mencionan que no se aplica regularmente fertilizante a las plantaciones, en la época de plantación.

En forma general Zobel (65), establece que todas las diferencias entre los árboles son el resultado de tres factores: los diferentes ambientes en los cuales crecen, las diferencias genéticas entre los árboles, y las interacciones existentes entre el genotipo de los árboles y los ambientes en los cuales estos crecen.

B. Variables cualitativas

De acuerdo al sistema Mira Silv, las principales variables cualitativas evaluadas se presentan a nivel de promedio por proyecto o edad de plantación en el Cuadro 15.

En el Cuadro 15 se observa que existe cierta homogeneidad en cuanto al comportamiento de las distintas variables en las diferentes edades de las plantaciones.

En el caso particular de la cola de zorro se hace más evidente en plantaciones con edades mayores a los 3 años, la cual se manifiesta con mayor frecuencia en plantaciones de 5 años de edad en muchos proyectos. Esta anomalía en el desarrollo del fuste tiende a deformarlo con tendencia al elongamiento, distanciando entre sí anormalmente los entrenudos, lo cual repercute hasta cierto punto a que el fuste alcance una altura considerable, provocando a que exista poco crecimiento en diámetro, haciéndolos susceptibles a quebrarse por los fuertes vientos, lo que provoca que el rendimiento de las plantaciones sea afectado.

Es importante mencionar que existen fincas que presentaron mayor incidencia de cola de zorro, en relación a las demás como por ejemplo la finca Río Frío (proyecto 20) ubicado en Tactic, Alta Verapaz el cual presenta un 21% de ejes afectados en relación al total de ejes evaluados, así como la finca Chapultepeq (proyecto 1) con un 28%, ambas con una edad de plantación de 5 años.

Algunos autores mencionan que la cola de zorro se debe a causa de los factores genéticos del árbol, mientras que otros establecen que el ambiente también influye.

Según Dvorak et al (19) la cola de zorro se propaga fácilmente cerca del ecuador. Así mismo Dvorak et al (19) cita a Wright et al (1993) donde mencionan que se han establecido algunos cientos de hectáreas de *Pinus maximinoi* sobre todo en las montañas de Colombia, sin embargo las plantaciones de esta especie disminuyeron debido a la alta incidencia de cola de zorro en la edad de 3 años, lo cual desalienta a muchos silvicultores de plantar la especie otra vez.



La parcela 2 del proyecto 5 como se observa en el Cuadro 12 posee una altura promedio superior a la parcela 18 ésta se encuentra ubicada en una exposición Oeste, en la parte baja de la pendiente, el contorno de la misma es plana, presentando dicho sitio un porcentaje de pendiente del 4%, la pedregosidad es poca en el área de la parcela, sin ninguna evidencia de erosión, los suelos son mayores de 90 cm la textura del mismo es media (franco arenosa) y el drenaje es bueno. Obviamente las características físicas y químicas de dicho suelo son óptimas, debido a la concentración de los nutrientes a causa de la erosión de las partes altas y medias de la región, llegando a evidenciarse en el porcentaje de materia orgánica del suelo que es de 16.1% en los primeros 20 cm de profundidad como se muestra en el Cuadro 13.

Sin embargo la parcela 2 del proyecto 18 a pesar de poseer la misma edad de plantación (6 años), las variables de crecimiento que se muestran en el Cuadro 9 conjuntamente con las variables edáficas y fisiográficas que se muestran en los Cuadros 12 y 13, son contrastantes con respecto a la anterior parcela evaluada. Esta parcela se ubica en una exposición Sur, la posición de la pendiente es media, el contorno de la misma es cóncavo, el porcentaje de la pendiente es de 22%, existe mayor concentración de piedras en el área ($> 30\%$), el tipo de erosión que se evidenció es severa, la profundidad del suelo oscila entre 35 a 50 cm. La textura del suelo es fina (franco arcillosa) mientras que el drenaje es pobre dentro del sitio. Existe una lixiviación de nutrientes en el suelo a causa de la erosión, evidenciándose en el bajo porcentaje de materia orgánica que es de 8.94% en los primeros 20 cm (Cuadro 13).

En la parcela con mayor crecimiento se presenta una profundidad de suelo mayor a los 90cm. Tzirin (59) en su trabajo de investigación observó que dicha característica es un factor que influye en el Índice de Sitio de *Pinus maximinoi* en la finca Saquichaj, ubicada en Cobán, Alta Verapaz.

Según Tamhane et al (1979) citado por Arteaga et al (4), establece que suelos desarrollados bajo el mismo clima y material generados, pero en pendiente pronunciada tienen horizontes A y B más delgados que aquellas con una menor pendiente como se observa en la parcela 2 del proyecto 18, la cual posee un porcentaje de pendiente de 22% y una profundidad de 35 a 50 cm, comparado con la parcela 2 del proyecto 5 que posee una menor pendiente y suelos más profundos.

Para Salas (51) el relieve y la pendiente son dos características fisiográficas tomados a menudo como parámetros fisiográficos para calificar sitios. Estos factores determinan en gran medida, la susceptibilidad del suelo a la erosión, el movimiento de agua superficial y subsuperficial y por lo tanto, la disponibilidad de este elemento para las plantas y los nutrimentos contenidos en ella.

primera variable al aumentar la edad de plantación. En cuanto a la inclinación de los árboles esta características tiende a disminuir al aumentar el número de años, posiblemente se debe dicha reducción a los raleos en que han sido sometidos algunos proyectos evaluados con edades de 5 y 6 años.

Así mismo en el Cuadro 15 se presenta el porcentaje de individuos con incidencia de plagas en los diferentes proyectos de reforestación, que por lo regular atacan a plantaciones adultas, como se puede observar, entre las plagas de mayor importancia económica se encuentra la roya agalladora del pino (*Cronartium* sp), evidenciándose con mayor frecuencia en los proyectos de Edgar Cuéllar y Ram Tzul, ambos ubicados en el departamento de Baja Verapaz. En algunos de los proyectos se hace un control y erradicación de las plagas por personal de campo.

Ainsworth (1971) citado por Calderón et al (11) el género *Cronatium* sp se caracteriza por poseer un estado aecial, en el cual los estróbilos se ven afectados, no presentan mayores daños a no ser que ataque a árboles en los primeros estados de desarrollo donde puede ser un problema, por la rapidez con la que se disemina y por la severidad de su ataque. Las principales especies que se reportan en Guatemala son: *C. quercum* y *C. conigenum*.

Hansen y Lewis (1997), citados por Calderón et al (11), recomiendan evitar la siembra de pinos susceptibles cerca de áreas con nogales o en áreas con historial de presencia de ésta enfermedad.

Así mismo se observó en algunos proyectos el daño económico que provoca la taltuza (*Orthogeomys* sp.) a las plantaciones, lo cual se le puede considerar como plaga, debido a que con los túneles subterráneos que realiza para poder movilizarse afecta el sistema radicular de la planta y disminuye la cantidad de suelo a la raíz. Este fenómeno se observó con mayor frecuencia en plantaciones jóvenes de 1 y 2 años, principalmente dentro de la Cooperativa Chirrepec (proyecto 5) ubicado en Cobán Alta Verapaz.

Hilje et al (28) mencionan que las taltuzas son animales subterráneos, prefieren vivir en suelos desprovistos de roca, de textura arenosa, profundos y con buen drenaje, son polípagos y se alimentan de tubérculos, raíces suculentas, tallos tiernos, follaje y frutos cercanos al suelo. El mayor daño a nivel forestal se expresa en el consumo de plántulas y en la destrucción de las raíces de los árboles jóvenes.

El gorgojo del pino (*Dendroctonus* sp), se identificó en algunos puntos también dentro de la Cooperativa Chirrepec, en una fase I, II y III, actualmente están en tratamientos dichos focos de infección por personal de campo de la misma Cooperativa.

Para hacer un mejor análisis de la información se procedió a agrupar las diferentes parcelas de los proyectos evaluados por edad de plantación, estimando los valores mínimos, medio y máximos de las distintas variables evaluadas como se muestra en el Cuadro 14.

Cuadro 14. Rangos dasométricos de las plantaciones por edad

Edad (años)	Área neta (m ²)			Árboles vivos por hectárea			DAP prom (cm)			Altura prom (m)			Altura dominante (m)			Área Basal (m ² /ha)			Volumen (m ³ /ha)		
	mín	prom	máx	mín	prom	máx	mín	prom	máx	mín	prom	máx	mín	prom	máx	mín	prom	máx	mín	prom	máx
6	500	539.44	594	640	1115	1720	8.1	11.71	17.8	6.9	8.61	11.9	8.2	10.29	13.2	5.7	11.93	18.8	19.45	48.55	92.75
5	500	526.51	594	690	1123	2180	6	11.36	14.4	4	8.26	10.7	4.9	9.85	13.8	2.7	11.72	24.5	4.9	46.56	103.6
4	500	500.42	500	480	1033	1320	2.2	6.03	10.3	1.4	4.49	6.9	1.9	5.33	8.2	0.2	3.16	7.5	0.2	7.6	23.6
3	500	507.96	621	340	1215	1840	*	4.02	8.1	1.1	3.08	5.8	1.7	4.13	8	*	1.8	5.7	*	2.98	15.4
2	500	520.21	596	600	1103	1800	*	2.04	3.5	0.4	1.24	2.5	0.9	1.94	3.5	*	0.44	1.5	*	0.35	1.3
1	500	526.44	598	926	1233	1773	*	*	*	0.7	0.69	1.2	0.3	1.17	1.9	*	*	*	*	*	*

En el Cuadro 14 se observa que existe variabilidad en el comportamiento de los valores mínimos y máximos de las diferentes variables cualitativas obtenidas de las distintas parcelas agrupadas por edad de plantación. Especialmente en los valores máximos que presenta la altura dominante, área basal y volumen en los proyectos de 5 años los cuales son mayores en relación a los valores máximos de dichas variables en los proyectos de 6 años.

Este fenómeno se debe posiblemente a la variación del área neta de las parcelas y el número de árboles por hectárea, lo cual causa irregularidad en algunas variables que se presentan en el Cuadro 14. Sin embargo a nivel de promedio por edad de plantación, se observa un claro aumento de las variables evaluadas, al aumentar la edad de plantación.

Es de esperarse que el diámetro y la altura aumentan conforme aumenta el número de años del rodal. Sin embargo el comportamiento irregular que presentan las variables cuantitativas a nivel de parcelas individuales probablemente se establece en función de la productividad o la calidad del sitio de un área específica como lo mencionan Daniel et al (17) lo cual depende de diversos factores biológicos (que incluye la especie, el genotipo, la densidad y las enfermedades) y factores físicos (que incluyen las características físicas y químicas del suelo y la topografía del terreno); sin embargo, la productividad real de un sitio se puede modificar mediante tratamientos, los cuales pueden disminuirla, como el caso de la erosión, o aumentarla mediante la modificación favorable de cualquiera de los factores biológicos ó físicos. Dvorak et al (19),

* Plantaciones menores a 1.30 m de altura

árboles dominantes, se observa un bajo porcentaje de árboles suprimidos debido a los raleos que se efectúan en algunas plantaciones como se muestra en el Cuadro 15.

Este fenómeno indica que la dominancia para estos proyectos es mejor y los raleos que se puedan realizar deben de estar en función de los árboles codominantes. Esta actividad debe de estar enfocada no en la edad de la especie, sino en base al potencial de crecimiento que presenta la especie en las diferentes condiciones de sitio de la región donde se han establecido, un indicador para realizar dicha actividad es el entrecruzamiento de ramas. Al no realizar dicho manejo, o realizarlo en forma no adecuada genera árboles altos, delgados y un follaje escaso, como se pudo observar a nivel de campo en la Finca Santa Cristina (proyecto 8) ubicado en Cobán Alta Verapaz.

Según, Morataya y Galloway (1998), citados por Ávila (5), en su estudio en especies de *Tectona grandis* L.F. y *Gmelina arborea* Roxb, mediante un análisis de las variaciones entre albura y biomasa del follaje en árboles, evaluando la Teoría Modelo Vascular (TMV), encontraron que se debe de favorecer el desarrollo de las copas de los árboles (aumento de la biomasa del follaje) desde los primeros años sin permitir una recesión prematura de copas, si se desea producir madera para aserrío.

Spurr y Barnes (57) mencionan que la competencia por luz, agua y nutrientes depende en gran medida de la densidad y al expresarse los factores genéticos de la especie resulta el desarrollo superior de las coronas de algunos árboles que se constituyen dominantes, mientras que los demás desarrollan coronas que se clasifican en codominantes, intermedios y suprimidos.

Es de esperarse que en una plantación con un manejo silvicultural adecuado presente cierta homogeneidad en el crecimiento, así también las características propias de cada árbol que conforma el rodal sean las más adecuadas como por ejemplo ejes rectos y sin defectos de forma, con la finalidad de hacer un mejor aprovechamiento de la troza al final del turno de corta, siempre y cuando se establezcan los objetivos de la plantación.

En los diferentes proyectos que se establecen en el Cuadro 15, los ejes rectos y sin defectos de forma presentan un porcentaje significativo, con la salvedad de que algunos árboles presentan cola de zorro y en algunos otros se consideró ejes rectos y sin defectos de forma aquellos que presentaban alguna torcedura basal que no representa ningún problema a la hora del aprovechamiento de la troza.

A nivel general se debe de eliminar los árboles que presentan características indeseables, dejando solamente aquellos árboles que tengan un mejor desarrollo del crecimiento, especialmente árboles rectos y sin defectos de forma, que es lo que se

Urrego y Lambeth (1988) citados por Dvorak et al (19) mencionan que la incidencia de cola de zorro disminuye al aumentar la elevación y dependiendo de la latitud del sitio donde se planta.

Cuadro 15. Frecuencia general de códigos para forma y defectos de ejes (fuste) por edad

CÓDIGOS DE FORMA Y DEFECTOS DE EJES		EDAD (años)					
No	Código	6	5	4	3	2	1
		Porcentaje de las plantaciones*					
1	Cola de zorro	6	17.85	4.53	3.04	0	0
2	Poco sinuoso	35.35	22.98	24.13	25.87	23.84	8.29
3	Muy sinuoso	8.88	8.23	7.82	10.5	10.25	2.13
4	Torcedura basal	35.45	23.99	24.34	31.86	21.38	9.49
5	Bifurcado	5.5	6.33	4.58	3.14	3.5	6.09
6	Inclinado	6.17	6.34	9.92	20.42	14.27	16.15
7	Enfermo	3.22	3.04	1.96	6.72	1.94	1.25
8	Con plagas	6.85	7.45	2.74	2.23	0	1.15
B	Tallo quebrado sin recuperación	3.07	5.53	1.78	5.4	3.51	0
C	Sin copa	3.01	6.41	2.41	0	3.33	3.33
D	Replantación	0	0	0	5.17	39.21	50.59
I	Dominante	61.66	54.58	58.31	47.97	42.48	46.14
J	Codominante	30.85	27.65	34.33	39.89	35.28	41.1
K	Suprimido	5.48	7.33	6.51	12.66	16.18	5.15
L	Ejes rectos y defectos de forma	52.33	52.06	53.16	38.74	54.15	70.25
Promedio de árboles vivos por proyecto (edad)**		59	58	49	61	57	65

En cuanto a la sinuosidad y bifurcación de los árboles son fenómenos atribuidos a factores genéticos (calidad de las semillas), que afectan la calidad de la madera al momento del aprovechamiento de la misma para aserrío, se observa con mayor frecuencia en árboles de mayor edad.

Dvorak et al (19) mencionan que la mayoría de plantaciones de *Pinus maximinoi* utilizan semillas no mejoradas, lo que afecta la calidad de las mismas debido a que existe una enorme variabilidad en el crecimiento del árbol y la forma del fuste, a nivel de campo se pudo observar dichas características en algunos proyectos evaluados.

Para Zobel (65), las características de la forma y calidad en los árboles forestales tienden a ser ampliamente heredables y menos afectadas por el ambiente que las características de crecimiento.

La torcedura basal e inclinación del árbol tienen relación con los fenómenos atmosféricos, principalmente los fuertes vientos, evidenciándose en un aumento de la

* En relación al número total de códigos para los ejes evaluados

** El porcentaje se evaluó en base al promedio de las plantaciones por edad

Cuadro 17. Calidad de las plantaciones en base a plagas y defectos del fuste por edad

Variables clasificatorias		Edad proyectos (años)											
		6		5		4		3		2		1	
Clasificación	Código (%)	Plagas	Defectos del fuste	Plagas	Defectos del fuste	Plagas	Defectos del fuste	Plagas	Defectos del fuste	Plagas	Defectos del fuste	Plagas	Defectos del fuste
Excelente	0 - 16					9.23		11.99		7.07		2.5	
Muy bueno	16 - 33	16.07		28.34									
Bueno	33 - 50												45.48
Regular	50 - 66												
Malo	66 - 83				79.81		74.98				80.08		
Muy malo	83 - 100		97.43						97.19				

Como puede observarse en el Cuadro 17 la incidencia de plagas no es un factor que influyan en la calidad de las plantaciones, ya que solamente un 12.53% de todos los proyectos evaluados presentan dicha característica los cuales se sitúan en plantaciones de excelente calidad. En cuanto a los defectos del fuste son muy variados los resultados en cada proyecto, afectando significativamente la calidad, las causas posibles se debe a factores de calidad de la semilla (factores genéticos), así como también a factores ambientales. En proyectos de 6 y 3 años de edad la calidad de las plantaciones es mala, en base a los defectos del fuste.

Con relación a los resultados obtenidos es de esperarse que la calidad de las plantaciones provenientes de semillas certificadas o mejoradas sean excelente. Sin embargo Zobel (65) menciona que el hecho de que las plantaciones provengan de semilla mejorada, no garantiza la calidad de la plantación, sino se reducen los factores limitantes del ambiente a través del manejo forestal y de silvicultura. Así mismo menciona que es completamente irreal la idea de que los árboles mejorados pueden plantarse en sitios marginales de crecimiento y aún así crecer bastante bien. Al carecer de actividades silvícolas la plantación de semilla mejorada por lo general es de valor marginal, por lo que debe de existir un nexo entre ambos para obtener las máximas ganancias.

b. Sanidad de las plantaciones

En el Cuadro 18 se observa en forma resumida por medio del programa Mira Silv los promedios obtenidos de las frecuencias y porcentajes de las diferentes parcelas agrupadas por proyecto o edad de plantación (años).

Se establece en el Cuadro 18 que a nivel general los diferentes proyectos de reforestación presentan árboles vigorosos. Los problemas que afectan las plantaciones de 6 y 5 años en el eje principal es el ataque de ardillas (*Sciurus sp*), éstas se comen la corteza de los árboles creando cierta susceptibilidad a plagas y enfermedades, dicha

Según Hilje et al (28) mencionan que éstos insectos colonizan árboles vivos, generalmente debilitados por factores edáficos, fisiográficos etc.; su efecto es muy dañino, pues obstruyen el paso del agua y los nutrimentos en el liber.

Una de las ventajas que presentan los sitios evaluados, es que la especie es nativa del área, por lo que el daño causado por plagas y enfermedades es relativamente bajo, ello no implica que no se debe monitorear constantemente las plantaciones.

En cuanto a las enfermedades de los árboles, ésta se evidenció en el campo por el amarillamiento de la copa (acículas).

La calidad del sitio en que se instale un proyecto forestal, está estrechamente relacionada con la prevención del ataque de plagas y enfermedades, pues un sitio empobrecido producirá árboles débiles, propenso a dicho ataque (13).

Los tallos quebrados sin recuperación o árboles sin copa que se muestran en el Cuadro 15, se deben al efecto del viento que provoca que el fuste se quiebre principalmente en árboles que presentan cola de zorro, este fenómeno se da principalmente en plantaciones adultas. Así mismo se evidencia dicho comportamiento en plantaciones jóvenes (1 y 2 años), probablemente se debe al manejo cultural no adecuado que se realiza a la hora de eliminar la maleza en las plantaciones provocando serios daños a las plántulas.

Aunque la replantación como se muestra en el Cuadro 15 se evidencia principalmente en proyectos de 1, 2 y 3 años, ésta no se desarrolla al 100% en algunos proyectos evaluados, esto debido por el costo económico que representa para los beneficiarios, sin embargo se debe de contemplar un cierto porcentaje de plántulas para la replantación e identificar los sitios más afectados dentro de los proyectos. Se observó a nivel de campo que el proceso de replantación en algunos casos se realiza, para cumplir solamente con el mínimo de prendimiento exigido por el -PINFOR-.

En términos de manejo forestal la posición sociológica o estratificación de un rodal en un cierto sitio, es un factor muy importante de evaluar. Es de esperarse que los árboles dominantes sean mejores por poseer un mejor crecimiento en altura, que los codominantes como se ejemplifica en el Cuadro 15, sin embargo también los árboles codominantes pueden ser mejores que los dominantes a pesar que el crecimiento en altura sea menor. Esta diferencia radica en el porcentaje que puedan tener ambos y la posición espacial de los mismos en un cierto sitio, para las plantaciones de 6 años el 61.66% de árboles evaluados son dominantes, mientras que los árboles codominantes son pocos y están por debajo de la mitad del porcentaje de

7.1.2. VARIABLES DE CRECIMIENTO

Este componente está referido a los Incrementos Medios Anuales en diámetro, altura y volumen de las plantaciones forestales evaluadas que se muestran en el Cuadro 20, los datos se obtuvieron a través de los "Promedios de crecimiento por parcelas" del Mira Silv versión 2.9 se detalla en forma resumida los diferentes valores obtenidos a través de dicho programa identificando cada uno de ellos por el número de proyecto, número de lotes, edad de plantación y número de parcela.

Como se puede observar en el Cuadro 20 existe variabilidad en cuanto a los diferentes incrementos entre parcelas de la misma edad y de edades distintas. Esto se puede ejemplificar con respecto a los incrementos en diámetro, altura y volumen que presenta la parcela 3 del proyecto 20 los cuales son mayores en relación a los valores de la parcela 4 del proyecto 5, a pesar de que este último proyecto posee una edad de 6 años, mientras que el proyecto 20, la edad de plantación es de 5 años.

Para Klepac (35) el factor individual más importante en el incremento en altura es el genético, puesto que bajo las mismas condiciones algunos árboles exhiben un incremento hasta de dos y tres veces mayor que otros, así mismo menciona que entre los factores externos, la calidad del suelo, influye en este comportamiento.

Cuadro 20. Incrementos Medios Anuales en diámetro, altura y volumen por parcela

No proyecto	No lote	No de parcela	Edad (años)	Área neta (m ²)	Supervi- vencia (%)	No árb vivos (parc)	No árb vivos (ha)	IMA Altura total (m)	IMA Diámetro DAP (cm)	IMA Volumen m ³ /ha
5	1	9	6	594	63	55	926	1.9	2.5	15.5
5	1	2	6	500	45	34	680	1.9	2.9	14.9
18	3	1	6	500	87	84	1680	1.7	2	14.6
19	2	3	6	500	84	77	1540	1.4	2	12
18	3	2	6	500	82	74	1480	1.4	1.8	9.2
5	1	7	6	594	50	50	842	1.4	2.3	8.7
5	1	8	6	594	45	38	640	1.4	2	5.1
5	1	6	6	594	72	79	1330	1.3	1.7	6.7
19	2	1	6	500	65	53	1060	1.3	1.7	5.7
5	1	10	6	500	62	53	1060	1.3	1.7	5.4
5	1	3	6	500	74	45	900	1.3	1.7	4.7
5	1	1	6	500	71	69	1380	1.3	1.3	4.4
5	1	5	6	594	51	55	926	1.3	1.7	5
19	2	2	6	500	82	86	1720	1.2	1.9	10.5
5	1	11	6	567	45	38	670	1.2	1.7	3.2
5	1	4	6	594	63	59	1010	1.1	1.6	4.3
1	1	8	5	500	82	46	920	2.2	3	15.3
5	2	3	5	594	61	49	825	2.1	2.8	13
1	1	4	5	500	83	55	1120	2.1	2.7	15.5

percibe siempre en una plantación con fines de aprovechamiento de madera para aserrío.

Según Zannotti y Galloway (64), en las plantaciones forestales, muchos árboles presentan defectos graves como: ejes dobles (bifurcados), ejes múltiples, eje principal con elongaciones escapadas (cola de zorro), ejes torcidos, plagas, enfermedades y árboles suprimidos. Es importante reducir éstos árboles para los de buena calidad, puedan desarrollarse en mejores condiciones y obtener una mejor producción de madera para aserrío.

a. Determinación de la calidad de las plantaciones en base a los códigos de forma y defectos del fuste

Luego de la obtención de los porcentajes de los códigos de forma y defectos del fuste por proyectos, estos datos no establecen básicamente la calidad de las plantaciones, para ello los diferentes códigos presentados en el Cuadro 15 se dividieron en cuatro variables clasificatorias como se estableció en la metodología y se muestran resumidamente en los Cuadros 16 y 17.

Cuadro 16. Calidad de las plantaciones en base a la posición sociológica y ejes rectos por edad

Variables clasificatorias		Edad de los proyectos (años)											
		6		5		4		3		2		1	
Clasificación	Código (%)	Domi-nancia	Ejes rectos	Domi-nancia	Ejes rectos	Domi-nancia	Ejes rectos	Domi-nancia	Ejes rectos	Domi-nancia	Ejes rectos	Domi-nancia	Ejes rectos
Excelente	83 - 100												
Muy bueno	66 - 83												70.25
Bueno	50 - 66	61.66	52.33	54.58	52.06	58.31	53.16				54.15		
Regular	33 - 50							47.97	38.74	42.48		46.16	
Malo	16 - 33												
Muy malo	0 - 16												

En el Cuadro 16 se observa en forma general los rangos de porcentajes de las variables evaluadas con respecto a la edad de las plantaciones y sus respectivas variables clasificatorias. A nivel general el 51.86% de los proyectos presentan un rango de dominancia bueno, los ejes rectos representan un porcentaje de 53.44% lo que lo sitúa en un rango bueno.

En el Cuadro 17 se muestra en forma resumida las dos variables clasificatorias en base a la incidencia de plagas y defectos del fuste analizadas en los proyectos por edad de plantación.

Cont...

