

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

GENERACION DE CURVAS PARCIALES DE INDICE DE SITIO EN UNA
PLANTACION DE *Pinus maximinoi* H.E. Moore EN LOS PROYECTOS
BOSQUE NUEVO, SAN JERONIMO, BAJA VERAPAZ.

TESIS

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

POR

EDWIN ESTUARDO VAIDES LOPEZ

En el acto de investidura como

INGENIERO AGRONOMO

EN

RECURSOS NATURALES RENOVABLES

EN EL GRADO ACADEMICO DE

LICENCIADO

GUATEMALA, ABRIL DEL 2,000.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

**Ing. Agr. EFRAIN MEDINA GUERRA
RECTOR**

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO:	Ing. Agr. Edgar Oswaldo Franco Rivera,
VOCAL PRIMERO:	Ing. Agr. Walter Estuardo García Tello,
VOCAL SEGUNDO:	Ing. Agr. William Roberto Escobar López,
VOCAL TERCERO:	Ing. Agr. Alejandro Arnoldo Hernández Figueroa,
VOCAL CUARTO:	Prof. Jacobo Bolvito Ramos,
VOCAL QUINTO:	Br. José Baldomero Sandoval Arriaza,
SECRETARIO:	Ing. Agr. Edil René Rodríguez Quezada.

Guatemala, Mayo del 2,000

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

Honorables representantes:


En cumplimiento 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:

**GENERACION DE CURVAS PARCIALES DE INDICE DE SITIO EN UNA
PLANTACION DE *Pinus maximinoi* H.E. Moore EN LOS PROYECTOS
BOSQUE NUEVO, SAN JERONIMO, BAJA VERAPAZ.**

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

en espera de su aprobación, presento mi agradecimiento y respeto.

Atentamente,


Edwin Estuardo Vaidés López.

ACTO QUE DEDICO:

A:

DIOS:

Fuente inagotable de luz, sabiduría y esperanza.

MIS PADRES:

Oscar Gonzalo Vaidés Sierra y Ana María Leticia López Molina de Vaidés. *Por su amor y apoyo incondicional, parte fundamental de mi existencia.*

MIS HERMANOS:

Mayra Lisette, Oscar Armando y Jorge Mario, Parte indispensable de mi vida.

MIS TIOS:

Ejemplo de honestidad y empeño.

MIS FAMILIARES:

En general, que me han acompañado en el transcurrir de mi vida.

FAMILIA:

Pinto Navas, por su apoyo y colaboración desinteresada.

MIS COMPAÑEROS:

Nery, Fernando, Carlos, Gerardo, Juan C., Oscar, Silvia, Miguel, Mario, Rodolfo, Alex, Juan Fernando, Héctor, entre otros con los que juntos compartimos momentos inolvidables en esta facultad.

A COBAN:

Terruño que me vio nacer.

LOS BOSQUES:

Recurso que es fuente de vida para todos los Guatemaltecos.

TESIS QUE DEDICO:

A:

GUATEMALA,

**Escuela Nacional Central de Agricultura, con especial
reconocimiento al área forestal,**

**Facultad de Agronomía, de la Universidad de San Carlos de
Guatemala,**

Universidad de San Carlos de Guatemala,

Carrera de Recursos Naturales Renovables.

AGRADECIMIENTO:

A:

Gerencia, personal técnico y administrativo de la empresa Forestadora, Sociedad Anónima, por permitirme desarrollar en uno de sus proyectos el presente trabajo de investigación.

Técnico Forestal Oscar Gonzalo Vaides Sierra, ejemplo de liderazgo, dignidad y honestidad en el desempeño de sus labores, además de brindarme el apoyo necesario para la ejecución de todo el trabajo de campo.

Los Ingenieros Agrónomos, Maestros en Ciencias, Luis Fernando Ortiz Castillo(Q.E.P.D.) y Edwin Cano Morales, por su enseñanza, asesoría y apoyo en el desarrollo de la presente investigación.

Ingeniero Agrónomo Fredy Hernández Ola, por sus consejos y apoyo en el inicio de esta investigación.

Trabajadores de los proyectos Bosque Nuevo, en San Jerónimo, Baja Verapaz, en especial a Lucio Brán, Francisco López, Alejandro Hernández, Alejandro Arcadio, Aurelio Pérez y miembros de las comunidades de San Rafael y Santa Cruz Chilascó, por su apoyo incondicional en el trabajo de campo realizado, sin el cual no hubiese sido posible llevar a cabo esta investigación.

CONTENIDO GENERAL

	PAGINA
INDICE GENERAL	i
ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	v
RESUMEN	vi
1 INTRODUCCIÓN	1
2 JUSTIFICACIÓN	2
3 MARCO TEÓRICO	4
3.1 MARCO CONCEPTUAL	4
3.1.1 Calidad de sitio	4
3.1.2 Métodos para estimar la calidad de sitio	5
3.1.3 Método del índice de sitio	7
3.1.4 Curvas de índice de sitio	8
3.1.5 Modelos mas usados para la construcción de curvas de índice de sitio	11
3.1.6 Crecimiento en masas forestales	13
3.1.7 Análisis fustal	14
3.1.8 Relaciones usadas en mediciones forestales	15
3.1.9 Parcelas de medición permanente	17
3.1.10 Relaciones alométricas	19
3.1.11 Regresión	19
3.1.12 Concepto de falta de ajuste	21
3.2 MARCO REFERENCIAL	23
3.2.1 El pino candelillo	23
3.2.2 Localización y vías de acceso	25
3.2.3 Fisiografía y origen geológico	25
3.2.4 Hidrografía	25
3.2.5 Altitud y clima	27
3.2.6 Zona de vida	27
3.2.7 Descripción de los Proyectos Bosque Nuevo	27

4	OBJETIVOS	29
4.1	Objetivo general	29
4.2	Objetivos específicos	29
5	METODOLOGÍA	30
5.1	Descripción del área de estudio	30
5.2	División del área de estudio	30
5.3	Determinación del número de parcelas de medición permanente (PMP)	30
5.4	Ubicación de las PMP	31
5.5	Tamaño de las PMP	32
5.6	Forma y delimitación de las PMP	32
5.7	Datos tomados dentro de las PMP	33
5.8	Análisis fustal	33
5.9	Procesamiento de la información	34
	5.9.1 Índice de sitio	34
	5.9.2 Estudio de crecimiento e incremento	36
	5.9.3 Relaciones alométricas	37
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
6.1	Índice de sitio	38
6.2	Crecimientos e incrementos	42
6.3	Relaciones alométricas	53
7	CONCLUSIONES	57
8	RECOMENDACIONES	59
9	BIBLIOGRAFÍA	60
10	APÉNDICE	62

INDICE DE CUADROS

EN EL TEXTO	PAGINA
Cuadro 1 Estado actual e ideal de la masa de bosque sometida a raleo	2
Cuadro 2 Área total, área plantada y año de plantación por proyecto en Bosque Nuevo	27
Cuadro 3 Volumen y densidad por ha en cada proyecto.	28
Cuadro 4 Número de parcelas levantadas, según tamaño del área	30
Cuadro 5 Número de parcelas levantadas por proyecto.	31
Cuadro 6 Resumen del andeva de la regresión de 5 modelos probados para los datos edad-altura	38
Cuadro 7 Valores de intercepto "a" para cada calidad de sitio e índice de sitio, para una edad base de 9 años.	41
Cuadro 8 Ecuaciones empleadas para cada una de las clases de sitio en los proyectos Bosque Nuevo.	41
Cuadro 9 Ecuación que mejor explica la relación entre diferentes variables de crecimiento evaluadas por cada índice.	44
Cuadro 10 Factor de corteza "k" y coeficiente mórfoico para cada índice de sitio, en los proyectos Bosque Nuevo.	54
Cuadro 11 Ecuaciones para las relaciones edad-altura para cada índice de sitio.	55
Cuadro 12 Ecuaciones para las relaciones edad-DAP para cada índice de sitio.	55
Cuadro 13 Ecuaciones para las relaciones edad-volumen para cada índice de sitio.	55
Cuadro 14 Ecuaciones para las relaciones DAP-altura para cada índice de sitio.	56
EN APÉNDICE	
Cuadro 16A Boleta para la toma de datos dentro de las parcelas de medición permanente	63
Cuadro 17A Boleta para la toma de datos para índice de sitio	64
Cuadro 18A Boleta para la toma de datos del análisis fustal.	65
Cuadro 19A Parejas de datos Edad-altura dominante.	66
Cuadro 20A Tabla de Calidad/Índice de sitio, para los proyectos Bosque Nuevo, en San Jerónimo, B.V.	69
Cuadro 21A Andevas para relaciones de Crecimiento en altura.	75
Cuadro 22A Andevas para relaciones de Crecimiento en DAP.	76
Cuadro 23A Andevas para relaciones de crecimiento en volumen	77
Cuadro 24A Andevas para relaciones alométricas DAP-altura.	78

Cuadro 25A	Andeva para la relación alométrica DAP-volumen.	79
Cuadro 26A	Cuadro de ubicación de las parcelas por proyecto, por índice y clase de sitio.	79
Cuadro 27A	Programa utilizado en SAS para el Análisis de varianza de los modelos empleados para índice de sitio.	80
Cuadro 28A	Prueba de Bondad de Ajuste, a datos de campo, para modelos empleados en índice de sitio.	80

INDICE DE FIGURAS

EN EL TEXTO		PAGINA
Figura 1	Familias de curvas de índice de sitio.	9
Figura 2	Ubicación de los proyectos de reforestación Bosque Nuevo de Forestadora, Sociedad Anónima.	26
Figura 3	Categorías de posición donde se ubicaron las parcelas sobre el terreno	31
Figura 4	Forma de asignar la numeración de las parcelas.	33
Figura 5	Diagrama de dispersión de datos edad-altura en árboles muestra de <i>Pinus maximinoi</i> .	40
Figura 6	Familia de curvas de índice de sitio para <i>Pinus maximinoi</i> .	43
Figura 7	Gráfica de Crecimientos en altura para los cinco índices de sitio encontrados	45
Figura 8	Gráfica de ICA en altura para los cinco índices de sitio.	46
Figura 9	Gráfica de IMA en altura para los cinco índices de sitio.	47
Figura 10	Gráfica, relación ICA-IMA en altura para I.S. de 20 m.	47
Figura 11	Gráfica de Crecimientos en DAP para los cinco índices de sitio encontrados	48
Figura 12	Gráfica de ICA en DAP para los cinco índices de sitio.	49
Figura 13	Gráfica de IMA en DAP para los cinco índices de sitio.	50
Figura 14	Gráfica, relación ICA-IMA en DAP para I.S. de 20 m.	50
Figura 15	Gráfica de Crecimientos en volumen para los cinco índices de sitio encontrados.	51
Figura 16	Gráfica de ICA en volumen para los cinco índices de sitio.	52
Figura 17	Gráfica de IMA en volumen para los cinco índices de sitio	52
EN APÉNDICE:		
Figura 18A	Ubicación de los proyectos Bosque Nuevo.	70
Figura 19A	Plano del proyecto Bosque Nuevo I.	71
Figura 20A	Plano del proyecto Bosque Nuevo II.	72
Figura 21A	Plano de los proyectos Bosque Nuevo II, secciones 2 y 3	73
Figura 22A	Plano del proyecto Buenaventura.	74

**GENERACION DE CURVAS PARCIALES DE INDICE DE SITIO EN UNA PLANTACION
DE *Pinus maximinoi* H.E. Moore EN LOS PROYECTOS BOSQUE NUEVO, SAN
JERONIMO, BAJA VERAPAZ.**

**GENERATION OF PARTIAL SITE INDEX CURVES FOR A *Pinus maximinoi* H.E. Moore
ARTIFICIAL FOREST AT THE BOSQUE NUEVO PROYECT, SAN JERONIMO, BAJA
VERAPAZ.**

RESUMEN

El estudio que se presenta a continuación fue realizado en los proyectos de reforestación Bosque Nuevo, ubicados en la aldea Santa Cruz Chilascó, del municipio de San Jerónimo, Baja Verapaz. Las plantaciones fueron establecidas mediante el programa de incentivos fiscales para la reforestación, principiándose los proyectos en el año de 1,984.

Los proyectos Bosque Nuevo, se encuentran plantados en cinco (5) fincas, siendo estas Bosque Nuevo I, con 265 hectáreas; Bosque Nuevo II, con 161 ha; Bosque Nuevo II, sección 2, sección 3 y Buena Ventura, con 27 ha cada uno. En total suman un área reforestada de 507 ha. El objetivo que dio partida al establecimiento de estos proyectos, fue que las empresas inversionistas, podrían pagar hasta un 50% de impuestos, por medio de Certificados de Inversión forestal, los cuales se obtenían con estos proyectos.

Se elaboraron curvas parciales de índice de sitio, debido a que la plantación aún no tiene la edad de corta final, para la especie de *Pinus maximinoi* H.E. Moore, encontrando cinco sitios diferentes en los terrenos de los proyectos. Estos índices son 20 m, 17 m, 14 m, 11 m y 8 m.

A partir de la obtención de estos índices y con ayuda de la familia de curvas anemórficas se estratificaron los proyectos, en los planos respectivos, de acuerdo a cada índice de sitio.

Los estudios de crecimiento que se presentan, son para altura, DAP y volumen en cada índice de sitio encontrado. Se generaron modelos de Crecimiento, seleccionados de seis modelos de regresión simple (lineal, geométrico, logarítmico, cuadrático, raíz cuadrada y gama) con ayuda del análisis de varianza, graficándolos para cada índice de sitio y cada variable evaluada.

Además de los crecimientos se muestran los incrementos corriente anual(ICA), el cual se genero a traves de derivar el modelo de crecimiento; y el incremento medio anual(IMA), el cual se obtuvo de dividir el modelo de crecimiento dentro de la edad, para cada variable. Con la comparación de crecimiento corriente y medio anual se obtienen relaciones que son de mucha utilidad para planificar el manejo de las plantaciones.

Otro resultado obtenido del presente estudio fueron las relaciones alométricas generadas, las cuales son: Factor de corteza "K", Coeficiente mórfico, edad-altura, edad-DAP, edad-volumen, DAP-altura y DAP-volumen, para cada uno de los índices de sitio encontrados.

1. INTRODUCCIÓN

Según PAFG(1996), en Guatemala existen 37,502 km. cuadrados de bosque; por otra parte se indica que el 51.1 % del área del país es de vocación forestal, lo que corresponde a 55,700 km. cuadrados. Al comparar estos datos, se dice que en el país, existe un déficit en cuanto al recurso forestal, de 18,202 km. cuadrados, situación para reflexionar sobre el estado actual del sector forestal.

La falta de manejo adecuado a las masas boscosas, ha sido una de las causas del deterioro y reducción de las mismas en el país. Para manejar adecuadamente el bosque, es necesario tener las bases fundamentales, que den la pauta para conocer como están respondiendo los árboles, individualmente y en conjunto, a las condiciones donde están creciendo y desarrollándose; esto se logra únicamente mediante investigaciones en el área de interés, lo cual se ha dado muy poco en Guatemala.

Los proyectos donde se realizó la investigación son proyectos de reforestación, que fueron creados a partir del programa de incentivos fiscales para la forestación o reforestación en el año de 1,984, con las especies de *Pinus maximinoi* y *Cupressus lusitanica*, teniendo en el momento de llevada a cabo la etapa de campo, una edad promedio de 12 años. La inversión realizada en el establecimiento de los proyectos, hizo necesaria la implementación de investigación en las plantaciones, para asegurar un manejo adecuado que permitirá una producción óptima en el área.

Ante tal situación en la actualidad se están llevando a cabo actividades de manejo, tales como el raleo, sin haber realizado investigación de ninguna índole en el área, por lo cual se planteó el estudio: "generación de curvas parciales de índice de sitio", debido a que la plantación no ha llegado a su edad de turno. El estudio incluye el análisis de crecimiento y establecimiento de relaciones alométricas en la plantación de *Pinus maximinoi* H.E. Moore, en los proyectos Bosque Nuevo, San Jerónimo, Baja Verapaz.

2. JUSTIFICACIÓN

En general, el objetivo principal de la mayoría de plantaciones forestales, es la obtención de la máxima producción de madera de buena calidad en el área. En el caso de estas plantaciones el objetivo principal con el que fueron creados los proyectos fue el de pagar hasta un 50% de impuestos por medio de Certificados de Inversión forestal, a través de los incentivos forestales y no ver el bosque como una parte importante para la producción de las fincas, objetivo que en este momento ya no es el mismo y se enfoca a la máxima producción.

El manejo adecuado de las plantaciones permitirá que el crecimiento se concentre en los mejores individuos, y de esta manera se llegue lo mas rápido posible a la edad de rotación y que como consecuencia se este utilizando el suelo de forma óptima.

En uno de los rodales de las plantaciones se realizó un raleo sin haber realizado algún estudio, teniendo como resultado un raleo muy fuerte tal como se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 1. Estado Actual e Ideal de la masa de bosque sometida a raleo *.

	Dist. (m)		H. Dom. (m)	Plantas/ha		S%	
	Actual	Ideal		Actual	Ideal	Actual	Ideal
1	4.9	4.09	19.5	416	596	25	21
2	4.7	3.06	14.6	452	1068	32	21
3	4.8	3.30	15.9	434	918	30	21
4	7.4	4.40	20.9	182	516	35	21

*Fuente: Estudio realizado por estudiantes del curso Elaboración de Planes de Manejo Forestal de la FAUSAC. Donde

Dist.(m) = distancia en metros entre árboles; H Dom(m) = altura dominante en metros y S% = espaciamiento relativo en porcentaje.

El manejo de bosques es completamente distinto al manejo de otros recursos naturales, debido a que es un recurso que tiene sus propias características, tales como:

- ✓ **El plazo de formación del producto**, debido a que el desarrollo del árbol y del bosque hasta adquirir dimensiones útiles requiere de un cierto número de años; este plazo de espera varía según la especie y la calidad del sitio.

- ✓ **Uso múltiple**, por que los bosques satisfacen necesidades humanas, que van desde el aprovechamiento de materias primas concretas que benefician directamente al propietario, hasta la prestación de utilidades o beneficios indirectos de apreciación económica intangible o difícil de evaluar como la recreación, protección de la vida silvestre, producción de agua, entre otras.

En el área no se contaba con información silvicultural básica al respecto y viendo la importancia que ésta tiene en relación al manejo adecuado de las plantaciones, se planteó el estudio de índice de sitio, evaluación del crecimiento y establecimiento de relaciones alométricas, para no arriesgar el futuro de la producción.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 MARCO CONCEPTUAL

3.1.1 Calidad de sitio:

a. Sitio: El término "sitio" se emplea en dasonomía en dos sentidos: como un área o localidad que soporta el crecimiento de los árboles y como la capacidad de esa área para soportar el crecimiento de los árboles (Spurr citado por Zepeda y Rivero, 1984).

b. Calidad de sitio: La calidad de sitio esta definida por la suma de los siguientes factores: la profundidad del suelo, su textura, las características de sus perfiles, su composición mineral, la pendiente, la exposición, el microclima, las especies que viven en el y otros más (5).

La calidad de sitio no indica la productividad relativa de una localidad; lo que señala en forma un tanto relativa, es el grado de productividad de un lugar bajo las condiciones imperantes en el momento en que se efectúa la estimación de ella (18).

Es común indicar como calidad de sitio a todo lo relativo a la capacidad productiva de un área forestal, lo cual es cierto pero no da, del todo, una idea clara del significado real del término; máxime cuando se desconoce o no se comprende el significado preciso del término capacidad productiva o, mas apropiadamente productividad del sitio (18).

De los conceptos anteriores se puede resumir que la Calidad de Sitio no es más que el indicador de la capacidad y el grado de producción de un lugar bajo las condiciones imperantes, tales como: profundidad del suelo, su textura, las características de sus perfiles, su composición mineral, la pendiente, la exposición, el microclima, las especies que viven en el, entre otras que definen el crecimiento y desarrollo de la especie.

Los términos Potencial productivo, capacidad productiva e inclusive calidad de sitio, se han empleado en la literatura forestal en forma un tanto indistinta para hacer referencia a la capacidad y grado de producción de un lugar, con lo que se ha creado cierta confusión con respecto al significado preciso de los términos calidad de sitio y productividad (22).

Ante la imposibilidad de estimar realmente la productividad de un sitio se ha recurrido con el propósito de medir ésta y poder expresar en ciertos casos la calidad de sitio en forma numérica, al empleo de índices o indicadores que expresen el estado de tal productividad(22).

La calidad de sitio esta determinada por la productividad y, por lo regular, los mismos índices que permiten estimar la productividad sirven de base para calificar la calidad de sitio(22).

Es importante no confundir, pero menos importante emplear indistintamente los términos potencial productivo y productividad potencial del sitio(22).

3.1.2 Métodos para estimar la calidad de sitio:

Se entiende como método para estimar calidad de sitio, aquel proceso mediante el cual es posible estimar, en forma un tanto aproximada, el grado de productividad del sitio(Rivero y Zepeda, 1990).

Los métodos de evaluación de los sitios o clasificación de los mismos se han dividido en directos e indirectos.

En esta división de los métodos, existen discrepancias como las siguientes:

Métodos Directos:

Procedimientos con los que es posible conocer la cuantía de las existencias volumétricas máximas que un sitio puede sostener. Con ellos se evalúan los factores de sitio que definen la capacidad productiva de un lugar (suelo, clima, topografía, etc.) pretendiendo su Integración. (Ejemplo: método factorial, Índice edáfico, clasificación holística, evaluación conjunta de los factores ambientales y edáficos).

Métodos Indirectos:

Procedimientos con los que es posible expresar a través de algunas características indicadoras, la capacidad productiva de un lugar.

Estos evalúan la respuesta de las plantas a la influencia de los factores del sitio, haciendo la planta las veces de generador o fitómetro.(Ejemplo: métodos basados en la medición de

características de los árboles considerados como expresión adecuada de la integración de los factores del sitio por la planta y en sí de la productividad del sitio)(Rivero y Zepeda, 1990).

Para Clutter *et al.* (citado por Escobedo, 1995), los métodos de evaluación de la calidad de sitio basados en la predicción del crecimiento y el rendimiento, están determinados por cuatro factores:

- a. distribución de la edad.
- b. la capacidad productiva innata.
- c. la densidad del rodal.
- d. los tratamientos silviculturales aplicados.

Los métodos los agrupa como directos e indirectos así:

Directos:

- ✓ Estimación a partir de registros históricos de rendimiento
- ✓ Estimación basada sobre datos de volumen del rodal.
- ✓ Estimación basada sobre datos de altura y estimación a partir de datos de incremento periódico en altura.

Indirectos:

- ✓ Estimación a partir de las relaciones entre especies del estrato superior.
- ✓ Estimación a partir de las características de la vegetación menor.
- ✓ Estimación a partir de factores climáticos, topográficos y edáficos.

Los métodos directos son ventajosos en lugares donde la especie de interés a evaluar está presente en el área, como en el caso de los proyectos Bosque Nuevo, donde se encuentra plantado el *Pinus maximiloi*. En este caso no es conveniente la utilización de los métodos indirectos para evaluar la calidad del sitio.

3.1.3 Método del índice de sitio:

Este es uno de los métodos directos para la evaluación de la calidad de sitio y la estimación es basada sobre datos de altura dominante y edad.

"El índice de sitio es un indicador más sensible de la calidad de sitio que las expresiones de las tablas de rendimiento o volumen, debido a que la altura del árbol dominante en una edad particular, representa tan solo el volumen promedio que se encontró en ese período, para muchos rodales con un índice de sitio particular del sitio"(5).

