

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



**FACTORES EDÁFICOS Y FISIAGRÁFICOS QUE INCIDEN EN EL ÍNDICE DE SITIO
EN BOSQUES NATURALES DE *Pinus pseudostrobus* LINDLEY EN
EL DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO.**

ESTUARDO WOHLERS ROSSILL

GUATEMALA SEPTIEMBRE 2006

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

**FACTORES EDÁFICOS Y FISIOGRÁFICOS QUE INCIDEN EN EL ÍNDICE DE SITIO
EN BOSQUES NATURALES DE *Pinus pseudostrobus* LINDLEY EN
EL DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO.**

TESIS

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

POR

ESTUARDO WOHLERS ROSSILL

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

**INGENIERO AGRÓNOMO EN
RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

EN EL GRADO ACADÉMICO DE

LICENCIADO

GUATEMALA OCTUBRE 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

RECTOR

LICENCIADO ESTUARDO GÁLVEZ BARRIOS

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	DR. ARIEL ABDERRAMÁN ORTÍZ LÓPEZ
VOCAL I	ING. AGR. ALFREDO ITZEP MANUEL
VOCAL II	ING. AGR. WALTER ARNOLDO REYES SANABRIA
VOCAL III	ING. AGR. DANILO ERNESTO DARDÓN AVILA
VOCAL IV	BACH. DUGLAS ANTONIO CASTILLO ALVAREZ
VOCAL V	P. AGR. JOSE MAURICIO FRANCO ROSALES
SECRETARIO	ING. AGR. PEDRO PELÁEZ REYES

Guatemala, octubre de 2006

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

Señores representantes:

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

“FACTORES EDÁFICOS Y FISIAGRÁFICOS QUE INCIDEN EN EL ÍNDICE
DE SITIO EN BOSQUES NATURALES DE *Pinus pseudostrobus* LINDLEY
EN EL DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO.”

Como requisito a optar al título de Ingeniero Agrónomo, en el grado de Licenciado.

Esperando que el presente trabajo de investigación satisfaga los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato agradecerles la atención a la presente.

Atentamente,

Estuardo Wohlers Rossil

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer sinceramente a todas aquellas personas que de cualquier manera contribuyeron a mi formación como profesional y sobre todo a la realización de este trabajo, pero especialmente a:

- A: El Ingeniero Agrónomo M.Sc Edwin Enrique Cano Morales, por su valiosa asesoría en cada una de las etapas de la realización de la presente investigación.
- A: La Ingeniera Forestal Alejandra Hernández, quien con su experiencia dio asesoría en la revisión de la presente Investigación.
- A: El Instituto Nacional de Bosques -INAB-, por su valiosa colaboración.
- A: El Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza por su colaboración.
- A: Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala
- A: El Colegio Alemán de Guatemala

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
ÍNDICE DE CUADROS.....	i
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iii
RESUMEN.....	iv
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	3
3. MARCO TEÓRICO.....	4
3.1. MARCO CONCEPTUAL.....	4
3.1.1. Productividad.....	4
3.1.2. Calidad de Sitio.....	5
3.1.2.1 Sitio.....	5
3.1.2.2 Sitio Forestal.....	6
3.1.2.3 Calidad de Sitio.....	7
3.1.3. Métodos para Cuantificar la Calidad de Sitio.....	8
3.1.3.1 Métodos Directos.....	9
3.1.3.2 Métodos Indirectos.....	12
3.1.4. Factores Influyentes en la Formación de la Madera.....	15
3.1.4.1 Luz.....	15
3.1.4.2 Clima.....	15
3.1.4.3 Suelo.....	18
3.1.4.4 Factores Fisiográficos.....	24
3.1.5. Interacción entre los factores ambientales y calidad de sitio.....	25
3.2. MARCO REFERENCIAL.....	27
3.2.1. Descripción del <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.....	27
3.2.2. Descripción taxonómica.....	27
3.2.3. Utilización del <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.....	28
3.2.4. Distribución de <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.....	29
3.2.5. Región Fisiográfica.....	30
3.2.5.1 Tierra Altas Volcánicas.....	30
3.2.5.2 Tierras Altas Cristalinas.....	30
3.2.6. Climatología.....	30
3.2.7. Geología.....	31
3.2.8. Hidrología.....	31
3.2.9. Estudios previos en <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.....	32

CONTENIDO	PÁGINA
3.2.10. Estudios realizados de índice de sitio.....	33
3.2.11. Otros estudios relacionados con índices de sitio y factores fisiográficos y edáficos.....	34
4. OBJETIVOS.....	38
5. HIPÓTESIS.....	39
6. METODOLOGÍA.....	40
6.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	40
6.1.1. Delimitación del área de estudio.....	40
6.2. DISEÑO DE MUESTREO.....	40
6.2.1. Tipo de muestreo.....	40
6.2.2. Selección de rodales.....	41
6.2.2.1 Bosques naturales puros de <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.....	41
6.2.2.2 Poco intervenidos.....	41
6.2.2.3 Densidad completa.....	41
6.2.3. Determinación del índice de sitio por rodal.....	41
6.2.4. Tamaño de la muestra.....	42
6.3. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DASOMÉTRICAS.....	43
6.4. DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES DE SITIO.....	43
6.4.1. Factores fisiográficos.....	43
6.4.2. Factores edáficos.....	44
6.5. CALIDAD DE SITIO.....	46
6.6. DETERMINACIÓN DE CRECIMIENTO.....	46
6.7. ANÁLISIS DE LA RELACIÓN DE FACTORES DE SITIO CON LA CALIDAD DE SITIO Y EL CRECIMIENTO.....	47
6.8. ANÁLISIS DE LA RELACIÓN FACTORES DE SITIO Y LOS ÍNDICES DE SITIO.....	47
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	48
7.1. CALIDAD DE SITIO.....	48
7.2. ANÁLISIS DE LA RELACIÓN DE FACTORES DE SITIO CON LA CALIDAD DE SITIO Y EL CRECIMIENTO.....	49
7.2.1. Primera Correlación Canónica.....	50
7.3. ANÁLISIS DE LA RELACIÓN FACTORES DE SITIO Y LOS ÍNDICES DE SITIO.....	53
8. CONCLUSIONES.....	55
9. RECOMENDACIONES.....	56
10. BIBLIOGRAFÍA.....	57
11. APENDICES.....	60

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro No.	PÁGINA
1. Distribución y tamaño de las partículas del suelo	19
2. Cantidad de kg/ha de macronutrientes en el suelo de los bosques.....	23
3. Alturas índice utilizadas para generar las curvas de índice de sitio a las diferentes edades base dadas.....	32
4. Características fisiográficas de 10 parcelas temporales establecidas en los rodales de <i>Pinus strobus</i> var. <i>chiapensis</i> en el proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1996.....	34
5. Características fisiográficas de 13 parcelas temporales establecidas en los rodales de <i>Cupressus lusitanica</i> en el proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1996.....	35
6. Características fisiográficas de 16 parcelas temporales establecidas en los rodales de <i>Pinus maximinoi</i> H.E. Moore en el proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1996.....	35
7. Cantidad de parcelas a levantar.....	42
8. Forma del terreno con sus pendientes y elevaciones.....	44
9. Sistema de evaluación de factores fisiográficos para el crecimiento de <i>Pinus pseudostrabus</i> Lindley.....	44
10. La pedregosidad y sus características.....	45
11. Sistema de evaluación de factores edáficos para el crecimiento de <i>Pinus pseudostrabus</i> Lindley.....	46
12. Clasificación de la calidad del sitio de acuerdo al valor total obtenido.....	46
13. Promedio de los resultados obtenidos de cada calidad de sitio para cada uno de los factores de sitio de acuerdo al sistema de evaluación.....	48
14. Resumen de la clasificación de la calidad de sitio de los 3 índices de sitio.....	49
15. Correlación entre los factores de sitio y su primera variable canónica.....	50
16. Correlación entre la calidad de sitio y el crecimiento con su primera variable canónica.....	50
17. Correlaciones entre los factores de sitio y su primera variable canónica.....	53
18. Correlaciones entre el índice de sitio y su primera variable canónica.....	53
19. Crecimiento, incremento medio anual (IMA) e incremento corriente anual (ICA), en altura (H), diámetro a la altura delpecho (DAP) y crecimiento en volumen (V), calidad de sitio para <i>P. pseudostrabus</i> en bosques naturales de Chimaltenango y Sololá.....	61
20. Crecimiento, incremento medio anual (IMA) e incremento corriente anual (ICA), en altura (H), diámetro a la altura del pecho (DAP) y crecimiento en volumen (V), calidad de sitio II, para <i>P. pseudostrabus</i> en bosques naturales de Chimaltenango y Sololá.....	62
21. Crecimiento, incremento medio anual (IMA) e incremento corriente anual (ICA), en altura (H), diámetro a la altura del pecho (DAP) y crecimiento en volumen (V), calidad de sitio III, para <i>P. pseudostrabus</i> en bosques naturales de Chimaltenango y Sololá.....	63

22.	Volumen (m ³ /ha), incremento medio anual (IMA) e incremento corriente anual (ICA), calidad de sitio I, para <i>P. pseudostrobus</i> en bosques naturales de Chimaltenango y Sololá.....	64
23.	Tabla de rendimiento para <i>P. pseudostrobus</i> , calidad de sitio I, en bosques naturales de Chimaltenango y Sololá.....	65
24.	Volumen (m ³ /ha), incremento medio anual (IMA) e incremento corriente anual (ICA), calidad de sitio II, para <i>P. pseudostrobus</i> en bosques naturales de Chimaltenango y Sololá.....	66
25.	Tabla de rendimiento para <i>P. pseudostrobus</i> , calidad de sitio II, en bosques naturales de Chimaltenango y Sololá.....	67
26.	Valores de los estimadores b _i para cada uno de los modelos de índice de sitio, a las diferentes edades base utilizadas.....	68
27.	Boleta de campo para toma de datos.....	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No.		PÁGINA
1.	Relación de los factores de sitio y las variables de crecimiento en la Primera correlación canónica	51
2.	Relación de los factores de sitio y el índice de sitio en el análisis de su correlación canónica.....	54
3.	Familia de curvas de Calidad/Índice de sitio para <i>Pinus pseudostrobus</i> en Chimaltenango y Sololá, a una edad base de 25 años.....	69
4.	Familia de curvas de Calidad/Índice de sitio para <i>Pinus pseudostrobus</i> en Chimaltenango y Sololá, a una edad base de 30 años.....	70
5.	Familia de curvas de Calidad/Índice de sitio para <i>Pinus pseudostrobus</i> en Chimaltenango y Sololá, a una edad base de 35 años.....	71
6.	Localización de puntos de muestreo en el área de estudio. Departamento de Chimaltenango.....	72

“FACTORES EDÁFICOS Y FISIAGRÁFICOS QUE INCIDEN EN EL ÍNDICE DE SITIO
EN BOSQUES NATURALES DE *Pinus pseudostrobus* LINDLEY EN
EL DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO”

“EDAPHIC AND FISOGRAPHIC FACTORS THAT FALL INTO THE SITE INDEX ON NATURAL FOREST
OF *Pinus pseudostrobus* LINDLEY ON THE
DEPARTAMENT OF CHIMALTENANGO, GUATEMALA”

RESUMEN

La presente investigación contiene información generada sobre la influencia de los factores de sitio, edáficos y fisiográficos en los índices de sitio en bosque naturales de *Pinus pseudostrobus* Lindley. El área de estudio abarcó el departamento de Chimaltenango, principalmente donde la especie se distribuye en forma natural. La toma de datos se centró en fincas con presencia de rodales puros, con evidencia de poca o ninguna intervención y de un densidad completa.

Por lo tanto, con esta investigación se determinaron principalmente los factores edáficos (textura del suelo, pedregosidad, superficie del terreno y profundidad efectiva) y fisiográficos (pendiente y forma del terreno) que influyen en la productividad de esta especie, expresado en términos de índice de sitio, definiendo de esta manera las calidades de sitio para ésta, en función de estos factores para los índices de sitio I, II y III, en donde se encontró a esta especie.

Las calidades de sitio para cada uno de los índices de sitio (I,II y III) encontrados, fueron sitios excelentes para los 2 primeros, diferenciados únicamente por un pequeño valor cuantitativo, mientras que el último fue catalogado como un buen sitio. Para los dos primeros índices, que presentaron la misma calidad, la diferencia fue mínima, teniendo como principal factor a la pendiente, ya que en índices de sitio II se presentaron pendientes más fuertes con relación al índice de sitio I. Por otro lado, para el restante índice de sitio (III), la diferencia con los dos anteriores son la pendiente, la pedregosidad y la profundidad efectiva, siendo estos los de mayor influencia, en la clasificación de la calidad.

Para un índice de sitio I, clasificado como excelente, se presentan pendientes entre 0 y 16%, con terrenos predominantemente planos y ondulados, texturas gruesas, superficies variadas, con 0% de pedregosidad y con profundidades mayores a los 70 cm.

Para un índice de sitio II, clasificado como excelente, las características son casi parecidas a las del índice anterior, con la única excepción del factor de la pendiente, que en este caso tiende a ser mayor, que van de rangos entre 16 a 30%.

Por último, el índice de sitio III, clasificado como buen sitio, presentó pendientes mayores que en los dos anteriores, oscilando éstas entre 25 y 38%, que a la vez influyen directamente en la forma del terreno, que tiende a ser montañosa, con pedregosidades entre 1 a 15% y profundidades efectivas entre 20 a 70 cm.

Luego de determinada la calidad de sitio en función de los factores, se procedió a analizar la influencia de estos sobre la calidad de sitio y el crecimiento, así como también la relación de los factores con los índices de sitio.

De acuerdo con los resultados obtenidos; la calidad de sitio y el crecimiento tienen una relación con el grupo de variables de sitio, que en este caso son los factores, siendo estos: la pendiente, la forma del terreno, la pedregosidad y la profundidad efectiva.

Por otro lado, la relación que existe entre los factores de sitio y los índices de sitio tiene a la pendiente, forma del terreno y la pedregosidad como los de más influencia sobre los índices de sitio.

1. INTRODUCCIÓN

Guatemala es un país que cuenta con una gran biodiversidad y según datos recabados, el 51.2 % del área total del país es estrictamente de vocación forestal, según el INAB (12). Los suelos forestales no son aprovechados de una manera correcta o adecuada, ya que la cobertura forestal es de un 37.2 % en el territorio nacional, de acuerdo al INAB (12), y esto se debe en parte a la falta de estudios sobre temas relacionados a los bosques, por lo que los suelos en estas áreas son utilizados para otros fines como la agricultura o la ganadería, lo cual provoca que pierdan su capacidad productiva al hacer un uso incorrecto de ellos.

En el país los bosques han sido en su mayoría mal explotados, ya que no existen planes de manejo adecuado para los mismos, lo que trae consigo un mal aprovechamiento de estos y por lo tanto se obtienen bajos rendimientos.