Cuadro 20. Incrementos Medios Anuales en diámetro, altura y volumen por parcela

No proyecto	No lote	No de parcela	Edad (años)	Área neta (m ²)	Supervi- vencia (%)	No árb vivos (parc)	No árb vivos (ha)	IMAAAltura total (m)	IMA Diámetro DAP (cm)	IMA Volumen m ³ /ha
3	2	1	4	500	87	48	960	1.4	1.9	2.7
18	2	2	4	500	75	52	1060	1.3	1.6	2.1
3	2	6	4	500	96	46	920	1.2	1.6	1.7
25	1	1	4	500	95	54	1080	1.1	1.4	1.5
4	2	4	4	500	55	35	700	1.1	1.7	1.4
3	2	2	4	500	96	54	1080	1.1	1.3	1.2
18	2	1	4	500	75	62	1260	1.1	1.2	1.1
23	1	1	4	500	36	23	480	1.1	1.8	1.1
11	1	1	4	500	82	45	940	1	1.4	1.4
5	3	1	4	500	56	44	920	1	1.4	1.3
11	1	2	4	500	81	44	900	1	1.4	1.3
5	3	2	4	510	82	50	1000	0.9	1.4	1.2
4	2	5	4	500	72	56	1140	0.9	1.1	0.9
3	2	8	4	500	96	54	1080	0.9	0.9	0.6
3	2	7	4	500	96	50	1000	0.8	1.1	0.6
16	2	1	4	500	75	47	960	0.6	0.6	0.2
5	4	2	3	594	71	66	1111	1.9	2.6	5.2
15	1	2	3	500	88	49	1000	1.7	2.7	3.8
15	1	1	3	500	95	53	1060	1.7	2.2	3
5	4	1	3	621	63	69	1127	1.6	2.2	3
31	2	1	3	500	99	79	1580	1.3	1.7	2
22	1	1	3	500	97	85	1700	1.3	1.5	1.6
22	1	4	3	500	74	67	1340	1.2	1.5	1.3
30	2	1	3	500	96	78	1560	1.1	1.5	1.4
22	1	3	3	500	97	92	1840	1.1	1.2	1.1
22	1	5	3	500	56	45	920	1	1.5	0.6
13	2	1	3	500	100	56	1140	1	1.1	0.5
17	1	2	3	500	100	56	1120	1	1.1	0.5
21	1	2	3	500	65	44	880	1	1.2	0.4
21	1	1	3	500	95	52	1040	1	1	0.4
22	1	2	3	500	96	77	1560	0.9	1.2	0.8
30	2	2	3	500	96	69	1380	0.9	1.2	0.8
27	2	3	3	500	49	40	860	0.9	1.5	0.6
24	1	1	3	500	81	78	1560	0.9	1	0.5
27	2	2	3	500	97	87	1820	0.9	0.8	0.4
32	1	1	3	500	77	57	1160	0.9	1	0.4
27	2	1	3	500	85	78	1560	0.8	0.8	0.3
32	1	2	3	500	95	75	1500	0.8	0.8	0.2
27	2	5	3	500	66	47	980	0.7	0.9	0.2
13	2	2	3	500	95	54	1080	0.6	0.6	0.1
27	2	6	3	500	80	44	880	0.5	0.9	0.2
17	1	1	3	500	89	50	1020	0.5	0.5	0.1

característica se observó principalmente en el proyecto 5 (Cooperativa Chirrepec). Se evidenció así mismo en dicho proyecto la muerte natural mayormente en plantaciones de un año, por la copa muerta de las plántulas (acículas amarillentas). Se debe de identificar las áreas donde no se ha realizado replantación y eliminar los árboles muertos en las plantaciones, para aumentar el espacio a los árboles vivos y que éstos puedan competir libremente.

Cuadro 18. Frecuencias de códigos para sanidad del fuste por edad

CÓDIGO	EDAD (AÑOS)											
	6		5		4		3		2		1	
	FRECUENCIAS Y PORCENTAJES(P)*											
	F	P**	F	P**	F	P**	F	P**	F	P**	F	P**
A = Vigoroso	58	63.81	58	74.23	50	83.10	60	82.68	57	84.27	57	81.32
B = Muerto en pie												
C = Muerto caído												
D = Afectado en eje principal	4	3.88	7	7.5								
E = Afectado en ramas superiores												
F = Afectado en ejes y ramas												
G = Menos que un tercio de copa muerta	2	2.02									25	26.02
H = De 1 a 2 tercios de copa muerta												
I = Más de 2 tercios de copa muerta												

Para tener una mejor visión en cuanto a la determinación de la sanidad de los fustes en los diferentes proyectos de reforestación en los proyectos evaluados se presenta en el Cuadro 19 el resumen por edad de plantación, asignándoles una variable clasificatoria y un valor específico como se estableció en la metodología.

Cuadro 19. Determinación de la sanidad del fuste por edad

Valor (%)	Variable clasificatoria	Proyectos (años)					
		6	5	4	3	2	1
66 - 100	Muy vigoroso (muy bueno)		x	x	x	x	x
33 - 66	Vigoroso (bueno)	x					
0 - 33	Poco Vigoroso (malo)						

En el Cuadro 19 se estima que todos los proyectos presentan un rango de vigorosidad muy bueno, a excepción de los de 6 años los cuales presentan un rango de vigorosidad bueno o aceptable.

Zannotti y Galloway (64), menciona que un árbol vigoroso, en general tiene mayor capacidad de resistir a plagas y enfermedades.

* Porcentaje en relación al número total de árboles originales
 ** En relación al número total de códigos para los ejes evaluados

En el Cuadro 20 se observa que la mayor parte de parcelas evaluadas en los diferentes proyectos de 5 años presentan mejores IMAs en altura, diámetro y volumen comparadas con los IMAs de las parcelas de 6 años.

El comportamiento que presenta el incremento en diámetro se debe a los mismos factores que afectan a la altura según Klepac (35), así mismo menciona que éste incremento depende también de la cantidad de reservas materiales acumuladas por el árbol durante el año.

El Incremento Medio Anual en diámetro (DAP) para plantaciones de 6 años en este estudio es de aproximadamente 1.90 cm/año en sitios intermedios, mientras que en sitios buenos los incrementos son de 2.9 cm/año y en sitios malos oscilan en 1.3 cm/año lo que representa datos relativamente altos comparados con el estudio realizado por Vaidez (61), donde reporta para *Pinus maximinoi* a nivel de plantación a una edad de 9 años en San Jerónimo Baja Verapaz, un IMA en DAP de 1.5 a 1.6 cm/año, para los dos mejores sitios.

El crecimiento e incremento en diámetro depende más del medio ambiente que la altura. Dentro de ciertos límites el incremento en diámetro es mayor cuando hay más espacio, como se puede ejemplificar con la parcela 2 del proyecto 5 con un número reducido de árboles por hectárea de 680 el cual posee un IMA en diámetro de 2.9 cm, comparado con la parcela 1 del mismo proyecto el cual posee un número superior de árboles con relación a la parcela anterior de 1380 y un IMA en diámetro inferior a la anterior parcela de 1.3 cm, ambas con la misma edad de plantación de 6 años. El diámetro es el doble en base a la última parcela, esto debido probablemente a que el número de árboles vivos por parcela es mucho menor, lo que explica de mejor manera que existe mayor disponibilidad de nutrientes, espacio radicular, agua y luz para el crecimiento adecuado de la especie.

Puede observarse también en el Cuadro 20 los datos en el comportamiento que tienen los diferentes Incrementos Medios Anuales, en plantaciones jóvenes (1 y 2 años), los cuales son relativamente bajos, en la mayoría de las parcelas no se evaluaron los incrementos en diámetro y volumen, esto se debe a que las plantaciones son muy pequeñas para medir las variables (DAP). Este fenómeno se debe en un principio al proceso de adaptabilidad que experimenta la planta en un sitio determinado.

Posteriormente se da un aumento significativo de los diferentes incrementos, con forme aumenta el crecimiento de la especie hasta alcanzar una fase alta de desarrollo, como se muestra en el Cuadro 20.

Cont...

Cuadro 20. Incrementos Medios Anuales en diámetro, altura y volumen por parcela

No proyecto	No lote	No de parcela	Edad (años)	Área neta (m ²)	Supervi- vencia (%)	No árb vivos (parc)	No árb vivos (ha)	IMAA altura total (m)	IMA Diámetro DAP (cm)	IMA Volumen m ³ /ha
7	1	2	5	500	89	71	1420	2.1	2.6	16
20	1	1	5	500	86	68	1360	2	2.9	20.2
20	2	3	5	500	96	85	1720	1.9	2.7	21.1
20	1	3	5	500	91	73	1460	1.9	2.7	18.2
20	1	2	5	500	78	72	1460	1.9	2.4	15.2
1	1	6	5	500	79	44	880	1.9	2.5	8.4
20	2	2	5	500	91	73	1480	1.8	2.7	17.6
8	1	2	5	500	89	109	2180	1.8	2.1	15.2
25	2	1	5	500	100	56	1120	1.8	2.7	12.9
5	2	1	5	594	62	47	791	1.8	2.6	9.2
7	1	1	5	500	69	50	1000	1.8	2.3	8
20	2	6	5	500	86	62	1240	1.7	2.6	12.7
20	2	4	5	500	89	67	1340	1.7	2.4	12.2
20	2	5	5	500	76	68	1360	1.7	2.3	11.4
1	1	3	5	500	85	44	880	1.7	2.5	8.2
1	1	5	5	500	88	45	900	1.7	2.4	8.1
5	2	2	5	594	55	41	690	1.7	2.7	7.9
1	1	1	5	500	74	42	840	1.7	2.1	5.6
7	1	3	5	500	59	36	720	1.7	2.2	5.3
20	2	1	5	500	86	69	1420	1.6	2.3	11.3
5	2	4	5	594	46	46	791	1.6	2.5	7.9
8	1	1	5	500	80	72	1440	1.6	1.9	7.8
1	1	7	5	500	80	44	880	1.6	2.4	7.5
20	1	4	5	500	88	63	1260	1.6	1.8	6
1	1	2	5	500	86	44	880	1.6	2	5.1
19	1	1	5	500	68	50	1000	1.5	2.3	7.5
5	2	8	5	594	54	53	892	1.5	2.3	6.8
5	2	6	5	594	71	70	1178	1.5	1.9	6.5
5	2	9	5	594	46	59	993	1.5	1.9	5.2
5	2	5	5	594	72	52	875	1.4	2	5.1
5	2	7	5	594	62	81	1364	1.4	1.6	4.7
28	1	1	5	594	54	48	808	1.2	1.8	3.8
20	1	5	5	500	82	74	1480	1.2	1.4	3.7
26	1	1	5	500	62	50	1000	1	2	3.5
29	1	1	5	594	53	52	875	0.8	1.4	1.7
19	1	2	5	500	65	47	940	0.7	1.2	1
3	2	4	4	500	94	45	900	1.8	2.6	6.2
4	2	3	4	500	76	57	1140	1.7	2	4.2
4	2	2	4	500	86	48	960	1.6	2.2	4.3
3	2	3	4	500	98	55	1140	1.5	2.2	4.5
4	2	1	4	500	92	66	1320	1.5	2	4.5
3	2	5	4	500	93	53	1080	1.5	2.1	4.1

En base a lo reportado por dicho autor las parcelas 9 y 2 del proyecto 5 y la parcela 1 del proyecto 18 están en el rango establecido, a pesar de poseer una edad de 6 años como se observa en el Cuadro 20, el IMA en altura para sitios malos oscila en 1.1 m y en sitios intermedios se reportan para esta investigación IMA en altura total de 1.4 m. En forma general el IMA en altura total, se encuentra desarrollándose adecuadamente, en relación a otros estudios realizados en el área.

La variación en el incremento en altura en árboles individuales se debe probablemente a su diferente reacción a los diferentes factores edáficos y fisiográficos, como se muestra en los Cuadros 21 y 22 el comportamiento que tiene el incremento de la parcela 3 del proyecto 5 que posee un Incremento Medio Anual en altura a una edad de 5 años mucho mayor comparando con el Incremento Medio Anual en altura de la parcela 7 del proyecto 5, con una edad de 6 años y ubicadas en el mismo sitio*.

Cuadro 21. Condiciones fisiográficas de parcelas en el mismo sitio y edades distintas de plantación

No proy	No ppm	Edad (años)	IMA Alt	Exposición	Posición	Contorno	Pendi - ente (%)	Pedregosidad	Erosión	Prof (cm)	Textura	Drenaje
5	3	5	2.1	Noroeste	media	terrazza	23	poco	moderado	>90	media	Bueno
5	7	6	1.4	Oeste	alta	cumbre	30	poco	Moderado	>90	media	Bueno

En base a los diferentes factores fisiográficos evaluados se puede observar a nivel de las dos parcelas que se muestran en el Cuadro 21 que las condiciones fisiográficas que influyen en el crecimiento de la especie probablemente sea la exposición, la posición, el contorno y el porcentaje de la pendiente.

Las condiciones del suelo también repercuten en el crecimiento de la especie, tal y como se muestra en el Cuadro 22 comparando dos parcelas en un mismo sitio y con edades distintas.

Cuadro 22. Condiciones edáficas de parcelas en el mismo sitio y edades distintas de plantación

No proy	No ppm	IMA Alt	Prof (cm)	PH	CE	P	Cu	Zn	Fe	Mn	CIC	Ca	Mg	Na	K	SB	MO	Arc	Limo	Arena
5	3	2.1	0-20	5	480	0.1	0.1	1	0.5	5	90.5	3.7	1.36	0.15	0.51	6.3	23.3	2.6	25.2	72.1
			20-40	5.2	150	0.07	0.1	0.5	0.5	2.5	88.8	1.5	0.37	0.16	0.26	2.5	17.8	4.7	21	74.2
5	7	1.4	0-20	5.1	460	7.39	0.1	1.5	2.5	7	91.7	7.4	2.01	0.14	0.28	10.8	23.6	8.9	18.9	72.1
			20-40	5.3	260	7.46	0.1	0.5	2	4	74.1	2.7	0.41	0.12	0.12	4.5	15.9	11	14.7	74.2

Según Klepac (35) este comportamiento en altura se debe a las condiciones edáficas y fisiográficas las cuales no son las mismas para ambas parcelas. Klepac (35)

* Sitio = finca

Cont...

Cuadro 20. Incrementos Medios Anuales en diámetro, altura y volumen por parcela

No proyecto	No lote	No de parcela	Edad (años)	Área neta (m ²)	Supervi vencia (%)	No árb vivos (parc)	No árb vivos (ha)	IMA altura total (m)	IMA Diámetro DAP (cm)	IMA Volumen m ³ /ha
16	1	1	3	500	89	50	1000	0.4	*	*
16	1	2	3	500	69	38	760	0.4	*	*
27	2	4	3	500	35	17	340	0.3	0.8	0
3	1	3	2	500	100	62	1240	1.9	*	*
5	5	1	2	594	79	56	960	1.2	2.6	0.3
3	1	1	2	500	94	59	1180	1.1	*	*
10	1	2	2	500	94	59	1180	1	1	0.2
18	1	2	2	500	97	59	1220	1	0.9	0.2
12	1	1	2	500	77	40	800	0.9	*	*
30	1	2	2	500	98	78	1560	0.8	1.7	0.7
18	1	1	2	500	96	52	1040	0.8	0.7	0.1
3	1	2	2	500	94	50	1000	0.8	*	*
5	5	2	2	594	47	47	825	0.7	2.3	0.1
10	1	1	2	500	93	51	1020	0.7	0.8	0.1
9	1	2	2	500	89	58	1160	0.7	*	*
30	1	1	2	500	85	68	1360	0.6	1.3	0.2
4	1	1	2	500	89	80	1600	0.6	0.9	0.1
5	5	4	2	594	49	45	774	0.6	1.4	0
5	5	5	2	594	62	63	1111	0.6	1.3	0
13	1	2	2	500	91	49	980	0.6	*	*
27	1	1	2	500	71	46	920	0.6	*	*
27	1	2	2	500	78	73	1460	0.6	*	*
2	1	2	2	500	96	51	1020	0.5	*	*
2	1	1	2	500	93	42	840	0.5	*	*
4	1	2	2	500	91	90	1800	0.5	*	*
2	1	3	2	500	75	44	880	0.4	*	*
9	1	1	2	500	89	51	1020	0.4	*	*
12	1	2	2	500	86	30	600	0.4	*	*
13	1	1	2	500	81	57	1140	0.3	*	*
5	5	3	2	594	78	76	1279	0.3	*	*
12	1	3	2	596	82	55	923	0.1	*	*
6	1	1	1	500	100	63	1260	0.7	*	*
6	1	2	1	500	100	56	1120	0.7	*	*
5	6	1	1	598	91	105	1773	0.6	*	*
5	6	2	1	546	62	58	1099	0.6	*	*
6	1	3	1	500	100	56	1120	0.5	*	*
5	6	3	1	594	67	55	926	0.2	*	*
14	1	1	1	500	95	53	1060	0.2	*	*
31	1	1	1	500	94	87	1740	0.2	*	*
14	1	2	1	500	98	50	1000	0.2	*	*

* Plantaciones menores a 1.3 m de altura

Se puede observar en el Cuadro 23 que el Incremento Medio Anual en diámetro (DAP) se encuentra entre los rangos reportados por Vaidez (61) para una plantación de 9 años oscilando los mismos de 1.5 a 1.6 cm/año para los mejores sitios de su investigación.

En plantaciones con edades de 1, 2 y 3 años esta variable no se reportó en la mayor parte de proyectos evaluados debido a que solamente se midieron los árboles mayores a 1.30 m (DAP).

Existen algunas variables que influyen también en la variación de los diferentes crecimientos de las plantaciones y que no se tomaron en cuenta en la investigación.

Según Hängglund (1981) citado por Arteaga et al (4), el crecimiento del rodal es una expresión integrada de todos los factores de crecimiento de acuerdo con su intensidad.

El reconocimiento de las fuentes más importantes de variación no explicada, es una valiosa ayuda en la interpretación de los resultados y el entendimiento biológico y las limitaciones de esta clase de estudio según (Campos 1989), citado por Revolorio (47).

En base a las condiciones en que se realizó el estudio, las posibles fuentes de variación que podrían estar influyendo en la variación no explicada están:

- Efecto en el pasado de actividades antrópicas (pastoreo, incendios, extracciones forestales, podas, raleos etc.) en las diferentes áreas donde se localizan los proyectos de reforestación.

Los raleos son parte esencial en el manejo de una plantación, permitiendo en forma general eliminar los árboles indeseables con forme la plantación vaya creciendo en edad, diámetro y altura. La finalidad de los mismos es crear un ambiente adecuado a las plantas para que tengan una mejor disponibilidad de luz, agua, suelo y desarrollo radicular.

- Variación ambiental no evaluada: principalmente la precipitación en los diferentes sitios del área en estudio, no se evaluó por carecer de información.
- Errores de estimación ligados al crecimiento, principalmente en altura. En parcelas con uno a seis años las alturas oscilaban de 1 hasta 10 metros. La medición se facilitó con la ayuda de tubos de PVC plenamente identificados. Sin embargo existieron algunas parcelas que presentaban árboles con alturas

En el Cuadro 20 a nivel general se observa que existe una disminución en el rendimiento en volumen debido a la influencia cuadrática del diámetro con respecto al volumen, provocando a que disminuya al disminuir el diámetro, especialmente en plantaciones de 6 años de edad, con relación a los datos obtenidos de las plantaciones de 5 años de edad.

El IMA en volumen para plantaciones de 6 años en esta investigación es de aproximadamente $8.11 \text{ m}^3/\text{ha}$ en sitios intermedios, mientras que en sitios buenos los incrementos en volumen oscilan en $15.5 \text{ m}^3/\text{ha}$ y en sitios malos se reportan incrementos de $3.2 \text{ m}^3/\text{ha}$, lo que representa datos relativamente altos comparado con el estudio efectuado por Vaidez (57) en plantaciones de 9 años ubicadas en San Jerónimo, Baja Verapaz, donde reporta un IMA en volumen de $0.015 \text{ m}^3/\text{año}$ en los mejores sitios y el sitio más bajo es de $0.006 \text{ m}^3/\text{año}$.

El incremento en volumen está influenciado por la densidad de los árboles, es decir a mayor densidad menor es el volumen de los árboles, mientras que a menor densidad mayor es el volumen de los árboles, lo que se observa con el comportamiento que manifiesta la parcela 1 del proyecto 5 donde existe una mayor densidad de árboles de 1380 árboles vivos por hectárea y un IMA en volumen de $4.4 \text{ m}^3/\text{ha}$, con respecto a la parcela 2 del mismo proyecto y la misma edad de plantación (6 años) donde la densidad de los mismos es menor, 680 árboles/ha pero concentra un mayor volumen $14.9 \text{ m}^3/\text{ha}$.

Este fenómeno es confirmado por Klepac (35) donde menciona que dicha característica depende entre otros factores, especialmente de la posición y el espacio ocupado por el árbol en la masa. Es decir que árboles que crecen bajo condiciones de alta densidad no pueden desarrollar de una manera satisfactoria, tanto su sistema radicular como su copa por lo que su incremento en volumen disminuye.

Así mismo menciona dicho autor que si se le proporciona más luz y espacio al árbol con el tiempo éste se desarrollará mejor, aún más, estimulando así el incremento en volumen del árbol, sin embargo también dependerá de la especie, claramente se puede observar en el Cuadro 20 el comportamiento que tiene la parcela 2 del proyecto 5 con una edad de 6 años, donde existe un número reducido de 34 árboles, los cuales concentran un volumen por hectárea mayor a los diferentes proyectos.

Vaidez (61) para plantaciones de 9 años en San Jerónimo Baja Verapaz reporta un Incremento Medio Anual (IMA) en altura total para los mejores sitios de 1.5 a 2 m/año y para el resto de los sitios evaluados estos no bajan de 0.90 m/año .

Posteriormente del análisis del crecimiento por parcela, en base a la edad de plantación se hace un análisis del crecimiento por año en base a la metodología establecida y como se muestra en el Cuadro 25.

Cuadro 25. Incrementos Medios Anuales en diámetro, altura y volumen por año en Las Verapaces

Edad (años)	IMA DAP (cm/año)	IMA Altura (m/año)	IMA Volumen (m ³ /ha/año)
6	1.91	1.4	8.12
5	2.27	1.64	9.55
4	1.66	1.23	2.29
3	1.2	0.92	0.94
Promedio	1.76	1.297	5.23

Luego de obtener los promedios de los Incrementos Medios Anuales (IMAs), en diámetro, altura y volumen por año, se muestra en el Cuadro 26 el número y porcentaje de parcelas que se ubican en sitios buenos y malos.

Cuadro 26. Número y porcentaje de parcelas que se ubican en sitios buenos y malos de acuerdo a los IMAs en diámetro, altura y volumen

Descripción de los Incrementos	Número de parcelas en sitios		% de parcelas en sitios	
	Buenos	Malos	Buenos	Malos
IMA DAP cm/año	55	51	51.8	48.2
IMA Altura m/año	61	45	57.5	42.5
IMA Volumen m ³ /ha/año	41	65	38.67	63.33
Promedio			49.32 %	51.34 %

A nivel general se observa que el 50% de los rodales donde se instalaron las diferentes parcelas en la Región están creciendo por debajo de los diferentes Incrementos Medios Anuales en diámetro, altura y volumen obtenidos en el presente estudio a una edad de 6 años.

Kadambi (33), menciona que la interacción de diferentes factores ambientales da, como resultado, un cierto tipo de vegetación cuyo desarrollo puede sufrir variaciones a través de los años, de acuerdo con las condiciones de clima imperantes en un determinado lugar. El análisis de los factores puede variar, dependiendo de las características genéticas de la especie arbórea y de los intereses institucionales, nacionales o regionales.

7.1.3. VARIABLES FISIAGRÁFICAS

En el Cuadro 27 se establecen las características fisiográficas donde se ubican las 143 parcelas de medición permanente distribuidas en los 32 proyectos evaluados.

menciona también que el suelo es el factor que se ha encontrado más relacionado con el crecimiento e incremento en altura.

Así mismo menciona Klepac (35) que el incremento en altura se manifiesta en la época de lluvia. Generalmente comienza con una gran intensidad que dura de 2 a 3 semanas, posteriormente decrece gradualmente y en algunas especies se interrumpe mientras que en otras se presentan sin esa interrupción hasta septiembre y octubre.

En el Cuadro 21 se observa que la parcela 3 del proyecto 5 presenta condiciones fisiográficas en forma de terraza y por lo tanto se espera que las condiciones nutricionales y propiedades físicas del suelo sean óptimas, mientras que la parcela 7 del mismo proyecto y con la una edad de plantación de 5 años se ubica en un área con un porcentaje de pendiente del 30%, las condiciones nutricionales del suelo tienden hacer desfavorables debido a que se ubica en la parte alta de la región fisiográfica (cumbre redondeada), .

Esto repercute probablemente en los valores extremos, de los diferentes incrementos en ambas parcelas, como lo muestra el Cuadro 22.

En el Cuadro 23 se muestran los rangos mínimos, medios y máximos de las variables evaluadas. Se observa que el comportamiento es similar a las variables dasométricas anteriormente expuestas.

Cuadro 23. Rangos de los Incrementos Medios Anuales en diámetro, altura y volumen por edad

Edad parcelas (años)	IMA EN DIÁMETRO (cm)			IMA EN ALTURA (m)			IMA EN VOLUMEN (m ³ /ha)		
	Mínimo	Medio	Máximo	Mínimo	Medio	Máximo	Mínimo	Medio	Máximo
6	1.3	1.91	2.9	1.1	1.4	1.9	3.2	8.12	15.5
5	1.2	2.27	3	0.7	1.64	2.2	1	9.55	21.1
4	0.6	1.66	2.7	0.6	1.23	1.8	0.2	2.29	6.2
3	*	1.2	2.6	0.3	0.92	1.9	*	0.94	5.2
2	*	1.35	2.6	0.1	0.69	1.9	*	0.22	0.7
1	*	*	*	0.2	0.55	0.7	*	*	*

Puede observarse en el Cuadro 23 que no existe una patrón definido en cuanto al aumento de las diferentes variables de crecimiento, sin embargo se espera que a mayor edad de las plantaciones y que éstas se desarrollen en sitios aceptables para expresar su potencial de crecimiento estas variables serán mayores, hasta cierto punto.

* Plantaciones menores a 1.30 m de altura

dominantes mayores a 10 metros, esto hizo que se dificultara un poco la lectura, principalmente en aquellos árboles que presentaban cola de zorro.

- Calidad de la semilla, la cual no se estableció en los diferentes proyectos evaluados.

