UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
AGRONOMÍA

DETERMINACIÓN DE ÍNDICES DE SITIO PARA *Pinus oocarpa Schiede* EN DOS LOCALIDADES DEL DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA.

TESIS
PRESENTADA AL HONORABLE CONSEJO REGIONAL

POR

FREDY SAMUEL CORONADO LOPEZ

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

INGENIERO AGRÓNOMO

EN EL GRADO ACADÉMICO DE
LICENCIADO EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CHIQUIMULA, GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 1997

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO **PÁGINA**

INDICE DE CUADROS iii

INDICE DE FIGURAS iv

INDICE DE APÉNDICES v

RESUMEN vi

1. INTRODUCCIÓN 1

2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA 2

3. JUSTIFICACIÓN 3

4. OBJETIVOS 4

5. MARCO TEÓRICO 5

5.1 MARCO CONCEPTUAL 5

5.1.1 Importancia de los bosques en Guatemala 5

5.1.2 Productividad de los sitios forestales. 6

5.1.3 Calidad de Sitio 8

5.1.4 Indice de Sitio 10

5.2 MARCO REFERENCIAL 15

5.2.1 Ubicación geográfica de los bosques. 15

5.2.2 Zona de Vida 15

5.2.3 Climatología 15

5.2.4 Geología 16

5.2.5 Suelos 16

5.2.6 Hidrología 16

5.2.7 Vías de acceso 17

5.2.8 Estudios realizados sobre Índices de Sitio 18

6. METODOLOGÍA 20

6.1 DIVISIÓN DEL ÁREA EN ESTUDIO 20

6.1.1 Rodalización 20

6.1 .2 Selección y número de árboles 21

6.2 ANÁLISIS FUSTAL 22

6.3 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN 24

6.3.1 Modelos de crecimiento evaluados 25

6.3.2 Selección del mejor modelo 26

6.3.3 Construcción de curvas de índice de sitio. 28

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 29

7.1 Diagrama de dispersión 29

7.2 Análisis de regresión para los datos edad-altura. 30

7.3 Selección del modelo matemático de mejor ajuste. 31

7.4 Curvas de índice de sitio 35

8. CONCLUSIONES 42

9. RECOMENDACIONES 43

10. BIBLIOGRAFÍA 44

INDICE DE CUADROS

CONTENIDO **PAGINA**

1. Ubicación geográfica y altitudinal de las fincas de muestreo 15

2. Extensión y uso actual del suelo en las fincas Dulce Nombre Y Chagüites, Chiquimula 16

3. Distribución de los árboles muestra por finca 22

4. Obtención de las parejas de datos edad-altura a partir de la Información de campo 24

5. Resumen del Análisis de Varianza de los modelos matemáticos De crecimiento evaluados 30

6. Resumen de la prueba Z entre los mejores modelos 32

7. Resultados de la desviación estándar residual Sxy, Sxy% y el Estadístico Cp. 32

8. Clases de calidad de sitio con sus respectivas alturas índice Por cada edad base 36

9. Valores del intercepto “a” por clase de sitio y edad base 37

INDICE DE FIGURAS

CONTENIDO **PAGINA**

1. Ubicación geográfica del área en estudio 17

2. Familia de curvas de Indice de Sitio para **Pinus oocarpa Schiede**, en Huehuetenango a una edad base de 30 años, Palacios 1997 18

3. Familia de curvas de Calidad / Indice de Sitio para **Pinus pseudostrobus** en Chimaltenango y Sololá, a una edad base de 30 años, Escobedo 1 995 18

4. Curvas de Calidad de Sitio para **Pínus oocarpa Schiede** COHDEFOR CEMAPIF 19

5. Ubicación de total de las parcelas de **Pinus caribaea var**. Hondurensis y curvas que definen tres Clases de Sitio, Costa Rica, Vásquez 1 9 19

6. Diagrama de dispersión de edad-altura de **Pinus oocarpa Schiede**, de las fincas Dulce Nombre, Camotán y Los Chagüites, Esquipulas; Chiquimula 29

7. Ajuste de los mejores modelos a la dispersión real de datos de edad-altura 33

8. Residuales estandarizados del modelo 1 34

9. Residuales estandarizados del modelo 2 34

10. Residuales estandarizados del modelo 3 34

11. Familia de Curvas de Indice/Calidad de sitio para **Pinus oocarpa Schiede**, en Chiquimula, para una edad base de 30 años 38

12. Familia de Curvas de Indice/Calidad de sitio para **Pinus oocarpa Schiede**, en Chiquimula, para una edad base de 35 años 39

13. Familia de Curvas de Indice/Calidad de sitio para **Pinus oocarpa Schiede**, en Chiquimula, para una edad base de 40 años 40

14. Ejemplo de determinación de Indice/Calidad de sitio para **Pinus Oocarpa Schiede**, en Chiquimula, para una edad base de 30 años 41

INDICE DE APÉNDICES

APÉNDICE No.	PÁGINA
1. Formulario para la toma de datos del análisis fustal	48
2. Alturas dominantes a diferentes Calidad/Indice de sitio, para **Pinus oocarpa Schiede**, a una edad base de 30 años	49
3. Alturas dominantes a diferentes Calidad/Indice de sitio, para **Pínus oocarpa Schiede**, a una edad base de 35 años	50
4. Alturas dominantes a diferentes Calidad/Indice de sitio, para **Pinus oocarpa Schiede**, a una edad base de 40 años	51
5. Análisis de Varianza para los modelos 1, 2 y 3	52
6. Mediciones desométricas de cada árbol utilizado para obtener Información de edad-altura	54

DETERMINACIÓN DE ÍNDICES DE SITIO PARA Pinus oocarpa Schiede, EN DOS LOCALIDADES DEL DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA.

RESUMEN

Pinus oocarpa Schiede es una de las especies coníferas de mayor distribución en guatemala y de mucha importancia en la región Nor-Oriental. Uno de los problemas su adecuado manejo lo constituye la falta de un ordenamiento de los sitios forestales en función de su productividad, lo que permitiría utilizar el bosque de acuerdo a su potencialidad, asegurando su producción sostenible.

La Calidad de Sitio es una medida de la productividad; por lo que el objetivo del presente estudio es determinar la calidad de sitio a través de índices de sitio para pinus oocarpa Schiede; en los bosques ubicados en las fincas Dulce Nombre), Camotán y Los Chagüites, Esquipulas, ambas del departamento de Chiquimula; durante los meses de mayo 1996 a febrero 1997.

Las curvas de Índice de Sitio fueron desarrolladas a partir de la relación de 687 pares de datos de edad-altura, obtenidos del análisis fustal de 66 árboles dominantes condominantes. La relación se evaluó mediante técnicas de regresión comparando 16 modelos matemáticos de crecimiento. El modelo Schumacher (InH = a + b (1/E')) es el que mejor se ajusta a la dispersión real de datos; su validación como el mejor modelo está dado por un coeficiente de determinación r2 de 0.9582, un cuadrado medio del error de 0.8573, alta probabilidad de ajuste con la prueba F 15709.39 y un bajo coeficiente de variación 12.42 % (todos estimadores del análisis de varianza de la regresión).

Además se determinó un valor de Error Estándar Residual de 4.5, menor valor del estadístico Cp. -1 51 .40 y un buen ajuste gráfico de la curva promedio del modelo y sus residuales estandarizados. Con el modelo Schumacher se generaron tres familias de curvas anamórficas de índice de Sitio para las edades base de 30, 35 y 40 años. Las curvas representan las condiciones de crecimiento de Pinus oocarpa Schiede del área en estudio, y pueden utilizarse para elaborar planes de manejo forestal que aseguren la producción óptima, sostenible y económicamente rentable. de los bosques del área.

1. INTRODUCCIÓN

Conocer la productividad de los terrenos forestales es indispensable para la formulación de planes de manejo que aseguren el aprovechamiento racional del bosque (5, 12, 18).

La calidad de sitio constituye una medida de la productividad de un área. No es posible tomar decisiones válidas de tipo silvícola si no se hace referencia a la calidad de sitio y a otros parámetros del bosque. Sin embargo en el país no se cuenta con suficiente información de este tipo para el manejo adecuado del recurso forestal (5, 9, 12, 19).

En el presente estudio se determinó la calidad de sitio relacionando 687 pares de datos de edad-altura dominante, que se obtuvo de realizar el análisis fustal a sesenta y seis árboles de dos bosques de Pínus oocarpa Schiede.

La relación se evaluó mediante técnicas de regresión, comparando 16 modelos matemáticos de crecimiento, siendo el modelo Schumacher (Ln H = a + b 1/Ek) el que mejor predice o ajusta a la dispersión real de datos.

Con el modelo Schumacher se generaron familias de curvas anamórficas de índice/calidad de sitio para cada una de las edades bases consideradas, 30, 35 y 40 años. Las curvas generadas pueden ser utilizadas como herramientas para la elaboración de planes de manejo sostenibles para los bosques del área.

La presente investigación se realizó durante los meses de mayo 1996 a febrero 1997 en las fincas Dulce Nombre, Camotán y Los Chagüites, Piedra Redonda, Esquipulas, Chiquimula.

2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Para que el recurso forestal pueda constituirse en una alternativa para el desarrollo económico y social en Guatemala, debe manejarse de manera sostenible. Un obstáculo para alcanzar el desarrollo sostenible es la falta de información que permita clasificar los sitios forestales en función de su capacidad productiva.

Una manera confiable y sencilla de estimar la capacidad productiva de un sitio forestal es mediante el uso de curvas de índice de sitio (1, 5, 9, 12, 19).

Actualmente se están utilizando en nuestro país las curvas de índice de sitio generadas en Honduras, ya que el modelo centroamericano de formulación de planes de manejo forestal no cuenta con suficientes estudios en el área; esta situación implica muchas veces el poco ajuste de dichas herramientas a las condiciones de crecimiento, composición y aprovechamiento de los bosques de nuestro país (6, 18).

3. JUSTIFICACIÓN

Guatemala es un país con más del 60% de suelos con vocación forestal ; es necesario que el manejo de sus bosques se realice de tal forma que asegure su producción sostenible para promover el desarrollo del país. Con este propósito el Programa Regional Forestal para Centro América (PROCAFOR) está implementando en coordinación con el Instituto Nacional de Bosques (INAB), un modelo eficaz y simplificado de formulación de planes de Manejo forestal (2, 3, 18).

Los índices de sitio son indispensables en los planes de manejo para la planificación y aplicación adecuada de prácticas silviculturales y la clasificación de tierras forestales de acuerdo a su productividad, que va íntimamente relacionado con las inversiones económicas a efectuar. Además sirve como base para otros estudios como tablas de crecimiento, rendimiento, determinación del turno técnico por especie, entre otros (5, 9, 12,18).

