

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



**"INDICES DE SITIO PARA
Pinus pseudostrobus Lindl., EN LOS DEPARTAMENTOS
DE CHIMALTENANGO Y SOLOLA"**

MARIO ARTURO ESCOBEDO LOPEZ

Guatemala, noviembre de 1995

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central



01
T(1583)

i

c.4

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

INDICES DE SITIO PARA *Pinus pseudostrobus* Lindl.,
EN LOS DEPARTAMENTOS DE CHIMALTENANGO Y SOLOLA.

TESIS

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

POR

MARIO ARTURO ESCOBEDO LOPEZ

En el acto de investidura como

INGENIERO AGRONOMO

EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

EN EL GRADO ACADEMICO DE

LICENCIADO

Guatemala, noviembre de 1995



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**RECTOR****Dr. JAFETH ERNESTO CABRERA FRANCO****JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA**

DECANO	ING. AGR.	ROLANDO LARA ALECIO
VOCAL 1o.	ING. AGR.	JUAN JOSE CASTILLO MONT
VOCAL 2o.	ING. AGR.	WALDEMAR NUFIO REYES
VOCAL 3o.	ING. AGR.	CARLOS ROBERTO MOTTA
VOCAL 4o.	P. AGRICOLA	HENRY ESTUARDO ESPAÑA MORALES
VOCAL 5o.	Br.	MYNOR JOAQUIN BARRIOS OCHAETA
SECRETARIO a.i.	ING. AGR.	GUILLERMO EDILBERTO MENDEZ BETETA



Guatemala, Noviembre de 1995

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

Honorables Miembros:

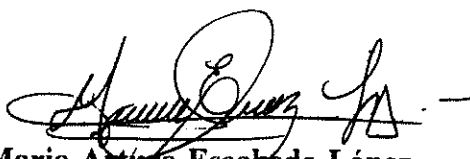
De conformidad con las normas establecidas en la ley orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a su consideración el trabajo de tesis titulado:

"INDICES DE SITIO PARA *Pinus pseudostrobus* Lindl.,

EN LOS DEPARTAMENTOS DE CHIMALTENANGO Y SOLOLA".

Presentándolo como requisito previo para optar el título de Ingeniero Agrónomo en Recursos Naturales Renovables, en el grado académico de Licenciado. Esperando merezca su aprobación, me suscribo de ustedes,

atentamente:



Mario Arturo Escobedo López



ACTO QUE DEDICO

AL CREADOR DEL UNIVERSO

A MIS PADRES Y MAESTROS

**Mario Salvador Escobedo
Adela López Leiva de Escobedo**

A MIS HERMANOS

**Gustavo Jordany
Walter Hugo
Danira Sucely y
Nereida del Rosario**

A

Mis amigos



TESIS QUE DEDICO

A:

- Guatemala
- La Villa de Chiantla
- La Universidad de San Carlos de Guatemala
- La Escuela Nacional Central de Agricultura
- Mis Maestros
- Los Silvicultores de Guatemala



AGRADECIMIENTOS SINCEROS

A:

MIS ASESORES DE TESIS:

MAESTRO, ING. Msc. EDWIN CANO MORALES, catedrático de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos.

ING. AGR. LUIS PEREIRA RODAS. PROCAFOR 7.

ING. AGR. RUDY HERRERA. PROCAFOR 1

A TODAS LAS PERSONAS QUE PARTICIPARON EN EL PROCESO PARA LA CULMINACION DE ESTA META DE MI VIDA ; PARTICULARMENTE A LAS FAMILIAS:

**MERIDA MERIDA
CIFUENTES MERIDA
ESCOBEDO CIFUENTES
CASTAÑEDA CERNA**

A CADA UNO DE LOS MAESTROS QUE CONTRIBUYO EN MI FORMACION HUMANA, ACADEMICA Y PROFESIONAL.

A LOS PROYECTOS PROCAFOR 7 Y PROCAFOR 1, POR EL APOYO PRESTADO A LA REALIZACION DE ESTA INVESTIGACION.



INDICE GENERAL

CONTENIDO	PAGINA
INDICE GENERAL	vii
INDICE DE CUADROS	x
INDICE DE FIGURAS	xi
INDICE DE APENDICES	xii
- RESUMEN	xiii
1. INTRODUCCION	1
2. JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION	3
3. MARCO TEORICO	5
3.1. MARCO CONCEPTUAL	5
3.1.1. Descripción del <i>P. pseudostrobus</i> Lindley.	5
a. Descripción Taxonómica	5
b. Distribución de <i>P. pseudostrobus</i> Lindl.....	7
3.1.2. Productividad de los sitios forestales	7
3.1.3. Calidad de sitio	9
a. Sitio	9
b. Calidad de Sitio	9
3.1.4. Clasificación de los métodos previstos para estimar calidad de sitio	12
3.1.5. Descripción de los métodos mas comunes para la estimación de la calidad del sitio forestal	15
a. Basados en la vegetación del sitio	16

1.	Estimación a partir de características de los árboles, principalmente dasométricas, consideradas como expresión adecuada de la calidad de sitio	16
A.	Método del índice de sitio	17
3.1.6.	Análisis troncal	25
3.2.	MARCO REFERENCIAL	26
3.2.1.	Ubicación geográfica del área de estudio	26
3.2.2.	Zona de vida	28
3.2.3.	Climatología	28
3.2.4.	Geología	30
3.2.5.	Hidrología	30
3.2.6.	Series de suelos.....	31
3.2.7.	Regiones fisiográficas.....	32
4.	OBJETIVOS	35
5.	METODOLOGIA	36
5.1.	DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO	36
5.1.1.	División del área de estudio	37
5.1.2.	Selección y número de los árboles muestra	37
5.1.3.	Derribo y troceo de los árboles.....	40
5.2.	INFORMACION OBTENIDA	40
5.2.1.	Definición de variables	41
5.3.	PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE LA INFORMACION	43
6.	RESULTADOS Y DISCUSION	46
6.1.	DIAGRAMA DE DISPERSION EDAD - ALTURA	46

6.2.	ANALISIS DE REGRESION DE LOS DATOS EDAD - ALTURA	49
6.2.1.	Selección del modelo matemático de mejor ajuste	51
6.3.	SELECCION DEL TIPO DE CURVAS	54
6.4.	MODELOS MATEMATICOS PARA CONSTRUIR LA FAMILIA DE CURVAS	56
6.5.	CONSTRUCCION DE UNA FAMILIA DE CURVAS DE INDICE DE SITIO DEL TIPO ANAMORFICO	57
7.	CONCLUSIONES	65
8.	RECOMENDACIONES	66
9.	BIBLIOGRAFIA	67
10.	APENDICE	70

INDICE DE CUADROS

CUADRO No.	CONTENIDO	PAGINA
Cuadro 1	Ubicación geográfica y altitudinal de las áreas de muestreo de los departamentos de Chimaltenango y Sololá	37
Cuadro 2	Distribución de árboles muestreados, por finca, como área de muestreo	39
Cuadro 3	Obtención de las parejas de datos(Edad-Altura), a partir de la información de campo	42
Cuadro 4	Resumen del análisis de varianza de la regresión de los modelos matemáticos probados para ajustar los datos de Altura-Edad.	50
Cuadro 5	Valores de los estimadores para cada uno de los modelos de índice de sitio, a las diferentes edades base utilizadas	56
Cuadro 6	Alturas índice utilizadas para generar las curvas de índice de sitio a las diferentes edades base dadas	58

INDICE DE FIGURAS

FIGURA No.	CONTENIDO	PAGINA
Figura 1	Ubicación geográfica del área de estudio (Departamentos de Chimaltenango y Sololá)	27
Figura 2	Zonas de vida del área de estudio; Departamentos de Chimaltenango y Sololá	29
Figura 3	Hidrografía y Regiones Fisiográficas de los Departamentos de Chimaltenango y Sololá	34
Figura 4	Localización de áreas de muestreo en la región de estudio. Departamentos de Chimaltenango y Sololá	38
Figura 5	Diagrama de dispersión de datos de Edad-Altura, de <i>P. pseudostrobus</i>	48
Figura 6	Dispersión de residuales estandarizados del modelo de Schumacher	53
Figura 7	Familia de curvas de Calidad/Índice de Sitio, para <i>P. pseudostrobus</i> en Chimaltenango y Sololá, a una edad base de 25 años	59
Figura 8	Familia de curvas de Calidad/Índice de Sitio, para <i>P. pseudostrobus</i> en Chimaltenango y Sololá, a una edad base de 30 años	60
Figura 9	Familia de curvas de Calidad/Índice de Sitio, para <i>P. pseudostrobus</i> en Chimaltenango y Sololá, a una edad base de 35 años	61
Figura 10	Ejemplo de categorización de la calidad de sitio de un árbol-rodal, desarrollado con determinada edad y altura dominante	63

INDICE DE APENDICES

	PAGINA
APENDICE 1.	
Cuadro 1 A. Formulario para la toma de datos en el análisis fustal	71
APENDICE 2	
Cuadro 2 A. Mediciones dasométricas de cada árbol utilizado para obtener información de edad - altura	72
APENDICE 3	
Cuadro 3 A. Programa utilizado para obtener el análisis de varianza en el sistema estadístico SAS.	78
APENDICE 4	
Cuadro 4 A Alturas dominantes a diferentes calidades/índices de sitio, para <i>P. pseudostrobus</i> , en Chimaltenango y Sololá, a una edad base de 25 años	79
APENDICE 5	
Cuadro 5 A Alturas dominantes a diferentes calidades/índices de sitio, para <i>P. pseudostrobus</i> , en Chimaltenango y Sololá, a una edad base de 30 años	80
APENDICE 6	
Cuadro 6 A Alturas dominantes a diferentes calidades/índices de sitio, para <i>P. pseudostrobus</i> , en Chimaltenango y Sololá, a una edad base de 35 años	81

**"INDICES DE SITIO PARA *Pinus pseudostrobus* Lindl.,
EN LOS DEPARTAMENTOS DE CHIMALTENANGO Y SOLOLA".**

**"SITE INDEXES FOR *Pinus pseudostrobus* Lindl.,
IN THE DEPARTAMENTOS OF CHIMALTENANGO AND SOLOLA."**

RESUMEN

El objetivo básico de este trabajo es estimar la calidad del Sitio, a través de curvas de Índice de Sitio para *Pinus pseudostrobus* Lindl. en los departamentos de Chimaltenango y Sololá; herramientas de manejo útiles para formular adecuadamente paquetes silviculturales.

Las curvas de Índice de Sitio, presentadas en el documento, fueron generadas a partir de 507 registros de edad-altura, provenientes del análisis fustal de 49 árboles dominantes y codominantes, seleccionados para tales fines, los cuales fueron apeados en 4 fincas forestales de Chimaltenango y Sololá, que se encuentran distribuidas dentro de las zonas de vida Bosque Muy húmedo y Bosque húmedo montano bajo sub-tropical templado, zonas donde la especie *Pinus pseudostrobus* Lindl. es indicadora y de ocurrencia natural.

Los registros obtenidos fueron ajustados a varios modelos matemáticos, a través de análisis de regresión. El modelo que presentó el mayor ajuste a la dispersión real de los datos de edad-altura es el modelo de SCHUMACHER, definido por:

$\ln \text{ altura dominante} = a + b * 1/E^k$, ajustado por medio de una regresión jerárquica y cuya validación como modelo de mejor ajuste está dada por los estimadores estadísticos que proporciona el análisis de varianza de la regresión. Estos estimadores son: principalmente el coeficiente de determinación r^2 0.9309. Coeficiente de variación 15%. Cuadrado Medio del Error 0.11589 y una alta significancia en la probabilidad de ajuste del modelo con la prueba de F. Además se utilizó el análisis de residuales de la regresión para la validación del modelo.

De acuerdo a la naturaleza de los datos, los cuales provienen de árboles dominantes con un amplio rango de dispersión de edades, el modelo generado es más ajustable al tipo de curvas anamórficas o de pendiente común.

Las familias de curvas se presentan para edades base de 25, 30 y 35 años. Además, los modelos generales de índice de sitio se presentan para poder construir curvas de índices de sitio a la edad base requerida.

Se considera que el modelo generado representa de una manera estadística aceptable la dispersión natural de los valores de edad-altura por lo que puede utilizarse para la estimación de Calidad o Índice de Sitio,

La estimación del Índice de Sitio en *Pinus pseudostrobus* Lindl., se utilizará con el propósito de categorizar de mayor a menor la productividad de los sitios de un bosque natural o plantación sujeto a manejo, en áreas donde se desarrolla natural o artificialmente el *Pinus pseudostrobus* Lindl., en los departamentos de Chimaltenango y Sololá; constituyéndose de esta manera en una herramienta básica para la prescripción de los tratamientos silviculturales tendientes a mejorar la masa forestal existente. Además, el Índice de Sitio servirá de base para generar otras herramientas de manejo forestal, como tablas de crecimiento y de rendimiento, entre otras.

Se sugiere darle continuidad a la recolección de información en otras áreas o departamentos de ocurrencia de la especie para validar un modelo a nivel nacional para la especie.

El estudio se desarrolló durante los meses de mayo a septiembre de 1995, con el apoyo de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, el Proyecto Forestal Centroamericano PROCAFOR y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE.

1. INTRODUCCION

En Guatemala, país con eminente vocación forestal, se requiere contar con herramientas propias, acordes a las condiciones de crecimiento, composición y aprovechamiento de las masas forestales, que puedan ser utilizadas para la planificación adecuada del manejo de los recursos forestales con que éste cuenta.

El conocimiento de la productividad de los terrenos forestales es una información indispensable para la elaboración de planes de manejo que aseguren el aprovechamiento racional y continuo de los recursos que éstos sustentan. Sin embargo, la determinación directa de la productividad es bastante difícil, considerando la naturaleza de los ecosistemas forestales, fundamentalmente en lo que al tiempo requerido para tales cuantificaciones y los recursos necesarios respecta; en tal situación, se ha recurrido a la utilización de metodologías tendientes a estimar la productividad forestal.

Dentro de las metodologías que se tienen para la estimación de la productividad de un sitio, se encuentra la utilización de curvas de índice de sitio; en donde índice de sitio se define como la altura dominante que alcanza un rodal coetáneo a una edad determinada. (19)

Trabajos desarrollados sobre el tema, afirman que el índice de sitio es una medida apropiada para estimar la productividad de sitios donde se desarrollan rodales tanto naturales como artificiales de especies de coníferas, particularmente. (4)

En Guatemala, pocos han sido los trabajos desarrollados en la estimación de calidades de sitio para especies maderables y fundamentalmente coníferas. Lopez Payes (16), Castillo Contreras (5) e Itzep Manuel (14) como iniciadores de este tipo de investigaciones, desarrollaron modelos de curvas guías de relación altura-edad que podrían ser utilizados en la construcción de familias de índice de sitio en Pinus oocarpa Shiede., en los departamentos de Baja Verapaz y Zacapa y Cupressus lusitanica L. en Sacatepéquez, respectivamente.

En el presente documento, se presentan familias de curvas de Índice de Sitio, del tipo Anamórfico o pendiente común a Edades Base o Índice de 25, 30 y 35 años para *Pinus pseudostrobus* Lind., en los departamentos de Chimaltenango y Sololá y los modelos matemático de arrollado para cada índice. Para tales efectos, se recurrió a la relación altura-edad, información que se obtuvo a partir del análisis fustal de 49 árboles individuales dominantes y codominantes, que generaron un total de 507 registros, los cuales fueron derribados en cuatro fincas forestales de los Departamentos en mención. Para la construcción de dichos modelos, fue ajustado el modelo de Índice de Sitio de SCHUMACHER, a través de una regresión jerárquica, validado a través del análisis de varianza y de residuales de dicha regresión.

2. JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION

Dada la necesidad que existe en los bosques naturales de Guatemala, de la implementación de un manejo que asegure la producción sostenida de los recursos forestales existentes en éstos, se requiere contar con herramientas que factibilicen dicho manejo.

La estimación de la productividad de los bosques naturales es uno de los problemas fundamentales a resolverse para plantear un adecuado plan de manejo, que responda a la capacidad que un rodal en particular posee para producir madera.

Una manera práctica y rápida de estimar esta productividad, es a través del índice de sitio para lo cual se requiere contar con información de altura de árboles dominantes y codominantes a diferentes edades durante el desarrollo cronológico de su crecimiento. (19)

En Guatemala, debido a la carencia de parcelas permanentes de medición para especies forestales de interés económico, necesarias para obtener el tipo de información mencionado, obliga recurrir a metodologías que en determinado momento pueden considerarse destructivas y económicamente costosas al tener que derribar árboles para contar con la información necesaria; por lo que sin apartarse de los principios estadísticos para validar este tipo de estudios, debe tenerse cierta mesura al momento de seleccionar el tamaño de las muestras.