A. CALIDAD DE LAS PLANTACIONES EN BASE AL CRECIMIENTO INICIAL

En el Cuadro 24 se observa en forma detallada las diferentes parcelas que poseen un crecimiento bueno y malo de acuerdo a la metodología establecida.

Cuadro 24. Calidad de las parcelas en base a los Incrementos Medios Anuales por edad

Edad (años)	IMA DAP prom (cm)	Categoría No ppm		IMA A prom (m)	Categoría No ppm		IMA V prom (m ³ /ha)	Categoría No ppm	
		Bueno	Malo		bueno	Malo		Bueno	Malo
6	1.91	6	10	1.4	7	9	8.12	7	9
5	2.27	24	15	1.64	22	17	9.55	15	24
4	1.66	11	13	1.23	10	14	2.29	9	15
3	1.2	12	15	0.92	12	15	0.94	7	20
2	1.35	4	24	0.69	12	16	0.22	2	26
1	*	*	*	0.55	4	5	*	*	*
Promedio 1.678 cm/año				Promedio 1.07 m/año			Promedio 4.22 m ³ /ha/año		

* Plantaciones menores a 1.30 m de altura

Según Vasquez y Ugalde (62), los sitios clasificados como altos (buenos), pueden considerarse aquellos que están por encima del promedio y los sitios bajos son aquellos que están por debajo del mismo.

La calidad del crecimiento por proyecto se definió en base al número de parcelas que poseen un crecimiento bueno o malo en altura, diámetro y volumen, por edad.

Se establece que solamente 57 parcelas del total de 134 parcelas donde se evaluó el Incremento Medio Anual en diámetro (DAP) se ubican en un sitio bueno, lo que representa el 42.54% del total de parcelas.

La altura fue la única variable que se evaluó en todas las parcelas, en base a los resultados se menciona que el 46.85% de las parcelas se ubican en un buen sitio de acuerdo a la altura, lo que representa un total de 67 parcela.

Por último se observa en el Cuadro 24 que el volumen es la variable que se ve afectada considerablemente por el desarrollo de las plantaciones donde solamente 40 parcelas (29.85%) presentan un volumen bueno en los diferentes sitios de la Región II.

Cuadro 27. Características fisiográficas y edáficas de las parcelas

Edad (años)	Altura prom (m)	Descripción de las variables								
		Exposición	Posición	Contorno	Pendiente	Pedregosidad	Erosión	Profundidad	Textura	Drenaje
6	11.9	4	2	2	43	0	1	5	2	1
6	11.6	4	3	6	4	0	0	5	1	4
6	10.2	3	2	6	11	1	1	5	2	1
6	8.9	7	2	2	13	0	0	5	1	4
6	8.6	4	1	4	30	0	1	5	1	4
6	8.5	3	2	6	22	2	2	2	2	1
6	8.4	1	1	2	28	0	1	5	1	4
6	8.1	6	1	3	49	0	1	5	2	1
6	8.1	8	2	2	48	0	1	5	1	4
6	8	6	2	3	64	0	1	5	1	4
6	8	1	1	2	23	0	1	5	1	4
6	7.9	3	1	4	45	0	1	3	1	4
6	7.8	6	1	2	29	0	1	5	1	4
6	7.4	7	1	5	27	0	1	5	1	4
6	7.4	9	2	5	50	0	1	1	1	4
6	6.9	6	2	2	33	0	1	5	1	4
5	10.7	7	2	5	23	0	1	5	1	4
5	10.6	8	2	5	35	1	2	5	1	4
5	10.4	8	3	6	13	2	2	5	2	1
5	10.2	8	3	1	12	1	0	5	2	1
5	9.8	8	2	2	30	0	1	5	2	1
5	9.8	4	2	2	28	0	1	5	1	4
5	9.7	8	3	5	14	0	0	5	2	1
5	9.3	3	1	1	18	0	0	5	1	4
5	9	1	2	2	40	0	1	5	1	4
5	9	6	2	2	35	0	1	5	1	4
5	9	8	2	5	45	1	2	5	1	4
5	8.9	3	2	2	20	0	1	5	1	4
5	8.9	1	3	6	22	0	1	5	1	4
5	8.7	3	2	3	56	0	1	5	1	4
5	8.7	8	1	2	13	0	0	5	1	4
5	8.6	7	2	2	35	0	1	5	1	4
5	8.5	7	2	5	20	0	1	5	2	1
5	8.5	8	3	5	50	1	2	5	2	1
5	8.4	4	2	2	30	0	1	5	1	4
5	8.4	6	1	2	20	0	1	5	1	4
5	8.4	3	2	5	25	1	1	5	2	1
5	8.3	8	3	2	28	0	1	5	1	4
5	8.3	3	2	5	35	2	2	5	2	1
5	8.3	7	3	1	6	0	0	5	1	4
5	8.1	8	2	5	31	1	1	5	1	4
5	8	3	1	3	50	0	1	5	1	4

Cont....

Cuadro 27. Características fisiográficas y edáficas de las parcelas

Edad (años)	Altura prom (m)	Descripción de las variables								
		Exposición	Posición	Contorno	Pendiente	Pedregosidad	Erosión	Profundidad	Textura	Drenaje
5	8	3	2	5	33	2	2	5	1	4
5	7.9	7	1	3	63	0	1	5	2	1
5	7.8	6	1	5	26	0	1	5	1	4
5	7.7	6	2	5	54	0	1	3	2	1
5	7.6	6	1	3	57	0	1	5	1	4
5	7.5	9	1	2	54	0	1	5	1	4
5	7.4	7	2	3	52	0	1	5	1	4
5	7	6	2	3	45	0	1	4	1	4
5	6.9	7	2	5	27	0	1	5	1	4
5	6.1	3	2	3	56	0	1	5	2	1
5	5.1	7	1	4	36	0	1	5	1	4
5	4.5	6	3	3	45	0	1	5	1	4
5	4	4	2	2	29	0	1	5	1	4
4	6.9	3	2	1	4	0	0	5	2	1
4	6.5	2	2	5	52	0	1	5	1	4
4	6.2	6	2	5	30	0	1	5	1	4
4	6	6	2	2	25	0	1	5	2	1
4	5.9	9	1	5	15	0	0	5	2	1
4	5.8	2	2	2	32	0	1	5	1	4
4	5.6	1	3	6	8	1	1	5	2	1
4	5.3	7	2	2	23	0	1	5	2	1
4	4.8	7	1	2	50	1	2	5	2	1
4	4.5	6	2	5	21	0	1	5	1	4
4	4.4	4	2	2	26	0	1	5	1	4
4	4.4	1	3	5	34	0	1	5	2	1
4	4.3	7	2	5	40	0	1	5	1	4
4	4.3	1	2	2	27	0	1	5	2	1
4	4.2	9	2	2	37	0	1	5	2	1
4	4.2	6	2	2	35	0	1	5	2	1
4	4.1	1	2	2	35	0	1	5	1	4
4	3.9	1	1	2	39	0	1	5	1	4
4	3.9	8	1	6	47	0	1	5	1	4
4	3.7	7	2	2	43	0	1	5	2	1
4	3.3	7	1	3	60	1	2	5	2	1
4	2.5	8	1	1	9	0	0	5	2	1
3	5.8	8	2	5	35	0	1	5	1	4
3	5.1	9	2	6	26	0	1	5	2	1
3	5	7	2	6	24	0	1	5	2	1
3	4.9	6	2	5	15	0	0	5	1	4
3	3.9	6	1	3	62	0	1	5	1	4
3	3.8	6	3	3	40	0	1	5	1	4
3	3.8	7	1	2	30	0	1	5	1	4

Cont....

Cuadro 27. Características fisiográficas y edáficas de las parcelas

Edad (años)	Altura prom (m)	Descripción de las variables								
		Exposición	Posición	Contorno	Pendiente	Pedregosidad	Erosión	Profundidad	Textura	Drenaje
3	3.3	6	1	5	25	0	1	5	1	4
3	3.3	1	2	5	32	0	1	5	1	4
3	3.1	8	2	3	55	2	2	4	2	1
3	3	7	3	1	8	0	0	5	1	4
3	3	7	3	5	30	0	1	5	1	4
3	3	8	2	3	58	2	2	2	2	1
3	2.9	6	2	5	35	0	1	3	2	1
3	2.9	1	1	2	25	0	1	5	1	4
3	2.8	7	2	3	23	1	1	5	1	4
3	2.8	7	2	6	30	0	1	5	1	4
3	2.7	6	3	1	10	0	0	5	1	4
3	2.7	3	1	5	36	0	1	5	1	4
3	2.6	1	2	5	30	0	1	5	1	4
3	2.3	9	2	5	23	0	1	5	1	4
3	2.3	1	3	6	10	0	0	5	1	4
3	2.2	3	1	3	45	0	1	5	1	4
3	1.8	7	2	2	35	1	1	5	1	4
3	1.7	3	1	2	35	0	1	5	1	4
3	1.7	7	1	3	58	2	3	3	2	1
3	1.4	8	1	3	55	1	2	5	2	1
3	1.4	8	3	3	53	1	2	5	2	1
3	1.1	2	2	5	28	0	1	5	1	4
2	2.5	7	1	4	28	0	1	5	1	4
2	2.2	2	2	2	31	0	1	5	2	1
2	2	7	1	2	24	0	1	5	1	4
2	2	7	3	5	20	0	1	3	2	1
2	1.9	7	2	6	54	0	1	5	2	1
2	1.8	9	1	3	68	0	1	5	1	4
2	1.6	9	1	4	22	0	1	5	2	1
2	1.5	8	1	2	43	0	1	5	1	4
2	1.5	7	3	5	39	0	1	3	2	1
2	1.3	2	2	3	62	1	1	3	1	4
2	1.3	4	1	2	25	0	1	5	1	4
2	1.3	2	3	1	11	0	0	5	1	4
2	1.2	7	2	3	80	0	1	5	1	4
2	1.2	8	2	2	29	0	1	5	1	4
2	1.2	7	2	3	42	0	1	5	1	4
2	1.2	9	2	2	18	0	0	5	1	4
2	1.2	9	3	6	23	1	1	5	1	4
2	1.1	6	3	6	43	0	1	5	2	1
2	1	9	2	2	48	0	1	5	1	4
2	1	3	1	2	29	0	1	5	1	4

Cont...

Cuadro 27. Características fisiográficas y edáficas de las parcelas

Edad (años)	Altura prom (m)	Descripción de las variables								
		Exposición	Posición	Contorno	Pendiente	Pedregosidad	Erosión	Profundidad	Textura	Drenaje
2	0.9	6	2	5	50	1	2	5	2	1
2	0.9	2	1	2	20	1	2	5	2	1
2	0.9	9	1	2	20	2	2	5	2	1
2	0.8	1	1	4	13	2	2	5	2	1
2	0.8	2	1	3	48	0	1	5	1	4
2	0.7	7	2	5	37	0	1	5	1	4
2	0.6	2	2	2	42	0	1	5	1	4
2	0.4	6	2	5	34	0	1	5	1	4
1	0.8	1	3	1	5	0	0	5	1	4
1	0.7	6	1	3	58	0	1	5	1	4
1	0.7	4	2	6	48	0	1	5	1	4
1	0.7	7	2	3	53	0	1	5	1	4
1	0.6	3	3	1	3	0	0	5	1	4
1	0.6	3	1	2	35	0	1	5	1	4
1	0.3	4	2	2	58	0	1	5	1	4
1	0.2	2	1	5	29	1	1	5	1	4
1	0.2	2	2	5	22	1	1	5	1	4

En el Cuadro 27 se describe en forma general las características fisiográficas y edáficas de las distintas parcelas con relación a la altura promedio en forma descendente y edad de plantación.

Para obtener un análisis más general de la información se presenta el Cuadro 28, donde se establece el promedio de las parcelas con cada variable evaluada en el campo y sus respectivos códigos.

En el Cuadro 28 se observa que el mayor número de parcelas se ubican en una exposición Noroeste, mientras que en la exposición Oeste se ubican el menor número de parcelas.

En forma general no existe un criterio único en cuanto a la exposición óptima para el crecimiento de los pinos, aunque diversos autores consideran la importancia de la exposición en relación al microclima.

Arteaga (3), determinó que *Pinus patula* en la región de Chignahuapan-Zacatlán, Puebla, México, logra su óptimo desarrollo en la exposición Noreste y un menor desarrollo en la exposiciones Sur. Así mismo este autor encontró que pendientes hasta de 25%, tienen un efecto positivo sobre el crecimiento en altura de esa especie, a partir de ahí empieza a tener un efecto curvilíneo negativo.

Cuadro 28. Descripción general de las variables edáficas y fisiográficas

Exposición			Profundidad (cm)			Posición de la pendiente		
Variable	Código	No ppm	Variable	Código	No ppm	Variable	Código	No ppm
No hay información	0	0	0-20	0	0	Alta	1	45
Norte	1	15	20-35	1	1	Media	2	74
Este	2	11	35-50	2	2	Baja	3	24
Sur	3	18	50-70	3	7	Textura		
Oeste	4	10	70-90	4	2	Gruesa	0	0
Llano	5	0	> 90	5	131	Media	1	97
Noreste	6	25	Drenaje			Fina	2	46
Noroeste	7	32	Nulo	0	0	Erosión		
Sureste	8	19	Pobre	1	46	Ninguna	0	18
Suroeste	9	12	Excesivo	2	0	Moderado	1	104
Contorno o forma de la pendiente			Imperfecto	3	0	Severo	2	17
Plana	1	11	Bueno	4	97	Muy severo	3	1
Convexo	2	47	Pendiente (%)			Pedregosidad (%)		
Escarpada	3	27	0-10	0	10	Poco	0	114
Cumbre redondeada	4	6	10-25	1	36	Medio	1	20
Terraza	5	38	25-50	2	74	Alto	2	9
Cóncavo	6	14	> 50	3	23			
Llanura de inundación	7	0						

El 51.74% de las parcelas se ubican en una posición media. Solamente 16.78% de las parcelas evaluadas se ubican en las partes bajas.

Jadan (32) cita a Hannah (sf), donde afirma que 55% de la variación en altura se debe a la topografía.

El contorno o forma de la pendiente fue variado, predominando la forma convexa de la pendiente, lo que demuestra la forma topográfica irregular del área.

En cuanto al porcentaje de la pendiente el rango de la misma es variado, oscilando de 3 al 80%, el valor promedio es de 33.62%.

Tschinkel (1972) citado por Rojas (49) muestra la pendiente relacionada junto a otros factores en un 72% con la calidad de sitio.

Se estimó del total de sitios evaluados que el 67.83% se encuentran comprendidos en pendientes mayores al 25%, lo cual indica en forma general que el área donde se encuentran establecidos los diferentes proyectos de reforestación se ubican en áreas inclinadas, con pendientes moderadas a fuertes, provocando algún tipo de erosión.

La erosión de los suelos es más frecuente en suelos arcillosos. Kirkby (34), establece que la erosión por acción del agua es más activa donde la disolución es menor, influyendo también otros factores (pendiente, cobertura vegetal etc).

La mayor parte de terrenos contienen un porcentaje de pedregosidad de (1-10%), esto se comprobó de forma visual y por medio de barrenamientos del área en estudio.

El 91.61% de las parcelas evaluadas presentan una profundidad mayor a los 90 cm es decir no se encontró alguna capa cementante hasta dicha profundidad.

Dvorak et al (19) cita a Dvorak y Donahue (1988) donde mencionan que los suelos de los bosques húmedos subtropicales poseen una profundidad mayor a los dos metros.

7.1.4. FACTORES EDÁFICOS

El muestreo de los suelos se realizó en los meses de julio, agosto septiembre y octubre, período que comprende la época de lluvia de la región.

A. Evaluación de los factores químicos a nivel de laboratorio

En el Cuadro 29 se muestran los resultados generales del análisis químico que se obtuvieron a nivel del laboratorio.

Cuadro 29. Análisis químico de los sitios muestreados por parcela a dos profundidades

Proy	Edad (años)	IMA Vol	pH	μS/cm	Ppm			Meq/100 ml		Ppm				Meq/100 gr				%	
				CE	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn	CIC	Ca	Mg	Na	K	SB	MO
5	6	15.5	5.4	420	7.59	90	7.8	0.97	0.1	2	2.5	13.5	63.53	9.23	1.81	0.11	0.59	18.49	12.78
			5.4	195	7.46	60	5.62	0.72	0.5	0.5	3.5	8.5	41.76	5.49	0.9	0.12	0.31	16.34	5.81
5	6	14.9	5.2	555	7.39	95	5.62	0.92	0.1	4	2.5	9.5	81.76	6.74	1.73	0.14	0.62	11.27	16.13
			5.4	250	7.46	53	3.43	0.31	0.1	2	2	4.5	77.65	4.24	0.53	0.14	0.44	6.89	14.82
18	6	14.6	4.7	650	0.41	50	4.36	1.44	0.5	3.5	44	16.5	24.12	5.74	1.89	0.23	0.38	34.21	4.98
			5	190	1.15	33	3.74	1.23	0.5	1	44	7	19.41	4.99	1.69	0.24	0.26	36.97	1.36
19	6	12	5.8	340	0.53	75	7.8	2.57	0.1	1.5	1.5	19.5	66.47	10.98	3.5	0.17	0.44	22.69	17.7
			6.1	140	0.47	25	3.12	1.03	0.1	0.5	1	14.5	52.35	3.99	1.32	0.15	0.18	10.76	9.01
18	6	9.2	7.6	685	0.61	35	17.8	13.56	0.1	1.5	0.5	3.5	45.29	26.2	11.92	0.24	0.36	85.5	8.94
			7.5	460	1.36	33	17.18	10.59	0.1	9	1	18.5	37.65	17.22	8.35	0.13	0.31	69.07	5.75
5	6	8.7	5.1	460	7.39	25	5.3	0.87	0.1	1.5	2.5	7	91.76	7.49	2.01	0.14	0.28	10.81	23.63
			5.3	260	7.46	10	2.5	0.31	0.1	0.5	2	4	74.12	2.74	0.41	0.12	0.12	4.59	15.97
19	6	5.7	5.8	325	0.53	115	7.18	2.31	0.1	1.5	2	14	58.23	10.98	3.29	0.14	0.87	26.24	18.65
			5.7	175	0.6	35	3.43	1.03	0.1	0.5	1.5	11.5	55.88	3.99	1.32	0.18	0.28	10.33	11.59
5	6	5.4	5.3	625	7.8	80	8.74	1.9	0.5	2	16.5	16.5	38.73	10.48	3.13	0.13	0.46	37.13	10.22
			5.2	125	7.79	48	6.24	1.64	0.5	1	26	9.5	37.06	6.99	2.47	0.1	0.36	26.46	3.08

Cont...

Cuadro 29. Análisis químico de los sitios muestreados por parcela a dos profundidades

Proy	Edad (años)	IMA Vol	pH	μS/cm	Ppm		Meq/100 ml		Ppm				Meq/100 gr				%		
				CE	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn	CIC	Ca	Mg	Na	K	SB	MO
5	6	4.4	5.8	575	7.59	58	10.29	1.95	0.1	1	2	12.5	70.59	13.22	3.58	0.18	0.36	24.57	17.67
			5.7	235	7.46	48	4.99	0.92	0.1	0.5	2.5	5.5	61.17	6.74	1.64	0.15	0.16	13.39	10.6
5	6	5	5.7	505	7.32	28	8.11	1.75	0.1	1	2	10.5	80.59	11.98	3.91	0.22	0.28	20.33	19.38
			5.8	205	7.53	13	4.68	1.08	0.1	0.5	2	4	56.47	5.49	1.93	0.17	0.11	13.64	9.96
20	5	21.1	5.3	585	0.68	115	4.36	0.87	0.1	2	3	8	67.06	7.24	1.52	0.12	0.85	14.5	22.36
			5.7	220	0.07	43	1.87	0.41	0.1	0.5	1.5	3	58.82	2.74	0.74	0.16	0.38	6.84	10.86
20	5	20.2	6.1	595	1.22	140	8.73	2.98	0.1	7.5	1.5	20.5	55.29	12.23	3.95	0.17	2.05	33.27	8.78
			6.3	205	0.27	140	4.06	1.59	1	10	3.5	11.5	44.12	6.49	2.55	0.17	1.77	24.89	3.19
7	5	16	5.6	410	0.47	25	4.99	1.13	0.1	1	1	12	57.22	6.49	1.48	0.13	0.13	14.38	20.23
			5.8	265	0.1	15	3.74	0.72	0.1	0.5	0.1	10	56.67	4.24	0.82	0.1	0.08	9.26	15.17
1	5	15.5	6.5	385	0.86	120	15.6	3.08	0	5.5	1	29.5	33.48	17.71	3.45	0.21	0.64	65.77	8.61
			6.4	220	0.5	65	11.86	1.95	0	2	0.5	27.5	28.26	13.79	2.26	0.18	0.36	59.36	6.44
8	5	15.2	6.1	320	0.1	25	6.55	2.26	0.1	2	0.1	11.5	60	8.23	2.84	0.09	0.15	18.85	16.75
			5.8	235	0.1	30	3.74	1.18	0.1	0.5	0.5	7.5	56.11	4.74	1.56	0.12	0.1	11.63	12.64
5	5	13	5	480	0.14	63	2.81	0.62	0.1	1	0.5	5	90.59	3.74	1.36	0.15	0.51	6.36	23.32
			5.2	150	0.07	25	1.25	0.1	0.1	0.5	0.5	2.5	88.82	1.5	0.37	0.16	0.26	2.57	17.89
25	5	12.9	5.9	310	0.1	138	10.92	2	0.1	6	2	17.5	93.89	19.96	1.88	0.21	1.08	25.69	27.11
			5.9	230	0.1	53	5.93	1.18	0.1	1.5	0.5	7.5	83.33	12.48	1.64	0.15	0.72	17.98	25.55
20	5	12.7	5.3	850	0.6	165	6.86	3.19	0.1	2.5	1.5	8	85.29	9.23	4.52	0.13	1.05	17.51	24.33
			5.5	270	0.47	63	2.81	0.93	0.1	0.5	1.5	5	72.35	3.99	1.15	0.12	0.38	7.81	14.54
20	5	12.2	5.6	495	0.75	133	4.37	0.98	0.1	1.5	2.5	10.5	68.23	6.49	1.56	0.12	0.92	13.33	15.8
			6	140	0.41	28	2.81	0.51	0.1	0.5	1.5	4.5	51.76	3.99	0.9	0.1	0.18	9.99	10.74
5	5	9.2	5	420	0.1	20	3.74	0.51	1	0.5	2.5	7.5	91.17	4.74	0.9	0.15	0.18	6.56	24.27
			5.1	255	0.14	13	2.18	0.21	0.1	0.1	1	4	80	3	0.33	0.13	0.13	3.23	15.49
1	5	8.2	5.8	255	0.29	65	6.86	3.08	0	2.5	1.5	26	27.83	7.49	3.91	0.18	0.38	42.98	7.72
			5.6	115	0.01	35	4.68	2.21	0	1	1.5	26.5	22.17	3.74	2.34	0.19	0.21	29.24	3.59
1	5	8.1	6.1	350	0.36	80	9.98	2.26	0	1.5	7	42	20.43	1.73	2.55	0.17	0.33	67.42	6.39
			6.2	180	0.22	65	8.11	2.57	0	0.5	11	35.5	20.87	8.48	2.84	0.17	0.28	56.39	4.24
5	5	7.9	5.6	490	0.14	43	9.05	0.98	0.1	2	1.5	10	90	11.73	3.04	0.49	0.31	17.29	23.63
			5.7	205	0.2	15	4.68	0.62	0.1	0.5	1	3.5	81.17	7.24	1.6	0.47	0.17	11.68	15.76
5	5	7.9	4.8	625	0.34	18	4.37	0.46	0.1	1	3	7	100	6.74	1.48	0.16	0.26	7.89	29.38
			5.1	240	0.14	8	1.87	0.15	0.1	0.1	1	3	89.41	2	0.45	0.11	0.23	3.12	17.89
8	5	7.8	5.5	360	0.1	20	4.37	1.39	0.1	1.5	0.5	8	62.78	6.49	1.81	0.11	0.26	13.8	18.01
			5.7	225	0.1	18	2.5	0.57	0.1	0.5	0.5	6	52.22	3.49	0.78	0.1	0.1	8.56	11.69
19	5	7.5	5.6	190	1.13	78	8.74	1.95	0.1	4	15	20	45.29	10.98	2.34	0.13	0.49	30.78	18.01
			5.8	120	0.86	28	7.8	1.23	0.1	1	14	13	30.59	8.73	1.15	0.15	0.15	33.3	4.51
5	5	6.8	5.1	340	0.07	20	4.06	0.26	0.1	0.5	4.5	3.5	82.94	5.99	0.78	0.17	0.18	8.58	23.95
			5.5	170	0.1	8	1.56	0.06	0.1	0.5	2.5	2.5	63.53	12.74	0.49	0.14	0.15	5.56	10.7
1	5	5.6	6.8	595	0.01	50	16.54	7.97	0	1.5	0	14.5	43.04	20.46	10.69	0.25	0.36	73.79	12.39
			7.1	335	0.01	33	14.98	6.43	0	1	0	15	40.43	19.46	7.4	0.22	0.23	67.54	9.13
5	5	6.5	5.8	525	0.41	48	10.3	1.75	0.1	1	5	13	62.94	13.97	3	0.17	0.38	27.84	17.89
			6.3	220	0.07	13	10.92	0.51	0.1	0.5	2.5	5	56.47	14.22	0.95	0.16	0.18	27.45	8.43

Cont...