Se consideró necesario e importante generar curvas de índice/calidad de sitio para Pinus oocarpa Schiede, por ser una de las especies más distribuidas en el territorio nacional y de mucha importancia en la región nor-oriental, al proporcionar varias combinaciones de productos forestales. Las familias de curvas pueden utilizarse para formular planes de manejo que estén acordes a las condiciones de la región, asegurando una producción óptima, sostenida y económicamente rentable, (2, 3, 15, 21).

4. OBJETIVOS

GENERAL:

Generar información para determinar índices de sitio para Pinus oocaipa Schiede en dos Bosques del departamento de Chiquimula.

ESPECÍFICOS:

1. Evaluar diferentes modelos matemáticos de crecimiento, para identificar el que mejor predice la relación edad-altura dominante de árboles de Pinus oocarpa Schiede.
2. Elaborar curvas de índices/calidad de sitio, que representen las condiciones de crecimiento de Pinus oocarpa Schiede del área en estudio.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 MARCO CONCEPTUAL

5.1.1 Importancia de los bosques en Guatemala

Más del 60% de los suelos de Guatemala son de vocación forestal, es decir; que las características de los suelos (sobre todo pendiente y profundidad) toleran a largo plazo, exclusivamente la producción forestal sostenida y la protección (2).

Actualmente el 34.4% de la superficie del país está cubierta de bosques naturales, de cuatro tipos:

- **Bosques latifoliados:**

  Comúnmente llamados selvas, son los bosques característicos de las regiones de baja altitud (Izabal, Petén , el norte de Alta Verapaz, Quiché y Huehuetenango), estos bosques representan el 76% del área boscosa del país (2).

- **Bosques de coníferas:**

  Constituidos por bosques mixtos de especies coníferas como pinabete, ciprés y varias especies de pinos; cubren aproximadamente el 15% del área boscosa del país (2). Los bosques de coníferas son menos diversos que los bosques latifoliados, a pesar que cubren menos área que estos, son los mayores proveedores de madera para consumo interno (2,3).

El Pinus oocarpa Schiede, forma parte de las 23 especies de pino identificadas, que se distribuyen naturalmente en Guatemala (6,10,14). Es la especie conífera más difundida en el paiz, siendo conocida como pino colorado, ocote, Chaj. Alcanza alturas considerables en buenos suelos, hasta 40 y más metros, mientras que en suelos malos no se desarrolla más de 25
(14, 15, 21).

Es usado para obtención de madera, resma y leña. Es recomendado para la reforestación en amplias zonas dentro de su ámbito, por ser muy resistente y crecer inclusive en suelos poco fértiles y secos, posee alto porcentaje de regeneración natural (10, 14,15,21).

- **Bosques mixtos:**

Constituidos por bosques de coníferas y latifoliados, esencialmente pinos y encinos (robles), estos bosques representan el 7% del área boscosa (2).

- **Bosques manglares:**

Constituidos por especies de hoja ancha, con la característica especial de establecerse en zonas costeras en relación dinámica con el agua salobre. Los bosques manglares ocupan alrededor de 16,000 ha, lo que equivale al 0.4 % del área boscosa del país (2).

Otros tipos de bosques menos representativos se encuentran en el país, como lo son el bosque nuboso (en la Sierra de las Minas y en las partes altas de algunos volcanes) y el bosque seco (en ciertas zonas del sur-oriente del país), (2).

- **5.1.2 Productividad de los sitios forestales**

Zepeda y Rivero, citados por Escobedo (6), indican que por productividad se entiende la capacidad (eficacia), grado de producción (eficiencia) por unidad de trabajo, superficie de tierra cultivada, equipo industrial, unidad de tiempo u otro insumo o factor de producción.

Duerr citado por Escobedo (6), establece que la productividad de un insumo o factor de producción es la cantidad de otros factores que éste es capaz de trabajar (capacidad), sin sobrepasar el punto de la mejor combinación, multiplicada por la cantidad de producto que él puede obtener (eficiencia) a partir de cada unidad de todos los factores involucrados, es decir:

$P=C*E$

donde: P = Productividad

C = Capacidad

E = Eficiencia

Los potenciales de producción se forman lentamente en las zonas que presentan suelos residuales y más rápidos en los sitios sujetos a la deposición de partículas del suelo portadas por el agua o el viento; en contraste la productividad puede disminuir a través de distintos tipos de erosión (5).

Pérez, Stiff y Johnson (12,13), indican que un sistema que estime la productividad de un sitio es esencial para un manejo racional del bosque. Este sistema le permitiría al planificador destinar en forma objetiva los fondos y el personal requeridos en una actividad de manejo forestal, así como predecir el abastecimiento futuro de materia prima con mayor n de seguridad.

Los cálculos de estimación de la productividad se han hecho casi siempre con base a los simples recursos naturales renovables del bosque, como la madera, el forraje, el agua y la L. Debido a la carencia de información acerca de la productividad total de un área y de las relaciones balanceadas sostenidas entre los recursos renovables, se requiere un considerable esfuerzo para el análisis de todos los componentes de un ecosistema (5).

Zepeda citado por Escobedo (6), afirma que en forma estricta no es posible determinar la productividad de un árbol, de un rodal, mucho menos de un sitio, ya que resulta cercano a posible conocer realmente la capacidad y eficiencia de cada uno de los factores de producción presentes en un sitio y el tipo de interrelaciones existente entre ellos. Es por eso recurre a hacer estimaciones sobre la productividad de un lugar, referidas, generalmente de algún tipo de índice.

Varios autores coinciden que la calidad de sitio define en gran parte la capacidad Ictiva de los terrenos forestales de una localidad para el crecimiento de una especie rimada (5, 9, 12, 18, 19).

5.1.3 Calidad de sitio

Vásquez y Ugalde (19), indican que la capacidad productiva de un determinado lugar conoce como calidad de sitio, donde sitio está definido por un complejo de factores bióticos abióticos, y su calidad es el resultado de la interacción de los factores ambientales (suelo, clima, etc.) y la vegetación existente.

Daniel Helms y Baker (5), definen la calidad de sitio como la suma de muchos factores, ambientales: profundidad del suelo, su textura, las características de sus perfiles, su composición mineral, lo pronunciado de las pendientes, la exposición, el microclima, las especies que viven sobre él y otras más. Estos factores a su vez, son función de la historia geológica, de la fisiografía, el macroclima y el desarrollo de la sucesión vegetal.

Dado que la calidad de sitio se mide en términos de la máxima cantidad de madera producida (en volumen) dentro de un cierto período, el valor que se le asigne puede variar según la especie de árboles y la longitud del lapso de tiempo asignado (5).

Dentro de un cierto microclima, la calidad de sitio determina el tipo y magnitud de los problemas y las oportunidades que se le presentan al silvicultor para el manejo de un rodal (5).

La Calidad del terreno forestal es una cuestión esencial en el manejo de los rodales encaminada a la producción de varias combinaciones de productos forestales: madera, agua, forraje, recreación y caza. No es posible tomar decisiones válidas, de tipo silvícola, si no se ce referencia a la calidad del sitio y otras condiciones de sitio (5).

Para Vásquez y Ugalde (19), el rendimiento de una plantación depende en gran parte, la capacidad productiva del sitio seleccionado, la preparación y el manejo que se le de al ismo. En algunos casos los árboles crecerán rápidamente, alcanzando grandes volúmenes i poco tiempo, mientras que en otros el crecimiento será menor o muy pobre, es por eso que hace indispensable conocer la calidad de sitio en el área de trabajo.

Pérez, Stiff y Jonhson (13), indican que la clasificación de sitio es de alta prioridad para da América Central.

Turtiainen y Barahona (18), reafirman la importancia, al indicar que la calidad de sitio fine la planificación de las actividades a realizar en los rodales, por ejemplo recomiendan hacer las plantaciones en suelos con buena calidad de sitio y regeneración natural en los sitios n baja calidad, además las actividades de limpieza, corta anual permisible están definidas en gran medida por la calidad del terreno forestal.

Existen varios métodos para estimar la calidad de sitio, entendiéndose como el proceso mediante el cual es posible estimar, en forma un tanto aproximada el grado de productividad l sitio. Varios autores han dividido los métodos para evaluar la calidad de sitio de la siguiente manera:

a. Directos

Un método preciso de estimación de calidad de un sitio es desarrollar un bosque de aa especie determinada, sobre un sitio señalado y durante un periodo dado. Resulta obvio e este procedimiento no podría producir líneas para los silvicultores antes de varios años,

Se considera también que la calidad de sitio es estimada en función de los datos históricos de rendimiento en volumen, crecimiento en altura dominante o en base al crecimiento de los entrenudos (5).

b. Indirectos

En Guatemala, esta forma tiene mayor aplicabilidad, debido a que no se cuenta con parcelas permanentes de muestreo.

Dentro de estos se encuentran:

1. Índice de sitio
2. Método ambiental
3. Método de la vegetación (5).

Según Alder (1), el método indirecto utilizado frecuentemente es el índice de sitio, do a la sencillez de toma de datos y su relación con tablas de rendimiento.

Existen discrepancias entre varios autores al dividir los métodos de estimar la calidad sitio, sin embargo Hughell (9), Turtiainen y Barahona (18), Vásquez y Ugalde (19), apoyan la afirmación hecha por Alder, sustentando de esta manera la importancia del método índice de sitio.

5.1.4 Índice de sitio

El índice de sitio es la expresión del potencial productivo de la localidad forestal (1, 9,3, 18).

Vásquez y Ugalde (19) definen el índice de sitio como la altura dominante que pueden alcanzar los árboles de un rodal a una edad determinada, la cual se toma como edad base.

Hughell (9), coincide con Vásquez y Ugalde, al definir el índice de sitio como la altura dominante que tiene o tendría un rodal a una edad base.

Para la selección de la edad base debe tomarse en cuenta los siguientes criterios:

a) Que sea suficientemente grande como para permitir distinguir diferentes índices de sitio con una precisión aceptable.
b) Que se ubique hacia el final del turno de la especie.
c) Que esté bien representada con las observaciones de campo.

d) Que se conforme, en lo posible, con las edades base utilizadas en otros estudios en la literatura (9).

La altura promedio de un rodal es usualmente sensitiva no solo a la edad y a la clase sitio, sino también a la densidad del rodal. Se usa normalmente la altura dominante como indicador del potencial productivo de un área, porque es casi insensible a la diferencia de densidad de los rodales (1).

La altura dominante se determina considerando los 100 árboles más altos por Hectárea. Hughell (9), estima que el primer componente dentro de cada modelo de crecimiento debe ser una estadística que represente el potencial de la especie por crecer en diferentes sitios. Dicha estadística es utilizada como variable independiente en las ecuaciones para estimar el diámetro, altura y densidad actual, dicha estadística es el índice sitio.

