

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

**FACTORES FISIAGRÁFICOS Y EDÁFICOS QUE INFLUYEN EL CRECIMIENTO
INICIAL DE *Pinus caribaea* Morelet var. hondurensis, EN PLANTACIONES
ESTABLECIDAS DENTRO DEL PROGRAMA DE INCENTIVOS FORESTALES EN
LOS MUNICIPIOS DE DOLORES Y POPTÚN EN EL DEPARTAMENTO DE PETÉN**

TESIS

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

POR

MANUEL BENEDICTO LUCAS LÓPEZ

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

INGENIERO AGRÓNOMO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO

GUATEMALA OCTUBRE 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

LIC. CARLOS ESTUARDO GÁLVEZ BARRIOS

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	Dr. Ariel Abderramán Ortiz López
VOCAL PRIMERO	Ing. Agr. Alfredo Itzep Manuel
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. Walter Arnoldo Reyes Sanabria
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. Danilo Ernesto Dardón Ávila
VOCAL CUARTO	Br. Duglas Antonio Castillo Álvarez
VOCAL QUINTO	Br. José Mauricio Franco Rosales
SECRETARIO	Ing. Agr. Pedro Peláez Reyes

Guatemala, Octubre de 2006

Guatemala, Octubre 2006

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 FISIOGRAFICOS Y EDÁFICOS QUE INFLUYEN EL
CRECIMIENTO INICIAL DE *Pinus caribaea* Morelet var. hondurensis, EN
PLANTACIONES ESTABLECIDAS DENTRO DEL PROGRAMA DE
INCENTIVOS FORESTALES EN LOS MUNICIPIOS DE DOLORES Y
POPTÚN EN EL DEPARTAMENTO DE PETÉN

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.

Manuel Benedicto Lucas López

ACTO QUE DEDICO

A: DIOS

Por amarme primero y darme vida eterna para salvación.

MI PAPÁ, GRAL. MANUEL BENEDICTO LUCAS GARCÍA

Por ese cúmulo de amor, principios y valores que has inculcado en mi vida. Es, ha sido y seguirá siendo un privilegio ser tu hijo.

MI MAMÁ, SANDRA ARLETY LÓPEZ GARCÍA

Por todo lo que me diste. Vives en mi corazón y mi recuerdo de una forma imborrable, pero sabiendo que te volveré a ver algún día.

MI ABUELITA, MARÍA ROMELIA GARCÍA VDA. DE LÓPEZ

Por darme ese derroche de amor y comprensión; así como guiarme de la forma en que lo ha hecho.

MIS HERMANOS, CÉSAR LUCAS Y GIOVANNA SAENZ LÓPEZ

Pues han sido ese regalo especial de Dios que alegra mi corazón a cada momento. Especialmente César, mi compañero y amigo. Espero vivir una vida ejemplar para estar por ustedes siempre allí.

MIS TÍOS, PRIMOS Y DEMÁS FAMILIA

Gracias por apoyarme en muchos aspectos de mi vida. Especialmente Tío Márvin López, gracias por ser un ejemplo en mi vida.

MI NOVIA, OMAIRA ESPINOZA

Por todo el amor y cariño que compartes conmigo, así como el sabor que pones a mi vida. Agradezco a Dios por ponerte a ti y a tu familia en mi vida.

MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS

Por ese cariño y apoyo que han brindado ha mi vida, saben que son gestores en gran manera de este triunfo y están en mi corazón hoy y siempre.

MI TIERRA, GUATEMALA

AGRADECIMIENTOS

A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala, especialmente a la Facultad de Agronomía por abrir sus puertas para brindarme herramientas para materializar sueños, y tantas experiencias estudiantiles y laborales especiales.

Al Instituto de Ciencias Agroforestales y Vida Silvestre en Poptún Petén, que me dio la plataforma de mi carrera y me preparó para la Universidad.

Las familias: Espinoza, Bran Miche, Mendieta Jiménez, Tax Marroquín, Payes Mendoza; pues aparte de abrirme las puertas de sus hogares, me han abierto las puertas de su corazón y me siento miembro de su familia.

Iglesia Evangélica Centroamericana Bethel en Santa Lucía Cotz., Escuintla e Iglesia Bíblica Lomas del Norte, zona 17 de Guatemala; por ayudarme a conocer más de Dios y brindarme cariño sincero de hermanos.

A la sociedad de Jóvenes de Iglesia Evangélica Centroamericana Bethel, por manifestarme todo su amor, apoyo y comprensión.

Mi amigo y Consejero Daniel Bran Colín, Dios te ha usado para influenciar de forma determinante mi vida y mi entorno, gracias, pues se que seguís allí.

Mis asesores y amigos, Ing. Edwin Cano e Ing. Marco Tulio Aceituno por su asesoría plena y amistad brindada durante el proceso de investigación y en mi vida académica.

Ing. Josué Morales por brindar sugerencias para mejorar el presente trabajo y asesorarme en mi vida laboral y profesional.

Ing. Willi Quintana y Griselda Lily Gutierrez, por sus sugerencias para mejorar la presente investigación.

Al Dr. Ariel Ortiz y al Ing. Pedro Pelaez, por su apoyo y amistad brindada en el transcurso de mi vida académica, especialmente en momentos decisivos de mi carrera, los llevo en mi mente y mi corazón.

A el Sistema Nacional de Prevención y Control de Incendios Forestales por cobijarme laboralmente y haberme dado la oportunidad de realizar el EPSA, especialmente a el equipo de trabajo que lo conforma.

A la Subárea de Ciencias Químicas de la facultad de Agronomía por brindarme mi primera experiencia laboral formal. En especial a Gustavo A. Jacinto Rodas, Elizabeth Gutiérrez Quiñónez, Lic. Julio Chinchilla y Lic. Romeo Pérez; gracias por su amistad y apoyo.

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

**“FACTORES FISIAGRÁFICOS Y EDÁFICOS QUE INFLUYEN EL CRECIMIENTO
INICIAL DE *Pinus caribaea* Morelet var. hondurensis, EN PLANTACIONES
ESTABLECIDAS DENTRO DEL PROGRAMA DE INCENTIVOS FORESTALES EN LOS
MUNICIPIOS DE DOLORES Y POPTÚN EN EL DEPARTAMENTO DE PETÉN”**

MANUEL BENEDICTO LUCAS LÓPEZ

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2006

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	Página
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	2
3. MARCO TEÓRICO.....	3
3.1. MARCO CONCEPTUAL.....	3
3.1.1. Crecimiento.....	3
3.1.2. Aspectos de la Productividad.....	3
3.1.3. Importancia de la calidad de sitio.....	4
3.1.4. Métodos para cuantificar la calidad de sitio.....	4
3.1.4.1. Métodos directos.....	5
3.1.4.2. Métodos indirectos.....	5
3.1.5. Estimación a partir de factores climáticos, topográficos y edáficos.....	5
3.1.6. Expresiones del sitio en base al complejo suelo-clima.....	6
3.1.7. Factores de crecimiento que influyen en la calidad de sitio.....	7
3.1.7.1. Definición de un factor ambiental de crecimiento.....	7
3.1.8. Descripción de factores ambientales.....	7
3.1.8.1. Localización fisiográfica.....	7
3.1.8.2. Situación Topográfica.....	8
3.1.8.2.1. Pendiente.....	8
3.1.8.2.2. Superficie.....	9
3.1.8.3. Factores Climáticos.....	9
3.1.8.3.1. Precipitación.....	9
3.1.8.3.2. Temperatura.....	9
3.1.8.3.3. Humedad.....	10
3.1.8.4. Factores Edáficos.....	10
3.1.8.4.1. Pedregosidad.....	11
3.1.8.4.2. Drenaje.....	11
3.1.8.4.3. Propiedades físicas.....	12
3.1.8.4.4. Propiedades químicas.....	13
3.1.9. Interacción entre los factores ambientales y la calidad de sitio.....	14
3.1.9.1. Generalidades del análisis de regresión múltiple.....	14
3.2. MARCO REFERENCIAL.....	15
3.2.1. Aspectos generales del Pino Caribe.....	15
3.2.1.1. Descripción de la especie.....	15
3.2.1.2. Distribución Natural.....	16
3.2.1.3. Factores limitantes.....	17

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	Página
3.2.1.4. Mejores procedencias	18
3.2.2. Descripción del área de estudio	19
3.2.2.1. Relieve y Fisiografía	19
3.2.2.2. Geología y Suelo	19
3.2.2.3. Condiciones Climáticas	20
3.2.2.4. Zona de Vida	21
3.2.2.5. Topografía y vegetación	21
3.2.3. Consideraciones generales de uso	22
3.2.4. Estudios relacionados con los factores de sitio y su influencia sobre el crecimiento.....	22
4. OBJETIVOS.....	24
4.1. GENERAL.....	24
4.2. ESPECÍFICOS.....	24
5. HIPÓTESIS.....	25
6. METODOLOGÍA	26
6.1. SELECCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	26
6.2. SELECCIÓN DE LOS PROYECTOS	26
6.2.1. Criterios de Selección.....	26
6.2.2. Revisión de Expedientes.....	27
6.3. SELECCIÓN Y NÚMERO DE PARCELAS PERMANENTES DE MONITOREO	27
6.3.1. Método de Muestreo dentro de cada proyecto seleccionado.....	27
6.3.2. Intensidad de Muestreo.....	27
6.3.3. Tipo de parcela.....	27
6.3.4. Tamaño y Forma De La Parcela	27
6.3.5. Número de parcelas y distribución por sitio.....	28
6.3.6. Ubicación e instalación de las parcelas.....	29
6.4. RECOPIACIÓN DE DATOS DE CAMPO	29
6.4.1. Elaboración de Croquis de la parcela	29
6.4.2. Variables evaluadas.....	29
6.5. CONSTRUCCIÓN DE MODELOS DE PREDICCIÓN DEL CRECIMIENTO INICIAL.....	35

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	Página
6.5.1. Análisis de regresión separando las variables edáficas y fisiográficas	36
6.5.2. Análisis de regresión múltiple de todos los factores evaluados.....	36
6.6. ORDENAMIENTO, PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	36
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
7.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS PARCELAS Y PROYECTOS EVALUADOS.....	38
7.1.1. VARIABLES DASOMÉTRICAS... ..	38
7.1.2. VARIABLES DE CRECIMIENTO	50
7.1.3. VARIABLES FISOGRÁFICAS.....	57
7.2 CONSTRUCCIÓN DE MODELOS DE PREDICCIÓN DEL CRECIMIENTO INICIAL	61
8. CONCLUSIONES.....	64
9. RECOMENDACIONES.....	65
10. BIBLIOGRAFÍA.....	66
11. APÉNDICE.....	69

ÍNDICE DE CUADROS

CONTENIDO	Página
Cuadro 1. Subdivisión de <i>Pinus caribaea</i> Morelet en variedades según Barret y Golfari (1962)	15
Cuadro 2. Variables climáticas para la zona registrada en la estación meteorológica de Poptún Petén, período 1984 - 1992	20
Cuadro 3. Características generales de los proyectos evaluados	28
Cuadro 4. Evaluación de las variables fisiográficas y edáficas	34
Cuadro 5. Clasificación de la calidad del sitio de acuerdo al valor total obtenido	35
Cuadro 6. Evaluación de las variables fisiográficas y edáficas	39
Cuadro 7. Condiciones fisiográficas y edáficas de parcelas en el mismo sitio y edad de plantación	43
Cuadro 8. Condiciones fisiográficas y edáficas de parcelas en sitios distintos a una misma edad de plantación	44
Cuadro 9. Rangos dasométricos de las plantaciones por edad	45
Cuadro 10. Frecuencia general de códigos para forma y defectos de ejes (fuste) por edad de <i>Pinus caribaea</i> Morelet var. hondurensis	47
Cuadro 11. Incrementos medios anuales en diámetro, altura y volumen por parcela	51
Cuadro 12. Calidad de las parcelas en base a los Incremento Medios Anuales por edad	56
Cuadro 13. Incrementos medios anuales en diámetro, altura y volumen en Dolores y Poptún.... Petén	57
Cuadro 14. Número y porcentaje de parcelas que se ubican en sitios buenos y malos de Acuerdo a los IMAs en diámetro, altura y volumen	57
Cuadro 15. Características fisiográficas y edáficas de las parcelas	58
Cuadro 16. Descripción general de las variables edáficas y fisiográficas	61
Cuadro 17. Efectos de las características fisiográficas y edáficas del proyecto 4 HIFISA S.A.	62
Cuadro 18. Efectos de las características fisiográficas y edáficas del proyecto 5 SERCORPA	63
Cuadro 19. Efectos de las características fisiográficas y edáficas del proyecto 9 LA MUERTA ...	63

FACTORES FISIAGRÁFICOS Y EDÁFICOS QUE INFLUYEN EL CRECIMIENTO INICIAL DE *Pinus caribaea* Morelet var. hondurensis, EN PLANTACIONES ESTABLECIDAS DENTRO DEL PROGRAMA DE INCENTIVOS FORESTALES EN LOS MUNICIPIOS DE DOLORES Y POPTÚN EN EL DEPARTAMENTO DE PETÉN

PHYSIOGRAPHIC AND EDAPHIC FACTORS THAT INFLUENCE THE INITIAL GROWTH OF *Pinus caribaea* Morelet var. hondurensis ON PLANTATIONS ESTABLISHMENT ON FOREST INCENTIVE PROGRAM AT DOLORES AND POPTÚN MUNICIPALITIES OF PETÉN DEPARTMENT

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.

El *Pinus caribaea* Morelet var. hondurensis es la especie dentro del programa de incentivos forestales que a nivel nacional hasta el año 2004 poseía un total de 4,437 hectáreas reforestadas dentro del Programa de Incentivos Forestales (PINFOR), lo cual representa el 9.69 % del total reforestadas a través del PINFOR. Ubicándose la misma, como la tercer especie más utilizada dentro de este programa a nivel nacional. Así mismo en la zona Sur de Petén (municipios Poptún y Dolores), en el cual se utilizaba más dicha especie, existe un total de 916 hectáreas reforestadas de esta especie.

En función de lo anterior el presente estudio se realizó en los municipios de Dolores y Poptún, del Departamento de Petén, con el propósito de determinar el comportamiento del crecimiento inicial, la calidad del fuste y el estado fitosanitario de las plantaciones de *Pinus caribaea* Morelet var. hondurensis en base a la metodología del Mira Silv. Evaluando 8 proyectos, con edades de 3 a 4 años, para lo cual fue necesario establecer y medir 84 parcelas permanentes de monitoreo -ppm-. Se estableció que el 38% del total de ejes evaluados presentan algún defecto en el fuste, lo que incide que la calidad de las plantaciones en base a dicha característica no es adecuada,

lo cual se considera bajo. Las plagas no representan ningún daño severo a las plantaciones, mientras que la sanidad de los ejes presentan una calidad buena. Se establece que el 69% de las plantaciones se encuentran desarrollándose en crecimientos iniciales no adecuados, es decir por debajo de los diferentes Incremento Medios Anuales.

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 37 y 97% de la variación del crecimiento, lo que demuestra que el crecimiento inicial es afectado por las variables evaluadas.

Entre los factores fisiográficos y edáficos que influyeron sobre el crecimiento se encuentra: la pendiente, exposición, pedregosidad, drenaje, profundidad, posición en la pendiente.

Con base a los resultados obtenidos, se recomienda que en la planificación y aprobación de proyectos que incluyan la especie de *Pinus caribaea* Morelet var. hondurensis dentro del PINFOR de la zona Sur Oriente de Petén 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 16%, con exposiciones Sureste y Suroeste, ubicados en las partes medias y bajas de la pendiente y que posean suelos muy profundos y texturas medias.