Además, el índice de sitio es utilizado para estimar la productividad de un sitio para una especie y a una edad índice determinada; y de esta forma categorizarlo en función de la altura dominante alcanzada a dicha edad, ésta información puede ser utilizada para el desarrollo de modelos o tablas de crecimiento y rendimiento de especies forestales, en función las calidades de sitio definidas. (19, 22)

El Programa Forestal para Coníferas de Centro América (PROCAFOR) a través del Proyecto 7, Manejo y utilización sostenida de los bosques naturales de coníferas de Guatemala, con el apoyo de

la Agencia Finlandesa para el desarrollo (FINNIDA), está implementando en coordinación con la Dirección General de Bosques (DIGEBOS), un modelo práctico, eficaz y simplificado de formulación de planes de manejo forestal, para lo cual, contar con curvas de índice de sitio para las especies forestales coníferas nativas de Guatemala, como herramientas de planificación forestal, es un requerimiento fundamental.

Tomando en cuenta que la especie *Pinus pseudostrobus* Lindl. es de importancia económica y ecológica para el área que abarca los departamentos de Chimaltenango y Sololá, se considera necesario generar las herramientas técnicas para poder implementar modelos de planes de manejo que le aseguren una producción óptima, sostenida y económicamente rentable de productos maderables y no maderables a los silvicultores de la región.

En tal situación, en este trabajo se presenta información de calidad de sitio, generada a través de curvas de índice de sitio para *Pinus pseudostrobus* Lindl., en los departamentos de Chimaltenango y Sololá.

3. MARCO TEORICO

3.1. MARCO CONCEPTUAL

3.1.1. Descripción del *Pinus pseudostrobus* Lindley.

El *Pinus pseudostrobus* Lindley, conocido como pino triste forma parte de las 23 especies de pino identificadas que se distribuyen naturalmente en Guatemala. Esta especie está estrechamente relacionada con la *Pinus montezumae*, teniendo la capacidad de entrecruzarse, produciendo híbridos que son difícil de determinar y agrupar. (18)

a. Descripción Taxonómica

El pino triste es un árbol hasta 45 m de altura, con ramas extendidas y verticiladas, formando copas densas y redondeadas. En árboles jóvenes los crecimientos anuales (las partes entrenodales) son largas, de corteza lisa y de color café rojizo claro. La corteza en la vejez es áspera y grietada. Es característico para la especie que las ramas tiernas tengan un color blanco azulado. las bases de las brácteas son esparcidas y frecuentemente adheridas dejando huellas sumergidas en las ramas. Esta característica, sirve para diferenciarla de la especie *P. montezumae*, porque esta última tiene retoños gruesos, con una apariencia más o menos rojiza y las partes adherentes a las brácteas son densas, fuertes y persistentes.(18)

Hojas en grupos de 5 por fascículo, de 17 a 29 cm de largo, muy delgadas, colgantes, flexibles de color verde intenso, a veces con un tono glauco a amarillento en el final de la época seca. (18)

Los cortes transversales de las hojas demuestran 2 a 4 canales resiníferos medidos, rara vez con externo o interno. El hipodermo es casi uniforme, comprende de 2 a 3 hileras de células con ligeras entradas en el clorénquima. El endodermo tiene sus paredes externas engrosadas. Dos haces fibrovasculares muy aproximados o poco distinguibles.(18)

Las vainas son perennes, anilladas de 12 a 28 mm de largo, de color 5YR 4/2 (castaño ceniciento) algo brillante. Yemas oblongo-cónicas, de color anaranjado. Conillos subterminales, oblongos, largamente pedunculados, solitarios o por grupos hasta tres, oscuros, con escamas provistas de puntos, la cual posteriormente es caediza.(18)

Conos ovoides o largamente ovoides de 7.5 a 12 cm de largo, de color café claro, amarillento o moreno extendidos, levemente encorvados, no prontamente caedizos, sobre pedúnculos de 10 a 18 mm, a veces casi sésiles. Frecuentemente queda el pedúnculo con las escamas basales, formando una roseta sobre las ramas, al caer el cono. La maduración es de enero - febrero.(18)

Las escamas son delgadas, quilla por lo común baja y poco marcada; cúspide pequeña deprimida, provista de una punta cónica, frágil y persistente, esta especie tiene en Guatemala, tres variedades la de apulcensis, coatepequeensis y la esteresii y una forma, la protuberans, y la especie oaxacana.(18)

b. Distribución de *Pinus pseudostrobus* Lindl.

De acuerdo a la clasificación de zonas de vida en Guatemala por De la Cruz (7) basado en el sistema Holdridge la especie *Pinus pseudostrobus* Lindl. es una especie indicadora de las zonas de vida Bosque muy húmedo Montano bajo sub-tropical, y Bosque húmedo montano bajo sub-tropical.

La zona de vida Bosque muy húmedo montano bajo sub-tropical, se caracteriza por estar entre una altitud de 1,800 a 3,000 msnm, con precipitación pluvial entre 2,065 a 3,900 mm anuales distribuido naturalmente en el departamento de Chimaltenango (Patzún, Tecpán, Comalapa, San José Poaquil, Sta. Cruz Balanyá, Zaragoza, Colinas, Santa Apolonia, San Martín Jilotepeque), Sololá (Nahualá, San Lucas Tolimán) Totonicapán (San Francisco el Alto), Quetzaltenango (San Carlos Sija, Sibilia, San Marcos), Huchuetenango (San Juan Ixcoy, Santa Eulalia, San Mateo Ixtatán), Quiché (cerca de Nebaj). (7)

Para la zona de vida del bosque húmedo montano bajo sub-tropical, la especie se localiza a una altitud entre 1,500 a 2,400 msnm con precipitación entre 1,057 a 1,588 mm anuales, distribuido naturalmente en Mixco a San Juan Sacatepéquez, Chimaltenango, Chichicastenango y Santa Cruz del Quiché.(7)

3.1.2. Productividad de los Sitios Forestales

Por productividad se entiende la capacidad (eficacia); grado de producción (eficiencia) por unidad de trabajo, superficie de tierra cultivada, equipo industrial, unidad de tiempo u otro insumo o factor de producción. (22)

Por productividad forestal se define la capacidad que un árbol individual o una masa forestal tiene de acumular biomasa, bajo determinadas condiciones climáticas, ecológicas, edáficas y genéticas, en un área y en un tiempo determinado.¹

Considerando que es difícil determinar la productividad de los terrenos forestales, se ha recurrido a enfocarla en función de factores ambientales; es el caso de la calidad de sitio, que se estima mediante la máxima cosecha de madera que el bosque produzca en un tiempo determinado.(22)

La calidad del sitio es la suma de muchos factores ambientales: la profundidad del suelo, su textura, las características de sus perfiles, su composición mineral, lo pronunciado de las pendientes, la exposición, el microclima, las especies que viven sobre él y otros más. Estos factores a su vez son función de la historia geológica, fisiografía, macroclima y del desarrollo de la sucesión vegetal.(8)

Dentro de un cierto microclima, la calidad del sitio determina el tipo y magnitud de los problemas y las oportunidades que se le presentan al silvicultor para el manejo de un rodal. La calidad del terreno es una cuestión esencial en el manejo de los rodales encaminada a la producción de varias combinaciones de productos forestales: madera, agua, forrajes, recreación y caza. No es posible tomar decisiones válidas, de tipo silvícola, si no se hace referencia a la calidad del sitio y a otras condiciones del sitio.(8)

¹ Apuntes del curso de Silvicultura, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala. 1992.

Tomando en cuenta que la calidad del sitio se mide en términos de la máxima cantidad de madera producida (en volumen) dentro de un cierto período, el valor que se le asigne puede variar según la especie de los árboles y la longitud del lapso asignado. El problema del ingeniero forestal es determinar la calidad del sitio en una zona particular en relación con las especies del árboles que crecen sobre ella. (8).

3.1.3. Calidad de sitio

a. Sitio:

Spurr (1952), citado por Zepeda y Rivero (22) indica que 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. (22)

b. Calidad de Sitio

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, más apropiadamente productividad del sitio. (19)

Zepeda y Rivero (22) definen "calidad de sitio como el carácter o cualidades distintivas que indican, en forma un tanto relativa, el grado de productividad de un lugar bajo las condiciones imperantes en el momento en que se efectúa la estimación de ésta; considerando que tal productividad es la resultante de la suma de todos los efectos de los factores de sitio que interactúan en ese lugar, que

está determinado por el producto entre la capacidad y eficiencia de producción del sitio y que se entiende, en la generalidad de los casos, como la aptitud o susceptibilidad de ese sitio para sostener o soportar el crecimiento de cierta cantidad y tipo de biomasa". (22)

Rosales et al (1982), citado por Zepeda y Rivero (22) manifiestan que "la calidad de estación está definida como un término vago que indica la productividad relativa de una localidad para una especie determinada, cuya medición se hace a través de índice de sitio (índice de estación).

De lo anterior se deduce que:

1. La calidad de sitio no puede estar definida como un término vago ya que como se vio en el concepto anterior es lo suficientemente claro y concreto como para caracterizársele contrariamente.
2. 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. (22)

Duerr(1960) (22) clarificando aún más, establece que la productividad de un insumo o factor de producción es la cantidad de otros factores con los que éste es capaz de trabajar (capacidad), sin sobrepasar el punto de la mejor combinación, multiplicada por la cantidad de producto que él puede obtener (eficiencia) a partir de cada unidad de todos los factores involucrados, es decir:

$$P = C.E$$

Donde: P = Productividad

C = Capacidad

E = Eficiencia.

En forma estricta no es posible determinar la productividad de un árbol, de un rodal o, mucho menos, de un sitio, ya que resulta cercano a lo imposible conocer realmente a capacidad y eficiencia de cada uno de los factores de producción presentes en un sitio y el tipo de interrelaciones existentes entre ellos. (22)

Por lo anterior, se ha recurrido a realizar estimaciones sobre la productividad de un lugar, referidas, generalmente al uso de algún tipo de índice.(22)

Avery (1975) citado por Rivera y Zepeda (22) menciona que teóricamente sería posible estimar la productividad de un lugar analizando los muchos factores de sitio que afectan, tales como nutrimentos del suelo, humedad, regímenes de temperatura, luz disponible, topografía, etc., pero que tales estimaciones pueden, en un momento dado, carecer de valor inmediato para el dasónomo práctico. (22)

De todo esto puede decirse:

1. 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 (productividad), con los que

se ha creado cierta confusión con respecto al significado preciso de los términos calidad de sitio y productividad.

2. 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.
3. La calidad de sitio está 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.
4. Es importante no confundir, pero menos importante emplear indistintamente los términos potencial productivo y productividad potencial del sitio. (22)

3.1.4. Clasificación de los métodos previstos para estimar calidad de sitio

Se entiende como método para estimar calidad de sitio, a aquel proceso mediante el cual es posible estimar, en forma un tanto aproximada, el grado de productividad del sitio. (19)

Se ha señalado que es posible dividir los métodos utilizados para estimar calidad de sitio en directos e indirectos; sin embargo, existe discrepancia entre los puntos de autores como Daniel y Mogren, citados por Zepeda y Rivero (19), ya que para el primero la división consiste en:

METODOS DIRECTOS	Procedimientos con los que es posible conocer (estimar) la cuantía de las existencias volumétricas máximas que un sitio puede sostener.
METODOS INDIRECTOS	Procedimientos con los que es posible expresar a través de algunas características indicadoras, la capacidad productiva de un lugar (métodos basados en la vegetación, en la topografía y características físicas y/o químicas de los suelos; métodos basados en la medición de características de los árboles consideradas como una expresión adecuada de la calidad de sitio).

En tanto para Mogren (1983) la división debería ser:

METODOS DIRECTOS	Procedimientos con los que 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).
METODOS INDIRECTOS	Procedimientos con los que se evalúa la respuesta de las plantas a la influencia de los factores del sitio, haciendo la planta las veces de integrador 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). (19)

De acuerdo a Rivero Y Zepeda (19), para Daniel et al lo directo de un método estriba en que sea posible estimar con él, con cierto grado de exactitud, la cuantía de las existencias volumétricas máximas que un sitio puede sostener en un momento dado. (19)

Para que un procedimiento pueda ser considerado como un método para conocer exactamente la calidad de un sitio implica:

- a) Que sea capaz de representar fielmente la productividad de la vegetación (fundamentalmente de los árboles) para aprovechar adecuadamente los factores del sitio que propician o limitan el crecimiento.
- b) Que sea capaz de representar fielmente la productividad de los sitios para mantener o soportar cierto nivel de densidad y variabilidad botánica.
- c) Que sea capaz de representar fielmente las interacciones existente entre vegetación y terreno, y demás factores ambientales presentes en el sitio e cuestión, así como su cuantía y efectos. (19)

De acuerdo a Jones, citado por Daniel, (8) los métodos indirectos de estimación de la calidad del sitio se han dividido en tres categorías:

- 1) Índice de sitio,
- 2) vegetal
- 3) y ambiental.

Se considera que el criterio fundamental para la elección de un método indirecto se basa en su efectividad para traducir una estimación precisa de la calidad del sitio; en otras palabras, no importa en que medida un método indirecto pueda reflejar la variación en el ambiente; su verdadero valor estriba en el hecho de que puede convertirse en una estimación precisa de la máxima producción en una edad predeterminada.

Para Clutter *et al* (1983) (6) 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 de los terrenos.**
- c. **La densidad del rodal.**
- d. **Los tratamientos silviculturales aplicados (aclareos, fertilizaciones, control de la vegetación competitiva, etc.)**

Los métodos los agrupa el autor también 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 o sotobosque.**
- **Estimación a partir de factores climáticos, topográficos y edáficos.(6)**

3.1.5. Descripción de los métodos mas comunes para la estimación de la calidad del sitio forestal.

Considerando los diferentes puntos de vista de los autores anteriormente mencionados, con respecto a la clasificación de los métodos para estimar la calidad de sitio, no son separados en directos o indirectos por no existir todavía un acuerdo concluyente entre dichos autores ya que, mientras que para algunos ciertos métodos son directos, para otros son lo contrario.

Con el afán de contar con un orden en la agrupación de los métodos para estimar la calidad del sitio, se consideran 3 grupos siempre dependientes, tomando en cuenta los factores que se consideran en tal estimación así:

- a. **BASADOS EN LA VEGETACIÓN DEL SITIO**
- b. **MÉTODOS BASADOS EN FACTORES DEL AMBIENTE FÍSICO DEL SITIO.**
- c. **MÉTODO BASADO EN FACTORES MÚLTIPLES (MÉTODOS COMBINADOS O MULTIFACTORIALES)**

De los anteriores, a continuación se desarrolla el método basado en la vegetación del sitio por ser utilizado en la metodología del presente trabajo.

- a. **Basados en la vegetación del sitio**
 - 1.- **Estimación a partir de características de los árboles, principalmente dasométricas, consideradas como expresión adecuada de la calidad de sitio.**

Considerando que el conocimiento de la interrelación existente entre las propiedades de los suelos y la capacidad de rendimiento de los terrenos forestales es todavía insuficiente para estimar la calidad del sitio, se han utilizado ciertas características del crecimiento de los árboles que reflejan la respuesta de las plantas al nivel de la productividad del sitio en cuestión. (19)

Tales características han sido, fundamentalmente, alturas dominantes y volúmenes totales por unidad de área.

Las alturas dominantes se han empleado para estimar la calidad de sitio desde que Oettelt indicó en 1765 que la altura dominante de un rodal es la característica dasométrica más indicativa de la calidad de sitio. Se le ha utilizado también por considerar que es la variable dasométrica menos afectada por la densidad de los rodales. (19)

El uso de la variable volumen total (producción total) obedece a que es la característica dasométrica que mejor representa, según la definición de Spurr, la calidad de sitio de un lugar determinado (19), sin embargo, varía en función de la densidad, particularmente.

A. Método del índice de sitio:

Dentro de la metodología que de una manera práctica, rápida y confiable se ha utilizado para estimar la productividad del sitio forestal, sobresale el método del índice de sitio (1,4,20,22); en función de esto, la metodología a utilizar en el presente trabajo es la del índice de sitio, y cuya descripción se presentará con mayor detalle.

De acuerdo a Zepeda y Rivero (1984) (19), 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.(19)

Altura dominante:

Se define como la altura promedio de los 100 árboles más gruesos por hectárea. (2)

Edad base:

Número de años que se eligen para determinar un índice de sitio. También se le conoce como edad de referencia o edad índice.(2)

El índice de sitio es la altura que alcanzará un árbol bajo las condiciones del propio bosque en 100 años, para la mayoría de las especies longevas del occidente de los Estados Unidos de Norte América, o de 25 a 50 años para las especies del este y el sur de aquel país. (También se expresa el índice de terreno como la altura de un árbol dominante que tiene un cierto diámetro (McLintock y Bickford, 1957; Pflugbeild, 1960).(8)

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 1.3 m, 2 0 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.(8)

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. (8)

Para ello se han utilizado dos alternativas de estimación: el método del índice de sitio, basado en relaciones de altura dominante-edad y el nominado por Daniel "método del índice de terreno basado en relaciones de altura dominante-diámetro normal (8)

El índice de sitio es un indicador más sensible de la calidad del sitio que las expresiones de las tablas de rendimiento, debido a que la altura del árbol dominante, en una edad particular, representa la máxima altura alcanzable; en contraste, el volumen normal de la tabla de rendimiento representa tan solo el volumen promedio que se encontró en un cierto período, para muchos rodales, con un índice particular de sitio. Es esencial, sin embargo, que los árboles cuantificados para la determinación del índice hayan sido dominantes durante toda su existencia dentro del rodal.(8)

Los elementos de juicio de las tablas de rendimiento se obtienen por lo general a partir de la 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. Las curvas polimórficas que se obtienen a partir del análisis troncal indican que las curvas de crecimiento en altura no presentan la misma forma en todos los sitios. (8)

La aplicación del método del índice de sitio a una especie, requiere la presencia de esa especie particular en el área, puesto que cualquier sitio puede presentar diferentes calidades, según la especie en cuestión; si la especie no se encuentra en la zona considerada, su índice del sitio puede obtenerse a partir de la presencia de una segunda especie forestal, si la relación de sus índices del sitio ha quedado establecida (Carmean y Vailevsky, 1971, citado por Daniel).(8)

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 anamórfica y las polimórficas. Estas últimas divididas en desarticuladas y articuladas.(6)

Las curvas anamórficas de índice de sitio son familias de líneas proporcionales con pendiente constante entre ellas a una misma edad, pero con interceptadas 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 a altura de una de dos curvas cualquiera, a cualquier edad, es una proporción constante de la altura de la otra a esa misma edad (6).