Otro de los problemas que afronta el país, es que la población no tiene una cultura forestal definida, que permita un mejor desarrollo del área forestal dentro del territorio nacional.

Para mejorar el recurso forestal, es necesaria la aplicación de herramientas que permitan un mejor conocimiento de las condiciones de desarrollo de los bosques, así como tener un manejo eficiente del mismo. Éstas deben ser creadas en su mayor parte, mediante investigaciones particulares a nivel de especie, tipo de bosque, entre otros.

El *Pinus pseudostrobus* Lindley es una especie de importancia nacional, en especial en esta área del país, ya que conforma el bosque natural de la región. Aunque en general se conocen los factores climáticos, edáficos y fisiográficos requeridos por esta especie, no se sabe cuáles son los que influyen en el crecimiento y la productividad de los árboles expresado en términos de índice de sitio.

Por lo tanto, en este caso se realizó un estudio para la especie *Pinus pseudostrobus* Lindley en bosques naturales del departamento de Chimaltenango para determinar si los factores edáficos y fisiográficos influyen en el índice de sitio de la misma, y cuáles son los que más influencia tienen sobre ésta, para que los resultados puedan contribuir a un mejor manejo de los bosques en los que tenga presencia esta especie.

La información generada en la presente investigación, permitirá seleccionar con mejores criterios los sitios para el establecimiento de plantaciones forestales de *Pinus pseudostrobus* Lindley, y de esta forma poder mejorar el manejo, así como tener mejores crecimientos y rendimientos de la misma.

2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Guatemala es un país con un porcentaje alto de su territorio de vocación forestal (12), sin embargo en la actualidad no cuenta con suficientes herramientas silviculturales que permitan una mejor producción sostenible de los recursos forestales, logrando de esta manera que la diferencia entre hectáreas taladas en relación a las hectáreas reforestadas sea negativa, por lo que es necesario resolver este problema, por medio de la formulación y ejecución de planes de manejo adecuado que garanticen mejores bosques en Guatemala, que principalmente ofrezcan distintos beneficios a la economía del país a través de los productos y servicios que el bosque brinda entre los que se pueden mencionar la producción de madera, fijación de carbono, conservación de la biodiversidad y del ambiente, entre otros.

Además, en el país, se han realizado pocos estudios en aspectos silviculturales de las especies forestales presentes dentro del territorio nacional, lo que ha implicado que los bosques no sean bien manejados, ni aprovechados adecuadamente.

Con relación a la especie de *Pinus pseudostrobus* Lindley, Escobedo (7) ya determinó los índices de sitio, mientras que López (18) determinó las tablas de crecimiento y rendimiento para esta misma especie, pero hasta ahora, no se ha realizado un estudio que indique los factores de sitio que influyan en la productividad y que determinan diferencias en el crecimiento de la misma, que permita la selección de aquellos en donde se tenga los mejores crecimientos.

Al realizar este estudio sobre los factores de sitio, se determinó qué factores influyen positiva y negativamente en el crecimiento de la especie *Pinus pseudostrobus* Lindley y que hacen diferenciar las categorías de índice de sitio, en uno mejor que otro. Por lo tanto, a la vez de poder mejorar la producción de los bosques de ésta, podrá servir de herramienta para el manejo y la justificación de inversiones para el establecimiento de plantaciones forestales utilizando esta especie.

3. MARCO TEORICO

3.1. MARCO CONCEPTUAL

3.1.1. Productividad.

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, de acuerdo a Escobedo (7).

Por productividad forestal, se define la capacidad que un árbol individual o una masa forestal tiene para acumular biomasa, bajo determinadas condiciones climáticas, ecológicas y genéticas en un área y en un tiempo determinado, cita Escobedo (7).

Escobedo (7), considera que determinar la productividad de los terrenos forestales es dificultoso, por lo que se ha recurrido a enfocarla en función de los factores ambientales; este 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.

Pero de acuerdo a Kadambi (17), uno de los ejercicios de la actividad forestal moderna, está en la necesidad de crear un método racional para la medición de la capacidad forestal para la producción de madera —en el sentido de incrementar—, bajo ciertos factores dados tales como el suelo y el clima. Estas mediciones son esenciales para una planificación a largo plazo, para asegurar la producción forestal dentro de un país.

La productividad de un sitio es un factor importante para el manejo forestal, de acuerdo a Schrivastava (25). La calidad y la cantidad de madera que se puede producir en un sitio en particular, dependen de la calidad de las tierras forestales y de los factores ambientales que prevalecen en el lugar. El crecimiento de los árboles está integrado por expresiones de todo biológicas y de variables ambientales que influyen en ello.

Los resultados obtenidos en los estudios de sitio, pueden ser utilizados como herramientas para establecer una nueva plantación con ciertas prioridades, para predecir el crecimiento de los árboles y para futuras producciones, así como para responder a preguntas como cuándo cortar, cuánto cortar y qué cortar, por lo que pueden elaborarse mejores planes de manejo, según Schrivastava (25).

3.1.2. Calidad de Sitio.

3.1.2.1. Sitio

Santos (23) investigó que el sitio es definido por la Sociedad de Forestales Americanos como un "área considerada en términos de su ambiente, que determina la calidad y el tipo de vegetación que en ella se puede generar".

Escobedo (7) encontró que, 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.

3.1.2.2. Sitio Forestal

"Un sitio es definido como un área considerada en términos de ambiente, particularmente, que determina el tipo y la calidad de la vegetación que puede soportar dicha área", de acuerdo lo investigado por Grey (9).

Bajo otro punto de vista lo describe, Grey (9) cita que un sitio es definido como el área que está compuesta integramente por los factores sin un área prescrita.

De acuerdo a Grey (9), estos estatutos incorporan dos conceptos separados. Un sitio puede ser:

- Un área o localidad que soporta el crecimiento de los árboles o,
- La capacidad de un área para producir madera o productos forestales.

Cualquier sitio es considerado como una unidad natural, una entidad espacial, que se puede describir, clasificar, estudiar y mapear, pero que no se puede subdividir sin la pérdida de algunas características intrínsecas. La existencia de esta unidad de tierra es aceptada como *a priori*. Sólo estudios que ofrezcan datos importantes son entonces requeridos para discernir el orden espacial, según cita Grey (9).

Según Schönau (24), los forestales tienen varios puntos de vista en cuanto al sitio en un sentido ecológico, con una combinación estable de los factores de sitio o como un factor de producción primario para la formación de madera. En el primer caso, el énfasis es el lugar en la identificación de los factores ambientales que están relacionados con el crecimiento de los árboles y en la predicción de una producción forestal, mientras que en el segundo caso, expresa la facilidad entre las especies y su desarrollo del modelo de crecimiento está bajo presión.

3.1.2.3. Calidad de sitio.

De acuerdo a lo señalado por Escobedo (7), la calidad de sitio se define 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.

Daniel, Helms y Baker (6) definen que la calidad de sitio es la suma de varios factores ambientales como lo es 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.

Dentro de un cierto microclima, la calidad de sitio determina el tipo y magnitud de los problemas y las oportunidades que se le presentan al silvicultor para el manejo de un rodal. La calidad del terreno es una cuestión esencial en el manejo de los rodales encaminados 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, señalado por Daniel, Helms y Baker (6).

3.1.3. Métodos para cuantificar la Calidad de Sitio.

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

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

- 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.
- Que sea capaz de representar fielmente la productividad de los sitios para mantener o soportar cierto nivel de densidad y variabilidad botánica.
- Que sea capaz de representar fielmente las interacciones existentes entre vegetación y terreno, y demás factores ambientales presentes en el sitio en cuestión, así como su cuantía y efectos (19).

Para Clutter (3), los métodos de evaluación de calidad de sitio basados en la predicción del crecimiento y el rendimiento, están determinados por cuatro factores:

- La edad del rodal o en el caso de rodales incoetáneos, la distribución de la edad.
- La capacidad productiva innata de los terrenos.
- La densidad del rodal.
- Los tratamientos silviculturales aplicados.

Los métodos los agrupa el autor 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.
- 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 (3).

3.1.3.1. Métodos Directos.

A. Estimación a partir de registros históricos de rendimiento.

La estimación de la calidad de sitio a partir de este método, se basa en los registros de rendimientos que han sido obtenidos mediante rotaciones anteriores, según Clutter (3).

Debido a lo largo de los turnos, se ha recurrido a procedimientos que posibiliten la obtención de la información en períodos más cortos. Fundamentalmente a partir de:

- Registros provenientes de la remediación de parcelas permanentes ubicadas en rodales coetáneos, puros y de densidad plena. Sin embargo, la cantidad de tiempo requerido para obtener la información también es sustancial.

- Tablas de rendimiento normal construidas con base en datos provenientes de masas puras incoetáneas e interdisetáneas, representativas de densidad normales (3).

De acuerdo a Oliva, 1990, citado por Santos (23) en la actividad forestal, es cuestionable la utilidad de este método, debido a que los rendimientos de los bosques a una edad determinada son fuertemente afectados por la densidad del rodal, la composición de las especies y las prácticas culturales.

B. Estimación de la calidad de sitio basada en datos de volumen del rodal.

Para rodales coetáneos, una alternativa para poder obtener información de la calidad del sitio a partir de rendimientos de volumen, es estimar la calidad a partir de la relación volumen-edad. Sin embargo, el volumen alcanzado por un rodal a una edad dada puede ser afecto por factores como densidad del rodal, composición de las especies y prácticas culturales. Una desventaja de este método es el costo para obtener los datos, según lo señalado por Clutter (3).

"Es una forma de determinar la calidad de sitio en rodales coetáneos por medio de la relación volumen-edad, aunque tiene el inconveniente de que el volumen de un rodal a una edad, se vea afectada por los factores como los raleos y la densidad del rodal, entre otros"; según Oliva, 1990, citado por Santos (23).

C. Estimación de la calidad de sitio a partir de datos de altura.

Se considera que la altura dominante es una de las características de los árboles que se ve menos influenciada por ciertas condiciones de un rodal, como la densidad y la composición de especies. Además, se estima que un área con un alto crecimiento en altura, es un área con un

potencial alto en producción de madera; mientras que, áreas con bajo crecimiento en altura tendrían un menor potencial en volumen. En consecuencia, las relaciones altura-edad se ha utilizado como criterio para estimar la calidad del sitio, haciendo referencia para ello a un índice de sitio, el cual puede conceptualizarse como la altura dominante alcanzada por un rodal a una edad base o índice, de acuerdo a Clutter (3).

"La altura de un rodal uniforme a una edad dada, es un buen indicador del potencial productivo de un bosque en el sitio particular" según Oliva, 1990, citados por Santos (23).

D. Estimación a partir de datos de incremento periódico en altura.

Otra alternativa para evaluar la calidad del sitio es mediante el uso de la información sobre el crecimiento en altura para períodos cortos de la vida del rodal. Estas técnicas son generalmente referidas como métodos de intercepción del crecimiento, de acuerdo a lo señalado por Clutter (3). Aunque en la teoría puede ser utilizada para varias especies, en la práctica se usa con especies que tienen verticilos anuales. Estos métodos incluyen la medición de longitudes de un número específico de internudos anuales durante un período aproximado de 5 años; el punto de inicio de la medición es generalmente a la altura del pecho. La intercepción del crecimiento en altura puede ser utilizada directamente como medida de la calidad del sitio, referida como índice de intercepción del crecimiento.

3.1.3.2. Métodos Indirectos.

- A. Estimación de la calidad de sitio a través de la relación de las especies del estrato superior.

Este método se puede utilizar para evaluar la calidad del sitio cuando las especies de interés no están presentes en el área bajo evaluación, menciona Clutter (3).

Clutter (3) señala que en situaciones donde otras especies vegetales están presentes, mediciones hechas sobre éstas pueden ser usadas para evaluar las especies de interés. Este uso depende del conocimiento de las relaciones entre los patrones de crecimiento para las especies presentes como las de interés. La relación comúnmente usada es la de los índices mediante el análisis de regresión, colocando el índice de sitio de una especie como función de la otra.

- B. Estimación a partir de las características de la vegetación menor.

Algunos factores ambientales afectan tanto a la vegetación del estrato superior como al estrato inferior; por lo que las características de estas últimas, pueden proveer información sobre la calidad de un sitio para el crecimiento de los árboles. Aunque existen algunos factores que pueden afectar en mayor grado a la vegetación menor (incendios, quemas, pastoreo) que el estrato superior, si se mantienen controlados estos factores, la vegetación menor puede ser un buen método para evaluar la calidad de sitio para especies de árboles tal como lo demostró Ure, 1950, para una especie de pino donde correlacionó la altura dominante de esta especie con la composición florística de la vegetación menor o sotobosque, refiere Clutter (3).

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

La calidad de sitio, dentro de un macroclima determinado, está asociada con la capacidad que tiene el suelo para aportar humedad y nutrimentos a la comunidad vegetal. La estimación del índice de sitio que se basan en factores edáficos y del sitio en sí, permiten apenas explicar entre 50 y 60% de la variación total. Las diferentes fórmulas han tenido errores estándar que van de + 1.20 a 2.70 m para el índice promedio del sitio; esto significa que incluso en el punto de mayor precisión (es decir en el índice promedio), sólo 67% de las determinaciones caen dentro de los límites del error estándar, según Rivera y Zepeda (19).

La mayoría de evaluaciones realizadas entre las relaciones existentes entre el índice de sitio y factores edáficos del sitio, están con el material madre, las características del perfil, la pendiente y la exposición general del suelo, de acuerdo a Rivera y Zepeda (19).

Dos estudios edáficos de sitio realizados en una región indican cierta incoherencia en cuanto a la significación relativa de los distintos factores edáficos. Rivera y Zepeda (19) cita un estudio realizado por Coile y Schumacher, 1953, en dos especies de pino encontró que la profundidad del horizonte A y el valor de absorción de agua del horizonte B presentaban una notable correlación con el índice de sitio. La posición en la pendiente no tiene una relación significativa con el índice, además de su efecto sobre las características del suelo. Sus resultados fueron presentados en una tabla, uno de sus ejes consta de 5 clases de subsuelo, que se basan en la consistencia del mismo cuando está húmedo y el otro representa la profundidad del subsuelo. El error estándar de la estimación para una especie fue de 11% y de 12% para la otra.

Cuando el índice edáfico del sitio se correlaciona correctamente con el índice mismo, las clases de sitios por su calidad pueden mapearse con una velocidad sin precedentes. Al parecer, las

fallas existentes en el método del índice edáfico del sitio surgen de: (a) la falta de solidez en las curvas del índice de sitio con las que se establecen las correlaciones, y (b) la incorporación de datos provenientes de demasiadas áreas fisiográficamente diferentes, según Rivera y Zepeda (19).