Se espera que se deba 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 percibe siempre en una plantación con fines de aprovechamiento de madera para aserrío. Es importante reducir estos árboles para que los de buena calidad puedan desarrollarse en mejores condiciones y obtener una mejor producción de madera para aserrío.

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo forestal en varios países tropicales y en especial en América Central, en la última década ha tenido un auge muy importante, especialmente en el establecimiento de plantaciones forestales (41). Guatemala, a través de la Ley Forestal (20) dio origen al Programa de Incentivos Forestales (PINFOR), el cual ha fomentado un aumento en la reforestación, iniciando en el año de 1997 con 890 hectáreas reforestadas, la cual ha aumentado hasta el año 2004 en donde contaba con 44,389 hectáreas acumuladas reforestadas (22).

En Guatemala, existe poca información generada acerca de plantaciones forestales, creando un vacío de información de modelos matemáticos, generación de ecuaciones de índices de sitio y otra serie de modelos predictorios del comportamiento de las especies, de acuerdo a los factores ambientales de su entorno. Por lo mismo, se recurre a estudios de las especies, generados en otro país, bajo las condiciones de dichos lugares.

Para determinar los factores que afectan el crecimiento de plantaciones de Pino caribe (*Pinus caribaea* Morelet var. hondurensis), se estudió los factores de sitio que interactúan con la especie, en plantaciones establecidas bajo el PINFOR, con edades entre 3 y 4 años. Esto con motivo de medir cuantitativamente los atributos de la especie en estudio, así como también variables fisiográficas y edáficas. Con esta información se agruparon los factores de influencia y se estudió el grado de correlación que poseen, para después cuantificar la relación entre factores de sitio y crecimiento.

Estos datos estadísticos generados, proporcionarán información importante para determinar que variables pueden tomarse en cuenta en la planificación y uso de futuros sitios con dicha especie. La presente investigación es parte de un programa de implementación de parcelas permanentes de especies forestales en plantaciones, en Guatemala y en Centroamérica. En Guatemala es impulsado por el Instituto Nacional de Bosques (INAB) con la iniciativa y el apoyo del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), de Costa Rica.

2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La creciente demanda a nivel nacional de información que explique algunos comportamientos de plantaciones forestales, para elaborar planes de manejo que aseguren el rendimiento máximo y continuo de las mismas, conlleva estudios que incorporen la relación existente entre los principales factores ambientales que afectan a las plantaciones. Y como lo indica Ugalde (41), “Uno de los vacíos más grandes en investigación forestal en varios países tropicales es la falta de información de crecimiento y rendimiento de plantaciones con fines de producción de madera para aserrío”.

El PINFOR, ha producido desde 1997 un aumento en la tasa de reforestación nacional, lo cual ha llevado en ciertos casos a que se establezcan especies forestales en sitios inadecuados para las mismas.

Así mismo como lo establece Santos (35) “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 si sola no proporciona información acerca de los factores abióticos que influyen en el crecimiento de los árboles, cuya interacción en cierto modo define la calidad de un sitio o área. Esta limitante, más el desconocimiento objetivo de resultados a corto, mediano y largo plazo, puede ser uno de los factores por los cuales existe una masiva falta de credibilidad del sector forestal nacional, lo cual puede llevar consigo un déficit en la inversión local, de proyectos de esta índole.

Además para las especies forestales prioritarias en el Programa de incentivos forestales (PINFOR) (20), es muy importante analizar su crecimiento con base a la calidad de sitio respectivo.

En resumen, actualmente no se tiene suficiente información de factores de sitio que permita establecer plantaciones forestales de la especie *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis*, con alta probabilidad de éxito.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. MARCO CONCEPTUAL

3.1.1. Crecimiento

El crecimiento de un árbol o de una masa está representado por su respectivo desarrollo; de aquí que se habló del desarrollo del árbol en altura y diámetro y del desarrollo en volumen de un árbol o de una masa, al referirse al crecimiento. A medida que un árbol crece, sus dimensiones aumentan (diámetro, altura y volumen). Este crecimiento del árbol en un período de tiempo determinado se llama incremento. Se deben diferenciar los siguientes: incremento del árbol en diámetro, incremento del árbol en altura, incremento del árbol en volumen. Por analogía se habla del incremento de una masa de bosque (32).

3.1.2. Aspectos de la Productividad

La productividad de los suelos es función de sus propiedades edáficas y el clima. Las propiedades edáficas del suelo se dividen en dos categorías: físicas y químicas. Se considera que las propiedades físicas son más importantes con respecto a los objetivos de la silvicultura, lo que resulta cierto desde el momento en que el nivel de nutrientes de un suelo depende en gran parte de sus propiedades físicas; sin embargo, tanto las propiedades físicas como las químicas pueden dominar de modo independiente el crecimiento de las plantas, como ocurre en los suelos demasiado compactados, aquellos en los que existe un exceso o una deficiencia de nutrientes o los que presentan niveles de pH que resultan tóxicos (13).

De acuerdo a Zepeda y Rivero (1984), citados por Escobedo (16), se puede estudiar productividad por la capacidad (en términos de eficacia); grado de producción (en términos de eficiencia) por unidad de trabajo, superficie de tierra cultivada, equipo industrial, unidad de tiempo u otro insumo factor de producción. Tomando en cuenta la dificultad en determinar la productividad de los terrenos forestales, se ha recurrido a enfocarla en función de factores ambientales; en el caso de la calidad de sitio, que se estima mediante la máxima cosecha de madera que el bosque produzca en un tiempo determinado.

Según Daniel (13), dentro de un microclima, la calidad del sitio determina el tipo y la magnitud de los problemas y las oportunidades que se le presentan al técnico forestal para el manejo del rodal en estudio. La calidad del terreno es una cuestión esencial en el manejo de los rodales encaminada a la producción de varias combinaciones de productos forestales. No es posible tomar decisiones válidas, de

tipo silvícola, si no se hace referencia a la calidad del sitio y a otras condiciones del sitio, del área en estudio.

3.1.3. Importancia de la calidad de sitio

Dada la necesidad existente de expresar la capacidad productiva de una localidad forestal en términos de su potencial, se toma en cuenta que el rendimiento 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, alcanzando grandes volúmenes en poco tiempo, mientras que en otros el crecimiento será menor o muy pobre. La capacidad productiva de un determinado lugar se conoce como *calidad de sitio*, donde “sitio” está definido por un complejo de factores bióticos y abióticos, y su “calidad” es el resultado de la interacción de los factores ambientales (suelo, clima, etc.) y la vegetación existente (18). En concordancia con algunos aspectos de lo anterior, Daniel (13), involucra el concepto de calidad de sitio como la suma de muchos factores ambientales tales como: profundidad del suelo, textura, características de sus perfiles, composición mineral, pronunciado de las pendientes, exposición, microclima, especies que viven sobre él y otros más.

Zepeda y Rivero 1984, citados por Escobedo (16), definen “calidad de sitio como el carácter o cualidades distintivas que indican, en forma un tanto relativa, el grado de productividad de un lugar bajo las condiciones imperantes en el momento en que se efectúa la estimación de ésta; considerado que tal productividad es la resultante de la suma de todos los efectos de los factores de sitio que interactúan en ese lugar, que está determinado por el producto entre la capacidad y eficiencia de producción del sitio y que se entiende, en la generalidad de los casos, como la aptitud o susceptibilidad de ese sitio para sostener o soportar el crecimiento de cierta cantidad y tipo de biomasa”.

3.1.4. Métodos para cuantificar la calidad de sitio

Carmean (1975) y Clutter *et al.* 1983 (11), dividen los métodos para clasificar la calidad de sitio en métodos directos y métodos indirectos. En los primeros, la calidad de sitio es estimada en función de datos históricos de rendimiento en volumen, crecimiento en altura dominante (índice de sitio) o crecimiento entre nudos, es decir, estos métodos se utilizan para clasificar sitios en bosques naturales, con plantaciones ya establecidas. Cuando se desean clasificar sitios donde aún no hay plantaciones, se utilizan los métodos indirectos, los cuales utilizan relaciones entre especies, características de la vegetación inferior (sotobosque) o factores edáficos, topográficos y climáticos (42).

La evaluación de la calidad de sitio puede realizarse de dos formas: por métodos directos e indirectos.

3.1.4.1 Métodos directos

- A. Estimación a partir de registros históricos de rendimiento.
- B. Estimación basada sobre datos de volumen del rodal.
- C. Estimación basada sobre datos de altura.
- D. Estimación a partir de datos de incremento periódico en altura (11, 31).

3.1.4.2 Métodos indirectos

Estos métodos conducen a la obtención de índices de sitio o productividad a través de análisis de regresión en tres formas diferentes.

- A. Estimación a partir de las relaciones entre especies del estrato superior.
- B. Estimación a partir de las características de la vegetación menor o sotobosque.
- C. Estimación a partir factores climáticos, topográficos y edáficos (11, 31).

3.1.5. Estimación a partir de factores climáticos, topográficos y edáficos

Según Rivero y Zepeda (1990), citados por Escobedo (16), la calidad de sitio, dentro de un microclima determinado, está asociado con la capacidad que tiene el suelo para aportar humedad y nutrientes a la comunidad vegetal. La estimación del índice de sitio que se basan en factores edáficos y del sitio en sí, permiten apenas explicar entre 50 y 60% de la variación total. Las diferentes fórmulas han tenido errores estándar que van de + 1.20 a 2.70 m para el índice promedio del sitio; esto significa que incluso en el punto de mayor precisión (es decir en el índice promedio) sólo 67% de las determinaciones caen dentro de los límites del error estándar.

La mayoría de evaluaciones realizadas entre las relaciones existentes entre el índice de sitio y factores edáficos del sitio están con el material madre, las características del perfil, la pendiente y la exposición general del suelo (16).

Dos estudios edáficos de sitio realizados en una región indican cierta incoherencia en cuanto a la significación relativa de los distintos factores edáficos. Un estudio realizado por Coile y Schumacher

(1953), en dos especies de pino encontraron que la profundidad del horizonte A y el valor de absorción de agua del horizonte B presentaban una notable correlación con el índice de sitio. La posición en la pendiente no tiene una relación significativa con el índice, además de su efecto sobre las características del suelo. Sus resultados fueron presentados en una tabla, uno de sus ejes consta de 5 clases de subsuelo, que se basan en la consistencia del mismo cuando está húmedo y el otro representa la profundidad del subsuelo. El error estándar de la estimación para una especie fue de 11% y de 12% para la otra (16).

Cuando el índice edáfico del sitio se correlaciona correctamente con el índice mismo, las clases de sitios por su calidad pueden mapearse con una velocidad sin precedentes. Al parecer, las fallas existentes en el método del índice edáfico del sitio surgen de: (7) la falta de solidez en las curvas del índice de sitio con las que se establecen las correlaciones, y (8) la incorporación de datos provenientes de demasiadas áreas fisiográficamente diferentes (16).

Las formas características de estimar la calidad de sitio con estos procedimientos ha sido a través de relaciones funcionales entre características dasométricas, principalmente incrementos, propiedades de los suelos y características topográficas de los terrenos. Aún cuando en ciertos casos, principalmente cuando la vegetación es inexistente, tales relaciones sólo se llevan a cabo entre propiedades de los suelos y características topográficas (16).

Algunas de las características topográficas de uso más frecuente son la Exposición, la forma del relieve y la pendiente de los terrenos. Conviene señalar que el grado de subjetividad de los factores considerados en estos métodos, principalmente la forma de valorarlos y/o ponderarlos, es bastante alto (16).

3.1.6. Expresiones del sitio en base al complejo suelo-clima

La calidad de sitio es la suma total de los factores ambientales que afectan el crecimiento de las plantas. A pesar de que los suelos tienen fundamental importancia en la determinación del sitio, el clima y el bosque mismo con su complejo de flora y fauna también deben considerarse (31).

El clima obviamente está relacionado con el crecimiento de los árboles, pero su variación dentro de una región forestal determinada suele ser la misma. No así el microclima, que puede tener una incidencia muy fuerte en el sitio. La cantidad de precipitación y su distribución a través del período de crecimiento, junto a las características físicas del suelo, condicionan la disponibilidad de agua para la vegetación. Otros factores del clima son la temperatura, la radiación y el viento. Estas variables son sustituidas en muchas expresiones de sitio por variables geográficas y topográficas, latitud, altitud,

exposición, pendiente, posición en la pendiente, distancia al mar; todas fácilmente determinables por cartografía y fotointerpretación (31).

Las variables del suelo expresan principalmente su estado nutricional y su capacidad de retención de agua. Algunas de ellas (series de suelo, geomorfología) pueden obtenerse de la cartografía y fotointerpretación; otras, como profundidad, textura, estructura, pedregosidad, drenaje, erosión, pH, contenido de nutrientes, requieren trabajo de campo y hasta de laboratorio en algunos casos (31).

3.1.7. Factores de crecimientos que influyen en la calidad de sitio

3.1.7.1. Definición de un factor ambiental de crecimiento

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 es estudiado y analizado puede generar una predicción en la productividad de una especie forestal (32).

Según Cannon (1984), citado por Santos (35), los factores ambientales o de sitio suelen ser clasificados en tres grandes grupos: Climáticos, fisiográficos y edáficos. El análisis de los factores puede variar dependiendo de las características genéticas de la especie arbórea y de los intereses institucionales, nacionales o regionales. Una de las formas más comunes de discriminación de factores es cuando el investigador desde el sitio puede determinar características sobresalientes que influyan. Este método aunque es subjetivo es utilizado dependiendo del criterio de la investigación; si por ejemplo, se desean evaluar las procedencias de una especie en particular en un sitio dado, el investigador estará muy interesado en determinar que influencia provoca sobre su crecimiento el efecto de la variación de la latitud y longitud del sitio con respecto a su lugar de origen, esto implica entonces que se pueden asociar otros factores que sean representativos a la ubicación del sitio o región y que puedan influir en el crecimiento de un rodal.

3.1.8. Descripción de factores ambientales

3.1.8.1. Localización fisiográfica

La localización fisiográfica, algunas veces denominada como situación, se utiliza para definir las variaciones de la localización que se determinan mediante la fotografía y la dirección (aspecto),

orientación, grado de inclinación y Configuración de la pendiente. La posición fisiográfica, por sí misma, no genera una respuesta de crecimiento en los árboles; los cambios que se pueden apreciar son el resultado de la influencia que tiene la situación sobre la temperatura del aire y la composición del suelo, la precipitación, la humedad del suelo, la interacción de temperatura y la humedad, y otros factores físicos de la localización (18).

La ubicación física de una localidad forestal, dentro del terreno de una provincia determinada, ha sido utilizada efectivamente para describir las diferencias de la localización. Las pendientes suaves normalmente dan mejores localizaciones que las pendientes empinadas; las orientadas al norte son mejores que las que se orientan al sur; las pendientes inferiores son mejores que las superiores (18).

3.1.8.2. Situación Topográfica

Según Daniel (13), el aspecto, la pendiente y la posición en la pendiente influyen sobre las propiedades físicas del suelo debido a que el desarrollo del perfil refleja las diferencias microclimáticas que van asociadas con cada cambio. Los suelos de las pendientes superiores son más jóvenes debido al proceso de erosión natural y, cuando más inclinada es la pendiente, mayor es la tasa de erosión, lo que produce como consecuencia la aparición de una formación más lenta de las capas del suelo.