Las curvas polimórficas, son familias de líneas con pendientes variables, que generalmente no guardan una relación de paralelismo entre sí; esto es: no son proporcionales, no dependen unas de otras y sus puntos de inflexión ocurren en edades diferentes. (6)

Para el caso de las familias de curvas polimórficas articuladas, la relación de proporcionalidad no se mantiene, pero las curvas no se cruzan dentro del rango de edad de interés.

En el caso de curvas polimórficas desarticuladas la relación de proporcionalidad constante no existe y al menos alguna de las curvas puede interceptar a otra dentro del rango de edad de interés.(6)

En síntesis, es posible decir que cualquier grupo de curvas de índice de sitio es simplemente una familia de patrones de crecimiento en altura con símbolos cuantitativos (o números) asociados con las curvas, con propósitos de referencia (6).

Clutter *et al.* (1983) (6) manifiestan adicionalmente que muchas son las técnicas que se han empleado para construir curvas de índice de sitio, pero que estas puede verse como casos especiales de tres métodos generales de desarrollo de ecuaciones. a saber:

- 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:

- i. Parcelas temporales (método de la curva guía)
- ii. Árboles muestra de parcelas permanentes.
- iii. 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 abajo 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

De acuerdo a Clutter et al.(1983) (6), este procedimiento puede resumirse en los pasos siguientes:

- a). Elegir el modelo que se vaya 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. (6)

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.

- e). 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 al índice de sitio como variable independiente el modelo final.
- f). Sustituir los modelos obtenidos en el punto "e" en el modelo empleado en "a" y proceder a la reparametrización del modelo inicial.
- g). Ajustar el nuevo modelo expandido a la base de datos para obtener la ecuación que represente la relación $Hd = f(E, IS)$; con Hd=altura dominante; E=edad e IS=índice de sitio. (19)

Aguirre Calderón y Zepeda Bautista (1) realizaron el estudio: "Estimación de índices de sitio para *Pinus pseudostrabus* Lindl., de la región de Iturbide, Nuevo León, México., con el propósito de considerar todas las variaciones de productividad posibles, se hizo una división del área tomando como criterio la altura del arbolado, la densidad de los rodales y la topografía del terreno.

En cada uno de los estratos delimitados se localizó un sitio representativo de la condición del lugar, en el cual se seleccionaron tres árboles dominantes con ausencia de bifurcaciones, de huellas de supresión y de daños sufridos en épocas anteriores.

Los datos utilizados, captados de los análisis troncales efectuados a 72 árboles elegidos finalmente, ascendieron a 873 pares de valores edad-altura.

La secuencia seguida para el análisis de los datos, utilizando modelos lineales y no lineales, fue la siguiente:

- a) Selección de la edad base para la estimación de índices de sitio.

- b) Obtención de los coeficientes de regresión del modelo para cada uno de los árboles y estimación de su índice de sitio a la edad base predeterminada.
- c) Análisis, mediante técnicas de regresión, de la relación existente entre cada uno de los coeficientes de los modelos (b) y el índice de sitio (S) estimado para cada árbol, seleccionando los modelos que expliquen mejor la relación funcional entre esas variables.
- d) Inclusión de la variable índice de sitio en el modelo original, mediante la sustitución de los coeficientes b_0, b_1, \dots, b_n por los modelos seleccionados en el inciso anterior
- e) El ajuste de todos los datos para obtener el valor de los coeficientes de regresión del nuevo modelo en el que la altura se expresa como una función de la edad y del índice de sitio.
- f) Construcción del sistema de curvas a partir de la ecuación finalmente generada. (1)

MODELOS DE INDICE DE SITIO MAS USADOS

Modelo de Schumacher

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

Modelo de Bruce y Schumacher (1950)

$$\log H = k + a \frac{(1)}{A} + b(B) * c(C)$$

Donde: H = altura promedio de los árboles dominantes

k,a,b,c, = constantes

A = Edad base

B y C = Variables del sitio propias del suelo

Modelo de Husch:

$$\log H = a + \frac{b(1)}{\text{edad}}$$

Modelo de Clendenen

$$S = a + bH$$

Modelo de Madrigal

$$H = \frac{(\text{edad})^2}{a + b \text{ edad}}$$

donde:

H = Altura total del árbol dominante

S = Índice de sitio a la edad base (a la altura del pecho)

a y **b** = parámetros de regresión.

OTROS MODELOS:

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

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

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

$$H = \frac{E^2}{b_0 + b_1 E^2}$$

$$H = \frac{E^2}{b_0 + b_1 E + b_2 E^2}$$

Donde:

H = Altura dominante

E = Edad base

a, b, b₁, b₂,...,b_n = Parámetros de regresión a estimar. (6)

3.1.6. Análisis troncal:

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 (20-30 cm), y la segunda a la altura del pecho (1.3 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. 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.

En lugar de medir el incremento anual, generalmente se mide el incremento en períodos de 5 o 10 años En los árboles jóvenes de rápido crecimiento se toman períodos de 5 años y para árboles viejos períodos de 10 años.

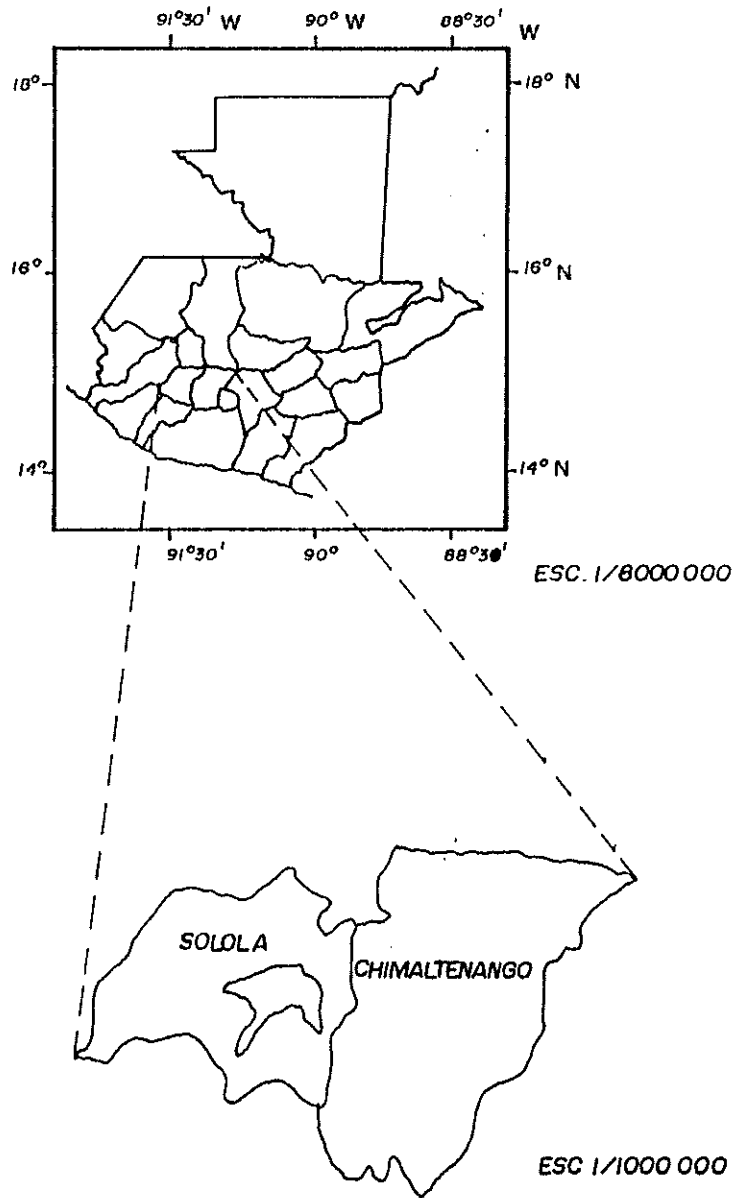
Se determina la edad, contando los anillos de crecimiento en la sección de apeo o tocón; generalmente se considera que el número de anillos de crecimiento en una sección transversal muestra la edad de esa parte del árbol. Si el árbol en su primer año de su crecimiento, en altura , creció al nivel del 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.(15)

3.2. MARCO REFERENCIAL

3.2.1. Ubicación geográfica del área de estudio

La investigación se llevó a cabo en la parte norte de los departamentos de Chimaltenango y Sololá, en donde se encuentra distribuida naturalmente la especie *Pinus pseudostrobus* Lindl.; para lo cual se contó con cuatro fincas forestales donde se realizaron aprovechamientos forestales con licencias aprobadas por DIGEBOS o en algunos casos esta misma institución aprobara licencias de aprovechamiento con fines de investigación. Cada una de las fincas se le consideró como área de muestreo para la recolección de información, siendo tres fincas en Chimaltenango y una en Sololá. (Ver Figura 1)



<p>FIGURA 1: UBICACION GEOGRAFICA DEL AREA DE ESTUDIO (DEPARTAMENTOS DE CHIMALTENANGO Y SOLOLA)</p>	<p>ESCALA: INDICADA</p>
--	------------------------------------

3.2.2. Zona de vida

El área de estudio se encuentra dentro de las zonas de vida Bosque Muy Húmedo Montano Bajo Sub-Tropical predominantemente y en segunda instancia en el Bosque Húmedo Montano Bajo Sub-Tropical (7).

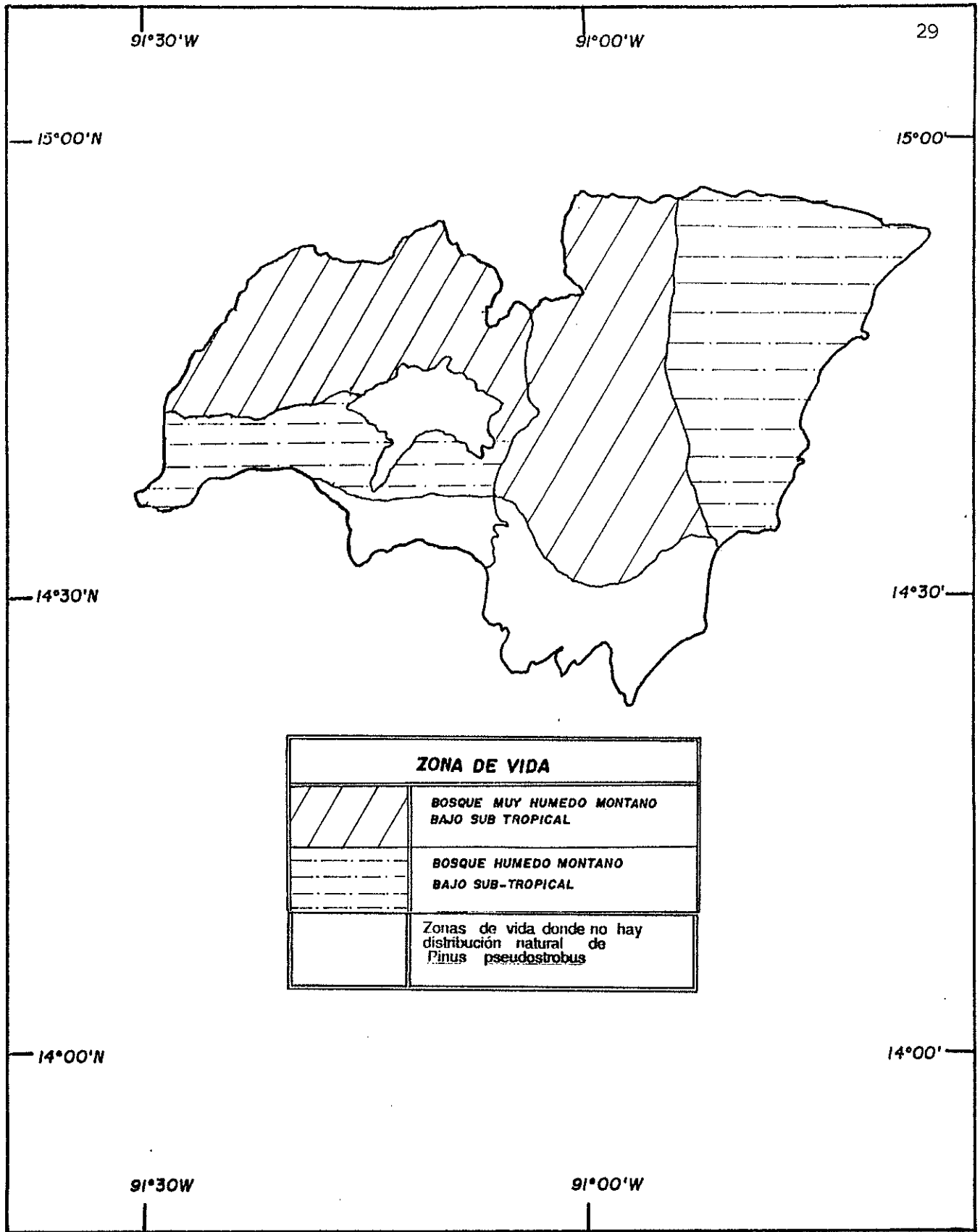
Altitudinalmente entre los 1,800 a 3,000 msnm, con precipitación pluvial entre 2,065 a 3,900 mm anuales; y en el Bosque húmedo Montano bajo sub tropical a una altitud de 1,500 a 2,400 msnm con precipitación entre 1,057 a 1,588 mm anuales.(7) (Ver Figura 2)

3.2.3. Climatología

De acuerdo al mapa climatológico según Thornthwaite el área se encuentra en un clima Templado con invierno benigno dentro de un bosque húmedo con invierno seco ($B'_2b'Bi$). (11)

La precipitación media anual oscila entre 1,000 y 2,000 mm distribuidos en 120 a 140 días anuales. (13)

La Evapotranspiración según Thornthwaite oscila entre 700 a 800 mm. (13)



**FIGURA 2 ZONAS DE VIDA DEL AREA DE ESTUDIO,
DEPARTAMENTOS DE CHIMALTENANGO Y
SOLOLA**

ESCALA
1/5000 00

3.2.4. Geología

Los materiales geológicos del área de estudio son básicamente:

- Tv. Terciarios. Rocas volcánicas sin dividir, predominando el mioplioceno. Incluye tobas coladas de lava, material lahárico y sedimentos volcánicos.**

- Qp. Cuaternario. Rellenos y cubiertas gruesas de ceniza pómez de origen diverso". (9)**

3.2.5. Hidrología

El área de estudio se encuentra en la parte alta de las cuencas siguientes:

En la vertiente del Mar de las Antillas.

CUENCA DEL RIO GRANDE O RIO MOTAGUA.

En la vertiente del Pacífico.

CUENCA DEL LAGO DE ATITLAN

CUENCA DEL RIO MADRE VIEJA

CUENCA DEL RIO COYOLATE. (10) (Figura 3)

3.2.6. Series de suelos

Las series de suelos que incluyen la parte alta de las cuencas anteriormente enumeradas son:

- Quiché
- Tecpán
- Tolimán
- Patzité
- Totonicapán.

SERIE DE SUELOS TECPAN

"Los suelos Tecpán, son profundos, bien drenados, desarrollados sobre ceniza volcánica blanca, porosa y de grano relativamente fino, en un clima frío húmedo seco. Ocupan llanuras de casi planas a onduladas a elevaciones medianas en la parte sur central de Guatemala. Están asociados con los suelos Cauqué, Tolimán y Patzicia, pero son más arenosos, tienen suelos superficiales más profundos y ocupan terrenos menos inclinados que éstos y están desarrollados sobre ceniza volcánica blanca o pomácea, mientras que los Patzicia han sido influenciados por materiales de color oscuro. La vegetación natural consiste de Pino y Encino, pero casi todo se ha limpiado y está intensamente cultivado.

Se encuentran localizados en los departamentos de Chimaltenango y Sacatepéquez. Ocupan la planicie que se extiende desde Chimaltenango hasta Tecpán.(21)

SERIE DE SUELOS TOLIMAN

Son suelos profundos, bien drenados, desarrollados sobre ceniza volcánica de color claro, en un clima frío y húmedo-seco. Ocupan relieves de ondulados a inclinados a relativamente gran altitud en la parte sur-central de Guatemala. Están asociados con los suelos Camanchá, Patzité y Atilán, pero se encuentran a elevaciones más bajas que los dos primeros, son menos

arcillosos que los Cauqué y menos pedregosos que los Atitlán. Ocupan posiciones similares a las de los suelos Sinaché, pero no están tan bien desarrollados ni tan arcillosos como éstos. La vegetación natural consiste principalmente de Encino y Pino.