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

Para Zepeda y Rivero (1984), el índice de sitio es el proceso mediante el cual es posible estimar la calidad de sitio de masas coetáneas, preferiblemente puras, con base en relaciones altura dominante-edad. Además, señalan que el índice de sitio es, en este caso, la altura dominante alcanzada por un rodal coetáneo, puro por lo general, a una edad determinada, a la que se denomina edad base o índice.

La altura dominante puede definirse de varias maneras, pero la definición más ampliamente aceptada, es la de la altura promedio de los 100 árboles más gruesos por hectárea. La edad base es el número de años que se eligen para determinar un índice de sitio. También se le conoce como edad de referencia o edad índice(1).

Las edades promedio se basan por lo general en la edad a la altura del pecho, aunque algunos investigadores suman una constante de edad a los resultados obtenidos por la medición a

la altura del pecho, de donde se saca la edad total del árbol. Esta se debe a una estimación del tiempo que tarda una plántula en alcanzar una altura de 1.3m, 2 o 3 años dependiendo de la especie y de las condiciones. Los datos acerca de la edad y la altura de todos los grupos de muestreo permiten la formación de otra familia de curvas anamórficas, de las cuales puede obtenerse el índice de sitio(5).

Debido a la facilidad de estimación y a que la densidad de los rodales ejerce poca influencia sobre ella, la altura dominante ha sido utilizada con regularidad para estimar la calidad de sitio de masas coetáneas constituidas por coníferas y latifoliadas de las que es posible conocer su edad(5).

Para ello se han utilizado dos métodos de estimación: el método del índice de sitio, basado en relaciones de altura dominante-edad y el denominado por Daniel método del índice de terreno basado en relaciones de altura dominante-diámetro normal(5).

Los elementos de juicio de las tablas de rendimiento se obtienen por lo general a partir de adaptación de una curva anamórfica sobre datos de altura sobre edad, lo que supone de la forma de la curva de crecimiento en altura es la misma en todas las clases de calidad del sitio(5).

3.1.4 Curvas de índice de sitio:

Las curvas de índice de sitio expresan de una forma gráfica el comportamiento del crecimiento en altura dominante para cada uno de los índices de sitio existentes en un lugar.

Para obtener las diferentes ecuaciones que darán origen a las familias de curvas de índice de sitio existen métodos generales para el desarrollo de las mismas.

Dentro del método del índice de sitio se reconocen dos variantes, según sea la naturaleza de la familia de curvas de edad-altura que se generan: las curvas anamórficas y las polimórficas. Estas últimas divididas en desarticuladas y articuladas.

Las curvas anamórficas de índice de sitio son familias de líneas proporcionales con pendiente constante entre ellas a una misma edad, pero con interceptos al origen variables, esta

situación provoca que el punto de inflexión de todas las curvas ocurra a una misma edad. En una familia de curvas anamórficas la altura de una de dos curvas cualquiera, a cualquier edad, es una proporción constante de la altura de la otra a esa misma edad (fig. 1a).

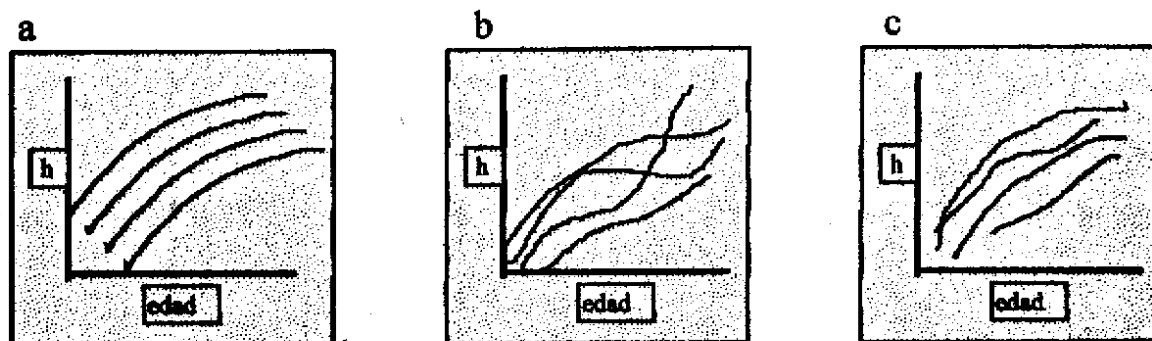


Figura 1. Familias de curvas de índice de sitio: anamórficas(a),
 polimórficas desarticuladas(b) y polimórficas articuladas(c).

Las curvas polimórficas, son familias de líneas con pendientes variables, que generalmente no guardan una relación de paralelismo entre si; esto es: no son proporcionales, no dependen unas de otras y sus puntos de inflexión ocurren en edades diferentes, la diferencia entre las curvas polimórficas desarticuladas (fig. 1b) y las articuladas (fig. 1c) está en que en las primeras al menos una de las curvas intercepta el rango de la edad de interés (Clutter citado por Escobedo, 1995).

El objetivo del índice de sitio, definido como la altura dominante de un rodal a una edad base, es comparar dicha altura dominante entre diferentes rodales a la misma edad (a mayor altura dominante mejor calidad de sitio), para clasificar los sitios según su calidad (20).

Clutter *et al.*, citado por Escobedo (1995), manifiestan adicionalmente que muchas son las técnicas que se han empleado para construir curvas de índice de sitio, pero que estas pueden verse como casos especiales de tres métodos generales de desarrollo de ecuaciones:

- 1 Método de la curva guía
- 2 Método de diferencia algebraica
- 3 Método de predicción del parámetro.

Las cuales a su vez, pueden construirse con datos de altura-edad provenientes de:

- Parcelas temporales
- Árboles muestra de parcelas permanentes.
- Análisis troncales.

1). **Método de la curva guía:** la base de este método reside en determinar una tendencia promedio de la altura dominante a partir de la cual se trazan curvas proporcionales por arriba y debajo de tal curva guía, que representa la calidad del sitio promedio.

Este procedimiento ha sido criticado por suponer que el crecimiento en altura dominante de los árboles que crecen en sitios de calidad distinta a la promedio, presenta un patrón semejante y proporcional al de aquél

2). **Método de diferencia algebraica:** este procedimiento puede resumirse en los pasos siguientes:

- a) Elegir el modelo que se valla a emplear y definir el tipo de sistema que se desea construir (curva anamórfica o polimórfica).
- b) Desarrollar la ecuación de diferencia de la ecuación elegida.
- c) Ajustar analíticamente este último modelo a fin de estimar los valores de los coeficientes de regresión muestral.
- d) Desarrollar a partir de la última ecuación obtenida, la ecuación con que sea posible estimar el índice de sitio y construir el sistema de curvas.

3). **Método de predicción del parámetro:** Los pasos a seguir en este procedimiento son:

- a) Ajustar un modelo lineal o no lineal a los datos de edad-altura provenientes de cada análisis troncal o parcela permanente disponible, según se trate. En el caso de parcelas permanentes, un número mínimo de remediciones aceptables podría ser cinco.
- b) Utilizar cada ecuación generada por árbol o parcela, para asignar un índice de sitio a ese árbol o parcela.

- c) Relacionar en forma independiente y a través de procedimientos de regresión lineal o no lineal, cada coeficiente de regresión muestral de la ecuación utilizada en "a" con su índice de sitio correspondiente, con el propósito de incluir el índice de sitio como variable independiente el modelo final.
- d) Sustituir los modelos obtenidos en el punto "c" en el modelo empleado en "a" y proceder a la reparametrización del modelo inicial.
- e) Ajustar el nuevo modelo expandido a la base de datos para obtener la ecuación que represente la relación $H_d=f(E,IS)$; con H_d =altura dominante; E =edad e IS =Índice de Sitio(Clutter et al, citado por Escobedo, 1995).

3.1.5 Modelos más usados para la construcción de curvas de índice de sitio:

Modelo de Schumacher:

Este es uno de los modelos más empleado y el que mejores resultados ha dado en distintas investigaciones, de este tipo, realizadas en Guatemala:

$$\ln H = a + b \frac{1}{E^k}$$

Donde: a, b, k = parámetros a estimar,

H = altura dominante,

E = edad base,

ln = logaritmo natural.

cuenta con dos parámetros que son el intercepto(a) y la pendiente(b), además de un coeficiente del modelo (k). Para realizar el análisis es necesario realizar una regresión jerárquica, debido a que no es posible la linealización del modelo, existiendo el programa SINDEK, del paquete estadístico PSP del CATIE, específico para este(6).

Modelo de G. Backman:

Modelo empleado para generar curvas de crecimiento en plantas, es también empleado para la generación de curvas de índice de sitio, siendo:

$$H = e^{(b_0 + b_1 \ln E + b_2 \ln^2 E)}$$

Donde: b_0, b_1, b_2 = parámetros a estimar,

H = altura dominante,

E = edad base,

\ln = logaritmo natural.

e = base de logaritmo natural.

cuenta con tres parámetros que definen la altura dominante en función de la edad.

Otros modelos:

Estos son otros de los modelos recomendados por Clutter, para la elaboración de familias de curvas de índice de sitio, los cuales cuentan con 2 ó 3 parámetros que en función de la edad, dan un estimado de la altura dominante.

$$\ln H = a + b \frac{1}{E}$$

$$H = E^2 / (b_0 + b_1 E + b_2 E^2)$$

$$H = E^2 / (b_0 + b_1 E^2)$$

$$H = b_0 + b_1 \ln E$$

$$H = b_0 + b_1 E + b_2 E^2$$

Donde: H = altura dominante, E = edad base en años,
 a, b, b_0, b_1, b_2 = parámetros a estimar, \ln = logaritmo natural.

(Fuente: Clutter et al., citado por Escobedo, 1995).

3.1.6 Crecimiento en masas forestales:

La capacidad de crecer de un árbol en un bosque, para Coile, 1952 (citado por Vasquez, 1987), depende de la capacidad de adaptarse y expresar su potencial genético en el medio ambiente a que está expuesto.

El crecimiento de los árboles depende de la especie, edad, calidad de sitio y de las prácticas silviculturales realizadas en la masa boscosa(5).

Conocer y saber medir el crecimiento de los árboles y del bosque es una tarea esencial para poder ordenarlos y manejarlos. El crecimiento debe de ser definido en función de una variable o parámetro y del período de tiempo transcurrido en su estimación. Las variables a las que interesa conocer su crecimiento son el volumen, la altura, el diámetro a la altura del pecho y el área basal, debido a que estos parámetros son los más usados en el campo de la medición del crecimiento o Epidometría(7).

Para realizar este tipo de investigaciones, es necesario conocer ciertas expresiones relacionadas al crecimiento, tales como:

Crecimiento: Es el fenómeno de desarrollo de un árbol o de una masa forestal, observados en estos íntegramente, representado por su aumento en su respectivo desarrollo, el cual puede darse en altura, diámetro, área foliar, volumen, entre muchos parámetros que se pueden cuantificar(Ej. el Caoba tiene un crecimiento en altura en sus primeros 3 años de 2 m)(20).

También se dice que es el aumento gradual en el tamaño de un organismo (árbol), población(bosque) en un período de tiempo. Este aumento se produce por la actividad fisiológica de la planta. El ritmo o tasa de crecimiento está determinado por factores internos (genéticos), externos (sitio) y por el tiempo(7).

Rendimiento: Es el crecimiento de un árbol o masa forestal por unidad de superficie en un período de tiempo determinado(Ej. Para latifoliadas en El Petén $3.5\text{m}^3/\text{ha}/\text{año}$)(20).

Incremento: Es el crecimiento de un árbol o una masa forestal en un período de tiempo determinado(20)(Para la finca Chitió $50m^3/año$).

Incremento Corriente Anual (ICA): Es el crecimiento que logra un árbol o una masa forestal en el curso de un año determinado(20).

Incremento Medio Anual(IMA): Es el promedio anual del incremento total. Se obtiene dividiendo las dimensiones totales del árbol o masa forestal por la edad total(20).

Incremento Periódico: Es el crecimiento de un árbol o masa forestal en un periodo de tiempo determinado(20).

Leyes del Crecimiento: los valores y formas que presentan en un gráfico los incrementos corrientes y periódicos obedecen a ciertas leyes y que son las siguientes:

- ✓ Mientras el incremento corriente vaya en aumento, se mantendrá mayor que el incremento medio y este será también creciente.
- ✓ El incremento medio tiene un valor máximo cuando alcanza a igualarse con el incremento corriente y desde entonces se mantendrá superior a este.
- ✓ El incremento medio alcanza su máximo cortando la curva de incremento corriente en ese punto, es decir en el máximo el incremento medio es igual al incremento corriente. Esta ley es muy importante, por cuanto determinará la edad de rotación biológica, cuando los incrementos se refieren al volumen(7).

3.1.7 Análisis fustal:

Es el procedimiento por medio del cual se puede conocer el crecimiento e incremento del árbol durante su vida. Para este propósito el árbol debe ser derribado. Del árbol apeado se toman secciones o rodajas transversales de las cuales dos de ellas deben ubicarse en sitios precisos. La primera debe tomarse a la altura del corte del apeo (0.30m), y la segunda a la altura del pecho(1.30 m), las restantes se obtienen a igual distancia(1, 2 o 3 m) si es posible. En las partes superiores del fuste la distancia entre las secciones es generalmente menor. Cuando se sacan

rodajas o discos de madera, en las secciones aserradas se anota en el lado inferior, la altura a la cual se hizo el corte, en el lado superior, que corresponde exactamente a la altura anotada, se cuentan los anillos de crecimiento y se llevan a cabo las mediciones(12).

En lugar de medir el incremento anual, generalmente se mide el incremento en períodos de 5 o 10 años(12).

Se determina la edad, contando los anillos de crecimiento en la sección de apeo o tocón; generalmente se considera que el número de anillos de crecimiento en una sección transversal muestra la edad de esa parte del árbol. Si el árbol en su primer año de crecimiento, en altura, creció al nivel del tocón y si en medio de la sección transversal se encuentra la sección de la planta a esa edad, entonces el número de anillos de crecimiento del tocón corresponde a la edad total del árbol. Si la condición anterior no se llena, se añade el número de anillos que fueron necesarios para que la planta en sus primeras etapas, haya alcanzado la altura del tocón. De esta manera se obtiene la edad física del árbol. Pero si el árbol creció bajo condiciones adversas, se debe reemplazar la edad física por la edad económica; se entiende por edad económica aquella en la cual el árbol hubiera obtenido sus dimensiones, si hubiera crecido bajo condiciones normales(12).

3.1.8 Relaciones usadas en mediciones forestales:

a) Factor de corteza(k): esta dada por la relación entre el diámetro con corteza y el diámetro sin corteza:

$$k = (DAP_{cc} * DAP_{sc}) / (DAP_{cc})^2$$

DAP_{cc} = Diámetro a 1.30m con corteza.

DAP_{sc} = Diámetro a 1.30 m sin corteza (2).

b) Factor de forma(ff): También conocido como coeficiente mórfico y se obtiene al relacionar el volumen real con el volumen aparente del árbol:

$$ff = \text{Volumen real} / \text{Volumen aparente} \quad (2).$$

c) **Volumen real:** para cuando el árbol fue tumbado se emplea la fórmula de Smalian ya desarrollada, con el fin de cubicar el árbol por medio de secciones:

$$V_r = v_1 + v_2 + v_3 + \dots + v_n.$$

V_r = Volumen real

v_n = Volumen de una sección "n"

$$v_n = (0.7854 (D^2) + 0.7854 (d^2))/2 * L$$

Donde: D = Diámetro del extremo mayor de la sección

d = Diámetro del extremo menor de la sección

L = Longitud de cada sección.

0.7854 = Es el cociente de $\pi/4$ (2).

d) **Volumen aparente(V_a):** Este se toma a partir del diámetro a la altura del pecho y la altura estimada en el campo:

$$V_a = 0.7854 * DAP^2 * ht.$$

Donde: DAP = Diámetro a 1.30 metros

ht = altura total

0.7854 = Es el cociente de $\pi/4$ (2).

e) **Volumen sin corteza:** Este volumen se obtiene con la ayuda del factor de corteza:

$$V_{sc} = (k)^2 * V_{cc}$$

Donde: V_{sc} = Volumen sin corteza

V_{cc} = Volumen con corteza

k = Factor de corteza (2).

f) **Porcentaje de corteza en el volumen total($C\%$):** Esta dada por la fórmula:

$$C\% = (V_{cc} - V_{sc}/V_{cc}) * 100$$

Donde: V_{sc} = Volumen sin corteza

V_{cc} = Volumen con corteza(2).

g) Área Basal:

$$A.B. = d^2 * 0.7854$$

Donde: d = Diámetro

A.B. = área basal(2).

3.1.9 Parcelas de medición permanente:

Una parcela de muestreo es un área relativamente pequeña en relación al rodal de que se desean conocer sus características dasométricas. Se tienen básicamente dos tipos de parcelas de muestreo: Las Parcelas temporales, son aquellas que se establecen en el campo con el objeto de obtener información del bosque por una sola vez. Por otro lado tenemos las Parcelas de Muestreo Permanente(PMP) que son parcelas que se establecen en el campo y que periódicamente son remedidas con el objeto de obtener información de variables del bosque en relación a variables ambientales considerando el tiempo(15).

Las PMP tienen la ventaja sobre las parcelas temporales de que pueden llevar registros de cambios en el bosque. La información obtenida de las PMP es una herramienta básica para la construcción de modelos de crecimiento y rendimiento del bosque, también nos proporcionan información sobre el momento en el cual es conveniente la aplicación de raleos, podas, colecta de semillas y otros dentro del bosque(12).

a. Ubicación de las PMP: Las parcelas deben de ubicarse, procurando abarcar la mayor variabilidad posible dentro del bosque, que esté en relación con el factor cuyo efecto queremos estudiar. Deben establecerse parcelas en igual proporción tanto en sitios buenos como en medios y pobres. Si se tienen diferencias en cuanto a densidad, entonces deberán ubicarse parcelas en cada densidad representativa de la plantación, y si existen diferencias en cuanto a edad, deben establecerse PMP tanto en rodales jóvenes como medianos y cercanos al turno final(12).

b. **Tamaño de las PMP:** La identificación de las parcelas y su medición son actividades que representan gastos. De allí que el límite superior en cuanto al tamaño viene dado por lo práctico que resulte en el campo su delimitación y medición. Sin embargo no deben ser tan pequeñas que la información que se obtenga sea poco confiable(12).

El tamaño de las parcelas dependerá principalmente de la variación de bosque o del rodal. Los árboles de una misma especie varían entre si básicamente en cuanto a DAP y altura lo cual determina el Volumen.

La variable que en mayor grado afecta el volumen es el área basal (DAP); por ello es la variable que nos pueda definir el tamaño de la parcela. Una forma para determinar el tamaño adecuado de las parcelas es mediante el uso del coeficiente de variación del DAP de árboles que se miden en forma sucesiva(12).

c. **Forma de las PMP:** Una vez definida el área, la forma de las parcelas es cuestión de comodidad. Las parcelas circulares tienen la ventaja de que son fáciles de establecer en el campo, ya que es suficiente con señalar únicamente el centro de la misma.

Los árboles se empiezan a medir a partir de una posición (puede ser el Norte) y se va haciendo en el sentido que se mueven las agujas del reloj(15).

d. **Numero de PMP:** Cuando se tienen establecidos rodales dentro de las plantaciones, un mínimo de 2 parcelas por cada rodal es conveniente para estimar el crecimiento de la plantación y la planificación de actividades de manejo.

Área (ha) 1 - 10	2 parcelas
Área (ha) 10 - 100	2 mas una por cada 10 ha más
Área (ha) 100 - 1000	12 mas una por cada 100 ha más.

El número de parcelas requeridas se puede definir desde un punto de vista estadístico que generalmente se puede determinar una vez conocido el comportamiento de las variables

deseadas. Ello no es aplicable cuando se debe establecer PMP en plantaciones que se inician(12).

3.1.10 Relaciones alométricas:

Una relación alométrica es aquella en la cual se establece una relación entre dos variables de un árbol. Por ejemplo, la relación entre el DAP la altura total, altura total y altura del fuste, entre otras. Las relaciones alométricas son muy importantes para la generación de algunos modelos de importancia en el manejo de bosques(1).

Las relaciones alométricas son de mucha utilidad y si se ajustan al modelo se pueden obtener características complejas del bosque a partir de medidas simples y confiables, como por ejemplo la obtención de altura a partir del DAP, volumen a partir del DAP, entre otras, que en ocasiones nos economizan tiempo y dinero.

3.1.11 Regresión:

El término Regresión, se remonta a Francis Galton (1822-1911), quien lo uso por primera vez en un estudio de la relación entre las alturas de padres e hijos.(8)

Para Walpole y Myers(1,993), en la práctica con mucha frecuencia es necesario resolver problemas que implican conjunto de variables, cuando se sabe que existe alguna relación inherente entre ellas.(20)

Es evidente que sería ideal si pudiéramos pronosticar una cantidad exactamente en término de otra, pero esto rara vez es posible. En la mayoría de los casos debemos conformarnos con pronosticar promedios o valores esperados.(8)

Para la mayoría de aplicaciones existe una clara distinción entre las variables en cuanto a su papel dentro del proceso experimental. Muy a menudo se tiene una sola variable dependiente o respuesta "Y", la cual no se controla en el experimento, esta respuesta depende de una o mas variables independientes o de regresión, como son " X_1, X_2, \dots, X_k " las cuales se miden con un error despreciable y en realidad, en la generalidad de los casos se controlan en el experimento. Así,

las variables independientes no son aleatorias y por lo tanto no tienen propiedades distribucionales.(21)

La relación fija para un conjunto de datos experimentales se caracteriza por una ecuación de predicción, que recibe el nombre de ecuación de regresión. En el caso de una sola "Y" y una sola "X", la situación cambia a una regresión de "Y" en "X". Para "K" variables independientes, se habla en términos de una regresión de "Y" en " X_1, X_2, \dots, X_k ".(21)

El proceso de estimar una de las variables (variable dependiente) a partir de la otra(variable independiente) se conoce como Regresión. Si "y" se va a estimar a partir de "x" por medio de alguna ecuación se llama ecuación de regresión de "y" sobre "x" y a la curva correspondiente curva de regresión de "y" sobre "x".(19)

Con frecuencia el problema de analizar la calidad de la línea de regresión estimada se maneja a través de un enfoque de análisis de varianza. Esto es meramente un procedimiento por medio del cual la variación total de la variable dependiente se subdivide en componentes significativas que se observan y se tratan en forma sistemática.(21)

Por lo común, los cálculos se resumen mediante una tabla de análisis de varianza. Es común referirse a las diversas sumas de cuadrados divididas por sus respectivos grados de libertad como los cuadrados medios.(21)

En algunas situaciones experimentales, el investigador tiene la capacidad de obtener observaciones repetidas de la respuesta para cada valor de "x". No obstante que no es necesario tener estas repeticiones con objeto de estimar α y β , esto le permite al experimentador obtener información cuantitativa concierne a lo apropiado del modelo. De hecho, si se han generado observaciones repetidas, el experimentador puede realizar una prueba significativa para ayudar a determinar si el modelo es adecuado o no. (21)

3.1.12 Concepto de falta de ajuste:

Esta prueba se basa en que tan buen ajuste se tiene entre la frecuencia de ocurrencia de las observaciones en una muestra observada y las frecuencias observadas que se obtienen de la distribución hipotética. (21)

La prueba de bondad de ajuste determina la probabilidad de que las frecuencias observadas para una variable categórica, pudieran haberse obtenido de una población hipotética.