3.1.8.2.1. Pendiente

Se refiere al grado de inclinación de los terrenos (unidades de tierra), expresado en porcentaje. Los rangos de pendientes son variables dentro de cada una de las regiones naturales que se han definido en la presente metodología (21).

A nivel de gabinete se estima por medio de técnicas cartográficas utilizando mapas de curvas a nivel. En el caso de extensiones relativamente pequeñas o en áreas muy complejas como las “Kársticas”, debe estimarse también la pendiente con técnicas cartográficas a manera de guía, pero deben ser medidas en campo mediante procedimientos topográficos; nivelaciones con nivel de mano o aparatos rústicos entre otros, a menos que existan levantamientos topográficos. No debe olvidarse que lo que va a determinar la clasificación en una unidad cartográfica, es la pendiente máxima, es decir la mayor inclinación que presenta la unidad, expresada en porcentaje (21).

3.1.8.2.2. Superficie

Estudia las características de un perfil superficial en el sitio a estudiar, puede expresarse dependiendo de la ondulación o planicie de los sitios (18).

3.1.8.3. Factores Climáticos

Factores interrelacionados con fenómenos ambientales que identifican el clima de un sitio, comúnmente los llamamos factores climáticos, entre los se menciona:

3.1.8.3.1. Precipitación

Es definida como agua líquida o sólida que se precipita a la tierra. Esta proviene siempre de condensación o sublimación, ó una combinación de ambas, principalmente es asociada con las masas de aire ascendentes. Casi siempre esta contribuye a la transferencia de humedad entre la atmósfera hacia la superficie terrestre, sea esta en forma de humedad, rocío, escarcha, aunque los mismos no se consideren precipitación (13). De acuerdo a lo planteado por Daniels (1990), citado por Santos (35), igualmente se define como la lámina (mm de precipitación) de agua precipitada en un área determinada. Se presume que este sea el factor más importante para el buen funcionamiento fisiológico de las plantas en general.

Según CATIE (8), basados en que los bosques de América Central se ubican entre el trópico de Cáncer, existe una precipitación mayor a 1800 mm por año. Richards (1952) sugiere que las plantas en regiones con una precipitación mayor a 1600 mm/año son afectas por la distribución de la precipitación a lo largo del año, y no tanto por la cantidad total.

3.1.8.3.2. Temperatura

Es una condición relativa que implica grados de actividad molecular o calor, de una sustancia. En el flujo de calor de un cuerpo a otro, comúnmente para medir la temperatura de un cuerpo es empleada una escala de referencia arbitraria. Las dos escalas más utilizadas en la medición, son la escala Celsius (o centígrada) y la escala Fahrenheit (12).

Las respuestas del crecimiento a las variaciones de la temperatura del aire están determinadas más detalladamente que las relaciones con la luz espectral y la radiación neta porque la temperatura es un parámetro de energía que se establece más rápidamente (18).

3.1.8.3.3. Humedad

Es la condición que expresa el contenido de agua existente en el aire, esta se expresa regularmente en porcentajes, regularmente se mide con un psicrómetro (12).

3.1.8.4. Factores Edáficos

Los árboles obtienen agua y minerales del suelo a través de sus raíces. El suelo provee una base para que las raíces sustenten el tronco y la corona. Si el suelo no tiene la capacidad suficiente como para cumplir con esas necesidades, se verá afectado el crecimiento del árbol (18).

Según Daniel (13), la importancia que tiene el suelo dentro del terreno forestal surge de sus tres funciones principales en lo relativo al crecimiento de los árboles: la nutrición mineral, su aporte de agua y el apoyo de naturaleza física que le da a la planta.

Los suelos forestales, en general, son deficientes en agua. Cada año, durante parte de la estación de crecimiento, contienen únicamente cantidades mínimas de los minerales esenciales para el crecimiento vegetal. Sin embargo, los árboles son capaces de tener un crecimiento aceptable sobre la mayor parte de los suelos debido a que su naturaleza perenne les permite extender sus raíces dentro de todos los niveles que componen el suelo, capaces de abastecer el agua y los minerales esenciales para el crecimiento arbóreo. Al mismo tiempo, el sistema extensivo de raíces tiene la capacidad de sustentar la parte aérea bajo condiciones de tormenta de viento, salvo en casos excepcionales (18).

Los suelos se componen de sólidos, líquidos y gases mezclados en proporciones variables. Las cantidades relativas de aire y agua presentes, dependen mucho de la intensidad de las uniones entre las partículas sólidas. Los agregados de partículas pequeñas tienden a ser muy distintos de los que constan de partículas grandes. Tanto la textura del suelo (una evaluación del tamaño de sus partículas) como la estructura (la manera en que las partículas se unen entre sí) influyen en la magnitud del volumen de poros y en la distribución del mismo. El espesor, la textura, estructura y porosidad y consistencia son

importantes propiedades físicas de los suelos. Estas son llamadas propiedades físicas, las cuales son las que pueden evaluarse por inspección visual o por el tacto. ¹

3.1.8.4.1 Pedregosidad

Se refiere a la presencia de fracciones mayores a las gravas (0.045 metros de diámetro) sobre la superficie del suelo y dentro del perfil del mismo. Incluye afloramientos rocosos, ya sea de materiales de origen o transportados como materiales aluviales. Los criterios para definir a este factor como limitante o no, son los siguientes:

- A. Pedregosidad superficial no limitante: libre o ligeramente pedregosa con ninguna o muy pocas de tamaño pequeño dispersas sobre el suelo (menos del 5 % de la superficie).
- B. Moderadamente pedregosa: con pocas rocas distribuidas sobre la superficie (entre 5 % y 20 %).
- C. Pedregosidad superficial limitante: pedregosa rocas distribuidas sobre el área o en grupos cubriendo del 21 % al 50 %.
- D. Muy pedregosa: rocas de toda tamaño un 50 a 90 % de la superficie.
- E. Extremadamente pedregosa: rocas de todo tamaño repartidas por todas partes 90 a 100 %.
- F. Pedregosidad interna no limitante: cuando se encuentran rocas, gravas o fragmentos de roca en una cantidad de 35 % ó menos, por volumen en el perfil del suelo.
- G. Pedregosidad interna limitante: será cuando dentro del perfil del suelo se encuentren fragmentos de grava o roca en más de 35 % por volumen.

Con fines de clasificación, se considera limitante si se encuentra en alguna de estas categorías: superficial, interna o ambas (21).

3.1.8.4.2. Drenaje

Se refiere a la facilidad con la que el agua se infiltra y/o percola en el interior del perfil del suelo. Su cuantificación se hace a través de indicadores del drenaje como: presencia directa de capas de agua sobre la superficie del terreno, procesos de reducción dentro del perfil del suelo (moteados grisáceos) clase textural, presencia de capas endurecidas (21).

¹ Lucas López, M. B. 2001. Apuntes del curso de Edafología I.

Según la metodología de INAB (21), el drenaje se puede dividir en:

- A. Bueno: Suelos cuya estructura física o pendientes moderadamente permiten un escurrimiento del agua en pocas horas.
- B. Imperfecto: Suelos con alto porcentaje de arcilla o capas freáticas y pendientes ligeras que no permiten el escurrimiento en un día.
- C. Excesivo: suelos porosos como las arenas o las laderas pronunciadas que permiten un escurrimiento inmediato del agua.
- D. Pobre: con alto porcentaje de arcilla, capas freáticas cerca de la superficie del suelo y pendientes suaves o planas que impiden el escurrimiento por varios días.
- E. Nulo o cenegado: suelo con las capas freáticas a nivel del suelo, o por encima durante periodos de varias semanas a meses. El color del suelo es generalmente gris.

3.1.8.4.3 Propiedades físicas

a) Textura del suelo

La textura del suelo se refiere al porcentaje en peso de cada una de las tres fracciones minerales, arena, limo y arcilla. Estas fracciones se definen según el diámetro de las partículas expresado en milímetros. Para nombrar las distintas texturas del suelo se usan las palabras arena, limo, arcilla y franco. El suelo franco contiene una mezcla de arena, limo y arcilla en tales proporciones que exhibe las propiedades de las fracciones de modo equilibrado. Contiene menos arcilla que arena y limo, ya que las propiedades de la primera se expresan con gran fuerza en relación a la cantidad de arcilla presente.²

b) Profundidad efectiva del suelo

Es la profundidad que las raíces de las plantas pueden penetrar fácilmente para obtener agua y nutrimentos. Es la profundidad hasta cualquier capa en el perfil del suelo que difiere del material superficial en propiedades químicas y físicas, que en una u otra forma puede retardar el desarrollo y penetración de las raíces. Se mide en función de existencia de un cuerpo que mecánicamente impide o limita el desarrollo radical, clase de roca, ripio o estratos compactados y endurecidos (21).

² Lucas López, M. B. 2001. Apuntes del curso de Edafología I.

c) Estructura del suelo

El análisis de la textura de un suelo para determinar la distribución de sus distintos tamaños de partícula requiere, por lo general, un considerable esfuerzo para conseguir que los agregados del suelo queden reducidos a sus partículas integrantes. La estructura del suelo se refiere al tipo y agregación de las partículas. Aquellos suelos que presentan textura gruesa por lo general tienen una estructura menos definida que los de textura fina, integrados en su mayor parte por arcillas y limos, tienden a formar agregados (18).

d) Materia orgánica

Esta se renueva continuamente por las acciones de las masas forestales a través de la caída de hojas, ramas y fragmentos de la corteza. Dependiendo del clima, la materia orgánica se acumula en grandes cantidades, o bien se degrada con rapidez gracias a la acción de la biota y una gran cantidad de ella se incorpora al perfil mineral del suelo (18).

3.1.8.4.4. Propiedades químicas

Según Daniel (13), las dos contribuciones esenciales del suelo al desarrollo de los árboles son el soporte físico y el aporte del agua y los minerales necesarios para la realización de los procesos fotosintéticos. El proceso de formación de un suelo es un fenómeno químico, influenciado principalmente por: la actividad biológica, clima, roca madre, topografía y tiempo.³

a) Elementos minerales del suelo

De los 16 elementos esenciales conocidos, necesarios para el crecimiento vegetal, el suelo debe abastecer, como mínimo, todas las necesidades vegetales de 10 de estos elementos (P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, B, Fe, Mn, Mo) y excepto para las plantas leguminosas, todas las necesidades para un undécimo (N). Los otros cinco elementos (C, H, O, Cl, S) son parcial o principalmente por la atmósfera. Estos elementos del suelo que son necesarios para el crecimiento vegetal se derivan de material rocoso erosionado (18).

³ Lucas López, M. B. 2001. Apuntes del curso de Edafología II.

b) Capacidad de intercambio catiónico

Las bases son intercambiadas para obtener los nutrientes necesarios para el desarrollo de los árboles a través de sus raíces, esto depende principalmente del pH de los suelos y su textura. El análisis químico de los suelos puede informar la influencia en el crecimiento de los árboles ya que estos dependen de los nutrientes presentes en los sitios (18).

3.1.9. Interacción entre los factores ambientales y la calidad de sitio

La información estadística, es una herramienta confiable si su interpretación es adecuada y minuciosamente analizada. La medición de varias características de una misma unidad experimental, ya sea en forma simultánea o con ciertos intervalos de tiempo, genera una serie de datos que deben ser analizados con técnicas multivariadas. Los datos multivariados ofrecen la posibilidad de ser expresados en combinaciones lineales de las variables originales (29). Según Walker (43), los métodos estadísticos multivariados fueron creados para aprovechar al máximo la información contenida en un conjunto de datos.

3.1.9.1 Generalidades del análisis de regresión múltiple

A. Objetivos de una 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 (29).

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 Aspectos generales del Pino Caribe

3.2.1.1 Descripción de la especie

Por muchos años existió gran confusión en cuanto a la sistemática del pino caribe. Sin embargo, Barret y Golfari (1962) dieron solución al problema, subdividiendo la especie en tres variedades, cada una de las cuales posee un ámbito de distribución y características fenológicas muy propias. El Cuadro 1 presenta un resumen de estas características (32).

Cuadro 1. Subdivisión de *Pinus caribaea* Morelet en variedades según Barret y Golfari (1962)

VARIEDADES			
Características	caribaea	hondurensis	bahamensis
Hojas	Con 3 agujas, raro 4 agujas por fascículo	Con 3 agujas a veces 4 ó 5 por fascículo	con 2 y 3 agujas por fascículo
Tamaño de Conos	5 a 10 cm	6 a 14 cm	4 a 12 cm
Semilla	Semillas con ala adherente	semillas con ala articulada y se desprende fácilmente	semilla con ala articulada raramente adnata
Hábitat	Isla de Pinos y pinar del Río, oeste de Cuba	Vertiente atlántica de Belice, Guatemala, Honduras y Nicaragua	Islas Bahamas, Grand Bahama, Great Abaco, Andros, Caicos, New Providence
Altitud (msnm)	45 a 355	0 a 850	0 a 30
Temp. Media (°C)	24.5 a 25.5	20.0 a 27.0	25.0 a 27.0
Clima	Sub-húmedo	Sub-húmedo, Per-húmedo	Sub-húmedo
Pp (mm/año)	1200 - 1600	950 - 3500	750 - 1300
Meses secos/año	6	de 2 a 6	de 6 a 7
Suelos	Ácidos (pH 4.5 a 6)	Ácidos (pH 4.0 a 6.5)	Básicos (pH 7.5 a 8.5)

Fuente: Rojas, F. 1990 (32)

El *Pinus caribaea* var. *hondurensis* es la variedad de más amplia distribución geográfica. Así mismo es también una de las especies forestales de gran potencial económico para la producción forestal en el área centroamericana (32).

El árbol puede alcanzar hasta 45 m de altura y 100 cm de diámetro. La copa durante la juventud del árbol es de forma aguad-cónica muy densa, en los árboles maduros es más esparcida, algo irregular con una terminación redondeada. Sin embargo, la copa en árboles adultos frecuentemente se presenta muy irregular. INAFOR, 1977; CATIE, 1984; ROJAS Y ORTIZ, 1991 (9) presenta corteza grisácea cuando

joven; rugosa, resquebrajada en surcos longitudinales y de color oscuro en árboles adultos. Las hojas son aciculares de 1.0 a 1.5 mm de espesor y 13 a 33 cm de largo, con dos a cinco canales resiníferos internos. Estas vienen agrupadas en fascículos de tres agujas y en ocasiones excepcionales dos o cuatro. Las vainas de los fascículos son de 10 a 16 mm de largo, de color castaño claro a parduzco y nunca oscuras o negras. Las flores masculinas son amentos cilíndricos de 25 a 45 mm de largo. Los conos no son persistentes y son de forma oblonga, asimétricos de seis a 14 cm de largo, de 2.8 a 4.5 cm de ancho, cuando están cerrados y de 6 a 7.5 cm cuando están abiertos. En su área de distribución natural los conos alcanzan su madurez entre junio y julio, en sitios costaneros y de julio a agosto en las tierras altas del interior. Las semillas son angostamente ovoides de 6.5 mm de largo y 3.5 mm de ancho con 2 mm de grosor, su color varía de pardo claro a castaño y hasta negruzco. Las semillas poseen una ala membranosa que se desprende fácilmente y los embriones poseen de cinco a nueve cotiledones. Se estiman un total de 50,000 a 60,000 semillas por kilogramo (32).

A nivel comercial, el cultivo de la especie ha revelado que las plantas jóvenes del pino caribe, no presentan hojas agrupadas en fascículos hasta los 8 ó 10 meses de edad. Asimismo, estas plantas se caracterizan por presentar numerosos brotes adventicios en la base del tronco, los cuales perduran hasta los 3 o 4 años (32).