Daniel, Helms y Baker (5), consideran que el índice de sitio es un indicador más sensible de la calidad de sitio que las expresiones de las tablas de rendimiento de productividad del volumen, debido a que la altura del árbol dominante en una edad particular, presenta la máxima altura alcanzable; en contraste el volumen normal de la tabla de rendimiento, representa tan sólo el volumen promedio que se encontró en ese período de tiempo. Además, el índice puede ser determinado rápido y fácilmente para una especie.

Turtiainen y Barahona (18), indican que en el plan de manejo necesitamos definir como crece bosque en los diferentes índices de sitio, para determinar el volumen y crecimiento total; ara definir el tiempo económico de rotación. Clutter, citado por Escobedo (6), indica que dentro del método de índice de sitio se conocen dos variantes, según la naturaleza de las familias de curvas de edad-altura que se generan: las curvas anamórficas y las polimórficas.

Las curvas anamórficas de índice de sitio son familias de líneas proporcionales con endiente constante entre ellas a una misma edad, pero son interceptadas a orígenes variables, esta situación provoca que el punto de inflexión de todas las curvas ocurra a una misma edad. n una familia de curvas anamórficas la altura de una curva cualquiera, a cualquier edad, es una proporción constante de la altura de las otras a esa misma edad base (6).

Las curvas polimórficas, son familias de líneas con pendiente variable, que generalmente no guardan relación de paralelismo entre si; es decir que no son proporcionales, o dependen unas de otras y sus puntos de inflexión ocurren en edades diferentes. Se dividen en desarticuladas y articuladas (6). Para el caso de las familias de curvas polimórficas articuladas, la relación de proporcionalidad no se mantiene, pero las curvas no se cruzan dentro del rango de edad de es (6).

En el caso de curvas polimórficas desarticuladas la relación de proporcionalidad constante no existe y al menos alguna de las curvas puede intercepar a otra dentro del rango edad de interés (6). La construcción de curvas de índice de sitio puede realizarse por métodos gráficos o análisis de regresión (1).

Para los métodos gráficos de construcción, se sigue el ploteo de los datos disponibles edad-altura de los rodales de la especie en mención; luego se dibujan tres curvas a mano, las curvas deben seguir los bordes superiores e inferiores de la masa de datos, como la tendencia central de los mismos (1). También pueden interpolarse dos curvas adicionales entre las curvas superior e inferior central. Esta forma de construir las curvas de índice de sitio no es tan exacta (1).

Según Alder (1), los métodos por análisis de regresión se clasifican de la siguiente manera:

Datos de parcelas temporales (curvas proporcionales, método del mínimo o máximo).

Datos de parcelas permanentes (regresión jerárquica sin índice de sitio, regresión múltiple con índice de sitio a priori.)

Alder (1), indica que los cuatro métodos por análisis de regresión enunciados anteriormente, pueden referirse a un modelo de crecimiento de altura, con la ecuación Schumacher, que se define de la forma siguiente:

Ho -Hmax exp (b/A”) (ecuación 1)

donde, Ho es la altura dominante, Hmax es un parámetro a ser ajustado que representa la máxima altura que la especie podría alcanzar, exp oes la anotación matemática
a indicar que la expresión dentro del paréntesis es el exponente de la constante e= 2.7 1828, k son parámetros a ser ajustados y A es la edad del total del rodal (1).

Utilizando logaritmos de base e (ln) en ambos lados de la ecuación se consigue:
Ln Ho = Ln Hmax + b/Ak (ecuación 2)

Si se hace a = ln Hmax, entonces a y b pueden ajustarse por regresión lineal siempre k sea conocido. Para la mayor parte de las especies los valores de k varían entre 0.2 y 2. a muchas especies, un valor asumido de k = 1 suministrará un ajuste satisfactorio (1).

Para curvas proporcionales se ajusta la ecuación 2 al conjunto global de datos de las celas de muestreo temporales por regresión lineal, siendo la variable dependiente Y. el ln y la variable predictoria X, la expresión l/Ak.

Una vez que la curva de crecimiento de la altura promedio ha sido ajustada, pueden trazarse curvas de la misma forma que pasen por diferentes valores de índice de sitio. Si el ice de sitio S se define como la altura dominante del rodal a una edad índice Al, el parámetro “a” de la curva que pase por este índice de sitio ai estará dado por:

ai =in S - b/Ai k

donde: b y k provienen de la curva promedio.

Los métodos de regresión jerárquica abarcan al método propuesto por primera vez por Bailey y Cluter, e implican el uso de estimadores de pendiente común y de término pendiente común del análisis de covarianza (1).

El modelo de regresión dependiente común está representado por la ecuación (1.):

Y = a + bx

donde ai es diferente para cada parcela, pero b (la pendiente es la misma para todas las parcelas).

El modelo del término independiente común, se representa por la ecuación:

Y = a + b x

donde la interacción o término independiente común “a” es el mismo para todas las parcelas, pero las pendientes b difieren.

De acuerdo a la ecuación de Schumacher, ambos modelos pueden ser usados con Y como InHo y X como 1/Ak.

5.2 MARCO REFERENCIAL

5.2.1 Ubicación geográfica de los bosques

El estudio se realizó en dos bosques de Pinus oocarpa Schiede ubicados en las fincas Dulce Nombre, Camotán y Los Chagüites, Piedra Redonda, Esquipulas; ambas del departamento de Chiquimula (Figura 1, Cuadro 1).

Cuadro 1. Ubicación geográfica y altitudinal de las fincas de muestreo.

MBRE DE LA NCA	COORDENADAS GEOGRAFICAS	PROPIETARIO	ALTITUD msnm
ULCE NOMBRE	Lat 14° 56' 20" N	TACHOCHE S.A.	800 a 1069
	Long 89° 12' 22" W		
OS CHAGUITES	Lat 14° 38' 20" N	SANTOS VIVIDOR	1100 a 1150
	Long 89° 21' 08" W		

5.2.2 Zona de Vida

Los bosques de las fincas Dulce Nombre y Los Chagüites se encuentran ubicados en la a de Bosque Húmedo Sub-tropical (templado) bh-S(t) (4, 7).

5.2.3 Climatología

Según el sistema THORNTITWAITE las dos fincas se encuentran en un clima cálido, dentro .n bosque húmedo con invierno seco (A'b'Bi) (8).

La precipitación de la zona oscila entre 1100 a 1349 mm como promedio total anual.

Aunque s obtenidos de registros internos de la finca Dulce Nombre, reportan un promedio anual 660 mm.

La biotemperatura media anual para esta zona varía entre 20 y 26 grados centígrados. La evotranspiración potencial varía entre 1000 y 1200 mm.

5.2.4 Geología

Los materiales geológicos predominantes del área son:

- TV. Terciarios. Rocas volcánicas sin dividir, predominantemente Mio-Plioceno, Incluye ibas, colados de lava, material lahárico y sedimento volcánico (8).
- Aluviones cuaternarios

5.2.5 Suelos

El área posee suelos desarrollados sobre materiales volcánicos; los de la finca Dulce Nombre pertenecen a la serie Chuctal y Tahuainí (8, 17).
Los suelos de la finca los Chagüites están clasificados dentro de la serie Jalapa (8, 17).

Cuadro 2. Extensión y uso actual del suelo en las fincas Dulce Nombre y los Chagüites; Chiquimula 1996.

USO DEL SUELO					
FINCA		AGRICULTURA	FORESTAL	GANADERIA	TOTAL
DULCE NOMBRE	Ha	57.70	227.30	118.10	403.10
	%	14.30	56.40	29.30	100.00
LOS CHAGUITES	Ha		24.00	18.00	42.00
	%		57.14	42.86	100.00

5.2.6 Hidrología

El área se encuentra en la vertiente del mar de las Antillas, en la parte alta de la cuenca del río Grande o Motagua.

5.2.7 Vías de Acceso

El acceso a la finca Dulce Nombre se hace a través de la carretera pavimentada. (Ca-10) está la aldea Vado Hondo, luego a Camotán por la ruta nacional de terracería (RN-21).

De la cabecera municipal de Camotán existe una distancia de 35 Km hasta la finca, mediante un camino de terracería (16).

El acceso a la finca los Chagüites, se hace desde la ciudad de Esquipulas, recorriendo 8 Km por un camino de terracería.

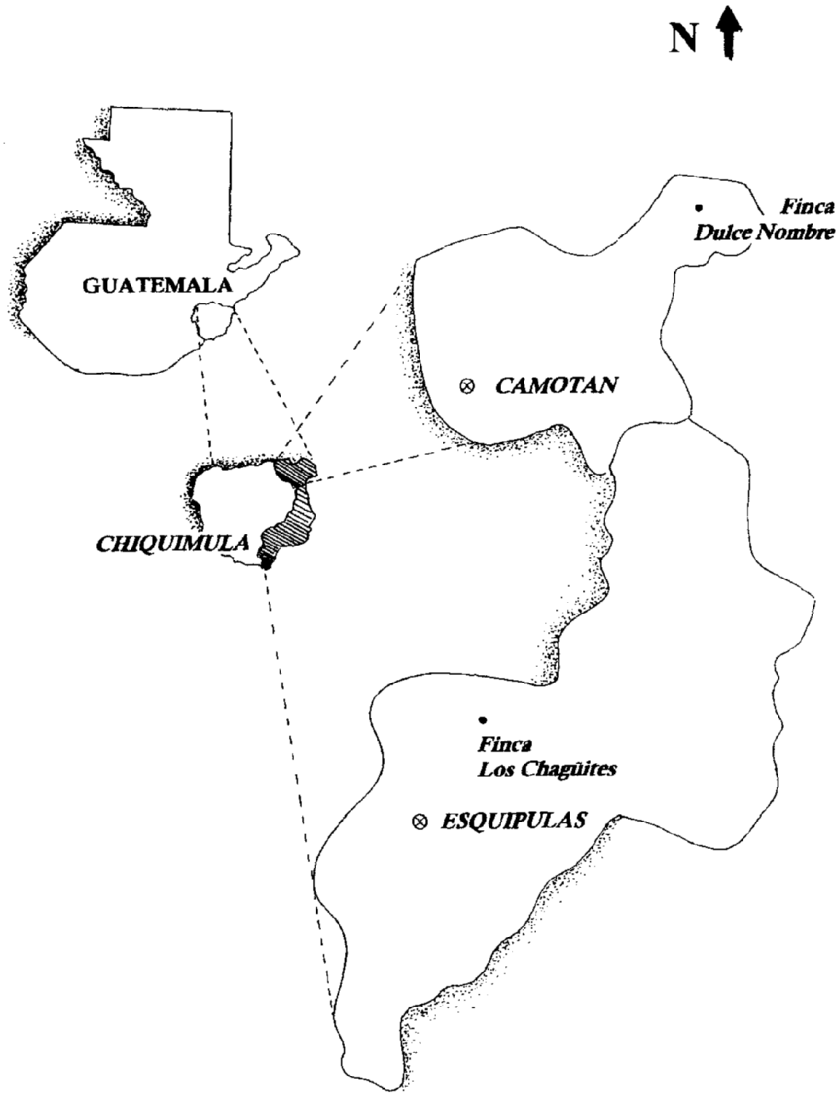


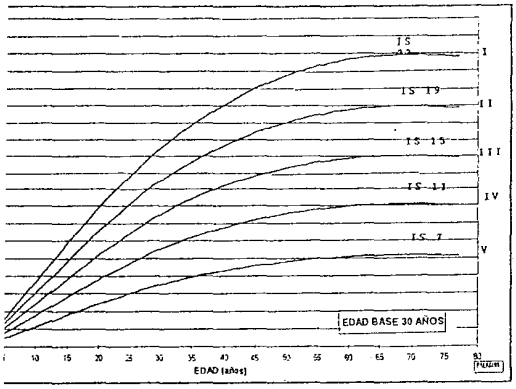
Figura 1. Ubicación geográfica del área en estudio.