Cuadro 29. Análisis químico de los sitios muestreados por parcela a dos profundidades

Proy	Edad (años)	IMA Vol	pH	μS/cm	Ppm		Meq/100 ml		Ppm				Meq/100 gr				%		
				CE	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn	CIC	Ca	Mg	Na	K	SB	MO
7	5	5.3	5.5	400	0.1	55	4.06	0.93	0.1	4.5	0.5	9.5	67.78	5.54	1.36	0.1	0.36	10.42	21.17
			5.8	260	0.1	50	3.12	0.51	0.1	4	0.1	7.8	61.11	3.99	0.82	0.13	0.28	8.55	17.07
5	5	5.2	5.5	370	0.1	15	6.86	1.03	0.1	1	6.5	13	64.7	10.23	1.77	0.13	0.23	19.1	15.01
			5.5	185	0.1	13	3.74	0.46	0.1	0.5	3.5	8	58.82	4.99	0.78	0.14	0.18	10.35	8.94
5	5	5.1	5.7	380	0.07	70	9.68	1.9	0.1	1	1	12.5	74.12	12.72	3.54	0.14	0.54	22.85	12.65
			6	190	0.07	40	9.05	1.44	0.1	0.5	0.5	10	56.47	10.48	2.26	0.16	0.31	23.38	10.7
5	5	4.7	5.5	645	0.1	53	7.8	1.34	0.1	1	4	13	98.12	13.72	3.33	0.21	0.41	17.88	29.06
			5.6	210	0.1	10	2.18	0.31	0.1	0.1	2.5	3.5	74.12	3.99	0.95	0.15	0.18	7.1	15.33
28	5	3.8	5.7	140	0.94	63	2.81	0.77	0.1	0.1	13.5	23	33.33	3.74	0.82	0.09	0.3	14.85	9.59
			5.4	105	0.6	38	1.25	0.41	0.5	0.1	15	2.5	21.11	1.5	0.41	0.1	0.16	10.31	4.49
20	5	3.7	5.7	1050	0.73	108	11.54	5.08	0.1	26.5	2	49	53.53	12.97	5.22	0.13	0.64	35.43	12.01
			5.8	200	0.53	48	7.49	2.93	0.5	28	2.5	46	40	7.98	2.71	0.15	0.36	28.01	5.06
26	5	3.5	5.6	260	0.1	80	6.24	1.49	0.1	2.5	2	14	100	12.48	2.47	0.17	0.62	15.73	13.91
			5.7	295	0.1	43	2.18	0.93	0.1	1	4	9.5	90.55	6.24	1.64	0.23	0.36	9.36	14.12
29	5	1.7	5.8	195	68.1	98	5.62	1.08	0.5	0.5	20	16	25	5.99	1.23	0.09	0.36	30.67	4.21
			5.7	135	57.7	65	4.68	0.98	0.5	0.1	17.5	10.5	22.78	4.49	0.82	0.08	0.23	24.68	2.84
19	5	1	6	405	0.47	115	7.8	2.21	0.1	2	2.5	17	75.88	11.73	3.37	0.15	0.9	21.27	18.96
			6	160	0.47	48	5.62	1.18	0.1	1	1	11.5	65.29	7.73	1.56	0.14	0.31	14.92	13.06
4	4	4.5	5.2	515	0.1	40	4.68	0.93	0.1	1	1	15	63.89	5.99	1.27	0.13	0.23	11.93	22.12
			5.2	270	0.1	20	1.87	0.26	0.1	0.1	0.5	9	55	2	0.37	0.1	0.15	4.77	15.8
4	4	4.3	5.1	480	0.47	45	4.06	0.87	0.1	0.5	0.5	10	78.89	5.74	1.32	0.17	0.33	9.57	29.71
			5.4	245	0.1	33	0.94	0.15	0.1	0.1	0.5	3.5	53.89	1.25	0.29	0.15	0.21	3.5	18.33
4	4	4.2	5.6	500	0.1	35	7.49	1.7	0.1	1	0.5	10	68.89	10.23	2.51	0.17	0.38	19.3	20.23
			5.4	265	0.1	23	3.12	0.57	0.1	0.1	0.1	9.5	56.11	3.24	0.7	0.14	0.18	7.59	14.22
3	4	2.7	6.4	560	0.36	495	12.17	2.11	0	4.5	0	22	48.26	14.72	2.43	0.24	2.23	40.66	14.78
			6.3	300	0.01	200	12.48	1.39	0	3.5	0	13	46.96	14.22	1.52	0.23	1.05	36.25	12.88
18	4	2.1	4.5	475	1.76	25	4.37	1.28	0.1	0.5	15.5	15.5	38.82	5.49	1.69	0.27	0.31	19.97	7.77
			4.7	265	0.54	23	3.12	0.92	0.1	0.5	22.5	8.5	31.18	3.74	1.36	0.25	0.31	18.15	3.19
25	4	1.5	6.1	345	0.27	225	9.36	1.85	0.1	4	0.1	14	97.22	17.47	2.06	0.23	1.31	21.66	21.81
			6.1	225	0.1	90	5.62	1.29	0.1	2	0.5	9	88.89	7.73	1.23	0.2	0.56	10.95	14.22
11	4	1.4	5	255	0.33	70	2.5	0.67	0.5	1.5	9	20	40	2.74	0.74	0.1	0.46	10.13	13.27
			5.1	70	0.1	38	0.94	0.21	0.1	1	0.5	11.5	37.78	1.25	0.37	0.09	0.28	5.26	7.58
11	4	1.3	5.5	350	0.13	73	7.18	2.88	0.1	4	1	44	52.78	9.73	2.88	0.12	0.39	24.86	17.38
			5.6	105	0.1	30	3.12	1.18	0.5	1.5	0.5	27.5	45.55	3.99	1.23	0.1	0.17	12.05	9.27
5	4	1.3	5.3	520	0.14	20	5.3	1.08	0.1	1	1	7.5	92.35	8.73	2.34	0.14	0.28	12.45	22.68
			5.6	325	0.14	13	4.37	0.41	0.1	0.5	4	6.5	75.29	7.24	0.9	0.18	0.21	11.33	16.61
3	4	1.2	5.7	290	0.01	70	6.24	1.29	0	1	2	10.5	39.13	6.74	1.4	0.13	0.28	21.84	10.65
			5.9	110	0.01	28	4.68	0.77	0	0.5	0.5	7.5	33.91	4.24	0.78	0.21	0.13	15.8	8.04
5	4	1.2	5.2	580	0.1	30	4.99	0.98	0.1	1	2	8	75.47	7.73	2.01	0.34	0.36	13.66	21.72
			5.4	175	0.1	10	1.87	0.1	0.1	0.5	2	3.5	75.88	2.99	0.49	0.33	0.21	5.3	14.9
23	4	1.1	5.3	215	0.2	55	1.56	0.31	0.1	2	5	3.5	92.78	2.74	0.41	0.16	0.34	3.94	27.18
			5.6	150	0.1	28	0.62	0.05	0.1	1	2	1.5	80.55	1	0.41	0.18	0.14	2.15	16.43

Cont...

Cuadro 29. Análisis químico de los sitios muestreados por parcela a dos profundidades

Proy	Edad (años)	IMA Vol	pH	μS/cm	Ppm		Meq/100 ml		Ppm				Meq/100 gr				%		
				CE	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn	CIC	Ca	Mg	Na	K	SB	MO
18	4	1.1	5.3	355	2.1	38	9.36	2.11	0.1	1	16.5	12	38.23	10.98	2.75	0.26	0.33	37.47	7.03
			5.5	125	0.41	20	6.86	1.44	0.5	0.5	27	6.5	31.18	8.98	2.01	0.25	0.26	36.91	2.84
3	4	0.6	5.3	475	0.22	160	7.8	2.16	0	1.5	10	6.5	41.3	8.98	2.47	0.26	0.77	30.21	13.7
			5.5	115	0.01	40	5.93	1.34	0	0.5	7.5	3.5	32.17	5.99	1.23	0.23	0.18	23.71	5.33
3	4	0.6	5.7	440	0.01	75	10.62	1.85	0	1.5	1	15	40.43	12.72	2.1	0.25	0.36	38.17	11.09
			6	140	0.01	23	11.23	1.18	0	1	1.5	12	37.39	11.73	1.03	0.24	0.08	34.97	7.17
16	4	0.2	5.9	295	0.66	120	12.17	3.86	0.1	5	5	27.5	70	19.96	3.7	0.15	0.77	35.11	13.59
			5.7	280	0.1	33	7.18	2.31	1	3.5	9.5	34	56.67	9.23	2.06	0.27	0.2	20.75	4.42
5	3	5.2	6.1	420	0.1	170	7.49	1.18	0.1	1	0.1	14.5	71.76	12.97	2.38	0.28	1.26	23.54	12.99
			6.4	200	0.27	115	6.86	0.62	0.1	1	1	9	62.94	12.23	1.27	0.53	0.82	23.6	11.07
15	3	3.8	5.2	270	0.26	50	5.62	2	1	3.5	5	53.5	55.55	7.98	2.06	0.13	0.28	18.81	11.38
			5.2	85	0.1	20	3.12	1.03	2	3	17.5	37	44.44	4.24	0.82	0.16	0.18	12.15	1.64
5	3	3	5.6	610	0.41	135	9.26	2	0.1	2	1.5	14.5	87.06	14.47	3.82	0.38	0.87	22.46	23.32
			5.8	120	0.07	55	3.12	0.51	0.1	0.5	1.5	8	69.41	4.24	1.11	0.31	0.33	8.64	13.09
15	3	3	5.3	125	0.1	40	4.06	1.49	2.5	3.5	8.5	59.5	44.44	5.74	1.64	0.09	0.24	17.35	6.64
			5.2	100	0.1	15	1.56	1.03	3	1.5	15	43	40.55	4.24	1.23	0.09	0.13	14.04	2.34

REFERENCIAS

μS/cm	=	Micro siemens	Mg	=	Magnesio.	Ca	=	Calcio.
Ppm	=	Partes por millón	Cu	=	Cobre.	MO	=	Materia orgánica
Meq/100 ml	=	Miliequivalentes	Zn	=	Zinc.	P	=	Fósforo
Meq/100 gr	=	Miliequivalentes	Fe	=	Saturación de bases	Na	=	Sodio
%	=	Porcentaje	Mn	=	Manganeso.	K	=	Potasio
Prof	=	Profundidad	CIC	=	Capacidad de intercambio catiónico	Fe	=	Hierro
CE	=	Conductividad eléctrica						

En el Cuadro 29 se muestran los resultados obtenidos a nivel de laboratorio, de cada parcela evaluada en los diferentes proyectos a dos profundidades (0-20 cm y 20-40 cm), las cuales se presentan en forma ordenada en base al Incremento Medio Anual en Volumen y edad en forma descendente.

B. Evaluación general de la fertilidad del suelo por proyecto

Para una mejor interpretación del comportamiento de las distintas variables químicas evaluadas a las dos profundidades se presenta en forma resumida en el Cuadro 30, los rangos mínimos, medios y máximos de cada una de las variables a nivel de cada proyecto y a las dos profundidades evaluadas (0-20 cm y 20-40 cm).

Cuadro 30. Promedios de rangos de variación de la variables químicas por proyecto

Nombre proyecto	Prof (cm)	pH			CE			P			Cu			Zn			Fe			Mn		
		Min	Pro	Máx	Min	Pro	Máx	Min	Pro	Máx	Min	Pro	Máx	Min	Pro	Máx	Min	Pro	Máx	Min	Pro	Máx
Chapultepeq	0-20	5.8	6.3	6.8	255	396	595	0.01	0.38	0.86	0	0	0	1.5	2.75	5.5	0	2.38	7	14.5	28	29.5
	20-40	5.6	6.3	7.1	115	213	335	0.01	0.19	0.5	0	0	0	0.5	1.13	2	0	3.25	11	15	26.13	35.5
Santa Izabel	0-20	5.3	5.7	6.4	290	441	560	0.01	0.15	0.36	0	0	0	1	2.12	4.5	0	3.25	10	6.5	13.5	22
	20-40	5.5	5.9	6.3	110	166	300	0.01	0.01	0.01	0	0	0	0.5	1.38	3.5	0	2.38	7.5	3.5	9	13
Don Bosco	0-20	5.1	5.3	5.6	480	498	515	0.47	0.22	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	0.83	1	0.5	0.66	1	10	11.66	15
	20-40	5.2	5.3	5.4	245	260	270	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.37	0.5	3.5	7.33	9.5
Cooperativa	0-20	4.8	5.4	6.1	340	502	645	0.07	2.49	7.59	0.1	0.17	0.5	0.5	1.34	4	0.5	3.22	16.5	3.5	10.4	16.5
	20-40	5.1	5.5	6.4	120	206	325	0.07	2.46	7.79	0.1	0.14	0.5	0.1	0.57	2	0.5	3.24	26	2.5	5.53	10
Sasay	0-20	5.5	5.5	5.6	400	405	410	0.1	0.29	0.47	0.1	0.1	0.1	1	2.75	4.5	0.5	0.75	1	9.5	10.7	12
	20-40	5.8	5.8	5.8	260	2.63	265	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	2.2	4	0.1	0.1	0.1	7.8	8.9	10
Santa Cristina	0-20	5.5	5.8	6.1	320	340	360	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	1.5	1.75	2	0.1	0.3	0.5	8	9.75	11.5
	20-40	5.7	5.7	5.8	225	230	235	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	6	6.75	7.5
Julia Wellman	0-20	5	5.3	5.5	255	303	350	0.13	0.23	0.33	0.1	0.3	0.5	1.5	2.75	4	1	5	9	20	32	44
	20-40	5.1	5.4	5.6	70	87.5	105	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.5	1	1.25	1.5	0.5	0.5	0.5	11.5	19.5	27.5
Las Pacayas	0-20	5.2	5.3	5.3	125	198	270	0.1	0.18	0.26	1	1.75	2.5	3.5	3.5	3.5	5	6.75	8.5	53.5	56.5	59.5
	20-40	5.2	5.2	5.2	85	93	100	0.1	0.1	0.1	2	2.5	3	1.5	2.25	3	15	16.3	17.5	37	40	43
Com. Chicuz	0-20	5.9	5.9	5.9	295	295	295	0.66	0.66	0.66	0.1	0.1	0.1	5	5	5	5	5	5	27.5	27.5	27.5
	20-40	5.7	5.7	5.7	280	280	280	0.1	0.1	0.1	1	1	1	3.5	3.5	3.5	9.5	9.5	9.5	34	34	34
San José	0-20	4.5	5.5	7.6	355	541	685	0.41	1.22	2.1	0.1	0.2	0.5	0.5	1.63	3.5	0.5	19.1	44	3.5	11.88	16.5
	20-40	4.7	5.7	7.5	125	260	460	0.41	0.87	1.36	0.1	0.3	0.5	0.5	2.75	9	1	23.6	44	6.5	10.13	18.5
Roberto Iten	0-20	5.6	5.8	6	190	315	405	0.47	0.66	1.13	0.1	0.1	0.1	1.5	2.25	4	1.5	5.25	15	14	17.63	20
	20-40	5.7	5.9	6.1	120	149	175	0.47	0.6	0.86	0.1	0.1	0.1	0.5	0.75	1	1	4.38	14	11.5	12.63	14.5
Río Frio	0-20	5.3	5.6	6.1	495	715	1050	0.6	0.8	1.22	0.1	0.1	0.1	1.5	8	26.5	1.5	2.1	2.5	8	19.2	49
	20-40	5.5	5.9	6.3	140	207	270	0.07	0.35	0.53	0.1	0.36	1	0.5	2.1	28	1.5	1.8	3.5	3	14	46
Ram Tzul	0-20	5.3	5.3	5.3	215	215	215	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	2	2	2	5	5	5	3.5	3.5	3.5
	20-40	5.6	5.6	5.6	150	150	150	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	1	1	1	2	2	2	1.5	1.5	1.5
Aicsa	0-20	5.9	6	6.1	310	328	345	0.1	0.19	0.27	0.1	0.1	0.1	4	5	6	0.1	1.05	2	14	15.75	17.5
	20-40	5.9	6	6.1	225	228	230	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	1.5	1.75	2	0.5	0.5	0.5	7.5	8.25	9
Icagro	0-20	5.6	5.6	5.6	260	260	260	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	2.5	2.5	2.5	2	2	2	14	14	14
	20-40	5.7	5.7	5.7	295	295	295	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	1	1	1	4	4	4	9.5	9.5	9.5
Rogelio A.	0-20	5.7	5.7	5.7	140	140	140	0.94	0.94	0.94	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	13.5	13.5	13.5	23	23	23
	20-40	5.4	5.4	5.4	105	105	105	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.1	0.1	0.1	15	15	15	2.5	2.5	2.5
Edgar C.	0-20	5.8	5.8	5.8	195	195	195	68.1	68.1	68.1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	20	20	20	16	16	16
	20-40	5.7	5.7	5.7	135	135	135	57.7	57.7	57.7	0.5	0.5	0.5	0.1	0.1	0.1	17.5	17.5	17.5	10.5	10.5	10.5

Cont...

Cuadro 30. Promedios de rangos de variación de las variables químicas por proyecto

Nombre proyecto	Prof (cm)	CIC			Ca			Mg			Na			K			% SB			% MO		
		Min	Prom	Máx	Min	Prom	Máx	Min	Prom	Máx	Min	Prom	Máx	Min	Prom	Máx	Min	Prom	Máx	Min	Prom	Máx
Chapultepec	0-20	20	31	43	1.7	12	21	2.5	5.2	10.7	0.17	0.20	0.25	0.33	0.43	0.64	43	63	74	6.4	8.8	12.3
	20-40	21	28	40	3.7	11	19	2.3	3.7	7.4	.17	0.19	0.22	0.21	0.27	0.36	29	53	68	3.6	5.9	9.13
Santa Izabel	0-20	39	42	48	6.7	11	15	1.4	2.1	2.5	0.13	0.22	0.26	0.28	0.91	2.23	22	33	41	11	13	15
	20-40	33	38	47	4.2	9	14	0.8	1.1	1.5	0.21	0.23	0.24	0.08	0.36	1.05	16	28	36	5.3	8.4	12.9
Don Bosco	0-20	64	71	79	5.7	7.3	16	1.3	1.7	2.5	0.13	0.16	0.17	0.23	0.31	0.38	10	14	19	20	24	30
	20-40	32	55	56	1.3	2.2	3.2	0.7	0.5	0.37	0.1	0.13	0.15	0.15	0.18	0.21	3.5	5.3	7.6	14	16	18
Cooperativa	0-20	39	79	100	3.8	9.9	14	0.8	2.4	3.9	0.11	0.20	0.49	0.18	0.44	1.26	6.4	17	37	10	20	29.4
	20-40	37	67	89	1.5	6.24	14.2	0.3	1	2.47	0.1	0.19	0.53	0.11	0.26	0.82	2.6	12	27	3.1	12	18
Sasay	0-20	57	63	68	5.5	6.01	6.49	1.4	1.4	1.48	0.1	0.11	0.13	0.13	0.24	0.36	10	12	14	20	21	21
	20-40	57	59	61	3.9	4.11	4.24	0.8	0.8	0.82	0.1	0.12	0.13	0.08	0.18	0.28	8.6	8.9	9.3	15	16	17
Santa Cristina	0-20	60	61	63	6.5	7.36	8.23	1.8	2.3	2.84	0.09	0.1	0.11	0.15	0.21	0.26	14	16	18.9	17	17	18
	20-40	52	54	56	3.4	4.12	4.74	0.8	1.2	1.56	0.1	0.11	0.12	0.1	0.19	0.28	5.3	8.5	11.6	7.6	10	12.6
Julia Wellman	0-20	40	46	53	2.7	6.24	9.7	0.7	1.8	2.88	0.1	0.11	0.12	0.39	0.43	0.46	10	18	24.5	13	15	17.3
	20-40	38	42	46	1.3	2.62	3.99	0.3	0.8	1.23	0.09	0.09	0.1	0.17	0.23	0.28	5.3	8.7	12	58	8	9
Las Pacayas	0-20	44	50	56	5.7	6.9	7.98	1.6	1.9	2.06	0.09	0.11	0.13	0.24	0.26	0.28	17	18	18.8	6.6	9	11
	20-40	41	42	44	4.2	4.24	4.24	0.8	1	1.23	0.09	0.13	0.16	0.13	0.16	0.18	12	13	14	1.6	1.9	2.34
Com. Chicuz	0-20	70	70	70	20	20	20	3.7	3.7	3.7	0.15	0.15	0.15	0.77	0.77	0.77	35	35	35	14	14	14
	20-40	57	57	57	9.2	9.2	9.2	2	2	2	0.27	0.27	0.27	0.2	0.2	0.2	21	21	21	4.4	4.4	4.4
San José	0-20	24	36.6	45	5.5	12.1	26	1.7	4.6	11.9	0.23	0.25	0.27	0.31	0.34	0.36	20	44	85.5	4.9	7.2	8.9
	20-40	19	29.9	38	3.7	8.73	17.2	1.4	3.4	8.35	0.13	0.22	0.25	0.26	0.29	0.31	18	40	69	1.4	3.3	5.8
Roberto Iten	0-20	45	61.5	75.8	11	11	11.8	2.3	3.1	3.5	0.13	0.15	0.17	0.44	0.68	0.9	21	25	30.8	17	18	19
	20-40	31	51	65	3.9	6.11	8.7	1.2	1.3	1.56	0.14	0.16	0.18	0.15	0.23	0.31	10	17	33.3	4.5	9.5	13
Río Frio	0-20	54	65.8	85	6.5	9.63	12.9	1.5	3.4	5.22	0.12	0.13	0.17	0.64	1.10	1.05	13	23	35	8.8	17	24
	20-40	40	5.86	72.4	2.7	5.04	7.98	0.7	1.6	2.71	0.1	0.14	0.17	0.18	0.61	1.77	6.8	16	28	3.2	8.8	14.5
Ram Tzul	0-20	93	93	93	2.7	2.7	2.7	0.4	0.4	0.4	0.16	0.16	0.16	0.34	0.34	0.34	3.9	3.9	3.9	27	27	27
	20-40	81	81	81	1	1	1	0.4	0.4	0.4	0.18	0.18	0.18	0.14	0.14	0.14	2.2	2.2	2.2	16	16	16
Aicsa	0-20	94	85.5	97	17	18.7	20	1.8	1.9	2.06	0.21	0.22	0.23	1.08	1.20	1.31	22	24	26	22	24	27
	20-40	83	56.1	88	7.7	10.1	12.9	1.2	1.4	1.64	0.15	0.18	0.2	0.56	0.64	0.72	11	14	18	14	20	26
Icagro	0-20	100	100	100	12	12	12	2.4	2.4	2.4	0.17	0.17	0.17	0.62	0.62	0.62	16	16	16	14	14	14
	20-40	91	91	91	6.2	6.2	6.2	1.6	1.6	1.6	0.23	0.23	0.23	0.36	0.36	0.36	9.4	9.4	9.4	14	14	14
Rogelio A.	0-20	33	33	33	3.7	3.7	3.7	0.8	0.8	0.8	0.09	0.09	0.09	0.3	0.3	0.3	15	15	15	10	10	10
	20-40	21	21	21	1.5	1.5	1.5	0.4	0.4	0.4	0.1	0.1	0.1	0.16	0.16	0.16	10	10	10	4.5	4.5	4.5
Edgar C.	0-20	25	25	25	5.9	5.9	5.9	1.2	1.2	1.2	0.09	0.09	0.09	0.36	0.36	0.36	31	31	31	4.2	4.2	4.2
	20-40	23	23	23	4.5	4.5	4.5	0.8	0.8	0.8	0.08	0.08	0.08	0.23	0.23	0.23	25	25	25	2.8	2.8	2.8

Para determinar los rangos de fertilidad que presentan los suelos de la región, en base a las distintas variables químicas evaluadas se tomó como referencia los Cuadro 31 y 32.

Dvorak et al (19) mencionan que no están disponibles los requerimientos nutricionales para esta especie.

Cuadro 31. Rango de valores de las propiedades químicas del suelo

VARIABLE	Rango de valores						
	Extremamente Bajo	Muy Bajo	Bajo	Ligeramente bajo	Adecuado	Ligeramente Alto	Alto
Fósforo (P) µg / ml Microgramos / mililitros (ppm)	< 1	1 - 2	3 - 6.1	7 - 12	12 - 18	12 - 18	18
Potasio (K) µg / ml Microgramos / mililitros (ppm)	< 40	40 - 60	60 - 80	80 - 100	100 - 120	120 - 150	150
Calcio (Ca) meq / 100 ml	< 1	1 - 2	3 - 4	4 - 6	6 - 8	8 - 12	12
Magnesio meq / 100 ml		0.6	0.6 - 1		1 - 2		2 - 4
Cobre (Cu) ppm			2				3
Zinc (Zn) ppm							4-6
Hierro (Fe) ppm						10 - 15	> 15
Manganeso (Mn) ppm						10 - 15	> 15
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) meq / 100g	< 5	5 - 10	10 - 15	15 - 20	20 - 25	25 - 30	> 30
Porcentaje de Saturación de Bases (%SB)	< 20	20 - 40	40 - 60	60 - 80	80 - 90	> 90	
Porcentaje de materia Orgánica (% MO)	< 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 8	> 8
Sodio (Na) meq / 100 g	0 - 2			2 - 4	< 15		> 16
Conductividad Eléctrica (CE) µs/cm					< 2		

Fuente: Laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía

Cuadro 32. Rango de valores del pH del suelo

pH	Evaluación agronómica
< 4.5	Extremadamente ácido
4.5 - 5.0	Fuertemente ácido
5.1 - 5.5	Moderadamente ácido
5.6 - 6.0	Ligeramente ácido
6.1 - 7.2	Neutro
7.3 - 7.8	Moderadamente alcalino
7.9 - 8.4	Fuertemente alcalino
> 8.5	Extremadamente alcalino

Fuente: Laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía

El pH en los sitios muestreados especialmente en el proyecto San José, es fuertemente ácido, así mismo presenta un rango moderadamente alcalino en los demás proyectos.

Esta variable es una propiedad que influye tanto en las características químicas como físicas del suelo, así mismo tiene un fuerte impacto sobre la vida microbiana. El exceso de nutrimentos puede llevar a fenómenos de toxicidad en las plantas, las condiciones para que ocurran tales excesos puede ser causadas por reacciones fuertemente ácidas de los suelos. El cual está influenciado por los altos contenidos de materia orgánica, ya que las bases intercambiables (Ca, Mg) se encuentran en un 80%

adecuado en la mayoría de los proyectos, no así para el potasio (K) el cual se encuentra bajo en la mayor parte de los mismos, de acuerdo a los rangos establecidos para este elemento.

El pH en forma general establece que los valores máximos y mínimos de la mayor parte de proyectos evaluados muestreados, se encuentran dentro del rango óptimo para los pinos que es de 4.5 a 6.5 según Davey (1983) citado por Revolorio (47).

Según Pritchett (45), la mayor parte de los suelos forestales van de moderado a extremadamente ácidos, como resultado de la liberación de ácidos orgánicos.

Así mismo Dvorak et al (19) mencionan que el valor medio del pH de los suelos de esta zona de vida es de aproximadamente 5.7, pero pueden ser tan altos como 7.0 (Dulce Nombre de Copán, Honduras).