Se encuentran en la vecindad del Lago de Atitlán en el departamento de Sololá y en los departamentos de Chimaltenango y Suchitepéquez".(21)

SERIE DE SUELOS TOTONICAPAN

"Los suelos Totonicapán son profundos, bien drenados desarrollados sobre ceniza volcánica o roca de color claro en un clima frío; húmedo. Ocupan relieves de inclinados a suavemente ondulados a gran altitud en el sur-oeste de Guatemala. Están asociados con los suelos Camanchá y Patzité, pero se encuentran a mayor altura y tienen suelos superficiales más profundos que éstos. La vegetación natural consiste de Pino, Pinabete, Ciprés, Encino y pastos.

Se encuentran en el sur-oeste de Guatemala, al oeste de Tecpán en los departamentos de Totonicapán, Chimaltenango, Sacatepéquez, Suchitepéquez y Sololá".(21)

3.2.7. Región fisiográfica

El área de estudio se encuentra entre las regiones fisiográficas:

TIERRAS ALTAS VOLCANICAS

"En Guatemala ha existido actividad volcánica desde el paleozóico, intensificada durante el terciario. En esta región, las erupciones de tipo de grieta lanzaron cantidades de material- principalmente basalto y riodacita- que cubrieron las formaciones de tierra preexistentes, desarrolladas sobre el basamento cristalino y sedimentario que se encuentra hacia el norte.(12)

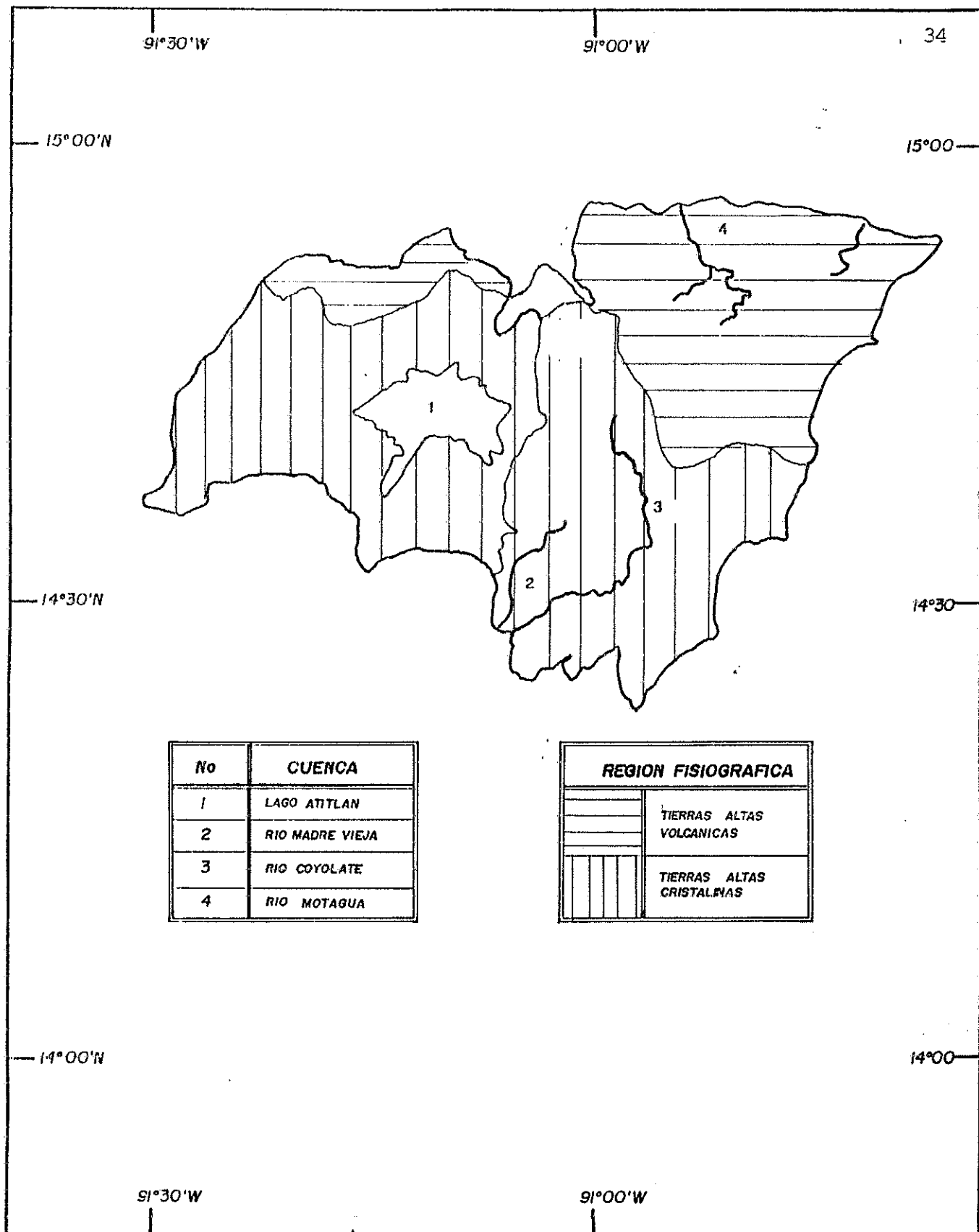
La formación de esta región volcánica fue seguida por fallas causadas por tensión local, la cual, quebró y movió el material de la superficie como, por ejemplo, el valle hendido (graben) en que está localizada la ciudad de Guatemala. (12)

Varias cuencas de esta región han sido parcialmente llenadas con pómez cuaternario, lo que proporciona un paisaje muy contrastado con las áreas volcánicas escabrosas que las rodean. Los valles en los que se localizan las ciudades de San Marcos, Sololá, Chimaltenango y la ciudad de Guatemala, son ejemplos característicos.(12)

TIERRAS ALTAS CRISTALINAS

Serpentinas, gneisses y esquistos dominan esta región, apareciendo algunas áreas de material plutónico, principalmente granito, que forman una región distinta tanto de los estados sedimentarios del norte, como de las regiones volcánicas del sur.(12)

Esta área se ubica entre dos sistemas de fallas que han estado en evolución desde el paleozóico. El patrón de drenaje a través de esta región es muy ilustrativo, ya que los cursos de los ríos Cuilco, Chixoy y Motagua están controlados por las diversas fallas existentes".(12) (Figura 3)



No	CUENCA
1	LAGO ATITLAN
2	RIO MADRE VIEJA
3	RIO COYOLATE
4	RIO MOTAGUA

REGION FISIOGRAFICA	
	TIERRAS ALTAS VOLCANICAS
	TIERRAS ALTAS CRISTALINAS

FIGURA 3 HIDROGRAFIA Y REGIONES FISIOGRAFICAS DE LOS DEPARTAMENTOS DE CHIMALTENANGO Y SOLOLA

ESCALA
1/500 000

4. OBJETIVOS

4.1. GENERAL

Estimar la calidad del sitio, a través del índice de sitio en *Pinus pseudostrobus* Lindl., en los departamentos de Chimaltenango y Sololá.

4.2. ESPECIFICOS

1. Evaluar mediante técnicas de regresión, modelos matemáticos, con el propósito de identificar el que procure un mejor ajuste a los datos de altura-edad , obtenidos a partir de análisis fustal.
2. Elaborar a partir del modelo de mejor ajuste, una familia de curvas de Índice de Sitio, a fin de representar el patrón de crecimiento en altura de *Pinus pseudostrobus* Lindl., para las condiciones diversas del área de estudio.

5. METODOLOGIA

5.1. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

El estudio se llevó a cabo en los departamentos de Chimaltenango y Sololá, en las zonas de vida Bosque muy húmedo sub-tropical, montano bajo y bosque húmedo montano bajo sub-tropical, en cuatro fincas forestales en las que DIGEBOS autorizó licencias de aprovechamiento con fines de investigación. Dichas fincas fueron seleccionadas tomando en consideración aspectos propios de los rodales como: una dominancia de *Pinus pseudostrobus* Lindl., que fueran naturales, puros y considerados poco o no intervenidos. Se tomó información en tres fincas de Chimaltenango, y una en Sololá. Cada una de las fincas es considerada como área de muestreo y cada uno de los árboles sujetos a medición fue considerado como muestra o parcela de muestreo.

Geográficamente las áreas de muestreo se localizan en las coordenadas mostradas en el Cuadro 1 e ilustradas en la Figura 4.

Cuadro 1 Ubicación geográfica y altitudinal de las áreas de muestreo en los departamentos de Chimaltenango y Sololá

No.	NOMBRE DE LA FINCA	COORDENADAS GEOGRAFICAS	PROPIETARIO	ALTITUD msnm
CHIMALTENANGO				
1	LA VISION, Tecpán Guatemala	Lat. 14° 44'50" N	PROTECSA. S.A.	2.300
		Long. 90° 57'40" W		
2	CHIRIJIYU, aldea Chirijuyú, Tecpán Guatemala	Lat. 14° 42'20" N	Mirtha Elizabeth Carboni Kunz de Glinz	2.220
		Long. 90° 58'20" W		
3	LAS CARRETAS, San Martín Jilotepeque	Lat. 14° 49'55" N	Eliseo de la Roca	1.900
		Long. 90° 47'10" W		
SOLOLA				
4	SANTA VICTORIA, San Andrés Semetabaj	Lat. 14° 45'50" N	Empresas Agrícolas San Sebastián S.A.	2.300
		Long. 91° 05'10" W		

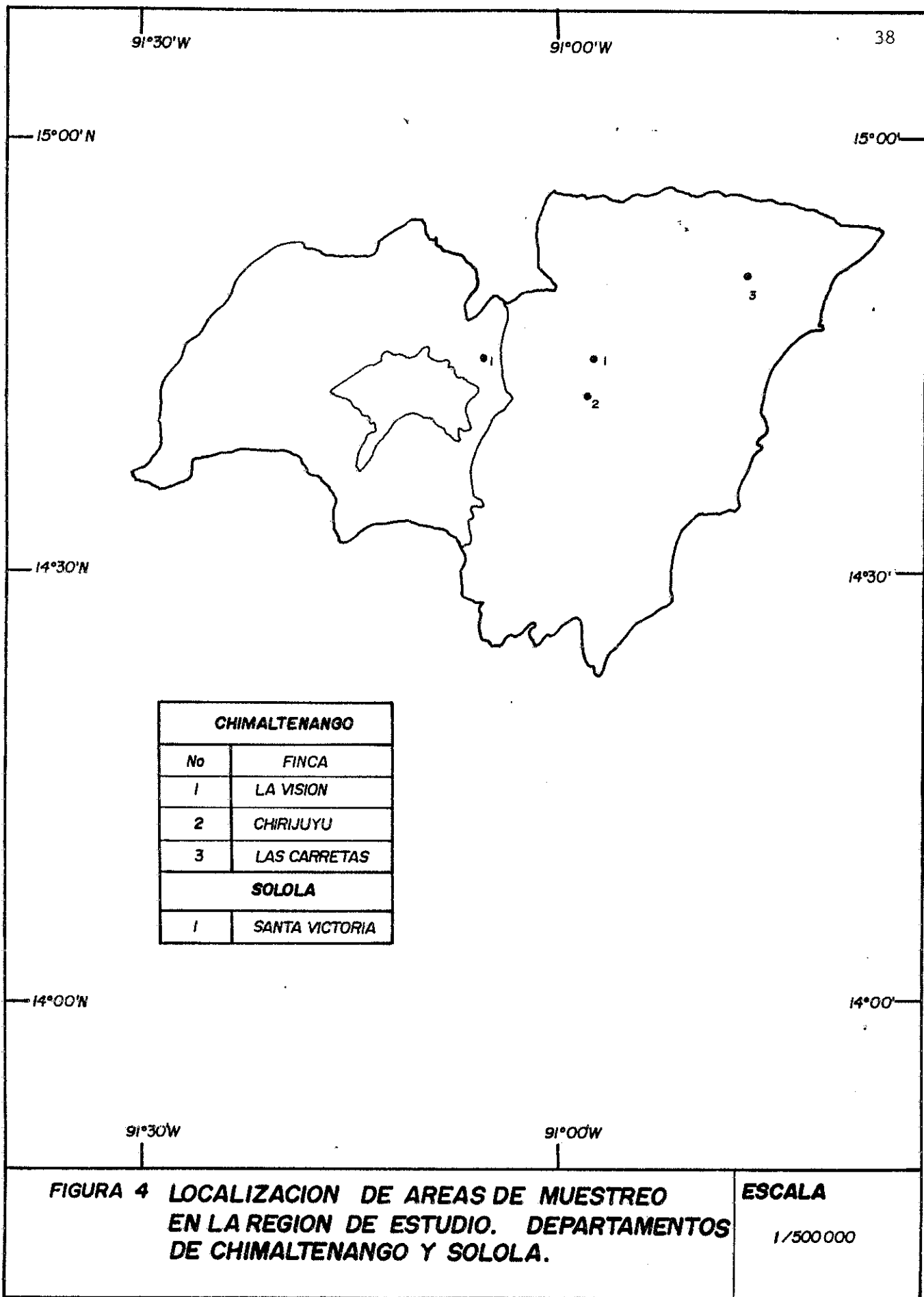
5.1.1. División del área de estudio

Inicialmente se localizó y ubicó en el mapa topográfico (Hoja Cartográfica 1:50000) las fincas forestales o áreas que proporcionarían los árboles muestra para obtener la información necesaria para realizar el estudio.

Seguidamente, a través de caminamientos se ubicaron los rodales puros de *Pinus pseudostrobus* Lindl., menos disturbados, que presentaran la mayor densidad, que pudiese considerarse completa y alturas dominantes representativas para tomarlos como unidades de estudio.

5.1.2. Selección y número de los árboles muestra

La selección de los árboles muestra se realizó tomando en consideración diferentes condiciones de desarrollo, particularmente la posición de éstos sobre la pendiente y la altitud sobre el nivel del mar, con el propósito de obtener la mayor variabilidad en la información.



CHIMALTENANGO	
No	FINCA
1	LA VISION
2	CHIRIJUYU
3	LAS CARRETAS
SOLOLA	
1	SANTA VICTORIA

FIGURA 4 LOCALIZACION DE AREAS DE MUESTREO EN LA REGION DE ESTUDIO. DEPARTAMENTOS DE CHIMALTENANGO Y SOLOLA.

ESCALA
1/500 000

Con base en lo anterior, se establecieron 4 categorías o divisiones de sitio de acuerdo a la ubicación de los árboles sobre la pendiente (plan, parte alta, media y baja), se estimó derribar como mínimo 3 árboles por cada categoría en cada una de las fincas, siempre y cuando las condiciones topográficas de las fincas y de los rodales requeridos para la realización así lo permitieran. En total fueron muestreados 49 árboles dominantes y/o codominantes distribuidos así:

Cuadro 2 Distribución de árboles muestreados por finca como área de muestreo.

FINCA	ARBOLES MUESTREADOS					
	PARTE ALTA DE LA PENDIENTE	PARTE MEDIA DE LA PENDIENTE	PARTE BAJA DE LA PENDIENTE	PLAN	TOTAL	RODALES DE MUESTREO
LA VISION	6	2	4	3	15	3
CHIRIUYU	1	-	1	6	8	3
LAS CARRETAS	3	4	4	3	14	7
SANTA VICTORIA	3	-	2	7	12	3
TOTALES	13	6	11	19	49	16

Las características de los árboles a medir, tomadas en cuenta para su selección fueron:

- Que se consideraran árboles dominantes o codominantes.
- Que no presentaran señales de daño por plagas y/o enfermedades.
- Que no presentaran huellas o indicios de resinación o quema.
- Que fueran árboles bien conformados con respecto al fuste, es decir, que fueran rectos, copa completa y que no presentaran señales de supresión en tiempo anterior.
- Que no estuvieran desramados ni bifurcados.

Para determinar la dominancia y/o codominancia de los árboles, en cada uno de los rodales seleccionados por finca, se levantó una parcela circular de 0.1 ha, estableciendo cuales eran los 10 árboles más altos por parcela, es decir la altura dominante; tomando el criterio que la altura dominante es el promedio de la altura de los 100 árboles más altos por hectárea, 10 por 1/10 de ha.

5.1.3. Derribo y troceo de los árboles

Luego de seleccionar el árbol considerado como muestra, se procedió a su derribo, realizando el corte a una altura de 0,30 metros. Se midió su longitud total, desde la base hasta la copa.

Cada árbol apeado se seccionó a longitudes variables, dependiendo del grosor de éste, para no desperdiciar sus productos.

Principalmente las longitudes utilizadas fueron:

2.00, 2.74, metros. y en casos especiales: 3.00, 3.35 y 3.65 metros. Estas longitudes se midieron con cinta métrica.

En el extremo superior de cada troza, se cortó una rodaja con grosor aproximado de 2 centímetros, la cual se utilizó para contar el número de anillos a la altura en la cual se había realizado el corte.