5.2.8 Estudios realizados sobre Índices de Sito

Palacios (11), elaboró curvas de índice de sitio para Pinus oocarpa Schiede en el departamento de Huehuetenango, para las edades base de 30, 40 y 5O años (Figura 2).

El modelo InH = a + bE+cInE2 es el que presentó un mejor ajuste a 768 datos de edad a obtenidos de 61 árboles dominantes distribuidos en siete puntos de muestreo, separados un rango altitudinal de 100 m., en cuatro posiciones en la pendiente, con diferente exposición, en dos zonas de vida.

Escobedo (6=) generó familiar de curvas de calidad de curvas de calidad/índices de sitio usando edades base de 30, 35 y 40 años con el modelo Schumacher, siendo el que mejor se ajustó a 507 registros de edad-altura, provenientes del análisis fustal de 49 árboles dominantes y condominantes de Pinus pseudostrobus Lind, en Chimaltenango y Sololá, a una edad base de 30 años, Escobedo (Figura 3).



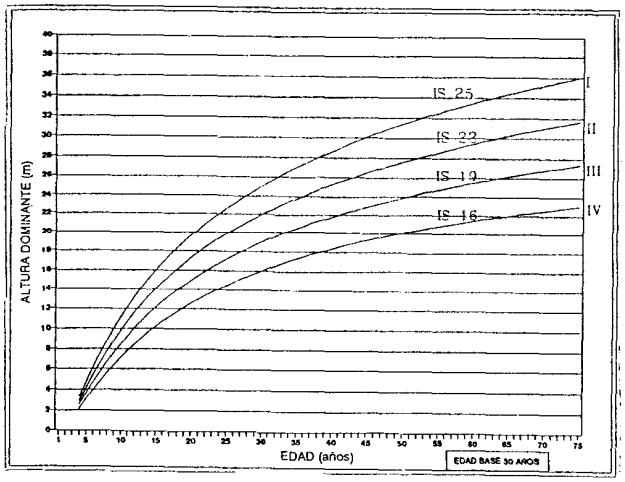
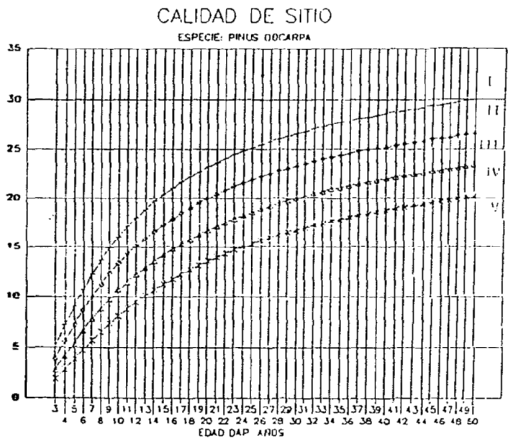


Figura 2. Familia de curvas de índices de sitio para Pinus oocarpa Schiede, en Huehuetenango a una edad base de 30 años, Palacios 1997 (11).

Figura 3. Familia de curvas de calidad/índice de sitio para Pinus pseudostrobus en Chimaltenango y Sololá, a una edad base de 30 años, Escobedo 1995 (6).

Honduras cuenta con el Programa de Parcelas Permanentes de Muestreo (18), que sirve de sólido sustento científico al modelo centroamericano de formulación de planes de manejo forestal, en la actualidad cuenta con guías, tablas y curvas para la realización de planes de tejo para especies coníferas y latifoliadas (Figura 4).

Vásquez (19), determinó para Pinus caribaea, que las variables que mostraron mejor correlación con el índice de sitio fueron la profundidad de suelo, la precipitación media anual y viento. Clasificó los sitios en Altos, como aquellos que alcanzan alturas dominantes, a la edad base de 10 años, de más de 16.8 m.; sitios Bajos aquellos que alcanzan alturas menores 3.7 m. a la misma edad y los sitios Medios están entre estos dos valores anteriores (Figura 5).



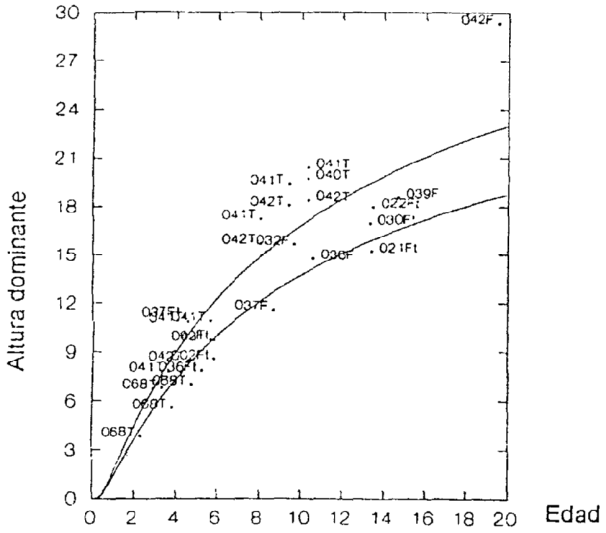


Figura 4. Curvas de calidad de sitio para Pinus oocarpa Schiede, COHDEFORCEMAPIF (18).

Figura 5. Ubicación de todas las parcelas de Pinus caribaea var. Hondurensis y curvas que definen tres clases de sitio. Guanacaste, Costa Rica, Vásquez (19).

6. METODOLOGÍA

El presente estudio se realizó en las fincas Dulce Nombre, Camotán y los Chagüites, Esquipulas; en donde se autorizaron licencias de aprovechamiento forestal.

La selección final de las fincas se hizo después de realizar el reconocimiento de campo, [izar mapas topográficos, las zonas de vida y los planes de manejo. Se consideró que oocarpa Schiede fuera natural del área, que tuviera dominancia, que no haya sido sujeto a aprovechamientos selectivos, ni resinado.

Cada finca se consideró como localidad y cada uno de los árboles sujetos a medición se consideró como unidad experimental.

6.1 DIVISIÓN DEL ÁREA EN ESTUDIO

6. 1 Rodalización

Inicialmente se analizó el mapa de uso actual del suelo de cada localidad, para conocer la ubicación y la estructura del bosque.

Se identificaron y se seleccionaron de manera preliminar los estratos o clases de desarrollo C3 y C4 (bosques medianos y bosques maduros), para la recopilación de información.

.

La selección de las clases de desarrollo C3 y C4 se hizo debido a que en estas clases los oles poseen edades y alturas representativas para el estudio y porque dichas áreas estaban Luidas dentro del programa de aprovechamiento forestal en el plan de manejo de las fincas.

Posteriormente se realizó un reconocimiento de los bosques en las fincas y se ubicaron cuatro rodales puros de Pinus oocarpa Schiede por localidad, tomando en cuenta los siguientes criterios:

a. Alta densidad
b. Nulo o poco disturbados
c. Alturas dominantes representativas

Con l propósito de obtener la mayor variabilidad en la información se establecieron cuatro categorías o divisiones de sitio dentro de cada rodal, tomando en cuenta particularmente la posición de los árboles en la pendiente: 1. PARTE ALTA, II. PARTE MEDIA, III. PARTE BAJA, IV. PLAN.

6.1.2. Selección y número de árboles

Las características que se tomaron en cuenta para seleccionar los árboles son:

- Arboles dominantes.
- Libres de daños por plagas y enfermedades.
- Sin indicios de resinación o quema.
- Arboles bien conformados con respecto al fuste (rectos, copa completa).

Se utilizaron parcelas de muestreo circulares de 0 1 ha por categoría o división de sitio en cada rodal, para determinar la dominancia de los árboles, tomando como referencia que la altura dominante está dada por los 100 árboles más altos por hectárea, 10 por 1/10 de ha.

Inicialmente se estimó derribar seis árboles dominantes por cada categoría en las respectivas localidades, tomando en cuenta criterios utilizados en otros estudios (6,11).

Lo anterior estuvo en función de las condiciones de cada finca, en total se utilizaron 66 árboles dominantes para realizar el análisis fustal de la presente investigación y su distribución se observa en el Cuadro 3.
Cuadro 3. Distribución de los árboles muestra por finca.

ARBOLES MUESTREADOS						
FINCA	UBICACION DE LOS ARBOLES EN LA PENDIENTE					
	PARTE ALTA	PARTE MEDIA	PARTE BAJA	PLAN	TOTAL	RODALES DE MUESTREO
Dulce Nombre	7	6	13	9	35	4
Los Chagüites	7	6	11	7	31	4
TOTALES	14	12	24	16	66	8

Los árboles seleccionados se identificaron pintando dos marcas con números correlativos (1,2,3, ...), la primera a 0.15 m. de la base del árbol y la segunda a 1.5 m.

6.2 ANÁLISIS FUSTAL

Para realizar el análisis fustal, se procedió al derribo o apeo de los árboles seleccionados, realizando el corte con motosierra a una altura de 0.2 metros sobre el nivel del suelo.

El procedimiento para la obtención de las variables fue el siguiente:

Altura total:

Se midió con cinta métrica desde la base del árbol (a nivel del suelo) hasta el ápice.

Alturas intermedias:

Los árboles se seccionaron en trozas de 2.44, 3.00, 3.66 y 4.88 metros (8, 10, 12, 16 pies respectivamente), dependiendo de la longitud de troza que aprovecha el propietario de la finca, para maximizar el uso del producto maderable.

La primera altura intermedia se tomó a la altura de apeo y las restantes acumulando las longitudes de las trozas desde la base hasta el ápice.

Edad:

Se registró en años, inicialmente se obtuvo la edad total de cada árbol, la que se consideró como el número de anillos contados a la altura de apeo mas 1, el cual se agregó porque se supone que se llevó un año para alcanzar dicha altura.

En el extremo superior de cada troza se procedió a realizar un corte transversal de aproximadamente dos centímetros de espesor, para poder contar el número de anillos de crecimiento a la altura que se realizó corte.

La edad considerada para cada una de las alturas intermedias se determinó de la siguiente manera:

$E=Et-N$

donde:

E = edad a la altura “n” del árbol

Et = edad total

N = número de anillos en la rodaja “n” de la troza.