En plántulas de esta especie se presenta una característica llamada “cola de zorro”, la cual consiste en un crecimiento anormal del tallo sin ramificaciones en largos de hasta 10 m. Este comportamiento atípico ha sido observado en sitios fuera de su ámbito de distribución natural (Sud-África, Trinidad y Tobago, Guyana Británica, Colombia, Brasil, Costa Rica y Panamá) y principalmente, en semilla procedente de Guatemala y Belice. También se ha observado que fuera de su área de distribución natural la especie no produce semilla abundante, como se ha observado en Venezuela y Costa Rica (32).

3.2.1.2 Distribución Natural

El *P. caribaea* var. *hondurensis* se encuentra en forma natural en numerosos rodales discontinuos y fragmentados desde los 18 grados (Orange Walk, Belice), hasta los 12 grados de latitud norte (Bluefield, Nicaragua), en la vertiente atlántica del istmo centroamericano, desde el nivel del mar en las llanuras costeras, hasta las tierras del interior con elevación máxima de 850 msnm en Honduras y Belice (32). En nuestro país, INAFOR 1977 (9), lo reporta en su distribución en Poptún, Machaquilá y Dolores en Petén, en Izabal en el Valle del Motagua de Gualán hasta casi Morales, El Lobo, Cruce de camino a Mariscos, Cahaboncito, El Estor, Sierra del Mico; en Alta Verapaz en Lanquín, Cahabón, Panzos, Sabán Sacaj.

En el área de distribución natural existen grandes variaciones climáticas, pero sin heladas. En la región del litoral, la temperatura media anual varía entre 24.0 y 27.2 °C, con una precipitación de hasta 3500 mm anuales y una estación seca de dos a tres meses. En las regiones del interior la temperatura fluctúa entre 20 y 24 °C, la precipitación media anual es de 950 mm con una estación seca marcada que se extiende hasta por seis meses. *P. caribaea* muestra buen crecimiento en climas húmedos de las regiones tropicales, sin embargo, en sitios sin una época seca marcada los árboles tienden a formar “cola de zorro”, Wolffsohn, 1983 (32).

El pino necesita de la ocurrencia de fuego para que se establezca naturalmente. En sitios donde no se permite la ocurrencia de fuego, los pinares son sustituidos por especies latifoliadas (Wolffsohn, 1983). La especie crece sobre suelos latosólicos, formados a partir de diferentes rocas madre (granitos, areniscas, andesitas, y dolomitas). El drenaje de estos sitios varía de bueno en las regiones del interior, hasta deficiente en las llanuras costeras. La reacción de los suelos es ácida y varía entre 6.5 (El Zamorano, Honduras) y 4.3 (Puerto Cabezas, Nicaragua) (32).

Crece en suelos poco fértiles, latosoles y podsoles-pardoamarillos. No crece naturalmente en suelos con drenaje defectuoso, como sitios bajos y planos, con depresión o con una capa dura e impermeable (32). Generalmente los suelos donde se encuentra son francos o franco-arenosos, con gran cantidad de grava (CATIE 1984; ROJAS Y ORTIZ, 1991) (9).

Esta especie crece óptimamente en suelos con buen drenaje interno y con profundidades de un metro o más. No aparece naturalmente en suelos básicos y tampoco tolera suelos poco profundos y con mal drenaje (Wolffsohn, 1983) (32).

Sin embargo, puede crecer moderadamente en suelos pocos profundos o en suelos saturados durante seis meses al año; en estas condiciones, la especie produce muchas raíces laterales que se extienden fuera del radio de la copa. En condiciones naturales el dosel de copas no se cierra; tal condición se presenta únicamente en los mejores sitios (32).

3.2.1.3 Factores limitantes

En su distribución natural, los pinares de mayor crecimiento están ubicados por debajo de los 900 m de elevación, en llanuras aluviales y bancos de arena a la orilla de ríos, donde el suelo está cubierto por

una capa de limo fino arenoso, con pH entre 4 y 5, buen drenaje y sin competencia de latifoliadas. Tanto Lamb (1973) como Wolffsohn (1983), ambos citados por Vásquez y Salazar (1989), indican que en su ámbito natural, esta especie no tolera suelos pobremente aireados, o suelos con poca profundidad y mal drenaje (26). INAFOR, 1977 (8) Menciona que en Poptún, Petén sobre alturas entre 400 y 600 msnm tiene excelente crecimiento en ambientes adecuados y con altura y bien distribuida precipitación (sobre 2000 mm/año) y que en malos suelos sin embargo, como las lomas al norte del valle del Polochic, crece muy lento.

Por su parte Ponciano, (1987), citado por Rojas (32), mencionan que esta especie crece en excelente forma en la zona de formación ecológica del Bosque húmedo subtropical, siendo ésta su zona óptima con alturas que van desde el nivel del mar hasta los 900 m.

La mayoría de las características químicas estudiadas no han sido determinantes en el crecimiento de esta especie, aunque se ha informado de una influencia positiva a aplicaciones de fósforo, boro y potasio, al cobre y magnesio aplicados con NPK y se indica que aplicaciones sales de zinc y manganeso pueden volverse tóxicas (32).

En Malasia, Surinam, Venezuela, Jamaica y Costa Rica, la mayoría de los estudios han indicado que el drenaje, la textura, la profundidad hasta la cual pueden penetrar las raíces y algunas variables relacionadas como el nivel freático, la posición topográfica y la pendiente, fueron las variables identificadas como limitantes del crecimiento para esta especie (32).

3.2.1.4 Mejores procedencias

Los resultados preliminares con *P. caribaea* var. hondurensis en Costa Rica, indican que el comportamiento de las procedencias fue altamente inestable, de manera que no se puede decir que alguna procedencia de las estudiadas fue la mejor, para los distintos sitios donde fueron plantadas (Mesén, 1990). Sin embargo, el análisis de los resultados indica que en los sitios de alta precipitación (2600 a 3400 mm) y con estación seca de uno a dos meses, las mejores procedencias fueron Alamicamba (Nicaragua), Culmí (Honduras) y Poptún (Guatemala), mientras que en los sitios de precipitación media a alta pero con estación seca prolongada (cinco a seis meses), las mejores procedencias fueron Poptún (Guatemala), Mountain Pine Ridge (Belice) y Culmí (Honduras) (32).

Greaves (1980), observó que la incidencia de árboles con “cola de zorro” está correlacionada con la procedencia de las semillas de Poptún, Guatemala y de fuentes semilleras ubicadas en las tierras costeras de Honduras (32).

3.2.2 Descripción del área de estudio

3.2.2.1 Relieve y Fisiografía:

Se encuentra ubicada en la región fisiográfica del Cinturón Plegado del Lacandón o Arco de la Libertad, la cual se caracteriza por presentar un relieve Kárstico, con sumideros y mogotes, de carácter agreste, con predominio de colinas de poca elevación, de carácter agreste, con predominio de colinas de poca elevación, que aumentan en altitud al este al conectarse con las Montañas Mayas (19).

Presenta pendientes que van desde el 2% hasta el 60%. La Exposición en su mayor parte es en sentido Sur-Oeste. El drenaje de la aldea se da a través del Río Piedras Negras en la subcuenca del Río Machaquilá, el cual es afluente del Río La pasión el la vertiente del Golfo de México (19).

3.2.2.2 Geología y Suelo

Según la clasificación de Simmons (37) los suelos de las áreas cubiertas por plantaciones de *Pinus caribaea* Morelet var. hondurensis pertenecen a las series Mopán, Suchachín y Poptún.

A la serie Mopán corresponden los suelos cubiertos por bosques latifoliados densos de Caoba (*Swietenia macrophylla*), Cedro (*Cedrela odorata*) y Chico zapote (*Manilkara zapota*). Son suelos moderadamente profundos, con un drenaje interno deficiente de origen aluvial, textura arcillosa y ligeramente alcalinos (37).

A la serie Suchachín corresponden los suelos de las sabanas, cubiertos de bosque abierto de pino. Son suelos poco profundos, con drenaje deficiente, desarrollados sobre material residual de rocas calcáreas y de reacción fuertemente ácida (37).

A la serie Poptún corresponden a los bosques abiertos de pinos y pastos principalmente. Son suelos profundos, con buen drenaje, desarrollados sobre residuos de grano fino de rocas calizas, en una

zona tropical o sub-tropical húmeda, en relieve plano, mal drenaje, suelos muy lixiviados, son suelos pobres (37).

3.2.2.3 Condiciones Climáticas

El Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación -MAGA- (28), de acuerdo al mapa generado con la información climática de Thornwhite, clasifica al área de estudio como clima húmedo semicálido, esto significa que el tipo de clima del área donde se encuentra ubicada el área de estudio corresponde al cálido, húmedo, con invierno benigno y sin estación seca bien definida.

Mientras que los registros meteorológicos de 1984 a 1992 reportados por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), estación Poptún, ubicada a una latitud norte de 16° 25' 29" y a una longitud oeste de 89° 25' 08", los factores climáticos de la región se comportan de la forma en que se presenta el Cuadro 2.

Cuadro 2. Variables climáticas para la zona registrada en la estación meteorológica de Poptún, Peten, periodo 1984 - 1992

MES	TEMPERATURA MEDIA (°C)	Pp MEDIA (Mm)	H.R.%	DÍAS DE LLUVIA
Enero	20.01	139.15	85.60	17.00
Febrero	22.00	56.35	81.40	9.00
Marzo	23.71	75.76	76.10	7.60
Abril	24.90	79.57	74.80	6.50
Mayo	24.99	123.46	74.80	11.40
Junio	25.41	180.57	79.20	18.00
Julio	23.63	252.40	83.00	20.60
Agosto	23.81	202.76	82.50	21.50
Septiembre	23.56	256.00	84.60	20.50
Octubre	22.58	154.50	87.80	19.10
Noviembre	21.51	182.15	86.70	17.10
Diciembre	20.81	110.30	86.40	15.30

Fuente: INSIVUMEH, 1993 (26)

En relación a la precipitación pluvial, ésta presenta fluctuaciones bastante notables a lo largo del año, sin embargo presenta una precipitación media anual de 1842.9 mm, lo cual garantiza en forma general el adecuado desarrollo de cultivos tropicales, es decir que la precipitación anual cubre los requerimientos hídricos (evapotranspiración) de la mayoría de los cultivos tropicales (36).

3.2.2.3.1.) Temperatura: La temperatura media anual es de 22.89° C, con una máxima promedio mensual de 24.75° C para los meses de marzo a junio, y una mínima de 20.4° C en los meses de Diciembre a Enero (36).

3.2.2.3.2.) Precipitación: La precipitación media anual para el área de estudio es de 1842.9 m.m. los meses de mayor precipitación van de junio a Noviembre, con un promedio de 20 días de lluvia al mes (1,228.38 mm/periodo). Los meses de menor precipitación van de febrero a abril, con un promedio de 8 días de lluvia al mes (211.68 mm/periodo) (36).

3.2.2.3.3.) Humedad Relativa: la humedad relativa se mantiene casi constante a través del año con un promedio de 82.0%, mostrando un rango de variación que va desde 74% hasta el 87% (36).

3.2.2.4 Zona de Vida

Poptún, se encuentra ubicado en la zona sur de Petén, región en la cual imperan las condiciones ambientales que según De La Cruz (14), describen a la zona de vida del Bosque Muy Húmedo Subtropical (cálido), comúnmente representada en mapas como bmh-S(c). En esta hay condiciones climáticas variables debido a la influencia de los vientos, el régimen de lluvias es de mayor duración; por lo que influyen grandemente en la composición florística y en la fisionomía de la vegetación.

Según De La Cruz (14), en la zona sur de Petén se reportan datos de precipitación que varían entre los 1,587 mm y los 2,066 mm anuales. Con evapotranspiración potencial en promedio de 0.45.

3.2.2.5 Topografía y vegetación

Los terrenos de esta zona de vida son de topografía desde plana hasta accidentada. La elevación varía desde 80 hasta 1,600 msnm. La vegetación natural es una de las más ricas en su composición florística, sin embargo se puede citar como indicadoras las siguientes: *Orbigniya cohune*, *Terminalia amazonia*, *Lonchocarpus sp.*, *Cecropia sp.*, *Ceiba pentandra*, *Brosimum alicastrum*, *Virola kochonii*, *Vochysia guatemalensis*, *Pinus caribaea* (14).

3.2.3 Consideraciones generales de uso

Por poseer suelos poco fértiles, la agricultura no es muy diversificada dedicándose más al cultivo de cultivos intensivos de demanda en la región, por lo que es conveniente determinar áreas para manejo sostenido de los bosques (14).

3.2.4 Estudios relacionados con los factores de sitio y su influencia sobre el crecimiento

Según Rojas (32), a nivel regional existen estudios localizados en Panamá y en Costa Rica los cuales indican que la calidad del sitio es afectada por el drenaje interno, la posición topográfica o micro-relieve, el contenido de limo, la profundidad efectiva, el contenido de zinc (Zn), cobre (Cu), manganeso (Mn) y por la acidez del suelo (pH); pero aun hacen falta más estudios a nivel regional, que ayuden a clasificar la calidad de las tierras donde se puede plantar el pino caribe.

En 1997, Santos López (35) estudió una especie muy particular, como lo es el *Camaldulensis* (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh) el cual se estudió a partir de la agrupación de las localidades por índices de sitio previamente determinados, en la que se procedió al ajuste de modelos de regresión entre la altura y la edad de los árboles agrupados en sus respectivas localidades. Seguido, se estudió los incrementos medio anual y corriente anual (IMA e ICA respectivamente) que junto con el análisis del crecimiento, determinaron la localidad que presenta los mejores crecimientos para la especie arbórea en estudio. La calidad de sitio se determinó a partir del análisis de los factores ambientales de sitio con el objeto de encontrar los factores que influyen principalmente en el crecimiento de *Eucalyptus camaldulensis*. El análisis multivariado de correlación canónica fue una herramienta muy útil para el estudio, ya que explicó los factores que influyen en la calidad de sitio, el crecimiento y el índice de sitio.

De esa forma, Santos comprobó que los factores que principalmente influyen en el crecimiento en general de *Camaldulensis* son la profundidad radical, la exposición al viento y la pendiente de los sitios. Otros factores son complementarios pero igual de importantes debido a que tienen influencia en alguna etapa específica de desarrollo de dicha especie arbórea (35).

En 1998, Tzirin Batzin (40) en su estudio de índices de sitio para *Cupressus lusitánica* Millar, *Pinus caribaea* Morelet var. hondurensis, *Pinus maximinoii* H. E. Moore y *Pinus strobus* L. var. chiapensis Martínez; considerando la necesidad de obtener información básica para la elaboración de un plan de manejo para el proyecto de reforestación Saquichaj, estableció un total de 54 parcelas temporales

dentro de la plantación forestal, en las cuales utilizó las variables dasométricas edad-altura dominante para ajustar el modelo de Schumacher a través de un programa estadístico computarizado.

En dicha investigación también, realizó un análisis de correlación entre las calidades de sitio y algunos factores de sitio (fisiográficos y físico-químicos del suelo). En donde el autor consideró que la calidad de sitio estaba muy influenciada por las condiciones del sitio (clima, fisiografía, propiedades del suelo, etc.), y que la forma más usual de evaluar la productividad era utilizando las propiedades del sitio como indicadores (35).

Mediante el manejo de los resultados mencionados, Tzirín determinó los modelos de índices de sitio más factibles, para que los mismos sean uno de los aspectos importantes a considerar al momento de seleccionar la especie a establecer en el proyecto Saquichaj, Cobán A.V. En donde se pueden utilizar los modelos de regresión seleccionados para cada especie, especialmente para estimar el índice de sitio en áreas sin cobertura forestal.