5.2. INFORMACION OBTENIDA

En cada sitio de muestreo se consignaba en la boleta de toma de datos, la parte de la pendiente sobre la cual el árbol estaba ubicado, es decir: en parte plana, parte alta, media o baja de la pendiente.

La altura sobre el nivel del mar de las áreas de muestreo fue dato que también se consignó en las boletas. En el Cuadro 1 A del apéndice se incluye el formato de boleta utilizado para coleccionar la información.

5.2.1. Definición de variables

Las variables alométricas necesarias para la realización del estudio son edades y alturas de árboles individuales durante el desarrollo cronológico de su crecimiento; a través de análisis de fustes de árboles apeados, dicha información se obtuvo así:

- Altura total:

Se consideró en metros, desde la base hasta la copa del árbol.

- Alturas intermedias:

Se consideró en metros, a longitudes variables, acumulando la longitud de las trozas desde la base del árbol. La longitud de las trozas fue variable, seleccionada de manera que el producto maderable que proporcionara cada una de ellas no se perdiera.

- Edad:

Se registró en años, y se obtuvo inicialmente en cada árbol la edad total derribando el árbol con una altura de corte de aproximadamente 0.3 metros, contando el número de anillos de crecimiento del tocón a 0.3 m. La edad total se consideró como el número de anillos al tocón mas 1. Esto, basándose en el supuesto que demoró un año para alcanzar la altura de 0.3 metros.

La edad considerada para cada una de las alturas acumuladas de troceo, se estableció contando el número de anillos de crecimiento en la "n" rodaja de su respectiva troza y la edad está dada por

$$\text{EDAD A LA ALTURA 'n' DEL ARBOL} = \text{EDAD TOTAL} - \text{No. DE ANILLOS DE CRECIMIENTO EN LA RODAJA 'n' DE LA TROZA}$$

Para procesar información se requieren los datos de alturas a diferentes edades durante el desarrollo del crecimiento de árboles dominantes para tener una ilustración de cual fue el comportamiento de dicho crecimiento a lo largo del tiempo.

En el Cuadro 3 se ilustra la obtención de las parejas de datos (edad - altura) para un árbol en particular, a lo largo de su crecimiento.

Cuadro 3 Obtención de las parejas de datos (EDAD-ALTURA), a partir de la información de campo.

SECCION DEL ARBOL	ALTURA DEL CORTE (m)	NUMERO DE ANILLOS	EDAD (AÑOS)	ALTURA (m)
1	0.3	16	1	0.3
2	2.3	15	2	2.3
3	4.3	14	3	4.3
4	6.3	13	4	6.3
5	8.3	12	5	8.3
6	10.3	11	6	10.3
7	12.3	10	7	12.3
8	14.3	8	9	14.3
9	16.3	7	10	16.3
10	18.3	5	12	18.3
11	20.3	2	15	20.3
12	23.6	PUNTA	17	23.6

EDAD TOTAL DEL ARBOL: $16 + 1 = 17$ AÑOS

ALTURA TOTAL DEL ARBOL: 23.6 metros.

El procedimiento desarrollado para obtener los registros de edad-altura a partir de la boleta de campo, consistió en considerar como datos de altura las longitudes en donde se obtuvo una rodaja y el dato de edad en dicha altura, es el valor de la diferencia entre edad total y número de anillos a determinada altura.

Básicamente, la metodología empleada para obtener esta información, es la descrita por Klepac (1983) (15) para análisis troncal o fustal.

Para cada árbol se obtuvo un promedio de 8 a 9 mediciones considerados como igual número de parejas de registro de edad - altura.

En el Cuadro 2 A del apéndice, se presentan los valores de alturas a diferentes edades, para cada árbol utilizado como muestra.

5.3. PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE LA INFORMACION

Los datos de altura-edad, obtenidos en cada uno de los árboles analizados, que en total hacen 507 parejas de datos de edad - altura provenientes de 49 árboles dominantes, se utilizaron para probar la bondad de ajuste de modelos que de acuerdo a trabajos realizados con anterioridad, principalmente en México y Costa Rica, han presentado un mejor ajuste para construcción de curvas de índice de sitio.

Dichos modelos matemáticos fueron ajustados con los datos de edad - altura, ingresados como tales, a través de análisis de regresión utilizando modelos linealizados, mediante la utilización del paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System), en el Centro de Estadística y Cálculo de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

El programa para la realización de los análisis se muestra en el Apéndice 3.

Los modelos utilizados para probar el ajuste de los datos de edad - altura son:

Modelo de Schumacher:

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

Modelo de Backman

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

Y otros modelos:

$$H = \frac{E^2}{b_0 + b_1 E + b_2 E^2}$$

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

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

$$H = \frac{E^2}{b_0 + b_1 E^2}$$

$$\ln H = b_0 + b_1 \frac{1}{E}$$

Donde:

H = Altura dominante

E = Edad base

a, b, b₁, b₂, ..., b_n, k. = Parámetros a estimar. (6)

ln = logaritmo natural (de base "e")

La regresión del modelo de Schumacher fue desarrollada a través de método de regresión jerárquica, utilizando para ello el sistema de paquetes estadísticos PALMER, PSP (Palmer's Statistical Packagers) del CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) mediante el programa SINDEK (Site index), desarrollado exclusivamente para el modelo de Schumacher. Esto, en virtud de que a través de esta regresión se obtiene el coeficiente exponencial "k" que ajusta de una mejor manera el modelo a los datos reales obtenidos en el campo.

El análisis de varianza de cada uno de los modelos de regresión probados, se obtuvo también en el paquete estadístico SAS.

La discriminación practicada a cada uno de los modelos probados, para seleccionar el de mejor ajuste, fue desarrollada basándose en el análisis de varianza de cada una de las regresiones, a través de los estimadores presentados en dicho análisis. Fundamentalmente los estimadores utilizados son:

- Coeficiente de Regresión (r^2) y Coeficiente ajustado (r^2 ajustado)
- Cuadrado medio del error (CME)
- Sumas de cuadrados (De la regresión., del error y totales)
- Grado de significancia de la regresión con la prueba de F , con respecto a su probabilidad de certeza.

También fue utilizado un análisis estadístico de Residuales para asegurarse del buen ajuste del modelo a seleccionar para el despliegue de la familia de curvas de Índice de sitio.

Con base en los criterios teóricos y prácticos utilizados para seleccionar adecuadamente el modelo matemático de mayor ajuste a los valores de EDAD vrs. ALTURA, como metodología general, los pasos para la construcción de curvas de índice sitio fueron los siguientes:

- a) Selección de la edad base: En este trabajo se consideraron 3 edades base 25, 30 y 35 años, tomando en cuenta que los turnos técnicos de la especie *Pinus pseudostrobus* Lindl. oscilan entre estas edades.
- b) Obtención de los estimadores de regresión b_0 o "a", b_1 o "b" y k del modelo seleccionado para ajustar la tendencia del conjunto de valores EDAD - ALTURA, a partir del tipo de curvas a generar, es decir de pendiente o de intercepto común, dependiendo del ajuste y naturaleza de los datos, para luego hacer la estimación de sus índices de sitio a la edad base predeterminada.
- c) Construcción del sistema de curvas a partir de las ecuaciones finalmente generadas.

Considerando el modelo seleccionado, la familia de curvas de índice de sitio pueden ser del tipo ANAMORFICO o POLIMORFICO, dependiendo del ajuste que los datos reales tengan para cada uno de ellos.

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 un graficador de la hoja electrónica QPRO.

6. RESULTADOS Y DISCUSION

Considerando los resultados que persiguen los objetivos de este trabajo, a continuación se presentan de una manera ordenada y secuencial, tratando que puedan visualizarse todos los resultados obtenidos.

6.1. DIAGRAMA DE DISPERSION EDAD - ALTURA

En la Figura 5 se presenta la dispersión del total de registros de EDAD-ALTURA, obtenidos a partir de 49 árboles dominantes de *Pinus pseudostrobus* Lindl., en los cuales se tomaron entre 7 y 8 mediciones. Puede observarse que la mayoría de registros se encuentran concentrados en un rango de edad que va de 1 a 50 años y con menor frecuencia valores a edades mayores, entre 50 y 75 años. Esta variación en las edades de los rodales, es justificable, considerando que a edades menores, el crecimiento en altura es mayor mientras que a edades superiores, tal crecimiento se ha estagnado, es decir cuando el crecimiento se ha detenido, de tal manera que no se reportan incrementos.

La dispersión de los valores de edad-altura, claramente registra una tendencia uniforme en la

que no presenta valores tan dispersos que en determinado momento puedan considerarse como puntos de influencia que sesguen el ajuste de algún modelo matemático en particular, no reflejando la tendencia real de los valores.

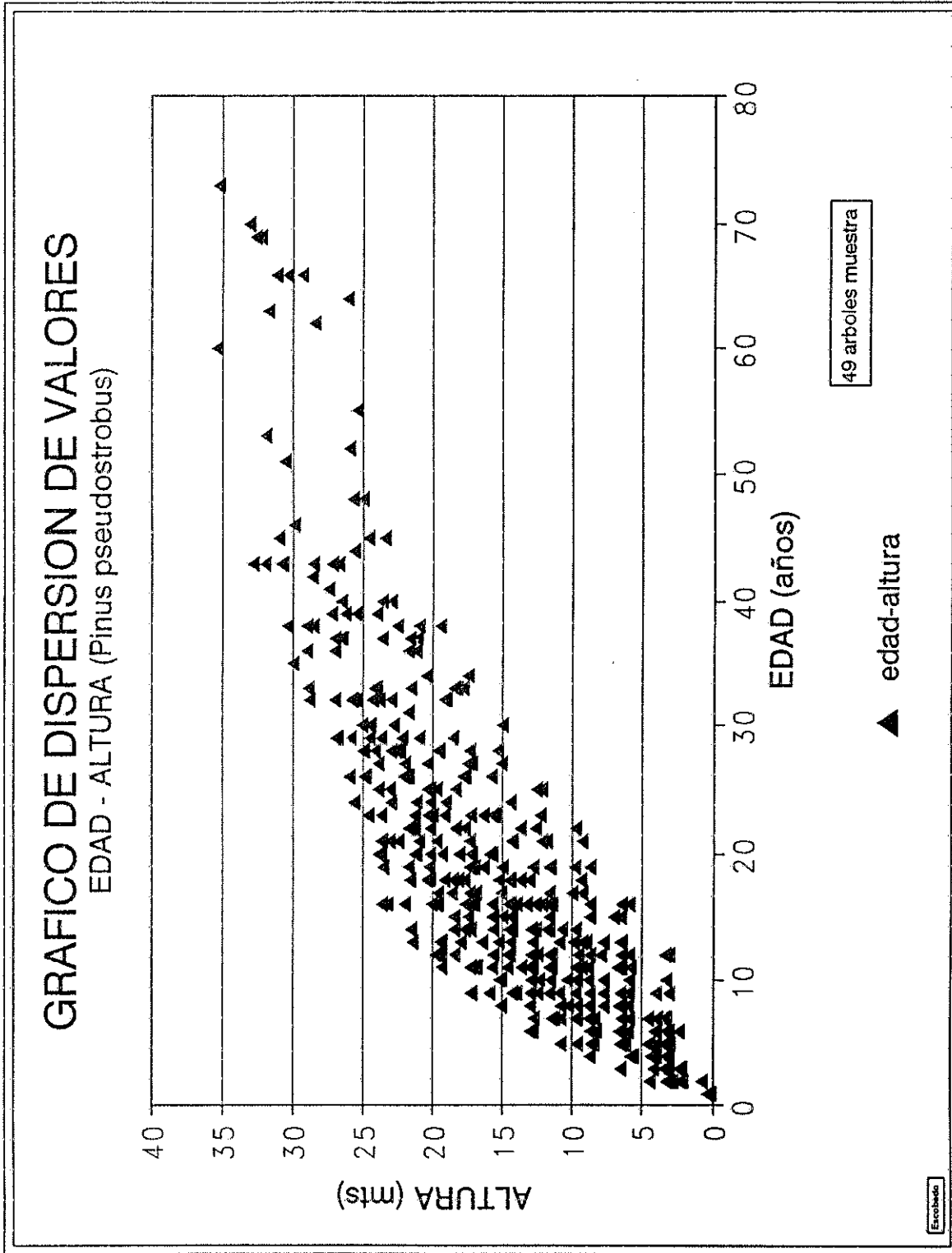


Figura 5 Diagrama de dispersión de datos Edad-Altura, de Pinus pseudostrobus.

Dada la tendencia puede observarse en la dispersión de los valores de edad-altura, se infiere que los modelos a los cuales puede ajustarse matemáticamente la distribución de los datos, deben ser logarítmicos.

6.2. ANALISIS DE REGRESION DE LOS DATOS DE EDAD - ALTURA

Se realizó un análisis de regresión a los datos edad-altura, provenientes de 49 árboles dominantes y/o codominantes, para lo cual se probaron 7 modelos matemáticos.

En el Cuadro 4, pueden observarse los resultados del análisis de varianza de la regresión, para cada uno de los modelos; a partir de los cuales tomándolos como herramientas estadísticas, se seleccionó el que se consideró adecuadamente más ajustable a la dispersión de valores edad-altura.

MODELO	SUMA DE CUADRADOS			VALOR DE F	F ₀	F ₀ AJUSTADO	COEF. DE VARIACION
	REGRESION	ERROR	TOTAL				
$H = e^{(b_0 + b_1 \ln E + b_2 \ln^2 E)}$	787.39	59.92	847.31	3311.412 **	0.9293	0.9290	15.76937
$H = \frac{E^2}{b_0 + b_1 E + b_2 E^2}$	782.86	64.45	847.31	2036.508 **	0.9239	0.9235	16.37113
$H = b_0 + b_1 \ln E$	30176.38	8810.41	38986.79	1729.666 **	0.7740	0.7736	29.98553
$H = b_0 + b_1 E + b_2 E^2$	32458.20	6518.59	38986.78	1252.868	0.8325	0.8319	25.83770
$H = \frac{E^2}{b_0 + b_1 E}$	759.31	88.00	857.31	2174.268 **	0.8961	0.8957	19.11075
$\ln H = a + b \frac{1}{E^k}$	788.78	58.52	847.30	6806.154 **	0.9309	0.9308	15.56931
$\ln H = b_0 + b_1 \frac{1}{E}$	758.65	88.66	847.30	4320.869 **	0.8954	0.8951	19.16348

**

Diferencias altamente significativas con una probabilidad de 0.01 %

6.2.1. Selección del modelo matemático de mejor ajuste

Tomando en cuenta los estimadores numéricos proporcionados por el análisis de varianza de la regresión, de cada uno de los modelos utilizados para probar su ajuste a los datos de edad-altura, se procedió a seleccionar el modelo que se consideró con mayores probabilidades estadísticas de ajuste a una dispersión real de valores obtenidos en el campo.

En general, observando los valores del Cuadro 4 se puede notar que la mayoría de modelos presentan buenos estimadores y por consiguiente un ajuste aceptable para la distribución de los valores de edad-altura. Tomando en cuenta que el coeficiente de determinación de los modelos probados supera el valor del 0.77 y una variación mostrada en el coeficiente de variación inferior al 30%.

Para el valor del coeficiente de variación, estimador que refleja porcentualmente la variación que los valores reales tienen con respecto a los valores que el modelo esperaría observar, un modelo será más ajustado mientras su valor de coeficiente de variación sea mínimo.

El valor del coeficiente de variación para el modelo de Schumacher, con un valor del 15.56% puede considerar válido dicho modelo, ya que en forma porcentual indica que intrínsecamente la variación de los valores reales con respecto a los valores que el modelo básico estima es pequeña, además que refleja un adecuado manejo de datos dentro del análisis de regresión.

Para coeficiente de determinación, r^2 , observando los valores para cada uno de los modelos planteados, también se tiene el máximo valor para el modelo Schumacher. Este valor numérico de 0.9309, y 0.9308 para el r^2 ajustado supone que el ajuste de los datos con el modelo base es adecuado indicando que el 93% de la variabilidad de los datos es explicada por dicho modelo y tomando en cuenta que el coeficiente de determinación tiene su rango de valores entre 0 y + 1, se considera que el modelo si se ajusta con alta significación estadística a la dispersión real de los valores observados. El valor de la prueba de F, indica que la probabilidad del ajuste del modelo a la serie de valores reales,

es altamente significativa, con un valor F calculado de 6806.154 , a una probabilidad del .01%

Otro criterio complementario utilizado asegurar un buen ajuste del modelo propuesto, es el análisis de residuales estandarizados, donde el e_i residual está dado por la diferencia entre el valor Y observado y el valor Y_i estimado de altura dominante, y, $e_i/\text{desviación estándar}$ es el residual estandarizado; graficando los residuales estandares como ordenadas al origen y los valores predichos de altura dominante como abscisas, para validar gráficamente el modelo matemático, se considera un rango permisible de aceptación valores de residuales entre ± 2 ; en donde el gráfico muestra que los valores de residuales no sobrepasan ± 1.5 .

En la gráfica de residuales (Figura 6) puede observarse que la dispersión de los residuales en el modelo de Schumacher es adecuada y está dentro del rango permisible; este análisis luego de haber observado la dispersión de residuales de los otros modelos, que presentan también valores permisibles un poco más dispersos.