En el Cuadro 4 se presenta un ejemplo de la obtención de las variables medidas.

Cuadro 4. Obtención de las parejas de ciatos (edad-altura) a partir de la información de campo.

SECCION DEL ARBOL	ALTURA DE CORTE	NUMERO DE ANILLOS	EDAD (Años)	ALTURA (Metros)
1	0.2	68	1	0.2
2	3.16	66	3	3.36
3	3.13	62	7	6.49
4	3.13	58	11	9.62
5	3.12	56	13	12.74
6	3.18	52	17	15.92
7	3.17	43	26	19.09
8	3.20	34	35	22.29
9	1.30	27	42	23.59
10	5.30	PUNTA	69	28.89

6.3. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

La información base del presente estudio la constituye 687 pares de datos de edad- altura obtenidos del análisis fustal de 66 árboles dominantes, lo que ilustra el comportamiento del crecimiento de Pinus oocarpa Schiede a través del tiempo. Esta información se utilizó para determinar la ecuación de predicción más efectiva y con base a ella generar familias de curvas de índice/calidad de sitio, para lo cual se utilizó una metodología secuencial que proporcionó diversos criterios o parámetros para realizar la selección entre los modelos alternos.

6. 3.1 Modelos matemáticos de crecimiento evaluados

1. In H = a + b (1/Ek); Modelo Schumacher
2. InH = a+bln E+cln2 E; Buckman
3. InH = a + b 1n(1-e); Chapman y Richards,modificado

4. H = E2/(a+bE)2 Nasslund o Española
5. H=E2/a+bE ;Madngal
6. InH = a + b(1/E); Husch
7. H = E2/a+bE+cE2
8. H = a+blnE
9. H = a + bE + cE2
10. H = E2 / a + bE2
11. InH =a+blnE2+cE+dE
12. InH =a+blnE2+cE2
13. InH = a + bE
14. H = a + bE + cE2 + dE3
15. lnH = a + b ln(1/E)
16. lnH = a+bE+clnE2

donde: H = Altura dominante
E = Edad base
a,b d, k = Parámetros a estimar
In = logaritmo natural (de base e)

Los modelos de regresión se ajustaron a los datos de edad-altura, utilizando modelos lineales, mediante el paquete estadístico SAS (Statical Analysis System).
Los modelos se linealizaron para poder estimar los coeficientes a, b, c, d, por medio de regresión lineal, excepto el parámetro k del modelo Schumacher; que se obtuvo a través de regresión jerárquica, utilizando el paquete estadístico, PALMER, PSP (Palmer's Statical Pakcager).

El modelo Chapman y Richards modificado (lnH = a + bln(l-e), fue evaluado comparando el ajuste del mismo con diferentes valores de "k", y se eligió el que presentó una menor sumatoria de cuadrados medios del error del análisis de varianza (1).

6.3.2 Selección del mejor Modelo

Para analizar la calidad de ajuste de la línea de regresión estimada, se procedió mediante un enfoque de análisis de varianza de la regresión, por medio del cual la variación total de la variable dependiente (altura dominante) se subdividió en componentes que se analizaron en forma sistemática (20).

Los criterios del ANDE VA utilizados para la selección del mejor modelo fueron:

- Mayor coeficiente de determinación
- Menor cuadrado medio del error
- Alta significancia en la prueba F
- Menor coeficiente de variación (20).

Otros criterios utilizados fueron:

- El Error Estándar Residual (Sxy).

Indicó cuánto se desvían los residuales de la media, dando el resultado en unidades iguales a Y (Y = altura dominante en metros). Con esta información se obtuvo el Sxy% lo que da una mejor idea de la variación existente (11).

Se consideró como mejor opción el modelo que minimizó el Sxy y Sxy%, los que están definidos por:

$$Sxy = \frac{(Hr-He)2}{n-k}$$

Sxy% (Sxy /M)* 100

donde:

Hr = altura real

He = altura estimada

n= total de datos

k= número de parámetros

M = media

- **El Estadístico Cp.**

Proporcionó una relación entre la tendencia excesiva en que se incurre cuando el ajuste se hace muy pobre (se seleccionan pocos términos del modelo) y la varianza excesiva de predicción producida cuando se realiza un ajuste excesivo (se tienen redundancias en el modelo) (20).

El estadístico Cp. es una función simple del número de parámetros en el modelo prospecto y el cuadrado medio del error; aceptándose los modelos que presentaron menores valores de Cp. (20).

Cp p + (S1-S2)*n-p

donde:

S21 = cuadrado medio del error (Varianza) del modelo candidato.

S22= cuadrado medio del error del modelo más completo (mayor número de parámetros).

p número de parámetros del modelos (a, b, c, d).

- **Análisis gráfico de los modelos.**

Como complemento se analizó gráficamente el comportamiento de la curva promedio de los modelos en relación con la dispersión real de los datos, para poder observar su ajuste e indentificar algún tipo de tendencia no deseada.

- **Residuales Estandarizados.**

Los gráficos de residuales estandarizados se utilizaron como herramienta para identificar:

- Modelos mal especificados
- Violación a la suposición de varianza homogénea
- Presencia de segregados (valores alejados de la relación normal de edad-altura) (20).

Se graficaron en el eje X los valores predichos de altura y en el eje Y los residuales estandarizados, los que están definidos por:

$$Rest = \frac{es}{\text{Desviación estándar}}.$$

donde:

e = residual (Hr — He).

Los valores adecuados se encuentran entre un rango de 4 y—4 (1).

6.3.3 Construcción de curvas de índices de sitio

Se seleccionaron las edades base de 30, 35 y 40 años para generar las familias de curvas de índice de sitio. Para cada una de las edades base se consideró cinco alturas índice, las que se determinaron dividiendo el rango de variación total de altura para cada edad en intervalos de 3 ó 4 metros.

Para seleccionar entre las curvas de tipo anamórfico (de pendiente común) y polimórficas (de intercepto común), se procedió a comparar el ajuste gráfico de las curvas. Además se tomó en cuenta el Error Estándar de cada parámetro dado por el análisis de varianza, ya que se debe mantener constante el que posea un mayor valor para no aumentar la variación.

Definidos los anteriores parámetros se procedió a generar las curvas de índice/ calidad de sitio.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 DIAGRAMA DE DISPERSIÓN DE LOS DATOS EDAD-ALTURA

En la Figura 6 se observa que los 687 datos de edad-altura se agrupan o asocian de manera uniforme. La mayor cantidad de registros se encuentran concentrados en el rango de 1 a 50 años. Nótese que existe una etapa de crecimiento rápido en los primeros años (1 a 30), seguida de otra con un incremento en altura que decrece paulatinamente. Deduciéndose que el comportamiento natural de la relación de los datos tiende a ser logarítmica.

Se observa además que no existen datos alejados de la relación normal, los que pudieran ejercer una influencia negativa en el ajuste del modelo.

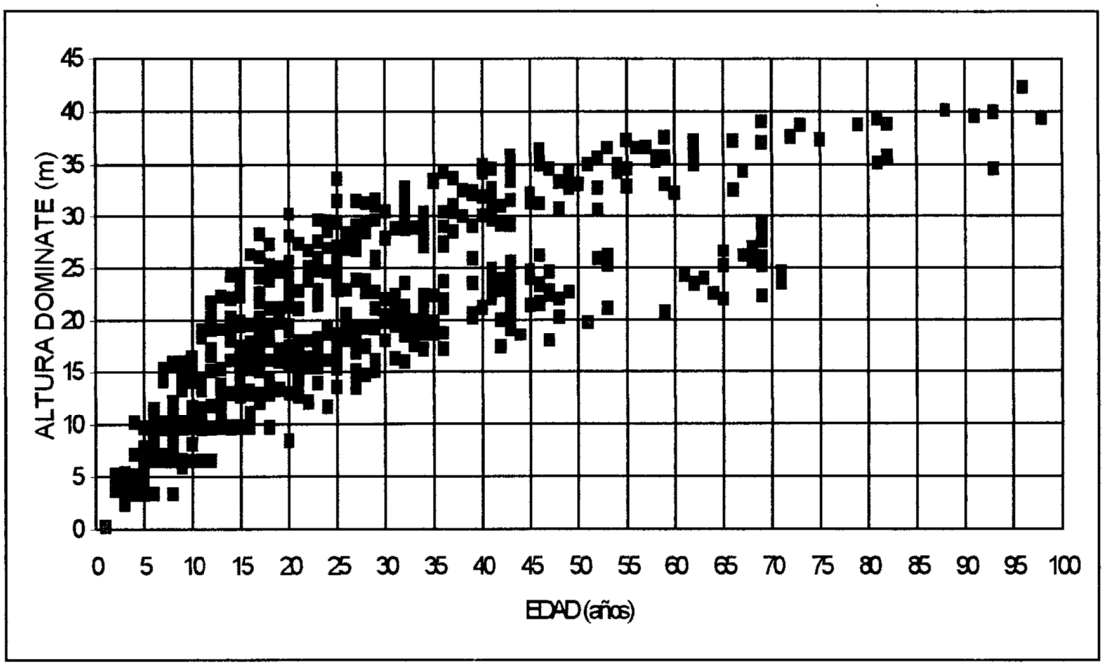


Figura 6. Diagrama de dispersión de edad-altura de Pinas oocarpa Schiede, de las fincas Dulce Nombre, Camotán y Los Chagüites, Esquipulas;
Chiquimula.

7.2 ANÁLISIS DE REGRESIÓN PARA LOS DATOS EDAD-ALTURA

En el Cuadro 5 se presenta un resumen del análisis de varianza de la regresión, ordenado en forma descendente en función del coeficiente de determinación (?) de cada modelo.

Cuadro 5. Resumen del análisis de varianza de los modelos matemáticos de crecimiento evaluados.