En base al porcentaje de materia orgánica acumulada en el suelo se observa que los proyectos de Edgar Cuéllar, San José, Las Pacayas, y Chapultepeq, poseen a nivel de promedio un porcentaje relativamente bajo de materia orgánica, lo cual dificulta la disponibilidad de nutrientes y disminuye las propiedades físicas y químicas del suelo.

Los proyectos que poseen un promedio de Capacidad de Intercambio Catiónico -CIC- altos, son los que poseen un porcentaje de materia orgánica muy altos, como lo muestra el proyecto Don Bosco, Cooperativa Chirrepec, Sasay, Roberto Iten, Río frío y Aicsa Muralles.

En forma general se establece que los suelos de los diferentes proyectos muestreados poseen una fertilidad potencial alta como lo muestran los valores elevados de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), esto debido en gran medida por los altos contenidos de materia orgánica los cuales oscilan en un rango promedio de 16.56%.

Para Dvorak et al (19) ningún tipo de suelos define la distribución del *Pinus maximinoi*.

Las fracciones disponibles de los nutrientes de fósforo, potasio, calcio y magnesio se encuentran generalmente muy altos en la superficie de la mayoría de los proyectos evaluados debido a los altos contenidos de materia orgánica.

Thomson y Jerran (58) mencionan que un suelo rico en materias orgánicas puede contener una gran proporción de bases intercambiables y seguir siendo de carácter ácido.

Este fenómeno se debe a que precisamente es en las capas superficiales donde se da la acumulación y descomposición de la materia orgánica tal y como lo menciona Coile (1952) citado por Revolorio (47), la materia orgánica es un reservorio de nutrientes esenciales para la planta, lo cual indica que gran cantidad de la actividad microbiana y el contenido de nutrientes, está en función de los aportes de la materia orgánica depositadas en las capas superficiales. La saturación de bases (%SB) es baja, como consecuencia de los valores altos de la -CIC-.

Existe una excesiva acumulación de fósforo en el proyecto de Edgar Cuéllar como se muestra en el Cuadro 30, esto posiblemente se debe a que en el pasado se asoció la plantación con cultivos agrícolas anuales como maíz principalmente, lo que implicó una acumulación de fertilizante fosfatado en el suelo a la hora de fertilizar el cultivo, según se evidenció en el campo por algunos cultivos existen y en el análisis del laboratorio.

La región de las Verapaces, específicamente el área que ocupa la zona de vida bosque muy húmedo subtropical frío (f) bmh-S(f), posee un valor promedio de porcentaje de materia orgánica de 16.56% a una profundidad de 20 cm, mientras que a una profundidad de 40 cm se reporta un valor de 14.04%. Núñez (39) reporta que los suelos de Cobán tienen un porcentaje de materia orgánica del 6% en el horizonte superficial, lo que representa un dato relativamente bajo, comparado con los obtenidos en esta investigación y en las áreas muestreadas.

Dvorak et al (19) citan a Donahue (1988) donde menciona que los suelos de los bosques húmedos subtropicales son caracterizados por 6 a 10 cm de capa orgánica, son suelos fértiles.

C. Comportamiento gráfico de diferentes variables químicas del suelo

Para comprender mejor el comportamiento de las diferentes variables evaluadas a nivel del suelo a dos profundidades se presenta a continuación la relación significativa de las variables relacionadas como se establece en la metodología a nivel de la Región.

En la Figura 2 se muestra la relación que tiene la Capacidad de Intercambio Catiónico -CIC- con el porcentaje de materia orgánica a la profundidad de 0-20 cm.

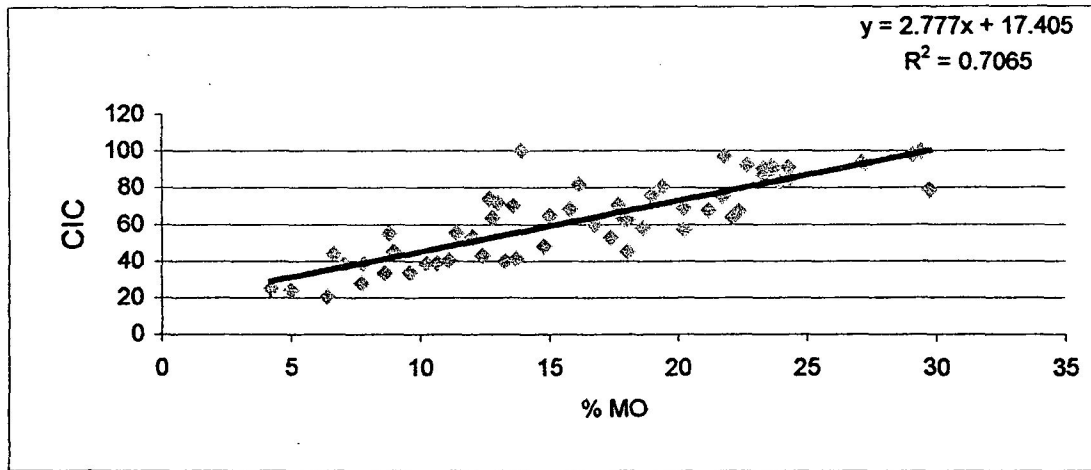


Figura 2. Relación materia orgánica Vrs CIC a 0-20 cm de profundidad.

En base a la Figura 2 se establece que a mayor porcentaje de materia orgánica, mayor será la Capacidad de Intercambio de Cationes, lo que favorece en la disponibilidad de bases intercambiables que son fundamentales para el desarrollo de las plantas.

En la Figura 3 se muestra la relación del Calcio con el Magnesio a una profundidad de 0-20 cm.

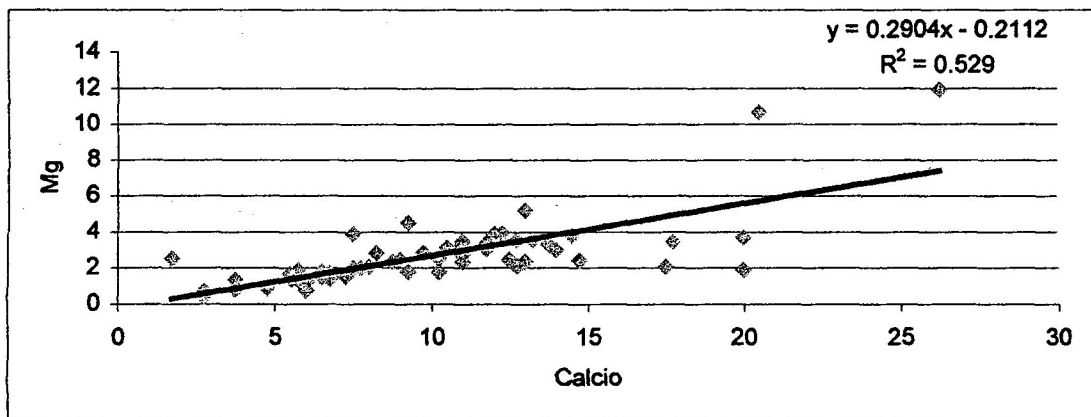


Figura 3. Relación Calcio Vrs Magnesio a 0-20 cm de profundidad.

En la Figura 3 se muestra que el Magnesio está estrechamente relacionado con el Calcio; lo cual por ser bases intercambiables son de gran utilidad para las plantas para el desarrollo adecuado.

En la Figura 4 se muestra la relación que posee la arcilla, con respecto a la -CIC-

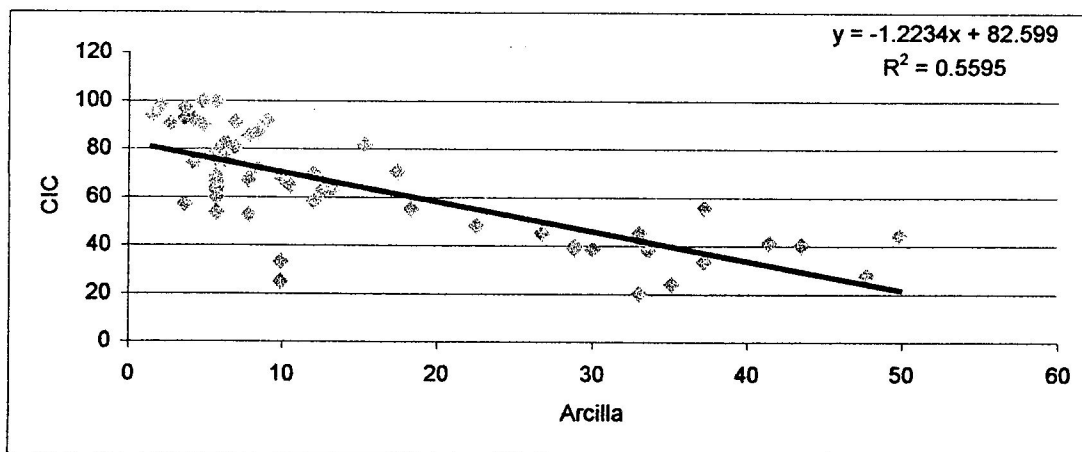


Figura 4. Relación arcilla Vrs CIC a 0-20 cm de profundidad.

En la Figura 4 se muestra que a menor contenido de arcilla la CIC es mayor, lo cual muestra que los altos contenidos de Capacidad de Intercambio Catiónico, se deben principalmente al contenido de materia orgánica.

En la Figura 5 se muestra el comportamiento que obtuvo la arcilla con relación a la CIC a una profundidad de 20-40 cm.

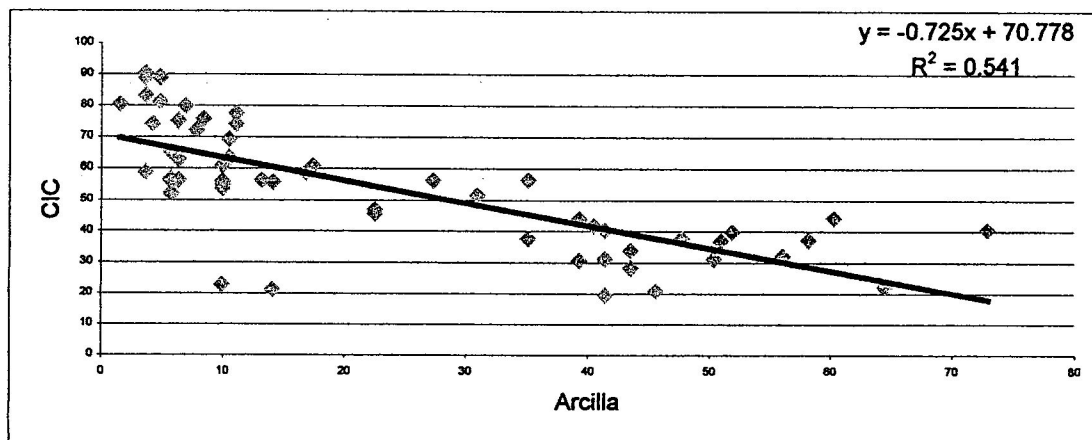


Figura 5. Relación arcilla Vrs CIC a 20-40 cm de profundidad.

El comportamiento de la arcilla que se muestra en la Figura 5 a una profundidad de 20-40 cm muestra la tendencia similar del comportamiento a la profundidad de 0-20 cm. Con un valor de R^2 de 0.54 indica que a menor cantidad de arcilla la CIC es mayor.

En la Figura 6 se relaciona el porcentaje de materia orgánica con la Capacidad de Intercambio Catiónico -CIC-.

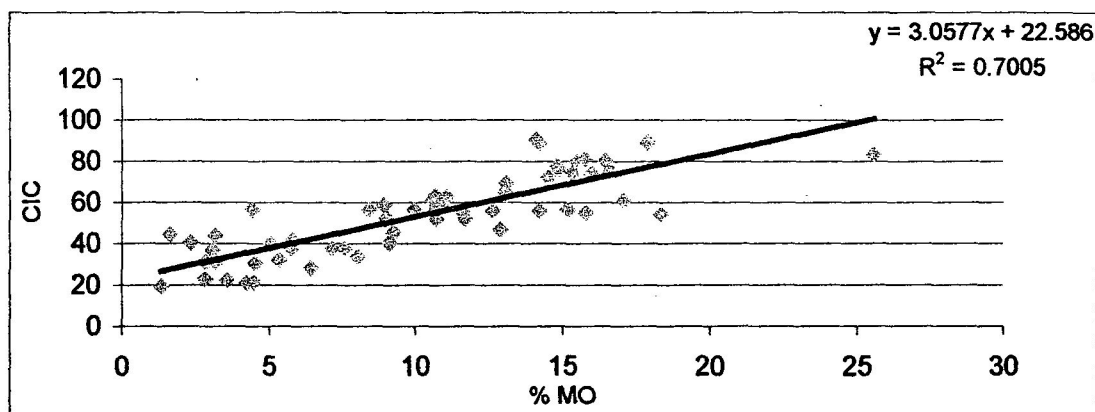


Figura 6. Relación del porcentaje de materia orgánica Vrs CIC a 20-40 cm

La Figura 6 presenta el mismo comportamiento con relación a la profundidad de 0-20cm, donde se muestra que a mayor porcentaje de materia orgánica, la Capacidad de Intercambio Catiónico es mayor con un R^2 de 0.70, lo cual nos indica que los proyectos con un valor elevado de -CIC- contienen un porcentaje mayor de materia orgánica.

D. Análisis físicos de las muestras de suelos

En el Cuadro 33 se presentan los resultados obtenidos del análisis físico de los suelos muestreados.

Cuadro 33. Análisis físico de los sitios muestreados por parcela

Descripción del sitio			Edad (años)	IMA Vol	Prof (cm)	COLOR				%			CLASE TEXTURAL
Proyecto	Lote	ppm				SECO	HÚMEDO		Arcilla	Limo	Arena		
5	1	9	6	15.5	0-20	10YR	3/2	10YR	2/2	13.19	21	65.81	Franco arenoso
					20-40	10YR	3/3	10YR	3/1	40.49	21	38.51	Arcilloso
5	1	2	6	14.9	0-20	10YR	3/3	10YR	3/1	15.29	33.6	51.11	Franco
					20-40	10YR	3/2	10YR	2/1	11.09	29.4	59.51	Franco arenoso
18	3	1	6	14.6	0-20	10YR	3/1	10YR	2/1	35.11	34.19	30.7	Franco arcilloso
					20-40	10YR	3/1	10YR	2/1	41.41	27.89	30.7	Arcilloso
19	2	3	6	12	0-20	10YR	3/2	10YR	2/1	5.71	21	73.29	Franco arenoso
					20-40	10YR	3/3	10YR	2/2	5.71	16.8	77.49	Arena franca
18	3	2	6	9.2	0-20	10YR	3/3	10YR	2/2	33.01	32.09	34.9	Franco arcilloso
					20-40	10YR	3/4	10YR	2/2	35.11	24.44	40.44	Franco arcilloso
5	1	7	6	8.7	0-20	10YR	3/1	10YR	2/1	8.99	18.9	72.11	Franco arenoso
					20-40	10YR	3/1	10YR	2/1	11.09	14.7	74.21	Franco arenoso
19	2	1	6	5.7	0-20	10YR	3/2	10YR	2/1	12.01	22.34	65.64	Franco arenoso
					20-40	10YR	3/3	10YR	2/2	14.11	20.24	65.64	Franco arenoso
5	1	10	6	5.4	0-20	10YR	5/1	10YR	3/1	29.99	31.5	38.51	Franco arcilloso
					20-40	10YR	5/3	10YR	4/3	50.99	21	28.01	Arcilloso
5	1	5	6	5	0-20	10YR	3/3	10YR	3/1	6.89	16.8	76.31	Arena franca
					20-40	10YR	4/3	10YR	3/1	13.19	14.7	72.11	Franco arenoso

Cont...

Cuadro 33. Análisis físico de los sitios muestreados por parcela

Descripción del sitio			Edad (años)	IMA Vol	Prof (cm)	COLOR				%			Clase textural
Proyecto	Lote	ppm				SECO	HÚMEDO		Arcilla	Limo	Arena		
5	1	1	6	4.4	0-20	10YR 3/3	10YR 2/1	17.39	16.8	65.81	Franco arenoso		
					20-40	10YR 4/3	10YR 2/2	17.39	21	61.61	Franco arenoso		
20	2	3	5	21.1	0-20	10YR 3/3	10YR 2/2	7.81	32.09	60.1	Franco arenoso		
					20-40	10YR 3/2	10YR 2/1	3.61	13.19	83.2	Arena franca		
20	1	1	5	20.2	0-20	10YR 4/3	10YR 2/2	18.31	28.64	53.04	Franco arenoso		
					20-40	10YR 3/4	10YR 3/3	39.31	15.29	45.4	Arcillo arenoso		
7	1	2	5	16	0-20	10YR 3/2	10YR 2/1	3.61	25.2	71.19	Franco arenoso		
					20-40	10YR 3/2	10YR 2/1	5.71	18.9	75.39	Arena franca		
1	1	4	5	15.5	0-20	10YR 3/2	10YR 2/1	37.21	21	41.79	Franco arcilloso		
					20-40	10YR 3/2	10YR 2/1	43.51	21	35.49	Arcilloso		
8	1	2	5	15.2	0-20	10YR 3/3	10YR 3/1	5.71	16.8	77.49	Arena franca		
					20-40	10YR 3/2	10YR 2/1	5.71	16.8	77.49	Arena franca		
5	2	3	5	13	0-20	10YR 3/2	10YR 2/1	2.69	25.2	72.11	Arena franca		
					20-40	10YR 3/2	10YR 2/1	4.79	21	74.21	Arena franca		
25	2	1	5	12.9	0-20	10YR 4/1	10YR 2/1	1.51	18.14	80.34	Arena franca		
					20-40	10YR 4/3	10YR 3/2	3.61	11.84	84.54	Arena franca		
20	2	6	5	12.7	0-20	10YR 3/3	10YR 2/1	7.81	30.74	61.44	Franco arenoso		
					20-40	10YR 3/3	2.5YR 2/0	7.81	22.34	69.84	Franco arenoso		
20	2	4	5	12.2	0-20	10YR 3/3	10YR 2/1	9.91	28.64	61.44	Franco arenoso		
					20-40	10YR 3/2	10YR 2/1	30.91	26.54	42.54	Franco arcillo arenoso		
5	2	1	5	9.2	0-20	10YR 3/2	10YR 2/1	6.89	27.3	65.81	Franco arenoso		
					20-40	10YR 3/2	10YR 2/1	6.89	21	72.11	Franco arenoso		
1	1	3	5	8.2	0-20	10YR 3/3	10YR 2/2	47.71	16.8	35.49	Arcilloso		
					20-40	10YR 4/4	10YR 3/4	64.51	8.4	27.09	Arcilloso		
1	1	5	5	8.1	0-20	10YR 4/2	10YR 2/2	33.01	25.2	41.79	Franco arcilloso		
					20-40	10YR 4/4	10YR 3/4	45.61	18.9	35.49	Arcilloso		
5	2	2	5	7.9	0-20	10YR 3/3	10YR 2/1	4.79	27.3	67.91	Franco arenoso		
					20-40	10YR 4/3	10YR 3/1	4.79	18.9	76.31	Arena franca		
5	2	4	5	7.9	0-20	10YR 3/3	10YR 2/2	4.79	16.8	78.41	Arena franca		
					20-40	10YR 3/3	10YR 2/2	4.79	14.7	80.51	Arena franca		
8	1	1	5	7.8	0-20	10YR 4/2	10YR 3/2	5.71	18.9	75.39	Franco arenoso		
					20-40	10YR 4/3	10YR 3/2	5.71	18.9	75.39	Franco arenoso		
19	1	1	5	7.5	0-20	10YR 5/2	10YR 3/1	26.71	28.64	44.64	Franco		
					20-40	10YR 6/4	10YR 3/4	39.31	26.54	34.14	Franco arcilloso		
5	2	8	5	6.8	0-20	10YR 3/2	10YR 2/1	6.3	16.8	76.9	Arena franca		
					20-40	10YR 4/3	10YR 3/1	10.5	12.6	76.9	Franco arenoso		
5	2	6	5	6.5	0-20	10YR 3/2	10YR 2/1	12.6	10.5	76.9	Franco arenoso		
					20-40	10YR 4/2	10YR 3/2	27.3	14.7	58	Franco arcillo arenoso		
1	1	1	5	5.6	0-20	10YR 3/1	10YR 2/1	33.01	14.7	52.29	Franco arenoso		
					20-40	10YR 3/1	10YR 2/1	41.41	14.7	43.89	Arcillo arenoso		
7	1	3	5	5.3	0-20	10YR 3/2	10YR 2/1	7.81	27.3	64.89	Franco arenoso		
					20-40	10YR 3/2	10YR 2/1	9.91	18.9	71.19	Franco arenoso		
5	2	9	5	5.2	0-20	10YR 3/2	10YR 2/1	10.5	14.7	74.8	Franco arenoso		
					20-40	10YR 3/4	10YR 3/3	16.8	14.7	68.5	Franco arenoso		

Cont...

Cuadro 33. Análisis físico de los sitios muestreados por parcela

Descripción del sitio			Edad (años)	IMA Vol	Prof (cm)	COLOR			%			CLASE TEXTURAL
Proyecto	Lote	ppm				SECO	HÚMEDO	Arcilla	Limo	Arena		
5	2	5	5	5.1	0-20	10YR 4/2	10YR 3/2	4.2	21	74.8	Arena franca	
					20-40	10YR 4/2	10YR 3/2	6.3	14.7	79	Arena franca	
5	2	7	5	4.7	0-20	10YR 3/2	10YR 2/1	2.1	16.8	81.1	Arena franca	
					20-40	10YR 3/3	10YR 2/2	4.2	12.6	83.2	Arena franca	
28	1	1	5	3.8	0-20	10YR 5/3	10YR 4/3	9.91	20.24	69.84	Franco arenoso	
					20-40	10YR 5/4	10YR 4/4	14.11	24.44	61.44	Franco arenoso	
20	1	5	5	3.7	0-20	10YR 3/1	10YR 2/1	5.71	18.14	76.14	Franco arenoso	
					20-40	10YR 2/2	10YR 2/1	51.91	18.14	29.94	Arcilloso	
26	1	1	5	3.5	0-20	10YR 4/2	10YR 3/1	5.71	20.24	74.04	Franco arenoso	
					20-40	10YR 4/4	10YR 3/2	3.61	13.19	83.2	Arena franca	
29	1	1	5	1.7	0-20	10YR 5/3	10YR 4/1	9.91	17.39	72.7	Franco arenoso	
					20-40	10YR 5/2	10YR 4/2	9.91	19.49	70.6	Franco arenoso	
19	1	2	5	1	0-20	10YR 3/2	10YR 2/1	5.71	33.6	60.69	Franco arenoso	
					20-40	10YR 3/3	10YR 2/2	5.71	21	73.29	Franco arenoso	
4	2	1	4	4.5	0-20	10YR 3/2	10YR 2/1	5.71	21	73.29	Franco arenoso	
					20-40	10YR 3/2	10YR 2/1	9.91	18.9	71.19	Franco arenoso	
4	2	2	4	4.3	0-20	10YR 3/1	10YR 2/1	5.71	23.1	71.19	Franco arenoso	
					20-40	10YR 3/1	10YR 2/1	9.91	12.6	77.49	Franco arenoso	
4	2	3	4	4.2	0-20	10YR 3/3	10YR 3/1	5.71	23.1	71.19	Franco arenoso	
					20-40	10YR 3/3	10YR 2/2	9.91	18.9	71.19	Franco arenoso	
3	2	1	4	2.7	0-20	10YR 3/3	10YR 3/1	22.51	27.3	50.19	Franco arenoso	
					20-40	10YR 3/3	10YR 3/1	22.51	21	56.4	Franco arenoso	
18	2	2	4	2.1	0-20	10YR 5/3	10YR 3/3	28.81	34.94	36.24	Franco arcilloso	
					20-40	10YR 7/4	10YR 4/3	41.41	27.89	30.7	Arcilloso	
25	1	1	4	1.5	0-20	10YR 4/2	10YR 3/1	3.61	21.59	74.8	Arena franca	
					20-40	10YR 4/3	10YR 3/1	3.61	20.24	76.14	Arena franca	
11	1	1	4	1.4	0-20	10YR 4/3	10YR 3/3	28.81	14.7	56.49	Franco arcillo arenoso	
					20-40	10YR 4/3	10YR 4/3	47.71	10.5	41.79	Arcilloso	
11	1	2	4	1.3	0-20	10YR 3/3	10YR 3/3	7.81	13.19	79	Arena franca	
					20-40	10YR 4/3	10YR 3/3	22.51	11.09	66.4	Franco arcillo arenoso	
5	3	1	4	1.3	0-20	10YR 3/2	10YR 2/1	4.2	16.8	79	Arena franca	
					20-40	10YR 3/3	10YR 2/2	6.3	16.8	76.9	Arena franca	
3	2	2	4	1.2	0-20	10YR 4/2	10YR 2/2	28.81	18.9	52.29	Franco arenoso	
					20-40	10YR 4/3	10YR 3/2	43.51	16.8	39.69	Arcilloso	
5	3	2	4	1.2	0-20	10YR 3/3	10YR 2/2	6.3	18.9	74.8	Arena franca	
					20-40	10YR 4/3	10YR 2/2	8.4	18.9	72.7	Franco arenoso	
23	1	1	4	1.1	0-20	10YR 3/3	10YR 3/1	3.61	11.09	85.3	Arena franca	
					20-40	10YR 4/3	10YR 4/3	1.51	4.79	93.7	Arena	
18	2	1	4	1.1	0-20	10YR 4/3	10YR 3/1	33.6	31.5	34.9	Franco arcilloso	
					20-40	10YR 5/4	10YR 3/4	50.4	27.3	22.3	Arcilloso	
3	2	8	4	0.6	0-20	10YR 4/2	10YR 3/2	41.41	16.8	41.79	Arcilloso	
					20-40	10YR 5/3	10YR 4/3	56.11	12.6	31.29	Arcilloso	
3	2	7	4	0.6	0-20	10YR 3/1	10YR 2/1	43.51	18.9	37.59	Arcilloso	
					20-40	10YR 4/3	10YR 3/2	58.21	12.6	29.19	Arcilloso	

Cont...