(8)

La suma de cuadrados del error consiste en dos partes: la cantidad debida a la variación entre los valores de "Y" dentro de los valores de "X" y el componente que normalmente recibe el nombre de contribución por falta de ajuste. La primera refleja la mera variación aleatoria o el error experimental puro, mientras que el segundo componente es una medición de la variación sistemática debido a los términos de orden superior. (21)

El concepto de falta de ajuste es muy importante en aplicaciones de análisis de regresión. De hecho, la necesidad de construir o diseñar un experimento que tome en consideración la falta de ajuste se hace mas crítica conforme se complica el problema y los mecanismos que involucra. Con seguridad, no siempre se puede tener la certeza de que la estructura postulada es correcta, o incluso una representación adecuada. (21)

Las ecuaciones utilizadas para esta prueba son las siguientes:

$$a) \text{ SCE} = \text{SCfa} + \text{SCep},$$

donde: SCE : Sumatoria de cuadrados del error.

SCfa : Sumatoria de cuadrados de la fuente de ajuste.

SCep : Sumatoria de cuadrados del error puro.

$$b) \text{ g.l.e} = \text{g.l.fa} + \text{g.l.ep}$$

donde: g.l.e. : Grados de libertad del error.

g.l.fa : Grados de libertad de la fuente de ajuste.

g.l.ep : Grados de libertad del error puro.

$$c) SCep = \sum \sum (Y_{ij} - Y_i)^2 = \sum Si^2 (ni - 1)$$

donde: Y_{ij} : j-esimo valor de la variable aleatoria Y_i .

Y_i : valor medio de las repeticiones en X_i .

Si^2 : varianza de las repeticiones de X_i .

ni : número de repeticiones en X_i .

$$d) Si^2 = (\sum (Y_{ij} - Y_i)^2) / (ni - 1)$$

$$e) g.l.ep = \sum (ni - 1)$$

$$f) Sep^2 = SCep / g.l.ep$$

donde: Sep^2 : varianza del error puro.

$$g) CMfa = SCfa / g.l.fa$$

donde: $CMfa$: Cuadrado medio de la fuente de ajuste.

$$h) Fc = CMfa / Sep^2$$

donde: Fc : valor de F calculado.

$$i) Ft = F (g.l.fa, g.l.e.; \alpha)$$

donde: Ft : valor F de tabla.

α : nivel de significancia.

NOTA: tomado del manual de modelos estadísticos del Dr. Ignacio Méndez.

La hipótesis nula y alternativa entre las que deben elegir el análisis, después de examinar los datos muestrales son:

H_0 : el modelo supuesto e apropiado,

H_a : el modelo supuesto no e apropiado.

Si los números observados y las frecuencias esperadas entre las categorías son bastante cercanos, el estadístico que resulta será mas pequeño que el de tabla y la hipótesis nula no se rechazará (8)

3.2 MARCO REFERENCIAL:

3.2.1 El pino candelillo

Nombre técnico: *Pinus maximinoi* H.E. Moore:

Sinonimias: *Pinus tenuifolia* Bentham.

Pinus pseudostrobus var *tenuifolia* Shaw

Esta especie está estrechamente relacionada con la especie *pseudostrobus*. Sin embargo tiene tantas características propias, que fue reconocida como especie separada y no una variedad de *pseudostrobus*. Las características mas distintivas, son sus hojas mas delgadas, sus conos muy diferentes, la corteza del fuste y sus ramas delgadas(17).

Es un árbol hasta de 48 m de altura, con diámetros hasta mas de un metro. La corteza en árboles jóvenes es lisa, de color gris, los árboles adultos tienen la corteza gruesa surcada longitudinalmente, áspera y tosca, de color café-grisáceo. Ramillas frágiles con largos entrenudos moreno rojizos o amarillentos, lustrosas, las huellas de las brácteas poco marcadas y espaciadas(17).

Hojas en grupos de cinco, de 16 a 28 cm de largo, muy delgadas, colgantes, de color verde claro, brillantes. Pocos estomas, en la parte dorsal de la hoja 2 a 3, y lateralmente en general en dos hileras. Canales resiníferos son medios en número de 2 a 3, los haces fibrovasculares son dos, aproximados y difícil de distinguirlos. El hipodermo forma de una a tres entradas triangulares, a veces formando una unión con el endodermo. Esta característica también la separa de la especie de *pseudostrobus*. Endodermo compuesto de células relativamente grandes con paredes extremas engrosadas. Vainas perennes, apretadas y anilladas de 14 a 18 mm de largo y de color

2.5 YR 4/2. Contornos oblongos alternados en ambos extremos de color moreno rojizo, en grupos de cuatro a cinco. Con escamas resinosas, con puntos gruesos, dirigidos hacia el ápice(17).

Conos oblongos o largamente ovoides, en la base aplanados, asimétricos de 6.5 a 10 cm de largo, de color moreno rojizo claro, los conos caen con sus pedúnculos. Escamas delgadas y flexibles con ápice redondeado, débilmente aquillada, con una pequeña espina decidua. Las escamas después que los conos se abren se reflejan. La maduración y la floración suceden en el mismo tiempo, en enero y febrero. Los conos son caedizos rápidamente. La madera es liviana, blanda de color blanco amarillento(17).

Requerimientos: Esta especie requiere suelos Franco-arenosos a Franco-arcillosos, profundidades no menores de 15 cm, Ph entre 4.5 y 7.5, con precipitaciones de 1,000 a 2,400 mm. al año; las zonas de vida donde se desarrolla adecuadamente son el Bosque Húmedo Subtropical (frío) y el Bosque muy Húmedo Subtropical (cálido)(16).

La producción de plantas es por semilla. Para obtener una buena germinación se ponen en remojo en agua fría por un día. Se distribuyen al voleo en semilleros bien desinfectados. Se debe buscar una producción de 600 a 700 plantas por metro cuadrado; las semillas se tapan con una capa fina de arena, germinando entre los 8 y 20 días. Al momento de presentar 4 hojas (2 a 3 meses) se transplantan a bolsas pequeñas, inoculándolas con tierra proveniente de terrenos con pino, para trasladarles la micorriza. Cuando la planta tiene de 20 a 30 cm de alto (6 meses), se puede trasladar a terreno definitivo. Antes de sacarlas, es importante regarlas bien para evitar agotamiento a causa de deshidratación(16).

Para el establecimiento se debe hacer una buena selección de plantas en el vivero, además de una adecuada preparación del sitio con el propósito de controlar las malezas. En lo que respecta al manejo de la plantación, se dice que esta es muy susceptible a la competencia, por lo tanto se deben aplicar chapeos para controlar la maleza y realizar podas y aclareos oportunos. La intensidad y frecuencia de los aclareos dependen de los objetivos de la plantación. Las podas

deben realizarse cuando los objetivos de la plantación incluyan la producción de trozas libres de nudos muertos, y es un requisito indispensable para el manejo, puesto que la especie no presenta capacidad de autopoda y se reduce el riesgo de incendio (16).

Se han reportado rendimientos entre 15 a 20 m³/ha, para tumos entre los 25 y 30 años, en la producción de madera de aserrío(16).

3.2.2 Localización y Vías de Acceso:

Los proyectos Bosque Nuevo, se encuentran ubicados en la aldea Santa Cruz del municipio de San Jerónimo, Baja Verapaz. Forman parte de la Sierra de las Minas, en el noroeste de la misma y para llegar a estos desde la ciudad capital de Guatemala, se toma la carretera asfaltada del Atlántico y cruzando en El Rancho con rumbo a las verapaces, hasta el kilometro 145 de la ruta CA- 14, donde se desvía hacia la derecha por una carretera secundaria de terracería, transitable todo el año, recorriendo por ella 13.5 kilómetros, pasando la población de Chilascó (10) (Ver figura 2).

3.2.3 Fisiografía y Origen Geológico:

El área en estudio pertenece a al región fisiográfica denominada "Tierras Altas Sedimentarias"; por su origen geológico pertenecen a la provincia geológica denominada "Cordillera Central" la cual se desarrolló a través de roca caliza. Sus geoformas son bastante onduladas, debido a las características propias de la formación montañosa a la que pertenece (Sierra de las Minas), el casco de la finca se encuentra situado en una meseta a una elevación promedio de 1,840 msnm(3).

3.2.4 Hidrografía:

En la comunidad de Chilascó y en los proyectos Bosque Nuevo, hay una presencia de muchos nacimientos de agua, que contribuyen al caudal del río Chilascó, que también pasa por los proyectos. El río Chilascó es uno de los afluentes del río Rivacó, que luego cae al río Polochic, el cuál es uno de los ríos que compone la vertiente del caribe en Guatemala.

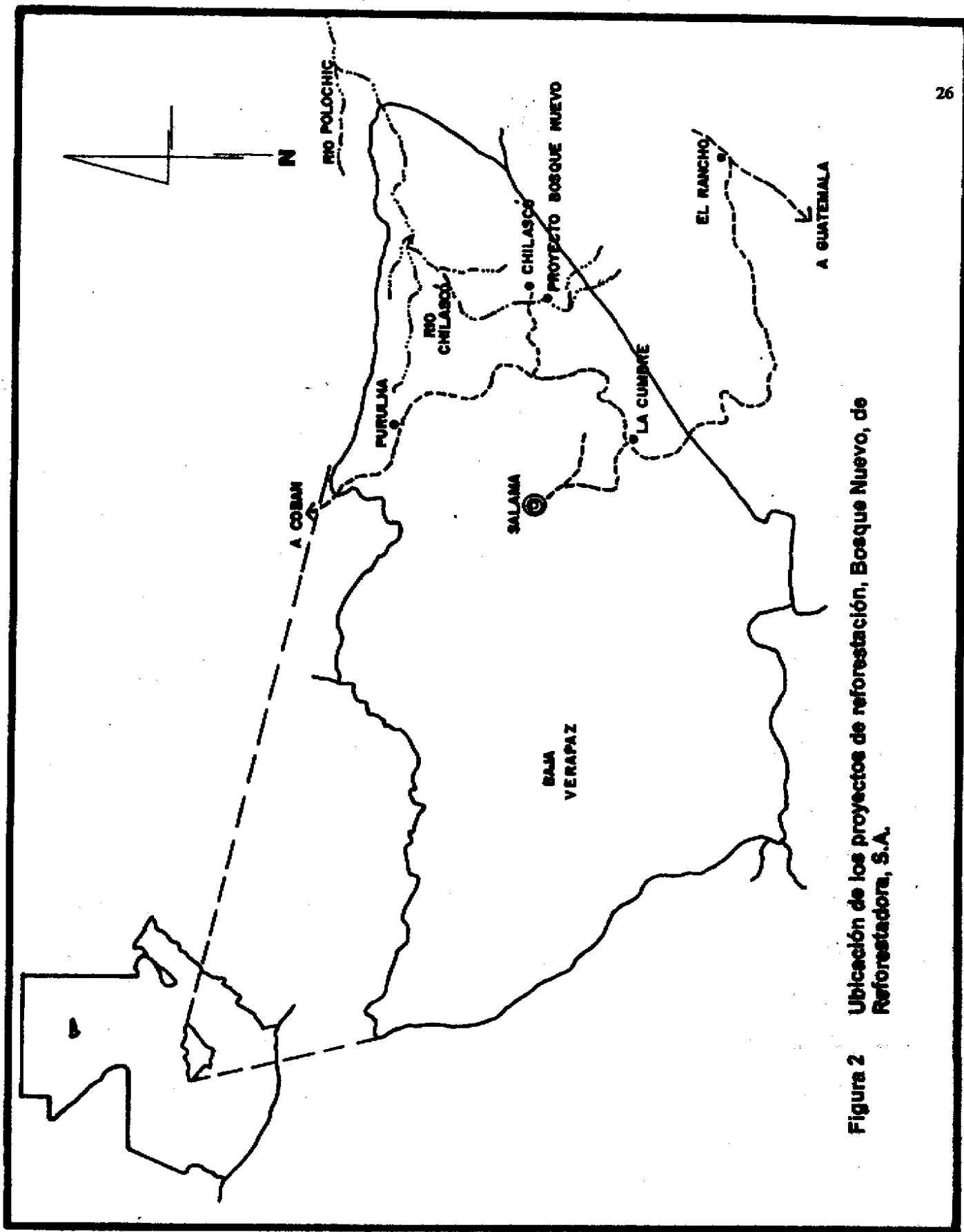


Figura 2 Ubicación de los proyectos de reforestación, Bosque Nuevo, de Reforestadora, S.A.

3.2.5 Altitud y Clima:

El área ocupada por los proyectos Bosque Nuevo tienen elevaciones que oscilan entre los 1,800 y los 2,000 msnm(10).

La precipitación promedio en toda la cuenca del río Chilascó es de 4,000 mm anuales (De la Cruz, 1983). En el área las temperaturas varían de 16° a 23° centígrados, existiendo en algunas temporadas mínimas de hasta -4° centígrados.

Presenta una biotemperatura media anual de 19° C., una humedad relativa del 80%. El promedio de horas /sol/mensuales es de 140 (9).

3.2.6 Zona de Vida:

De la Cruz, sitúa toda la cuenca del río Chilascó dentro del bosque pluvial montano bajo Sub-tropical (bp-MB). La topografía de esta zona de vida es accidentada, teniendo elevaciones que van desde 1,700 hasta los 2,600 msnm(4).

3.2.7 Descripción de Los Proyectos Bosque Nuevo:

En la región, la empresa Forestadora S.A., cuenta con cinco proyectos de reforestación por medio del programa de incentivos fiscales, siendo estos: Bosque Nuevo I, Bosque Nuevo II, Bosque Nuevo II sección 2, Bosque Nuevo II sección 3 y Buenaventura. Los terrenos en los que están ubicados los mismos son propiedad de FORESA, según consta en el registro de la propiedad de inmueble con No. de Fcas. 447, libros 26 y 27 de Baja Verapaz. El total del área de las fincas es de 640.4076 ha., plantadas en tres años distintos como lo muestra el cuadro 2(14).

Cuadro 2 Área total, Área plantada y Año de plantación por proyecto en Bosque Nuevo.

PROYECTO	ÁREA TOTAL	ÁREA PLANTADA	AÑO DE PLANTACIÓN
Bosque Nuevo I	285.78 ha	265 ha	1984
Bosque Nuevo II	228.62 ha	161 ha	1984
Sección 2	027.00 ha	027 ha	1985
Sección 3	054.00 ha	027 ha	1985
Buenaventura	045.00 ha	027 ha	1987
Totales:	640.40 ha	507 ha	

Todos los proyectos cuentan con dos especies plantadas , como lo son *Pinus maximinoi* H.E Moore y *Cupressus lusitanica* Lambert, plantados inicialmente a un distanciamiento de 2 x 2 metros (2,500 plantas por hectárea), mostrándose las características de estos, luego de algunos raleos, en el cuadro 3.

Cuadro 3 Volumen y densidad por hectárea en cada proyecto

Proyecto	Area (ha)	Volumen/ha.	Arboles/ha.
Bosque Nuevo I	265	90.11 m ³	561
Bosque Nuevo II	161	58.85 m ³	815
Sección 2	27	96.97 m ³	731
Sección 3	27	30.73 m ³	1184
Buena Ventura	27	49.94 m ³	944

Fuente: Monterroso, 1995.

ver figura de ubicación de los proyectos en apéndice (figura 18A).

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL:

Generar curvas parciales de Índice de Sitio de *Pinus maximinol* H.E. Moore en las plantaciones de los proyectos Bosque Nuevo en San Jerónimo, Baja Verapaz.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

4.2.1 Generar curvas parciales de índice de sitio en las plantaciones de los proyectos Bosque Nuevo.

4.2.2 Analizar el crecimiento e incremento en altura, diámetro a la altura del pecho y volumen, de *P. maximinol* en plantaciones de los proyectos Bosque Nuevo.

4.2.3 Establecer relaciones alométricas de utilidad para *P. maximinol* en plantaciones de los proyectos Bosque Nuevo.

5. METODOLOGÍA

5.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO:

Esta investigación se llevó a cabo en los proyectos Bosque Nuevo, los cuales están plantados con dos especies:

Pinus maximinoi H.E. Moore y *Cupressus lusitanica* Miller.

Los proyectos se encuentran ubicados en la aldea Santa Cruz del municipio de San Jerónimo, departamento de Baja Verapaz, en la zona de vida Bosque Pluvial montano bajo Subtropical.

5.2 DIVISIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO:

El área de estudio se dividió en los 5 proyectos por los que está compuesto, los cuales son:

Bosque Nuevo I

Bosque Nuevo II

Bosque Nuevo II sección 2

Bosque Nuevo II sección 3

Buenaventura.

En cada uno de los proyectos, por medio de caminamientos se ubicaron los rodales puros de *P. maximinoi* donde se efectuó el estudio.

5.3 DETERMINACIÓN DEL NUMERO DE PARCELAS DE MEDICIÓN PERMANENTE (PMP):

El Número de parcelas que se levantó en cada proyecto, se calculó según FAO, 1980 (Citado por Ortiz), como se muestra en el cuadro a continuación.

Cuadro 4. Numero de parcelas levantadas según tamaño del área.

Área (ha)	NUMERO DE PARCELAS
1 - 10	2
10 - 100	2 mas una por cada 10 ha
100 - 1000	12 mas una por cada 100 ha

Según lo anterior para los proyectos que cuentan con 507 ha, se levantaron 34 parcelas, distribuidas según el área de cada proyecto, como se muestra en el cuadro a continuación.

Cuadro 5. Numero de parcelas levantadas por proyecto.

PROYECTO	ÁREA (ha)	PARCELAS
Bosque Nuevo I	265	13
Bosque Nuevo II	161	12
Bosque Nuevo II, Sec. 2	27	3
Bosque Nuevo II, Sec. 3	27	3
Buenaventura	27	3
TOTALES	507	34

5.4 UBICACIÓN DE LAS PMP:

Las parcelas se ubicaron en rodales puros de *Pinus maximinoi* H.E. Moore, estas se establecieron en base a tres categorías de posición de los rodales sobre el terreno, que determinaron sitios diferentes:

Categorías de Posición:

- Plan parte alta** (Pendiente menor a 15%, 1,950 a 2,050 msnm)
- Pendiente parte media** (Pendiente mayor a 15%, 1,850 a 1,950 msnm)
- Plan parte baja** (Pendiente menor a 15 %, 1,750 a 1,850 msnm)

(ver figura 3).

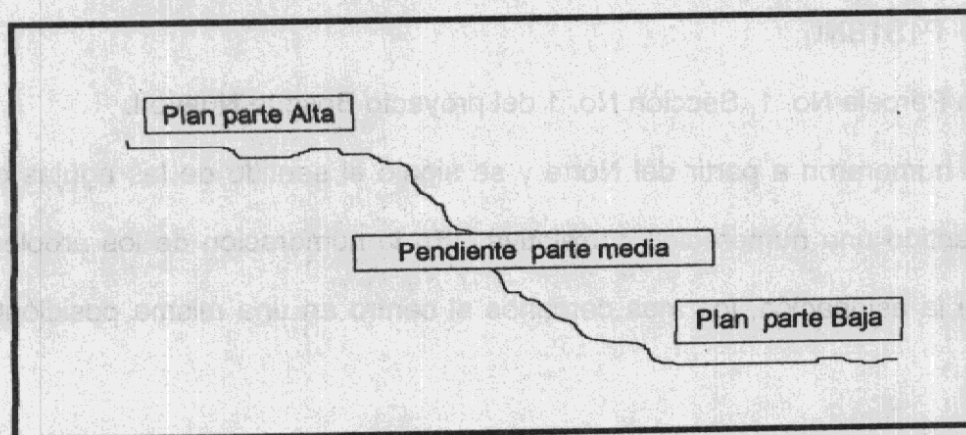


Figura 3 Categorías de posición donde se ubicaron las parcelas sobre el terreno.

5.5 TAMAÑO DE LAS PMP:

El tamaño de las parcelas se estableció mediante la variación del área basal, en los diferentes rodales como se ejemplifica a continuación:

Se midió el DAP de varios árboles en forma sucesiva, mediante el Coeficiente de Variación(C.V.), se graficó en un eje de coordenadas "x", "y", de la siguiente manera; el C.V. en el eje "y" y el número de árboles en el eje "x".

El lugar en el cual la curva tiende a estabilizarse, se tomó como el número adecuado de árboles que debería tener la parcela. El tamaño en metros cuadrados de la parcela se obtuvo de la relación con la densidad actual del rodal (Ortiz, 1995).

Por ejemplo:

Si 20 es el número adecuado de árboles para una parcela en un rodal con densidad de 400 árboles/ha.

$$\text{Área m}^2 = 20 \text{ árboles} * 10000/400 \text{ árboles} = 500 \text{ m}^2$$

5.6 FORMA Y DELIMITACION DE LAS PMP:

Las parcelas tienen una forma circular, debido a la gran ventaja de que son fáciles de establecer en el campo, porque para delimitarlas fue suficiente con señalar únicamente el centro de las mismas con una estaca de madera duradera, clavando sobre esta una laminilla con su código específico. Ej. P1S1BNI

Que significaría Parcela No. 1, Sección No. 1 del proyecto Bosque Nuevo I.

Los árboles se numeraron a partir del Norte y se siguió el sentido de las agujas del reloj, para llevar en este sentido una numeración correlativa. En la numeración de los árboles tienen prioridad, en cuanto a la asignación, los mas cercanos al centro en una misma posición(12)(Ver fig. 4).

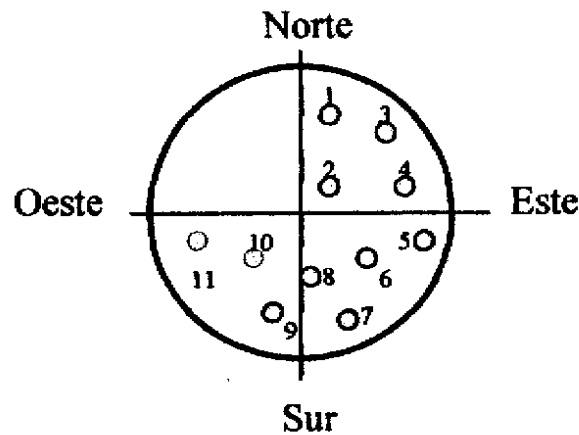


Figura 4. Forma de asignar la numeración en las parcelas.

Los árboles se numeraron con laminillas en la parte baja del fuste (menor de 0.30 cm), para que los árboles que se extraigan queden numerados, mediante el tocón. La numeración se colocó en una misma orientación, al lado sur, para facilitar la identificación de los árboles dentro de las parcelas.

5.7 DATOS TOMADOS DENTRO DE LAS PMP:

En las parcelas se tomaron datos de DAP, medidos con ayuda de una forcípula y la altura total con un hipsómetro suunto, el formato aparece en el cuadro 16A.

Al realizar estas mediciones se determinó el árbol promedio de la parcela en base al DAP y el árbol con altura dominante, según el tamaño óptimo de la parcela. Ej.:

Tamaño óptimo de parcela = 500 m² (Altura dominante, es la altura promedio de los 100 árboles mas gruesos por ha), dentro de la parcela se tomó como árbol con altura dominante, el de la altura promedio de los 5 árboles mas gruesos de la parcela(12).