MODELO	CUADRADO MEDIO DEL ERROR (CME)	VALOR DE F	COEFICIENTE DE DETERMINACION R^2	COEFICIENTE DE VARIACION CV%
1) $\ln H=a+b(1/E^k)$	0.08573	15709.392 **	0.9582	12.42
2) $\ln H=a+b\ln E+c\ln^2 E$	0.09688	6912.263 **	0.9529	13.20
3) $H=(E/a+bE)^2$	0.50919	12514.409 **	0.9480	13.29
4) $\ln H=a+b\ln(1-e^{(-K*E)})$	0.10950	12151.697 **	0.9466	14.03
5) $\ln H=a+b\ln E^2+cE+dE^2$	0.11047	4013.446 **	0.9463	14.10
6) $H=E^2/a+bE+cE^2$	136.35900	4909.123 **	0.9347	30.24
7) $\ln H=a+b(1/E)$	0.14096	9286.04 **	0.9313	15.92
8) $\ln H=a+bE+c\ln E^2$	0.14621	4464.735 **	0.9288	16.22
9) $H=E^2/a+bE^2$	169.91000	7743.398 **	0.9187	33.75
10) $\ln H=a+b\ln E^2+cE^2$	0.19644	3235.551 **	0.9044	18.80
11) $H=E^2/a+bE$	239.51144	5294.078 **	0.8854	40.07
12) $\ln H=a+b\ln(1/E)$	0.28938	4172.189 **	0.8590	22.81
13) $H=a+bE+cE^2+dE^3$	19.94283	1065.782 **	0.8240	25.88
14) $H=a+bE+cE^2$	23.17279	1327.741 **	0.7952	27.90
15) $H=a+b\ln E$	25.49177	2350.69 **	0.7744	29.26
16) $\ln H=a+bE$	1.22440	462.961 **	0.4033	46.93

** Diferencia altamente significativa con probabilidad de 0.01 %.

7.3 SELECCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO DE MEJOR AJUSTE

Los modelos 1, 2, 3, 4 y 5 presentan los mejores estimadores del análisis de varianza; al poseer valores mayores de 0.94 del coeficiente de determinación (r2), coeficientes de variación menores del 15% , alta significancia en la prueba F y bajos valores de cuadrado medio de error; considerándose que son los que mejor se ajustan a la relación de edad-altura de Pinus oocarpa Schiede del área en estudio.

Puede observarse que entre los cinco existen dos logarítmicos (m2,m5), dos mixtos (logarítmicos y no lineales, mi, m4) y uno exponencial (m3). Los modelos logarítmicos poseen los mejores estimadores. Corroborándose que el comportamiento de la relación de los datos es logarítmica

Nótese que los cinco modelos poseen estimadores muy similares, por lo que se utilizó la prueba de significancia “Z”, para conocer si son o no iguales estadísticamente, comparando el coeficiente de correlación r (la raíz cuadrada del coeficiente de determinación r2) del modelo 1 y del modelo 5.

Z se comparó con los puntos críticos del estadístico de prueba de la distribución normal estándar Zt (Z de tabla).

Z= Y2qn3/2 * [ln(1+ri/1-ri) — lii (1+r2/1-r2)J
donde:

r1 = Coeficiente de correlación mayor (mi)
r2 = Coeficiente de correlación menor (m5)
n = Número de pares de datos

La Hipótesis que se prueba es:
Ho: r1 = r2
Ha: r1>r2

Con base al Cuadro 6 de la prueba Z, se afirma que no existe diferencia significativa entre los modelos en la estimación de la altura dominante, con una certeza del 99.5 %, por lo tanto los modelos son estadísticamente iguales.

Cuadro 6. Resumen de la Prueba de Z entre los mejores modelos.

Z Calculada Zc	Z tabla Zt(0.05)	Ztabla Zt(0.005)	Significancia
2.37	1.65		*
2.37		2.58	

*Existe diferencia significativa

Como deseamos identificar el modelo que presente un mejor ajuste a los datos, se utilizó además de los estimadores del análisis de varianza; la desviación estándar residual (Sxy) y el estadístico Cp., para realizar la discriminación entre modelos.

Cuadro 7, Resultado de la desviación estándar residual (Sxy) y el estadístico Cp.

MODELO	Sxy	Sxy%	Cp
M1	4.50	26.10	-151.40
M2	4.74	27.47	-81.14
M3	4.59	28.40	2473.19
M4	5.04	29.22	-4.01
M5	5.04	29.22	4.00

Se aprecia en el Cuadro 7 que los modelos 1,2,3 poseen valores más bajos de Sxy y Sxy%, considerándose adecuados; tomando en cuenta el estadístico Cp se afirma que los modelos 1 y 2 poseen los valores más aceptables, al presentar los valores más bajos.

Tomando en cuenta los anteriores criterios se puede afirmar que los modelos 1, 2 y 3 son los que mejor predicen la relación edad-altura dominante de Pinus oocarpa Schiede del área en estudio.

Se utilizó además como criterio complementario un análisis gráfico del ajuste de las curvas promedio de los 5 modelos, en comparación con la dispersión real de datos de edad- altura, y un análisis de sus residuales estandarizado, presentado en las figuras 7 al 10.

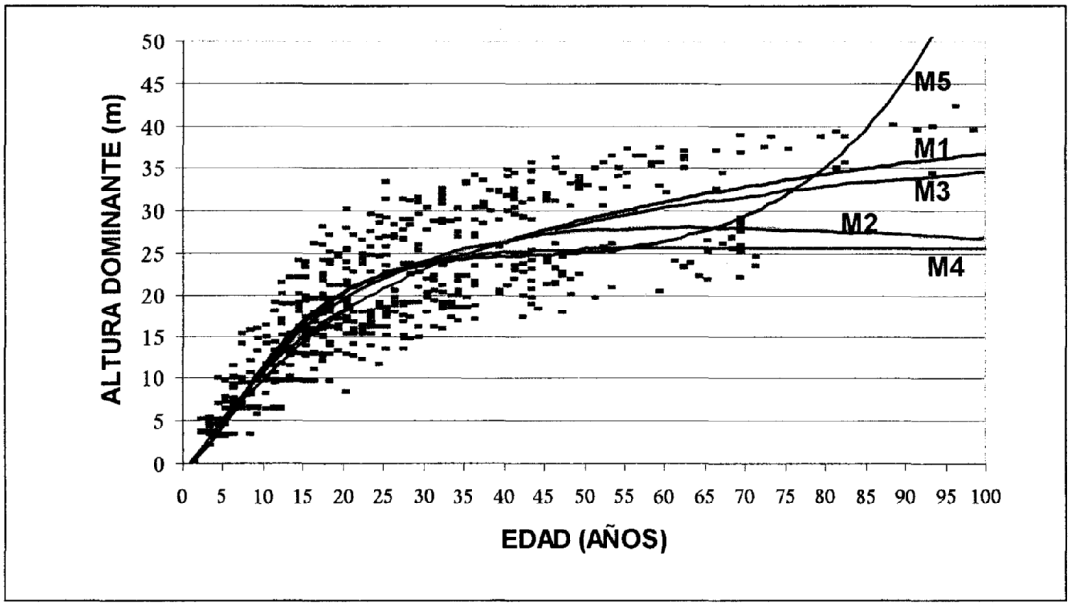


Figura 7. Ajuste de los mejores modelos a la dispersión real de datos de edad-altura.

Tomando como base la figura 7, se confirma que los modelos 4 y 5 poseen tendencias no deseadas, el primero al no incrementar la altura desde los 30 años y el segundo por poseer una forma que no se ajusta a los datos. Se observa que los modelos 1, 2 y 3 poseen un mejor ajuste gráfico a los datos de edad-altura de Pinus oocarpa Schiede del área en estudio. El modelo 2 decrece a partir de los 60 años, lo que permite predecir alturas dominantes con alta confiabilidad hasta esta edad, considerándose aceptable para los fines del presente estudio.

Se observa en las figuras 8, 9 y 10, de los residuales estandarizados del modelo 1 , 2 y 3, que los residuales están en el rango de valores aceptables (4, -4), además poseen una varianza homogénea y no presentan valores alejados de la relación normal, lo que se considera conveniente, afirmándose que son modelos que se ajustan adecuadamente a la relación edad-altura de Pínus ooca.rpa Schiede, de las fincas Dulce Nombre, Camotán y los Chagüites, Esquipulas, Chiquimula.

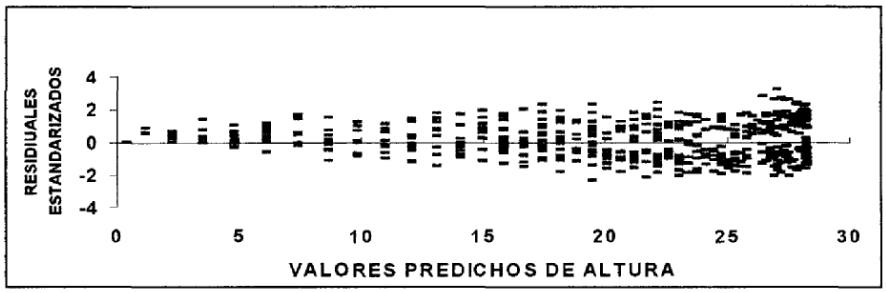


Figura 8. Residuales estandarizados del modelo 1.

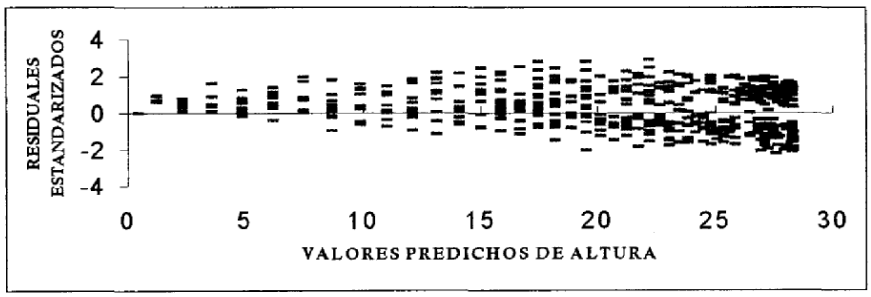


Figura 9. Residuales estandarizados del modelo 2.

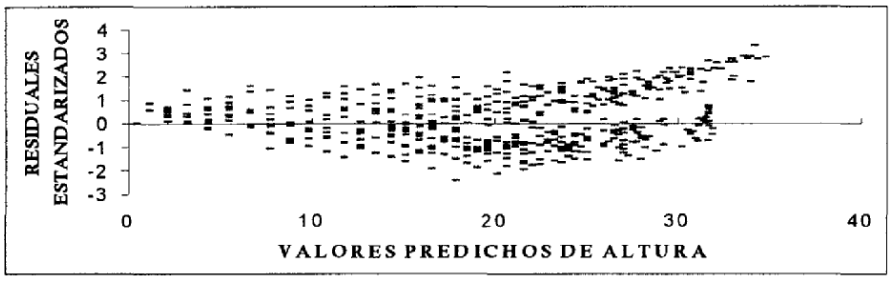


Figura 10. Residuales estandarizados del modelo 3.

Se puede concluir que los modelos 1, 2 y 3 poseen un mejor ajuste a los datos edad- altura dominante, tanto estadística como gráficamente; pero se consideró como mejor opción el modelo de crecimiento propuesto por Schumacher (mi) ln H = a + b (1 / Ek), al poseer las siguientes características:

- El modelo Schumacher posee el mayor coeficiente de determinación (? = 0.9582), lo que indica que el modelo explica un 95.82% la variación de Y (Altura dominante).
- El menor cuadrado medio del error (CME = 0.08573), es decir que la varianza no explicada por el modelo es mínima.
- El valor de F es el más alto (F = 15709.39), indicando que existe una cantidad altamente significativa de la variación en la respuesta contabilizada por el modelo.
- El coeficiente de variación es el menor (CV = 12.42%), proporcionándonos la idea que los valores reales tienen una mínima variación con respecto a los estimados por el modelo.
- Menor valor de error estándar residual (Sxy = 4.50), lo que indica que los residuales se desvían 4.5 m. de la media, es decir 26.10%.
- Menor valor del estadístico Cp (-151.40), indicando que el modelo posee el número adecuado de términos para proporcionar un buen ajuste.