4. OBJETIVOS

4.1 General:

Determinar los factores fisiográficos y edáficos, que influyen en el crecimiento inicial de *Pinus caribaea* Morelet var. hondurensis, en plantaciones dentro del PINFOR en los municipios de Dolores y Poptún en el departamento de Petén.

4.2 Específicos:

- 4.2.1. Estudiar el crecimiento inicial de *Pinus caribaea* Morelet var. hondurensis, en plantaciones establecidas dentro del PINFOR.
- 4.2.2. Identificar los factores fisiográficos y edáficos que influyen en el crecimiento en plantaciones de *Pinus caribaea* Morelet var. hondurensis.
- 4.2.3. Cuantificar la relación entre edades, factores fisiográficos y edáficos de sitio, y crecimiento inicial para la especie *Pinus caribaea* Morelet var. hondurensis, en los municipios de Dolores y Poptún en el departamento de Petén.

5. HIPÓTESIS

- 5.1 Los factores edáficos y fisiográficos influyen significativamente en el crecimiento inicial de plantaciones de *Pinus caribaea* Morelet var. hondurensis.
- 5.2 Es posible generar modelos de regresión múltiple para predecir el crecimiento inicial de *Pinus caribaea* Morelet var. hondurensis en base a factores edáficos y fisiográficos en Dolores y Poptún en el Departamento de Petén.

6. METODOLOGÍA

6.1. SELECCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Se eligió la zona sur de Petén (Subregión VIII-2), para hacer la presente investigación dada la importancia que posee la especie en estudio, tanto en el programa de incentivos forestales (PINFOR), como a nivel regional por la reinscripción de la especie en plantaciones bajo las condiciones adecuadas, tomando en cuenta que después del ataque de gorgojo de pino (*Dendroctonus* sp) entre el año 2000 y 2001 hubo una pérdida sensible de esta especie. La subregión VIII-2 involucra los municipios de Poptún y Dolores y San Luis, del Departamento de Petén.

6.2. SELECCIÓN DE LOS PROYECTOS

6.2.1. Criterios de Selección

6.2.1.1. Plantaciones puras:

Debido a que existen muchos proyectos de reforestación con dos o más especies.

6.2.1.2. 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 limpiezas, podas o simplemente la especie ya no está por causas de incendios forestales principalmente.

6.2.1.3. Accesibilidad:

Hay algunos proyectos que se encuentran en zonas poco accesibles y en cuanto al área son insignificantes.

6.2.1.4. Anuencia de los propietarios:

Para que el trabajo fuera reconocido, fue necesario contar con la autorización del propietario y su colaboración.

6.2.1.5. Edad de la plantación: Se utilizaron plantaciones de 3 y 4 años de edad.

6.2.2. 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.

6.3. SELECCIÓN Y NÚMERO DE PARCELAS PERMANENTES DE MONITOREO

6.3.1. 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).

6.3.2. 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.

6.3.3. Tipo de parcela

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

6.3.4 Tamaño y forma de la parcelas

Se establecieron parcelas rectangulares debido a que facilitan la ubicación, 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 hasta 693 m² en algunos proyectos seleccionados, debido a variabilidad del terreno.

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

6.3.5 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:

$$\text{No. de parcela por proyecto: } \frac{10.000 \text{ m}^2 \times \text{intensidad de muestreo} \times \text{área total de reforestación (en Ha.)}{\text{Tamaño de parcela a utilizar (500m}^2\text{)}}$$

Se instalaron un total de 84 parcelas permanentes de medición -ppm-, en los municipios de Poptún principalmente y en el municipio de Dolores, ambos del departamento de Petén, como se muestra en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Características generales de los proyectos evaluados

Sub Región	Municipio	Nombre del sitio o proyectos	Coordenadas del Proyecto		Año de plantación	Fase de Crecimiento	Área Reforestada (ha)	total ppm
			Longitud	Latitud				
VIII-2	Poptún	Cooperativa Machaquilá	89° 21' 44"	16° 27' 20"	1999	Mantenimient o IV	13.3	3
VIII-2	Poptún	Carlos Rodas	89° 24' 65"	16° 22' 40"	2000	Mantenimient o V	10	2
VIII-2	Dolores	Muni Dolores	89° 24' 84"	16° 29' 66"	1999	Mantenimient o IV	20.4	3
VIII-2	Poptún	HIFISA S.A.	89° 33' 37"	16° 27' 19"	1999	Mantenimient o IV	98	20
VIII-2	Poptún	SERCORPA S.A.	89° 36' 69"	16° 26' 51"	1999	Mantenimient o IV	110	22
VIII-2	Poptún	Las Monjas	89° 27' 78"	16° 23' 39"	1999	Mantenimient o IV	27.9	4
VIII-2	Poptún	La Muerta	89° 21' 25"	16° 22' 08"	2000	Mantenimient o V	95.9	20
VIII-2	Poptún	SERCORPA PINFOR 38	89° 36' 61"	16° 27' 14"	2000	Mantenimient o V	38	10
TOTAL								84

Fuente: Base de datos de beneficiarios PINFOR.

6.3.6 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 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, Exposición, posición en la pendiente, exposición, porcentaje de la pendiente, rangos de pedregosidad entre otras.

6.4 RECOPIACIÓN DE DATOS DE CAMPO

La toma de datos de campo se inició a partir del mes de octubre del 2002 y se finalizó en enero 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.

6.4.1 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. 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).

6.4.2 Variables evaluadas

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

6.4.2.1.) 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 parcelas” del programa 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. La medición de la altura se hizo a la tercer 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 través de tubos de PVC plenamente identificados. Para la recopilación de las variables cuantitativas, se contó con la boleta de campo de “Medición de árboles en pie” del Mira Silv (Apéndice 2).

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.

a) 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 asignaron posteriormente 6 variables de clasificación de acuerdo a lo propuestos por Alvarado Jerónimo (2), 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.

El segundo grupo 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) Evaluación de la calidad 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 de la metodología Mira Silv.

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.

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:

$$\text{Donde: } \text{IMAA} = \frac{\text{Incremento Medio Anual Altura (m/año)}}{t}$$

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: $IMAD = d / t$

Donde: $IMAD =$ Incremento Medio Anual en Diámetro (DAP) en cm./año
 $d =$ Diámetro en centímetro (cm.) $t =$ Tiempo de existencia de la plantación en años.

El crecimiento inicial en volumen, se obtuvo con la siguiente fórmula: $IMAV = v / t$

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 .

6.4.2.2.) 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.

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, baja).

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.

6.4.2.3.) Variables edáficas

El efecto de los factores edáficos se evaluó en base a la construcción de agujeros cuadrados 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.

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 construyendo pequeños agujeros cuadrados en el suelo, en donde se midieron hasta que profundidad hay presencia de raíces.

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 agujeros realizados.

La textura se determinó al tacto en cada parcela, el drenaje se evaluó en base a la textura y cortes de suelo cercanos al área de estudio.

La evaluación de las variables fisiográficas y edáficas, se presenta en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Evaluación de las variables fisiográficas y edáficas

VARIABLE	CLASIFICACIÓN	VALOR
Profundidad de Raíces en cm	70<profundidad<100	4
	50<profundidad<70	3
	35<profundidad<50	2
	20<profundidad<35	1
	profundidad<20	0
Pedregosidad	Poco	4
	Moderado	3
	Medio	2
	Alto	1
	Muy Alto	0
Drenaje	Drenaje Bueno	4
	Drenaje Imperfecto	3
	Drenaje Excesivo	2
	Drenaje Pobre	1
	Drenaje Nulo o cenegado	0
Textura	Gruesa	2
	media	1
	Fina	0
Pendiente en %	0<pendiente<2	3
	2<pendiente<16	2
	16<pendiente<30	1
	30<pendiente	0
Orientación de la Pendiente	Suroeste	7
	Sureste	6
	Noroeste	5
	Noreste	4
	Oeste	3
	Sur	2
	Este	1
	Norte	0
Posición en la Pendiente	Parte baja	2
	Parte media	1
	Parte alta	0

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.

D) Evaluación de Calidad de Sitio

Con el objeto de obtener la calidad de sitio, como se puede observar en el Cuadro 5, se hizo una sumatoria de los valores de cada parcela del Cuadro 4, para obtener la calidad de sitio.

Cuadro 5. Clasificación de la calidad del sitio de acuerdo al valor total obtenido

VALOR TOTAL	CALIDAD DE SITIO
27 a 32	Sitio excelente
20 a 26	Buen sitio
13 a 19	Sitio marginal
< 12	Sitio inadecuado

Fuente Cannon (7)

6.5 CONSTRUCCIÓN DE MODELOS DE PREDICCIÓN DEL CRECIMIENTO INICIAL DE *Pinus caribaea* Morelet var. hondurensis EN BASE A LAS VARIABLES FISIÓGRÁFICAS 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 que variables están más relacionadas con el crecimiento inicial de *Pinus caribaea* Morelet var. hondurensis. Debido a la complejidad de los modelos de regresión resultantes, se tomó como base el R^2 y el nivel de significancia (una significancia debajo 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, explicarán de mejor forma el comportamiento del crecimiento inicial (IMAs) de las plantaciones de *Pinus caribaea* Morelet var. hondurensis.

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

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

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.

6.5.1 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.

6.5.2 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. Se realizó un análisis gráfico de algunas variables que influyen en el crecimiento de la especie.

6.6 ORDENAMIENTO, PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

- 6.6.1 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.
- 6.6.2 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.
- 6.6.3 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.
- 6.6.4 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.
- 6.6.5 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.

- 6.6.6 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.
- 6.6.7 Cada base de datos se relacionó entre si por el número de proyecto, parcela y lote, así como por la edad de plantación.
- 6.6.8 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.
- 6.6.9 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 caribaea* Morelet var. hondurensis.
- 6.6.10 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.

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 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 6 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 VIII-2 (Poptún, Dolores). 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 (41), 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 da 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.* (15) dichos espaciamientos los han aplicado también en otros países sin causarles ningún problema a las plantaciones. Sin embargo se debe reconocer que algunos proyectos evaluados con edades de 4 años presentaron espaciamientos de 1.70 x 1.90 m (parcela 53, Proyecto LAS MONJAS).

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 procesos 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 el Proyecto 7, La Muerta.

Se observa un comportamiento irregular en las variables dasométricas, tanto en parcelas que están ubicadas en el mismo sitio con distintas edades, como en diferentes sitios con las mismas edades. Así mismo 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.

Cuadro 6. Evaluación de las variables fisiográficas y edáficas

No. Proy.	No. ppm	Edad (años)	Superv (%)	No. Árb vivos (parc.)	No. Árb vivos (ha)	Área neta (m ²)	DAP prom (cm)	Altura prom (m)	Altura dominante (m)	Área Basal (m ² /ha)	Vol. (m ³ /ha)
4	16	4	44	31	492	631	10.6	6.8	8.4	4.3	14.3
5	45	4	80	60	962	624	9.8	6.8	8.8	7.2	22.4
4	27	4	72	50	849	589	9.2	6.7	8.1	5.6	17.3
4	26	4	78	58	997	582	8.1	6.5	7.7	5.1	18
5	46	4	96	69	1310	527	9.6	6.3	8.7	9.5	27
4	28	4	56	37	685	540	9.5	6	6.7	4.9	14
5	47	4	56	44	825	534	8.3	5.9	7.7	4.5	12.4
5	44	4	79	74	1201	616	8.8	5.8	7.9	7.3	19
5	42	4	77	53	960	552	9.4	5.7	7.9	6.6	18
5	43	4	77	56	983	570	7.3	5.2	7	4.1	10.3
5	48	4	93	70	1133	618	6.8	5.2	6.3	4.1	9.7
5	50	4	89	59	935	631	6.7	5.2	6.7	3.3	8
4	22	4	59	43	718	599	8.2	5.1	6.5	3.8	10.9
4	17	4	38	31	464	668	7.9	5	7.1	2.3	7.4
4	12	4	78	55	971	566	8.1	4.9	7.4	5	13.5
5	49	4	77	50	947	528	7.3	4.7	6.3	3.9	8.7
4	18	4	64	46	866	531	6.2	4.5	7.2	2.6	5.9
4	23	4	74	52	933	558	7.3	4.5	7	4	10
4	25	4	72	52	988	526	5.3	4.4	6.5	2.2	5.1
4	15	4	50	34	570	597	9.3	4.3	5.9	3.9	9.3

Cont...

Cuadro 6 *Evaluación de las variables fisiográficas y edáficas*

No. Proy.	No. ppm	Edad (años)	Superv (%)	No. Árb vivos (parc.)	No. Árb vivos (ha)	Área neta (m ²)	DAP prom (cm)	Altura prom (m)	Altura dominante (m)	Área Basal (m ² /ha)	Vol. (m ³ /ha)
4	19	4	79	57	989	576	6.5	4.3	7	3.3	7.5
3	7	4	67	42	840	500	5.8	4	4.7	2.2	4.1
4	13	4	54	37	647	572	7.2	3.9	5.3	2.6	5.6
5	40	4	55	31	571	543	5.4	3.8	5	1.3	2.5
6	54	4	100	56	1120	500	6.4	3.7	5.4	3.6	6.1
4	14	4	23	16	288	556	6.8	3.6	3.9	1.1	1.9
7	62	4	74	46	920	500	5	3.5	5.2	1.8	3.1
4	9	4	49	35	646	542	7.3	3.3	3.9	2.7	4.1
5	34	4	81	50	846	591	3.9	3.2	4.7	1	1.7
5	35	4	61	43	620	693	4.2	3.1	4	0.9	1.3
4	24	4	63	50	741	675	4.8	3	4.4	1.3	2.6
6	52	4	81	99	1890	524	5.6	3	4.6	4.7	6.7
3	6	4	81	51	1020	500	5	2.9	3.7	2	2.7
3	8	4	32	20	400	500	4	2.7	3.1	0.5	0.6
4	10	4	60	44	806	546	4.3	2.6	3.5	1.2	1.5
4	11	4	57	43	772	557	3.7	2.6	3.4	0.8	1
5	29	4	80	62	1148	540	5	2.6	4.6	2.2	3
6	53	4	90	113	2094	540	4.7	2.6	3.7	3.7	4.5
5	30	4	83	63	1091	578	4.2	2.4	4.8	1.5	2.2
4	20	4	76	47	809	581	4.3	2.3	2.8	1.2	1.4
6	51	4	74	84	1535	547	5	2.3	3.3	3.1	3.3
5	32	4	58	42	853	493	3.8	2.2	3.2	1	1
5	37	4	75	45	839	537	3.3	2.2	4	0.7	0.9
5	33	4	59	45	769	585	3.3	2.1	3.1	0.7	0.7
5	39	4	73	47	837	561	3.8	2.1	4.1	0.9	1
5	38	4	78	54	934	578	3.1	2	3.9	0.7	0.7
5	36	4	62	39	601	649	3.1	1.9	3	0.5	0.5
4	21	4	100	32	640	500	2	1.7	2.1	0.2	0.2
5	41	4	56	34	611	557	3	1.6	1.9	0.4	0.3
5	31	4	59	43	751	573	4.4	1.4	2	1.1	0.8
8	80	3	75	42	840	500	7.9	6.8	8.6	4.1	13.1
1	3	3	84	47	845	556	10	5.9	7.7	6.7	20.6
8	83	3	58	34	680	500	6.6	5.1	7	2.3	5.7
1	2	3	74	51	852	599	10.1	5	5.9	6.8	18.7
8	82	3	78	43	860	500	6.2	5	6.5	2.6	6.1
1	1	3	61	34	576	591	9.4	4.5	5.8	4	10.4
8	78	3	81	46	920	500	5.8	4.3	5.7	2.4	4.9
8	79	3	87	48	960	500	4.8	3.7	5	1.8	3.1

Cont...