ANÁLISIS DE RESIDUALES PARA EL MODELO DE SHUMACHER

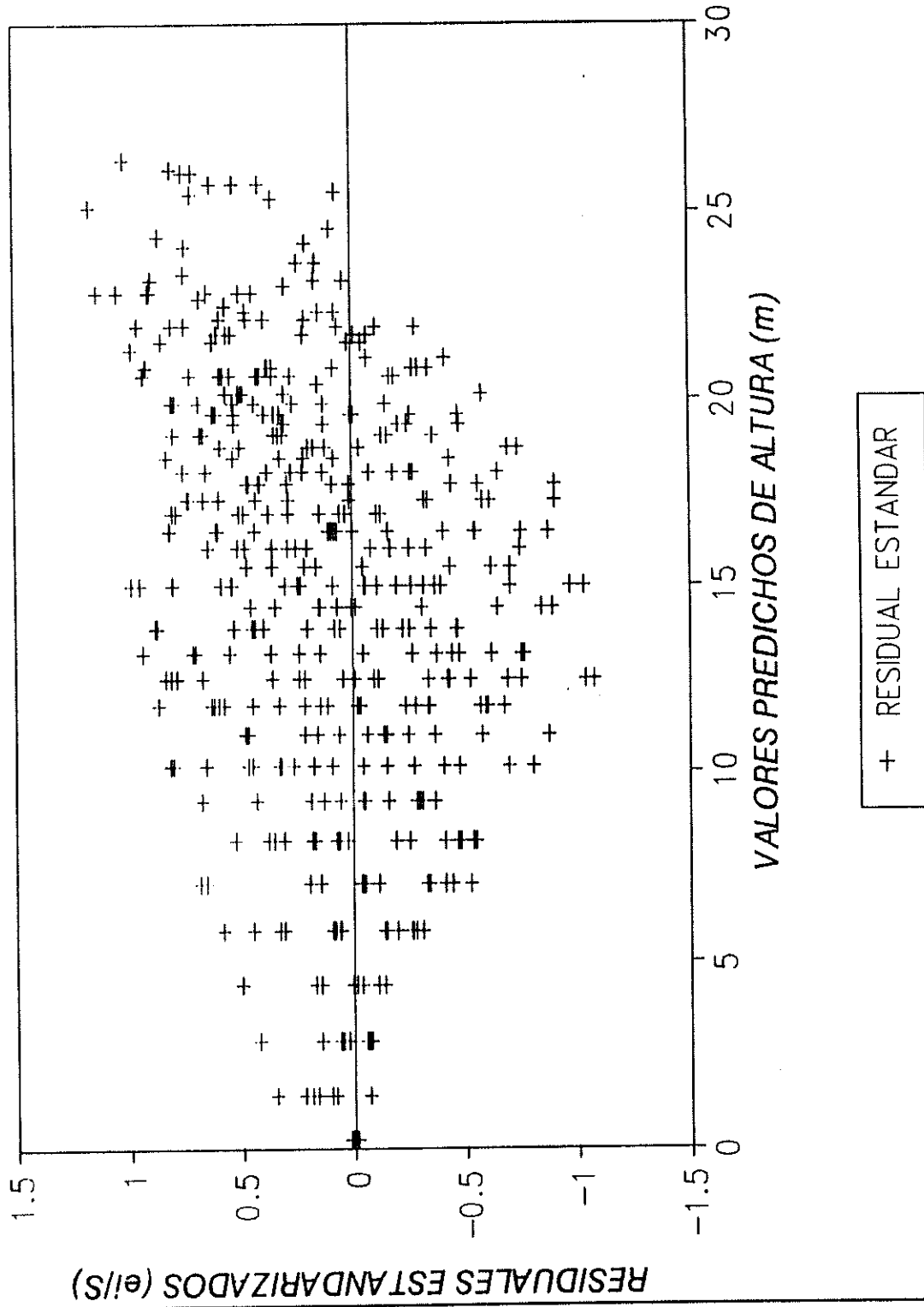


Figura 6 Dispersion de residuales estandarizados del modelo de Schumacher.

Considerando los estimadores presentados en el Análisis de Varianza de la regresión, queda claro que es el modelo de SCHUMACHER el que mejor se ajusta a la dispersión natural de los datos reales, siendo el modelo el siguiente:

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

En el numeral siguiente se presenta la forma en que se seleccionó el tipo de curvas desarrollar y es donde se utilizará el valor de intercepto común o de pendiente común, en función del tipo de curvas a seleccionar.

6.3. SELECCION DEL TIPO DE CURVAS

Los valores de los coeficientes de regresión del modelo No - lineal de SCHUMACHER, fueron obtenidos a través de regresión jerárquica, utilizando para ello el programa SINDEK del sistema de paquetes estadísticos PSP del CATIE. Particularmente este modelo se trabajó con este tipo de regresión, tomando en cuenta que se trata de un modelo No lineal que no permite su linealización para ser desarrollado originalmente por el método de mínimos cuadrados.

Los valores de dichos coeficientes independientes son:

El intercepto común "a" = 1.7858

La pendiente común "b" = -6.6475

El coeficiente "k" = 0.6011

6.4. MODELOS MATEMATICOS PARA CONSTRUIR LA FAMILIA DE CURVAS

Los modelos matemáticos ajustados para cada uno de los índices de sitio de la familia de curvas del tipo ANAMORFICO, a un edades base de 25, 30 y 35 años, se presentan en el Cuadro 5.

Para estimar el Índice de sitio de un rodal o árbol, contando con la edad de éste, basta sustituir el valor de edad en el modelo, para que este nos proporcione el índice de sitio en el que se encuentra ubicado dicho rodal y/o árbol.

Cuadro 5 Valores de los estimadores b, para cada uno de los modelos de índice de sitio, a las diferentes edades base utilizadas.

EDAD BASE	INTERCEPTOS DEL MODELO PARA CADA CALIDAD DE SITIO				
	I	II	III	IV	V
25 AÑOS	4.138	4.005	3.850	3.668	3.445
30 AÑOS	4.079	3.951	3.805	3.663	
35 AÑOS	4.185	4.042	3.875	3.675	3.423
VALOR DE K		VALOR DE LA PENDIENTE COMUN			
0.6011		- 6.6475			

Por ejemplo, el modelo matemático para una curva de Índice de Sitio de 24 metros de altura dominante (calidad I), a una edad base de 25 años, es el siguiente:

$$\ln H = 4.138 - 6.6475 \frac{1}{E^{0.6011}}$$

6.5. CONSTRUCCION DE UNA FAMILIA DE CURVAS DE INDICE DE SITIO DEL TIPO ANAMORFICO

Un dato fundamental para desarrollar una familia de curvas de índice de sitio es la **EDAD BASE** o **EDAD INDICE**, tomando como criterio para obtener esta edad la edad de rotación o turno técnico, considerada como la edad en la que un árbol o rodal alcanza su máximo incremento, representado matemáticamente, como el punto donde se intersectan las funciones de los incrementos medio y corriente anual.

Los criterios para poder establecer la edad de rotación o turno técnico de una especie dada, deben fundamentarse en modelos de crecimiento, rendimiento y producción de esta especie a diferentes calidades de sitio. En Guatemala aún no se cuenta con este tipo de información por lo que para seleccionar la edad base se utilizó el criterio de silvicultores, técnicos y profesionales forestales que tienen experiencia en el manejo de rodales de *Pinus pseudostrobus* Lindl.; quienes indican que dependiendo de la calidad del sitio el turno para la producción de madera para aserrío oscila entre 25 y 35 años.

En tal situación, para construir la familia de curvas de Índice de Sitio para *Pinus pseudostrobus* Lindl., se consideró tres edades base: 25, 30 y 35 años para generar 3 familias de CALIDAD/INDICE DE SITIO; categorizando las calidades de menor a mayor calidad, notadas con Números romanos de la siguiente manera:

Calidad I Calidad II Calidad III Calidad IV Calidad V

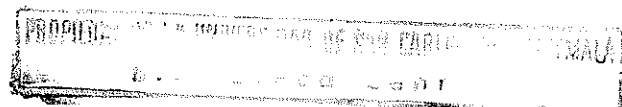
Las alturas índice utilizadas para cada una de las curvas de índice de sitio, a las diferentes edades base utilizadas, se presentan en el Cuadro 6.

Cuadro 6 Alturas índice utilizadas para generar las curvas de índice de sitio a las diferentes edades base dadas.

EDAD BASE	ALTI RA INDICE UTILIZADA PARA CADA CURVA DE INDICE DE SITIO				
	I	II	III	IV	V
25 AÑOS	24	21	18	15	12
30 AÑOS	25	22	19	16	
35 AÑOS	30	26	22	18	14

A continuación se presentan las familias de curvas de CALIDAD/INDICE DE SITIO para EDADES BASE DE 25,30 Y 35 años, en las Figuras 7,8 y 9.

Las curvas de Índice de sitio son más utilizables cuando se trata de rodales coetáneos y en los cuales se tiene definida su edad de rotación en función del turno técnico, tomando en cuenta que los valores de alturas dominantes a las edad del rodal si pueden ser ajustables y comprensibles en mayor grado mientras que para rodales naturales el donde la distribución de edades es variable y donde pudieron haber superado la edad de turno, son mas utilizables las curvas de Calidad de Sitio.



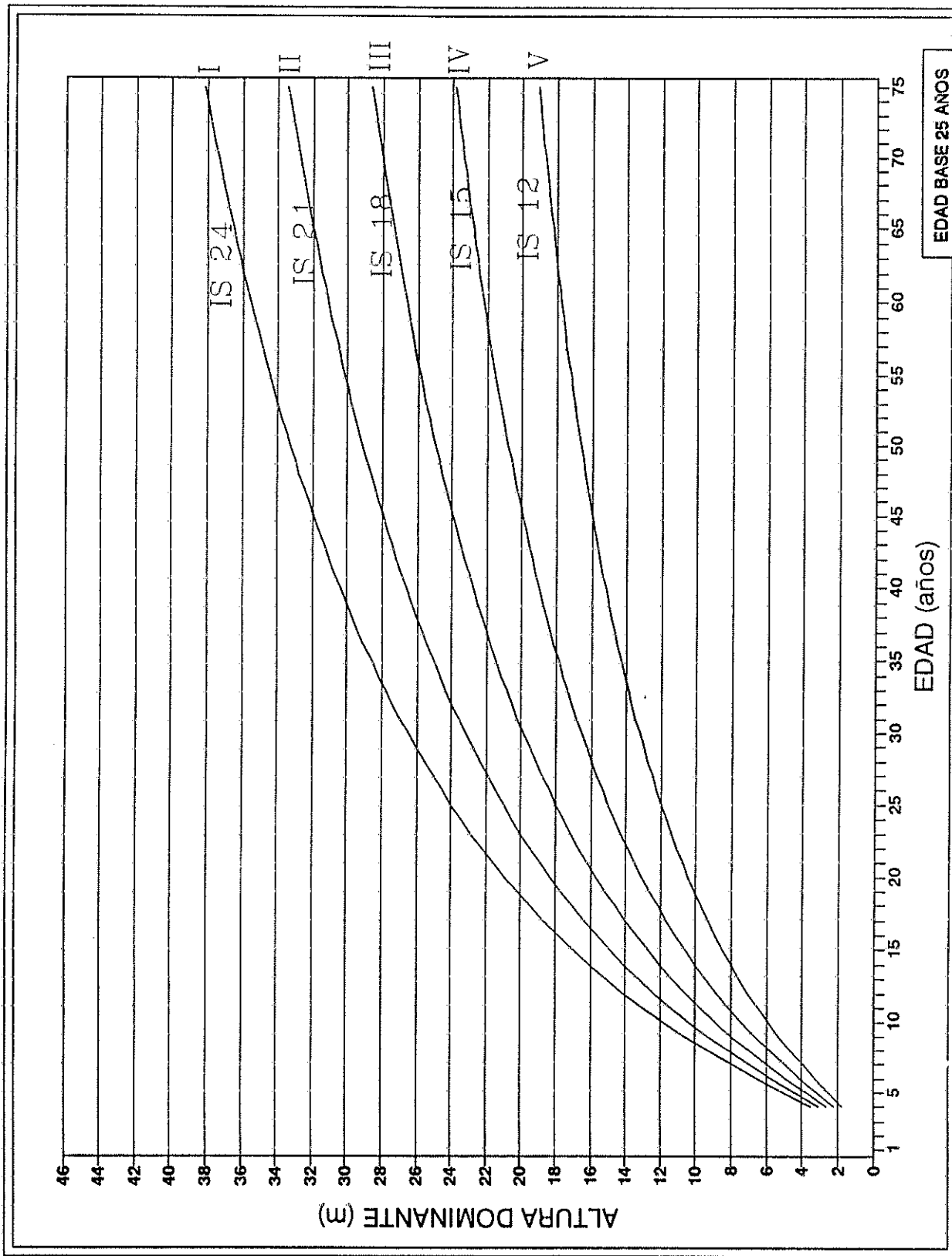


Figura7 Familia de curvas de Calidad/Indice de sitio para Pinus pseudostrobus en Chimaltenango y Sololá, a una edad base de 25 años.

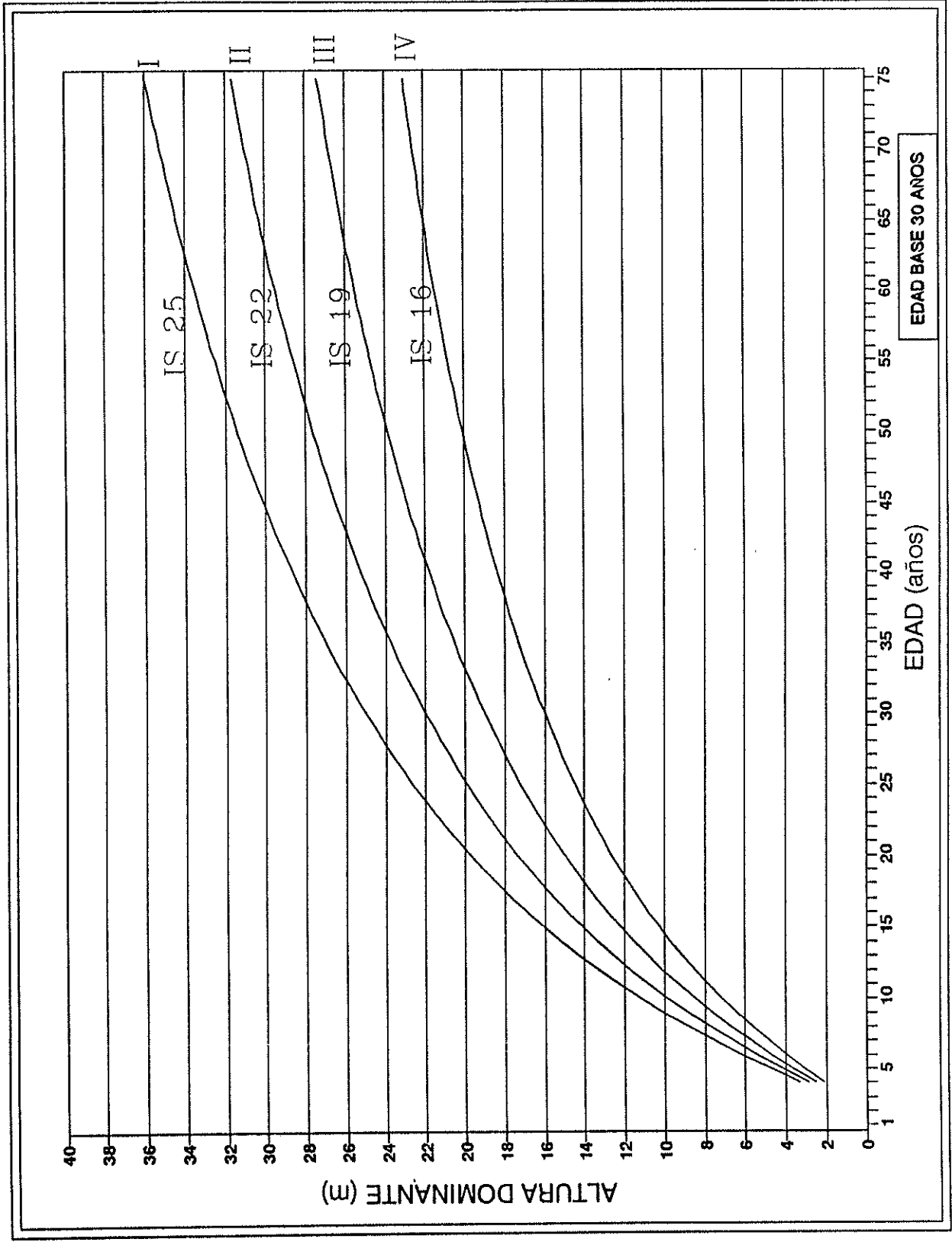


Figura 8 Familia de curvas de Calidad/Índice de sitio para Pinus pseudostrobus en Chimaltenango y Sololá, a una edad base de 30 años.