Arteaga, citado por Rivero y Zepeda (19) señala que el suelo y la topografía de un lugar están estrechamente relacionados, ya que las características topográficas de un sitio afectan el desarrollo de los perfiles edáficos, así como la textura y estructura de la superficie del suelo.

Las formas características de estimar la calidad de sitio con estos procedimientos, han sido a través de relaciones funcionales entre características dasométricas, principalmente incrementos, propiedades de los suelos y características topográficas de los terrenos. Aún cuando en ciertos casos, principalmente cuando la vegetación es inexistente, tales relaciones sólo se llevan a cabo entre propiedades de los suelos y características topográficas, mencionan Rivera y Zepeda (19).

Algunas de las características topográficas de uso más frecuente son la exposición del terreno, la forma del relieve y la pendiente de los terrenos, de acuerdo a Rivera y Zepeda (19).

Conviene señalar que el grado de subjetividad de los factores considerados en estos métodos, principalmente la forma de valorarlos y/o ponderarlos, es bastante alto, cita Rivera y Zepeda (19).

3.1.4. Factores influyentes en la formación de la madera.

3.1.4.1. Luz

La vida de los árboles forestales depende casi de la energía de la radiación solar. Para la producción de madera, el violeta, el azul y el verde hasta la zona roja son los que en la reducción fotoquímica del dióxido de carbono, son de suma importancia. La intensidad del sol es máxima en el ecuador, al medio día y en el verano. Bajo otras condiciones similares, la producción de madera va a ser máxima en el ecuador, al medio día y en verano. La luz difusa que forma un tercio del total de luz emitida y que es la única fuente de luz disponible para la regeneración natural bajo el bosque en lugares tropicales, bosques primaverales, ayuda a la síntesis del dióxido de carbono, según Kadambi (17).

La formación de madera no depende solamente en la cantidad de luz absorbida por los árboles, ya que también está influenciada por la fertilidad del suelo, menos luz requerida por los árboles que están ubicados en sitios fértiles y adecuadamente húmedos. También por una cantidad de luz absorbida, la madera producida es menor que en los árboles removidos lejos de su hábitat óptimo. Si se mantiene la misma latitud, la tolerancia de la sombra de un árbol puede aumentarse con un incremento de altitud, pero si la media de las temperaturas diarias cae con este aumento de altitud, la producción de madera se va a reducir bajo la sombra, refiere Kadambi (17).

3.1.4.2. Clima.

En comparación con el campo abierto, el bosque tiene un clima propio. La temperatura, la humedad, el viento, la precipitación y la evaporación tienen valores propios en el bosque, de acuerdo a la FAO (8).

A. Temperatura

La FAO (8) señala que el dosel del bosque actúa como una cobija. Ésta no permite que la temperatura cambie tanto como en el campo abierto. Durante el verano, la temperatura en un bosque es más baja. En el invierno, es más alta. Estas diferencias pueden variar de 1 a 6°C.

De acuerdo a Kadambi (17), para esto hay un mínimo, un óptimo y un máximo de calor en donde la actividad vegetativa inicia, es mayor y para, respectivamente, esto es de común conocimiento. La producción de madera es máxima a temperatura óptima, y la temperatura media anual es una fuerte guía de los niveles de la planta para la actividad metabólica o la habilidad para producir madera.

B. Aire.

Por la filtración de los rayos ultravioleta y los Röntgen, los cuales son dañinos para la vida de la planta, el aire influencia en la producción de la madera. El dióxido de carbono del aire provee carbono para la fotosíntesis. Generalmente, más dióxido de carbono en el aire significa un incremento en la producción de madera proveída por el oxígeno, que mantiene la respiración de todas las partes vivas del árbol, que es adecuadamente distribuido, cita Kadambi (17).

Según Kadambi (17), suaves movimientos de aire sacan el vapor de agua saturado de las copas de los árboles y lo reemplazan por aire seco, estimulando la transpiración y el ascenso del líquido en la planta que transporta el alimento a todas sus partes por el floema; esto, puede incrementar la producción de madera, pero los fuertes vientos, inducen excesiva transpiración y como resultado, se reduce la formación de sustancias leñosas.

Kadambi (17) menciona que los bosques protegidos de los vientos, como en el caso de las bandas de protección para los cultivos agrícolas, crean condiciones favorables para la asimilación del dióxido de carbono y por lo tanto, para la producción de tejidos leñosos.

Por lo tanto, según la FAO (8), la reducción de la velocidad del viento da como resultado las siguientes condiciones favorables:

- Temperatura más elevada durante el día.
- Reducción de la evaporación del suelo.
- Reducción de la transpiración de las plantas.
- Humedad más elevada del suelo.
- Reducción de la erosión por el viento (8).

Los árboles pueden asimilar de mejor manera cuando cuentan con un gran follaje distribuido uniformemente por todas partes del mismo, siendo ésta una condición común en la mayoría de los árboles siempre verdes en los bosques tropicales, cita Kadambi (17).

C. Agua.

Según Kadambi (17), probablemente el factor más importante en los trópicos, que regula la producción de sustancias leñosas es el agua, por lo que en bosque altos, el incremento de la temperatura puede ser dañino para la vida de la planta hasta el nivel al cual ésta soporte.

En área con una precipitación moderada con un clima de largos días de lluvia, uniformemente distribuidos en el año, creará un incremento en la asimilación, para luego tener una buena producción de madera, en comparación con la de pocos días de lluvia concentrados sobre un

período corto del año. Una lluvia, que es la que provee toda el agua requerida por el sistema radicular de los árboles para su funcionamiento durante el año, debe ser más ventajosa para la producción de tejidos leñosos, pero un aumento de lluvia sobre el óptimo, no necesariamente resulta en un incremento de formación de estos tejidos, pero esto podría reducir esta formación, porque debido a la falta de aireación es como impedirla al inundar los poros del suelo, imposibilitando la respiración de las raíces, o así también la respiración de aire con vapor de agua reduce la transpiración y con ello, el suplemento de los constituyentes minerales requeridos por los tejidos leñosos en formación, señala Kadambi (17).

Generalmente, las coníferas interceptan mayor cantidad de precipitación que las latifoliadas. Las especies latifoliadas caducifolias interceptan poca precipitación cuando están sin hojas, de acuerdo a FAO (8).

3.1.4.3. Suelo.

Es un cuerpo natural formado a partir de materiales minerales y orgánicos que cubren parte de la superficie terrestre, que contienen materia viva y que pueden soportar vegetación natural y que en algunos casos, han sido transformados por la actividad humana, de acuerdo a Buol. et al citado por Tobías (26).

Los factores físicos del suelo como la porosidad, aireación y retención de agua crean una influencia en la formación de tejidos leñosos, porque la mayoría de los suelos forestales están en la capacidad de relacionarse con los nutrientes químicos requeridos por los árboles, de acuerdo a Kadambi (17).

El crecimiento de los árboles depende de las propiedades físicas y químicas del suelo. De éstas, las propiedades físicas, como el drenaje y la aireación, tienen mayor importancia, cita Brown y Loewestein (1).

A. Propiedades físicas del suelo.

La FAO (8) menciona que el suelo está formado de partículas sólidas, de aire y de líquidos. Las partículas sólidas constituyen el 40 ó 50% del suelo. Éstas están formadas de roca fragmentada, materia orgánica y de minerales.

Las partículas sólidas se pueden dividir en cuatro grupos como se observa en el Cuadro 1 la distribución de las mismas. Estas partículas pueden separarse mediante tamizadores especiales.

Cuadro 1. Distribución y tamaño de las partículas del suelo

Nombre convencional	Clase de tamaño
Arena gruesa	2.0 a 0.2 mm
Arena fina	0.2 a 0.02 mm
Limo	0.02 a 0.002 mm
Arcilla	0.002 a menos mm

Fuente: 1982. Producción Forestal. México DF. (8)

La textura de un suelo se refiere a la proporción relativa de las clases de tamaño de las partículas. Generalmente, los árboles crecen mejor en suelos lómicos, los cuales constan de menos de 20 % de arcilla, 30 a 50 % de limo y 30 a 50% de arena. Los suelos de arcilla pesada tienen un mal drenaje, e inhiben la regeneración de muchas especies forestales, cita la FAO (8).

Las partículas del suelo pueden existir en forma aislada o en agregados. La estructura de un suelo se refiere a la manera como están agrupadas las partículas. En la arena, las partículas se encuentran prácticamente aisladas. En arcilla, las partículas son agregadas. La estructura de un suelo se mantiene mejor en el bosque, señala la FAO (8).

De acuerdo a la FAO (8), el perfil del suelo forestal está constituido por los horizontes O, A, B, C y R casi paralelos a la superficie terrestre.

Las características de cada uno de estos horizontes es la siguiente:

Horizonte O. Capas dominadas por material orgánico. Algunos están saturados con agua durante largos períodos o estuvieron saturados, pero actualmente están artificialmente drenados; otros nunca han estado saturados, cita Soil survey staff (21).

Algunas capas O están constituidas por piso forestal no descompuesto o parcialmente descompuesto, tales como hojas, agujas, ramitas, musgos y líquenes, que han sido depositados en la superficie; pueden estar sobre suelos minerales u orgánicos. Una capa O puede estar sobre la superficie de un suelo mineral o a cualquier profundidad bajo la superficie si está enterrado, señala Soil survey staff (21).

Horizonte A. Horizontes minerales que se forman en la superficie o abajo de un horizonte O, que exhiben alteración de toda o gran parte de la estructura original de la roca y muestran una o ambas de las siguientes características: (a) están caracterizados por una acumulación de materia orgánica humificada íntimamente mezclada con la fracción mineral y no dominadas por propiedades características de los horizontes B o; (b) tienen propiedades resultantes de su cultivo, del pastoreo o similares disturbios, menciona Soil survey staff (21).

Horizonte B. Horizontes que se han formado abajo de un horizonte A u O y están dominados por la destrucción de toda o la mayor parte de la estructura original de la roca y muestran una o más de las siguientes características: (a) concentración iluvial de arcilla silicatada, hierro, aluminio, humus, carbonatos, yeso o sílice, solo o en combinación; (b) evidencias de remoción de carbonatos; (c) concentración residual de sesquióxidos; (d) revestimientos de sesquióxidos que hacen al horizonte conspicuamente menor en el color del value y mayor en chroma o más rojizo en el hue sin aparente iluviación de hierro, que los

horizontes supra y subyacentes; (e) alteración que forma arcilla silicatada o libera óxidos o ambos y que forman una estructura granular, blocosa o prismática si el volumen cambia acompañado de cambios en el contenido de humedad; o (f) no quebradizos, de acuerdo a Soil survey staff (21).

Horizonte C. Horizonte o capas, excluyendo la roca dura, que están poco afectados por procesos pedogenéticos y carecen de las propiedades de los horizontes O, A o B. La mayoría son capas minerales. El material de las capas C puede ser o no, común al material que presumiblemente ha dado origen al solum. Un horizonte C puede haber sido modificado aunque no exista evidencia de pedogénesis, según Soil survey staff (21).

Horizonte R. Lecho rocoso duro, cita Soil survey staff (21).

Según la FAO (8), los poros del suelo generalmente contienen agua y aire, y se distinguen en:

- Poros no capilares. Son grandes. El agua se mueve en ellos por gravedad.
- Poros capilares. Son pequeños. Retienen el agua por capilaridad.
- En un suelo seco, los poros contienen solamente aire.
- Los poros de suelos pantanosos están llenos de agua (8).

El drenaje interno del suelo, la aireación y la capacidad de retener el agua en menor grado depende de los poros. Los suelos arcillosos retienen mucha agua pero su aireación es deficiente por su gran volumen de poros capilares. Los suelos superficiales usualmente retienen poca agua y nutrientes, cita la FAO (8).

La profundidad de un suelo es el espesor sumado de los horizontes A y B. El espesor del suelo influye en el desarrollo de algunas especies forestales, menciona la FAO (8).

Los suelos profundos son generalmente buenos para las especies forestales. Sin embargo, pueden presentar limitaciones al crecimiento de ciertas especies, como las coníferas. La FAO (8) cita que este problema se presenta cuando el nivel freático es alto o cuando existe un banco duro. Sin embargo, existen especies forestales que se han adaptado a estas condiciones edáficas.

El movimiento del agua por la superficie terrestre hacia abajo, se llama infiltración. El movimiento del agua a través del subsuelo hacia niveles inferiores se llama percolación. En este caso, el movimiento del agua no está afectado por el impacto de la lluvia, según la FAO (8).

B. Propiedades químicas del suelo

Además de las propiedades físicas, la FAO (8) menciona que la composición química del suelo también influye en el desarrollo de los árboles. Esta composición depende de la roca madre, del clima, de la actividad biológica, del tiempo y de la topografía.

Los nutrientes minerales utilizados por los árboles son solubles al agua. Se distinguen tres grupos:

- Macronutrientes. Éstos son requeridos en cantidades sustanciales. Son elementos tales como nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg).
- Micronutrientes. Éstos son requeridos en cantidades pequeñas. Son elementos tales como cobre (Cu), boro (B) y hierro (Fe).
- Elementos trazas. Éstos son requeridos en cantidades mínimas. Uno de estos elementos es el cobalto (Co) (8).

Las raíces y raicillas de los árboles que absorben los nutrientes, se concentran en los primeros 30 cm. de la tierra. Sin embargo, la raíz pivotante y las raíces laterales pueden penetrar profundamente en el suelo, según la FAO (8).

El bosque sin intervención mantiene el estado de fertilidad del suelo. Con la muerte del árbol, la caída de hojas y ramas, de acuerdo a la FAO (8), se devuelven los minerales al suelo.

La cantidad de minerales devueltos anualmente por las latifoliadas y coníferas, mediante la caída de sus hojas, es distinta como se puede observar en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Cantidad de kg/ha de macronutrientes en el suelo de los bosques

Tipo de Bosque	Ca	Mg	K	P	N	Cantidad
Coníferas	30	5	7	2	26	Kg./ha
Latifoliadas	73	10	15	4	19	Kg./ha

Fuente: 1982. Protección Forestal. México, DF. (8)

En los trópicos húmedos, la capa de materia orgánica puede tener un espesor de solamente 3 cm. La temperatura y humedad altas, junto con la actividad biológica, originan una conversión rápida del detrito en humus, de acuerdo a la FAO (8).

En el caso de la capacidad de intercambio catiónico, según Hocker (10) las bases son intercambiadas para obtener los nutrientes necesarios para el desarrollo de los árboles a través de sus raíces, esto depende principalmente del pH de los suelos y su textura. El análisis químico de los suelos puede informar la influencia en el crecimiento de los árboles ya que éstos dependen de los nutrientes presentes en los sitios.

3.1.4.4. Factores Fisiográficos.

Están relacionados con la fisiografía del sitio, es decir la formación original del paisaje del sitio o región. Los principales factores a estudiar son:

A. Geología.

Se considera como el material original en el que descansan los suelos de un sitio, la presencia de material geológico puede influir de manera positiva o negativa en el crecimiento de una especie arbórea, cita Hocker (10).