Cuadro 6. Evaluación de las variables fisiográficas y edáficas

No. Proy.	No. ppm	Edad (años)	Superv (%)	No. Árb vivos (parc.)	No. Árb vivos (ha)	Área neta (m ²)	DAP prom (cm)	Altura prom (m)	Altura dominante (m)	Área Basal (m ² /ha)	Vol. (m ³ /ha)
8	76	3	87	53	1060	500	4.3	3.6	4.8	1.5	2.5
8	75	3	69	43	860	500	4.4	3.5	5.4	1.3	2.4
8	81	3	55	31	620	500	4.9	3.5	4.6	1.2	2
8	84	3	74	49	980	500	4.4	3.3	4.2	1.5	2.3
7	70	3	92	46	920	500	4.8	3	3.9	1.7	2.4
2	5	3	66	42	840	500	4	2.8	6.2	1	1.2
7	72	3	82	46	920	500	4.8	2.8	3.4	1.7	2.2
8	77	3	69	42	840	500	3.9	2.7	3.6	1	1.2
7	65	3	79	49	980	500	4.8	2.4	3.1	1.8	1.9
7	71	3	68	42	840	500	4.5	2.4	3.3	1.3	1.4
7	60	3	88	44	880	500	4	2.2	2.9	1.1	1.1
7	58	3	78	45	900	500	3.9	2.1	3.3	1.1	1.1
7	61	3	87	45	900	500	3.7	2.1	2.8	1	0.9
7	66	3	75	49	980	500	3.9	2.1	2.7	1.2	1.1
7	67	3	83	40	800	500	3.7	1.9	2.5	0.9	0.8
2	4	3	83	53	1060	500	4.8	1.8	2.6	1.9	1.7
7	63	3	74	43	860	500	3.6	1.8	2.4	0.9	0.7
7	68	3	83	45	900	500	3.9	1.8	2.3	1.1	0.9
7	73	3	98	55	1100	500	3.5	1.8	2.5	1.1	0.9
7	64	3	88	50	1000	500	3.6	1.7	2.4	1	0.8
7	69	3	71	42	840	500	3.8	1.6	2.1	0.9	0.7
7	56	3	71	34	680	500	3.5	1.5	1.6	0.7	0.4
7	59	3	82	45	900	500	3.4	1.5	1.8	0.8	0.6
7	55	3	89	50	1000	500	3.9	1.4	1.7	1.2	0.8
7	57	3	92	48	960	500	3.5	1.4	1.4	0.9	0.6
7	74	3	95	58	1160	500	3.6	1.4	2	1.2	0.8

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 en el comportamiento de la parcela 74 del Proyecto 7, La Muerta que posee una densidad de 1,091 árboles/ha y un DAP promedio de 4.2 cm., con respecto a la parcela 16 del Proyecto 4, HIFISA S.A. que posee una densidad baja de árboles con respecto a la parcela anterior de 492 árboles vivos por hectárea y un DAP promedio mayor comparado con la parcela anterior de 10.6 cm. Ambas parcelas, poseen una edad de plantación de 4 años como se muestra en el Cuadro 6.

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 6 al comparar el efecto que tiene la densidad con respecto a la altura de la parcela 16 del Proyecto 4, con relación a la parcela 74 del Proyecto 7, ambas con una edad de 3 años. Se establece que la altura de la parcela del Proyecto 4 es mayor en rodales con una densidad baja, mientras que a una densidad alta la altura se ve afectada negativamente.

Klepac (26) menciona que existe una tendencia a la reducción del crecimiento en altura en las plantaciones excesivamente densas.

Daniel *et al.* (13) 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 en el comportamiento que tiene la parcela 30 del Proyecto 5, con relación a la parcela 16 del Proyecto 4, ambos con una edad de plantación de 4 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 4, 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.* (13).

En los Proyectos 1, 4, 5 y 8 se observa una relación de diámetros promedios mayores con alturas promedio mayores, algo que se considera ideal; lo cual evidencia realización de podas y raleos. Lo anterior debido a que 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.

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 (8).

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:

En el Proyecto 8, SERCORPA PINFOR 38 donde las parcelas 77 y 80 con una edad de 3 años de plantación presentan una densidad de 840 árboles/ha. Sin embargo se observa en el Cuadro (7) que los crecimientos son distintos, especialmente en la altura promedio, debido a que las condiciones fisiográficas son distintas.

Cuadro 7. Condiciones fisiográficas y edáficas de parcelas en el mismo sitio y edad de plantación

No. ppm	No. Árb/ha	Altura prom (m)	Exposición	Posición	Pendiente	Pedregosidad	Prof. (cm)	Textura	Drenaje
77	840	2.70	Noreste	alta	30% a < %	poco	35 a 50	gruesa	excesivo
80	840	6.80	Oeste	baja	0 a 2 %	alto	70 a 100	fina	imperfecto

A nivel de esta finca se observa que el crecimiento está afectado posiblemente por los factores fisiográficos, donde la parcela 80 presenta los mejores crecimientos en altura, comparado con la parcela 77.

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 el Cuadro 8.

Cuadro 8. Condiciones fisiográficas y edáficas de parcelas en sitios distintos a una misma edad de plantación

No. Proy	No. ppm	No. Árb/ha	Altura prom (m)	Expos	Posición	Pend	Pedreg.	Prof. (cm)	Textura	Drenaje
5	48	1133	5.20	Oeste	media	0 a 2 %	muy alto	70 a 100	finas	bueno
4	21	640	1.70	Norte	alta	30% a < %	poco	20 a 35	gruesa	excesivo

La parcela 48 del proyecto 5, como se observa en el Cuadro 8 posee una altura promedio superior a la parcela 71. Esta se encuentra ubicada en una exposición Oeste, en la parte media de la pendiente del 2%, la pedregosidad es muy alta, los suelos son mayores de 70 cm, la textura del mismo es fina y el drenaje es bueno. Se hace evidente que en términos generales las condiciones fisiográficas y edáficas en la plantación son buenas.

Sin embargo la parcela 21 del proyecto 4 a pesar de poseer la misma edad de plantación (4 años), las variables de crecimiento que se muestran en el Cuadro 6 conjuntamente con las variables de crecimiento que se muestran en el Cuadro 8, son contrastantes con respecto a la anterior parcela evaluada. Esta parcela se ubica en una exposición Norte, la posición de la pendiente es alta, el porcentaje de la misma es de más del 30%, existe poca concentración de piedras en el área, la profundidad del suelo oscila entre 20 y 35 cm, la textura del suelo es gruesa, mientras el drenaje es excesivo dentro del sitio.

En la parcela con mayor crecimiento se presenta una profundidad de suelo mayor a los 70 cm. En un trabajo realizado para *Pinus maximinoi*, Tzirín (40) en su trabajo de investigación observó que dicha característica es un factor que influye en el Índice de Sitio de la especie en mención.

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 tiene horizonte A y B más delgados que aquellas con una menor pendiente como se observa en la parcela 21, la cual posee un porcentaje de pendiente mayor al 30%, con suelos poco profundos.

Para Salas (34) 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 nutrientes contenidos en ella.

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 9.

Cuadro 9. 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)		
	min	prom	máx	min	prom	máx	min	prom	máx	min	prom	máx	min	prom	máx	min	prom	máx	min	prom	máx
4	493	566	693	288	888	2094	2	6.05	10.6	1.4	3.84	6.8	1.9	5.28	8.8	0.2	2.86	9.5	0.2	6.69	27
3	500	507	599	576	892	1160	3.4	4.88	10.1	1.4	2.9	6.8	1.4	3.87	8.6	0.7	1.81	6.8	0.4	3.41	20.6

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 mencionan Daniel *et al.* (13) 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.* (15), mencionan que no se aplica regularmente fertilizante a las plantaciones, en la época de plantación.

En forma general Zobel (45), 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 10.

En el Cuadro 10 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 mantiene en bajos porcentajes dentro de las plantaciones y se hace más evidente en plantaciones con edad de 4 años, la cual se manifiesta con mayor frecuencia en plantaciones de 3 años. 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 viento, 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 el proyecto 1, Cooperativa Machaquilá en el cual se observa un 10.6% de ejes afectados en relación al total de ejes evaluados, así como el Proyecto 6, Las Monjas con un 4.3% y el Proyecto 4, HIFISA S.A. con un 3.9%; en términos generales estos porcentajes se toman como bajos.

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.* (15) la cola de zorro se propaga fácilmente cerca del ecuador. Así mismo este autor 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.

Urrego y Lambeth (1988) citados por Dvorak *et al.* (15) mencionan que la incidencia de cola de zorro disminuye al aumentar la elevación y dependiendo de la latitud del sitio donde se planta.

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

Para Zobel (45), 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.

Cuadro 10. Frecuencia general de códigos para forma y defectos de ejes (fuste) por edad de *Pinus caribaea* Morelet var. hondurensis

CÓDIGOS DE FORMA Y DEFECTOS DE EJES		EDAD (años)	
No.	Código	3	4
		Porcentaje de las plantaciones	
1	Cola de zorro	1.57	2.99
2	Poco sinuoso	1.64	1.86
3	Muy sinuoso	0.46	0.32
4	Torcedura basal	3.93	3.80
5	Bifurcado	1.64	3.43
6	Inclinado	0.00	0.48
7	Enfermo	1.31	0.89
8	Con Plagas	0.00	0.12
B	Tallo quebrado sin recuperación	1.77	1.41
C	sin copa	1.05	0.69
D	Replantación	0.00	0.00
I	Dominante	49.61	56.10
J	Codominante	45.94	34.21
K	Suprimido	13.68	6.54
L	Ejes rectos y sin defectos de forma	66.69	55.69
PROMEDIO DE ÁRBOLES VIVOS POR PROYECTO (EDAD)		78.40	68.78

Fuente: Registro de PPM en Dolores y Poptún, Departamento de Petén.

La torcedura basal e inclinación del árbol tienen relación con los fenómenos atmosféricos, principalmente los fuertes vientos, sin embargo esto no se evidencia en un aumento de la primera variable al aumentar la edad de plantación debido posiblemente a que los porcentajes de la misma por plantación son bajos. En cuanto a la inclinación de los árboles esta característica tiende a disminuir al aumentar el número de años, posiblemente de debe dicha reducción a los raleos en que han sido sometidos algunos proyectados evaluados con edades de 4 años.

Así mismo en el Cuadro 10 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 mosca sierra defoliadora de brotes de pino (*Zadiprion vallicola*), evidenciándose con mayor frecuencia en los proyectos HIFISA, SERCORPA y SERCORPA PINFOR 38.

Según Salazar (1984), las lesiones las inician las larvas transcurridos 30 a 40 minutos después de la eclosión, estas comienzan a alimentarse de las acículas que están inmediatamente debajo de las acículas ovipositadas. Las larvas consumen solamente el tejido floemático, dejando el xilema expuesto, el cual se oxida al ambiente. Este tipo de alimentación le da al árbol infestado una apariencia de “quemado” de las acículas de la parte superior, contrastando con la acícula verde que aún no han sido lesionadas. Este es el principal síntoma para el reconocimiento en campo de los árboles infestados durante los primeros estadios larvales (33).

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 3 años, principalmente dentro de los proyectos 2 (Carlos Rodas) y 8 (SERCORPA PINFOR 38).

Hilje *et al.* (17) 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 del proyecto 5 (SERCORPA S.A.), en una fase I.

Según Hilje *et al.* (17) 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 considerada nativa del área, por lo que el daño causado por plagas y enfermedades es relativamente bajo, ello no implica que no se deba 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, propensa a dicho ataque (17).

Los tallos quebrados sin recuperación o árboles sin copa que se muestran en el Cuadro 10, 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 de 3 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.

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 10, 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 miembros en un cierto sitio, para las plantaciones de 4 años el 56% de árboles evaluados son dominantes, mientras que los árboles codominantes son pocos y están levemente sobre la mitad del porcentaje de los árboles dominante.

Este fenómeno indica que la dominancia en altura para estos proyectos es mejor y los raleos que se puedan realizar debe 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.

Según, Morataya y Galloway (1998), citados por Ávila (5), en su estudio de 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.

Supr. y Barnes (38) 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 10, 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.

Según Zannotti y Galloway (44), en las plantaciones forestales, muchos árboles presentan defectos graves como: ejes dobles (bifurcados), ejes múltiples, eje principal con elongaciones escarpadas (cola de zorro), ejes torcidos, plagas, enfermedades y árboles suprimidos.

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 11, 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 11 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 1 los cuales son mayores en relación a los valores de la parcela 22 del proyecto 4, a pesar de que este último proyecto posee una edad de 4 años, mientras que el proyecto 1, la edad de plantación es de 3 años.

Para Klepac (26) 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 11. Incrementos Medios Anuales en diámetro, altura y volumen por parcela

No. Proyecto	No. ppm	Edad (años)	Área neta (m ²)	Supervivencia (%)	No. Árb vivos (parc)	No. Árb vivos (ha)	IMA Altura total (m)	IMA DAP (cm)	IMA Volumen m ³ /ha
1	1	3	591	61	34	576	2.0	3.0	2.9
1	2	3	599	74	51	852	2.0	3.0	5.2
1	3	3	556	84	47	845	2.0	3.0	6.2
2	4	3	500	83	53	1060	1.0	2.0	0.6
2	5	3	500	66	42	840	1.0	1.0	0.4
3	6	4	500	81	51	1020	1.0	1.0	0.7
3	7	4	500	67	42	840	1.0	1.0	1.0
3	8	4	500	32	20	400	1.0	1.0	0.2
4	9	4	542	49	35	646	1.0	2.0	1.0
4	10	4	546	60	44	806	1.0	1.0	0.4
4	11	4	557	57	43	772	1.0	1.0	0.3
4	12	4	566	78	55	971	1.0	2.0	3.0
4	13	4	572	54	37	647	1.0	2.0	1.2
4	14	4	556	23	16	288	1.0	2.0	0.4
4	15	4	597	50	34	570	1.0	2.0	1.9
4	16	4	631	44	31	492	2.0	3.0	3.6
4	17	4	668	38	31	464	1.0	2.0	1.4
4	18	4	531	64	46	866	1.0	2.0	1.4
4	19	4	576	79	57	989	1.0	2.0	1.6
4	20	4	581	76	47	809	1.0	1.0	0.3
4	21	4	500	100	32	640	0.0	1.0	0.0
4	22	4	599	59	43	718	1.0	2.0	2.3
4	23	4	558	74	52	933	1.0	2.0	2.2
4	24	4	675	63	50	741	1.0	1.0	0.5
4	25	4	526	72	52	988	1.0	1.0	1.2
4	26	4	582	78	58	997	2.0	2.0	3.9

Cont...