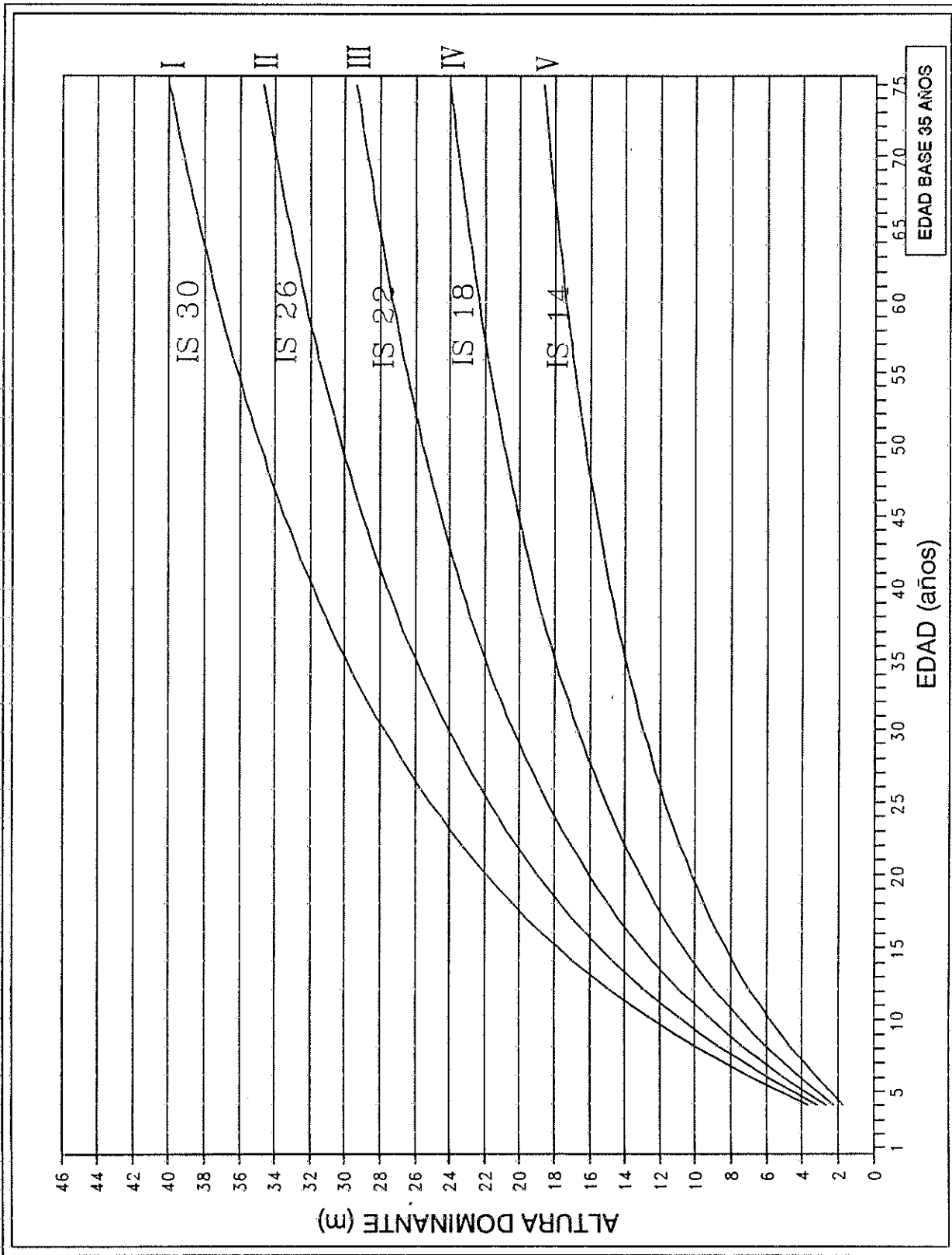


Figura 9 Familia de curvas de Calidad/Índice de sitio para Pinus pseudostrobus en Chimaltenango y Sololá, a una edad base de 35 años.

Con los valores de la constante exponencial " k " y la pendiente común " b ", pueden sustituirse para obtener valores del intercepto variable " a_i " para la construcción de curvas de índices de Sitio a cualquier edad base.

La edad base de 35 años fue considerada para el despliegue de estas curvas, tomando en cuenta que inicialmente en Chimaltenango y Sololá, se están manejando bosques naturales de *Pinus pseudostrobus* Lindl. los que en su mayoría han alcanzado o superado dicha edad. Los Índices de Sitio empleados: 14.00 m, 18.00 m, 22.00 m, 26.00 m y 30.00 metros, fueron utilizados dado que la dispersión de alturas dominantes a esa edad en los datos muestra, se encuentra dentro de tales valores por lo que para dar mayor confiabilidad a las curvas, se utilizaron estos índices de sitio.

Las edades base de 25 y 30 años se utilizaron para desplegar otras 2 familias de curvas de Calidad / Índice de Sitio para ilustrar la familia a tales edades, además de la utilidad práctica que puedan tener inmediatamente desplegadas. Para la edad base de 25 años se utilizaron alturas índice de 24.00, 21.00, 18.00, 15.00 y 12.00 metros.

Para la edad base de 30 años se utilizaron las alturas índice de 25.00, 22.00, 19.00 y 16.00 metros.

Estos valores de alturas índice fueron seleccionados de acuerdo a los valores máximos observados a las edades base seleccionadas, en la dispersión de datos reales de Altura-Edad.

Al momento de que las curvas y las tablas de índice de sitio sean necesarias para estimar clases de sitio en rodales artificiales o plantaciones, dependerá de los objetivos de producción de dicho rodal, de su edad turno promedio, etc., para seleccionar la edad base y los índices de sitio, y de esta manera construir una familia propia de curvas de índice de sitio, con los valores de " k " y " b " mencionados anteriormente.

Cuando se desea ubicar un rodal dentro de una determinada calidad de sitio, ya sea con fines de prescripción de tratamientos silviculturales en función de dicha calidad, o sea otro el objetivo, puede recurrirse directamente a la curva de calidad de sitio interceptando las perpendiculares que parten del eje ordenado con la altura dominante promedio del rodal o árbol y la que parte también perpendicular del eje de las abscisas con el valor de la edad promedio del rodal o del árbol en mención. En el punto de intersección de dichas perpendiculares podemos ubicar la calidad o el índice de sitio en que se encuentra dicho rodal.

Ejemplo:

Un rodal de *Pinus pseudostrobus* Lindl. que tiene edad promedio de 24 años y altura dominante 25.6 metros, Cual es la calidad de sitio en donde se está desarrollando, a una edad base de 25 años?

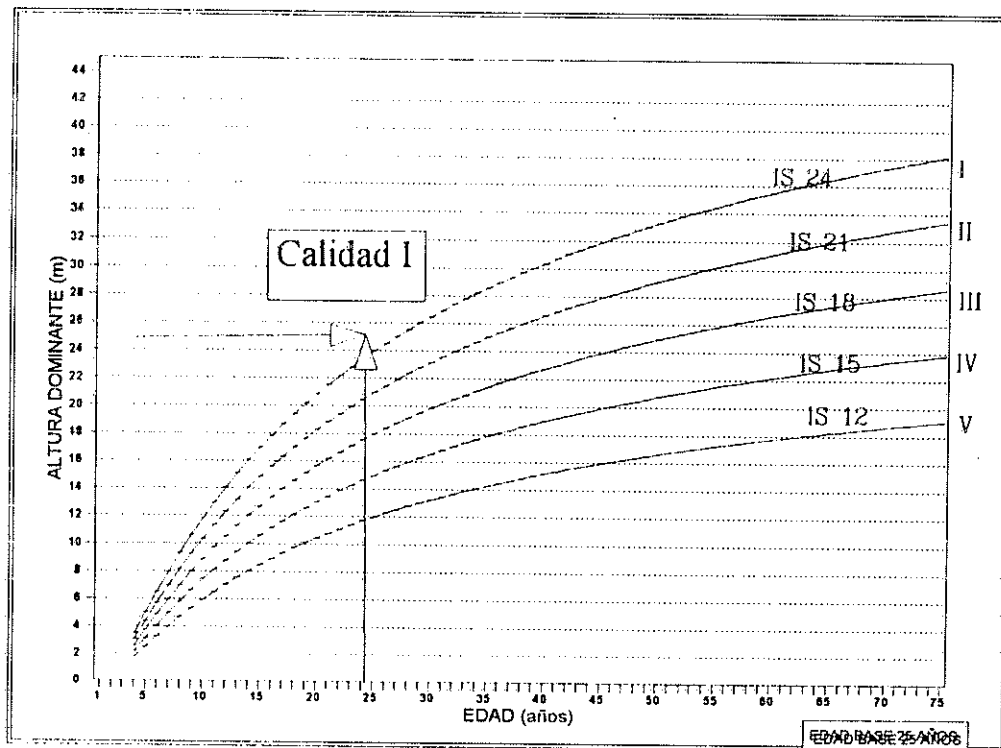


Figura 10 Ejemplo de la categorización de la calidad de sitio de un árbol o rodal, desarrollado con determinada edad y altura dominante.

Interceptando las perpendiculares a la edad y a la altura dadas, se deduce que el rodal donde se encuentra el árbol muestra, está en una calidad de sitio I.

Cuando se quiere establecer de una manera más precisa y numéricamente la calidad de sitio de un rodal o un árbol, se recurre a los cuadros de Índice o calidad de sitio los que presentan una columna con las edades consecutivas y otras columnas una para cada calidad de sitio con las respectivas alturas dominantes a las edades dadas; esto en función del modelo matemático ajustado previamente.

En el apéndice 4, 5 y 6, se presentan los Cuadros de Calidad/índice de sitio a edades base de 25, 30 y 35 años, con 5, 4 y 5 calidades/índices de sitio para *Pinus pseudostrobus* Lindl., en Chimaltenango y Sololá, respectivamente.

7. CONCLUSIONES

- 7.1. El modelo matemático de SCHUMACHER ($\text{Ln } H (\text{dom}) = a + b * 1/E^k$) es el que presentó el mejor ajuste de los registros de edad-altura para estimar INDICE DE SITIO en *Pinus pseudostrobus* Lindl., en el área de distribución natural de la especie, en los Departamentos de Chimaltenango y Sololá.

- 7.2. El modelo $\text{Ln } H (\text{dom}) = a + b_1 * 1/E^k$ es adecuado para la construcción de sistemas de curvas anamórficas de Índice de sitio, ya que a partir de una sola ecuación con pendiente constante y un coeficiente exponencial "k", pueden generarse curvas de crecimiento en altura de características distintas.

- 7.3. El patrón de crecimiento en altura dominante de *Pinus pseudostrobus* Lindl., en las condiciones diversas del área de estudio, está representado por una familia de curvas anamórficas de Índice de Sitio.

8. RECOMENDACIONES

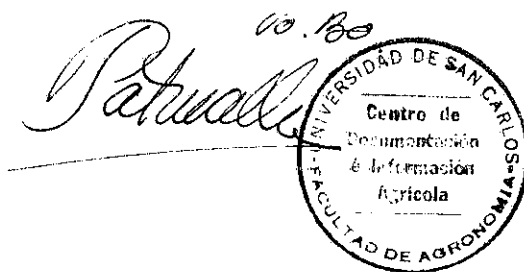
- 8.1 Continuar con la recolección de datos de edad - altura de árboles dominantes de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en otros Departamentos o regiones donde la especie se desarrolle naturalmente para establecer las comparaciones pertinentes y así generar y validar un modelo uniforme de índice de sitio para la especie *Pinus pseudostrobus* Lindl. en las zonas de ocurrencia natural y artificial de ésta, a nivel de Guatemala.
- 8.2 Utilizar la información generada en el presente trabajo, como datos básicos o preliminares para desarrollar investigaciones paralelas; es el caso de generación de tablas de crecimiento, tablas de rendimiento, tablas de producción, determinación de turnos a diferentes índices de sitio, entre otras, que formen parte de un conjunto de herramientas útiles para la correcta y adecuada formulación de planes de manejo de bosques naturales y plantaciones de *Pinus pseudostrobus* Lindl., considerándola como una especie de importancia económica y ecológica para las zonas de ocurrencia; es el caso de los departamentos de Chimaltenango y Sololá.
- 8.3 El Índice de Sitio es una metodología práctica para poder categorizar la productividad de rodales de *Pinus pseudostrobus* Lindl., en Chimaltenango y Sololá, en función del potencial productivo del lugar donde estos se desarrollen, simplemente a través de la edad de dicho rodal y su altura dominante. Este índice servirá como herramienta base para la formulación de planes de manejo de bosques de la especie en mención, en el área de estudio.

9. BIBLIOGRAFIA

1. **AGUIRRE, C.; ZEPEDA, B.** 1984. Estimación de índices de sitio para *Pinus pseudostrobus* Lindl., de la región de Iturbide, Nuevo León. Tesis Lic. Chapingo, México, Universidad Autónoma de Chapingo, Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Bosques. 71 p.
2. **ALDER, D.** 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento; con referencia especial a los trópicos. Roma. FAO. Estudios FAO Montes 22/2. v. 2. 198 p.
3. **ARTEAGA, M.** 1988. Factores del sitio que influyen en la productividad de *Pinus patula* Schl. et Cham., en la región Chignahuazapán-Zacatlán, Puebla. *Agrociencia (Mex)* 72:121-131.
4. _____. 1988. Índice de sitio para *Pinus patula* Schlet Cham., en la región de Chignahuazapán-Zacatlán, Puebla. *Agrociencia (Mex)* 72:133-141.
5. **CASTILLO CONTRERAS, D.A.** 1993. Tablas de producción preliminares para *Cupressus lusitanica* MILLER: estudio de caso en finca Florencia, Santa Lucía Milpas Altas, Sacatepequez y Finca Santa Isabel, Fraijanes, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 80 p.
6. **CLUTTER, J.L et al.** 1983. Timber management: a quantitative approach. New York, Wiley. 333 p.
7. **CRUZ, J.R. de la.** 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 p.
8. **DANIEL, T.W.; HELMS, J.A.; BAKER, F.S.** 1982. Principios de silvicultura. México, Mc. Graw. Hill. 492 p.
9. **GUATEMALA. INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL.** 1972. Mapa geológico de la República de Guatemala. Guatemala. Esc. 1:500,000. Color.
10. _____. 1973. Mapa de cuencas de la República de Guatemala. Guatemala. Esc. 1:500,000. Color.

11. _____. 1975. Mapa climatológico preliminar de la República de Guatemala. Guatemala. Esc. 1:1,000,000. Color.
12. _____. 1977. Atlas Nacional de la República de Guatemala. Guatemala. Esc. 1:1,000,000. Color.
13. _____. INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGÍA, VULCANOLOGÍA, METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA. 1988. Atlas Climatológico de la República de Guatemala. Guatemala. 21 p.
14. **ITZEP MANUEL, A.** 1995. Indices de sitio y desarrollo de un modelo preliminar de rendimiento para *Pinus oocarpa* Schiede en las fincas Santa Rosalía, Gualán, Zacapa y Salamá I, Salamá, Baja Verapaz. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 99 p.
15. **KLEPAC, D.** 1983. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Trad. al español del libro Rast H. Prirast. Chapingo, México, Escuela Nacional Agrícola. 365 p.
16. **LOPEZ PAYES, J.G.** 1992. Determinación de índices de sitio y estudio de crecimiento de ciprés común *Cupressus lusitanica* Miller establecido en plantación, en tres localidades del departamento de Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 87 p.
17. **MARTINEZ GARZA, A.; CASTILLO MORALES, A.** 1987. Teoría de la regresión con aplicaciones agronómicas. México, Colegio de Posgraduados de Chapingo. 490 p.
18. **PETTERS, R.** 1977. Tablas de volumen para las especies de coníferas de Guatemala. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 162 p.
19. **RIVERO, B.; ZEPEDA, B.** 1990. Principios básicos de regulación forestal. México, Universidad Autónoma de Chapingo, División de Ciencias Forestales. 262 p.
20. **RODRIGUEZ, R.** 1982. Determinación de la calidad de estación de *Pinus montezumae* Lamb., a través de análisis troncales en el campo experimental forestal San Juan Tetla, Puebla. Tesis Mag. Sc. Chapingo, México, Colegio de Posgraduados, Centro de Genética, Programa forestal. 134 p.

21. **SIMMONS, CH.; TARANO, J.M.; PINTO, J.H.** 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la República de Guatemala. Trad. Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, Ed. José de Pineda Ibarra. 1000 p.
22. **ZEPEDA B., E.M. ; RIVERO, P.** 1984. Construcción de curvas anamórficas de índices de sitio: ejemplificación del método de la curva guía. Ciencia Forestal (Mex) 9(51):3-38.