B. Topografía.

Se utiliza para determinar el grado de pendiente de un sitio, expresado en porcentaje, según Hocker (10).

C. Superficie.

Estudia las características de un perfil superficial en el sitio a estudiar, puede expresarse dependiendo de la ondulación o planicie de los sitios, menciona Hocker (10).

D. Pedregosidad.

Según Hocker (10), es la cantidad de piedra encontrada por metro cuadrado en un sitio determinado, la cual puede perjudicar al desarrollo de las plantas en general.

La pedregosidad está referida a la identificación de la presencia en la superficie o cerca, de fragmentos grandes o afloramientos rocosos que puedan limitar la labranza y/o la mecanización agrícola, según Tobías (26).

Se pueden citar términos sencillos para definir el tipo de material o fragmentos de roca o grava en el interior del suelo o sobre éste, como los siguientes:

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

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

La relación que existe entre los factores ambientales y el crecimiento de una especie forestal, se puede analizar por medio de la interacción de los factores y el crecimiento, y por último a través de cuantificar la interacción de los factores ambientales en forma directa, según Santos (23).

Una forma de interpretar los efectos de los factores de sitio sobre el crecimiento forestal, es agrupando todas las características de cada factor en conjuntos que permitan explicar su influencia en la calidad de sitio, de acuerdo a lo estudiado por Santos (23).

Según Walter (28), el método de análisis de Correlación Canónica permite determinar funciones para correlacionar dos conjuntos de variables que expliquen su relación por medio de sus máximas varianzas.

Los objetivos de la Correlación Canónica son:

1. Determinar vectores-coeficientes que se utilicen para correlacionar dos o más conjuntos de variables.
2. Determinar que variables del conjunto "Factores ambientales" influyen directamente en el crecimiento y la calidad de sitio de una especie forestal.

La correlación canónica desarrolla un mínimo de correlaciones entre los grupos a partir del mínimo número de variables que tenga cualquiera de los grupos, cita Walker (28).

La magnitud de los coeficientes de las variables canónicas indica, en cierta forma, la importancia que tiene cada variable, lo cual permite la interpretación. Usando técnicas apropiadas, se llega a que el cuadrado de la primera correlación canónica es el mayor valor característico (eigen-valor en inglés) de las matrices. La segunda correlación canónica es el segundo valor característico y sus variables canónicas son los respectivos vectores y así sucesivamente hasta completar el análisis, según Walter 1980, (28).

3.2. MARCO REFERENCIAL

3.2.1. Descripción del *Pinus pseudostrobus* Lindley.

El *Pinus pseudostrobus* Lindl. conocido como el pino triste forma parte de las 23 especies 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, señala Standley (22).

3.2.2. Descripción taxonómica.

Según Standley (22), esta especie de pino es un árbol de tronco ordinariamente recto, a veces ligeramente combado de 20 a 30 m de altura, desde 0.60 a 1.50 m de diámetro.

Su corteza tiene un color grisáceo oscuro en la base, hasta morena grisácea en la cúspide; en el pie longitudinalmente es agrietada, formando espesas y largas placas en ejemplares adultos, mostrando en el fondo de las hendiduras una coloración brunesciente-amarillenta, a veces con tonalidades rojizas; en la parte alta de árboles jóvenes, ordinariamente protegida por la copa, presentándose casi lisa, con cicatrices planas, deprimidas, tornándose escamosa hasta brevemente agrietada con la edad; en las ramas jóvenes y en el tercio superior de las demás, su color es gris moreno, algo claro, menciona Standley (22).

Su ramaje es verticilado, ordinariamente constituido por brazos finos delgados, a veces un tanto gruesos, ordinarios; por esta regla general, en ejemplares jóvenes especialmente los que crecen aislados en áreas descubiertas, presenta verticilos más espaciados, brazos más cortos y toscos, brevemente encorvados, ascendentes cuando jóvenes, más tarde horizontales, de acuerdo a Standley (22).

Su copa es irregularmente coniforme, cita Standley (22), desde poco densa hasta medianamente densa; con un follaje ordinariamente de dos años, a veces conservando parte del tercer año, por lo general, cubriendo larga extensión de las ramas.

Los fascículos ordinariamente en 5 agujas, a veces algunos de 4 y 6, finas y flexibles, triangulares cateto interno sub-cóncavo, externos brevemente convexo, finamente aserrados, de color verde claro, con tonalidades azuladas, brillantes, que vistas a distancia dan la impresión de un grisáceo argentado, de 15 a 32 cm. de longitud por 0.7 a 1 mm de espesor. Las vainas de los fascículos son persistentes, papiráceas, de 1.5 a 2.6 cm. de longitud, por 1.6 a 2.1 mm de espesor, de color moreno amarillento lustrosas las recientes, tornándose oscuras, opacas con la edad, pedúnculos cortos, fuertes, leñosos, rectos o curvados, más frecuentemente lateralmente articulados, de corteza gris negruzca o casi negra, cita Standley (22).

Los conos son solitarios o en grupos de 2 a 3 y a veces más o menos deciduos, son ovales u ovaloblongos, de 7 a 15 cm. de longitud, casi rectos o brevemente curvados con frecuencia ligeramente inequilaterales, color moreno o moreno grisáceo, escamas consistentes, leñosas, de textura un tanto fina, flexibles, de cúspide angulosa o sub-redondeada, las más grandes son de hasta 3.2 cm. de longitud por 1.5 cm. de anchura. La apófisis es encorvada, más o menos romboidal, inequilateral, de protuberancia bien manifiesta, cuyas aristas externas con frecuencia forman un ángulo recto con la inserción de la cama, en cuya cúpula suele formarse un pequeño apéndice conoidal inerme débil imperistente. Las semillas son ovales, ligeramente comprimidas, como término medio de unos 8 mm de longitud, largamente aladas, de acuerdo a Standley (22).

3.2.3. Utilización del *Pinus pseudostrobus* Lindl.

Su madera es casi blanca, poco pesada en árboles jóvenes, en los adultos se torna amarillenta con vetas paralelas rojizas desde claras hasta muy intensas, hacia el centro del tronco donde es mayor la

concentración de resina, aumentado a la vez, su peso. Según Standley (22), esta madera se emplea en la confección de mueblería ligera, en construcciones urbanas y rurales. Se le ha exportado, en forma aserrada o en rollo, constándose su buena aceptación.

3.2.4. Distribución de *Pinus pseudostrobus* Lindl.

Cruz (4) menciona que la especie de *Pinus pseudostrobus* Lindl., es una especie de pino que es indicadora de dos zonas de vida en Guatemala, el Bosque húmedo Montano bajo subtropical y el Bosque muy húmedo Montano bajo subtropical, esto de acuerdo a Holdridge.

La zona de vida Bosque húmedo Montano bajo subtropical, con una superficie de 9,769 km², ocupa el 8.98 por ciento de la superficie total del país. Esta área está ubicada entre 1,500 a 2,400 msnm, con una precipitación entre 1,057 a 1,588 mm, con un promedio de 1,344 mm de precipitación anual, con biotemperaturas que van de 15 a 23°C y una evapotranspiración potencial promedio de 0.75. Esta zona de vida está distribuida desde Mixco dirigiéndose al Noreste por San Juan Sacatepéquez, varios municipios de Chimaltenango, Chichicastenango, Santa Cruz del Quiché, hasta Huehuetenango, frontera con México, según Cruz (4).

En el caso de la zona de vida Bosque muy húmedo Montano bajo subtropical, cuenta con un área de 5,512 Km.², la cual representa el 5.07 por ciento de la superficie total del país. Esta zona está ubicada entre los 1,800 a 3,000 msnm, tiene una precipitación total anual entre 2,065 a 3,900 mm, con un promedio anual de 2,730 mm, con biotemperatura entre 12.5 a 18.6°C y una evapotranspiración potencial estimada en 0.35. Esta área está distribuida por varios departamentos del altiplano, entre ellos Chimaltenango, Sololá, Totonicapán, Quetzaltenango, Huehuetenango y Quiché, cita Cruz (4).

3.2.5. Región Fisiográfica.

3.2.5.1. Tierras Altas Volcánicas.

El lugar de estudio se encuentra ubicado dentro de las tierras volcánicas. En Guatemala, ha existido actividad volcánica desde el Paleozoico, intensificada durante el Terciario. En esta región, las erupciones de tipo de grieta lanzaron grandes cantidades de material, principalmente basalto y riolacita, que cubrieron las formaciones de tierra preexistente, desarrollada sobre el basamento cristalino y sedimentario que se encuentra hacia el norte, según el IGN, 1977 (16).

La formación de esta región volcánica fue seguida por fallas causadas por la 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, indica el IGN (16).

Varias cuencas de esta región han sido parcialmente llenadas con pómez cuaternaria, 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, señala el IGN (16).

3.2.5.2. 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, enumera el IGN (16).

Esta área se ubica entre 2 sistemas de fallas que han estado en evolución desde el paleozoico. El patrón de drenaje, según el IGN (16) 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.

3.2.6. Climatología.

El área se encuentra bajo la influencia de un clima templado con invierno benigno dentro de un bosque húmedo con invierno seco, según el mapa climatológico de acuerdo a Holdridge de INAFOR (13).

La precipitación media anual oscila entre 1,000 y 2,000 mm, los cuales están distribuidos en un rango entre los 120 a 140 días al año, por su parte la evapotranspiración según Holdridge oscila entre los 700 y 800 mm, enumera el INAFOR (13).

3.2.7. Geología.

La geología del lugar está compuesta por los siguientes materiales, los terciarios y los cuaternarios, enumerados por el IGN, 1972 (14).

Según el IGN (14), los terciarios están compuestos por rocas volcánicas sin dividir, predominando el mioplioceno. Incluye tobas coladas de lava, material lahático y sedimentos volcánicos. Los cuaternarios son rellenos gruesos de ceniza pómez de origen diverso.

3.2.8. Hidrología.

El departamento de Chimaltenango cuenta con varias cuencas, siendo estas las partes altas de las mismas, tales como la cuenca del Río Grande o Motagua, la cual pertenece a la vertiente del Mar Caribe,

mientras que las cuencas que pertenecen a la vertiente del Pacífico son, la cuenca del Río Coyolate, la del Río Madre Vieja y la del Lago de Atitlán , enumera el IGN, 1973 (15).

3.2.9. Estudios Previos en *Pinus pseudostrobus* Lindl.

Escobedo (7), en su trabajo de investigación indica que 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 usadas, se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Alturas índice utilizadas para generar las curvas de índice de sitio a las diferentes edades base dadas.

Edad Base	Altura índice utilizada para cada curva de Índice 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

Fuente: Escobedo (7)

Según Escobedo (7), 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.

De acuerdo a Escobedo (7), los modelos anamórficos ajustados para cada uno de los índices de sitio de la familia de curvas del tipo anamórfico, a edades base de 25, 30 y 35 años, se presentan en el Cuadro 26"A" . Para estimar el índice de sitio de un rodal, contando con la edad base de éste, basta

sustituir el valor de edad en el modelo, y éste proporciona el índice de sitio en el que se encuentra ubicado dicho rodal, y el modelo utilizado para ello es:

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

3.2.10. Estudios realizados en índices de sitio.

Según Brown (1), las características del suelo y las variables topográficas explican el 70 % de la variación en el índice de sitio. 94% de la variación de la altura de los árboles dentro de un sitio y el 86% de la variación del total del volumen de la madera, se deben a las características del suelo, las propiedades topográficas y a la edad de los árboles.

El índice de sitio fue correlacionado negativamente con la elevación, pero positivamente con el calcio extraíble, el cambio de acidez, la capacidad de intercambio catiónico, la materia orgánica, el total de nitrógeno, el suelo enterrado y con contacto lítico, cita Brown (1).

De acuerdo a Brown (1), en el índice de sitio, la altura estimada de los árboles dominantes y codominantes a una edad determinada, es usualmente utilizada para estimar la productividad del sitio forestal. A pesar, que varios sitios no son del todo o parcialmente buenos, debido a las sequías, los incendios, enfermedades, plagas u otros disturbios. En sitios como este, el suelo y las características topográficas van a ser bien utilizadas en la predicción del potencial de productividad del sitio. Muchas de estas características son principalmente determinadas en el campo. Coile, citado por Brown *et al* (1) et al, encontró que la exposición, la topografía, la profundidad del suelo, la lámina de agua y otras propiedades de sitio medibles están relacionadas con la calidad del sitio.

Brown (1) señala que trabajando con *Pinus strobus* L., encontró que las propiedades químicas del suelo influyen un 13 % adicional en la variación de la calidad de sitio, no explicado por los factores topográficos o por las propiedades físicas.

3.2.11. Otros Estudios relacionados con índice de sitio y factores fisiográficos y edáficos.

Tzirin (27), en su trabajo de investigación de tesis, evaluó los índices de sitio preliminares de 4 especies forestales, entre estas, *Cupressus lusitanica* Miller, *Pinus maximinoi* H.E. Moore y *Pinus strobus* L. var. *chiapensis* Martínez, establecidas en plantación en el Proyecto de Reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, y parte de los resultados obtenidos en su estudio, se presentan en los siguientes cuadros.

Además de los resultados de índice de sitio, también en la investigación se realizó un estudio sobre las características del sitio para *Pinus strobus* var. *chiapensis* y en el Cuadro 4, se presentan éstas.

Cuadro 4. Características fisiográficas de 10 parcelas temporales establecidas en los rodales de *Pinus strobus* var. *chiapensis* en el proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1996.

Número de Parcela	Clase de sitio	Prof. del suelo (cm)	Exposición (grados)	Pendiente (%)	Altitud (msnm)	Posición topográfica
1	I	63.33	106	11	1290	Fondo plano
2	II	42.33	39	14	1290	Fondo plano
3	IV	Mayor 75	73	30	1320	Pendiente inferior
4	V	Mayor 75	60	19	1320	Pendiente inferior
5	III	51.00	82	28	1010	Pendiente superior
6	V	41.67	87	24	1010	Pendiente superior
7	I	Mayor 75	20	34	890	Pendiente superior
8	III	Mayor 75	18	39	890	Pendiente superior
9	II	52.67	303	33	825	Pendiente inferior
10	III	51.67	301	18	825	Pendiente inferior

Fuente: Tzirin Batzin, J (27)

Por otro lado, también dentro de esta misma investigación, se estudiaron las características del sitio para *Cupressus lusitanica* como se presenta en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Características fisiográficas de 13 parcelas temporales establecidas en los rodales de *Cupressus lusitanica* en el proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1996.