Cuadro 11. Incrementos Medios Anuales en diámetro, altura y volumen por parcela

No. Proyecto	No. ppm	Edad (años)	Área neta (m ²)	Supervivencia (%)	No. Árb vivos (parc)	No. Árb vivos (ha)	IMA Altura total (m)	IMA DAP (cm)	IMA Volumen m ³ /ha
4	27	4	589	72	50	849	2	2	4.3
4	28	4	540	56	37	685	2	2	3.3
5	29	4	540	80	62	1148	1	1	0.7
5	30	4	578	83	63	1091	1	1	0.6
5	31	4	573	59	43	751	0	1	0.2
5	32	4	493	58	42	853	1	1	0.3
5	33	4	585	59	45	769	1	1	0.2
5	34	4	591	81	50	846	1	1	0.4
5	35	4	693	61	43	620	1	1	0.3
5	36	4	649	62	39	601	0	1	0.1
5	37	4	537	75	45	839	1	1	0.2
5	38	4	578	78	54	934	1	1	0.2
5	39	4	561	73	47	837	1	1	0.3
5	40	4	543	55	31	571	1	1	0.6
5	41	4	557	56	34	611	0	1	0.1
5	42	4	552	77	53	960	1	2	4.5
5	43	4	570	77	56	983	1	2	2.6
5	44	4	616	79	74	1201	1	2	4.8
5	45	4	624	80	60	962	2	2	5.7
5	46	4	527	96	69	1310	2	2	6.8
5	47	4	534	56	44	825	1	2	3.1
5	48	4	618	93	70	1133	1	2	2.4
5	49	4	528	77	50	947	1	2	2.2
5	50	4	631	89	59	935	1	2	2
6	51	4	547	74	84	1535	1	1	0.8
6	52	4	524	81	99	1890	1	1	1.6
6	53	4	540	90	113	2094	1	1	1.1
6	54	4	500	100	56	1120	1	2	1.5
7	55	3	500	89	50	1000	0	1	0.3
7	56	3	500	71	34	680	0	1	0.1
7	57	3	500	92	48	960	0	1	0.2
7	58	3	500	78	45	900	1	1	0.3
7	59	3	500	82	45	900	0	1	0.2
7	60	3	500	88	44	880	1	1	0.4
7	61	3	500	87	45	900	1	1	0.3

Cont...

Cuadro 11. Incrementos Medios Anuales en diámetro, altura y volumen por parcela

No. Proyecto	No. ppm	Edad (años)	Área neta (m ²)	Supervivencia (%)	No. Árb vivos (parc)	No. Árb vivos (ha)	IMA Altura total (m)	IMA DAP (cm)	IMA Volumen m ³ /ha
7	62	4	500	74	46	920	1	2	1
7	63	3	500	74	43	860	1	1	0.2
7	64	3	500	88	50	1000	1	1	0.3
7	65	3	500	79	49	980	1	2	0.6
7	66	3	500	75	49	980	1	1	0.4
7	67	3	500	83	40	800	1	1	0.3
7	68	3	500	83	45	900	1	1	0.3
7	69	3	500	71	42	840	1	1	0.2
7	70	3	500	92	46	920	1	2	0.8
7	71	3	500	68	42	840	1	1	0.5
7	72	3	500	82	46	920	1	2	0.7
7	73	3	500	98	55	1100	1	1	0.3
7	74	3	500	95	58	1160	0	1	0.2
8	75	3	500	69	43	860	1	1	0.8
8	76	3	500	87	53	1060	1	1	0.8
8	77	3	500	69	42	840	1	1	0.4
8	78	3	500	81	46	920	1	2	1.6
8	79	3	500	87	48	960	1	2	1
8	80	3	500	75	42	840	2	3	4.2
8	81	3	500	55	31	620	1	2	0.6
8	82	3	500	78	43	860	2	2	2
8	83	3	500	58	34	680	2	2	1.9
8	84	3	500	74	49	980	1	1	0.8

En el Cuadro 11 se observa que la mayor parte de parcelas evaluadas en los diferentes proyectos de 4 años presentan mejores IMAs en altura, diámetro y volumen comparadas con los IMAs de las parcelas de 3 años.

El comportamiento que presenta el incremento en diámetro se debe a los mismos factores que afectan a la altura según Klepac (26), así mismo menciona que éste incremento depende también de la cantidad de reservas materiales acumuladas por el árbol durante el año.

El crecimiento 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 80 del proyecto 8 con un número reducido de árboles por hectárea de 570 arb/ha el cual posee un IMA en diámetro de 3 cm/año comparado con la parcela 84 del mismo proyecto el cual posee un número superior de árboles con relación a la parcela anterior de 2094 arb/ha y un IMA en diámetro inferior a la anterior parcela de 1 cm/año, ambas con la misma edad de plantación de 4 años. El diámetro es el triple 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.

Posteriormente se da un aumento significativo de los diferentes incrementos, conforme aumenta el crecimiento de la especie hasta alcanzar una fase alta de desarrollo, como se muestra en el Cuadro 11.

En el Cuadro 11 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 4 años de edad, con relación a los datos obtenidos de las plantaciones de 3 años de edad.

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 29 del proyecto 5 donde existe una mayor densidad de árboles de 1148 árboles vivos por hectárea y un IMA en volumen de 0.7 m³/ha, con respecto a la parcela 16 del proyecto 4 y la misma edad de plantación (4 años) donde la densidad de los mismos es menor, 492 árboles vivos por hectárea pero concentra un mayor volumen 3.6 m³/ha.

Este fenómeno es confirmado por Klepac (26), 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 11 el comportamiento que

tiene la parcela 16 del proyecto 4 (ya mencionada) con una edad de 4 años, donde existe un número reducido de 31 árboles, los cuales concentran un volumen por hectárea mayor a los diferentes proyectos.

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 Alvarado (2).

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, 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 conforme 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.
- Calidad de la semilla, la cual no se estableció en los diferentes proyectos evaluados.
- Errores de estimación ligados al crecimiento, principalmente en altura. En las parcelas se utilizaron tubos de PVC plenamente identificados, sin embargo para la medición de las alturas de los árboles, las cuales oscilaron entre 0.3 m y 10 m, se flexionaban y existió dificultad para la lectura, especialmente en parcelas con altas densidades de árboles.

A. CALIDAD DE LAS PLANTACIONES EN BASE AL CRECIMIENTO INICIAL

En el Cuadro 12 se observa en forma detallada las diferentes parcelas que poseen un crecimiento bueno y malo de acuerdo a la metodología establecida.

Cuadro 12. 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
4	1.52	25	25	1.04	6	44	1.61	17	33
3	1.50	13	21	1.03	6	28	1.06	7	27
Promedio 1.510 cm/año				Promedio 1.035 m/año				Promedio 1.333 m³/ha/año	

Según Vásquez (42), 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 38 parcelas del total de 84 parcelas donde se evaluó el Incremento Medio Anual en diámetro (DAP) se ubican en un sitio bueno, lo que representa el 45.24% del total de parcelas. Mientras que la altura muestra que únicamente el 14.29% de las parcelas se ubican en un buen sitio de acuerdo a la altura, lo que representa un total de 12 parcelas.

Por último se observa en el Cuadro 12 que el volumen es la variable que se ve afectada considerablemente por el desarrollo de las plantaciones donde solamente 24 parcelas (28.57%) presentan un volumen bueno en los diferentes sitios de los municipios de Poptún y Dolores, en el departamento de Petén.

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 13.

Cuadro 13. Incrementos Medios Anuales en diámetro, altura y volumen en Dolores y Poptún, Petén

Edad (años)	IMA DAP (cm/año)	IMA Altura (m/año)	IMA Volumen (m ³ /ha/año)
4	1.52	1.04	1.61
3	1.5	1.03	1.06
Promedio	1.51	1.035	1.335

Luego de obtener los promedios de los Incrementos Medios Anuales (IMAs), en diámetro, altura y volumen por año, se muestra en el Cuadro 14 el número y porcentaje de parcelas que se ubican en sitios buenos y malos.

Cuadro 14. 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	38	46	45.24	54.76
IMA Altura m/año	12	72	14.29	85.71
IMA Volumen m ³ /ha/año	29	55	34.52	65.48
Promedio			31.35	68.65

A nivel general se observa que el 69% de los rodales donde se instalaron las diferentes parcelas en los municipios en estudio están creciendo por debajo de los diferentes Incrementos Medios Anuales en diámetro, altura y volumen obtenidos en el presente estudio a una edad de 4 años.

Kadambi (1966), citado por Alvarado (2), 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 15 se establecen las características fisiográficas donde se ubican las 84 parcelas de medición permanente distribuidas en los 8 proyectos evaluados.

Cuadro 15. Características fisiográficas y edáficas de las parcelas

Edad (años)	Altura prom (m)	Descripción de las variables						
		Orientación Pendiente	Posición Pend.	% Pend.	Pedregosidad	Prof. Raíces	Textura	Drenaje
3	4.50	2	0	3	4	3	0	1
3	5.00	3	1	2	3	4	1	4
3	5.90	3	2	2	4	4	1	4
3	1.80	5	0	2	4	3	0	4
3	2.80	0	0	2	4	1	0	4
4	2.90	0	1	3	2	1	0	1
4	4.00	0	1	3	4	2	0	1
4	2.70	7	0	3	4	2	0	1
4	3.30	1	2	3	4	4	0	3
4	2.60	5	1	2	4	2	1	4
4	2.60	7	2	3	3	3	0	1
4	4.90	3	1	2	4	4	0	3
4	3.90	0	1	3	4	4	0	4
4	3.60	0	0	1	1	3	1	4
4	4.30	0	1	3	3	4	1	4
4	6.80	3	0	2	2	4	1	4
4	5.00	2	2	3	4	4	1	3
4	4.50	7	2	3	3	3	1	4
4	4.30	7	1	2	3	3	1	4
4	2.30	1	1	0	1	2	2	2
4	1.70	0	0	0	0	1	2	2
4	5.10	6	2	3	3	4	0	1
4	4.50	1	2	3	3	4	1	4
4	3.00	5	1	2	2	3	2	3
4	4.40	5	1	2	3	3	1	4
4	6.50	5	2	3	3	4	1	4
4	6.70	0	1	3	3	4	0	4
4	6.00	8	2	3	4	4	0	4
4	2.60	7	2	3	4	3	0	1
4	2.40	3	1	3	4	2	0	1
4	1.40	2	0	3	4	2	0	3
4	2.20	7	2	3	4	3	0	3
4	2.10	2	2	3	3	3	0	3
4	3.20	7	2	3	2	3	0	4
4	3.10	1	2	3	3	3	0	4
4	1.90	6	0	1	0	1	2	4
4	2.20	3	0	0	0	2	2	2
4	2.00	3	0	0	1	1	2	2
4	2.10	1	1	1	1	2	2	2
4	3.80	7	2	3	3	4	0	4
4	1.60	3	2	3	4	2	0	1
4	5.70	3	2	3	4	4	0	3
4	5.20	2	0	3	4	4	0	3

Cont....

Cuadro 15. Características fisiográficas y edáficas de las parcelas

Edad (años)	Altura prom (m)	Descripción de las variables						
		Orientación Pendiente	Posición Pend.	% Pend.	Pedregosidad	Prof. Raíces	Textura	Drenaje
4	5.8	0	2	3	4	4	0	3
4	6.8	2	0	3	4	4	0	3
4	6.3	2	0	3	4	4	0	3
4	5.9	2	0	3	4	4	1	2
4	5.2	7	1	3	4	4	0	4
4	4.7	7	1	3	4	4	0	4
4	5.2	6	0	3	4	4	0	3
4	2.3	5	1	3	2	4	1	1
4	3	8	2	3	3	4	0	3
4	2.6	6	0	3	3	3	1	3
4	3.7	8	1	0	1	3	2	2
3	1.4	6	0	2	1	2	1	4
3	1.5	6	1	3	1	1	1	3
3	1.4	0	1	3	2	1	0	3
3	2.1	3	1	3	2	1	0	3
3	1.5	3	1	3	3	2	1	0
3	2.2	2	1	2	3	3	1	1
3	2.1	7	2	3	3	4	1	3
4	3.5	0	0	2	2	4	1	3
3	1.8	6	0	1	1	1	2	4
3	1.7	3	0	0	0	1	2	3
3	2.4	3	2	2	3	4	1	3
3	2.1	1	1	2	2	3	1	4
3	1.9	0	0	2	1	2	2	2
3	1.8	2	0	3	4	2	1	4
3	1.6	2	1	2	4	2	1	3
3	3	7	0	3	3	4	1	4
3	2.4	7	1	3	4	4	1	4
3	2.8	2	2	2	3	3	1	4
3	1.8	0	1	2	2	3	1	4
3	1.4	0	1	2	4	2	1	4
3	3.5	0	2	2	2	4	1	3
3	3.6	8	1	1	1	3	1	2
3	2.7	2	0	0	0	2	2	2
3	4.3	8	2	2	3	4	1	4
3	3.7	6	0	1	2	3	1	4
3	6.8	6	2	3	3	4	0	3
3	3.5	3	2	3	3	4	0	3
3	5	3	2	3	4	4	1	3
3	5.1	1	1	2	2	3	0	4
3	3.3	3	2	3	4	3	0	4

En el Cuadro 15 se describe en forma general las características fisiográficas y edáficas de las distintas parcelas con relación a la altura promedio.

Para obtener un análisis más general de la información se presenta el Cuadro 16, donde se establece el promedio de las parcelas con cada variable evaluada en el campo y sus respectivos códigos.

En el Cuadro 16 se observa que el mayor número de parcelas se ubican en una exposición Oeste, secundada por una exposición Norte, mientras que en la exposición Suroeste 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, resaltando en el mismo horas de irradiación solar y el viento.

Arteaga (3), determinó que *Pinus patula* en la región de Cignahuapan-Zacatlán, Puebla, México, logra su óptimo desarrollo en la exposición Noreste y un menor desarrollo en la exposición Sur.

Es importante mencionar que por las características topográficas de la región, en las cuales el 58% de las proyectos se encuentra en pendientes entre 0% y 2%, mientras que otro 8% se encuentra entre 2% y 16%; por lo que se consideran terrenos planos en su mayoría.

El 36% de las parcelas se ubican en una posición media. Mientras que un 34% se encuentran evaluadas en las partes bajas.

Ana (sf), citado por Alvarado (2), afirma que 55% de la variación en altura se debe a la topografía.

Tschinkel (1972) citado por Rojas (32) muestra la pendiente relacionada junto a otros factores en un 72% con la calidad de sitio.

La mayor parte de terrenos contiene categorías de pedregosidad Muy alta y alta. La cual se comprobó de forma visual y por medio de barrenamientos del área en estudio. Esto debido a que en la parcela se encontraron piedras de todos tamaños y cubrían entre un 50% y 95% de la superficie de la parcela en estudio.

El 42% de las parcelas evaluadas presentan una profundidad comprendida entre 70 cm y 100 cm de profundidad, tomando en consideración que en algunas parcelas del Proyecto 5 SERCORPA S.A., se encontraron capas de arcilla que limitaban el crecimiento radicular de algunos árboles de la especie en estudio.

Cuadro 16. Descripción general de las variables edáficas y fisiográficas

Orientación de la Pendiente			Drenaje			Posición en la pendiente		
Variable	Código	No. Ppm	Variable	Código	No. Ppm	Variable	Código	No. Ppm
Norte	0	15	Nulo	0	1	Alta	0	26
Este	1	7	Pobre	1	11	Media	1	30
Sur	2	13	Excesivo	2	10	Baja	2	28
Oeste	3	16	Imperfecto	3	27	Textura		
Noreste	4	6	Bueno	4	35	Fina	0	37
Noroeste	5	9				Media	1	35
Sureste	6	13				Gruesa	2	12
Suroeste	7	5	Pendiente (%)			Pedregosidad (%)		
Profundidad (cm)			Variable	Código	No. Ppm	Variable	Código	No. Ppm
0 a 20	0	0	0 a 2 %	0	48	Poco	0	5
20 a 35	1	10	2 a 16 %	1	23	Moderado	1	10
35 a 50	2	16	16 a 30 %	2	6	Medio	2	13
50 a 70	3	23	30% a < %	3	7	Alto	3	24
70 a 100	4	35				Muy Alto	4	32

7.2 CONSTRUCCIÓN DE MODELOS DE PREDICCIÓN DEL CRECIMIENTO INICIAL DE *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* EN BASE A LAS VARIABLES FISIOGRAFICAS Y EDÁFICAS

Se presentan 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 los dos municipios, pero al no obtener un modelo simple con un R^2 apropiado, se realizó un separación para los proyectos con mayor cantidad de datos.