5.8 ANÁLISIS FUSTAL:

En cada parcela se tumbaron dos árboles representativos, el primero con el DAP promedio del rodal y el segundo con la altura dominante. Para realizar el análisis fustal se siguió la metodología que se presenta a continuación:

- a. Se tumbaron los árboles a la altura del tocón (0.30 m), sacando un disco de la parte superior de esta sección.
- b. De cada árbol se tomaron el DAP y la altura total.
- c. Se cortaron secciones a cada metro a partir del tocón.
- d. De la parte superior de cada sección se cortó un disco de madera.
- e. Los discos se transportaron a un lugar donde se secaron al ambiente, identificando cada disco con el número de sección, número de árbol y si correspondía al árbol promedio o árbol con altura dominante.
- f. De cada disco se obtuvo la siguiente información:
 1. Para el árbol con altura dominante: En estos discos se obtuvo únicamente el número de anillos por sección (ver cuadro 17A).
 2. Para los árboles promedio de las parcelas: número de sección, altura de la sección, diámetro con corteza (DCC), diámetro sin corteza (DSC), número de anillos, radio entre anillos, diferencia de edad, entre otros (ver cuadro 18A).

5.9 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN:

5.9.1 Índice de sitio:

Se obtuvieron un total de 628 pares de datos edad-altura, provenientes de 34 árboles dominantes muestra. Estos pares de datos se utilizaron para probar los modelos estadísticos, que de acuerdo a trabajos realizados por PROCAFOR en el país, han presentado los mejores resultados para la construcción de curvas de índice de sitio.

Modelos probados:

Modelo de Schumacher:

$$\ln H = a + b \frac{1}{E^k}$$

Modelo de Backman:

$$H = e^{(b_0 + b_1 \ln E + b_2 \ln^2 E)}$$

Otros Modelo:

$$\ln H = a + b \frac{1}{E^k}$$

$$H = E^2 / (b_0 + b_1 E^2)$$

$$H = E^2 / (b_0 + b_1 E + b_2 E^2)$$

Donde : H = altura dominante en metros

E = Edad en años

a, b_n, k = Parámetros a estimar

ln = logaritmo natural.

e = base del logaritmo natural.

Dichos modelos matemáticos fueron probados con los datos de edad-altura, a través de análisis de regresión, mediante la utilización del sistema SAS (Statistical Analysis System), en el centro de Estadística y Cálculo de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, para el cual se utilizó un programa, el cual se muestra en el cuadro 27A.

La regresión del modelo Schumacher fue desarrollada a través del método de regresión jerárquica, debido a que este modelo no es posible de linearizarlo, utilizando para ello el sistema de paquetes estadísticos PALMER, PSP del CATIE mediante el programa SINDEK, desarrollado exclusivamente para el modelo de Schumacher (Paquete estadístico disponible en el proyecto PROCAFOR-INAB).

El modelo se eligió a partir de los resultados del ANDEVA de cada uno de ellos, además de realizar una prueba de bondad de ajuste para los mejores modelos, tomando en cuenta también la facilidad de trabajar con ellos. Luego de esto se procedió a la construcción de la familia de curvas de índice de sitio de la siguiente manera:

- Se seleccionó la edad base, la cual se consideró en 9 años debido a que es la edad de la plantación más pequeña de la muestra.
- Se obtuvieron los coeficientes del modelo seleccionado y se generó una familia de curvas anamórficas, las cuales tienen la característica de tener pendiente común.
- Se construyó el sistema de curvas, a partir de las ecuaciones finalmente generadas. El despliegue de la familia de curvas de índice de sitio se desarrolló a través de graficar los modelos para cada índice o calidad de sitio con ayuda de la hoja electrónica Microsoft Excel.

5.9.2 Estudio de Crecimiento e Incremento:

Para llevar a cabo este estudio, se analizó el crecimiento e incremento en altura, diámetro, área basal y Volumen total, de los árboles promedio, para cada índice de sitio encontrado en los proyectos Bosque Nuevo.

Se realizó un Análisis de Varianza, utilizando los 6 modelos de regresión simple. Este se llevó a cabo con la ayuda del programa Regre 6P.

Los seis modelos de regresión simple son:

Lineal:	$y = b_0 + b_1x$
Geométrico	$y = b_0 * (b_1)^x$
Logarítmico	$y = b_0 * xb_1$
Cuadrático	$y = b_0 + b_1x + b_2x^2$
Raíz Cuadrada	$y = b_0 + b_1x + b_2/x$
Gama	$y = b_0 (e^{-b_1 x})(X^{b_2})$

Donde:

y	= Variable de crecimiento (altura, DAP o volumen)
x	= Edad en años
b_0, b_1, \dots, b_n	= Parámetros a estimar.
e	= Base del logaritmo natural.

Los modelos utilizados para representar los crecimiento e incrementos, se eligieron según los resultados obtenidos del ANDEVA (r^2 , CME, C.V.) realizado a los datos de campo, obtenidos del análisis fustal de los árboles con DAP promedio.

5.9.3 Relaciones Alométricas:

- Factor de corteza por I.S.
- Coeficiente mórfo por I.S.
- Relación DAP-altura por I.S.
- Relación DAP-volumen total por I.S.
- Relación Edad-Altura por I.S.
- Relación Edad-DAP por I.S.
- Relación Edad-volumen por I.S.

Las relaciones mencionadas anteriormente se consiguieron de acuerdo a los mejores modelos de regresión simple, según los resultados de los análisis de varianza de los mismos (r^2 , CME, C.V.).

6. RESULTADOS Y DISCUSION:

6.1 Índice de Sitio:

Luego de la obtención de los 628 pares de datos (cuadro 19A) de edad-altura, obtenidos de 34 árboles muestra de *Pinus maximinol* H. E. Moore, se realizó un diagrama de dispersión, el cual se muestra en la figura 5, en la cual se observa que la tendencia de los valores es bastante homogéneo y desde el primer año hasta el doceavo año se tienen valores los cuales van aumentando en altura, cada vez que aumentan los años de edad de los árboles. No se encuentran valores dispersos que en determinado momento se tomen como valores alejados que sesguen los resultados obtenidos con los modelos matemáticos empleados.

Los resultados del análisis de varianza para los datos de campo, en la prueba de los 5 modelos utilizados, se muestran en el cuadro 6, estos sirvieron como herramienta estadística para elegir el mejor modelo, con respecto a los datos obtenidos en el campo.

Cuadro 6 Resumen del ANDEVA de la regresión de los cinco modelos probados para los datos edad altura.

	SCR	SCE	CME	Val F	r ²	Cv (%)
$\ln H = a + b \frac{1}{E^k}$	433.2	67.46	0.107	4019*	0.87	16.40
$H = e^{a(b_0 + b_1 \ln E + b_2 \ln^2 E)}$	433.6	67.09	0.107	2019*	0.87	16.40
$H = E^2 / (b_0 + b_1 E + b_2 E^2)$	2174	646.4	1.034	1051*	0.77	25.64
$H = E^2 / (b_0 + b_1 E^2)$	2169	651.3	1.040	2085*	0.77	25.72
$\ln H = a + b \frac{1}{E^k}$	404.4	96.27	0.154	2629*	0.81	19.58

* Diferencia altamente significativa

Los coeficientes de determinación muestral son bastante aceptables (r^2). Los 2 modelos primeros en el cuadro 6 (Schumacher y G. Backman) presentan los mejores coeficientes de determinación: 0.87; esto indica que de la varianza total (Suma de cuadrados total) el 87 % de la variación de los datos es explicado por la regresión y solamente menos del 13 % no es explicado por esta.

Los cuadrados medios del error (CME) para los primeros dos modelos, son los más pequeños (0.107), indicando que las varianzas del error son mínimas, lo cual indica que la regresión explica buena parte de los cuadrados medios.

Tomando en cuenta el coeficiente de variación, valor que refleja la variación que los valores reales tienen con respecto a los valores esperados por el modelo, los modelos de Schumacher y G. Backman presentan valores de C.V. del 16 %, indicando en forma porcentual la variación de los valores reales con respecto a los valores que los modelos estiman. Con respecto al valor de F, es mas alto el de Schumacher.

Con estos valores obtenidos, se entiende que los mejores modelos para representar la tendencia de los datos reales Edad-Altura son el de Schumacher y el de G. Backman.

Se realizó la prueba de Bondad de Ajuste, mostrando que los dos modelos elegidos se ajustan a los datos de edad-altura tomados en el campo (ver prueba en Cuadro 28A).

Se decide emplear el modelo de Schumacher, debido que para este existe exclusivamente un sistema de paquetes estadísticos denominado PALMER, PSP del CATIE, mediante el programa SINDEK y por ser uno de los modelos que presentan el ajuste de los valores reales obtenidos en el campo.

Modelos de Schumacher: $\ln H = a + b \frac{1}{E^k}$

Se procesaron los datos con ayuda del programa SINDEK, con el cual se obtuvieron los coeficientes que son los siguientes:

Coficiente "k" =	0.357603
Pendiente "b" =	-5.88396
Intercepto "a" =	5.32166

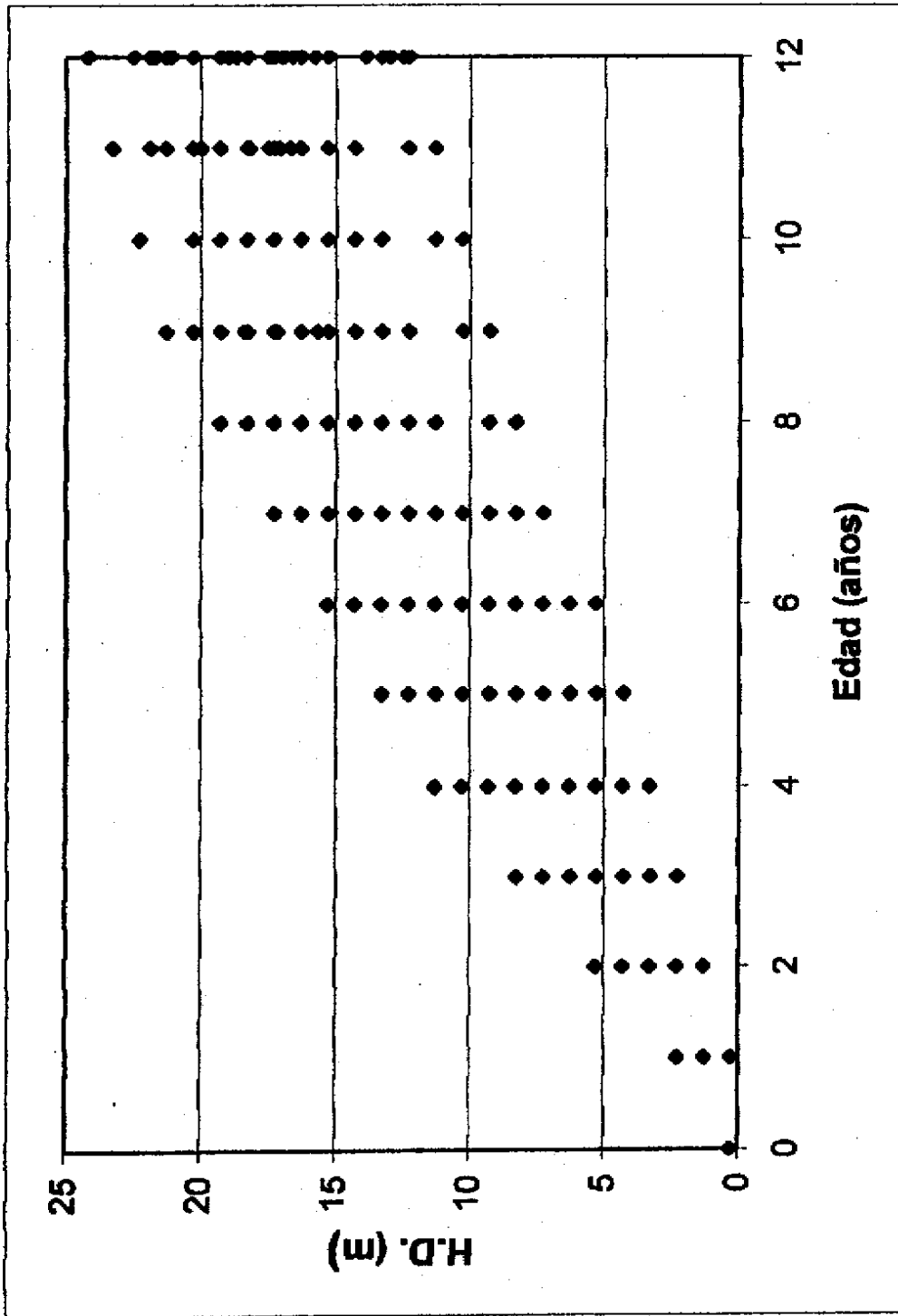


Figura 5. Diagrama de dispersión de datos Edad - Altura Dominante (H.D.), en árboles de *Pinus maximinoi* H.E. Moore, en Bosque Nuevo San Jerónimo, Beja Veracruz.

La edad base que se utilizó fue de 9 años, debido a que es la edad con que contaban los árboles muestra de menor edad.

Para generar las curvas anamórficas (de pendiente común), se seleccionaron 5 alturas índice con 3 metros de diferencia entre cada una, definidas de acuerdo a los valores máximos observados en la dispersión de datos reales edad-altura. La altura índice media se obtuvo a la edad base con pendiente e intercepto común. Las calidades de sitio se categorizan de mayor a menor en números romanos (cuadro 7).

Cuadro 7 Valores de intercepto "a" para cada calidad de sitio (C.S.) e índice de sitio (I.S.) para una edad base de 9 años.

CALIDAD DE SITIO	INDICE DE SITIO(m.)	"a"
I	20	5.6775
II	17	5.5150
III	14	5.3209
IV	11	5.0797
V	8	4.7613

Para establecer las fórmulas provenientes de los modelos para cada uno de los índices, se calculó el intercepto para crear las ecuaciones (cuadros 7 y 8).

Cuadro 8 Ecuaciones empleadas para cada una de las clases de sitio en los proyectos Bosque Nuevo.

CALIDAD DE SITIO	INDICE DE SITIO	ECUACIONES
I	20	$\ln H = 5.6775 - 5.88396 * (1/E^{0.357603})$
II	17	$\ln H = 5.5150 - 5.88396 * (1/E^{0.357603})$
III	14	$\ln H = 5.3209 - 5.88396 * (1/E^{0.357603})$
IV	11	$\ln H = 5.0797 - 5.88396 * (1/E^{0.357603})$
V	8	$\ln H = 4.7613 - 5.88396 * (1/E^{0.357603})$

Para graficar la familia de curvas parciales de Calidad/Índice de sitio para *Pinus maximinoi* H.E. Moore se construyó una tabla de índice de sitio, la cual se muestra en el cuadro 20A. En la figura 6 se observan las curvas parciales generadas, debido a que solo hay datos de alturas índice

alturas índice hasta una edad de 12 años, estas curvas deben tomarse como validas parcialmente para esta edad y debe completarse la información para obtener las curvas hasta el final del turno.

Con estas curvas se pueden categorizar las áreas o rodales, ploteando datos reales de edad-altura de árboles en el campo. Cuando se quiere establecer de manera mas precisa y numéricamente la calidad de sitio de un rodal o un árbol, se puede acudir a la tabla de índice de sitio, la que presenta una columna con edades consecutivas y otras columnas con las alturas dominantes para cada índice de sitio.

Contando con las curvas y la tabla de índice de sitio se estratificaron los sitios dentro de los planos de los proyectos (figuras 19A a 22A), para tener las áreas calificadas según su calidad y de esta forma tener la base para seleccionar las áreas que son necesarias manejar primero.

6.2 Crecimientos e incrementos:

Este estudio muestra los resultados para cada índice de sitio encontrado.

6.2.1 Crecimientos e incrementos en altura, DAP y volumen:

Los distintos crecimientos se graficaron con el modelo que tuvo los mejores resultados en el ANDEVA. Los resultados para todos los modelos probados se presentan en los cuadros 21A, 22A y 23A.

En el cuadro número 9 se pueden apreciar los resultados para cada índice de sitio.

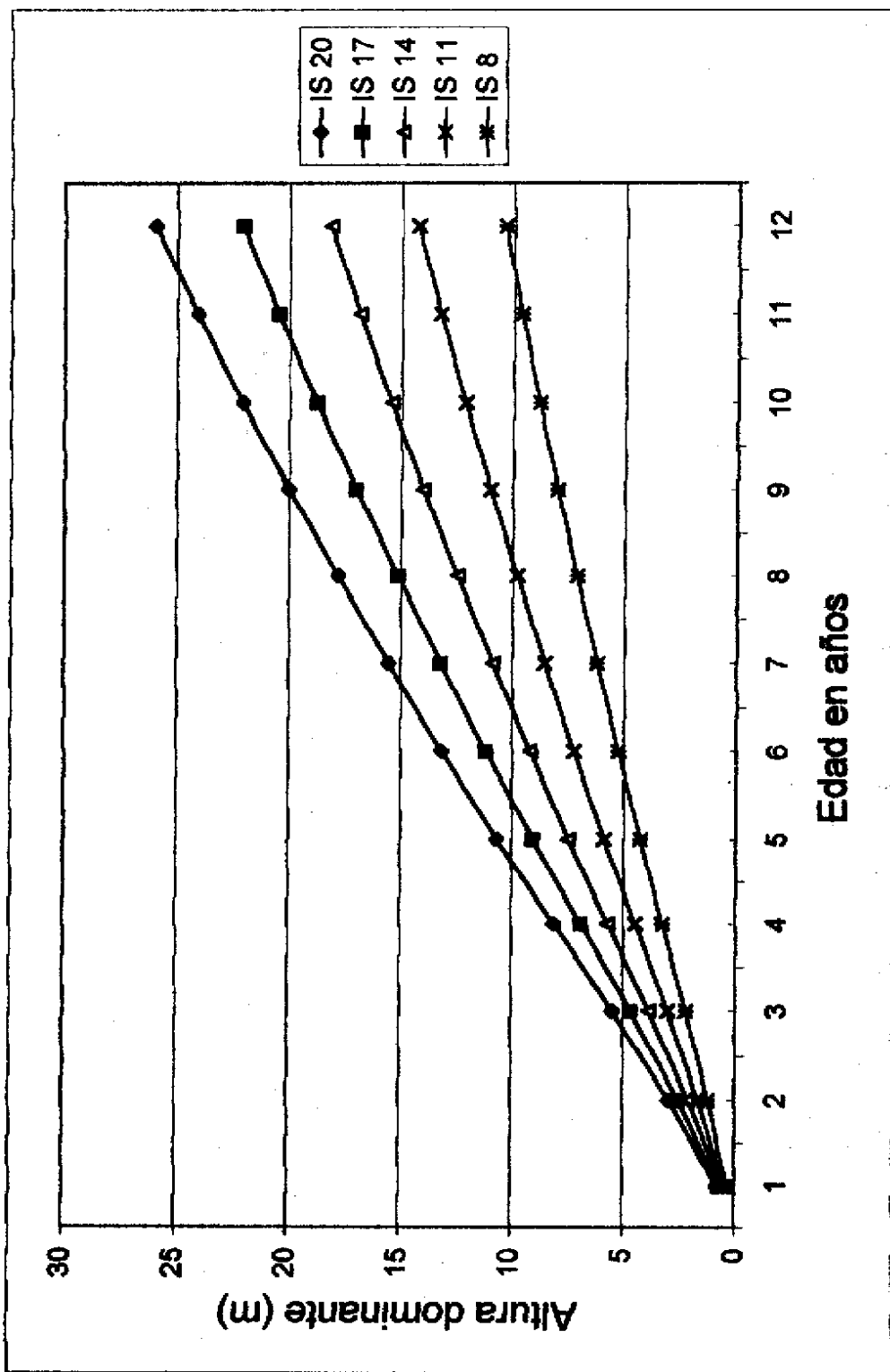


Figura 6. Familia de Curvas Perciles de Índice de Sitio, para *Firus maximinoi*, en Bosque Nuevo, San Jerónimo, Baja Verapaz, a una edad base de 9 años.

Cuadro 9 Ecuación evaluada que mejor explica la relación entre diferentes variables de crecimiento, por cada índice de sitio.

VARIABLE EVALUADA	INDICE DE SITIO	ECUACIÓN QUE MEJOR EXPLICA LA RELACION	EXPLICACIÓN DE VARIABLES
crecimiento en altura	20	$y = -0.3399 + (2.24002 * x) - (0.04169 * x^2)$	y = altura en metros x = edad en años
	17	$y = -0.68317 + (1.70477 * x) - (0.00276 * x^2)$	
	14	$y = -1.77424 + (1.61726 * x) - (0.01656 * x^2)$	
	11	$y = -1.96982 + (1.41132 * x) - (0.01602 * x^2)$	
	08	$y = -1.00489 + (1.30552 * x) - (0.01461 * x^2)$	
incremento corriente anual en altura (ICAA)	20	$y = 2.24002 - (0.08338 * x)$	y = altura en metros x = edad en años
	17	$y = 1.70477 - (0.00552 * x)$	
	14	$y = 1.61726 - (0.03312 * x)$	
	11	$y = 1.41132 - (0.03204 * x)$	
	08	$y = 1.30552 - (0.02922 * x)$	
incremento medio anual en altura (IMAA)	20	$y = (-0.3399 + (2.24002 * x) - (0.04169 * x^2)) / x$	y = altura en metros x = edad en años
	17	$y = (-0.68317 + (1.70477 * x) - (0.00276 * x^2)) / x$	
	14	$y = (-1.77424 + (1.61726 * x) - (0.01656 * x^2)) / x$	
	11	$y = (-1.96982 + (1.41132 * x) - (0.01602 * x^2)) / x$	
	08	$y = (-1.00489 + (1.30552 * x) - (0.01461 * x^2)) / x$	
crecimiento en DAP	20	$y = -1.80817 + (1.99194 * x) - (0.01651 * x^2)$	y = D.A.P. en centímetros x = edad en años
	17	$y = -2.67723 + (2.01667 * x) - (0.01631 * x^2)$	
	14	$y = -1.68263 + (1.03933 * x) + (0.05567 * x^2)$	
	11	$y = -1.33198 + (0.79504 * x) + (0.05995 * x^2)$	
	08	$y = -0.50518 + (0.06404 * x) + (0.11413 * x^2)$	
incremento corriente anual en DAP (ICAD)	20	$y = 1.99194 - (0.03302 * x)$	y = D.A.P. en centímetros x = edad en años
	17	$y = 2.01667 - (0.03262 * x)$	
	14	$y = 1.03933 + (0.11134 * x)$	
	11	$y = 0.79504 + (0.1199 * x)$	
	08	$y = 0.06404 + (0.22826 * x)$	
incremento medio anual en DAP (IMAD)	20	$y = (-1.80817 + (1.99194 * x) - (0.01651 * x^2)) / x$	y = D.A.P. en centímetros x = edad en años
	17	$y = (-2.67723 + (2.01667 * x) - (0.01631 * x^2)) / x$	
	14	$y = (-1.68263 + (1.03933 * x) + (0.05567 * x^2)) / x$	
	11	$y = (-1.33198 + (0.79504 * x) + (0.05995 * x^2)) / x$	
	08	$y = (-0.50518 + (0.06404 * x) + (0.11413 * x^2)) / x$	
crecimiento en volumen	20	$y = 0.03685 - (0.02698 * x) + (0.00418 * x^2)$	y = volumen en metros ^3 x = edad en años
	17	$y = 0.01914 - (0.01708 * x) + (0.00303 * x^2)$	
	14	$y = 0.01028 - (0.01032 * x) + (0.00202 * x^2)$	
	11	$y = 0.01504 - (0.01189 * x) + (0.0019 * x^2)$	
	08	$y = 0.01101 - (0.00928 * x) + (0.00155 * x^2)$	
incremento corriente anual en volumen (ICAV)	20	$y = -0.02698 + (0.00836 * x)$	y = volumen en metros ^3 x = edad en años
	17	$y = -0.01708 + (0.00606 * x)$	
	14	$y = -0.01032 + (0.00404 * x)$	
	11	$y = -0.01189 + (0.0038 * x)$	
	08	$y = -0.00928 + (0.0031 * x)$	
incremento medio anual en Volumen (IMAV)	20	$y = (0.03685 - (0.02698 * x) + (0.00418 * x^2)) / x$	y = volumen en metros ^3 x = edad en años
	17	$y = (0.01914 - (0.01708 * x) + (0.00303 * x^2)) / x$	
	14	$y = (0.01028 - (0.01032 * x) + (0.00202 * x^2)) / x$	
	11	$y = (0.01504 - (0.01189 * x) + (0.0019 * x^2)) / x$	
	08	$y = (0.01101 - (0.00928 * x) + (0.00155 * x^2)) / x$	

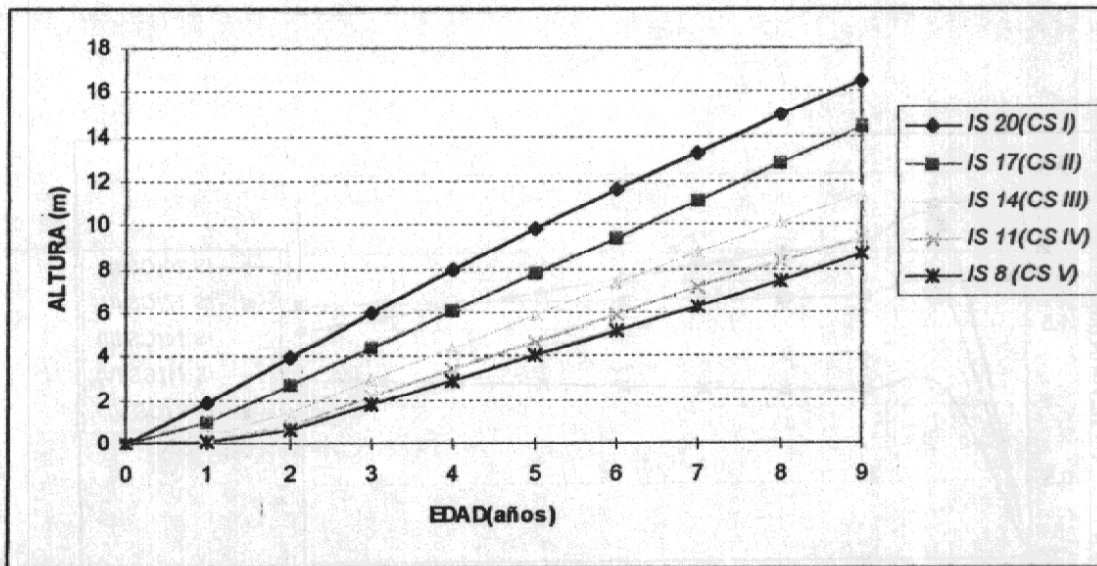


Figura 7 Crecimientos en altura para los cinco índices de sitio (IS) encontrados en los proyectos Bosque Nuevo.