7.4 CURVAS DE INDICE DE SITIO.

Se seleccionaron las edades base 30, 35 y 40 años; para cada una se definieron 5 clases de calidad de sitio (1, II, III, IV, V), siendo 1 el mejor sitio y V el de menor calidad, para lo cual se utilizaron alturas índice de acuerdo al rango de variación de altura en la dispersión real de datos, Cuadro 8.

Cuadro 8. Clases de calidad de sitio con sus respectivas alturas índice por cada edad base.

EDAD BASE (AÑOS)	CLASES DE CALIDAD DE SITIO ALTURAS INDICE				
	I	II	III	IV	V
30	30	27	24	21	18
35	34	30	26	22	18
40	36	32	28	24	20

Para la selección del tipo de Curvas a utilizar se trabajó con la suposición de que el intercepto “a” (para curvas Anamórficas) o la pendiente “b” (Curvas Polimórficas) fueran constantes en el sitio.

Gráficamente se comprobó que el modelo se ajustó mejor a la dispersión de datos cuando “b”(-5.676436) es constante y “a” (4. 181759) difiere.

Además el error estándar del intercepto “a” siendo 0.01834445, es menor que el de la pendiente “b” 0.04528935 (Apéndice 5), por lo que la pendiente debe mantenerse constante para no aumentar la variación en la predicción de datos.

Con base a lo anterior el tipo de curvas a utilizar es el de tipo Anamórfico o de pendiente común.

Para generar las curvas es necesario obtener los diferentes valores del intercepto (a) de acuerdo a cada edad base y altura índice, Cuadro 9. Para esto únicamente se sustituyen los valores de la Edad Base y Alturas Índice en la fórmula 3:

lnH = a + b (1 / Ek) (Fórmula 1)
lnH = 4.181759 - 5.676436 (1 / E 0496008) (Fórmula 2)
a = lnH + 5.676436 (1 / E 0.496008) (Fórmula 3)

donde:

a = intercepto
b = pendiente
in H logaritmo de la altura índice
E = edad base
k= constante

Cuadro 9. Valores del intercepto “a” por clases de sitio y edad base.

EDAD BASE (AÑOS)	CLASES DE CALIDAD DE SITIO INTERCEPTOS				
	I	II	III	IV	V
30	3.9409	4.0951	4.2286	4.3464	4.4517
35	3.8636	4.0642	4.2313	4.3744	4.4996
40	3.9066	4.0889	4.2430	4.3766	4.4944

Seleccionado el modelo de crecimiento Schumacher, las edades base, alturas índices y el tipo de curvas, se procedió a generar familias de curvas de índice/calidad de sitio para Pinus oocarpa Schiede del área en estudio, las que se presentan en las Figuras 11, 12 y 13.

Un ejemplo del modelo matemático para una curva de Índice de Sitio de 24 metros de altura dominante (Calidad ifi), a una edad base de 30 años, es el siguiente:
mli 4.2286 — 5.676436 (1 / E 0.496008)

Las Curvas generadas responden esencialmente a dos preguntas:

- ¿Cómo definir el índice de sitio en rodales donde se tiene definida la edad de rotación?
- ¿Cómo clasificar nuestro terreno mediante clases de Calidad (1, II, ifi, IV, y) en donde las edades son variables?

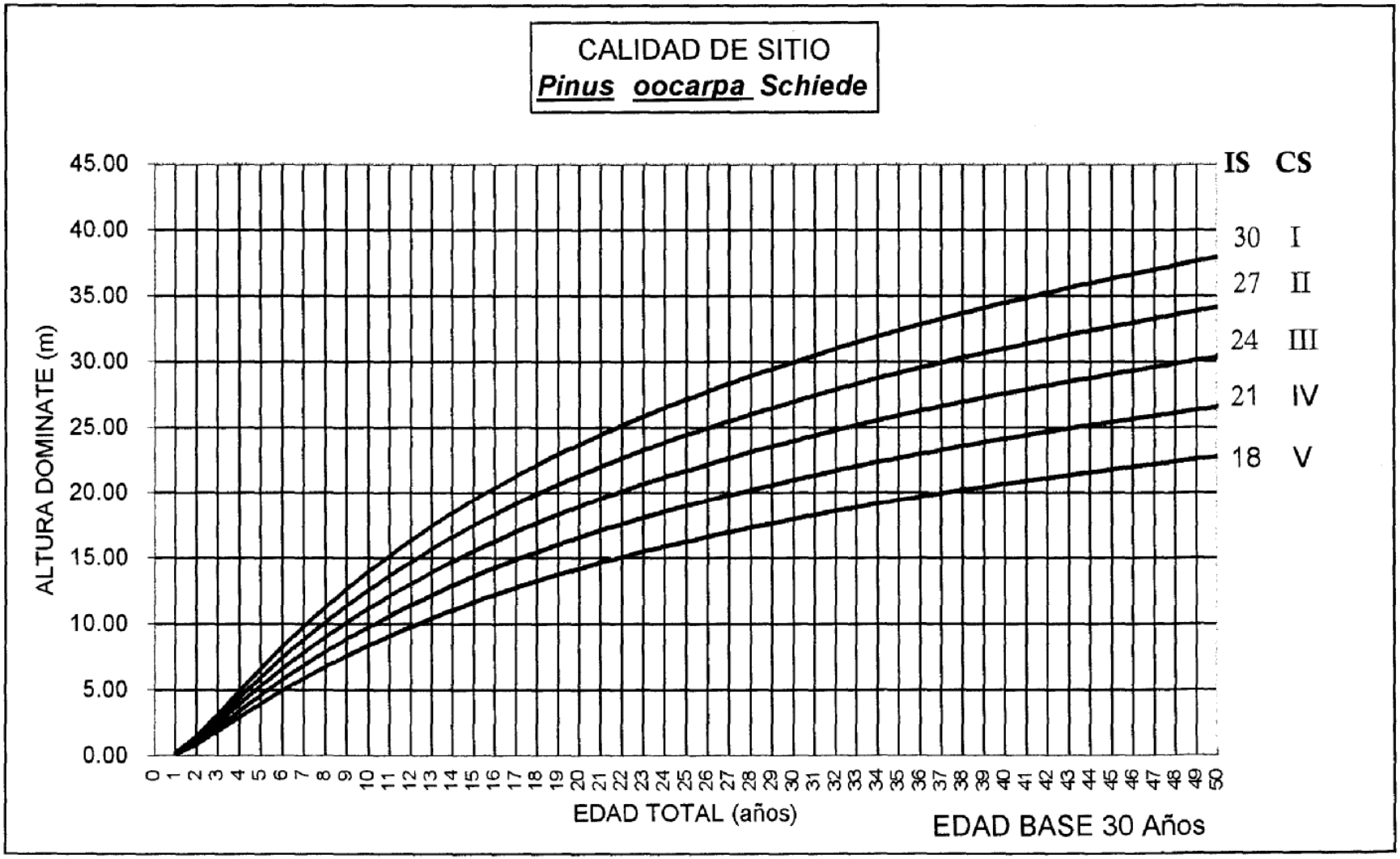
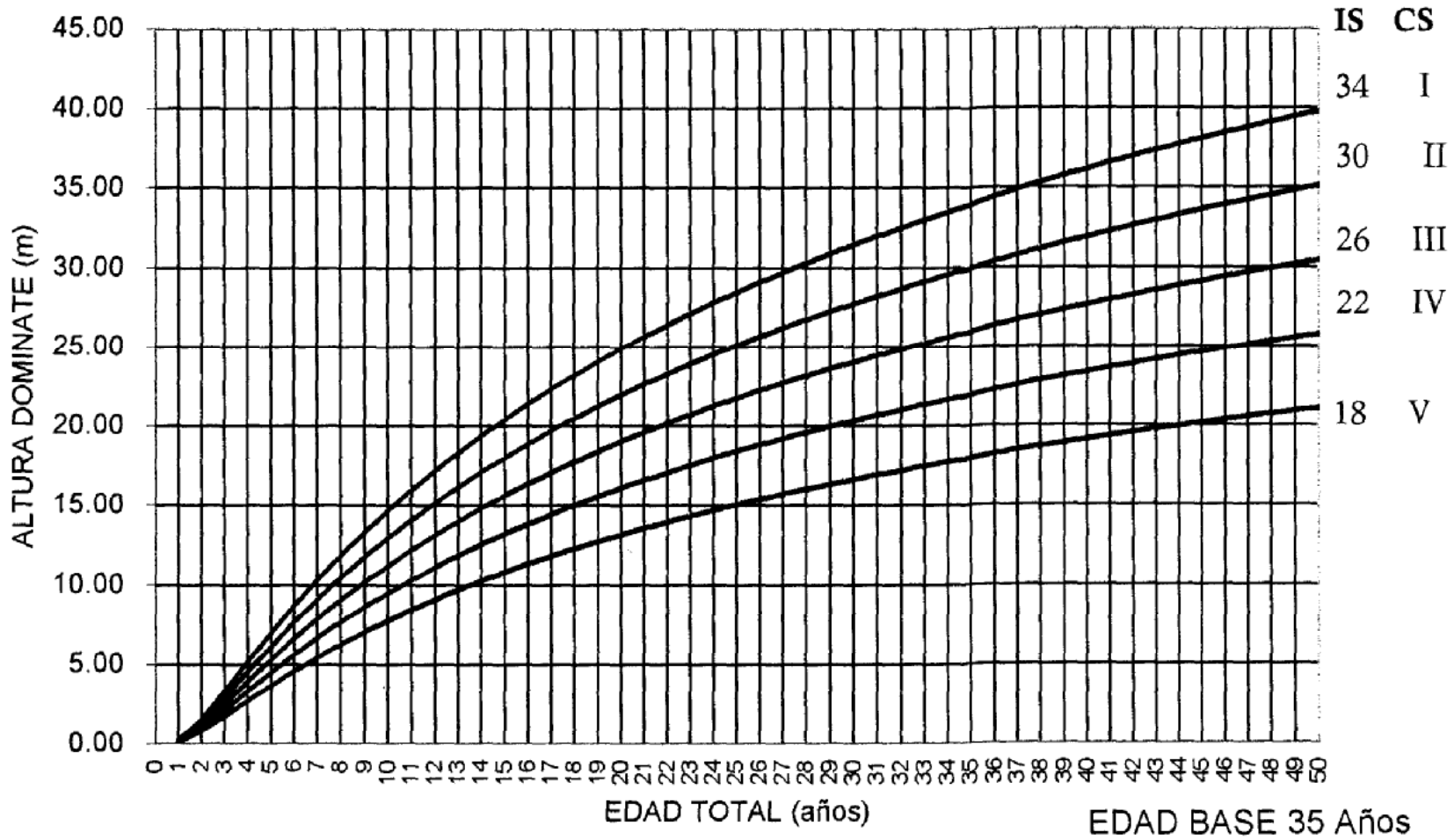


Figura 11.Familia de Curvas de Indice/Calidad de Sitio para Pinus oocarpa Schiede en Chiquimula, para una edad base de 30 años.