Cuadro 33. Análisis físico de los sitios muestreados por parcela

Descripción del sitio			Edad (años)	IMA Vol	Prof (cm)	COLOR				%			Clase textural
Proyecto	Lote	ppm				SECO	HÚMEDO	Arcilla	Limo	Arena			
16	2	1	4	0.2	0-20	10YR 4/2	10YR 2/1	12.01	17.39	70.6	Franco arenoso		
					20-40	10YR 3/2	10YR 3/2	35.11	8.99	55.9	Arcillo arenoso		
5	4	2	3	5.2	0-20	10YR 5/3	10YR 3/3	8.4	25.2	66.4	Franco arenoso		
					20-40	10YR 6/4	10YR 3/4	6.3	18.9	74.8	Arena franca		
15	1	2	3	3.8	0-20	10YR 2/2	10YR 2/1	37.21	15.29	47.5	Arcillo arenoso		
					20-40	10YR 4/3	5YR 3/3	60.31	4.79	34.9	Arcilloso		
5	4	1	3	3	0-20	10YR 3/2	10YR 2/1	8.4	21	70.6	Franco arenoso		
					20-40	10YR 3/2	10YR 2/1	10.5	12.6	76.9	Franco arenoso		
15	1	1	3	3	0-20	5YR 3/3	5YR 3/2	49.81	19.49	30.7	Arcilloso		
					20-40	10YR 4/4	10YR 4/2	72.91	7.64	19.44	Arcilloso		

REFERENCIAS

10YR 3/3 = Pardo oscuro 10YR 2/1 = Negro 10YR 6/4 = Pardo amarillento claro
 10YR 4/3 = Pardo oscuro 10YR 3/1 = Gris muy oscuro 10YR 3/2 = Pardo grisáceo muy oscuro
 10YR 5/3 = Pardo 10YR 4/2 = Pardo grisáceo oscuro 10YR 3/4 = Pardo amarillento oscuro
 10YR 5/1 = Gris 10YR 2/2 = Pardo muy oscuro

Se observa en el Cuadro 33 que la clase textural predominante es la franca arenosa o arena franca. Un número reducido de sitios muestreados presenta una clase textural arcillosa.

Dvorak et al (19), mencionan que en base a estudios realizados en Brasil, Colombia, Suráfrica y Zimbabwe, el *Pinus maximinoi* prefiere suelos arenosos, que suelos arcillosos, debido a que drenan bien. Así mismo mencionan que la especie ha fallado en Suráfrica cuando está plantada en arenas costeras y en Venezuela cuando está establecida en la elevación de 150 msnm en las arcillas pesadas con estaciones secas largas de siete meses.

En forma general se establece que la mayor parte de los proyectos evaluados presentan un buen drenaje, debido a la clase textural predominante. Plaster (44) establece que en un suelo bien drenado, el exceso de agua deja la zona radicular lo suficientemente rápido como para que las raíces no sufran pérdidas de oxígeno.

Los suelos por lo general son oscuros como se muestra en el Cuadro 33, debido al alto contenido de materia orgánica. Según Plaster (44) los colores del suelo oscuro resultan de la materia orgánica o de materiales originales.

Dvorak et al (19), determinaron que estos suelos son predominantemente Inceptisoles y Alfisoles, debido al buen drenaje que poseen y la fertilidad alta, es buscado a menudo por los cultivadores de café.

Para interpretar mejor el comportamiento de las variables físicas de los suelos se procedió a determinar los rangos mínimos, medios y máximos del promedio de las distintas parcelas muestreadas como se observa en el Cuadro 34.

Cuadro 34. Rangos generales para factores físicos del suelo

Profundidad (cm)	% arcilla			% limo			% arena		
	Mínimo	Medio	Máximo	Mínimo	Medio	Máximo	Mínimo	Medio	Máximo
0 - 20	1.51	20.62	72.91	4.79	21.06	34.94	19.44	64.9	93.7
20 - 40	1.51	21.44	72.91	4.79	19.81	34.94	22.3	64.45	93.7

En el Cuadro 34 se puede observar que el color se torna más claro al aumentar la profundidad del suelo, esto debido a que es en las capas superficiales donde se acumula la materia orgánica y disminuye la misma al aumentar la profundidad, aunque dicho comportamiento no sea igual para todos los suelos. Existe una mayor proporción de arena en los suelos en relación a la arcilla y al contenido de limo.

7.2. CONSTRUCCIÓN DE MODELOS DE PREDICCIÓN DEL CRECIMIENTO INICIAL DE *Pinus maximinoi* EN BASE A LAS VARIABLES FISIAGRÁFICAS Y EDÁFICAS

Se presenta en forma resumida las diferentes variables edáficas y fisiográficas que influyen significativamente con el crecimiento inicial de las plantaciones en base a la metodología establecida. En principio se trató de construir un modelo tomando en cuenta todos los datos presentados en la Región II, pero al no obtener un modelo simple con un R^2 apropiado, se realizó una separación en dos estratos.

El estrato I consistió en los datos de la Cooperativa Chirrepec (proyecto 5) y el estrato II el resto de los proyectos evaluados en la Región II.

Esta estratificación se realizó de esa manera porque al realizar pruebas sólo con los datos de la Cooperativa Chirrepec se encontró que las varianzas de los IMAs eran menores que cuando se utilizaban todos los datos de la Región.

7.2.1. Construcción de los modelos de regresión del estrato I (Cooperativa Chirrepec)

A. Efecto de las características fisiográficas

En el Cuadro 35 se presentan los modelos de regresión obtenidos para explicar la variación de las características dasométricas como función de las características fisiográficas:

Cuadro 35. Efecto de las características fisiográficas

MODELOS	R ²	Significancia
IMA Dap = 2.38089 + 0.078526(Exp) - 0.01984(Pend)	0.4173	0.0133
IMA Alt = 1.13944 + 0.06968(Exp) + 0.07453(Cont) - 0.00693(Pen)	0.51539	0.0107
IMA Vol = 3.07131 + 2.34016(Pos)	0.1208	0.1447

Donde: IMA (Incremento Medio Anual) en Dap (diámetro), Alt (altura), Vol (volumen), Exp (Exposición), Pen (pendiente), Cont (contorno), Pos (posición).

En base a lo anterior se establece que los coeficientes de determinación (R²) de los modelos de regresión indican que las variables fisiográficas a nivel del Estrato I explican solo una parte de la variación del crecimiento inicial de *Pinus maximinoi* en la Cooperativa, lo que es comprensible debido a que la fisiografía es sólo un aspecto que afecta el crecimiento de esta especie.

A juzgar de los signos la exposición, el contorno y la posición tuvieron un efecto positivo sobre las características de crecimiento, en tanto la pendiente posee un efecto negativo en el crecimiento de la especie.

B. Efecto de las características fisicoquímicas del suelo

En el Cuadro 36 se presentan los modelos de regresión obtenidos para explicar la variación de las características de crecimiento inicial como función de las características fisicoquímicas del suelo.

Cuadro 36. Efecto de las características fisicoquímicas del suelo

MODELOS	R ²	Significancia
IMA Dap = -53.3817 + 0.08595(Lim) + 0.05211(P) - 0.2756(Mg) + 0.5589(Arc2) + 0.4752(Lim2) + 0.5267(Are2) - 0.0987(Fe2) + 0.0263(CIC2) + 0.0448(SB2)	0.9651	0.0001
IMA Alt = 0.7002 + 0.0376(Lim) + 0.01577(Arc2) - 0.0549(Fe2)	0.5617	0.0052
IMA Vol = 8.5274 + 2.70008(Zn) - 2.18196(Mg)	0.5176	0.0029

Donde: IMA (Incremento Medio Anual) en Dap (diámetro), Alt (altura), Vol (volumen), Lim(Limo), P(Fósforo), Mg(Magnesio), Lim2 (Limo 20-40cm), Are2 (Arena 20-40cm), Fe2 (Hierro 20-40cm), CIC2 (Capacidad de Intercambio Catiónico (20-40cm), SB2 (% de Saturación de bases), Zn (Zinc).

Los coeficientes de determinación (R²) de los modelos de regresión que se muestran en el Cuadro 36 indican que las variables fisicoquímicas del suelo consideradas explican entre un 50% y 96% de la variación de las características del crecimiento inicial de *Pinus maximinoi* en el estrato I.

Solamente el limo participó como variable en los modelos del diámetro y altura, a una profundidad de 0-20 cm.

El efecto positivo del limo sobre el Incremento Medio Anual en diámetro (DAP) y altura se puede explicar en términos de los altos contenidos de materia orgánica en los diferentes sitios de la Cooperativa.

Las demás variables que participaron en uno o dos modelos se observan en los modelos anteriormente descritos en el Cuadro 36. La naturaleza del efecto positivo o negativo de ellas se puede apreciar por el signo de los coeficientes de regresión de los modelos.

Como se puede apreciar en el modelo del IMA en diámetro la mayor parte del crecimiento inicial para dicha variable está relacionada a las características fisicoquímicas del suelo los cuales se explican con un R^2 de 0.965.

Klepac (35), menciona que el Incremento en diámetro depende de la cantidad de reservas materiales acumuladas por el árbol.

C. Efecto combinado de las características fisiográficas y fisicoquímicas en el Estrato I

Los bajos coeficientes de ajuste en la mayor parte de los modelos en que se consideraron las características fisiográficas y fisicoquímicas del Estrato I aisladamente muestran la necesidad de combinar ambos tipos de variables en un modelo único, como se puede observar en el Apéndice 6.

Los modelos propuestos de regresión obtenidos para explicar la variación de las características de crecimiento en función de las características fisiográficas y fisicoquímicas en conjunto se muestran en el Cuadro 37.

Cuadro 37. Modelos propuestos para el estrato I

MODELOS	R^2	Significancia
IMA Dap = $5.56109221 - 0.02990028(\text{pend}) - 0.14820193(\text{Dre}) - 0.00367722(\text{ce})$	0.707249	0.0003
IMA Alt = $1.42038 + 0.082782(\text{Exp}) + 0.0742364(\text{Cont}) - 0.0068942(\text{Pend}) - 0.14757(\text{Mg})$	0.725962	0.0007
IMA Vol = $5.58515091 + 0.55542555(\text{Exp}) + 2.99638344(\text{Zn}) - 2.44266180(\text{Mg})$	0.599814	0.0027

Donde: IMA (Incremento Medio Anual) en DAP (diámetro a la altura del pecho), Alt (altura), Vol (volumen), pen (pendiente), Dre (drenaje), CE (conductividad eléctrica), Cont (Contorno), Zn (Zinc), Mg (magnesio), Exp (exposición).

En los modelos propuestos anteriormente, la combinación de las características fisicoquímicas del suelo y las características fisiográficas aumentan el grado de predicción de las variables dasométricas, con respecto a las funciones generadas utilizando los parámetros fisiográficos o las características fisicoquímicas de manera independiente.

Los diferentes modelos obtenidos en el estrato I del Apéndice 6, se observan valores de coeficientes de determinación R^2 relativamente altos, contrario a lo reportado por Tschinkel (1972) citado por Arteaga et al (4), en donde menciona que en ciertas ocasiones se ha llegado a explicar el índice de sitio con base en factores del medio ambiente, para determinar la productividad de los sitios forestales hasta un 72%.

Probablemente este fenómeno se puede explicar a que no se debe de evaluar áreas relativamente extensas para la construcción de modelos de predicción del crecimiento debido a que se obtienen coeficientes de determinación (R^2) bajos, como lo sucedido en esta investigación en un principio.

En el Cuadro 37 se establece que las variables que influyen significativamente con el Incremento Medio Anual en diámetro (DAP) son la pendiente, el drenaje y la conductividad eléctrica a una profundidad de 0-20 cm. con un R^2 0.70 y un nivel de significancia de 0.03.

Entre las variables que influyen significativamente en el Incremento Medio Anual en altura se encuentra la exposición, el contorno de la pendiente, la pendiente y el magnesio a una profundidad de 0-20 cm.

El Incremento Medio Anual en volumen está influenciado significativamente por la exposición, el zinc y magnesio a una profundidad de 0-20 cm con un R^2 de 0.59 y un nivel de significancia 0.002.

Tzirin (59), determinó que el zinc es uno de los elementos que influye en el Índice de Sitio de *Pinus maximinoi* en el proyecto Saquichaj, ubicado en Cobán, Alta Verapaz.

La exposición Noreste y Oeste presentan los valores más altos en altura y volumen. Ello puede deberse probablemente a que estas exposiciones se encuentran protegidas a la acción de los vientos y poseen quizá condiciones microambientales más favorables.

Es de esperarse que en las laderas orientadas Este-Oeste, la recepción de la energía solar sea más eficiente puesto que se recibe bien la mayor parte del año. Mientras que la exposición Norte-Sur, en algunas épocas del año una de las laderas recibe menos energía solar que las otras según Hocker (29).

Según Castaños (1962) citado por Revolorio (47), menciona que en el Norte de Oaxaca, México, rodales de *Pinus patula* con exposiciones Oeste tienen índices de sitio hasta 2.5 veces mayores que aquellas con exposiciones Este.

Es de esperarse que los pinos por ser especies heliófitas, tengan un mejor desarrollo en aquellos sitios donde la exposición de la pendiente permite mayor insolación.

Las variables fisicoquímicas de los suelos evaluados a la profundidad de 20-40 cm en base a los modelos seleccionados no influyen significativamente en el crecimiento inicial de *Pinus maximinoi* H.E. Moore.

D. Relación gráfica de algunas variables edáficas y fisiográficas a nivel del estrato I (Cooperativa Chirrepec) con relación a los diferentes Incrementos Medios Anuales

En las siguientes gráficas se muestra en forma visual el comportamiento que tienen algunas variables incluidas en los diferentes modelos con los diferentes Incrementos Medios Anuales en diámetro (DAP), altura (altura total) y volumen (m^3/ha).

a. IMA en Diámetro (DAP) (cm/año)

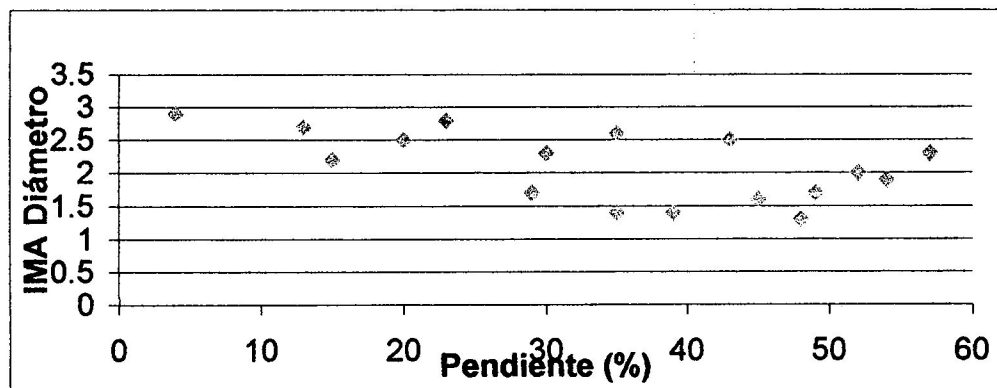


Figura 7. Relación Pendiente Vrs IMA DAP

La pendiente es una de la variables que tiene relación con el Incremento Medio Anual en diámetro, es decir a menor pendiente como se muestra en la Figura 7, el incremento en diámetro es mayor.

b. IMA en Altura total (m/año)

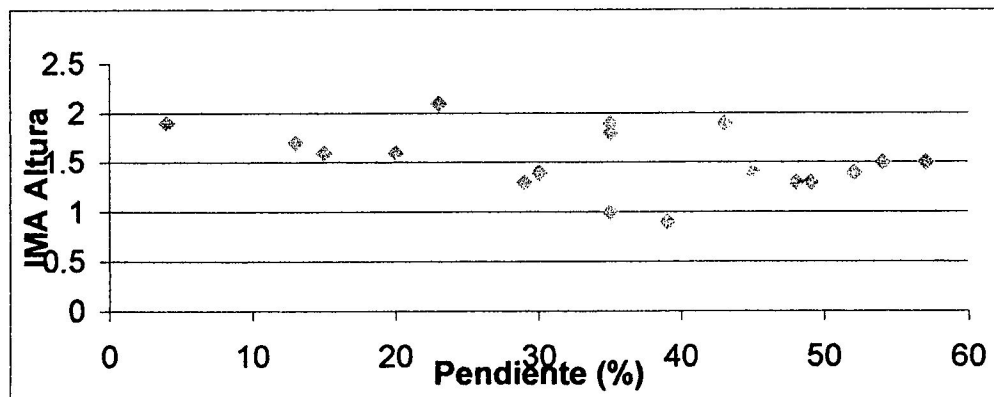


Figura 8. Relación Pendiente Vrs IMA Altura

En la Figura 8 se observa que la pendiente está estrechamente relacionada también con el Incremento Medio Anual en altura, donde los mejores IMAs en altura se presentan en porcentajes de pendientes menores.

El efecto negativo de la pendiente sobre el IMA en diámetro y altura, se puede explicar en términos de la disponibilidad de humedad del suelo y de nutrientes. Coile (1952) citado por Arteaga et al (4), observó que el porcentaje y longitud de la pendiente influía en el movimiento del agua superficial, pues en los suelos de pendientes bajas se infiltra una mayor cantidad de ella que en las pendientes altas cuando el drenaje es adecuado. Esta observación explicaría los resultados obtenidos en la investigación y que se muestran en forma gráfica en las Figuras 7 y 8. Es de esperarse que en pendientes con menor porcentaje, exista una mayor acumulación de nutrientes debido al efecto erosivo principalmente del agua, en los sitios que presentan un mayor porcentaje de pendiente.

c. IMA en Volumen ($m^3/ha/año$)

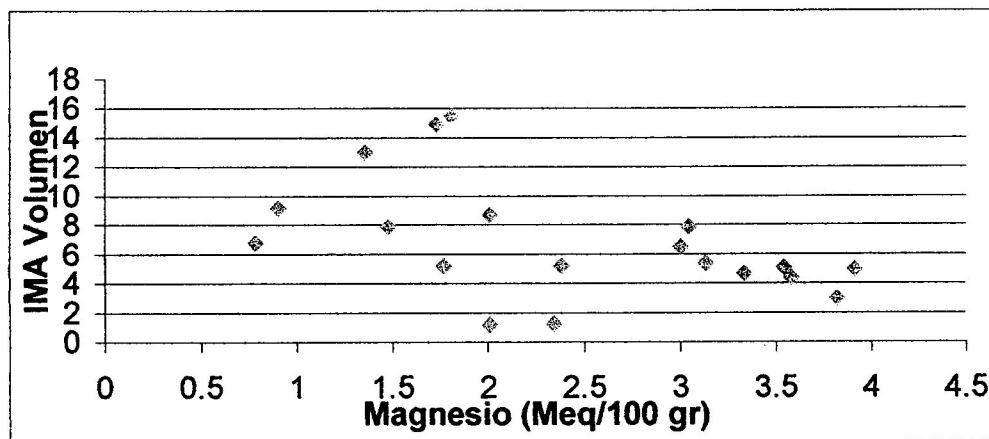


Figura 9. Relación Magnesio (0-20 cm) Vrs IMA Volumen

En la Figura 9 se observa que los mejores Incrementos Medios Anuales en Volumen se encuentran desarrollándose en sitios con un bajo contenido de Magnesio a una profundidad de 0-20cm.

La influencia negativa del magnesio a la profundidad de 0-20 cm se explica de mejor forma porque el suelo presenta en una gran parte de los sitios evaluados niveles altos de dicho elemento, al aumentar dicho elemento el IMA en volumen disminuye, debido a la influencia que tienen los suelos por el alto contenido de materia orgánica.

A nivel general se establece que la variables edáficas y fisiográficas influyen significativamente en el desarrollo de la especie a nivel del estrato I (Cooperativa Chirrepec), para el caso de los modelos propuestos se observa que las variables

fisicoquímicas de los suelos a la profundidad de 20-40 cm no poseen una mayor influencia en relación al crecimiento de la especie.

7.2.2. Construcción de modelos del resto de los proyectos de la Región II (Estrato II)

Es de esperarse que las condiciones fisiográficas y fisicoquímicas del suelo hasta cierto punto sean homogéneas en un determinado lugar o micrositio, como es el caso del estrato I (Cooperativa Chirrepec), por lo tanto las variables que se presentan en los diferentes modelos, son las que explican de mejor manera el comportamiento del crecimiento inicial de la especie. Sin embargo como se observa en el Cuadro 38, estas no necesariamente influyen en el crecimiento de la especie a nivel del Estrato II, debido a que las condiciones fisiográficas y fisicoquímicas del suelo son más heterogéneas, debido a que el área es más extensa.

En el Cuadro 38 se establecen los modelos del resto de los proyectos evaluados en la Región de las Verapaces (Región II).

Cuadro 38. Modelos propuestos para el estrato II

MODELOS	R ²	Significancia
IMA Dap = 2.31616 + 0.07480(CON) - 0.57778(K) - 0.01630(P2) - 0.0290(ZN2) - 4.3752(NA2) + 1.58688(K2)	0.45219	0.0024
IMA Alt = - 0.05494 + 0.37769(PED) + 0.33868(PRO) + 0.01915(LIM) - 0.014296(P2) - 4.40842(NA2)	0.49402	0.0003
IMA Vol = - 2.10804 - 2.02348(POS) + 7.84414(PED) - 5.15605(ERO) + 3.64141730(Prof) + 0.32208(LIM) - 58.79221(NA2)	0.48133	0.0011

Donde: IMA (Incremento Medio Anual) en Dap (diámetro), Alt (altura), Vol (volumen), Cont (contorno), K (potasio), P2 (Fósforo 20-40cm), Zn2 (Zinc 20-40cm), Na2 (Sodio 20-40cm), K2 (Potasio 20-40cm), Ped (pedregosidad), Prof (profundidad), Lim (limo), Pos (posición), Ero (erosión).

En el Cuadro 38 se muestra que el contorno, el potasio (0-20 cm), el fósforo (20-40 cm), el Zinc (20-40 cm), el sodio (20-40 cm) y el potasio (20-40 cm) influyen significativamente en el Incremento Medio Anual en diámetro con un R² de 0.45 y un nivel de significancia de 0.002.

La influencia negativa del potasio a la profundidad de 0-20 cm, se debe a que a esa profundidad los niveles se encuentran altos.

Tzirin (59) estimó que la influencia negativa del potasio influye en el Índice de Sitio de *Pinus maximinoi* en el proyecto Saquichaj ubicado en Cobán Alta Verapaz. Sin embargo el comportamiento del potasio a la profundidad de 20-40 cm se encuentra deficiente, debido a que es en los primeros centímetros donde se acumula la mayor cantidad de materia orgánica y por consiguiente la disminución de los elementos y de la

actividad microbiológica tiende a disminuir al aumentar la profundidad del suelo, lo que se refleja en el crecimiento.

Revolorio (47), determinó que el efecto positivo del potasio a una profundidad de 10-30 cm influye significativamente en la altura dominante de *Pinus oocarpa* en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biósfera sierra de Las Minas.

En relación al contorno o forma de la pendiente la tendencia no es muy clara, sin embargo se puede observar que la especie en el campo presenta un mejor desarrollo en formas planas, cóncavas y en terrazas, en relación a las demás formas. Esto se debe al asocio con el drenaje bueno del suelo, ya que se ha visto que la especie prefiere estas condiciones en donde logra mejor desarrollo.

Dvorak et al (19), mencionan que en base a estudios realizados en Brasil, Colombia, Suráfrica y Zimbabwe, el *Pinus maximinoi* prefiere suelos arenosos, que suelos arcillosos, debido a que drenan bien.

Spurr y Barnes (57), relacionan que los suelos con pendientes elevadas y de forma convexa tienden a estar más expuestos a la acción del viento y la erosión, además presentan un menor contenido de humedad. En contraste, los suelos con pendientes bajas y de forma cóncava, tienden a estar más protegidos de los vientos y presentan acumulación de materiales. Los suelos con pendiente media son generalmente, intermedios en estas características y presentan mayor estabilidad en su superficie.

El Incremento Medio Anual en altura como se muestra en el Cuadro 38 está influenciado por la pedregosidad del suelo, la profundidad, el limo, el fósforo y el sodio a una profundidad 20-40cm de ambas variables. Con un R^2 de 0.49 y un nivel de significancia de 0.003. El efecto positivo de la pedregosidad establece que la especie en los sitios evaluados y según lo observado en el campo tolera un 30% de pedregosidad superficial, sin embargo los suelos deben de poseer una profundidad >90 cm (proyecto 1).

La influencia negativa del fósforo a una profundidad de 20-40 cm con respecto al diámetro y la altura se explica debido a que específicamente en el proyecto 29 (Edgar Cuéllar), los niveles de dicho elemento son extremadamente altos, por los fertilizantes fosfatados que se aplicaron en los primeros años de plantación de la especie a los diferentes cultivos anuales (milpa), los cuales se encontraban en asocio (sistemas agroforestales o sistema Taungya).

El Incremento Medio Anual en volumen está influenciado significativamente por variables fisiográficas como la posición de la pendiente, la pedregosidad, la erosión, la profundidad del suelo así como el limo a una profundidad de 0-20 cm y el sodio a una profundidad de 20-40 cm.

El efecto de la posición en la pendiente sobre el crecimiento de las plantas se ha de interpretar en dos términos de las diferencias de temperatura y los cambios cualitativos que experimenta el suelo según Billings (1971) citado por Arteaga et al (4). Los primeros son debidos, principalmente, a las cantidades de radiación recibida en cuanto a mayor pendiente el suelo recibe menos radiación según Braun-Blanquet (1950), citado por Arteaga et al (4) y las segundas son consecuencias del efecto de la topografía en la formación del suelo que determinan mayor grado de erosión, en las pendientes mayores.

En este caso, el efecto positivo de la posición de la pendiente sobre las características de crecimiento inicial se ha de interpretar en términos de menores valores a medida que se subía hacia la parte más alta de la pendiente y contrariamente, mayores crecimientos en la parte más baja, lo que concuerda con suelos más profundos (>90 cm) y una mayor acumulación de agua en esta última posición.

La influencia positiva de la profundidad del suelo influye en el crecimiento de la especie en altura y volumen, lo cual resulta coherente ya que en el horizonte superficial se acumula la materia orgánica y es nutricionalmente más rico que los inferiores.