En la figura 7 se aprecian los crecimientos en altura para los 5 índices de sitio y como es de esperarse los mejores sitios presentan mejores alturas, debido a que tienen una mejor capacidad de soportar el crecimiento de los individuos.

Para inferir que altura total tendrán los árboles en promedio, en el área de estudio, a una edad entre 0 y 9 años, con conocer únicamente la calidad o índice de sitio (CS o IS) se puede lograr.

En las figuras 8 y 9 se puede apreciar que los incrementos Corriente Anual (ICA) y Medio Anual (IMA), respectivamente, muestran un comportamiento que indica que a mayor índice de sitio, mayor es el incremento que alcanzan.

En la figura de los incrementos corrientes anuales, se observa que estos vienen decreciendo conforme aumenta la edad, y el mayor índice decrece más rápidamente, debido a que por tener un mayor crecimiento es necesario la realización de un raleo oportuno con la finalidad de incentivar el crecimiento en los años donde se mira que este disminuye, ya que al estar en contacto horizontal de copas hay individuos indeseables que también compiten.

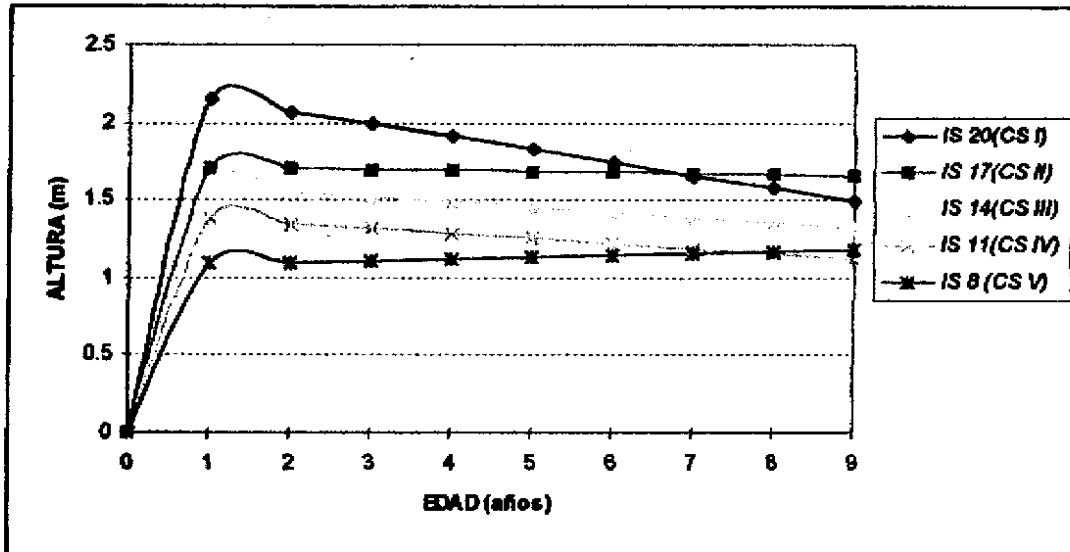


Figura 8 Incremento corriente anual (ICA) en altura para los cinco índices de sitio (IS) encontrados en los proyectos Bosque Nuevo.

Con ayuda de la figura 8 se puede obtener el crecimiento en metros que puede alcanzar un individuo promedio, conociendo la calidad o índice de sitio en un año "x", entre 0 y 9.

Con los incrementos medios anuales, se observa también que los índices de sitio más altos, presentan los mejores resultados, debido a la relación de la cual se generaron estas gráficas que es a partir de dividir la ecuación de crecimiento dentro de la edad.

A una edad de 9 años los dos mejores sitios presentan crecimientos en altura que oscilan entre 1.5 y 2 metros por año; los tres sitios inferiores no bajan de un crecimiento de 0.90 metros por año a los 9 años.

Con la figura 9 se obtiene la altura que crece en promedio a determinada edad, un individuo de *P. maximinoi*, conociendo la calidad o índice de sitio.

Se pueden obtener resultados importantes al relacionar las gráficas de incremento corriente y medio anual, que es un factor muy empleado en silvicultura para la planificación de Manejo de plantaciones forestales, tomando este parámetro como indicador de la mejor época para llevar a cabo el raleo, se muestra en la figura 10 un ejemplo para el índice de sitio 20.

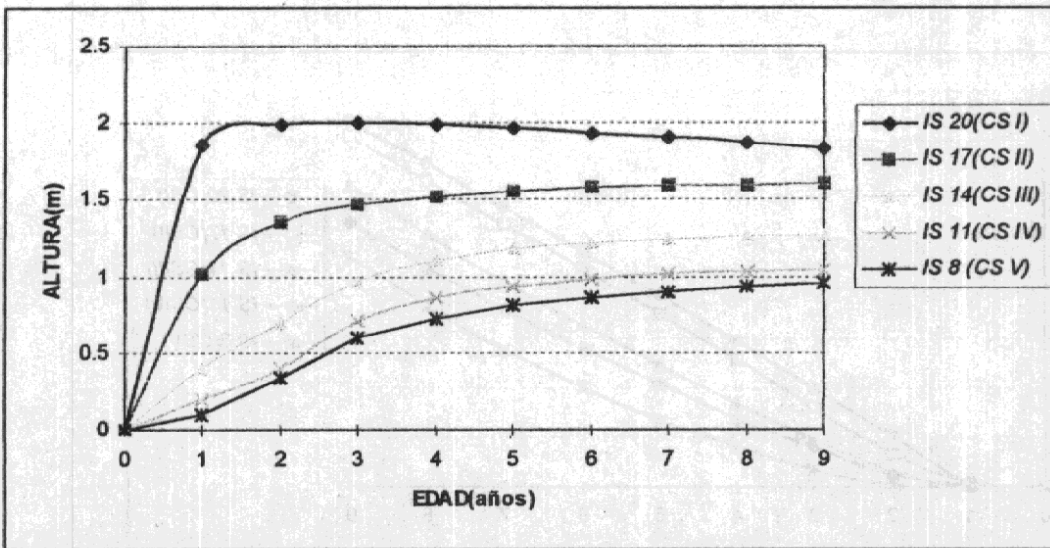


Figura 9 Incremento medio anual (IMA) en altura para los cinco índices de sitio (IS) encontrados en los proyectos Bosque Nuevo.

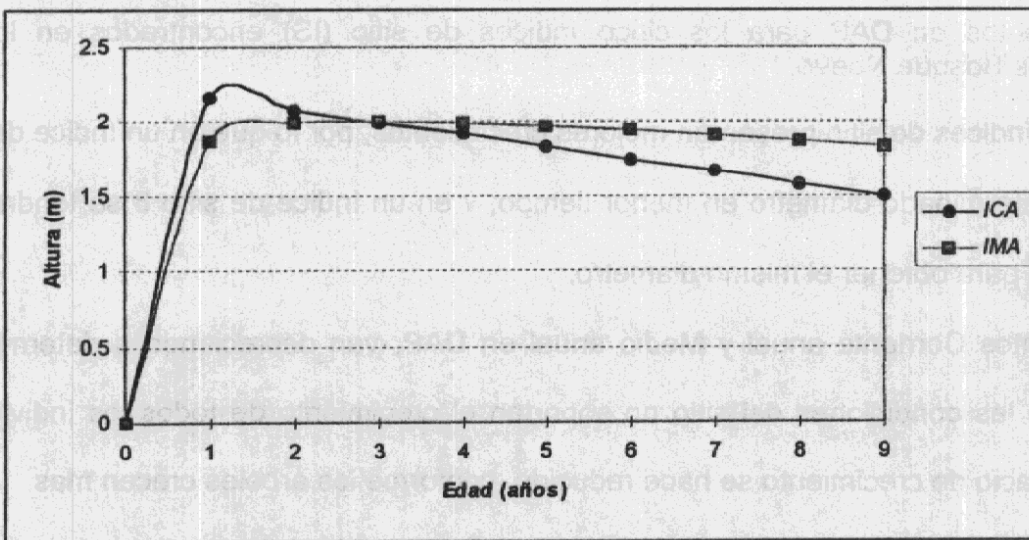


Figura 10 Relación del incremento corriente anual (ICA) y el incremento medio anual (IMA) en altura para el índice de sitio (IS) 20 en los proyectos Bosque Nuevo.

La figura 10 muestra la relación ICA-IMA para el mejor sitio, pero mientras la calidad de sitio va disminuyendo esta relación se logra a mayor edad, debido al crecimiento mas lento.

En la figura 11, se aprecian las gráficas de los crecimientos en DAP (Diámetro a la altura del pecho, 1.30 m) para cada índice de sitio, que expresan cuanto crecimiento se da en los diámetros, con relación a la edad.

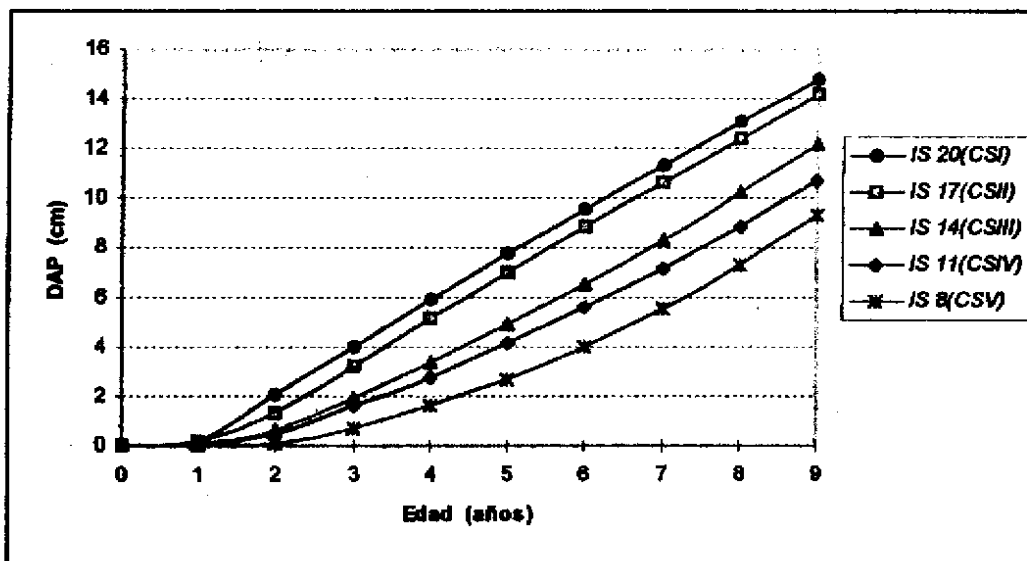


Figura 11 Crecimientos en DAP para los cinco índices de sitio (IS) encontrados en los proyectos Bosque Nuevo.

Los mejores índices de sitio presentan mejores crecimientos, por lo que en un índice de sitio 20 se obtiene un determinado diámetro en menor tiempo; y en un índice de sitio 8 se tendrá que esperar mas tiempo para obtener el mismo diámetro.

Los incrementos Corriente anual y Medio anual en DAP, van decreciendo a determinada edad, debido a que las condiciones del sitio no soportan el crecimiento de todos los individuos, debido a que el espacio de crecimiento se hace reducido, conforme los árboles crecen mas.

El manejo de las plantaciones es de bastante importancia para el desarrollo de las mismas y en este caso, con estas ecuaciones se puede tener una base para la planificación de los raleos para cada índice de sitio, de tal manera de incentivar el crecimiento de los individuos y obtener en un menor tiempo los productos que dará el bosque, aprovechando el gran potencial que tienen los pinos en su etapa de juventud.

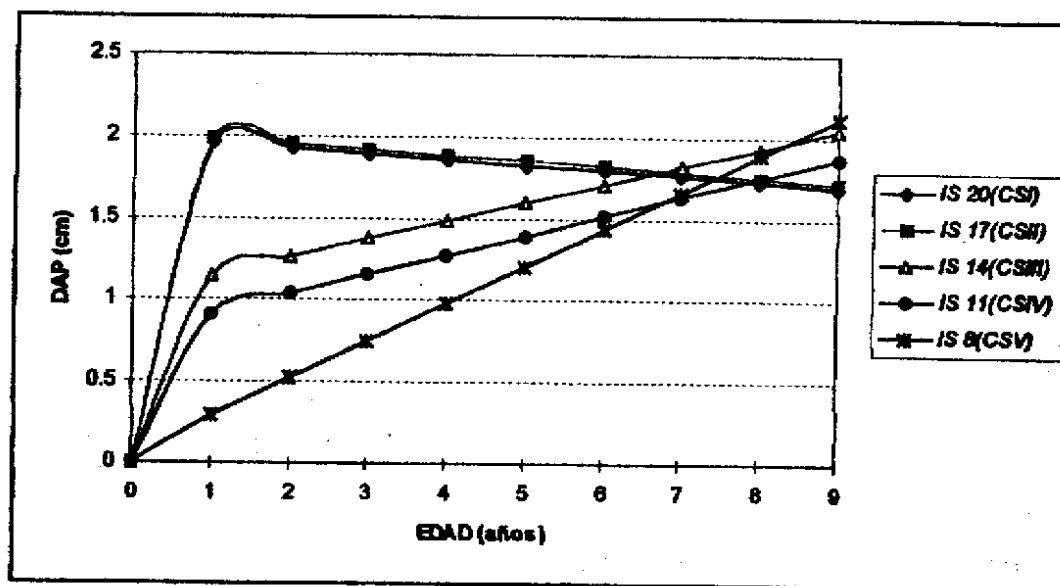


Figura 12 Incremento corriente anual (ICA) en DAP para los cinco índices de sitio (IS) encontrados en los proyectos Bosque Nuevo.

Las gráficas de los incrementos en DAP para los cinco índices de sitio se presentan en las figuras 12 y 13.

Con la figura 12, se obtiene el crecimiento en centímetros que tiene un árbol de *P. maximinoi* a una determinada edad, en cualquiera de los cinco sitios definidos en el área de estudio.

Con respecto a la figura 13, se puede conocer el crecimiento promedio en DAP a una edad entre 0 y 9 años en los cinco sitios definidos.

En la figura 14, se muestra que las curvas del ICA e IMA, para el mejor sitio, no se han traslapado, mostrando una tendencia a unirse, que sería otro parámetro técnico para efectuar un entresaque.

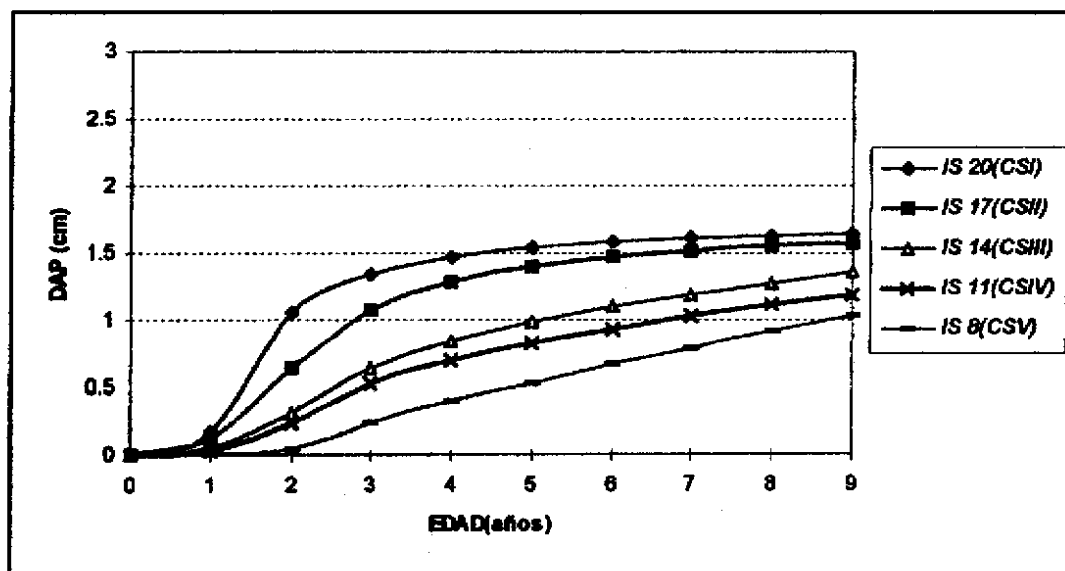


Figura 13 Incremento medio anual (IMA) en DAP para los cinco índices de sitio (IS) encontrados en los proyectos Bosque Nuevo.

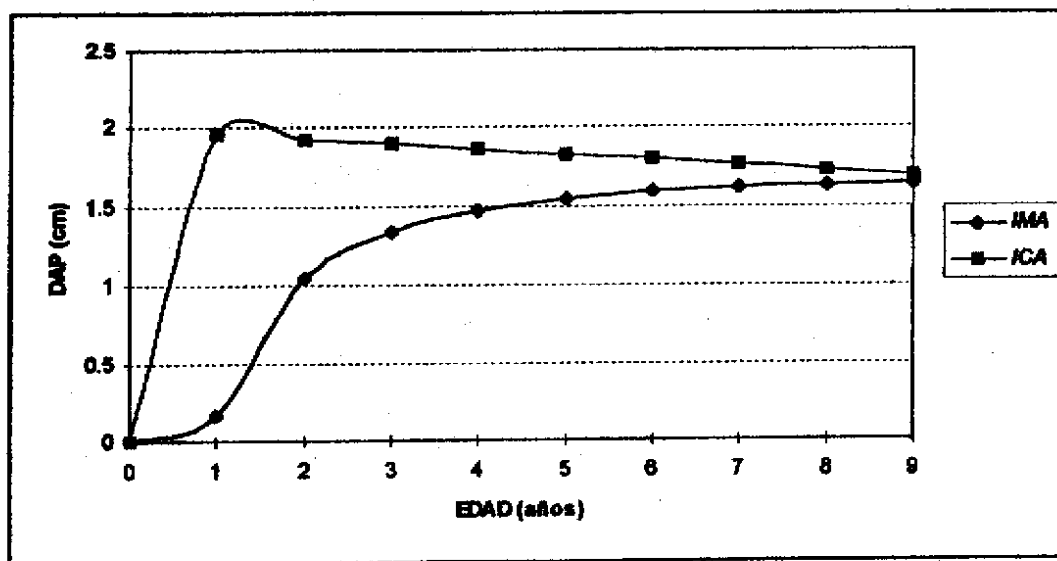


Figura 14 Relación del ICA e IMA en DAP para el índice de sitio (IS) 20 en los proyectos Bosque Nuevo.

Tomando en cuenta la relación ICA-IMA para altura y DAP, en el mejor sitio, se puede programar el raleo entre los tres y nueve años, a efecto de mejorar en lo económico esta labor, este es un ejemplo de que para poder manejar adecuadamente las masas forestales es necesario

contar con información local del comportamiento real de los árboles que den las bases de la aplicación correcta de la silvicultura.

El volumen esta relacionado con la altura y con el DAP, por lo tanto el crecimiento en volumen es mayor en los sitios mejores, tal y como se muestra en la figura 15.

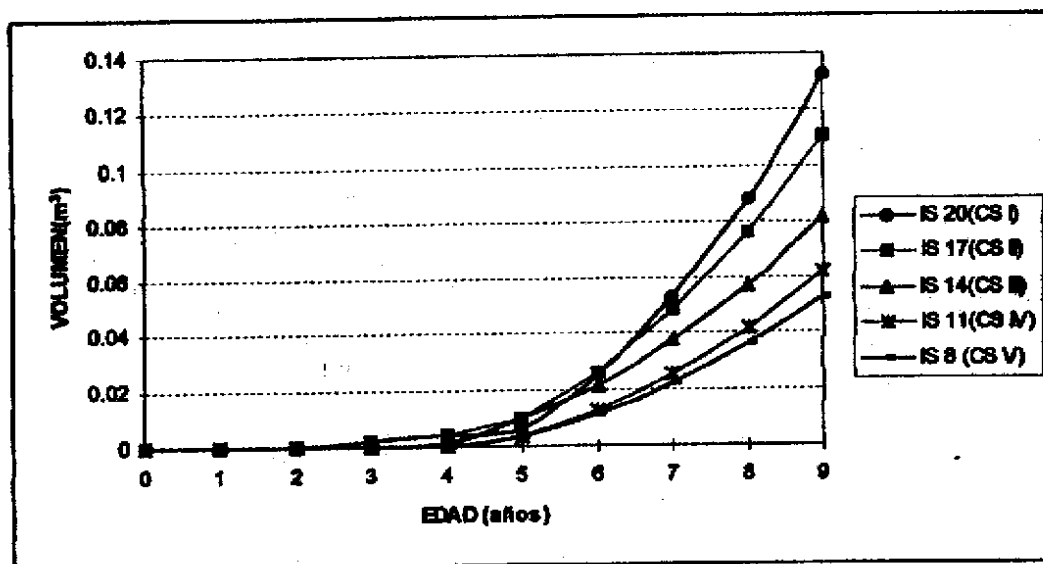


Figura 15 Crecimiento del volumen en metros cúbicos para los cinco índices de sitio encontrados en los proyectos Bosque Nuevo.