INDICES DE SITIO

***Pinus oocarpa* Schiede**



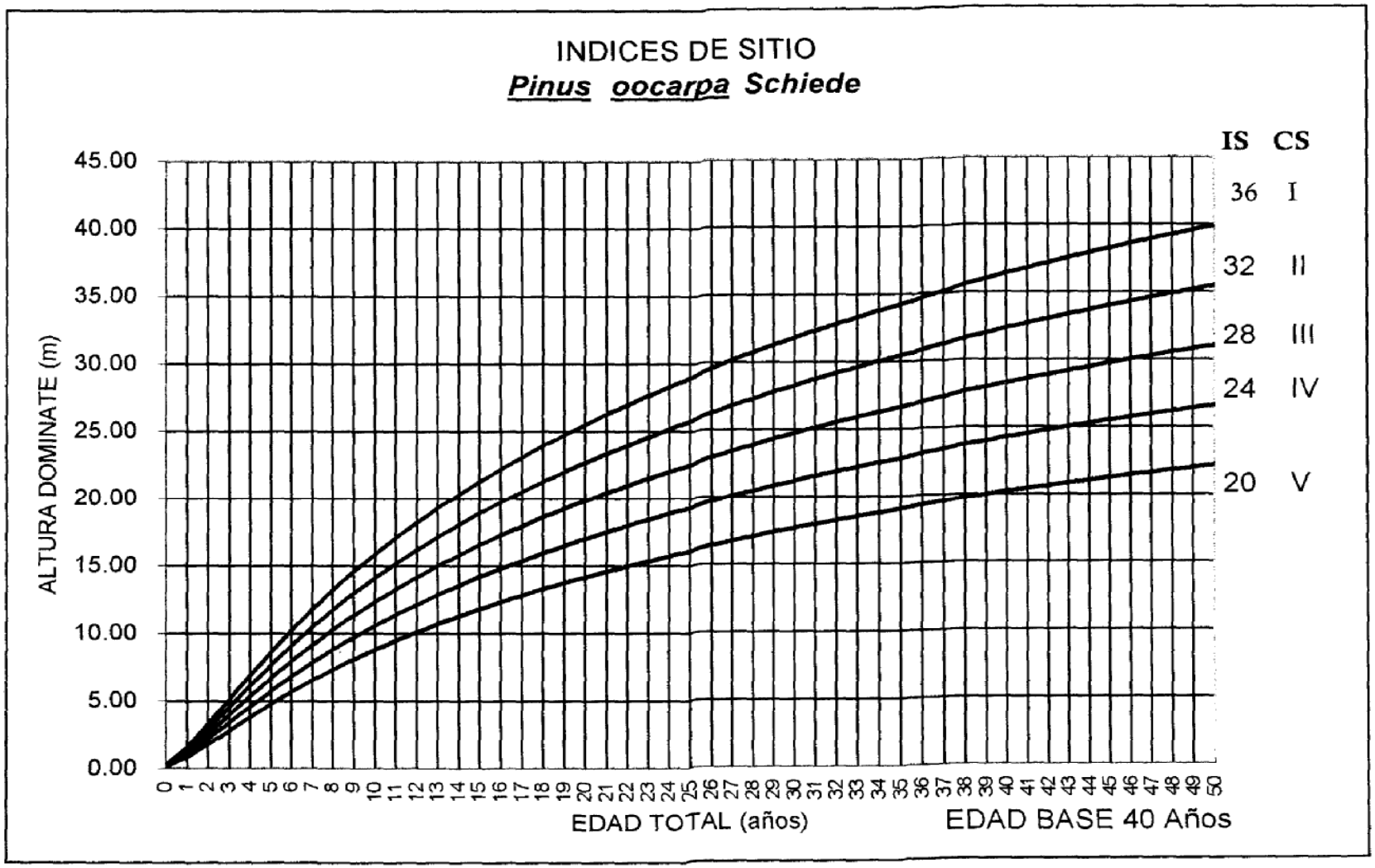


Figura 13. Familia de Curvas de Indice/Calidad de Sitio para Pinus oocarpa Schiede en Chiquimula, para una edad base de 40 años.

El procedimiento de campo para determinar el Índice de Sitio de Pinus oocarpa Schiede es:

- Definir rodales en cada bosque.
- Seleccionar parcelas muestra representativas de las condiciones de crecimiento del rodal.
- Seleccionar árboles dominantes que tengan fuste recto, sin evidencia de resinación, quema o daños por plagas.
- Medir la altura total en el decímetro más cercano y contar el número de anillos a la altura del pecho de los árboles seleccionados, a la cual debe de sumarse 1, 2, 3, 4, 5 años de acuerdo a criterio técnico para obtener la edad total.
- Usar las figuras 11, 12 y 13 generadas para determinar el índice de sitio de cada árbol. El índice de sitio de la parcela se obtiene como el promedio de los "n" árboles muestreados a un índice determinado (12).

Por ejemplo si se tiene una árbol de 29 años y 30 metros de altura, con un turno de 30 años se obtiene la calidad de sitio 1, al interceptar los valores de edad-altura de la siguiente forma:

.

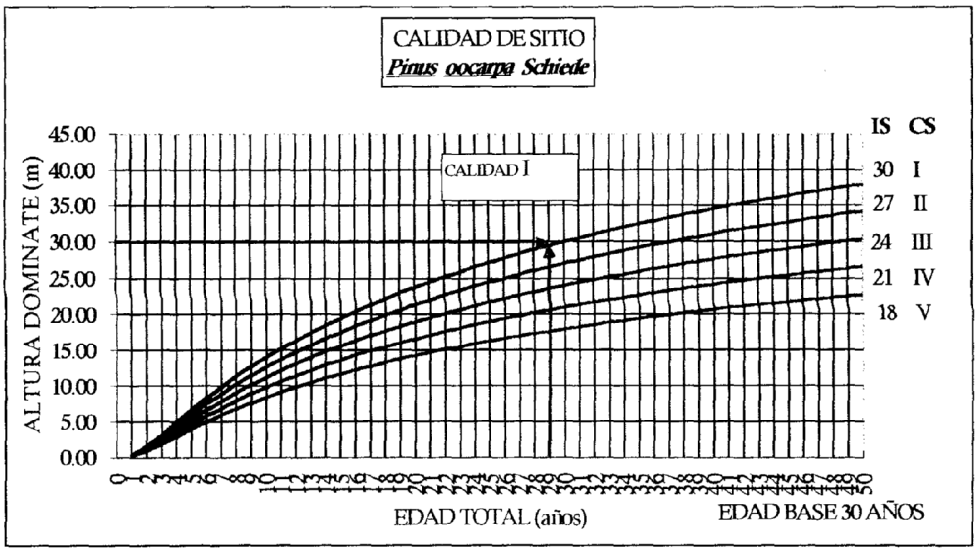


Figura 14. Ejemplo de determinación de calidad de sitio para Pinus oocarpa Schiede.

8. CONCLUSIONES

1. Los modelos Schumacher (mi), Buckman (m2) y Nasslund (m3) son los que mejor predicen el crecimiento de Pinus oocarpa Sch]ede en el presente estudio; sin embargo el modelo Schumacher (mB = a + b (l/Ek) es el que presentó un mayor ajuste a los datos de edad-altura dominante, recomendándose para la construcción de curvas anamórficas de índice/calidad de sitio.

2. Las curvas de índice/calidad de sitio se generaron con el modelo Schumacher; sin embargo puede utilizarse los modelos Buckman (lnH = a + blnE + cln2E) y Nasslund (H = (E / a + bE)2) como alternativos para la construcción de dichas curvas, teniendo el cuidado de observar el ajuste de los modelos a cada sitio específico.

3. Las curvas de índice/calidad de sitio generadas representan las condiciones de crecimiento de Pínus oocarpa Schiede del área en estudio, y permiten estimar la productividad de los sitios forestales.

9. RECOMENDACIONES

1. Utilizar las curvas de índice/calidad de sitio generadas, para estimar la productividad de los sitios de Pinus oocarpa Schiede y así formular planes de manejo que aseguren el aprovechamiento óptimo y sostenible del recurso forestal del área en estudio.

2. Comparar y validar las curvas de índice/calidad de sitio generadas en este estudio y continuar con la recolección de información de edad-altura de los bosques de Pínus oocarpa Schiede de la región Nor-oriental.

3. Es importante generar información complementaria como tablas de crecimiento, incremento, determinación de turnos a diferentes índices, entre otros, con el propósito de formar un conjunto de herramientas técnicas que permitan manejar adecuadamente el recurso forestal de la región.

10. BIBLIOGRAFÍA

1. ALDER, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento; con referencia especial a los trópicos. Roma, FAO. Estudios FAO Montes 22/2. y. 2. 118 p.

2. CABRERA GAILLARD, C. 1991. La deforestación en Guatemala. In Congreso Forestal Nacional (2., 1991, Quetzaltenango, Gua.) . Memoria. Editado por B. Estrada. Guatemala, AID/GTZ, CARE, CATIE. p. 97-102.

3. CASTAÑEDA, L. et al. 1983. Diagnóstico de la situación de los recursos renovables de Guatemala. Tikalia (Gua.) 2(1): 75—106.

4. CRUZ, J.R. DE RA. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 p.

5. DANIEL, T.; HELMS, J.; BAKER, F. 1982. Principios de silvicultura. Trad. por Ramón Elizandro Matta. México, McGraw-Hill. 492 p.

6. ESCOBEDO LÓPEZ, M.A. 1995. Índices de sitio para Pinus pseudostrobus Lindi., en los departamentos de Chimaltenango y Sololá. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 82 p.

7. GUATEMALA. INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR. 1983. Mapa de zonas de vida a nivel de reconocimiento. Esc. 1:600,000.

8. _____ INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL. 1977. Atlas nacional de la república de Guatemala. Guatemala. Esc. 1:1000,000. Color.

9. HUGHELI, D.A. 1990. Modelos para la predicción del crecimiento y rendimiento de Eucalyptus camaldulensis, Glirícidia sepium, Guazuma ulmifolia y Leucaena leucocephala, en América Central. Turrialba, C.R., Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza. Boletín técnico no. 22. 58 p.

10. MITTAK, W.L. 1977. Estudios para la reforestación nacional Guatemala, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Documento no. 25. 64 p.