Los proyectos a los cuales se le fue posible construir modelos de predicción fueron el proyecto 4 HIFISA, proyecto 5 SERCORPA S.A., proyecto 7 La Muerta, proyecto 8 SERCORPA PINFOR 38.

Construcción de los modelos de regresión del proyecto 4 (HIFISA)

A. Efecto de las características fisiográficas y edáficas

En el Cuadro 17 se presentan los modelos de regresión obtenidos para explicar la variación de las características dasométricas como función de las características fisiográficas:

Cuadro 17. Efectos de las características fisiográficas y edáficas del proyecto 4 HIFISA

MODELOS	R ²	Significancia
IMA DAP = 0.20734908 - 0.27821522 (Pospen) + 0.56430446 (Prof)	0.65034805	0.0001
IMA Alt = 0.01030928 + 0.34020619 (Prof)	0.37011442	0.0044
IMA Vol = -1.84261168 + 1.06048110 (Prof)	0.49709045	0.0005

Donde: IMA (Incremento Medio Anual) en DAP (diámetro), Alt (altura), Vol (volumen), Pospen (Posición en la pendiente), Prof (Profundidad)

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 proyecto 4 HIFISA explican la variación del crecimiento inicial de *Pinus caribaea* Morelet var. hondurensis entre un 37% y 65%.

A juzgar de los signos la profundidad y la posición en la pendiente tuvieron un efecto positivo sobre las características de crecimiento.

El Incremento Medio Anual en diámetro está influenciado significativamente por la posición en la pendiente y la profundidad con un R² de 0.65 y un nivel de significancia 0.0001. Mientras que el Incremento Medio Anual en altura y en volumen están influenciados únicamente por la profundidad por los valores de R² y significancia observados en el Cuadro 12.

Construcción de los modelos de regresión del proyecto 5 (SERCORPA)

B. Efecto de las características fisiográficas y edáficas

En el Cuadro 18 se presentan los modelos de regresión obtenidos para explicar la variación de las características dasométricas como función de las características fisiográficas en el proyecto en mención:

Cuadro 18. Efectos de las características fisiográficas y edáficas del proyecto 5 SERCORPA

MODELOS	R ²	Significancia
IMA DAP = 0.41025641 - 0.23414305 (Pospen) + 0.40485830 (Prof)	0.78608256	0.0001
IMA Alt = -0.84285714 + 0.55714286 (Pedreg)	0.64285714	0.1027
IMA Vol = -1.71862069 - 0.51019056 (Pospen) + 2.31079855 (Prof) - 1.68724138 (Ponde)	0.66351011	0.0002

Donde: IMA (Incremento Medio Anual) en DAP (diámetro), Alt (altura), Vol (volumen), Pospen (Posición en la pendiente), Prof (Profundidad efectiva), Pedreg (pedregosidad), Ponde (ponderación de calidad de sitio)

En base a lo anterior se establece que los coeficientes de determinación (R²) de los modelos de regresión del proyecto 5 SERCORPA, son relativamente altos debido al tamaño de muestra levantado en dicho proyecto en donde se explica la variación del crecimiento inicial de *Pinus caribaea* Morelet var. hondurensis entre un 64% y 78%.

A juzgar de los signos la profundidad y la posición en la pendiente; los de profundidad tuvieron un efecto positivo sobre las características de crecimiento, mientras que los segundos tuvieron un efecto negativo.

El Incremento Medio Anual en diámetro está influenciado significativamente por la posición en la pendiente y la profundidad con un R² de 0.65 y un nivel de significancia 0.0001. Mientras que el Incremento Medio Anual en altura y en volumen están influenciados únicamente por la profundidad por los valores de R² y significancia observados en el Cuadro 13.

Construcción de los modelos de regresión del proyecto 7 (La Muerta)

C. Efecto de las características fisiográficas y edáficas

Cuadro 19. Efectos de las características fisiográficas y edáficas del proyecto 7 La Muerta

MODELOS	R ²	Significancia
IMA DAP = -1.53570092 - 0.06548809 (Edad) + 0.35605649 (Oripem) + 0.18144676 (Prof) + 0.24098792 (Pedreg) + 0.89043055 (Drena)	0.96567881	0.0050
IMA Alt = 0.08000000 + 0.09200000 (Pend)	0.62603550	0.0064

Donde: IMA (Incremento Medio Anual) en DAP (diámetro), Alt (altura), Vol (volumen), Prof (Profundidad efectiva), Pedreg (pedregosidad), Oripem (Exposición), Drena (drenaje), Pend (pendiente)

De acuerdo al cuadro anterior se establece que los coeficientes de determinación (R²) de los modelos de regresión del proyecto 7, son altos, en donde se explica la variación del crecimiento inicial de *Pinus caribaea* Morelet var. hondurensis entre un 97% y 62%; siendo el primer modelo el que mejor explica la variabilidad en el crecimiento, con una fuerte influencia de los factores: Edad, orientación en la pendiente, profundidad efectiva, pedregosidad y drenaje.

8. CONCLUSIONES

- 8.1 Los incrementos Medios Anuales obtenidos en los diferentes proyectos beneficiarios del PINFOR con plantaciones de *Pinus caribaea* Morelet var. hondurensis establecidas en los municipios de Poptún y Dolores en el Departamento de Petén a una edad de 4 años, son 1.51 cm/año en diámetro (DAP), 1.035 m/año en altura total y 1.335 m³/ha/año en volumen. En base a lo anterior se establece que el 69% de las plantaciones se encuentran desarrollándose en crecimientos iniciales no adecuados, es decir por debajo del promedio de los Incremento Medios Anuales.
- 8.2 Los factores fisiográficos y edáficos: Profundidad efectiva, pedregosidad, exposición, drenaje, pendiente, posición en la pendiente influyeron sobre el crecimiento inicial de las plantaciones, de acuerdo a los modelos propuestos para los proyectos 4 (HIFISA S.A.), proyecto 5 (SERCORPA S.A.), proyecto 7 (La Muerta).
- 8.3 El 38% del total de ejes evaluados presentan algún defecto en el fuste, lo que incide que la calidad de las plantaciones en base a dicha característica no es adecuada, lo cual se considera bajo. Las plagas no representan ningún daño severo a las plantaciones, mientras que la sanidad de los ejes presentan una calidad buena.

9 RECOMENDACIONES

- 9.1 Con base a los resultados obtenidos, se recomienda que en la planificación y aprobación de proyectos que incluyan la especie *Pinus caribaea* Morelet var. hondurensis dentro de -PINFOR- en la zona Sur Oriente de Petén 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 16%, con exposiciones Sureste y Suroeste, ubicados en las partes medias y bajas de la pendiente y que posean suelos muy profundos y texturas medias.
- 9.2 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.
- 9.3 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 percibe siempre en una plantación con fines de aprovechamiento de madera para aserrío. Es importante reducir estos árboles para que los de buena calidad puedan desarrollarse en mejores condiciones y obtener una mejor producción de madera para aserrío.

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. Alvarado Jerónimo, WV. 2004. Factores edáficos y fisiográficos que afectan el crecimiento inicial de *Pinus maximinoi* H.E. Moore en plantaciones establecidas dentro del Programa de Incentivos Forestales en las Verapaces. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 134 p.
3. Arteaga Martínez, B. 1988. Factores del sitio que influyen en la productividad de 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 Ayotla, Guerrero, Chapingo, México. Agrociencia no. 60:109-121.
5. Ávila Folgar, RL. 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. Calderón Díaz, JH; Álvarez Valenzuela, G; Hernández Dávila, A; Soto, Álvaro. 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.
7. Cannon, P. 1984. El problema de marchitez del *Eucalyptus globulus* en el Perú; informe para Proyecto FAO/Holanda/INFOR. Lima, Perú, FAO. 11 p.
8. CATIE, CR. 2001. Silvicultura de bosques latifoliados húmedos en énfasis en América Central. Ed. Louman, B; Quirós, D; Nilsson, M. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 265 p.
9. CATIE, GT; DIGEBOS (Dirección General de Bosques, GT). 1997. Resultados de 10 años de investigación silvicultural del proyecto madeleña en Guatemala. Ed. Ugalde Arias, LA. Turrialba, Costa Rica. 300 p.
10. CATIE-ROCAP, GT. 1991. Plagas y enfermedades forestales en América Central. Turrialba, CR. p. 85. (Serie Técnica, Manual Técnico no. 3).
11. Clutter, J; Fortson, JC; Pienaar, LV; Brister, GH; Bailey, RL. 1983. Timber management: a quantitative approach. US, John Wiley. 333 p.
12. Critchfield, HJ. 1974. General climatology. 3 ed. US, Prentice-Hall. 446 p.
13. Cruz S, JR De la. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala, a nivel de reconocimiento. Guatemala. 42 p.
14. Daniel, TW; Helms, JA; Backer, FS. 1982. Principios de silvicultura. Trad. Ramón Elizondo M. México, McGraw-Hill. 492 p.

15. Dvorak, WS; Gutierrez, EA; Gapare, WJ; Hodge, GR; Osorio, LF; Bester, C; Kikuti, P. 2000. *Pinus maximinoi*. North Carolina, US, NC State University / CAMCORE. 234 p.
16. Escobedo López, MA. 1995. Índices de sitio para *Pinus pseudostrobus* Lindl., en los departamentos de Chimaltenango y Sololá. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 81 p.
17. Hilge QC; Araya FC; Scorza RF. 1991. Plagas y enfermedades forestales en América Central. Turrialba, CR, CATIE. 260 p. (Serie Técnica, Manual Técnico no. 4).
18. Hocker J, HW. 1984. Introducción a la biología forestal. Trad. Bellomo López, FA. México, AGT. 446 p.
19. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1977. Atlas de la república de Guatemala. Esc. 1:1,000,000. Color.
20. INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 1997. Ley forestal, decreto legislativo número 101-96. Guatemala, Asociación Centroamericana de Comunicación para el Desarrollo Humano “Hombres de Maíz”. 27 p.
21. INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 2000. Clasificación de tierras por capacidad de uso: aplicación de una metodología para tierras de la república de Guatemala. Guatemala. 96 p.
22. INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 2001. Boletín de estadísticas forestales 2001 (en línea). Guatemala. 56 p. Consultado 6 ago 2003. Disponible en <http://www.inab.gob.gt>
23. INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 2001. Consolidado de especies 2002. No publicado.
24. INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 2001. Mapa de ecosistemas vegetales. Guatemala. 1 CD.
25. INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 2002. Mapa de clasificación de tierras por capacidad de uso. Guatemala. 1 CD.
26. Klepac, D. 1983. Crecimiento e incremento en árboles y masas forestales. 2 ed. Chapingo, México, Universidad Autónoma de Chapingo. 365 p.
27. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 2000. Clasificación climática por Thornthwhite, república de Guatemala. Guatemala. Esc. 1:2,000,000. Color. 1 CD.
28. Matteucci, S; Colma, A. 1982. Metodología para el estudio de la vegetación. Washington, D.C., OEA. 136 p.
29. Pla, L. 1986. Análisis multivariado: método de componentes principales. Argentina, OEA, Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. 94 p. (Monografía no. 27).
30. PROCAFOR, GT. 1998. Guías, tablas y curvas, para la realización de inventarios forestales en planes de manejo y planes operativos. Guatemala. s.p.
31. Prodan, M; Peters, R; Cox, F; Real, P. 1997. Mensura forestal. Costa Rica, IICA / GTZ. 561 p.

32. Rojas, F. 1990. Pino caribe (*Pinus caribaea* Morelet var. hondurensis Barret y Golfari); especie de árbol de uso múltiple en América Central. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 59 p.
33. Salas, G De las. 1974. Factores edáficos y climáticos en la clasificación de sitios forestales. Bosques de Colombia 1:15-30.
34. Salazar, R. 1984. Notas preliminares sobre el barrenador de los brotes terminales del pino, *Rhyacionia frustrana* (Lepidoptera: Tortricidae) en Costa Rica. Turrialba, CR, IICA. 250 p.
35. Santos López, CA. 1997. Determinación del crecimiento y calidad de sitio para camaldulensis (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh) en cuatro departamentos de Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 87 p.
36. SEGEPLAN (Secretaría General de Planificación, GT). 1994. Planes maestros para las áreas protegidas del sur de Petén: complejo III; reserva de biosfera Chiquibul-Montañas Mayas, reserva natural privada pinares de Poptún. Guatemala. 200 p.
37. Simmons, CS; Tárano, JM; Pinto, JH. 1956. Descripción de los suelos que aparecen en la carta agrológica de reconocimiento de la república de Guatemala. Guatemala, Servicio Cooperativo Interamericano de Agricultura. 995 p.
38. Spurr, S; Barnes, B. 1982. Ecología forestal. Trad. por Carlos L. Raigorodsky. México, AGT. 690 p.
39. Tobías, HA. 1996. Clasificación por capacidad de uso de la tierra (USDA): documento de apoyo a curso de mapeo y clasificación de suelos. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. s.p.
40. Tzirin Batzin, J. 1998. Indices de sitio preliminares para *Cupressus lusitanica* Millar, *Pinus caribaea* Morelet var. hondurensis Barret & Golfari, *Pinus maximinoii* 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.
41. Ugalde A, LA. 2001. Guía para el establecimiento y medición de parcelas para el monitoreo y evaluación del crecimiento de árboles en investigación y programas de reforestación con la metodología del sistema MIRA. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 50 p.
42. Vásquez C, W. 1995. Rendimiento y calidad de sitio para *Gmelina arborea*, *Tectona grandis*, *Bombacopsis quinatum* y *Pinus caribaea* en Guanacaste, Costa Rica. Ed. Ugalde A, LA; Vásquez C, W. Turrialba, Costa Rica, CATIE / IDA / FAO. 40 p.
43. Walker, E. 1980. Métodos multivariados para el análisis de datos. México, SARH. 50 p.
44. 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).
45. Zobel, B; Talbert, J. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. México, Limusa. 545 p.

11 APÉNDICE

BOLETA DE CAMPO

Nombre de la finca o proyecto
Ubicación
Fase de mantenimiento
Número de parcela
Fecha

A. Orientación de la Pendiente	Suroeste	7
	Sureste	6
	Noroeste	5
	Noreste	4
	Oeste	3
	Sur	2
	Este	1
	Norte	0

B. Posición en la Pendiente	Parte baja	2
	Parte media	1
	Parte alta	0

C. Drenaje	Drenaje Bueno	4
	Drenaje Imperfecto	3
	Drenaje Excesivo	2
	Drenaje Pobre	1
	Drenaje Nulo o cenegado	0

D. Pendiente en %	0<pendiente<2	3
	2<pendiente<16	2
	16<pendiente<30	1
	30<pendiente	0

E. Pedregosidad	Poco	4
	Moderado	3
	Medio	2
	Alto	1
	Muy Alto	0

F. Profundidad de Raíces en cm	70<profundidad<100	4
	50<profundidad<70	3
	35<profundidad<50	2
	20<profundidad<35	1
	profundidad<20	0

G. Textura	Gruesa	2
	media	1
	Fina	0