El crecimiento en volumen que se representa con los gráficos, no es mas que la respuesta que los árboles individuales, en promedio, muestran en una relación de metros cúbicos por edad del individuo.

En la gráfica de Crecimientos en volumen, se muestra la tendencia de la misma a incrementar, lo cual da la pauta de que todavía no ha llegado a su punto máximo, en el cual los incrementos empiezan a decrecer.

Con la figura 15, se obtiene el volumen promedio por árbol, en metros cúbicos, a una edad entre 0 y 9 años, para los cinco sitios del área de estudio.

Para corroborar lo descrito anteriormente, se pueden observar las gráficas de Incremento Corriente e Incremento Medio Anual, los cuales no han decrecido, como se da el caso de los incrementos en altura y DAP.

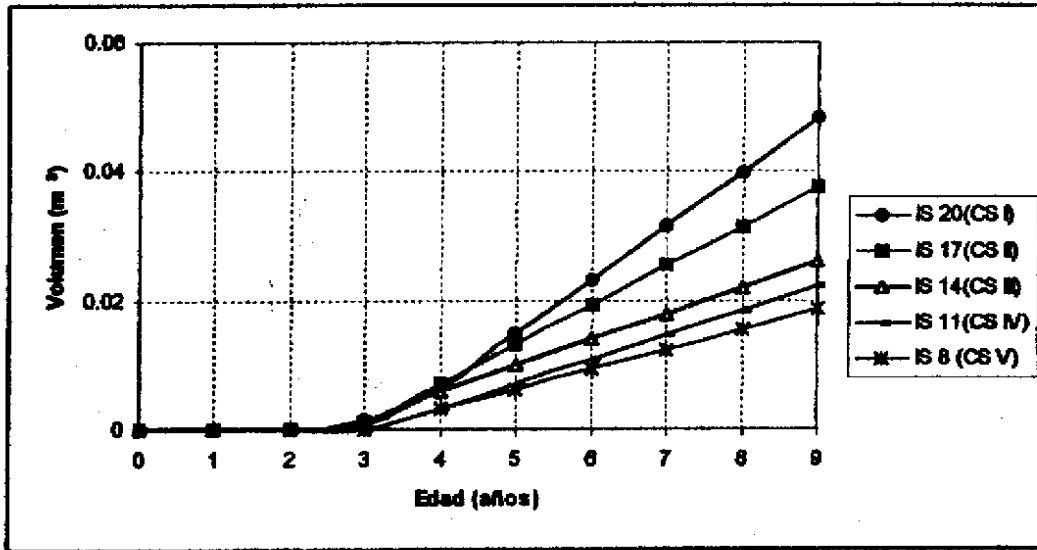


Figura 16 Incremento corriente anual (ICA) en volumen para los cinco índices de sitio (IS) encontrados en los proyectos Bosque Nuevo.

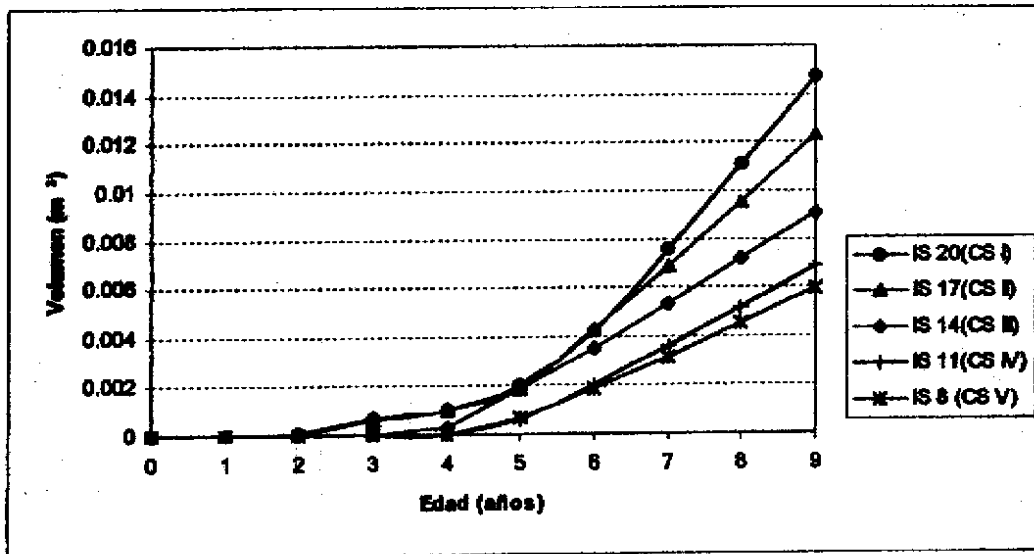


Figura 17 Incremento medio anual (IMA) en volumen para los cinco índices de sitio (IS) encontrados en los proyectos Bosque Nuevo.

Este dato de crecimiento en altura puede dar a conocer la edad a la cual se puede obtener el producto final del bosque, pero es necesario tener datos de años posteriores, de al menos la edad de turno. Con estas ecuaciones se puede obtener el incremento anual del bosque, lo que nos permite calcular la capacidad anual de corta, que se le puede aplicar al manejo del bosque.

En general se observa que el mejor crecimiento en altura, DAP y volumen, se presenta en los mejores sitios, los cuales deben ser manejados antes que los sitios inferiores. Esto es la base para la planificación de raleos, priorizando áreas con mejores crecimientos, que en un menor tiempo llegan a competir por espacio.

Otro resultado importante que se puede obtener a partir de los modelos de crecimiento generados, es el crecimiento en diámetro, altura y volumen; datos importantes para el cálculo de los productos futuros a extraer en el raleo o cualquier otra tarea silvicultural a efectuar para el manejo de las plantaciones.

Según lo anterior en otro ciclo de plantación se puede predecir a que edad ralear, para producir árboles de Navidad, durmiente, trocillo a tunca, entre otros productos, de acuerdo a los crecimientos que presentan los diferentes sitios definidos en el área de estudio.

Además con estos datos se puede inferir las dimensiones que tendrán los individuos en un año "x", pudiendo ser comprobados los modelos de crecimiento en futuras ocasiones, tomando datos de crecimiento en parcelas de muestreo en los diferentes rodales.

6.3 Relaciones Alométricas:

Las primeras relaciones que se encontraron fueron, el factor de corteza "k" y el coeficiente mórfo "CM", obtenidos a partir del promedio de los valores "k" y "CM" de cada árbol por índice de sitio. Los valores "k" y "CM" de cada árbol se obtuvieron a partir del promedio de todos los factores obtenidos para cada sección del árbol medio de la parcela. Los resultados de estos se muestran en el cuadro 10.

Cuadro 10 Factor de corteza "k" y Coeficiente mórfico para cada índice de sitio, en los proyectos Bosque Nuevo.

Índice de Sitio	Factor de corteza "k"	Coeficiente de mórfico
20	0.8451	0.3641
17	0.8470	0.4363
14	0.8275	0.4266
11	0.7716	0.4240
08	0.8010	0.5064

El factor de corteza obtenido, para cada índice de sitio encontrado en los rodales de *Pinus maximinoi*, es de mucha importancia por que se utiliza para calcular el volumen sin corteza del árbol, teniendo un valor real de madera.

El coeficiente mórfico, comúnmente llamado factor de forma, es de mucha importancia, debido a que permite encontrar el volumen real de un árbol utilizando el volumen de un cilindro, con los datos de DAP y altura total del árbol. Este factor da el grado de conicidad de la especie *P. maximinoi* para cada índice de sitio.

Los coeficientes mórficos son menores en los mejores sitios, debido a que existe mayor crecimiento en altura y por consiguiente mayor tendencia a la conicidad.

En los sitios menores el coeficiente mórfico sube un poco, debido a que el sitio no permite mayor crecimiento en altura y los individuos crecen mas en diámetro, donde van perdiendo conicidad y se vuelven mas cilíndricos.

Una relación alométrica muy importante es la relación de la edad con la altura total del árbol, debido a que se puede inferir la altura promedio de un árbol si se conoce la edad del mismo. En el cuadro 11 se muestran las ecuaciones generadas, las cuales corresponden a los crecimientos en altura para los cinco índices de sitio encontrados en los proyectos.

Cuadro 11 Ecuaciones para las relaciones de edad-altura para cada índice de sitio.

Índice de Sitio	Ecuación
20	$y = -0.3399 + (2.24002 * x) - (0.04169 * x^2)$
17	$y = -0.68317 + (1.70477 * x) - (0.00276 * x^2)$
14	$y = -1.77424 + (1.61726 * x) - (0.01656 * x^2)$
11	$y = -1.96982 + (1.41132 * x) - (0.01602 * x^2)$
08	$y = -1.51723 + (1.08047 * x) + (0.00541 * x^2)$

* y = altura en metros; x = edad en años.

Otra relación muy útil es la de la edad con el DAP, por medio de la cual, con conocer la edad del bosque se obtiene el diámetro promedio por cada índice de sitio. Para esta se muestran las ecuaciones del crecimiento del DAP, en el cuadro 12.

Cuadro 12 Ecuaciones para las relaciones de edad-DAP para cada índice de sitio.

Índice de Sitio	Ecuación
20	$y = -1.80817 + (1.99194 * x) - (0.01651 * x^2)$
17	$y = -2.67723 + (2.01667 * x) - (0.01631 * x^2)$
14	$y = -1.68263 + (1.03933 * x) + (0.05567 * x^2)$
11	$y = -1.33198 + (0.79504 * x) + (0.05995 * x^2)$
08	$y = -0.50518 + (0.06404 * x) + (0.11413 * x^2)$

* y = DAP en centímetros; x = edad en años.

La relación de edad con el volumen del árbol, es útil para tener un aproximado del volumen por individuo, si se conoce la edad de la plantación. Con la ayuda de estas ecuaciones se puede tener el dato de la cantidad de madera a ralear, por un ejemplo, teniendo la cantidad de los árboles que tienen que salir. Estas ecuaciones son las de crecimientos en volumen, las cuales se presentan en el cuadro 13.

Cuadro 13 Ecuaciones para las relaciones de edad-volumen para cada índice de sitio.

Índice de Sitio	Ecuación
20	$y = 0.03685 - (0.02698 * x) + (0.00418 * x^2)$
17	$y = 0.01914 - (0.01708 * x) + (0.00303 * x^2)$
14	$y = 0.01028 - (0.01032 * x) + (0.00202 * x^2)$
11	$y = 0.01504 - (0.01189 * x) + (0.00190 * x^2)$
08	$y = 0.01101 - (0.00928 * x) + (0.00155 * x^2)$

* y = Volumen en metros cúbicos; x = edad en años.

La relación de DAP con altura total, es de las mas empleadas en las mediciones dasométricas, debido a la facilidad que presenta inferir las alturas a partir de una medida fácil como lo es el DAP. En el cuadro 14 se presentan las ecuaciones que mejor se comportaron con respecto a los valores reales tomados en el campo (Ver ANDEVA cuadro 24A).

Cuadro 14 Ecuaciones para las relaciones de DAP-altura para cada índice de sitio.

Indice de Sitio	Ecuación
20	$y = 0.63293 + (1.08239 * x) - (0.00970 * x^2)$
17	$y = 1.54222 + (0.88469 * x) + (0.00736 * x^2)$
14	$y = 0.71617 * (x^{0.98128})$
11	$y = 0.60979 + (0.65913 * x) - (0.00431 * x^2)$
08	$y = -0.34078 + (0.51391 * x) - (0.00088 * x^2)$

* Y = altura en metros; x = DAP en centímetros.

Otra relación que se obtuvo a partir de los datos recabados, del análisis fustal realizado, es una que permite obtener el volumen con solamente tener el DAP. Esta relación es general, para todos los proyectos, siendo la siguiente:

$$y = 0.00025 * (x^{2.25018})$$

donde: y = Volumen con corteza en m³

x = Diámetro a la altura del pecho en cm.

El modelo del cual se encontró esta ecuación, es el modelo logarítmico, que fue de los que presentaron mejores resultados en el ANDEVA realizado (Cuadro 25A).

7. CONCLUSIONES

7.1 Los mejores modelos matemáticos que se adaptan a los crecimientos en altura dominante, para la generación de curvas parciales de Índice de sitio de *Pinus maximinol* H.E. Moore en las plantaciones de los proyectos de reforestación Bosque Nuevo son los de Schumacher y G. Backman.

7.2 Dentro del área de estudio se definieron cinco(5) diferentes índices de sitio los cuales son : Índice de sitio 20 m, Índice de sitio 17 m, Índice de sitio 14 m, Índice de sitio 11 m y el índice de sitio 8 m.

7.3 El mejor índice de sitio, el de 20 m, Calidad de Sitio I, presentó el mejor crecimiento y los mejores incrementos en altura, DAP y volumen del área de estudio.

7.4 Los crecimientos e incrementos en altura, DAP y volumen para los otros índices de sitio disminuyeron de acuerdo a como disminuyo el índice de sitio, y el modelo que mejor explicó la relación edad-altura es el cuadrático.

7.5 Los incrementos en altura y DAP disminuyeron por la falta de manejo adecuado, como los raleos, debido a que al incrementar la edad, existe mayor competencia por el espacio de crecimiento.

7.6 El crecimiento e incremento en volumen no han dejado de incrementarse, por lo que al aplicar un manejo a esta edad, la plantación se puede mejorar.

7.7 Los mejores sitios se deben priorizar para realizar el manejo, debido a la capacidad que tienen los individuos de crecer en esos lugares. Por lo tanto los rodales que son urgentes de manejar, son los que se encuentran en los mejores sitios, por que estos alcanzan en menor tiempo el volumen que puede mantener el sitio.

7.8 Las relaciones alométricas obtenidas permiten realizar trabajos de medición forestal en las plantaciones, ahorrando tiempo y recurso, lo cual viene a disminuir los gastos por estas actividades, las cuales se realizan dentro del área de estudio.

8. RECOMENDACIONES

- 8.1 El trabajo realizado en los proyectos que sirva de base para trabajos futuros, en los cuales se pueden evaluar los mejores métodos de manejo de plantaciones, tales como tipo y densidades de raleos y podas, entre otros que serán la base fundamental para el desarrollo de la silvicultura en el área.
- 8.2 Que se validen las ecuaciones generadas para los crecimientos e incrementos en los proyectos u otras regiones con características bioclimáticas similares y puedan tener un uso más extenso.
- 8.3 Será necesaria la corroboración de los límites de los sitios establecidos en los planos, con una medición directa de las alturas dominantes, usando para ello las ecuaciones generadas a través de esta investigación.
- 8.4 Realizar el raleo, de las plantaciones de *Pinus maximinoi*, principalmente en las áreas con los mejores índices de sitio, de tal forma de no desperdiciar la potencialidad de la tierra y de esta manera lograr mejorar el comportamiento de los incrementos. Se recomienda iniciar con los índices de sitio 20 m, que se encuentra únicamente en el proyecto Bosque Nuevo II (apéndice 8) y los índices de sitio 17 m, que se encuentran distribuidos en los cinco proyectos (apéndice 7, 8, 9 y 10). Al realizar el raleo, además de incentivar el crecimiento de la masa forestal en conjunto, se logra obtener una mejor calidad de los individuos que se quedan para ser aprovechados hasta su turno final.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. ALDER, D. 1980. Estimación del volumen y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos. Roma, FAO. V.1 y 2, 118 p. (Estudio FAO Montes 22/1 y 2)
2. BRUCE, D.; SCHUMACHER, F. 1965. Medición forestal. México, Herrero. 474 p.
3. CARE. 1995. Diagnóstico participativo comunitario (DPC); Informe final. Proyecto Mi-cuenca. Chilascó, Salamá, Baja Verapaz. 22 p.
4. CRUZ S., J.R. DE LA. 1983. Clasificación de zonas de vida a nivel de semidetalle del departamento de Baja Verapaz. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 14 p.
5. DANIEL, T.; HELMS, J.; BAKER, F. 1982. Principios de silvicultura. México, Mc. Graw Hill. 492 p.
6. ESCOBEDO, M.A. 1995. Indices de sitio para *Pinus pseudostrobus* Lindl., en los de-Partamentos de Chimaltenango y Sololá. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Univer-sidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. 82 p.
7. FERREIRA R., O. 1995. Manual de ordenación de bosques. Siguatepeque, Honduras, Escuela Nacional de Ciencias Forestales. 128 p.
8. FREUND, J.E.; SIMON, G.A. 1996. Estadística elemental. 8 ed. Mexico, Prentice Hall Hispanoamericana. 575 p.
9. GUATEMALA. INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR. 1978. Mapa topográfico de la re-pública de Guatemala; hoja cartográfica San Jerónimo, no. 2161 II. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
10. GUATEMALA. INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGIA, VULCANOLOGIA, METEO-ROLOGIA E HIDROLOGIA. 1986. Mapas temáticos. Sin Publicar.
11. GUATEMALA. PLAN DE ACCION FORESTAL. 1996. Datos básicos del sector fore-s-tal. Boletín Informativo (Gua) no.1:6.
12. KLEPAC, D. 1983. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Trad. por Rast H. Pirast. Chapingo, México, Escuela Nacional Agrícola. 365 p.
13. MENDEZ, I. 1998. Manual de modelos estadísticos. Montecillos, Chapingo, México, Colegio de Postgraduados. (Correspondencia personal).
14. MONTERROSO, F.J. 1995. Plan de manejo forestal, Proyectos Bosque Nuevo. Gua-temala, Forestadora. 29 p.
15. ORTIZ, L. F. 1995. Parcelas de medición permanente en plantaciones forestales. Guatemala, Reforestadora Industrial. 8 p.

16. NUÑEZ S., O.M. 1986. Estudio de crecimiento y rendimiento de *Pinus maximinoii* H.E. Moore, en Cobán, Alta Verapaz. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. 130 p.
17. PETERS, R. 1977. Tabla de volumen para las especies de coníferas de Guatemala. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 162 p.
18. RIVERO, B.; ZEPEDA, B. 1990. Principios básicos de regulación forestal. México, Universidad Autónoma de Chapingo, División de Ciencias Forestales. 262 p.
19. SPIEGEL, M.R. 1992. Probabilidad y estadística. Trad. por Jairo Osuna Suarez. México, Mc. Grax-Hill. 372 p.
20. VASQUEZ, W. 1987. Desarrollo de índices de sitio y selección de un modelo preliminar de rendimiento para *Pinus caribaea* var. *hondurencis* en la Reserva Forestal La Yeguada, Panamá. Costa Rica, CATIE. 113 p.
21. WALPOLE, R.E.; MYERS, R.H. 1993. Probabilidad y estadística, 4 ed. Trad. por Gerardo Maldonado Vázquez. México, Mc. Graw-Hill. 797 p.
22. ZEPEDA, E.M.; RIVERO, P. 1984. Construcción de curvas anamórficas de índice de sitio; ejemplificación del método de la curva guía. Ciencia Forestal (Mex) 9(51):3-38.



vº. Bº.

Myriam De La Roca

10. APÉNDICES

continuación apéndice 4...

Arbol No 13		Arbol No 14		Arbol No 15		Arbol No 16		Arbol No 17		Arbol No 18	
Edad	Altura(m)	Edad	Altura(m)	Edad	Altura(m)	Edad	Altura(m)	Edad	Altura(m)	Edad	Altura(m)
1	0.3	1	1.3	1	1.3	1	0.3	1	0.3	1	0.3
2	1.3	1	2.3	1	2.3	2	1.3	2	1.3	2	1.3
3	2.3	2	3.3	2	3.3	3	2.3	3	2.3	3	2.3
4	3.3	2	4.3	2	4.3	4	3.3	4	3.3	3	3.3
4	4.3	3	5.3	3	5.3	4	4.3	5	4.3	4	4.3
5	5.3	3	6.3	3	6.3	5	5.3	6	5.3	5	5.3
5	6.3	4	7.3	3	7.3	6	6.3	6	6.3	6	6.3
6	7.3	4	8.3	4	8.3	7	7.3	7	7.3	7	7.3
6	8.3	5	9.3	4	9.3	8	8.3	7	8.3	8	8.3
7	9.3	5	10.3	5	10.3	9	9.3	8	9.3	9	9.3
7	10.3	6	11.3	5	11.3	10	10.3	9	10.3	10	10.3
8	11.3	6	12.3	6	12.3	11	11.3	10	11.3	11	11.3
8	12.3	7	13.3	6	13.3	12	12.3	11	12.3	12	12.3
9	13.3	7	14.3	7	14.3	12	12.5	12	13.3	12	13
10	14.3	8	15.3	8	15.3			12	13.9		
11	15.3	8	16.3	9	16.3						
12	16.3	9	17.3	10	17.3						
12	17.5	9	18.3	11	18.3						
		10	19.3	12	18.7						
		11	20.3								
		12	21.3								

Arbol No 19		Arbol No 20		Arbol No 21		Arbol No 22		Arbol No 23		Arbol No 24	
Edad	Altura(m)	Edad	Altura(m)	Edad	Altura(m)	Edad	Altura(m)	Edad	Altura(m)	Edad	Altura(m)
1	1.3	1	1.3	1	1.3	1	1.3	1	0.3	1	0.3
2	2.3	2	2.3	1	2.3	2	2.3	2	1.3	2	1.3
2	3.3	2	3.3	2	3.3	2	3.3	3	2.3	3	2.3
3	4.3	3	4.3	2	4.3	3	4.3	3	3.3	4	3.3
3	5.3	3	5.3	2	5.3	3	5.3	4	4.3	4	4.3
4	6.3	4	6.3	3	6.3	3	6.3	4	5.3	5	5.3
4	7.3	4	7.3	3	7.3	4	7.3	5	6.3	5	6.3
5	8.3	4	8.3	3	8.3	4	8.3	5	7.3	6	7.3
5	9.3	5	9.3	4	9.3	4	9.3	6	8.3	6	8.3
6	10.3	5	10.3	4	10.3	5	10.3	6	9.3	7	9.3
7	11.3	6	11.3	4	11.3	5	11.3	7	10.3	7	10.3
8	12.3	6	12.3	5	12.3	6	12.3	7	11.3	8	11.3
9	13.3	7	13.3	5	13.3	6	13.3	8	12.3	8	12.3
10	14.3	7	14.3	6	14.3	7	14.3	8	13.3	9	13.3
11	15.3	8	15.3	6	15.3	7	15.3	9	14.3	10	14.3
12	16.3	8	16.3	7	16.3	8	16.3	10	15.3	11	15.3
12	17.4	9	17.3	7	17.3	8	17.3	11	16.3	12	16.95
		10	18.3	8	18.3	9	18.3	12	17.5		
		11	19.3	8	19.3	9	19.3				
		12	20.3	9	20.3	10	20.3				
		12	21.9	9	21.3	11	21.3				
				10	22.3	12	22.5				
				11	23.3						
				12	24.2						

continuación apéndice 4...