Sarlin (1963) citado por Arteaga et al (4) comprobó una relación estrecha entre la profundidad del suelo y el rendimiento de *Tectona grandis*, así mismo Arteaga et al (4) menciona que el sistema radicular del *Pinus radiata* es superficial y se beneficia con la mayor profundidad del horizonte A.

La materia orgánica no tuvo ningún efecto sobre el crecimiento de la especie, esto probablemente se debe a que en la mayor parte de sitios evaluados, los niveles se encuentran altos (>8%), a niveles adecuados en menor proporción, por lo que se establece que los suelos son muy fértiles.

En el Apéndice 8 se muestran los diferentes modelos obtenidos de la operación estadística del estrato II, a pesar de ello, todavía presentan valores de coeficientes de determinación (R^2) relativamente bajos. Al respecto según Covell y McClurkin (1967) citados por Arteaga et al (4), observaron que las funciones para estimar el índice de sitio (alturas de los árboles dominantes a la edad de 100 años) con base en factores del

medio ambiente, como una metodología para determinar la productividad de los sitios forestales, pocas veces explicaban más del 50 o 60% de la variación de ese parámetro.

A. Relación gráfica de algunas variables edáficas y fisiográficas a nivel del estrato II con relación a los diferentes Incrementos Medios Anuales

En las siguientes Figuras se observa el comportamiento que poseen algunas de las diferentes variables edáficas y fisiográficas incluidas en los modelos propuestos con relación a los diferentes Incrementos Medios Anuales.

En la Figura 10 se observa que existe cierta tendencia del aumento del Incremento Media Anual en diámetro, al disminuir el contenido de sodio a una profundidad de 20-40 cm.

a. IMA Diámetro (DAP) (cm/año)

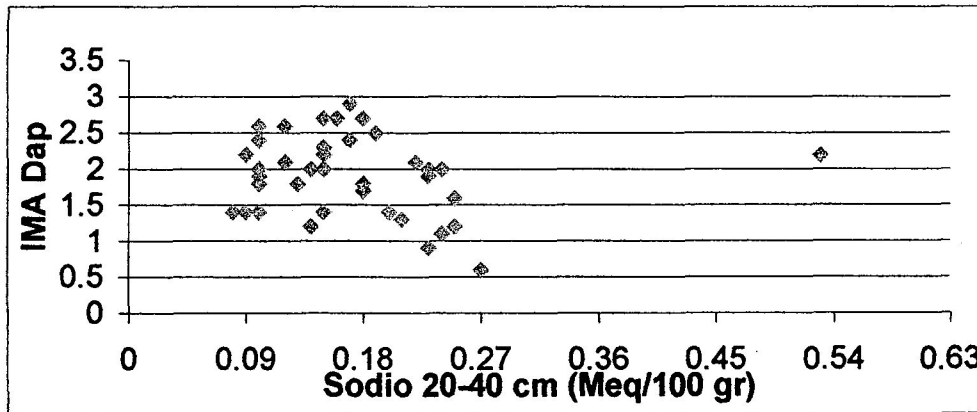


Figura 10. Relación Sodio a 20-40 cm Vrs IMA Dap

b. IMA Altura total (m/año)

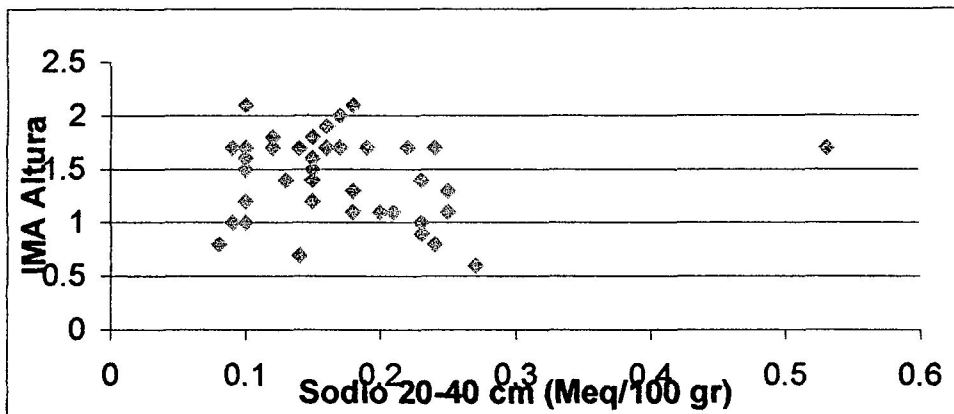


Figura 11. Relación Sodio a 20-40 cm Vrs IMA Altura

En la Figura 11 se observa también que los mejores Incrementos Medios Anuales en Altura se ubican en sitios con un bajo contenido de sodio a la profundidad de 20-40 cm. El sodio es la única variable que influye significativamente en las tres variables de crecimiento, su signo negativo establece que la especie no tolera la presencia de este nutriente para su desarrollo, es decir a menor cantidad de sodio los crecimientos de la especie serán mejores.

Por último se observa en la Figura 12 que el Incremento Medio Anual en Volumen está influenciado también por los altos contenidos de Limo a la profundidad de 0-20 cm.

c. IMA Volumen ($m^3/ha/año$)

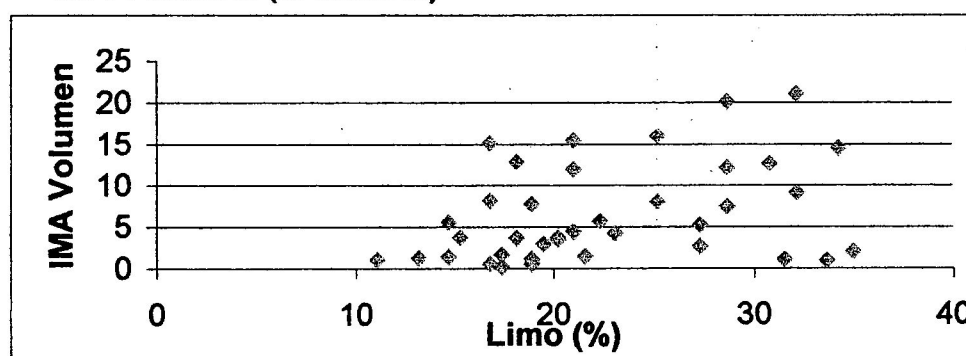


Figura 12. Relación limo a 0-20 cm Vrs IMA Volumen

La utilidad de los modelos predictivos como los presentados anteriormente son los que permiten anticipar el comportamiento de la especie y seleccionar lugares de plantación en que los factores sean más favorables para el desarrollo de la especie de modo de aumentar las posibilidades de obtener una productividad adecuada.

Según Hängglund (1981) citado por Arteaga et al (4), afirma que una de las formas de obtener un índice de adaptación de una especie en una zona y de evaluar su productividad es estudiar el efecto de los diversos factores del medio ambiente (características del sitio) sobre el crecimiento de los árboles.

Arteaga et al (4), menciona que la productividad es uno de los factores más importantes y básicas que el silvicultor debe de manejar. Considerando los resultados obtenidos es claro que el uso de estas técnicas son un auxiliar útil en programas de plantaciones para estimar *a priori* los rendimientos.

Las variables incluidas en los diferentes modelos, son las que contribuyen a explicar de mejor forma la variación del crecimiento inicial; sin embargo, eso no necesariamente implica que éstas sean la única causa de la variación en el crecimiento inicial, ni tampoco que variables que no se incluyeron, no tengan un marcado efecto

sobre el crecimiento de la especie, como se muestran en el Apéndice 6, 7 y 8. donde se relacionan todas las variables edáficas y fisiográficas que influyen significativamente en el crecimiento inicial de la especie.

Los modelos propuestos, son tan solo uno de los posibles modelos que se ajustaron mejor al hacer el análisis de regresión múltiple y que no involucraron demasiadas variables haciéndolas muy complejas, aunque en el análisis resultaron otros modelos (Apéndice 6,7 y 8).

Así mismo Forsythe (24), menciona que los modelos para la predicción del potencial productivo del sitio, donde se utilizan plantaciones menores de 5-6 años, deben de considerarse como preliminares y su empleo debe considerar esta limitante.

8. CONCLUSIONES

- 8.1. Los Incrementos Medios Anuales obtenidos en los diferentes proyectos de beneficiarios del -PINFOR- con plantaciones de *Pinus maximinoi* H.E. Moore establecidas en la Región de Las Verapaces a una edad de 6 años, son 1.76 cm/año en Diámetro (DAP), 1.297 m/año en altura total y 5.23 m³/ha/año en volumen. En base a lo anterior se establece que el 50% de las plantaciones se encuentran desarrollándose en crecimientos iniciales no adecuados, es decir por debajo de los diferentes Incrementos Medios Anuales.
- 8.2. Los diferentes proyectos de reforestación evaluados en Las Verapaces dentro del -PINFOR-, demuestran que 52% de los árboles son dominantes, lo que representan un rango de calidad bueno en base a dicha variable, sin embargo se debe de reconocer que el 79% del total de ejes evaluados presentan algún defecto en el fuste, lo que indica que la calidad de las plantaciones en base a dicha característica no es adecuada. Las plagas no representan ningún daño severo a las plantaciones, mientras que la sanidad de los ejes presentan una calidad buena.
- 8.3. Los factores fisiográficos: pendiente, exposición, pedregosidad, profundidad, erosión, drenaje y posición de la pendiente influyeron sobre el crecimiento inicial de las plantaciones, de acuerdo a los modelos propuestos para el Estrato I y II.
- 8.4. Las variables fisicoquímicas del suelo: conductividad eléctrica, magnesio, limo, zinc, potasio a una profundidad de 0-20 cm, conjuntamente con el fósforo, zinc, sodio, potasio, limo, a una profundidad de 20-40 cm, se encontraron relacionadas con el crecimiento inicial de la especie de acuerdo a los modelos propuestos en los dos estratos.
- 8.5. La combinación de las características fisiográficas y fisicoquímicas del suelo lograron explicar alrededor del 45% y 72% de la variación del crecimiento inicial en diámetro, altura y volumen de acuerdo a los modelos propuestos, por lo tanto las regresiones y correlaciones entre las variables que expresaron el crecimiento inicial y las variables edáficas y fisiográficas evaluadas, demuestran que el crecimiento del *Pinus maximinoi* en la Región II es afectada por la fisiografía y el suelo, confirmando así la hipótesis planteada.

9. RECOMENDACIONES

- 9.1. Con base a los resultados obtenidos, se recomienda que en la planificación y aprobación de proyectos que incluyan la especie de *Pinus maximinoi* H.E. Moore dentro de -PINFOR- en la Región de Las Verapaces se consideren seleccionar aquellas áreas que reúnan las características edáficas y fisiográficas propuestas en esta investigación, principalmente las variables de fácil medición e identificación en el campo, como terrenos con pendientes menores al 35%, con exposiciones Noreste y Oeste, ubicados en las partes medias y bajas de la pendiente y que posean contornos o formas planas, cóncavas o en terrazas con suelos muy profundos y texturas medias.
- 9.2. Proporcionarles mantenimiento a la parcelas, con el propósito de darle continuidad a las mediciones que permitan en un futuro reafirmar o consolidar los resultados de dicho estudio.
- 9.3. Para futuras investigaciones similares que se realicen en la Región de Las Verapaces con la misma especie, se recomienda poner mayor énfasis en las variables no explicadas en esta investigación (tratamientos silviculturales y procedencia del material vegetativo).
- 9.4. De acuerdo a los resultados obtenidos y al trabajo realizado es difícil hacer una estimación del comportamiento del crecimiento inicial en base a las variables evaluadas en un área muy extensa, por lo tanto es recomendable segregar los modelos, con la finalidad de disminuir la varianza.

10. BIBLIOGRAFÍA

1. Alder, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos: predicción del rendimiento. Roma, Italia, FAO. v. 2, 80 p.
2. Arriola, F. 2000. Plan regional de desarrollo forestal Las Verapaces. Santa Cruz Verapaz, Guatemala, s.e. 48 p.
3. Arteaga Martínez, B. 1988. Factores del sitio que influyen en la productividad de *Pinus patula* Schl. et Cham., en la región Chignahuapan-Zacatlán, Puebla, México. *Agrociencia* no. 72:121-131.
4. Arteaga Martínez, B; Etchevers, JD; Volke Haller, V. 1985. Influencia de las características fisiográficas y edáficas en el crecimiento de *Pinus radiata* D. Don en Ayotoxtla, Guerrero, Chapingo, México. *Agrociencia* no. 60:109-121.
5. Ávila Folgar, RI. 2003. Evaluación del estado y crecimiento inicial de cuatro especies prioritarias (*Pinus maximinoi* H.E. Moore, *Pinus caribaea* Morelet, *Pinus oocarpa* Schiede y *Tectona grandis* L.F.), del Programa de Incentivos Forestales en la Región 2, en los departamentos de Alta y Baja Verapaz, Guatemala. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 154 p.
6. Baver, LD; Gardner, WH; Gardner, WR. 1973. Física de suelos. Trad. por José Manuel Rodríguez y Rodríguez. México, Hispano-americana. 529 p.
7. Becerra, F; Ramírez, MH. 1982. Algunos factores climáticos y su influencia en el incremento en diámetro de nueve especies forestales en Chapingo, Mex. Chapingo: Nueva Época no. 31-32:3-6.
8. Benítez Ramos, RF. 1988. Catálogo de cien especies forestales de Honduras: distribución, propiedades y usos. Siguatepeque, Honduras, Escuela Nacional de Ciencias Forestales. 216 p.
9. Binkley, D. 1993. Nutrición forestal: prácticas de manejo. Trad. por Manuel Guzmán Ortiz. México, Limusa. 340 p.
10. Bockheim, JG. 1991. Suelos forestales. *In* Young, RA. Comp. Introducción a las ciencias forestales. Trad. por José Hurtado Vega. México, Limusa. p. 119-139.

11. Calderón Díaz, JH; Álvarez Valenzuela, G; Hernández Dávila, A; Soto, Alvaro. 2000. Estudio de enfermedades foliares provocadas por hongos en especies forestales en los departamentos de Alta Verapaz, Baja Verapaz y El Petén. Informe de Investigación. FAUSAC-INAB. 96 p.
12. Castañeda Salguero, C; Alvarado, S, Zamora Cristales, R; 2003. Informe Final: caracterización técnica de las plantaciones establecidas con el Programa de Incentivos Forestales en Guatemala. 73 p.
13. CATIE-ROCAP. 1991. Plagas y enfermedades forestales en América Central. Turrialba, CR. p 85. (Serie Técnica, Manual Técnico no. 3).
14. Clutter, J; Fortson, J; Pienaar, L; Brister, H; Bayley, R. 1983. Timber management: a quantitative approach. New York, US, John Wiley. 333 p.
15. Congreso forestal nacional (4., 1996, Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz, Guatemala). 1996. El manejo forestal sostenible: una alternativa para el desarrollo de Guatemala; memoria. Santa Cruz, Alta Verapaz, Guatemala, s.e. s.p.
16. Curso de establecimiento y medición de parcelas (PPM) para la evaluación de las plantaciones del programa PINFOR en Guatemala. 2003. Guatemala, INAB. 5 p.
17. Daniel, PW; Helms, UE; Baker, FS. Principios de silvicultura. Trad. por Ramón Elizando Mata. 2 ed. México, Mc Graw - Hill. 492 p.
18. Díaz Visquerria, ME. 1998. Estimación de los costos medios, conveniencia y viabilidad financiera en el manejo de bosques naturales de coníferas: una aplicación para los incentivos para el manejo forestal en Guatemala. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. p. 5-39.
19. Dvorak, WS; Gutiérrez, EA; Gapare, WJ; Hodge, GR; Osorio, LF; Bester, C; Kikutu, P. 2000. *Pinus maximinoi*. North Caroline, US, NC State University, CAMCORE (Conservation & Testing of Tropical & Subtropical Forest Tree Species, US). 234 p.
20. Escobar Sagastume, AA. 1987. Estudio de crecimiento y rendimiento de (*Pinus maximinoi* H.E. Moore) en Jalapa, departamento de Jalapa. Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. p. 23-56.

21. Escobedo López, M. 1995. Índices de sitio para *Pinus pseudostrobus* Lindl, en los departamentos de Chimaltenango y Sololá. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 80 p.
22. FAO, IT. 1982. Producción forestal. México, Trillas. p. 27-38.
23. Ferreira, O. 1995. Manual de ordenación de bosques. Siguatepeque, Honduras, s.e. 128 p.
24. Forsythe, W. 1997. Las condiciones físicas, la producción agrícola y la calidad del suelo. *Agronomía Costarricense* 1(1):153.
25. Guzmán Díaz, CA. 2003. Establecimiento de una red de parcelas permanentes de medición forestal en bosques naturales de *Pinus oocarpa* Shiede, del departamento de Chiquimula, Guatemala, C.A. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, CUNORI. 67 p.
26. Haig, IT; Huberman, MA; Din, UA. 1959. *Silvicultura tropical*. Roma, Italia, FAO. v. 1, p. 184-190.
27. Hawley, RC; Smith, DM. 1972. *Silvicultura práctica*. Trad. por. Jaime Terradas. US, John Wiley. 544 p.
28. Hilge Q, C; Araya F, C; Scorza R, F. 1991. Plagas y enfermedades forestales en América Central. Turrialba, CR, CATIE. 260 p. (Serie Técnica, Manual Técnico no. 4).
29. Hocker, H. 1984. Introducción a la biología forestal. México, AGT. p. 275-280.
30. INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 2002 Base de datos de beneficiarios del Programa de Incentivo Forestales -PINFOR. Guatemala. Hoja Excell.
31. INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 2002. Programa de Incentivos Forestales -PINFOR-. Guatemala. 12 p. (Ficha informativa).
32. Jadan P, SV. 1972. Sistema de clasificación de índices de sitio para *Eucalyptus deglupta* Bl. en Turrialba, Costa Rica. CR, IICA. 98 p.
33. Kadambi, K. 1966. Estimating biological productivity of forests on the basis of ecological factors, climatic and edaphic-evolving of an index of productivity. *In* Congreso Forestal Mundial (6., 1966, España). Madrid, España. p. 1804-1811.

34. Kirkby, JJ; Morgan RC. 1984. Erosión de suelos: El problema. Trad. por José Hurtado Vega. México, Limusa. 375 p.
35. Klepac, D. 1976. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. 2 ed. Chapingo, México, Universidad Autónoma Chapingo. 365 p.
36. Lemus, AR. s.f. Elaboración de tablas de volumen de *Pinus maximinoi* H.E. Moore. en los departamentos de Alta Verapaz y Baja Verapaz. Guatemala. s.p.
37. Luna Lugo, A; Mendoza, S. 1989. Algunas consideraciones sobre el crecimiento de los pinos del oriente venezolano. Revista Forestal Venezolana 23(33):83-90.
38. Mendenhall, W. 1990. Estadística para administradores. Trad. por Dirk Valckx Verbeeck. 2 ed. México, Grupo editorial Iberoamérica. 817 p.
39. Núñez Saravia, OM. 1986. Estudio de crecimiento y rendimiento de *Pinus maximinoi* H.E. Moore, en Cobán, Alta Verapaz. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 130 p.
40. Oliva Hurtarte, EO. 1990. Comportamiento en plantación de mangium (*Acacia mangium* Wild) y ariplín (*Caesalpinia velutina* (B. y R.) Standl.) en América Central. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 117 p.
41. Paiz Schwartz, G. 1998. Estudio de crecimiento de tres especies de pino (*Pinus* spp.) en Cobán, A.V. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía, Instituto de Investigaciones Agronómicas. 78 p.
42. Peters, R. 1977. Tablas de volumen para las especies de coníferas de Guatemala. México, FAO. 162 p. (Documento de trabajo no. 17).
43. Plan de Acción Forestal para Guatemala. 1998. Diagnóstico de la industria forestal de la región II, Las Verapaces. 45 p.
44. Plaster, EJ. 2000. La ciencia del suelo y su manejo. Trad. por Patricia Scott. España, Paraninfo. 419 p.
45. Pritchett, WL. 1990. Suelos forestales: propiedades, conservación y mejoramiento. Trad. por José Hurtado Vega. México, Limusa. 634 p.

46. Prodan, M; Peters, R; Cox, F; Real, P. 1997. Mensura forestal. San José, Costa Rica, IICA. 561 p.
47. Revolorio Quevedo, A de J. 1996. Evaluación de la calidad de sitio para *Pinus oocarpa* Schiede, en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera sierra de Las Minas, Guatemala. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 141 p.
48. Rivero, B; Zepeda, B. 1990. Principios básicos de regulación forestal. México, Universidad Autónoma de Chapingo, División de Ciencias Forestales. 262 p.
49. Rojas, OE. 1988. Estudio del crecimiento y rendimiento de *Pinus oocarpa* Shiede y *Pinus pseudostrobus* Lindl. en San Martín Jilotepeque, Chimaltenango. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 95 p.
50. Rosales del Cid, MD. 1996. Elaboración de tablas de rendimiento medio para *Pinus maximinoi* H.E. Moore en los departamentos de Alta Verapaz y Baja Verapaz, Guatemala, s.e. 70 p.
51. Salas, G. De las. 1974. Factores edáficos y climáticos en la clasificación de sitios forestales. Bosques de Colombia 1:15-30.
52. Salazar, R; Soice, R; Miguel Méndez, J. (Téc, comps). 2000. Manejo de semillas de 100 especies forestales de América Latina. CATIE: proyecto de semillas forestales: Danida Forest Seed Centre. Turrialba, Costa Rica. 1(41): 204.
53. Santos López, CA. 1997. Determinación del crecimiento y calidad de sitio para camaldulensis (*Eucalyptus camaldulensis* Den.) en cuatro departamentos de Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 87 p.
54. SEGEPLAN (Secretaría General de Planificación Económica, GT); GTZ (Misión Técnica Alemana, GT). 1996. Plan marco para el desarrollo del departamento de A.V.; cooperación Guatemala-Alemania; programa las verapaces desarrollo municipal y regional, PLV. Guatemala, Proyecto Desarrollo Regional. 378 p.
55. SEGEPLAN (Secretaría General de Planificación Económica, GT); GTZ (Misión Técnica Alemana, GT). 1996. Plan marco para el desarrollo del departamento de B.V.; cooperación Guatemala-Alemania; programa las verapaces; desarrollo municipal y regional PLV. Guatemala, Proyecto Desarrollo Regional. 378 p.
56. Shrivastava, MB; Ulrich, U. 1978. Quantitative assessment of forest site productivity. Indian Forester 104:79-89.

57. Spurr, S; Barnes, B. 1982. Ecología forestal. Trad. por Carlos L. Raigorodsky. México, AGT. 690 p.
58. Thomson, T; Jerran, MR. 1960. Selvicultura práctica. Trad. por. Eduardo Subirá Roca Mora. 2 ed. Barcelona, España, Zeus. 340 p.
59. Tzirin Batzin, J. 1998. Índices de sitio preliminares para *Cupressus lusitanica* Miller, *Pinus caribaea* Morelet var. *Hondurensis* Barret & Golfari, *Pinus maximinoi* H.E. Moore y *Pinus strobus* L. Var. *chiapensis* Martínez, establecidas en plantación en el proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 67 p.
60. Ugalde Arias, L. 2001. Guía para el establecimiento y medición de parcelas para el monitoreo y evaluación del crecimiento de árboles en investigación y en programas de reforestación con la metodología MIRA. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 14 p.
61. Vaidez López, EE. 2000. Generación de curvas parciales de índice de sitio en una plantación de *Pinus maximinoi* H.E. Moore en los proyectos bosque nuevo, San Jerónimo, Baja Verapaz. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 80 p.
62. Vásquez C, W; Ugalde Arias, L. 1995. Rendimiento y calidad de sitio para *Gmelina arborea*, *Tectona grandis*, *Bombacopsis quinata* y *Pinus caribaea* en Guanacaste, Costa Rica. 33 p. (Serie técnica no. 256).
63. Villatoro Palacios, MI. 2000. Determinación de la calidad de sitio con base a factores edáficos y climáticos y estudio de crecimiento y rendimiento para una plantación de pino candelillo (*Pinus maximinoi* H.E. Moore) en Baleu, San Cristóbal Verapaz. Investigación Inferencial EPSA. Guatemala, USAC-CUNOROC. 59 p.
64. Zannoti, R; Galloway, G. 1996. Manejo de plantaciones de coníferas: Guía Técnica para el extensionista forestal. Turrialba, CR, CATIE. 61 p. (Serie Técnica, Manual Técnico no. 21).
65. Zobel, B; Talbert, J. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. México, Limusa. 545 p.