Número de Parcela	Clase de sitio	Prof. del suelo (cm)	Exposición (grados)	Pendiente (%)	Altitud (msnm)	Posición topográfica
1	II	Mayor 75	135	19	1390	Pendiente inferior
2	IV	Mayor 75	124	28	1390	Pendiente inferior
3	III	Mayor 75	68	40	1370	Pendiente superior
4	III	Mayor 75	80	35	1370	Pendiente superior
5	IV	Mayor 75	300	33	1250	Pendiente inferior
6	II	46.67	132	24	1130	Pendiente superior
7	III	50	217	36	1130	Pendiente superior
8	III	58.33	235	25	930	Pendiente inferior
9	II	58.33	262	29	930	Pendiente inferior
10	IV	Mayor 75	138	23	810	Pendiente superior
11	IV	20	153	20	810	Pendiente superior
12	II	Mayor 75	60	38	710	Pendiente superior
13	I	Mayor 75	60	35	710	Pendiente superior

Fuente: Tzirin Batzin, J. (27)

Otra de las especies estudiadas fue el *Pinus maximinoi* y en el Cuadro 6, se presentan sus características fisiográficas.

Cuadro 6. Características fisiográficas de 16 parcelas temporales establecidas en los rodales de *Pinus maximinoi* H.E. Moore en el proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, 1996.

Número de Parcela	Clase de sitio	Prof. del suelo (cm)	Exposición (grados)	Pendiente (%)	Altitud (msnm)	Posición topográfica
1	III	Mayor 75	65	20	1360	Pendiente superior
2	IV	65	113	23	1355	Pendiente superior
3	IV	Mayor 75	67	26	1330	Pendiente inferior
4	II	Mayor 75	75	30	1330	Pendiente inferior
5	I	66.67	23	8	1185	Pendiente inferior
6	IV	Mayor 75	04	9	1185	Pendiente inferior
7	III	Mayor 75	07	7.5	1120	Pendiente inferior
8	III	66.67	331	32	1120	Pendiente inferior
9	II	61.67	34	19	1050	Pendiente superior
10	IV	Mayor 75	09	27	1050	Pendiente superior
11	II	44	98	34	990	Pendiente superior
12	III	60	75	25	990	Pendiente superior
13	IV	63.33	119	29	870	Pendiente inferior
14	III	Mayor 75	102	27	870	Pendiente inferior
15	IV	Mayor 75	20		750	Cima
16	IV	Mayor 75	28	22	750	Cima

Fuente: Tzirin Batzin, J. (27)

También Santos (23), dentro de su estudio, determinó el crecimiento y la calidad de sitio, así como los factores de sitio para *Eucalyptus camaldulensis* en cuatro departamentos de Guatemala.

Con el objetivo de llevar un orden adecuado en el análisis de crecimiento y del incremento en *Eucalyptus camaldulensis* fue necesario recurrir a la determinación de índices de sitio para homogenizar el estudio de las localidades donde crece dicha especie. Para estimar el índice de sitio se procedió a utilizar datos de altura-edad de los sitios correspondientes para cada una de las localidades y se utilizaron en las curvas de índices de sitio que previamente fueron generadas por Campos, 1989, para la especie en cuestión. Luego se procedió a agrupar los datos de altura de las localidades por similares índices de sitio para estudiar el crecimiento de camaldulensis en una forma más homogénea, según Santos (23).

Para analizar el crecimiento de la especie, se utilizó la información de mediciones recopiladas a partir de 1987 de las parcelas de crecimiento. De acuerdo con los fines de la investigación, los datos que se utilizaron para estudiar específicamente el crecimiento fueron los de altura total ya que se les consideró como los registros más representativos y completos, señala Santos. (23)

Santos (23) cita que los factores de sitio que se midieron en el estudio fueron la profundidad radical, que se consideró como factor de sitio y se cuantificó realizando un corte en profundidad, estos cortes fueron al azar dentro de cada parcela de muestreo, para medir la profundidad de las raíces.

Por otro lado se consideraron otros factores como la exposición la viento, la precipitación pluvial, la pendiente del terreno, la pedregosidad y la superficie del paisaje, ya que estos presentan variaciones considerables en los sitios estudiados. El último de estos factores se tomó en cuenta para el crecimiento contra los efectos erosivos y/o problemas de drenaje de los suelos de los sitios estudiados. La textura del suelo fue otro factor que se tomó en cuenta, ya que Campos, 1989, sugiere que la textura del suelo es un factor determinante en el crecimiento de esta especie, de acuerdo a Santos (23).

Dentro del estudio se procedió a analizar la influencia de estos factores sobre la calidad de sitio y en adición se analizaron los crecimientos con dichos factores. La herramienta de análisis que se utilizó fue un método estadístico de tipo multivariado conocido como correlaciones canónicas. Como resultado, se obtuvieron 6 correlaciones, de las que sólo tres fueron significativas para el estudio, según Santos (23).

En el estudio Santos (23) menciona que la calidad de sitio y la última medición de crecimiento mantienen una estrecha relación con el grupo de variables ambientales. En este grupo todas sus variables tienen relación con la calidad de sitio y los crecimientos de *Eucalyptus camaldulensis*.

De acuerdo a criterios para determinar la calidad de sitio, la altura dominante de una especie arbórea es igual a la altura de los 100 árboles más altos por hectárea, es decir, la calidad de sitio está relacionada con la altura de un árbol; de acuerdo con esta definición, la similitud de correlaciones entre el crecimiento y la calidad de sitio obtenidas a partir de la boleta de evaluación, indican que si existe una relación entre los factores externos del paisaje de un sitio y el crecimiento de una especie arbórea, de acuerdo a lo estudiado por Santos (23).

4. OBJETIVOS

4.1. General.

4.1.1. Determinar la influencia de los factores ambientales de sitio en bosques naturales de *Pinus pseudostrabus* Lindley en el departamento de Chimaltenango.

4.2. Específicos.

4.2.1. Determinar la calidad de sitio con base a los factores fisiográficos y edáficos en bosques naturales de *Pinus pseudostrabus* Lindley.

4.2.2. Determinar la influencia que tienen los factores fisiográficos y edáficos en el crecimiento en bosques naturales de *Pinus pseudostrabus* Lindley.

5. HIPÓTESIS

Los factores de sitio que tienen influencia en la calidad de sitio en bosques naturales de *Pinus psuedostrobus* Lindley, son pendiente, profundidad efectiva y pedregosidad.

6. METODOLOGÍA

6.1. Descripción del área de Estudio.

6.1.1. Delimitación del área de estudio.

El estudio se llevó a cabo en el departamento de Chimaltenango, en las zonas de vida Bosque húmedo Montano bajo subtropical y Bosque muy húmedo Montano bajo subtropical, zonas de distribución natural del *Pinus pseudostrobus* Lindl. Para la selección de fincas o áreas con presencia de esta especie, fueron visitadas varias, entre ellas las fincas La Calera Chichavac, La Esperanza, San Vicente y Vista Bella, los astilleros municipales de Acatenango, Santa Apolonia y Tecpán; buscando en cada una las características enumeradas en el 6.2.2., por lo que sólo 4 fueron seleccionadas. Estas fincas y áreas se ubicaron en el mapa que se muestra en la Figura 6 “A”.

6.2. Diseño de muestreo.

6.2.1. Tipo de muestreo

El tipo de muestreo realizado para este estudio fue el selectivo dirigido, en donde se buscaron los índices de sitio (I, II, III, IV y V) con la ayuda de la información generada en otros estudios (Escobedo L, M. 1995), dentro de los cuales se tuvieron por lo menos 5 rodales para cada calidad de sitio, y dentro de estos, las 3 posiciones en la pendiente (parte alta, media y baja) en los cuales se ubicaron dos parcelas.

6.2.2. Selección de Rodales.

Los rodales que fueron seleccionados en las fincas establecidas previamente, tenían que tener las siguientes características:

6.2.2.1. Bosques naturales puros de *Pinus pseudostrobus* Lindl.

Para fines de este estudio, un bosque puro se consideró a aquel que tuviera el 90% de los individuos pertenecientes a esta especie.

6.2.2.2. Poco intervenidos.

Se dio prioridad a aquellos bosques que tuvieran una condición donde se evidenciara la poca intervención.

6.2.2.3. Densidad completa.

En este caso, se consideró como densidad completa a que existiera una adecuada ocupación o distribución de los individuos dentro del bosque, en un porcentaje mayor a 70, dentro de los mismos

6.2.3. Determinación del índice de sitio por rodal.

Ya seleccionados los rodales de acuerdo a las características previamente establecidas, se procedió a determinar los que tuvieran distintas calidades de sitio (I, II, III, IV y V) con la ayuda de las tablas de altura índice de *Pinus pseudostrobus* Lindl. ya elaboradas (Cuadro 3), para lo cual fueron tomados los

datos de altura-edad de 10 árboles dominantes dentro de cada parcela. En total, se debieron contar con 5 rodales por calidad de sitio. Se procuró que dentro de los rodales se tuvieran condiciones diferentes en términos fisiográficos con el propósito de obtener una mayor variabilidad en la información.

6.2.4. Tamaño de la muestra.

Tomando en cuenta el tipo de muestreo utilizado, fueron encontrados solamente tres calidades de sitio (I, II y III) de acuerdo a las características descritas en el inciso 6.2.2.; y después fueron seleccionados 5 rodales que presentaran 3 posiciones en la pendiente (alta, media, baja) y dentro de estas 2 parcelas, que fueron de forma circular y de 500 m² (radio=12.62 m) cada una, obteniendo así el tamaño de la muestra que fue de 90 parcelas.

Es importante señalar, que aunque no existen estándares definidos en cuanto al tamaño de la muestra para este tipo de estudios, las 90 parcelas se consideran un número adecuado debido a que abarca diferentes calidades de sitio, rodales y posiciones en la pendiente, proporcionando así una mayor variabilidad en las condiciones de crecimiento de la especie, tal y como se muestra en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Cantidad de parcelas a levantar.

Calidad de Sitio	Rodal	Posición en la pendiente	No. parcela
I, II y III	1	Alta	2
		Media	2
		Baja	2
	2	Alta	2
		Media	2
		Baja	2
	3	Alta	2
		Media	2
		Baja	2
	4	Alta	2
		Media	2
		Baja	2
	5	Alta	2
		Media	2
		Baja	2
Subtotal por cada calidad de sitio			30
TOTAL (Todas las calidades de sitio)			90

6.3. Determinación de las características dasométricas.

En cada una de las parcelas, se obtuvo la información dasométrica de las siguientes variables: edad (en años), diámetro a la altura del pecho (dap) (en cm.), altura (en m) y densidad (en árboles/ha).

6.4. Determinación de los factores de sitio.

Tomando en cuenta que los factores climáticos son similares en las zonas de distribución de *Pinus pseudostrobus* y debido a que no se cuenta con registros continuos y confiables de estos, el estudio se enfocó a los factores fisiográficos y edáficos. Aunque existe una gran cantidad de estos factores, únicamente se tomaron aquellos que en otros estudios han sido considerados como los de mayor influencia (2).

6.4.1. Factores fisiográficos.

Dentro de los factores fisiográficos considerados, están la pendiente del terreno y la forma del terreno. Estos factores pueden ser los más influyentes (2).

Para poder obtener la pendiente del terreno de un determinado sitio, ésta se midió con un clinómetro o nivel de mano, así mismo se indicó la dirección de la misma con ayuda de una brújula de mano y con un mapa cartográfico, dándose la dirección basada en los 4 puntos cardinales.

Mientras tanto, para la forma del terreno también sirvió la medición del porcentaje de la pendiente, y la clasificación se muestra en el Cuadro 8:

Cuadro 8. Forma del terreno con sus pendientes y elevaciones.

Forma del terreno	Pendiente (%)	Elevaciones
Plano o casi plano	< 2	-
Ondulado	2 – 16	-
Colinado	16 – 30	Variaciones moderadas
Montañoso	> 30	Grandes variaciones

Fuente: Tobías (26).

En el Cuadro 9, están los factores fisiográficos de sitio a estudiar, a los cuales se les asignó una codificación, con valores de 0 hasta 3, dependiendo de los casos, de tal forma que al obtener la sumatoria total de todos estos valores, esto represente su calidad, y mientras un mayor puntaje se obtenga, mejor será la calidad de sitio.

Cuadro 9. Sistema de evaluación de factores fisiográficos para el crecimiento de *Pinus pseudostrabus* Lindley.

Pendiente %	Valor	Forma del terreno	Valor
0 – 16	3	Plano	3
16 – 32	2	Ondulado	2
32 – 64	1	Colinado	1
> 64	0	Montañoso	0

Fuente: Cannon (2)

6.4.2. Factores edáficos.

Los factores edáficos que se estudiaron fueron, la textura del suelo, la pedregosidad, la superficie del paisaje y profundidad efectiva del suelo. De acuerdo a estudios realizados, estos factores han sido tomados como las más influyentes. (2, 17).

La textura del suelo es un factor determinante en el crecimiento de los árboles, por lo que se determinó primeramente al tacto, y después se realizó su determinación con un análisis de laboratorio para corroborar la información obtenida.

La pedregosidad del terreno puede ser un factor limitante para el crecimiento de los árboles, y ésta se determinó visualmente en el campo, mediante la escala de pedregosidad presentada en el Cuadro 10:

Cuadro 10. La pedregosidad y sus características.

Pedregosidad (%)	Características
0	Sin o con muy pocas piedras, no interfieren con la labranza
0 – 1	Moderadamente pedregoso, interfieren con la labranza, pero no impiden las labores. Piedras de 15 a 30 cm de diámetro, separadas de 10 a 30 m entre sí.
1 – 3	Pedregoso, suficiente para imposibilitar las labores, pero el suelo puede trabajarse si las demás características del suelo son favorables.
3 – 15	Muy pedregosos, suficientes piedras para impedir el uso de máquinas, con excepción de maquinaria ligera o herramienta de mano, siempre que las otras características del suelo sean especialmente favorables para pastizales. Piedras de 15 a 30 cm de diámetro, separadas de 75 a 160 cm entre sí.
> 15	Excesivamente pedregoso; suficientes piedras para impedir el uso de toda maquinaria agrícola. Las piedras son de 15 a 30 cm de diámetro, separadas por menos de 75 cm entre sí.

Fuente: Tobias (26)

La superficie del paisaje es un factor de sitio que influye por los efectos erosivos y/o los problemas de drenaje de los suelos de los sitios a estudiar, la cual también se midió visualmente en el campo y ésta puede ser cóncava, homogénea o convexa.

Por último, la profundidad efectiva, que es la profundidad hasta la cual hay presencia de raíces, la cual puede ser un factor limitante para el desarrollo y crecimiento de las raíces, se determinó mediante la realización de puntos de muestreo al azar en cada una de las parcelas de los distintos índices de sitio, realizando para el efecto pequeños agujeros cuadrados en el suelo, en donde se midió hasta qué profundidad hay presencia de raíces.