Arbol No 25		Arbol No 26		Arbol No 27		Arbol No 28		Arbol No 29		Arbol No 30	
Edad	Altura(m)	Edad	Altura(m)	Edad	Altura(m)	Edad	Altura(m)	Edad	Altura(m)	Edad	Altura(m)
1	0.3	1	0.3	1	1.3	1	0.3	1	0.3	1	0.3
2	1.3	2	1.3	2	2.3	2	1.3	1	1.3	2	1.3
3	2.3	2	2.3	2	3.3	3	2.3	2	2.3	2	2.3
4	3.3	3	3.3	2	4.3	3	3.3	2	3.3	3	3.3
4	4.3	3	4.3	3	5.3	4	4.3	3	4.3	3	4.3
5	5.3	4	5.3	3	6.3	4	5.3	4	5.3	4	5.3
5	6.3	4	6.3	4	7.3	5	6.3	4	6.3	4	6.3
6	7.3	5	7.3	4	8.3	5	7.3	4	7.3	4	7.3
6	8.3	5	8.3	5	9.3	6	8.3	5	8.3	5	8.3
7	9.3	6	9.3	5	10.3	6	9.3	5	9.3	5	9.3
7	10.3	6	10.3	6	11.3	7	10.3	6	10.3	5	10.3
8	11.3	7	11.3	6	12.3	7	11.3	6	11.3	6	11.3
9	12.3	7	12.3	7	13.3	8	12.3	7	12.3	6	12.3
10	13.3	8	13.3	7	14.3	8	13.3	8	13.3	7	13.3
11	14.3	9	14.3	8	15.3	9	14.3	8	14.3	7	14.3
12	15.8	10	15.3	8	16.3	10	15.3	9	15.3	8	15.3
		11	16.3	9	17.3	11	16.3	10	16.3	8	16.3
		11	17.1	9	18.3	11	17.5	11	17.3	9	17.3
				10	19.3			11	18.2	10	18.3
				10	20.3					11	20
				11	21.9						

Arbol No 31		Arbol No 32		Arbol No 33		Arbol No 34	
Edad	Altura(m)	Edad	Altura(m)	Edad	Altura(m)	Edad	Altura(m)
1	0.3	1	1.3	1	1.3	1	1.3
2	1.3	2	2.3	2	2.3	1	2.3
3	2.3	2	3.3	2	3.3	2	3.3
3	3.3	3	4.3	3	4.3	2	4.3
4	4.3	3	5.3	3	5.3	3	5.3
4	5.3	4	6.3	3	6.3	3	6.3
5	6.3	4	7.3	4	7.3	3	7.3
5	7.3	4	8.3	4	8.3	4	8.3
6	8.3	5	9.3	5	9.3	4	9.3
6	9.3	5	10.3	6	10.3	5	10.3
7	10.3	6	11.3	6	11.3	5	11.3
7	11.3	7	12.3	7	12.3	6	12.3
8	12.3	8	13.3	7	13.3	6	13.3
8	13.3	8	14.3	8	14.3	7	14.3
9	14.3	9	15.7	8	15.3	7	15.3
10	15.3			9	16.3	8	16.3
11	16.3			9	17.2	8	17.3
11	16.7					9	18.4

Apéndice 5, Cuadro 20A.

Tabla de Calidad /Índice de Sitio, para los Proyectos
Bosque Nuevo, San Jerónimo, Baja Verapaz.

Edad en años	Calidad / Índice de Sitio				
	I	II	III	IV	V
	20 m	17 m	14 m	11 m	8 m
1	0.813459	0.691453	0.569464	0.447419	0.325413
2	2.960338	2.516334	2.072391	1.628246	1.184242
3	5.502100	4.676873	3.851758	3.026267	2.201040
4	8.113044	6.896218	5.679557	4.462339	3.245512
5	10.679798	9.078000	7.476419	5.874106	4.272307
6	13.160541	11.186672	9.213069	7.238565	5.264694
7	15.541284	13.210341	10.879714	8.548022	6.217077
8	17.819790	15.147108	12.474788	9.801247	7.128563
9	19.998942	16.999422	14.000309	10.999825	8.000303
10	22.083774	18.771563	15.459800	12.146525	8.834311
11	24.080085	20.468460	16.857323	13.244537	9.632908
12	25.993778	22.095129	18.197008	14.297106	10.398454

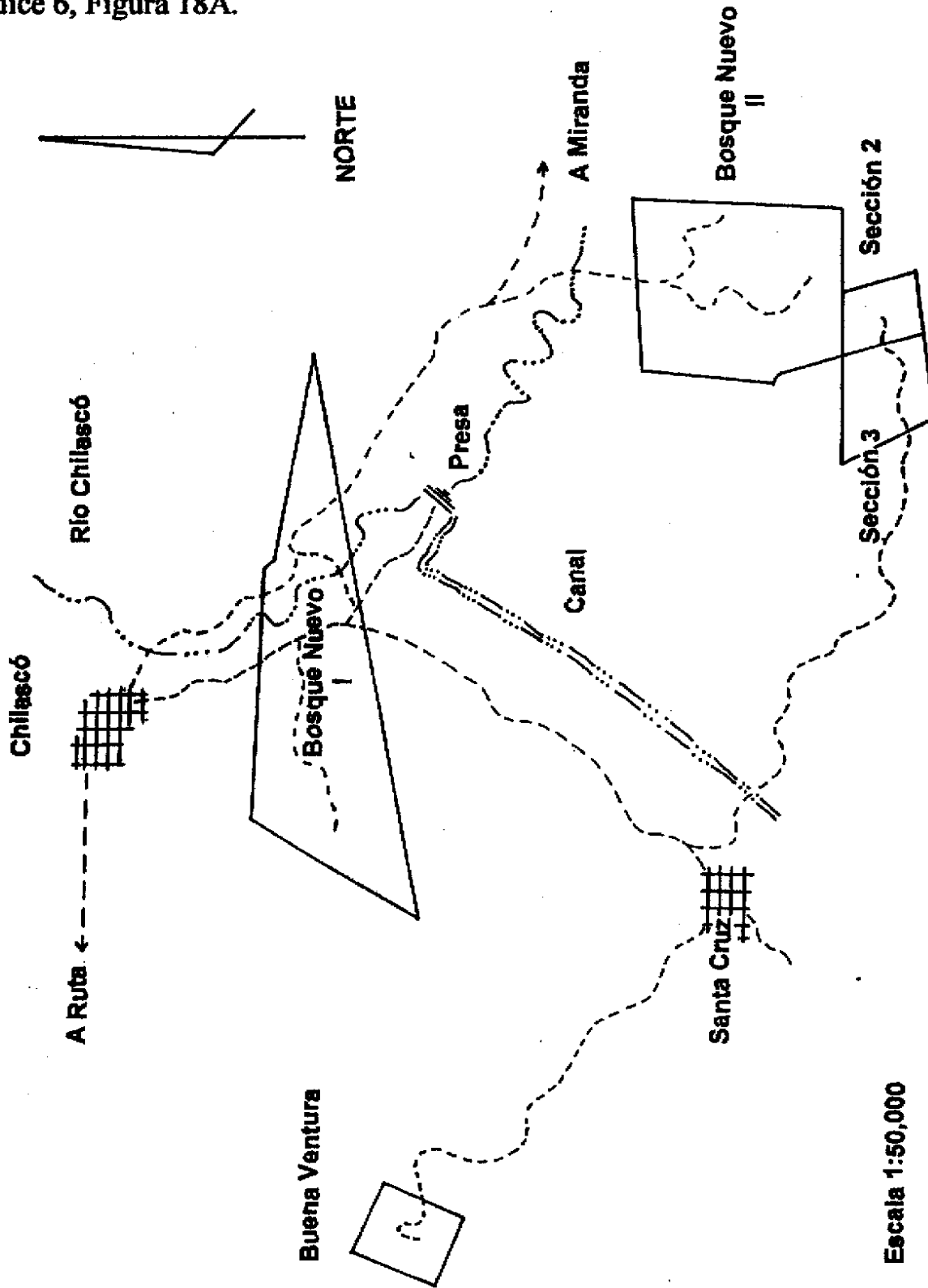


Figura 18. Ubicación de los Proyectos Bosque Nuevo.

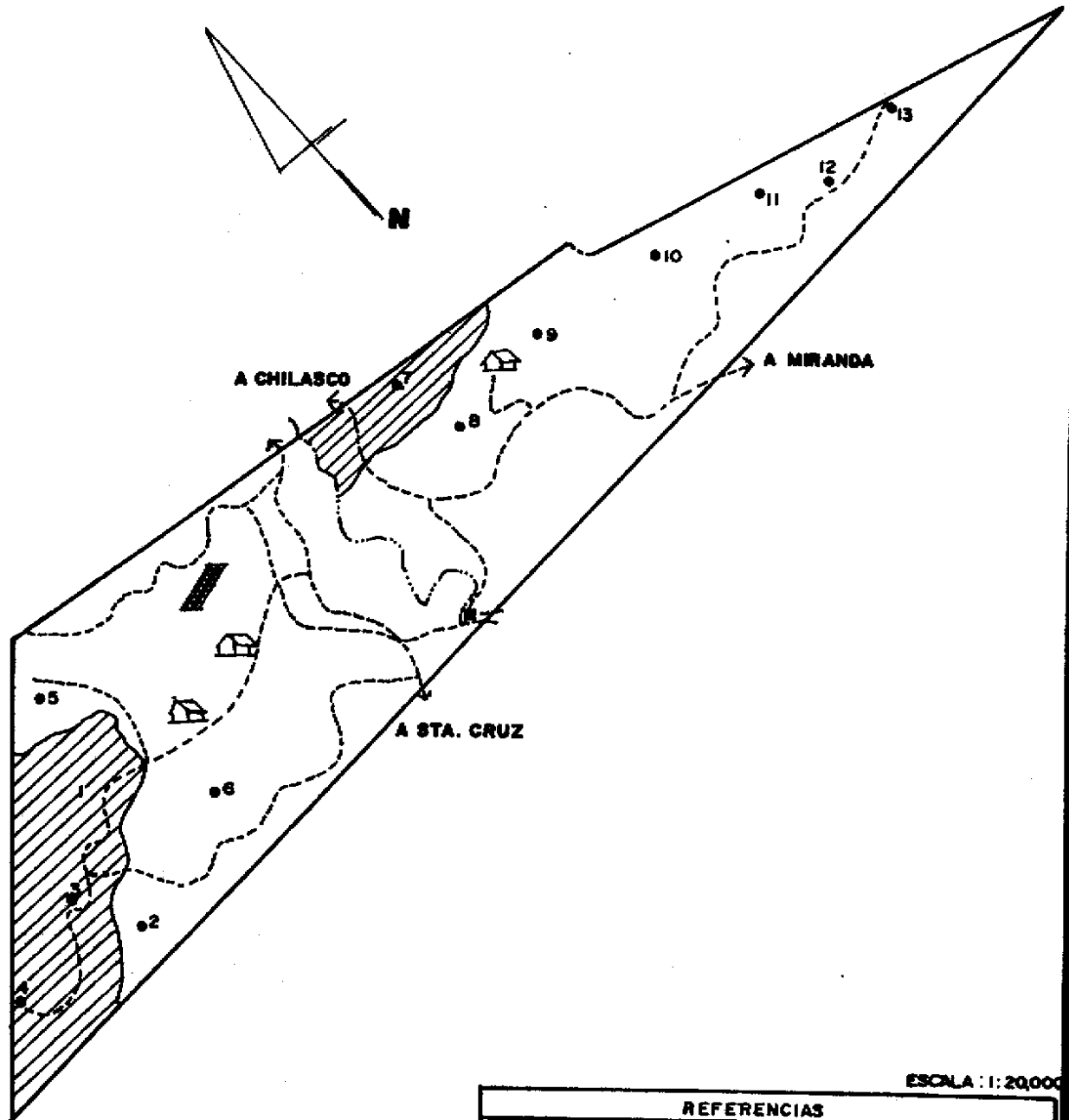
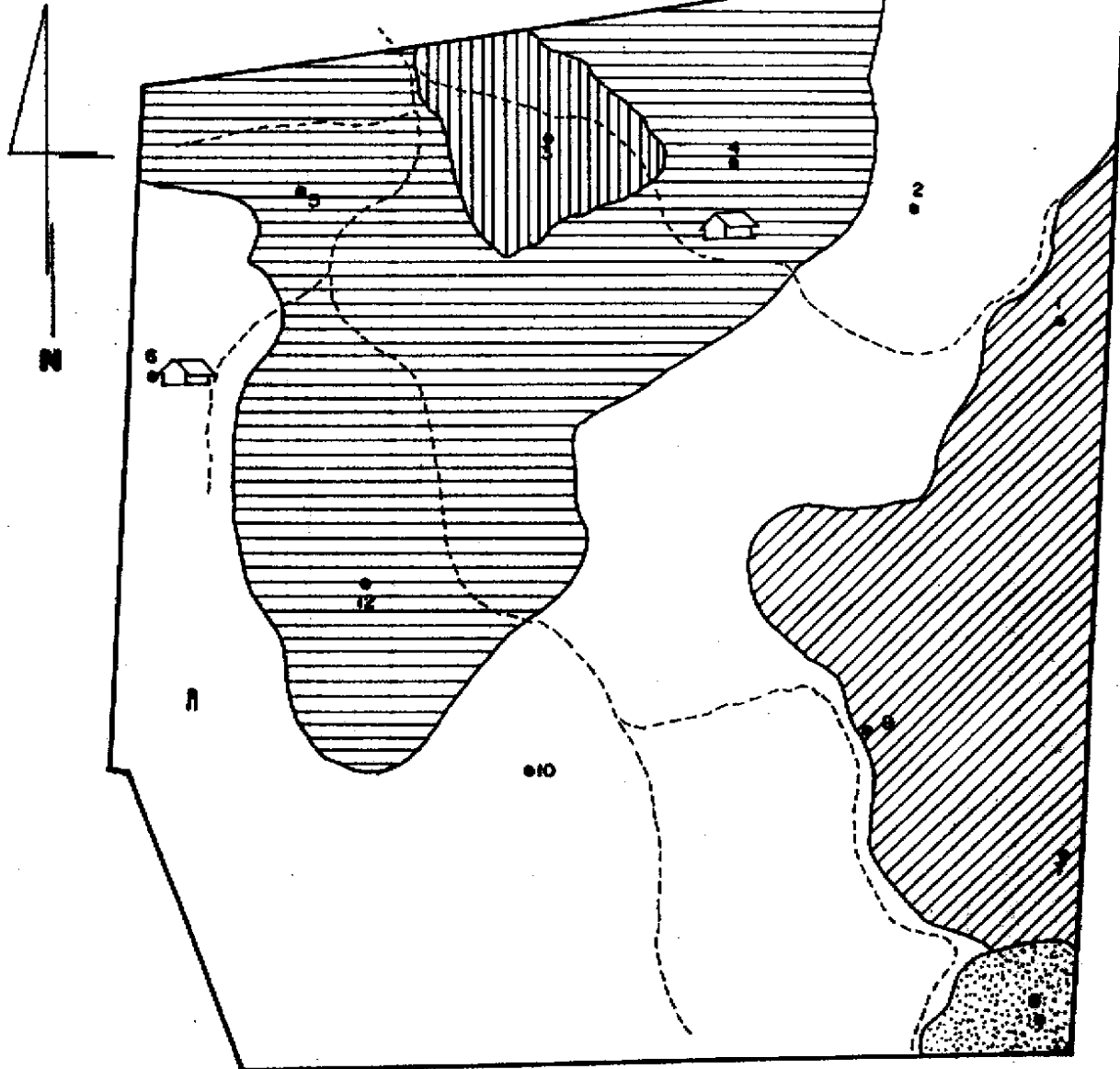


Figura 19A Plano del Proyecto Bosque Nuevo I.