10. APENDICE

APENDICE 2. Cuadro 2 A**Mediciones dasométricas de cada árbol utilizado para obtener información de edad - altura**

Arbol No. I CH.			Arbol No. V CH			Arbol No. I LV		
sección	EDAD	ALTURA	sección	EDAD	ALTURA	sección	EDAD	ALTURA
1	1	0,30	1	1	0,30	1	1	0,15
2	6	3,15	2	2	2,13	2	3	3,35
3	9	5,99	3	3	4,18	3	5	6,55
4	11	8,84	4	5	6,23	4	9	9,75
5	15	11,68	5	6	8,28	5	14	12,65
6	18	14,53	6	8	10,33	6	17	15,09
7	21	17,37	7	10	12,38	7	20	18,14
8	24	20,22	8	12	14,43	8	24	21,19
9	26	21,72	9	13	16,43	9	27	23,93
10	29	23,72	10	15	18,43	10	32	26,98
11	32	25,72	11	21	23,10	11	36	28,98
12	43	28,50				12	45	30,98
						13	60	35,30

Arbol No. II CH			Arbol No. VI CH			Arbol No. II LV		
sección	EDAD	ALTURA	sección	EDAD	ALTURA	sección	EDAD	ALTURA
1	1	0,30	1	1	0,30	1	1	0,20
2	3	3,09	2	2	3,07	2	3	3,32
3	7	5,94	3	4	5,86	3	5	6,48
4	9	8,79	4	5	8,66	4	7	9,63
5	11	11,63	5	7	11,45	5	9	12,47
6	13	14,48	6	9	14,25	6	13	15,32
7	14	17,32	7	11	17,04	7	14	18,47
8	18	20,17	8	12	19,84	8	23	21,31
9	20	21,27	9	20	23,90	9	30	24,46
10	25	23,87				10	37	26,46
11	37	26,60				11	69	32,60

Arbol No. III CH			Arbol No. VII CH			Arbol No. III LV		
sección	EDAD	ALTURA	sección	EDAD	ALTURA	sección	EDAD	ALTURA
1	1	0,30	1	1	0,20	1	1	0,20
2	6	3,09	2	3	2,23	2	5	3,32
3	10	5,94	3	4	4,28	3	8	6,48
4	12	8,79	4	5	6,33	4	10	9,65
5	14	11,63	5	7	8,38	5	13	12,83
6	16	14,48	6	10	10,43	6	15	15,67
7	19	17,37	7	12	12,48	7	18	18,52
8	23	19,17	8	14	14,53	8	22	21,67
9	26	21,87	9	19	17,00	9	26	24,82
10	30	24,57				10	29	26,82
11	39	27,30				11	32	28,82
						12	43	32,75

Arbol No. IV CH			Arbol No. VIII CH			Arbol No. IV. LV		
4			8			12		
sección	EDAD	ALTURA	sección	EDAD	ALTURA	sección	EDAD	ALTURA
1	1	0,35	1	1	0,25	1	1	0,20
2	6	3,14	2	2	2,87	2	7	3,32
3	8	5,99	3	4	5,66	3	12	6,48
4	10	8,84	4	5	8,46	4	13	9,32
5	12	11,68	5	7	11,25	5	16	12,17
6	16	14,53	6	9	14,05	6	19	15,01
7	17	16,93	7	11	16,84	7	26	17,86
8	20	19,33	8	12	19,64	8	29	21,01
9	22	21,33	9	20	23,75	9	33	24,16
10	32	24,25				10	37	27,00
						11	46	29,85
						12	53	31,85

Arbol No. V LV			Arbol No. VIII LV			Arbol No. XI LV		
13			16			19		
sección	EDAD	ALTURA	sección	EDAD	ALTURA	sección	EDAD	ALTURA
1	1	0,20	1	1	0,20	1	1	0,30
2	5	3,02	2	10	3,32	2	6	3,42
3	11	5,87	3	13	6,48	3	15	6,58
4	13	9,02	4	21	9,32	4	22	9,73
5	14	11,86	5	25	12,17	5	25	12,57
6	15	15,01	6	30	15,01	6	28	15,42
7	16	17,01	7	33	17,86	7	34	17,42
8	20	20,14	8	40	23,01	8	38	19,42
9	22	21,24	9	48	25,01	9	64	26,10
10	32	24,36	10	66	30,30			
11	41	27,46						
12	63	31,70						

Arbol No. VI LV			Arbol No. IX LV			Arbol No. XII LV		
14			17			20		
sección	EDAD	ALTURA	sección	EDAD	ALTURA	sección	EDAD	ALTURA
1	1	0,20	1	1	0,30	1	1	0,30
2	5	3,32	2	4	3,42	2	7	3,42
3	7	6,48	3	13	6,58	3	15	7,01
4	11	9,32	4	18	9,42	4	19	9,83
5	12	12,47	5	23	12,27	5	22	12,67
6	13	15,32	6	27	15,11	6	26	15,82
7	18	18,16	7	33	18,26	7	32	18,97
8	21	21,01	8	37	21,11	8	38	20,97
9	24	23,01	9	39	23,95	9	45	23,47
10	28	25,01	10	52	25,95	10	55	25,37
11	70	33,10	11	66	30,30	11	66	29,30

Arbol No. I C			Arbol No. IV C			Arbol No. VII C		
24			27			30		
sección	EDAD	ALTURA	sección	EDAD	ALTURA	sección	EDAD	ALTURA
1	1	0,30	1	1	0,30	1	1	0,30
2	3	3,09	2	12	3,09	2	6	2,41
3	7	5,94	3	16	5,91	3	7	4,54
4	9	8,79	4	19	8,73	4	8	6,68
5	11	11,63	5	21	11,86	5	11	8,81
6	15	14,48	6	23	15,59	6	26	22,04
7	20	17,32	7	26	17,62	7	28	24,18
8	22	20,17	8	28	19,67	8	36	27,00
9	28	23,01	9	31	21,72			
10	32	25,80	10	32	23,77			
			11	43	30,72			
Arbol No. VIII C			Arbol No. XI C			Arbol No. XIV C		
31			34			37		
sección	EDAD	ALTURA	sección	EDAD	ALTURA	sección	EDAD	ALTURA
1	1	0,30	1	1	0,20	1	1	0,20
2	3	2,41	2	2	4,47	2	3	2,31
3	5	4,54	3	3	6,60	3	4	4,44
4	6	6,68	4	4	8,73	4	5	6,58
5	8	8,81	5	5	10,87	5	6	8,71
6	9	10,94	6	6	13,00	6	7	10,84
7	11	13,08	7	8	15,14	7	8	12,98
9	17	17,34	8	9	17,27	8	10	15,11
10	23	23,74	9	11	19,40	9	11	17,24
11	29	25,88	10	14	21,54	10	12	19,38
12	35	29,95	11	16	23,60	11	14	21,51
						12	16	23,64
Arbol No. IX C			Arbol No. XII C			Arbol No. I SV		
32			35			38		
sección	EDAD	ALTURA	sección	EDAD	ALTURA	sección	EDAD	ALTURA
1	1	0,30	1	1	0,20	1	1	0,30
2	3	3,40	2	3	2,33	2	7	4,03
3	5	6,52	3	5	4,47	3	10	7,77
4	7	12,77	4	6	6,60	4	12	11,50
5	9	15,90	5	7	8,73	5	15	14,32
6	13	18,01	6	8	10,87	6	16	17,14
7	16	20,12	7	9	13,00	7	18	19,14
8	43	30,80	8	10	15,19	8	20	21,14
			9	11	17,32	9	28	24,90
			10	13	19,45			
			11	16	22,04			

.....Continuación del Cuadro 2 A

Arbol No.V SV			Arbol No. "A" SV			Arbol No. X SV		
42			45			48		
sección	EDAD	ALTURA	sección	EDAD	ALTURA	sección	EDAD	ALTURA
1	1	0,30	1	1	0,30	1	1	0,30
2	3	3,12	2	6	3,12	2	5	3,42
3	9	5,94	3	10	5,94	3	6	6,55
4	15	8,76	4	12	8,76	4	8	9,67
5	19	11,58	5	14	10,76	5	11	12,80
6	21	14,40	6	16	13,26	6	14	15,62
7	23	16,40	7	18	15,26	7	16	17,62
8	25	18,40	8	19	17,26	8	17	19,62
9	27	20,40	9	23	20,40	9	18	21,62
10	28	22,40				10	21	23,62
11	32	25,40				11	26	26,00

Arbol No.XI SV		
49		
sección	EDAD	ALTURA
1	1	0,30
2	7	3,45
3	9	6,60
4	14	9,75
5	16	11,75
6	18	13,75
7	20	15,75
8	22	17,75
9	25	19,75
10	30	22,80

Apéndice 3**Cuadro 3 A Programa utilizado en SAS para efectuar los análisis de regresión.**

```
options ps = 60 nodate;
data prueba;
infile 'b:Alista1.prn';
input edad altura ek;
lnedad = log(edad);
ed2 = edad*edad; ln2ed = log(ed2);
lnalt = log(altura); e3 = (1/edad); e4 = (1/edad** 0.6011) ;
ln2edad = lnedad*lnedad;
proc reg; model lnalt = lnedad ln2edad;
run;
proc reg; model lnalt = ln2ed edad ed2;
run;
proc reg; model altura = lnedad;
run;
proc reg; model altura = edad ed2;
run;
proc reg; model lnalt = ln2ed ed2;
run;
proc reg; model lnalt = e3;
run;
proc reg; model lnalt = ek;
run;
proc reg; model lnalt = e4;
run;
```

APENDICE 4

CUADRO 4 A Alturas dominantes a diferentes Calidad/Índice de Sitio, para *Pinus pseudostrobus* Lindl., en los departamentos de Chimaltenango y Sololá, a una edad base de 25 años.

EDAD	IS 24 CS I	IS 21 CS II	IS 18 CS III	IS 15 CS IV	IS 12 CS V	EDAD	IS 24 CS I	IS 21 CS II	IS 18 CS III	IS 15 CS IV	IS 12 CS V
1	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	39	30,06	26,31	22,53	18,78	15,03
2	0,78	0,69	0,59	0,49	0,39	40	30,39	26,61	22,79	18,99	15,20
3	2,02	1,77	1,52	1,26	1,01	41	30,72	26,89	23,03	19,20	15,36
4	3,49	3,05	2,61	2,18	1,74	42	31,03	27,17	23,27	19,40	15,52
5	5,01	4,39	3,76	3,13	2,51	43	31,34	27,44	23,50	19,59	15,67
6	6,51	5,70	4,88	4,07	3,26	44	31,64	27,70	23,72	19,78	15,82
7	7,96	6,97	5,97	4,97	3,98	45	31,93	27,96	23,94	19,96	15,97
8	9,33	8,17	7,00	5,83	4,67	46	32,22	28,20	24,15	20,13	16,11
9	10,63	9,31	7,97	6,64	5,32	47	32,49	28,45	24,36	20,31	16,25
10	11,85	10,38	8,89	7,41	5,93	48	32,76	28,68	24,56	20,48	16,38
11	13,00	11,38	9,75	8,13	6,50	49	33,02	28,91	24,76	20,64	16,51
12	14,09	12,33	10,56	8,81	7,05	50	33,28	29,14	24,95	20,80	16,64
13	15,11	13,23	11,33	9,44	7,56	51	33,53	29,36	25,14	20,96	16,77
14	16,08	14,08	12,05	10,05	8,04	52	33,78	29,57	25,32	21,11	16,89
15	16,99	14,88	12,74	10,62	8,50	53	34,01	29,78	25,50	21,26	17,01
16	17,86	15,63	13,39	11,16	8,93	54	34,25	29,98	25,68	21,40	17,13
17	18,68	16,35	14,00	11,67	9,34	55	34,48	30,18	25,85	21,55	17,24
18	19,46	17,03	14,59	12,16	9,73	56	34,70	30,38	26,02	21,69	17,35
19	20,20	17,68	15,14	12,62	10,10	57	34,92	30,57	26,18	21,82	17,46
20	20,90	18,30	15,67	13,07	10,45	58	35,13	30,75	26,34	21,96	17,57
21	21,58	18,89	16,18	13,49	10,79	59	35,34	30,94	26,49	22,09	17,67
22	22,22	19,46	16,66	13,89	11,11	60	35,54	31,12	26,65	22,21	17,77
23	22,84	19,99	17,12	14,27	11,42	61	35,74	31,29	26,80	22,34	17,87
24	23,43	20,51	17,57	14,64	11,72	62	35,94	31,46	26,94	22,46	17,97
25	23,99	21,01	17,99	15,00	12,00	63	36,13	31,63	27,09	22,58	18,07
26	24,54	21,48	18,40	15,34	12,27	64	36,32	31,79	27,23	22,70	18,16
27	25,06	21,94	18,79	15,66	12,53	65	36,50	31,96	27,37	22,81	18,25
28	25,56	22,38	19,16	15,98	12,78	66	36,68	32,11	27,50	22,93	18,34
29	26,04	22,80	19,53	16,28	13,02	67	36,86	32,27	27,64	23,04	18,43
30	26,51	23,21	19,88	16,57	13,26	68	37,03	32,42	27,77	23,15	18,52
31	26,96	23,60	20,21	16,85	13,48	69	37,20	32,57	27,89	23,25	18,60
32	27,39	23,98	20,54	17,12	13,70	70	37,37	32,72	28,02	23,36	18,69
33	27,81	24,35	20,85	17,38	13,91	71	37,54	32,86	28,14	23,46	18,77
34	28,21	24,70	21,15	17,63	14,11	72	37,70	33,00	28,26	23,56	18,85
35	28,61	25,04	21,45	17,88	14,31	73	37,86	33,14	28,38	23,66	18,93
36	28,99	25,38	21,73	18,12	14,49	74	38,01	33,28	28,50	23,76	19,01
37	29,35	25,70	22,01	18,35	14,68	75	38,16	33,41	28,61	23,85	19,09
38	29,71	26,01	22,27	18,57	14,86						

APENDICE 5

CUADRO 5 A Alturas dominantes a diferentes Calidad/Indice de Sitio, para *Pinus pseudostrobus* Lindl., en los departamentos de Chimaltenango y Sololá, a una edad base de 30 años.

EDAD	(IS 25) C.S. I	(IS 22) C.S. II	(IS 19) C.S. III	(IS 16) C.S. IV	EDAD	(IS 25) C.S. I	(IS 22) C.S. II	(IS 19) C.S. III	(IS 16) C.S. IV
1	0,08	0,07	0,06	0,05	39	28,33	24,93	21,54	18,14
2	0,74	0,65	0,56	0,47	40	28,65	25,21	21,78	18,34
3	1,91	1,68	1,45	1,22	41	28,96	25,48	22,02	18,54
4	3,29	2,89	2,50	2,10	42	29,26	25,74	22,24	18,73
5	4,72	4,16	3,59	3,02	43	29,55	26,00	22,46	18,91
6	6,14	5,40	4,67	3,93	44	29,83	26,24	22,68	19,10
7	7,50	6,60	5,70	4,80	45	30,10	26,49	22,89	19,27
8	8,80	7,74	6,69	5,63	46	30,37	26,72	23,09	19,44
9	10,02	8,82	7,62	6,41	47	30,63	26,95	23,29	19,61
10	11,17	9,83	8,49	7,15	48	30,88	27,17	23,48	19,77
11	12,26	10,79	9,32	7,85	49	31,13	27,39	23,67	19,93
12	13,28	11,69	10,10	8,50	50	31,37	27,60	23,86	20,09
13	14,25	12,53	10,83	9,12	51	31,61	27,81	24,03	20,24
14	15,16	13,34	11,52	9,70	52	31,84	28,02	24,21	20,38
15	16,02	14,09	12,18	10,25	53	32,07	28,21	24,38	20,53
16	16,83	14,81	12,80	10,78	54	32,29	28,41	24,55	20,67
17	17,61	15,49	13,39	11,27	55	32,50	28,60	24,71	20,81
18	18,34	16,14	13,95	11,74	56	32,71	28,78	24,87	20,94
19	19,04	16,75	14,48	12,19	57	32,92	28,96	25,03	21,07
20	19,71	17,34	14,98	12,62	58	33,12	29,14	25,18	21,20
21	20,34	17,90	15,47	13,02	59	33,31	29,31	25,33	21,33
22	20,95	18,43	15,93	13,41	60	33,51	29,48	25,48	21,45
23	21,53	18,94	16,37	13,78	61	33,69	29,65	25,62	21,57
24	22,09	19,43	16,79	14,14	62	33,88	29,81	25,76	21,69
25	22,62	19,90	17,20	14,48	63	34,06	29,97	25,90	21,80
26	23,13	20,35	17,59	14,81	64	34,24	30,12	26,03	21,92
27	23,62	20,78	17,96	15,12	65	34,41	30,28	26,16	22,03
28	24,10	21,20	18,32	15,43	66	34,58	30,43	26,29	22,14
29	24,55	21,60	18,67	15,72	67	34,75	30,57	26,42	22,24
30	24,99	21,99	19,00	16,00	68	34,91	30,72	26,54	22,35
31	25,41	22,36	19,32	16,27	69	35,07	30,86	26,67	22,45
32	25,82	22,72	19,63	16,53	70	35,23	31,00	26,79	22,55
33	26,22	23,07	19,93	16,78	71	35,39	31,13	26,90	22,65
34	26,60	23,40	20,22	17,03	72	35,54	31,27	27,02	22,75
35	26,97	23,73	20,50	17,26	73	35,69	31,40	27,13	22,85
36	27,33	24,04	20,78	17,49	74	35,83	31,53	27,25	22,94
37	27,67	24,35	21,04	17,71	75	35,98	31,66	27,36	23,03
38	28,01	24,64	21,29	17,93					