11. APÉNDICE

124

Apéndice 1. Croquis de los árboles dentro de la parcela
(un croquis para cada parcela)

Código del país: Código del proyecto: No. serial del experimento:

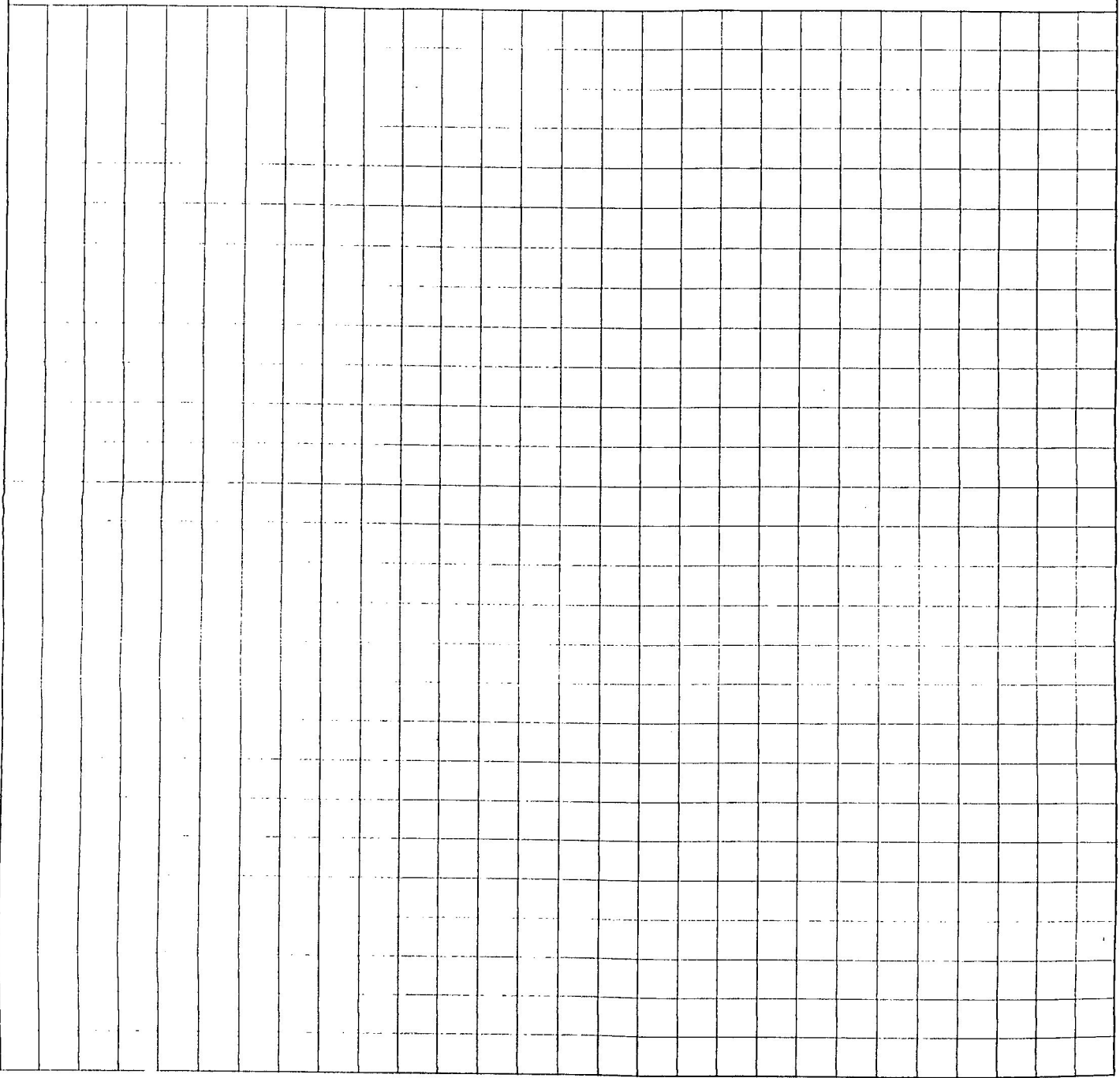
Región - Sitio: - Número serial de lote dentro del sitio:

Código de tratamiento: Número serial de tratamiento ó parcela:

Código de la especie:

Esquema de la parcela, de acuerdo al diseño en el campo

Escala 1: 1 cm =



Apéndice 2. Descripción de las variables de medición de árboles en pie

125

Indicaciones para el uso del formulario FORM 5.

- | Casilla | Información |
|----------|---|
| 1 | Código del país (código internacional de 2 caracteres alfabéticos). |
| 2 | Anote el código de Proyecto, Usuario, Institución o Reforestador (hasta tres caracteres alfanuméricos). |
| 3 | Anote el número serial del experimento dentro del proyecto ó compañía (hasta 5 caracteres numéricos). |
| 4 | Anote el número serial de tratamiento dentro del experimento o número de parcela para experimentos sin repeticiones (hasta 3 caracteres numéricos). |
| 5 | Anote el número serial del lote o compartimento dentro del sitio (hasta 5 caracteres numéricos). |
| 6 | Anote el número serial de la repetición para experimentos con diseño estadístico; 0 (cero) para parcelas individuales de inventario. |
| 7 | Anote el número de la Región, Estado o Provincia (00) - Número serial de sitio dentro de la región (000). |
| 8 | Anote el nombre del sitio. |
| 9 | Anote el código de tratamiento (hasta 8 caracteres alfanuméricos). |
| 10 | Anote la fecha de plantación (dd/mm/aaaa). |
| 11 | Anote la fecha de medición (dd/mm/aaaa). |
| 12 | Anote el código correspondiente para indicar que diámetro se está midiendo. |
| 13 | Anote el número de rotación, para ensayos con manejo de rebrotes. |
| 14 | Anote el código de 4 caracteres para género y 2 caracteres para especie; use 'MIXTAS' para mezclas de especies. |
| 15 | Anote el nombre científico de la especie. |
| 16 | Anote el número de árboles originales plantados o establecidos en la parcela de medición. |
| 17 | Anote el número de árboles vivos. |
| 18 | Anote el espaciamiento original entre árboles (cm); deje en blanco para espaciamiento irregular. |
| 19 | Anote el código de tres letras correspondiente al factor uno y dé el nombre. |
| 20 | Indique el número serial del nivel del factor 1 y su nombre. |
| 21 | Anote el código de tres letras correspondiente al factor dos y dé el nombre. |
| 22 | Indique el número serial del nivel del factor 2 y su nombre. |
| 23 | Anote el código de tres letras correspondiente al factor tres y dé el nombre. |
| 24 | Indique el número serial del nivel del factor 3 y su nombre. |
| 25 | Indique el nombre de los anotadores. |
| 26 | Anote las observaciones que considere importantes. |
| 27 | Anote el número seriado de cada árbol que mide. |
| 28 | Si tiene varios ejes y los está midiendo, indique el número de eje. |
| 29 | Anote el diámetro a Altura de Pecho (mm) y sin decimales. |
| 30 | Anote la altura total (dm) y sin decimales. |
| 31 | Use las columnas para describir hasta cuatro códigos de forma para cada árbol y haga una marca en las casillas correspondientes (utilice los códigos del pie de página). |
| 32 | Use las columnas para describir hasta dos códigos de sanidad para cada árbol. |
| 33-34-35 | Son columnas para otras variables que se midan, como: ángulo de inclinación de ramas/grados; altura comercial del eje/dm; diámetro comercial superior del eje/mm y diámetro de copa del eje/dm. |

Deje en blanco las variables cuando no exista información

Añada los números de los ejes después del número del árbol. Trate cada eje como un árbol individual, para medición o para calificación de forma de fuste y defectos.

Generalmente los ejes se numeran desde el más grueso hasta el más delgado.

Llene con el código -99 los valores en la medición para árboles muertos o volteados, y con -88 para árboles vivos pero que no se midieron

Los campos del 18 al 23 se deben llenar solamente cuando el experimento es con con diseño estadístico.

NOTA: Debe asegurarse de llenar los campos que se encuentran antes de la doble raya (primeros 18) ya que son los campos obligatorios de este formulario.

Códigos de Estado Sanitario:

- a: Vigoroso
- b: Muerto en pie
- c: Muerto caído

Copa muerta:

- g: Menos que un tercio de copa muerta.
- h: De 1 a 2 tercios de copa muerta.
- i: Más de 2 tercios de copa muerta.

Parte afectada:

- d: afectado eje principal
- e: afectado ramas superiores
- f: afectado eje y ramas

Apéndice 4. BOLETA DE CAMPO

VARIABLES EDÁFICAS Y FISIGRÁFICAS A EVALUAR EN EL CAMPO

Nombre de la finca o proyecto

Ubicación

Área reforestada

Número de lotes

Número de parcelas

Fase de mantenimiento

Parcela número

Fecha

A. Código exposición de la parcela:

0 = no hay información. 1 = norte. 2 = este. 3 = sur. 4 = oeste.
5 = llano. 6 = noreste. 7 = noroeste. 8 = sureste. 9 = suroeste.

B. Posición de la pendiente:

1 = Alta. 2 = media. 3 = baja.

C. Contorno o forma de la pendiente:

1 = plana o recta. 2 = cumbre o cima (convexo). 3 = escarpada. 4 = cumbre redondeada
5 = terraza. 6 = depresión o cóncavo. 7 = llanura de inundación.

D. Drenaje:

0 = nulo. 1 = pobre. 2 = excesivo. 3 = imperfecto. 4 = bueno.

E. Porcentaje de pendiente (%):

F. Pedregosidad superficial:

0 = poco (1-10%). 1 = medio (10-30%). 2 = alto (>30%)

G. Erosión superficial:

0 = ninguna. 1 = moderado. 2 = severo. 3 = muy severo.

H. Profundidad efectiva del suelo:

0 = (0-20%) 1 = (20-35%) 2 = (35-50%) 3 = (50-70%) 4 = (70-90%)
5 = (>90%).

I. Textura (a dos profundidades)

0 = Gruesa 1 = Mediana 2 = Fina

J. Color del suelo (a dos profundidades)

Apéndice 5. Métodos empleados en el análisis de suelos.

- ❖ PH: en agua solución 2 , 5 : 1 agua suelo, utilizando potenciómetro.
- ❖ Fósforo, potasio, calcio y magnesio: se analizaron los disponibles utilizando una solución extractora Mehlich I, doble ácido, método Carolina del Norte.
- ❖ Cobre, zinc, hierro y manganeso: solución extractora Mehlich I, Carolina del Norte.
- ❖ Materia orgánica: método de digestor húmedo Walkley y Black.
- ❖ Textura: hidrómetro de Bouyucos.
- ❖ El fósforo, potasio, calcio, zinc, hierro y manganeso, por absorción atómica en el espectrofotómetro.
- ❖ Color: Tabla Munsell.

Apéndice 6. Modelos obtenidos a nivel de la Cooperativa Chirrepec relacionando todas las variables

Incremento Medio Anual en Diámetro (Dap) (IMAD)			R 2	Significancia
No.	Modelo			
1	2.77656556 - 0.01831580 (pend)		0.3090121	0.0135
2	4.63495574 - 0.02497477(pend) - 0.00322486(ce)		0.6211678	0.0004
3	5.56109221 - 0.02990028(pend) - 0.14820193(Dre) - 0.00367722(ce)		0.70724979	0.0003
4	5.44269553 - 0.02787933(pend) - 0.14493896(Dre) - 0.00289132(CE) - 0.14905751(Mg)		0.77206394	0.0002
5	4.75892160 + 0.09105490(Exp) - 0.02825254(Pend) - 0.16131867(Dre) - 0.00207271(CE) - 0.22300549(Mg)		0.89343488	0.0001
6	4.38405371 + 0.08526865(Exp) + 0.06536790(Cont) - 0.02552674(Pen) - 0.14141270(Dre) - 0.00200417(CE) - 0.22323065(Mg)		0.9195852	0.0001
7	3.88930305 + 0.09108122(Exp) + 0.07079245(Cont) - 0.02353594(Pen) - 0.20625490(Dre) - 0.00214387(CE) + 0.00781601(CIC) - 0.20194637(Mg)		0.93878811	0.0001
8	2.85008101 + 2.85008101(Exp) + 0.06876543(Con) - 0.01748225(Pen) - 0.22358544(Dre) + 0.22358544(Lim) - 0.00213417(CE) + 0.01326482(CIC) - 0.17020920(Mg)		0.96126035	0.0001
Incremento Medio Anual en Altura (IMAA)				
1	1.18597561 + 0.10777439(Cont)		0.23089847	0.0373
2	0.85433509 + 0.06152607(Exp) + 0.10102153(Cont)		0.41238218	0.0142
3	1.13788083 + 0.07471430(Exp) + 0.10055783(Cont) - 0.14801970(Mg)		0.62421497	0.0017
4	1.42038336 + 0.08278270(Exp) + 0.07423644(Cont) - 0.00689420(Pend) - 0.14757678(Mg)		0.72596254	0.0007
5	1.30954260 + 0.09001113(Exp) + 0.08023269(Cont) - 0.00836719(Pen) - 0.15193148(Mg) + 0.79996335(Cu2)		0.82241274	0.0002
6	1.13166881 + 0.08942302(Exp) + 0.09004523(Cont) - 0.00690455(Pen) - 0.12626241(Mg) + 1.73437178(Cu2) - 0.02993935(Fe2)		0.94935562	0.0001
7	1.02986988 + 0.08583994(Exp) + 0.09863926(Cont) - 0.00651651(Pen) + 0.23535772(Cu) - 0.10617183(Mg) + 1.79236661(Cu2) - 0.03460709(Fe2)		0.96964372	0.0001
8	1.01336277 + 0.08935590(Exp) + 0.06713418(Pos) + 0.07909343(Cont) - 0.00674810(Pen) + 0.16513845(Cu) - 0.11813194(Mg) + 1.66000174(Cu2) - 0.02955395(Fe2)		0.9773468	0.0001
9	0.99447468 + 0.09302630(Exp) + 0.08530235(Pos) + 0.08330951(Cont) - 0.00669483(Pen) - 0.00972173(Arc) + 0.16082764(Cu) - 0.11716827(Mg) + 1.75995118(Cu2) - 0.02147778(Fe2)		0.98921074	0.0001
10	1.66153566 + 0.09545113(Exp) + 0.07868877(Pos) + 0.08158622(Cont) - 0.00701829(Pen) - 0.02060141(Arc) + 0.15600374(Cu) - 0.11353883(Mg) - 0.00739331(Are2) + 1.28648536(Cu2) - 0.01741465(Fe2)		0.99457555	0.0001

Cont...

Apéndice 6. Modelos obtenidos a nivel de la Cooperativa Chirrepec relacionando todas las variables

Incremento Medio Anual en Altura (IMAA)		R 2	Significancia
11	1.52603164 + 0.09849640(Exp) + 0.06214953(Pos) + 0.09082070(Cont) - 0.00688315(Pen) - 0.02149052(Arc) + 0.16212618(Cu) - 0.10932227(Mg) - 0.00727981(Are2) + 0.00041338(CE2) + 1.39082262(Cu2) - 0.01737102(Fe2)	0.99656213	0.0001
12	1.37967165 + 0.09923891(Exp) + 0.07049368(Pos) + 0.09199416(Cont) - 0.00655461(Pen) - 0.01938820(Arc) + 0.16148728(Cu) - 0.10454009(Mg) - 0.00584457(Are2) + 0.00042207(CE2) + 1.54501098(Cu2) - 0.01802600(Fe2) - 0.00683085(Mn2)	0.99792396	0.0001
13	1.57809493 + 0.09955909(Exp) + 0.08449789(Pos) + 0.08791655(Cont) - 0.00760451(Pen) - 0.02020574(Arc) + 0.15765350(Cu) - 0.11525721(Mg) - 0.00494728(Are2) + 0.00041073(CE2) + 1.45803624(Cu2) - 0.01578466(Fe2) - 0.01065594(Mn2) - 0.00254628(CIC2)	0.99905896	0.0001
14	1.62003155 + 0.10114086(Exp) + 0.08018735(Pos) + 0.08885589(Cont) - 0.00735240(Pen) - 0.02009172(Arc) + 0.15975098(Cu) - 0.00804649(Fe) - 0.11789759(Mg) - 0.00519507(Are2) + 0.00039873(CE2) + 1.42257925(Cu2) - 0.01117502(Fe2) - 0.01212633(Mn2) - 0.00265585(CIC2)	0.99971167	0.0001
15	1.81592772 + 0.10172086(Exp) + 0.08446948(Pos) + 0.07996968(Cont) - 0.00812903(Pen) - 0.03190408(Pro) - 0.01755819(Arc) + 0.15026846(Cu) - 0.01436716(Fe) - 0.13268632(Mg) - 0.00365067(Are2) + 0.00026895(CE2) + 1.41258554(Cu2) - 0.00726931(Fe2) - 0.01141436(Mn2) - 0.00348371(CIC2)	0.99997958	0.0001
16	1.95237794 + 0.10202926(Exp) + 0.08784612(Pos) + 0.07373918(Cont) - 0.00843209(Pen) - 0.05405286(Prof) - 0.01743517(Arc) + 0.14598984(Cu) - 0.01747598(Fe) - 0.14304028(Mg) - 0.00310374(Are2) + 0.00012333(CE2) + 1.00255861(P2) + 1.36013727(Cu2) - 0.00463499(Fe2) - 0.00864351(Mn2) - 0.00350187(CIC2)	0.99999932	0.0001
17	1.94095613 + 0.10197649(Exp) + 0.08695795(Pos) + 0.07401596(Cont) - 0.00841569(Pen) - 0.05388259(Prof) - 0.01740198(Arc) + 0.14619979(Cu) - 0.01727840(Fe) - 0.14259401(Mg) + 0.00019525(Lim2) - 0.00302783(Are2) + 1.00012799(CE2) + 0.00247795(P2) + 1.36700631(Cu2) - 0.00480052(Fe2) - 0.00869548(Mn2) - 0.00351794(CIC2)	1	0.0025
Incremento Medio Anual en Volumen (IMA Vol)			
1	- 3.01004243 + 0.55813296(Lim2)	0.31877963	0.0118
2	2.13476181 - 1.46852569(Mg) + 0.46817278(Lim2)	0.43990049	0.0097
3	5.49906543 + 2.10132006(Zn) - 1.93974227(Mg) + 0.18370048(Lim2)	0.53552916	0.0079
4	8.52744803 + 2.70880253(Zn) - 2.18196814(Mg)	0.51767662	0.0029
5	5.58515091 + 0.55542555(Exp) + 2.99638344(Zn) - 2.44266180(Mg)	0.59981402	0.0027
6	5.95446431 + 0.60155908 + 0.35266562 + 2.26358724 - 2.66130922	0.66752983	0.0025
7	6.34936737 + 0.72960407(Exp) - 0.24116182(Arc) + 0.63316727(P) + 2.55168732(Zn) - 2.66427746(Mg)	0.74624417	0.0015
8	14.61460309 + 0.93476765(Exp) - 2.07188779(Dre) - 0.52721938(Arc) + 0.74130692(P) + 2.90340848(Zn) - 2.77151425(Mg)	0.92833808	0.0001

Apéndice 7. Modelos obtenidos a nivel de la Cooperativa Chirrepec, separando las variables edáficas y fisiográficas

IMA DAP Factores fisiográficos		R ²	Significancia
No.	Modelo		
1	2.77656556 - 0.01831580(Pen)	0.3090121	0.0135
2	2.38089809 + 0.07852649(Exp) - 0.01984772(Pen)	0.4173122	0.0133
IMA ALT Factores fisiográficos			
1	1.18597561 + 0.10777439(Cont)	0.2308985	0.0373
2	0.85433509 + 0.06152607(Exp) + 0.10102153(Cont)	0.4123822	0.0142
3	1.13944597 + 0.06968429(Exp) + 0.07453526(Cont) - 0.00693702(Pen)	0.51539951	0.0107
IMA VOL Factores fisiográficos			
1	3.07131148 + 2.34016393(Pos)	0.1208811	0.1447
IMA DAP Factores edáficos			
1	1.15838109 + 0.04608405(Lim)	0.2946036	0.0163
2	0.99232794 + 0.06157171(Lim) - 0.04865107(Fe2)	0.5476885	0.0018
3	1.53157690 + 0.05491966(Lim) - 0.17581827(Mg) - 0.04104065(Fe2)	0.6545149	0.0009
4	1.29247581 + 0.06029894(Lim) - 0.17019885(Mg) + 0.01480877(Arc2) - 0.06893083(Fe2)	0.706402	0.0011
5	- 5.21542106 + 0.10040310(Lim) - 0.20032752(Mg) + 0.09555612(Arc2) + 0.06872000(Are2) - 0.09445503(Fe2)	0.8351494	0.0001
6	- 6.94070872 + 0.10156209(Lim) - 0.15750805(Mg) + 0.11635372(Arc2) + 0.07602172(Are2) - 0.10053864(Fe2)	0.8629609	0.0001
7	- 8.40054147 + 0.10233838(Lim) - 0.21500001(Mg) + 0.12610091(Arc2) + 0.08292328(Are2) - 0.10334098(Fe2) + 0.02269309(CIC2) + 0.02409901(SB2)	0.9118826	0.0001
8	- 10.63172436 + 0.10453597(Lim) + 0.0447278(P) - 0.28673224(Mg) + 0.1423688(Arc2) + 0.10372908(Are2) - 0.10236082(Fe2) + 0.02903089(SIC2) + 0.03809948(SB2)	0.9418079	0.0001
9	- 53.38175863 + 0.08595472(Lim) + 0.05211862(P) - 0.27565753(Mg) + 0.55891226(Arc2) + 0.47520295(Lim2) + 0.52677968(Are2) - 0.09874664(Fe2) + 0.02630379(CIC2) + 0.04485971(SB2)	0.9651145	0.0001

Cont...

Apéndice 7. Modelos obtenidos a nivel de la Cooperativa Chirrepec, separando las variables edáficas y fislográficas

	IMA ALTURA Edáficos	R ²	Significancia
1	$1.02360315 + 0.02406536(\text{Lim})$	0.216085	0.0449
2	$0.93659867 + 0.03218020(\text{Lim}) - 0.02549100(\text{Fe}2)$	0.4029633	0.0161
3	$0.70021921 + 0.03768485(\text{Lim}) + 0.01577750(\text{Arc}2) - 0.05494650(\text{Fe}2)$	0.5617133	0.0052
	IMA Vol. Edáficos		
1	$- 3.01004243 + 0.55813296(\text{Lim}2)$	0.3187796	0.0118
2	$2.13476181 - 1.46852569 + 0.46817278$	0.4399005	0.0097
3	$5.49906543 + 2.10132006(\text{Zn}) - 1.93974227(\text{Mg}) + 0.18370048(\text{Lm}2)$	0.5355292	0.0079
4	$8.52744803 + 2.70880253(\text{Zn}) - 2.18196814(\text{Mg})$	0.5176766	0.0029

Apéndice 8. Modelos obtenidos del resto de proyecto de la Región (Estrato II)

Incremento Medio Anual en Diámetro (Dap) (IMAD)	R ²	Significancia
2.48846514 - 3.45671502(Na2)	0.10899246	0.0401
2.38679921 - 4.08697554(Na2) + 0.67063347(K2)	0.23432917	0.0082
2.05902233 + 0.08188643(CON) - 3.92677802(Na2) + 0.68915688(K2)	0.30160645	0.0052
2.20686791 + 0.07674393(CON) - 0.01440236(P2) - 4.56488410(NA2) + 0.68870438(K2)	0.35328275	0.0042
2.24942044 + 0.07734949(CON) - 0.51791251(K) - 0.01513452(P2) - 4.21411910(NA2) + 1.35818617(K2)	0.39949662	0.0036
2.31616110 + 0.07480930(CON) - 0.57778713(K) - 0.01630682(P2) - 0.02907297(ZN2) - 4.37520692(NA2) + 1.58688217(K2)	0.45219805	0.0024
2.04692005 + 0.08128405(CON) + 0.00079078(CE) - 0.67242341(K) - 0.01434231(P2) - 0.04744080(ZN2) - 4.46119974(NA2) + 1.67209070(K2)	0.49270575	0.0020
1.87576577 + 0.12585997(CON) + 0.00135043(CE) - 4.90572475(NA) - 0.80657221(K) - 0.01328087(P2) - 0.06328587(ZN2) - 0.70629443(NA2) + 1.94519109(K2)	0.55453009	0.0009
1.81634990 + 0.13180051(CON) + 0.00141518(CE) - 5.50279888(NA) - 0.83000753(K) - 0.01280761(P2) - 0.06495815(ZN2) + 1.98019124(K2)	0.55311472	0.0004

Cont...

Apéndice 8. Modelos obtenidos del resto de proyecto de la Región (Estrato II)

Incremento Medio Anual en Altura (IMAA)	R ²	Significancia
1.36021505 + 0.18763441(PED)	0.08483902	0.0720
1.79607104 + 0.25550126(PED) - 2.80516307(NA2)	0.21898028	0.0117
1.92729676 + 0.25491278(PED) - 0.01485223(P2) - 3.45027853(NA2)	0.33075185	0.0026
0.69555020 + 0.36227325(PED) + 0.26335474(PRO) - 0.01531168(P2) - 4.04601767(NA2)	0.40638421	0.0011
- 0.05494911 + 0.37769022(PED) + 0.33868814(PRO) + 0.01915052(LIM) - 0.01429667(P2) - 4.40842994(NA2)	0.49402556	0.0003
- 0.63202716 + 0.34902787(PED) + 0.42686001(PRO) + 0.01617677(LIM) + 0.00125519(CE2) - 0.01364076(P2) - 4.59889960(NA2)	0.53718607	0.0002
Incremento Medio Anual en Volumen (IMAV)		
- 0.78805226 + 0.32708413(LIM)	0.12944758	0.0245
3.17098545 + 0.35737410(LIM) - 28.51301403(NA2)	0.19728687	0.0191
4.22344651 + 3.05176047(PED) + 0.33637662(LIM) - 37.83416820(NA2)	0.29200214	0.0066
11.13131598 + 5.64547508(PED) - 5.11888419(ERO) + 0.26269730(LIM) - 42.70634286(NA2)	0.40144416	0.0013
- 4.20761741 + 6.62297058(PED) - 4.75350419(ERO) + 2.94908951(PRO) + 0.31766061(LIM) - 49.43384659(NA2)	0.44160203	0.0012
- 2.10804817 - 2.02348183(POS) + 7.84414471(PED) - 5.15605526(ERO) + 3.64141730(PROF) + 0.32208681(LIM) - 58.79221693(NA2)	0.48133380	0.0011
- 0.89023418 - 0.42399702(EXP) - 2.07232815(POS) + 8.04132329(PED) - 5.31371620(ERO) + 3.93743224(PRO) + 0.30789295(LIM) - 59.28123788(NA2)	0.51796568	0.0010



FACULTAD DE AGRONOMIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
AGRONOMICAS

REF. Sem. 30/2004

LA TESIS TITULADA:

"FACTORES EDÁFICOS Y FISIOGRAFICOS
QUE AFECTAN EL CRECIMIENTO INICIAL
DE *Pinus maximoi* H.E. Moore EN
PLANTACIONES ESTABLECIDAS DENTRO
DEL PROGRAMA DE INCENTIVOS
FORESTALES EN LAS VERAPACES".

DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE :

WALTER ALVARADO JERONIMO

CARNE:

9813653

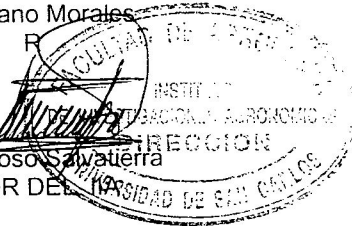
HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES :

Ing. Agr. Willy Alfredo Quintana Roca
Ing. Agr. Gricelda Lily Gutierrez Alvarez
Dr. David Monterroso Salvatierra

Los Asesores 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. Marco Tulio Aceituno Juárez
A S E S O R

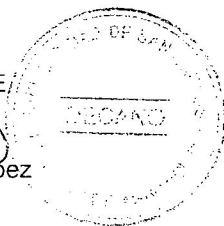
Ing. Agr. Enrique Cano Morales
A S E S O R



Dr. David Monterroso Salvatierra
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

IMPRIMASE

Dr. Abelardo Ortiz López
D E C A N O



DMS/nm
c.c. Archivo
IIA
Control Académico