En el Cuadro 11, están los factores edáficos de sitio a estudiar, a los cuales también se les asignó una codificación, con valores de 0 hasta 4, para determinar la calidad de sitio, y con un mayor puntaje, mejor fue su calidad.

Cuadro 11. Sistema de evaluación de factores edáficos para el crecimiento de *Pinus pseudostrobus* Lindley.

Textura	Valor	Superficie	Valor
Gruesa	2	Cóncava	2
Media	1	Homogénea	1
Fina	0	Convexa	0
Pedregosidad %	Valor	Profundidad efectiva	Valor
0	4	> 70	4
0 – 1	3	50 – 70	3
1 – 3	2	35 – 50	2
3 – 15	1	20 – 35	1
>15	0	0 – 20	0

Fuente: Cannon (2)

6.5. Calidad de sitio.

Para cada uno de los rodales ubicados dentro de un mismo índice de sitio, se determinó la calidad de sitio con base a la cuantificación total de los valores de cada uno de los factores, como se indica en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Clasificación de la calidad del sitio de acuerdo al valor total obtenido.

Valor total	Calidad de sitio
13 - 17	Sitio excelente
11 - 12	Buen sitio
9 - 10	Sitio marginal
< 8	Sitio inadecuado

Fuente: Cannon (2)

6.6. Determinación de Crecimiento.

Para analizar el crecimiento de *Pinus pseudostrobus*, se utilizó la información previamente generada para ésta (Fuente: López (16)) (Ver Cuadro 19 - 25), así como la información dasométrica obtenida en cada una de las parcelas establecidas. Específicamente, se utilizó la edad para obtener los valores de

crecimiento en cada uno de los índices de sitio (I, II y III) para poder en este caso, determinar los crecimientos de los árboles dentro de cada uno de estos rodales.

6.7. Análisis de la relación de factores de sitio con la calidad de sitio y el crecimiento.

Los resultados de la variable de factores de sitio, que para dicho estudio se tiene a los fisiográficos, dentro de estos están la pendiente y la forma del terreno; y por otro lado están los edáficos, dentro de los cuales se enumeran la textura, la pedregosidad, la superficie del terreno y la profundidad efectiva, se analizaron para ver si se existe una influencia sobre las variables de crecimiento y la calidad. Dentro de las variables de crecimiento se tenían los incrementos medios anuales -IMA- y los incrementos corrientes anuales -ICA-, tanto en altura como en diámetro a la altura del pecho -DAP-.

La técnica que se adecua a este requerimiento es la correlación canónica, proceso que se hizo usando el sistema SAS -Statistical Análisis System- (proa cancorr).

6.8. Análisis de la relación factores de sitio y los índices de sitio.

Para realizar este análisis, se utilizó la correlación canónica, al igual que el caso anterior, debido a que es el más adecuado para el mismo. Las variables a correlacionar en este caso fueron los factores de sitio, en este caso los fisiográficos y edáficos contra los índices de sitio. Estas variables fueron correlacionadas entre sí para poder determinar la influencia que tienen los factores sobre el índice de sitio.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Calidad de Sitio

Como se mencionó en el inciso 6.2.4, solamente se obtuvieron los índices de sitio I, II y III, en los cuales se determinaron cada uno de los factores de sitio propuestos, tanto fisiográficos como edáficos.

Cuadro 13. Valor Promedio de los resultados obtenidos de cada calidad de sitio para cada uno de los factores de sitio de acuerdo al sistema de evaluación (Cuadro 9 y 11)

Índice de sitio	Factores fisiográficos		Factores edáficos			
	Pendiente (%)	Forma del terreno	Textura	Pedregosidad (%)	Profundidad efectiva (cm)	Superficie del paisaje
I	0-16	Ondulado	Arenosa	0	> 70	Concava
II	16-32	Colinado	Arenosa	0	>70	Homogénea
III	32-64	Montañoso	Arenosa	1-15	20-70	Homogénea

En el Cuadro 13 se puede observar que el índice de sitio I posee las siguientes características: pendientes entre 0 y 16%, con una forma del terreno entre plano y ondulado, con textura gruesa y superficies cóncavas y homogéneas y un porcentaje de pedregosidad de 0% con una profundidad efectiva mayor de 70 cm. De acuerdo con estas características, estas áreas no presentan ningún tipo de limitación en cuanto a la capacidad de uso del INAB se refiere, por lo que son sitios propios para bosques de producción.

Mientras tanto para un índice de sitio II, estas características son similares, a excepción de la pendiente, que tiende a ser mayor del 16 % pero menor del 30%, lo cual a la vez influye en la forma del terreno, obteniendo así sitios excelentes. En cuanto a la clasificación de la capacidad de uso según el INAB, estas tierras ya presentan algunas limitaciones en cuanto a los factores anteriormente mencionados, por lo que son áreas que puede dedicarse a la producción de madera.

Por otro lado, está el índice de sitio III, el cual presenta pendientes que oscilan entre 32 y 40%, que influye en que la forma del terreno tienda a ser montañosa, con porcentajes de pedregosidad entre 1- 15% y con profundidades efectivas entre 20 a 70 cm, por lo que las características para éste hace que su calidad disminuya para obtener de esta manera buenos sitios. De acuerdo a la Clasificación de Tierras por Capacidad de Uso según el INAB, estas áreas son aptas para realizar un manejo forestal sostenible de bosques de protección, ya que presentan mayores limitaciones en cuanto a los factores de pendiente, profundidad y pedregosidad.

Para el caso de la textura, ésta es muy homogénea para todos los índices de sitio estudiados, siendo del grado gruesa o arenosa en su totalidad.

Como se puede observar en el Cuadro 14, se presenta el resumen de la clasificación de la calidad sitio donde los índices de sitio I y II fueron catalogados como sitios excelentes, mientras que el índice de sitio III, fue clasificado como buen sitio, presentando diferencias más significativas con los dos anteriores. Estos resultados obtenidos se basan en la clasificación de la calidad de sitio de acuerdo al valor obtenido (Cuadro 12).

Cuadro 14. Resumen de la clasificación de la calidad de sitio de los 3 índices de sitio.

Índice de Sitio	Calidad de Sitio	Clasificación de Sitio
I	15	Sitio excelente
II	14	Sitio excelente
III	11	Buen sitio

7.2. Análisis de la relación de factores de sitio con la calidad de sitio y el crecimiento.

Luego de determinar la calidad de sitio en función de los factores, fisiográficos y edáficos, se procedió a analizar la influencia de estos factores sobre la calidad de sitio y en adición, se analizaron los crecimientos con dichos factores. La herramienta de análisis que se utilizó, fue la prueba estadística

multivariada, correlación canónica. Como resultado, se obtuvieron 5 correlaciones canónicas (ver Apendice 1) de las que sólo la primera fue significativa, la cual se presenta a continuación. Esta correlación indica que sí existe una correlación entre los factores de sitio con la calidad de sitio y el crecimiento.

7.2.1. Primera Correlación Canónica.

En los Cuadros 15 y 16, se puede apreciar la correlación que existe entre los factores de sitio, edáficos y fisiográficos, y sus variables canónicas, mientras que en el otro la correlación entre la calidad de sitio y el crecimiento con sus variables canónicas. Esta correlación canónica ($r = 0.998063$; $Pr > F < 0.0001$) expone la estrecha relación que existe entre los factores de sitio y el crecimiento y la calidad de sitio de *Pinus pseudostrobus*.

Cuadro 15. Correlación entre los factores de sitio y su primera variable canónica.

FACTORES DE SITIO	PRIMERA VARIABLE CANÓNICA
PENDIENTE	0.8818
FORMA DEL TERRENO	0.8529
PEDREGOSIDAD	0.7942
PROFUNDIDAD EFECTIVA	0.6622
SUPERFICIE	0.2011
TEXTURA	0.0056

Cuadro 16. Correlación entre la calidad de sitio y el crecimiento con su primera variable canónica.

CALIDAD DE SITIO Y CRECIMIENTO	PRIMERA VARIABLE CANÓNICA
CALIDAD DE SITIO	0.9998
IMAH	0.5209
IMAD	0.3867
ICAD	-0.2904
ICAH	0.0813

En la Figura 1, se presenta de manera resumida los factores que influyen en el crecimiento de *Pinus pseudostrobus*. Como se puede observar, los factores de la pendiente, la forma del terreno, la pedregosidad y la profundidad efectiva influyen principalmente en el incremento medio anual en altura, así

como en la calidad de sitio de esta especie. Para el establecimiento de plantaciones forestales se debe procurar ubicar áreas en condiciones donde se presenten estos factores.

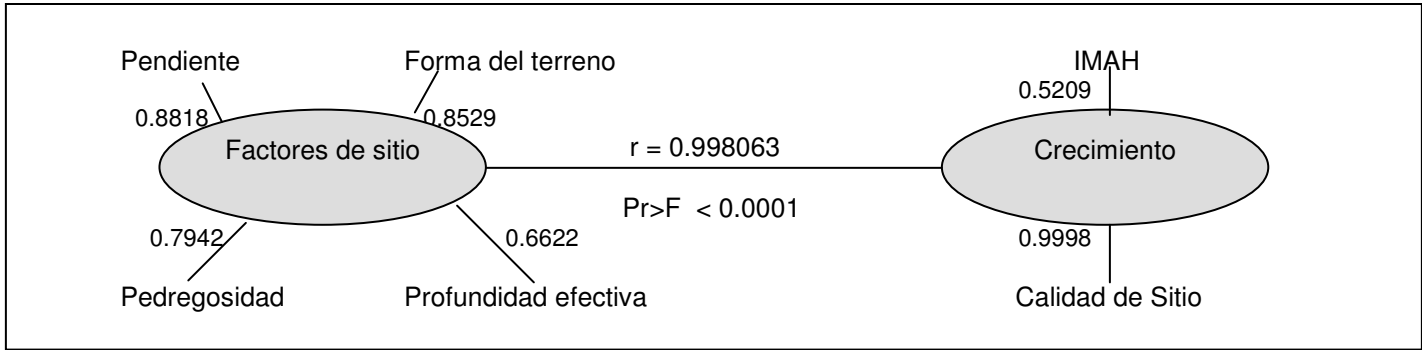


Figura 1. Relación de los factores de sitio y las variables de crecimiento en la Primera correlación canónica.

Una de las variables que influye en la calidad de sitio y en el crecimiento, es la pendiente del terreno, lo que indica que para obtener mejores rendimientos para el *Pinus pseudostrobus*, se deben tener condiciones donde existan pendientes que no sean mayores de 16%. Por otro lado, si existen áreas con pendientes con un porcentaje principalmente mayor a 32%, conjuntamente con alto grado de pedregosidad, se darán condiciones no aptas para un bosque de producción maderera según la Clasificación de Tierras de acuerdo al INAB, esto debido a que las raíces tendrán menor área que permitan un mejor desarrollo, lo cual conlleva a que el crecimiento en altura y en dap de los individuos se vea afectado, por lo que estos sitios deben ser destinados a bosques de protección de cuencas y zonas de alto riesgo de erosión y deslaves. Por lo que áreas con fines para bosques productivos, con ciclos de corte cortos con una producción maderera alta deben presentar pendientes inferiores a 16%, profundidades mayores de 70 cm y sin presencia de pedregosidad.

A la vez otro factor que tiene influencia en la calidad de sitio, es la forma del terreno, que está ligado a la pendiente misma, ya que mientras menor sea ésta, más plano tiende a ser la topografía, por lo que los mejores crecimientos, hablando en términos silviculturales, para esta especie se encontraron en sitios que

iban desde planos hasta ondulados; mientras que en sitios colinados y principalmente montañosos, los crecimientos de los individuos tuvieron una disminución.

Con relación a los factores edáficos, se tiene que a mayor pedregosidad en los sitios con presencia de *Pinus pseudostrabus*, el crecimiento de esta especie será inferior en comparación con sitios con poca a ninguna pedregosidad, ya que como explica Hocker (10), este factor puede perjudicar al desarrollo de las plantas en general, ya que se vuelve una barrera natural dentro del suelo para el buen desarrollo de raíces, como también provoca una disminución en el grado de humedad del suelo. Por lo tanto si este factor llegará a ser una limitante, es importante tomarlo en cuenta a la hora de hacer una planificación forestal, ya que esto señala que en áreas como esta se podría establecer un bosque con fines de protección y de recuperación del suelo, más que con fines productivos de madera, y así evitar la erosión.

Otro factor influyente es la profundidad efectiva del suelo, que también tiene una influencia directa sobre el crecimiento y la calidad de sitio de esta especie, ya que a mayor profundidad, mejor serán los sitios y por ende los crecimientos de ésta, esto se debe a que su sistema radicular presenta un mejor desarrollo sin ningún tipo de limitación; además que como menciona la FAO, en su libro "Producción forestal" (8), que los suelos profundos son generalmente buenos para las especies forestales.

De acuerdo al análisis anterior, la relación entre los factores de mayor influencia; en este caso la pendiente, la forma del terreno, la pedregosidad y la profundidad efectiva de los suelos; se encuentra vinculada con la erosión, ya que normalmente estos factores son parte importante en el problema de la pérdida del suelo fértil, lo cual hace que el desarrollo de los árboles sea o no mejor.

7.3. Análisis de la relación factores de sitio y los índices de sitio

La correlación que existe entre los factores de sitio con su variable canónica y el índice de sitio con su variable canónica, se presenta en el Cuadro 17 y 18 respectivamente. Esta correlación canónica ($r = 0.770326$; $Pr > F < 0.0001$) expone la estrecha relación entre los factores y los índices de sitio en bosques naturales de *Pinus pseudostrobus* Lindley, como se observa en la Figura 2. El número de correlaciones canónicas para este análisis es igual a uno, debido a que el mínimo número de variables la presenta el grupo de índice de sitio con una variable (ver Apéndice 2) que se presenta a continuación.

Cuadro 17. Correlación entre los factores de sitio y su primera variable canónica.

FACTORES DE SITIO	PRIMERA VARIABLE CANÓNICA
PENDIENTE	0.9234
FORMA DEL TERRENO	0.8984
PEDREGOSIDAD	0.8431
PROFUNDIDAD EFECTIVA	0.6755
TEXTURA	-0.1251
SUPERFICIE	0.0978

Cuadro 18. Correlación entre el índice de sitio y su primera variable canónica.

INDICE DE SITIO	PRIMERA VARIABLE CANÓNICA
INDICE DE SITIO	-1.0000

Los factores que tienen influencia sobre el índice de sitio son la pendiente, la forma del terreno y la profundidad efectiva. Para el caso de los primeros dos, estos factores mantienen una estrecha relación entre sí, ya que ambos dependen del porcentaje de pendiente que cada sitio presente. Por lo tanto, se determinó que a menor pendiente, los índices de sitios tienden a ser mejores, para este caso sería I y II; y esto se expresa en una mayor altura dominante que alcanza un rodal a una edad determinada. Por lo tanto, las áreas o sitios más planos pueden ser destinados para bosques de producción, debido a que se tendrá mayores y mejores crecimientos, principalmente mayores alturas de los árboles dentro del bosque.