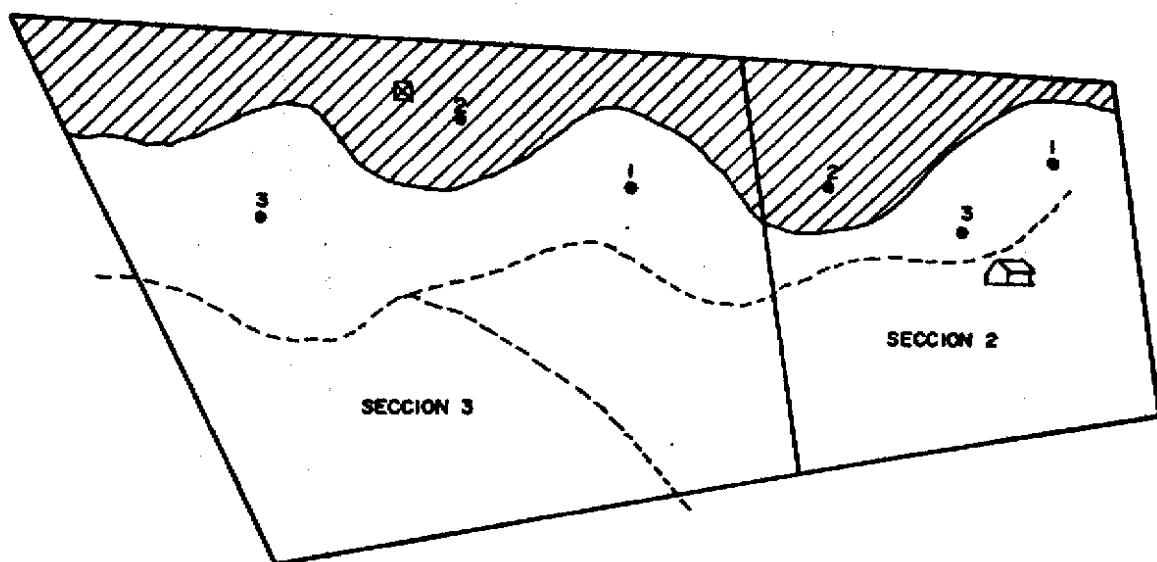
REFERENCIAS	
---	CARRETERA BALASTRADA
----	CARRETERA DE TERRACERIA
~~~~~	RIO CHILASCO
	GUARDIANA
	PISCICOLAS
●	PARCELAS
■	OFICINAS ADMINISTRATIVAS
	INDICE DE SITIO 14 (en JEE)
	INDICE DE SITIO 17 (en JEE)



ESCALA : 1 : 10,000

Figura 20A Plano del Proyecto Bosque Nuevo II.

REFERENCIAS	
---	CARRETERA DE TERRACERIA
🏠	GUARDANIA
•	IND. PARCELAS
▨	INDICE DE SITIO 20
▧	INDICE DE SITIO 17
□	INDICE DE SITIO 14
▬	INDICE DE SITIO 11
▮	INDICE DE SITIO 13



ESCALA: 1:10,000

Figura 21A Plano de los Proyectos  
Bosque Nuevo II,  
Sección 2 y 3.

REFERENCIAS	
---	CARRETERA DE TERRACERIA
	GUARDANIA
	MIRADOR
	PARCELA
	INDICE DE SITIO 17
	INDICE DE SITIO 14

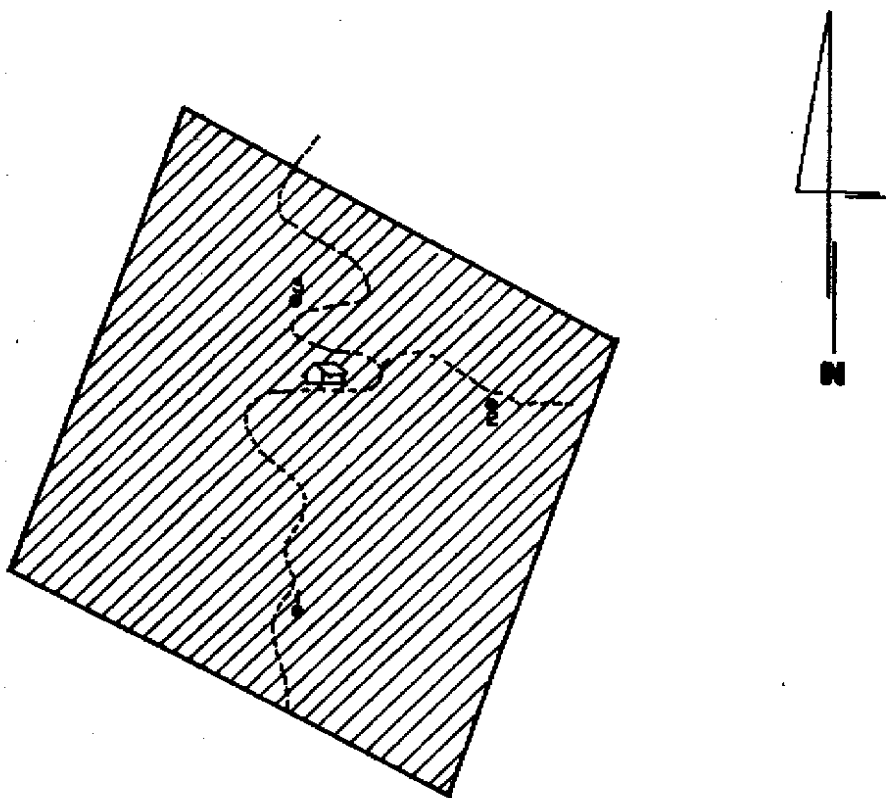




Figura 22A Plano del Proyecto Buena Ventura

ESCALA : 1 : 10,000

REFERENCIAS	
---	VEREDA
	GUARDIANA
●	PARCELA
	INDICE DE SITIO 17

## Apéndice 11, Cuadro 21A.

## ANDEVAS PARA RELACIONES DE CRECIMIENTOS EN ALTURA

Cuadro Resumen del ANDEVA, para los 6 modelos de regresión simple, probados para los datos de campo en parcelas con Índice de Sitio 20m (Calidad de Sitio I)

Modelo	SCM	SCE	CME	F Valor	r	r ²
$Y = b_0 + b_1 X$ (lineal)	880.98	13.35	0.67	1319.85	0.993	0.985
$Y = b_0 * X^{b_1}$ (logarítmico)	14.26	8.16	0.44	32.55	0.787	0.619
$Y = b_0 * b_1^X$ (geométrico)	16.72	6.29	0.31	53.15	0.852	0.727
$Y = b_0 + (b_1 * X) + (b_2 * x^2)$ (cuadrático)	886.72	7.61	0.40	1108.40	0.996	0.991
$Y = b_0 + b_1 X + b_2 X^{(1/2)}$ (Raíz)	883.42	10.91	0.57	774.93	0.994	0.988
$Y = b_0 * (e^{(b_1 X)}) * X^{b_2}$ (Gama)	21.16	1.85	0.10	105.8	0.959	0.919

Cuadro Resumen del ANDEVA, para los 6 modelos de regresión simple, probados Para los datos de campo en parcelas con Índice de Sitio 17m (Calidad de Sitio II)

Modelo	SCM	SCE	CME	F Valor	r	r ²
$Y = b_0 + b_1 X$ (lineal)	19.18	7611.99	33.53	0.57	0.050	0.003
$Y = b_0 * X^{b_1}$ (logarítmico)	322.27	1148.45	5.06	63.7	0.468	0.219
$Y = b_0 * b_1^X$ (geométrico)	1.96	1468.76	6.47	0.3	0.037	0.001
$Y = b_0 + (b_1 * X) + (b_2 * x^2)$ (cuadrático)	6572.66	1468.76	6.50	505.67	0.928	0.861
$Y = b_0 + b_1 X + b_2 X^{(1/2)}$ (Raíz)	6155.1	1468.76	6.50	473.55	0.898	0.806
$Y = b_0 * (e^{(b_1 X)}) * X^{b_2}$ (Gama)	324.39	1146.33	5.07	24.95	0.47	0.221

Cuadro Resumen del ANDEVA, para los 6 modelos de regresión simple, probados Para los datos de campo en parcelas con Índice de Sitio 14m (Calidad de Sitio III)

Modelo	SCM	SCE	CME	F Valor	r	r ²
$Y = b_0 + b_1 X$ (lineal)	4918.23	268.32	1.14	4325.79	0.974	0.948
$Y = b_0 * X^{b_1}$ (logarítmico)	234.88	11.71	0.05	4731.99	0.976	0.953
$Y = b_0 * b_1^X$ (geométrico)	186.41	60.18	0.26	730.94	0.869	0.756
$Y = b_0 + (b_1 * X) + (b_2 * x^2)$ (cuadrático)	4925.15	261.40	1.11	2218.54	0.974	0.95
$Y = b_0 + b_1 X + b_2 X^{(1/2)}$ (Raíz)	4920.93	265.62	1.13	2177.40	0.974	0.949
$Y = b_0 * (e^{(b_1 X)}) * X^{b_2}$ (Gama)	239.97	6.62	0.03	3999.67	0.986	0.973

Cuadro Resumen del ANDEVA, para los 6 modelos de regresión simple, probados para los datos de campo en parcelas con Índice de Sitio 11m (Calidad de Sitio IV)

Modelo	SCM	SCE	CME	F Valor	r	r ²
$Y = b_0 + b_1 X$ (lineal)	672.94	26.79	0.67	1004.85	0.981	0.962
$Y = b_0 * X^{b_1}$ (logarítmico)	38.94	4.19	0.1	371.34	0.950	0.903
$Y = b_0 * b_1^X$ (geométrico)	32.2	10.94	0.27	117.78	0.864	0.746
$Y = b_0 + (b_1 * X) + (b_2 * x^2)$ (cuadrático)	673.96	25.77	0.66	510.58	0.981	0.963
$Y = b_0 + b_1 X + b_2 X^{(1/2)}$ (Raíz)	673.59	26.14	0.67	502.67	0.981	0.963
$Y = b_0 * (e^{(b_1 X)}) * X^{b_2}$ (Gama)	39.87	3.26	0.08	249.25	0.961	0.924

Cuadro Resumen del ANDEVA, para los 6 modelos de regresión simple, probados para los datos de campo en parcelas con Índice de Sitio 8m (Calidad de Sitio V)

Modelo	SCM	SCE	CME	F Valor	r	r ²
$Y = b_0 + b_1 X$ (lineal)	141.94	0.8	0.08	1771.49	0.997	0.994
$Y = b_0 * X^{b_1}$ (logarítmico)	332.99	221.56	22.16	15.03	0.775	0.601
$Y = b_0 * b_1^X$ (geométrico)	184.89	369.66	36.97	5	0.577	0.333
$Y = b_0 + (b_1 * X) + (b_2 * x^2)$ (cuadrático)	141.96	0.78	0.09	788.67	0.997	0.995
$Y = b_0 + b_1 X + b_2 X^{(1/2)}$ (Raíz)	142.02	0.72	0.08	887.63	0.997	0.995
$Y = b_0 * (e^{(b_1 X)}) * X^{b_2}$ (Gama)	487.12	67.43	7.49	32.52	0.937	0.878



## Apéndice 12, Cuadro 22A.

## ANDEVAS PARA RELACIONES DE CRECIMIENTOS EN D.A.P

Cuadro Resumen del ANDEVA, para los 6 modelos de regresión simple, probados para los datos de campo en parcelas con Índice de Sitio 20m (Calidad de Sitio I)

Modelo	SCM	SCE	CME	F Valor	r	r ²
$Y = b_0 + b_1 X$ (lineal)	451.89	1.01	0.1	4482.47	0.999	0.998
$Y = b_0 \cdot X^{b_1}$ (logarítmico)	17.46	1.24	0.12	140.88	0.966	0.934
$Y = b_0 \cdot b_1^X$ (geométrico)	13.22	5.48	0.55	24.1	0.841	0.707
$Y = b_0 + (b_1 \cdot X) + (b_2 \cdot x^2)$ (cuadrático)	452.06	0.64	0.07	3178.55	0.999	0.999
$Y = b_0 + b_1 X + b_2 X^{1/2}$ (Raíz)	452.11	0.59	0.07	3448.30	0.999	0.999
$Y = b_0 \cdot (e^{(b_1 X)}) \cdot X^{b_2}$ (Gama)	18.42	0.28	0.03	296.04	0.993	0.985

Cuadro Resumen del ANDEVA, para los 6 modelos de regresión simple, probados para los datos de campo en parcelas con Índice de Sitio 17m (Calidad de Sitio II)

Modelo	SCM	SCE	CME	F Valor	r	r ²
$Y = b_0 + b_1 X$ (lineal)	4834.21	139.14	1.06	4551.45	0.985	0.972
$Y = b_0 \cdot X^{b_1}$ (logarítmico)	1540.8	2194.3	16.75	91.99	0.642	0.412
$Y = b_0 \cdot b_1^X$ (geométrico)	962.63	2772.45	21.16	45.48	0.507	0.258
$Y = b_0 + (b_1 \cdot X) + (b_2 \cdot x^2)$ (cuadrático)	4838.15	135.20	1.04	2326.04	0.986	0.973
$Y = b_0 + b_1 X + b_2 X^{1/2}$ (Raíz)	4834.93	138.42	1.07	2270.40	0.986	0.972
$Y = b_0 \cdot (e^{(b_1 X)}) \cdot X^{b_2}$ (Gama)	1871.02	1864.05	14.34	62.24	0.708	0.501

Cuadro Resumen del ANDEVA, para los 6 modelos de regresión simple, probados para los datos de campo en parcelas con Índice de Sitio 14m (Calidad de Sitio III)

Modelo	SCM	SCE	CME	F Valor	r	r ²
$Y = b_0 + b_1 X$ (lineal)	7092.1	194.11	0.98	7234.12	0.986	0.973
$Y = b_0 \cdot X^{b_1}$ (logarítmico)	1966.16	3608.05	18.22	107.9	0.594	0.353
$Y = b_0 \cdot b_1^X$ (geométrico)	1499.47	4074.74	20.58	78.86	0.519	0.269
$Y = b_0 + (b_1 \cdot X) + (b_2 \cdot x^2)$ (cuadrático)	7157.93	128.28	0.65	5496.24	0.991	0.982
$Y = b_0 + b_1 X + b_2 X^{1/2}$ (Raíz)	7173.33	112.88	0.57	6259.51	0.992	0.984
$Y = b_0 \cdot (e^{(b_1 X)}) \cdot X^{b_2}$ (Gama)	2066.22	3507.99	17.81	58.02	0.609	0.371

Cuadro Resumen del ANDEVA, para los 6 modelos de regresión simple, probados para los datos de campo en parcelas con Índice de Sitio 11m (Calidad de Sitio IV)

Modelo	SCM	SCE	CME	F Valor	r	r ²
$Y = b_0 + b_1 X$ (lineal)	1063.45	17.26	0.51	2094.92	0.992	0.984
$Y = b_0 \cdot X^{b_1}$ (logarítmico)	100.86	5.17	0.15	663.02	0.975	0.961
$Y = b_0 \cdot b_1^X$ (geométrico)	84.72	21.31	0.63	135.13	0.894	0.799
$Y = b_0 + (b_1 \cdot X) + (b_2 \cdot x^2)$ (cuadrático)	1077.84	2.87	0.08	6196.64	0.999	0.997
$Y = b_0 + b_1 X + b_2 X^{1/2}$ (Raíz)	1079.72	0.99	0.03	17995.33	0.999	0.999
$Y = b_0 \cdot (e^{(b_1 X)}) \cdot X^{b_2}$ (Gama)	101.7	4.33	0.13	387.64	0.979	0.959

Cuadro Resumen del ANDEVA, para los 6 modelos de regresión simple, probados para los datos de campo en parcelas con Índice de Sitio 8m (Calidad de Sitio V)

Modelo	SCM	SCE	CME	F Valor	r	r ²
$Y = b_0 + b_1 X$ (lineal)	143.63	7.73	0.97	148.72	0.974	0.949
$Y = b_0 \cdot X^{b_1}$ (logarítmico)	382.94	150.95	18.87	20.3	0.647	0.717
$Y = b_0 \cdot b_1^X$ (geométrico)	241.83	292.10	36.51	6.62	0.673	0.453
$Y = b_0 + (b_1 \cdot X) + (b_2 \cdot x^2)$ (cuadrático)	150.51	0.85	0.12	619.70	0.997	0.994
$Y = b_0 + b_1 X + b_2 X^{1/2}$ (Raíz)	151.02	0.34	0.05	1554.62	0.999	0.998
$Y = b_0 \cdot (e^{(b_1 X)}) \cdot X^{b_2}$ (Gama)	482.99	50.90	7.27	33.21	0.951	0.905

Apéndice 13, Cuadro 23A.

**ANDEVAS PARA RELACIONES DE CRECIMIENTOS EN VOLUMEN**

Cuadro Resumen del ANDEVA, para los 6 modelos de regresión simple, probados para los datos de campo en parcelas con Índice de Sitio 20m (Calidad de Sitio I)

Modelo	SCM	SCE	CME	F Valor	r	r ²
Y=bo + b1 X (lineal)	0.1074	0.031	0.00001	34.68	0.881	0.776
Y=bo * X^b1 (logarítmico)	43.05	6.67	0.67	64.58	0.931	0.866
Y=bo * b1 ^X(geométrico)	45	4.72	0.47	95.31	0.951	0.905
Y=bo+(b1 *X)+(b2 * x^2)(cuadrático)	0.13	0.01	0.001111	63.0063	0.972	0.945
Y=bo+b1 X+b2 X^(1/2) (Raiz)	0.1266	0.01	0.0011	54.55	0.956	0.915
Y=bo * (e^(b1 X)) * X^b2 (Gama)	45.44	4.28	0.476	47.73109	0.956	0.914

Cuadro Resumen del ANDEVA, para los 6 modelos de regresión simple, probados para los datos de campo en parcelas con Índice de Sitio 17m (Calidad de Sitio II)

Modelo	SCM	SCE	CME	F Valor	r	r ²
Y=bo + b1 X (lineal)	0.6263	0.1947	0.0001	421.42	0.873	0.763
Y=bo * X^b1 (logarítmico)	2035.85	1392.28	10.63	191.55	0.771	0.594
Y=bo * b1 ^X(geométrico)	1939.26	1488.87	11.37	170.5594	0.752	0.566
Y=bo+(b1 *X)+(b2 * x^2)(cuadrático)	0.7597	0.06	0.00046	826.09	0.962	0.925
Y=bo+b1 X+b2 X^(1/2) (Raiz)	0.7186	0.10	0.0008	450.00	0.936	0.875
Y=bo * (e^(b1 X)) * X^b2 (Gama)	2291.64	1136.49	8.74	131.06	0.818	0.668

Cuadro Resumen del ANDEVA, para los 6 modelos de regresión simple, probados para los datos de campo en parcelas con Índice de Sitio 14m (Calidad de Sitio III)

Modelo	SCM	SCE	CME	F Valor	r	r ²
Y=bo + b1 X (lineal)	0.5577	0.8131	0.0001	135.8	0.638	0.407
Y=bo * X^b1 (logarítmico)	4885.56	1273.33	6.43	759.69	0.891	0.793
Y=bo * b1 ^X(geométrico)	3544.27	2614.62	13.21	268.302	0.759	0.575
Y=bo+(b1 *X)+(b2 * x^2)(cuadrático)	0.6441	0.727	0.004	80.00	0.686	0.45
Y=bo+b1 X+b2 X^(1/2) (Raiz)	0.6365	0.73	0.004	80.00	0.681	0.464
Y=bo * (e^(b1 X)) * X^b2 (Gama)	5302.8	856.09	4.35	609.52	0.928	0.861

Cuadro Resumen del ANDEVA, para los 6 modelos de regresión simple, probados para los datos de campo en parcelas con Índice de Sitio 11m (Calidad de Sitio IV)

Modelo	SCM	SCE	CME	F Valor	r	r ²
Y=bo + b1 X (lineal)	0.0708	0.0201	0.00001	120.04	0.883	0.779
Y=bo * X^b1 (logarítmico)	510.87	336.22	9.89	51.66	0.777	0.603
Y=bo * b1 ^X(geométrico)	458.93	388.16	11.42	40.18651	0.736	0.542
Y=bo+(b1 *X)+(b2 * x^2)(cuadrático)	0.0853	0.0055	0.00017	235.29	0.969	0.939
Y=bo+b1 X+b2 X^(1/2) (Raiz)	0.083	0.0078	0.00024	166.67	0.956	0.914
Y=bo * (e^(b1 X)) * X^b2 (Gama)	510.88	336.21	10.19	25.07	0.777	0.603

Cuadro Resumen del ANDEVA, para los 6 modelos de regresión simple, probados para los datos de campo en parcelas con Índice de Sitio 8m (Calidad de Sitio V)

Modelo	SCM	SCE	CME	F Valor	r	r ²
Y=bo + b1 X (lineal)	0.0049	0.0013	0.00001	30.21	0.889	0.791
Y=bo * X^b1 (logarítmico)	270.66	53.58	6.7	40.41	0.914	0.835
Y=bo * b1 ^X(geométrico)	198.55	125.69	15.71	12.63845	0.783	0.612
Y=bo+(b1 *X)+(b2 * x^2)(cuadrático)	0.0066	0.0000	0.00001	217.00	0.997	0.994
Y=bo+b1 X+b2 X^(1/2) (Raiz)	0.006	0.0002	0.00003	100.00	0.98	0.96
Y=bo * (e^(b1 X)) * X^b2 (Gama)	296.65	27.59	3.94	37.64	0.957	0.915

Apéndice 14, Cuadro 24A.

**ANDEVAS PARA RELACION ALOMETRICA DAP(cm)- ALTURA TOTAL(m).**

Cuadro Resumen del ANDEVA, para los 6 modelos de regresión simple, probados para los datos de campo en parcelas con Índice de Sitio 20m (Calidad de Sitio I)

Modelo	SCM	SCE	CME	F Valor	r	r ²
$Y = b_0 + b_1 X$ (lineal)	663.68	21.3	3.55	186.95	0.984	0.969
$Y = b_0 \cdot X^{b_1}$ (logarítmico)	595.23	0.1852	0.03	19.285	0.999	0.999
$Y = b_0 \cdot b_1^X$ (geométrico)	286.26	309.15	51.53	5.56	0.693	0.481
$Y = b_0 + (b_1 \cdot X) + (b_2 \cdot x^2)$ (cuadrático)	680.86	4.12	0.824	413.14	0.997	0.994
$Y = b_0 + b_1 X + b_2 X^{1/2}$ (Raíz)	684.29	0.89	0.1380	2479.30	0.999	0.999
$Y = b_0 \cdot (e^{(b_1 X)}) \cdot X^{b_2}$ (Gama)	595.4	0.01	0.002	148850	0.999	0.999

Cuadro Resumen del ANDEVA, para los 6 modelos de regresión simple, probados para los datos de campo en parcelas con Índice de Sitio 17m (Calidad de Sitio II)

Modelo	SCM	SCE	CME	F Valor	r	r ²
$Y = b_0 + b_1 X$ (lineal)	1033.41	48.7	0.7	1466.3	0.977	0.958
$Y = b_0 \cdot X^{b_1}$ (logarítmico)	668.53	0.64	0.01	73055.6	0.999	0.999
$Y = b_0 \cdot b_1^X$ (geométrico)	176.43	492.73	7.04	25.06	0.513	0.264
$Y = b_0 + (b_1 \cdot X) + (b_2 \cdot x^2)$ (cuadrático)	1059.97	22.14	0.32000	1851.73	0.99	0.98
$Y = b_0 + b_1 X + b_2 X^{1/2}$ (Raíz)	1067.92	14.19	0.2100	2596.42	0.993	0.987
$Y = b_0 \cdot (e^{(b_1 X)}) \cdot X^{b_2}$ (Gama)	669.11	0.06	0.00	384732.0	0.999	0.999

Cuadro Resumen del ANDEVA, para los 6 modelos de regresión simple, probados para los datos de campo en parcelas con Índice de Sitio 14m (Calidad de Sitio III)

Modelo	SCM	SCE	CME	F Valor	r	r ²
$Y = b_0 + b_1 X$ (lineal)	1113.91	84.52	0.76	1462.9	0.964	0.929
$Y = b_0 \cdot X^{b_1}$ (logarítmico)	670.49	0.87	0.01	85371.6	0.999	0.999
$Y = b_0 \cdot b_1^X$ (geométrico)	158.28	513.07	4.62	34.24	0.466	0.236
$Y = b_0 + (b_1 \cdot X) + (b_2 \cdot x^2)$ (cuadrático)	1140.94	57.490	0.520	1091.50	0.976	0.952
$Y = b_0 + b_1 X + b_2 X^{1/2}$ (Raíz)	1149.85	48.68	0.440	1301.79	0.979	0.959
$Y = b_0 \cdot (e^{(b_1 X)}) \cdot X^{b_2}$ (Gama)	671.17	0.19	0.00	194288.9	0.999	0.999

Cuadro Resumen del ANDEVA, para los 6 modelos de regresión simple, probados para los datos de campo en parcelas con Índice de Sitio 11m (Calidad de Sitio IV)

Modelo	SCM	SCE	CME	F Valor	r	r ²
$Y = b_0 + b_1 X$ (lineal)	386.61	6.93	0.41	899.04	0.991	0.981
$Y = b_0 \cdot X^{b_1}$ (logarítmico)	7.808	0.237	0.01	559.4	0.985	0.971
$Y = b_0 \cdot b_1^X$ (geométrico)	5.9084	2.14	0.13	46.99	0.857	0.734
$Y = b_0 + (b_1 \cdot X) + (b_2 \cdot x^2)$ (cuadrático)	370.48	3.0700	0.19000	965.42	0.986	0.982
$Y = b_0 + b_1 X + b_2 X^{1/2}$ (Raíz)	372.22	1.3300	0.08300	2238.90	0.998	0.996
$Y = b_0 \cdot (e^{(b_1 X)}) \cdot X^{b_2}$ (Gama)	7.95	0.10	0.01	635.20	0.994	0.988

Cuadro Resumen del ANDEVA, para los 6 modelos de regresión simple, probados para los datos de campo en parcelas con Índice de Sitio 8m (Calidad de Sitio V)

Modelo	SCM	SCE	CME	F Valor	r	r ²
$Y = b_0 + b_1 X$ (lineal)	203.12	1.19	0.2	1025.9	0.997	0.994
$Y = b_0 \cdot X^{b_1}$ (logarítmico)	559.33	0.05	0.01	61779.6	0.999	0.999
$Y = b_0 \cdot b_1^X$ (geométrico)	294.02	285.36	44.23	6.65	0.728	0.536
$Y = b_0 + (b_1 \cdot X) + (b_2 \cdot x^2)$ (cuadrático)	203.18	1.1200	0.22400	453.53	0.997	0.995
$Y = b_0 + b_1 X + b_2 X^{1/2}$ (Raíz)	203.14	1.1700	0.23400	434.10	0.997	0.994
$Y = b_0 \cdot (e^{(b_1 X)}) \cdot X^{b_2}$ (Gama)	559.35	0.03	0.01	46613.30	0.999	0.999

## Apéndice 15, Cuadro 25A.

Modelo	SCM	SCE	CME	F val.	r	r ²
$Y = b_0 + b_1 X$ (lineal)	0.5172	0.1164	0.000001	142.13	0.9034	0.8162
$Y = b_0 * X^{b_1}$ (logaritmico)	6.2780	1.1515	0.04	174.46	0.919	0.845
$Y = b_0 * b_1^{X}$ (geométrico)	6.1928	1.2367	0.04	160.24	0.913	0.833
$Y = b_0 + b_1 X + b_2 X^2$ (cuadrático)	0.5174	0.1162	0.004	69.36	0.904	0.817
$Y = b_0 + b_1 X + b_2 X^{1/2}$ (Raiz)	0.5179	0.1157	0.004	69.66	0.904	0.817
$Y = b_0 * (e^{(b_1 X)}) * X^{b_2}$ (Gama)	6.2785	1.151	0.037	84.57	0.919	0.845

## Apéndice 16, Cuadro 26A.

Clase de Sitio	Indice de Sitio	Proyecto	Parcela No.		
I	20 m	Bosque Nuevo II	08		
		Bosque Nuevo I	01		
			03		
			04		
			07		
II	17 m	Bosque Nuevo II	01		
			07		
			09		
		Sección II	02		
		Sección III	02		
		Buena Ventura	01		
			02		
			03		
		III	14 m	Bosque Nuevo I	02
					05
06					
08					
09					
10					
11					
12					
Bosque Nuevo II	13				
	02				
	06				
	10				
Sección 2	11				
	01				
	03				
Sección 3	01				
	03				
IV	11 m	Bosque Nuevo II	04		
			05		
			12		
V	08 m	Bosque Nuevo II	3		

## Apéndice 17, Cuadro 27A.

## Programa empleado en SAS

```

OPTIONS LS=75 PS=80 NODATE;
DATA Chilascó;
INFILE 'A:INSITE2.PRN';
INPUT E H;
LNH=LOG(H); EK=1/(E**0.357603); LNE=LOG(E);
LNE2=LNE*LNE; E2=E*E; E2DH=E2/H; INVE=1/(E);
PROC PRINT;
VAR E H LNH EK LNE LNE2 E2 E2DH INVE;
RUN;
PROC REG;
TITLE 'MODELOS PARA LA RELACION EDAD-ALTURA';
MODEL LNH= EK;
MODEL LNH= LNE LNE2;
MODEL E2DH= E E2;
MODEL E2DH= E2;
MODEL LNH= INVE;
RUN;
□

```

## Apéndice 18, Cuadro 28A.

## Resultados de la prueba de Bondad de Ajuste.

Modelo	Schumager	G. Backman
Grados de libertad (error puro)	616	616
Suma de Cuadrados (error puro)	66.5204	66.5204
Varianza (error puro)	0.10799	0.10799
Suma de Cuadrados (fuente de ajuste)	0.9396	0.5896
Grados de libertad (fuente de ajuste)	10	9
Cuadrado Medio (fuente de ajuste)	0.09396	0.06329
Valor de F (tabla)	2.32	2.41
Valor de F (calculada)	0.8701	0.5861

* Si F calculada es menor que F de tabla, se hacepta hipótesis nula, modelo apropiado.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



Ref. Sem.028-2000

FACULTAD DE AGRONOMIA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES  
AGRONOMICAS

LA TESIS TITULADA: "GENERACION DE CURVAS PARCIALES DE INDICE DE SITIO EN UNA PLANTACION DE *Pinus maximiliani* H.E. Moore EN LOS PROYECTOS BOSQUE NUEVO, SAN JERONIMO, BAJA VERAPAZ".

DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE: EDWIN ESTUARDO VAIDES LOPEZ

CARNET No: 9113831

HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES: Ing. Agr. Boris A. Méndez Paiz  
Ing. Agr. Víctor M. Alvarez Cajas  
Ing. Agr. Edgar A. Martínez Tambito  
Ing. Agr. Pedro Peláez Reyes

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

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

  
Ing. Agr. M.Sc. Álvaro Hernández Dávila  
D I R E C T O R D E L I A.

I M P R I M A S E

  
Ing. Agr. M.Sc. Edg. Oswaldo Franco Rivera  
D E C A N O

cc:Control Académico  
Archivo  
IIA.

AH/prc.

APARTADO POSTAL 1545 § 01091 GUATEMALA, C.A.  
TEL/FAX (502) 476-9794  
e-mail: [liusac.edu.gt](mailto:liusac.edu.gt) § <http://www.usac.edu.gt/facultades/agronomia.htm>