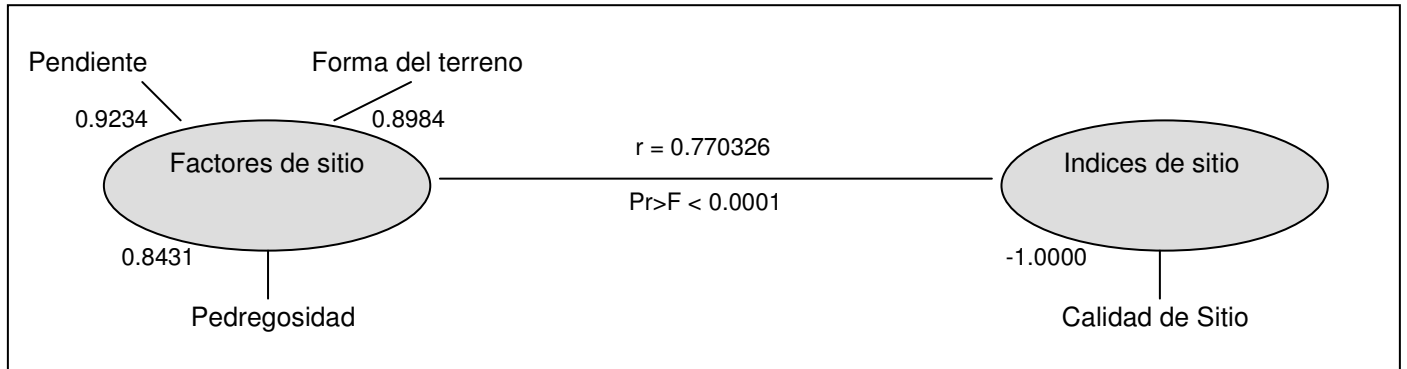


Figura 2. Relación de los factores de sitio y el Índice de sitio en el análisis de su correlación canónica.

Además se tiene otro factor determinante como lo es la pedregosidad, que se clasifica dentro de los factores edáficos. Este factor tiene una influencia sobre los índices de sitio, ya que mientras mayor sea el porcentaje de pedregosidad que se tenga en el área, menores serán las alturas de los árboles dentro de un rodal, por lo que para el caso en mención el índice de sitio será III. Por lo tanto los sitios con alta presencia de pedregosidad se recomienda que sea destinado a bosques de protección, debido a que con mayores porcentajes de pedregosidad dentro del suelo, éstas se vuelven una especie de barrera natural para las raíces de los árboles, lo cual impide un crecimiento más lento de las especies arbóreas, en este caso para *Pinus pseudostrobus* Lindley, por lo que su altura tenderá a ser menor.

8. CONCLUSIONES

- 8.1. La hipótesis planteada en el estudio no se rechaza, por lo que los factores de pendiente, forma del terreno, pedregosidad y profundidad efectiva son los factores que influyen en la calidad de sitio, y en consecuencia en el crecimiento de la especie de *Pinus pseudostrobus* Lindley, expresado en términos de índice de sitio.
- 8.2. Con base a los factores fisiográficos y edáficos, la calidad de sitio para los rodales ubicados en el índice de sitio I y II, fueron categorizados como excelentes; mientras que para el índice de sitio III fue bueno.
- 8.3. Para un índice de sitio I, se obtuvieron como los factores que presentaron mayor valor los siguientes: pendiente menor de 16%, textura gruesa, profundidad efectiva mayor de 70 cm y pedregosidad de 0%, lo que inciden en su calidad y pueden dedicarse a bosques de producción maderera.
- 8.4. Para un índice de sitio II, siendo menor su valor total con respecto a la calidad en comparación con el índice de sitio I, se obtuvo como factores influyente, a pendientes mayores en relación a este, las cuales oscilan entre 16 a 32%, y pueden ser sitios para fines productivos de madera.
- 8.5. Para un índice de sitio III, teniendo como los factores más influyentes en la disminución de su calidad de sitio, a pendientes con porcentajes mayores de 32%, pedregosidades de 3 a 15%, la superficie del paisaje y profundidad efectiva entre 50 a 70 cm y éstas áreas pueden destinarse a bosques con fines de protección.

9. RECOMENDACIÓN

Este estudio contiene la aplicación de una herramienta práctica para poder planificar el establecimiento de plantaciones de *Pinus pseudostrabus* Lindley, así como el uso de sitios y el manejo de dicha especie para el departamento de Chimaltenango. Por lo tanto, para plantaciones con esta especie se recomienda realizarlas en sitios planos o con pendientes leves, con buenas profundidades, primordialmente mayores de 75 cm y con poca o ninguna pedregosidad, para así obtener mejores crecimientos, esto expresados en términos de índice de sitio.

También se recomienda continuar con estudios similares aplicados a otras especies, y así realizar mejores propuestas de reforestación a nivel nacional.

10. BIBLIOGRAFÍA

1. Brown, H; Loewestein, H. 1978. Predicting site productivity of mixed conifer stands in northern Idaho from soil and topographic variables. *Soil Science Society Journal* 42:967-971.
2. Cannon, P. 1984. El problema de marchitez del *Eucalyptus globulus* en el Perú; infome para Proyecto FAO / Holanda / INFOR. Lima, Perú, FAO. 11 p.
3. Clutter, J. 1983. Timber management: a quantitative approach. New York, Wiley. 333 p.
4. Cruz, JR De la 1982. Clasificación de las zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 p.
5. Curso de Drenaje Agrícola y Control de Inundaciones a Nivel de Postgrado (3., 1995, Guatemala). Análisis de frecuencia y regresión. Guatemala. Guatemala, USAC, Escuela de Postgrado. p. 39-60.
6. Daniel, TW; Helms, JA, Baker, FS. 1982. Principios de silvicultura. México, McGraw-Hill. 482 p.
7. Escobedo L, M. 1995. Índices de sitio para *Pinus pseudostrobus* Lindl, en los departamentos de Chimaltenango y Sololá. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 80 p.
8. FAO. 1982. Producción forestal. México, Trillas. p. 27-38.
9. Grey, DC. 1980. On the concept of site in forestry. *South African Forestry Journal* no. 113:81-82.
10. Hocker, H. 1984. Introducción a la biología forestal. México, AGT. p. 275-280.
11. INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 2000. Clasificación de tierras por capacidad de uso – manual técnico (en línea). Guatemala. Consultado el 20 de abril 2006. Disponible en: <http://www.inab.gob.gt/inab.htm>
12. _____. 2003. Resumen de resultados de inventario forestal nacional – documento (en línea). Guatemala. Consultado el 20 de abril 2006. Disponible en: <http://www.inab.gob.gt/inab.htm>

13. INAFOR (Instituto Nacional Forestal, GT). 1983. Mapa de zonas de vida, a nivel de reconocimiento de la república de Guatemala, según el sistema de Holdridge. Guatemala, Instituto Geográfico Militar. Esc. 1:600,000
14. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1972. Mapa geológico de la república de Guatemala. Guatemala. Esc 1:500,000. Color.
15. _____. 1973. Mapa de cuencas de la república de Guatemala. Guatemala. Esc. 1:500,000. Color.
16. _____. 1977. Atlas nacional de la república de Guatemala. Guatemala. Esc. 1:1,000,000. Color.
17. Kadambi, K. 1966. Estimating biological productivity of forests on the basis of ecological factors, climatic and edaphic-evolving of an index of productivity. Congreso Forestal Mundial (6., 1966, España). Madrid, España, Editorial. p. 1804-1811.
18. López V, P. 2003. Estudio del crecimiento y rendimiento de *Pinus pseudostrabus* Lindley, en bosques naturales de los departamentos de Chimaltenango y Sololá. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 101 p.
19. Rivero, B; Zepeda, B. 1990. Principios básicos de regulación forestal. México, Universidad Autónoma de Chapingo, División de Ciencias Forestales. 262 p.
20. Rodríguez, R. 1982. Determinación de la calidad de estación de *Pinus montezumae* Lamb., a través de análisis troncales en el campo experimental forestal San Juan Tela, Puebla. Tesis MSc. Chapingo, México, Colegio de Postgraduados, Centro de Genética, Programa Forestal. 134 p.
21. _____. 1995. Soil survey staff. Claves para la taxonomía de suelos, versión 1994. Trad. CA Ortiz, M. del Carmen Gutiérrez y JL García. Chapingo, México, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. 306 p.
22. Standley, P. 1955. Flora of Guatemala. US, Chicago Natural History Museum. v. 24, pte. 1, p. 53-55.
23. Santos, C. 1997. Determinación del crecimiento y calidad de sitio para *camaldulensis* (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh) en cuatro departamentos de Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 87 p
24. Schönau, A; Purnell, R. 1987. A different approach to site evaluation and some preliminary results. South African Forestry Journal no. 141:19-25.
25. Shrivastava, MB; Ulrich, U. 1978. Quantitative assessment of forest site productivity. Indian Forester 104:79-89.

26. Tobias, HA. 1997. Guía para descripción de suelos. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 73 p.
27. Tzrin, J. 1998. Índices de sitio preliminares para *Cupressus lusitanica* Miller, *Pinus caribaea* Morelet var. hondurensis Barret & Golfari, *Pinus maximinoii* H.E. Moore y *Pinus strobus* L. var. chiapensis Martínez, establecidas en plantación en el Proyecto de Reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 67 p.
28. Walker, E. 1980. Métodos multivariados para el análisis de datos. México, SARH. 50 p.

11. APENDICES

Cuadro 19 "A" : Crecimiento, incremento medio anual (IMA) e incremento corriente anual (ICA), en altura (H), diámetro a la altura delpecho (DAP) y crecimiento en volumen (V), calidad de sitio Ipara *P. pseudostrabus* en bosques naturales de Chimaltenango y Sololá.

EDAD (años)	ALTURA			DAP			VOLUMEN
	H (m)	IMA	ICA	DAPsc (cm)	IMA	ICA	V sc (m ³)
1	0.15	0.1485	0.2960	0.18	0.1774	0.3537	0.00002
2	0.59	0.2938	0.5790	0.70	0.3515	0.6941	0.00038
3	1.30	0.4328	0.8374	1.56	0.5191	1.0090	0.00191
4	2.25	0.5628	1.0623	2.71	0.6773	1.2886	0.00556
5	3.41	0.6819	1.2477	4.12	0.8241	1.5260	0.01217
6	4.73	0.7888	1.3910	5.75	0.9576	1.7173	0.02236
7	6.18	0.8825	1.4926	7.54	1.0771	1.8620	0.03664
8	7.70	0.9631	1.5553	9.45	1.1819	1.9617	0.05531
9	9.28	1.0308	1.5836	11.45	1.2721	2.0202	0.07857
10	10.86	1.0862	1.5828	13.48	1.3483	2.0426	0.10653
11	12.43	1.1304	1.5584	15.52	1.4113	2.0343	0.13922
12	13.97	1.1644	1.5157	17.54	1.4620	2.0012	0.17659
13	15.46	1.1894	1.4597	19.52	1.5015	1.9486	0.21856
14	16.89	1.2064	1.3945	21.44	1.5311	1.8814	0.26503
15	18.25	1.2166	1.3236	23.28	1.5519	1.8041	0.31584
16	19.24	1.2210	1.2499	25.04	1.5651	1.7201	0.37085
17	20.75	1.2205	1.1754	26.72	1.5717	1.6325	0.42988
18	21.89	1.2159	1.1019	28.31	1.5726	1.5436	0.49276
19	22.95	1.2080	1.0304	29.81	1.5687	1.4552	0.55930
20	23.95	1.1974	0.9617	31.22	1.5609	1.3687	0.62932
21	24.88	1.1846	0.8965	32.54	1.5497	1.2849	0.70263
22	25.74	1.1701	0.8349	33.79	1.5358	1.2046	0.77905
23	26.55	1.1543	0.7771	34.95	1.5198	1.1283	0.85841
24	27.30	1.1374	0.7231	36.05	1.5019	1.0560	0.94052
25	28.00	1.1198	0.6729	37.07	1.4827	0.9880	1.02522
26	28.65	1.1017	0.6263	38.02	1.4625	0.9242	1.11235
27	29.25	1.0833	0.5831	38.82	1.4414	0.8646	1.20173
28	29.81	1.0647	0.5431	39.75	1.4198	0.8089	1.29323
29	30.34	1.0461	0.5062	40.54	1.3978	0.7570	1.38669
30	30.83	1.0275	0.4721	41.27	1.3757	0.7087	1.48197
31	31.28	1.0091	0.4406	41.96	1.3534	0.6639	1.57893
32	31.71	0.9909	0.4116	42.60	1.3312	0.6222	1.67745
33	32.11	0.9729	0.3848	43.20	1.3091	0.5835	1.77739
34	32.48	0.9552	0.3600	43.77	1.2872	0.5476	1.87865
35	32.83	0.9379	0.3371	44.30	1.2656	0.5142	1.98110
36	33.15	0.9209	0.3160	44.80	1.2443	0.4832	2.08464
37	33.46	0.9043	0.2965	45.26	1.2234	0.4545	2.18917
38	33.75	0.8881	0.2784	45.71	1.2028	0.4277	2.29458
39	34.02	0.8722	0.2617	46.12	1.1826	0.4029	2.40079
40	34.27	0.8567	0.2462	46.51	1.1628	0.3798	2.50770
41	34.51	0.8417	0.2318	46.88	1.1434	0.3583	2.61523
42	34.73	0.8270	0.2184	47.23	1.1245	0.3383	2.72331
43	34.95	0.8127	0.2060	47.56	1.1060	0.3196	2.83185
44	35.15	0.7988	0.1945	47.87	1.0879	0.3022	2.94078
45	35.34	0.7852	0.1838	48.16	1.0703	0.2860	3.05003
46	35.51	0.7720	0.1738	48.44	1.0531	0.2709	3.15955
47	35.68	0.7592	0.1645	48.70	1.0363	0.2567	3.26926
48	35.84	0.7467	0.1558	48.95	1.0199	0.2435	3.37911
49	36.00	0.7346	0.1477	49.19	1.0039	0.2311	3.48904
50	36.14	0.7228	0.1402	49.42	0.9883	0.2195	3.59900
51	36.28	0.7113	0.1331	49.63	0.9732	0.2086	3.70895
52	36.41	0.7001	0.1264	49.83	0.9583	0.1984	3.81883
53	36.53	0.6892	0.1202	50.03	0.9439	0.1889	3.92859
54	36.65	0.6786	0.1144	50.21	0.9299	0.1799	4.03821
55	36.76	0.6683	0.1089	50.39	0.9161	0.1715	4.14763
56	36.86	0.6583	0.1038	50.56	0.9028	0.1635	4.25683
57	36.97	0.6485	0.0990	50.71	0.8897	0.1560	4.36576
58	37.06	0.6390	0.0944	50.87	0.8770	0.1490	4.47439
59	37.15	0.6297	0.0902	51.01	0.8646	0.1424	4.58268
60	37.24	0.6207	0.0861	51.15	0.8525	0.1361	4.69062

Fuente: López (16)

Cuadro 20 "A": Crecimiento, incremento medio anual (IMA) e incremento corriente anual (ICA), en altura (H), diámetro a la altura del pecho (DAP) y crecimiento en volumen (V), calidad de sitio II, para *P. pseudostrubus* en bosques naturales de Chimaltenango y Sololá.

EDAD (años)	ALTURA			DAP			VOLUMEN V sc (m ³)
	H (m)	IMA	ICA	DAPsc (cm)	IMA	ICA	
1	0.10	0.1037	0.2068	0.10	0.0987	0.1971	0.00001
2	0.41	0.2055	0.4058	0.39	0.1964	0.3900	0.00011
3	0.91	0.3035	0.5903	0.88	0.2920	0.5750	0.00053
4	1.58	0.3962	0.7544	1.54	0.3848	0.7486	0.00154
5	2.41	0.4822	0.8941	2.37	0.4737	0.9079	0.00343
6	3.36	0.5607	1.0073	3.35	0.5582	1.0505	0.00648
7	4.42	0.6310	1.0934	4.46	0.6376	1.1749	0.01093
8	5.54	0.6928	1.1534	5.69	0.7116	1.2804	0.01702
9	6.72	0.7462	1.1893	7.02	0.7798	1.3666	0.02497
10	7.91	0.7914	1.2040	8.42	0.8420	1.4340	0.03496
11	9.12	0.8289	1.2007	9.88	0.8982	1.4835	0.04716
12	10.31	0.8592	1.1827	11.38	0.9484	1.5163	0.06171
13	11.48	0.8830	1.1530	12.91	0.9929	1.5339	0.07876
14	12.61	0.9010	1.1147	14.44	1.0317	1.5381	0.09842
15	13.71	0.9138	1.0701	15.98	1.0653	1.5304	0.12080
16	14.75	0.9220	1.0215	17.50	1.0939	1.5128	0.14598
17	15.75	0.9264	0.9705	19.00	1.1178	1.4867	0.17404
18	16.69	0.9274	0.9186	20.47	1.1374	1.4538	0.20506
19	17.59	0.9256	0.8668	21.91	1.1531	1.4155	0.23909
20	18.43	0.9213	0.8160	23.30	1.1651	1.3730	0.27618
21	19.22	0.9151	0.7667	24.65	1.1740	1.3275	0.31638
22	19.96	0.9073	0.7194	25.96	1.1799	1.2800	0.35973
23	20.66	0.8982	0.6743	27.21	1.1832	1.2312	0.40625
24	21.31	0.8879	0.6316	28.42	1.1841	1.1818	0.45598
25	21.92	0.8769	0.5913	29.58	1.1831	1.1320	0.50892
26	22.49	0.8651	0.5534	30.68	1.1802	1.0836	0.56510
27	23.03	0.8529	0.5180	31.74	1.1757	1.0356	0.62452
28	23.53	0.8404	0.4849	32.76	1.1699	0.9887	0.68720
29	24.00	0.8276	0.4540	33.72	1.1628	0.9432	0.75313
30	24.44	0.8146	0.4253	34.64	1.1548	0.8991	0.82232
31	24.85	0.8016	0.3985	35.52	1.1458	0.8567	0.89476
32	25.24	0.7887	0.3737	36.36	1.1362	0.8160	0.97045
33	25.60	0.7757	0.3506	37.15	1.1259	0.7770	1.04939
34	25.94	0.7629	0.3291	37.91	1.1150	0.7397	1.13155
35	26.26	0.7502	0.3092	38.63	1.1038	0.7042	1.21694
36	26.56	0.7377	0.2906	39.32	1.0922	0.6703	1.30553
37	26.84	0.7254	0.2734	39.97	1.0804	0.6381	1.39731
38	27.10	0.7133	0.2574	40.60	1.0683	0.6076	1.49227
39	27.35	0.7014	0.2425	41.19	1.0562	0.5786	1.59038
40	27.59	0.6898	0.2287	41.75	1.0439	0.5511	1.69163
41	27.81	0.6783	0.2158	42.29	1.0315	0.5250	1.79601
42	28.02	0.6672	0.2038	42.81	1.0192	0.5003	1.90347
43	28.22	0.6563	0.1926	43.29	1.0068	0.4769	2.01402
44	28.41	0.6456	0.1821	43.76	0.9945	0.4547	2.12762
45	28.58	0.6352	0.1724	44.20	0.9823	0.4337	2.24425
46	28.75	0.6251	0.1633	44.63	0.9702	0.4139	2.36388
47	28.91	0.6151	0.1548	45.03	0.9581	0.3951	2.48650
48	29.06	0.6055	0.1468	45.42	0.9462	0.3773	2.61207
49	29.21	0.5960	0.1394	45.79	0.9344	0.3605	2.74058
50	29.34	0.5868	0.1324	46.14	0.9228	0.3445	2.87199
51	29.47	0.5778	0.1259	46.48	0.9113	0.3294	3.00628
52	29.59	0.5691	0.1197	46.80	0.9000	0.3451	3.14343
53	29.71	0.5606	0.1140	47.11	0.8888	0.3015	3.28340
54	29.82	0.5522	0.1086	47.40	0.8778	0.2886	3.42618
55	29.93	0.5441	0.1035	47.68	0.8670	0.2764	3.57173
56	30.03	0.5362	0.0987	47.95	0.8563	0.2649	3.72002
57	30.12	0.5285	0.0942	48.21	0.8459	0.2539	3.87104
58	30.22	0.5210	0.0900	48.46	0.8356	0.2435	4.02475
59	30.30	0.5136	0.0860	48.70	0.8254	0.2336	4.18112
60	30.39	0.5065	0.0822	48.93	0.8155	0.2242	4.34014

Fuente: López (16)

Cuadro 21 "A": Crecimiento, incremento medio anual (IMA) e incremento corriente anual (ICA), en altura (H), diámetro a la altura del pecho (DAP) y crecimiento en volumen (V), calidad de sitio III, para *P. pseudostrubus* en bosques naturales de Chimaltenango y Sololá.

EDAD (años)	ALTURA			DAP			VOLUMEN
	H (m)	IMA	ICA	DAPsc (cm)	IMA	ICA	V sc (m ³)
1	0.07	0.0733	0.1463	0.06	0.0591	0.1181	0.00064
2	0.29	0.1456	0.2886	0.24	0.1179	0.2347	0.00258
3	0.65	0.2160	0.4223	0.53	0.1759	0.3485	0.00580
4	1.13	0.2836	0.5471	0.93	0.2328	0.4580	0.01030
5	1.74	0.3475	0.6574	1.44	0.2884	0.5621	0.01610
6	2.44	0.4073	0.7526	2.05	0.3422	0.6596	0.02318
7	3.24	0.4625	0.8317	2.76	0.3941	0.7498	0.03156
8	4.10	0.5127	0.8944	3.55	0.4438	0.8320	0.04122
9	5.02	0.5579	0.9412	4.42	0.4911	0.9057	0.05216
10	5.98	0.5979	0.9731	5.36	0.5359	0.9705	0.06440
11	6.96	0.6330	0.9913	6.36	0.5780	1.0264	0.07792
12	7.96	0.6632	0.9975	7.41	0.6174	1.0735	0.09274
13	8.95	0.6888	0.9932	8.50	0.6540	1.1120	0.10884
14	9.94	0.7101	0.9803	9.63	0.6878	1.1421	0.12622
15	10.91	0.7275	0.9603	10.78	0.7189	1.1645	0.14490
16	11.86	0.7413	0.9347	11.96	0.7473	1.1795	0.16486
17	12.78	0.7518	0.9048	13.14	0.7730	1.1878	0.18612
18	13.67	0.7594	0.8719	14.33	0.7961	1.1900	0.20866
19	14.52	0.7644	0.8370	15.52	0.8168	1.1867	0.23248
20	15.34	0.7671	0.8008	16.70	0.8351	1.1784	0.25760
21	16.13	0.7679	0.7641	17.87	0.8511	1.1659	0.28400
22	16.87	0.7669	0.7275	19.03	0.8651	1.1497	0.31170
23	17.58	0.7644	0.6913	20.17	0.8771	1.1304	0.34068
24	18.25	0.7606	0.6560	21.29	0.8872	1.1084	0.37097
25	18.89	0.7557	0.6217	22.39	0.8955	1.0842	0.40250
26	19.50	0.7499	0.5887	23.46	0.9023	1.1583	0.43534
27	20.07	0.7433	0.5570	24.50	0.9076	1.0311	0.46948
28	20.61	0.7361	0.5267	25.52	0.9115	1.0028	0.50490
29	21.12	0.7284	0.4980	26.51	0.9141	0.9739	0.54160
30	21.61	0.7203	0.4707	27.47	0.9156	0.9445	0.57960
31	22.07	0.7118	0.4448	28.40	0.9161	0.9150	0.61888
32	22.50	0.7031	0.4204	29.30	0.9156	0.8854	0.65946
33	22.91	0.6942	0.3974	30.17	0.9142	0.8560	0.70132
34	23.29	0.6851	0.3757	31.01	0.9121	0.8270	0.74446
35	23.66	0.6760	0.3553	31.82	0.9093	0.7983	0.78890
36	24.00	0.6668	0.3361	32.61	0.9058	0.7702	0.83462
37	24.33	0.6576	0.3181	33.36	0.9017	0.7428	0.88164
38	24.64	0.6485	0.3012	34.09	0.8972	0.7160	0.92994
39	24.93	0.6394	0.2853	34.80	0.8922	0.6899	0.97952
40	25.21	0.6303	0.2703	35.47	0.8868	0.6645	1.03040
41	25.48	0.6214	0.2563	36.13	0.8811	0.6400	1.08256
42	25.73	0.6125	0.2431	36.75	0.8751	0.6162	1.13602
43	25.96	0.6038	0.2307	37.36	0.8688	0.5933	1.19076
44	26.19	0.5952	0.2191	37.94	0.8623	0.5711	1.24678
45	26.40	0.5867	0.2082	38.50	0.8556	0.5498	1.30410
46	26.60	0.5783	0.1979	39.04	0.8487	0.5292	1.36270
47	26.80	0.5701	0.1882	39.56	0.8417	0.5095	1.42260
48	26.98	0.5621	0.1791	40.06	0.8346	0.4904	1.48378
49	27.15	0.5542	0.1706	40.54	0.8274	0.4722	1.54624
50	27.32	0.5464	0.1625	41.00	0.8201	0.4546	1.61000
51	27.48	0.5388	0.1549	41.45	0.8128	0.4378	1.67504
52	27.63	0.5314	0.1478	41.88	0.8054	0.4216	1.74138
53	27.78	0.5241	0.1410	42.29	0.7980	0.4061	1.80900
54	27.91	0.5169	0.1347	42.69	0.7906	0.3912	1.87790
55	28.05	0.5099	0.1287	43.08	0.7832	0.3769	1.94810
56	28.17	0.5031	0.1230	43.45	0.7758	0.3633	2.01958
57	28.29	0.4963	0.1176	43.80	0.7685	0.3502	2.09236
58	28.41	0.4898	0.1126	44.15	0.7612	0.3376	2.16642
59	28.52	0.4833	0.1078	44.48	0.7539	0.3256	2.24176
60	28.62	0.4770	0.1032	44.80	0.7466	0.3140	2.31840

Fuente: López (16)

Cuadro 22 "A": Volumen (m³/ha), incremento medio anual (IMA) e incremento corriente anual (ICA), calidad de sitio I, para *P. pseudostrobus* en bosques naturales de Chimaltenango y Sololá.

Edad	Volumen (m ³ /ha)	IMA	ICA
1	0.11	0.11	
2	1.80	0.90	3.25
3	7.13	2.38	7.54
4	16.99	4.25	12.17
5	31.35	6.27	16.46
6	49.69	8.28	20.12
7	71.35	10.19	23.08
8	95.63	11.95	25.35
9	121.85	13.54	27.01
10	149.46	14.95	28.13
11	177.95	16.18	28.79
12	206.91	17.24	29.07
13	236.00	18.15	29.05
14	264.94	18.92	28.78
15	293.50	19.57	28.31
16	321.50	20.09	27.68
17	348.82	20.52	26.93
18	375.34	20.85	26.09
19	400.99	21.10	25.18
20	425.70	21.28	24.23
21	449.43	21.40	23.24
22	472.17	21.46	22.24
23	493.91	21.47	21.23
24	514.63	21.44	20.22
25	534.34	21.37	19.21
26	553.06	21.27	18.23
27	570.80	21.14	17.26
28	587.59	20.99	16.32
29	603.44	20.81	15.39
30	618.39	20.61	14.50
31	632.45	20.40	13.63
32	645.67	20.18	12.80
33	658.06	19.94	11.99
34	669.65	19.70	11.21
35	680.49	19.44	10.46
36	690.59	19.18	9.74
37	699.98	18.92	9.05
38	708.70	18.65	8.39
39	716.77	18.38	7.76
40	724.23	18.11	7.15

Fuente: López (16)

Cuadro 23 "A": Tabla de rendimiento para *P. pseudostrobus*, calidad de sitio I, en bosques naturales de Chimaltenango y Sololá.

Edad (años)	Area Basal (m ²)																	
	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54
2	2.65	9.45	19.90	33.76														
4	3.32	11.86	24.98	42.37	63.84													
6	3.58	12.80	26.95	45.71	68.86													
8					71.52	99.96	132.67	169.54	210.48	255.42								
10					73.16	102.26	135.72	173.44	215.32	261.29								
12								176.09	218.61	265.28								
14								178.00	220.99	268.16	319.46	374.82	434.17	497.47				
16								179.45	222.79	270.35	322.07	377.87	437.71	501.52				
18										272.06	324.11	380.26	440.48	504.70	572.88	644.96		
20										273.44	325.75	382.19	442.71	507.25	575.78	648.23		
22												383.77	444.54	509.36	578.16	650.91	727.57	
24												385.10	446.08	511.11	580.15	653.16	730.08	
26														512.60	581.85	655.06	732.21	
28														513.89	583.30	656.70	734.04	
30														515.00	584.57	658.13	735.63	817.05
32														515.97	585.67	659.37	737.03	818.60
34														516.84	586.65	660.48	738.26	819.97
36														517.61	587.53	661.46	739.36	821.19
38														518.29	588.31	662.34	740.34	822.28
40														518.91	589.01	663.13	741.23	823.27
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
	Indice de Sitio (m)																	

Fuente: López (16)

Modelo: $\ln(V) = -0.364523 + 0.555541\ln(S) + 1.280962 \ln(G) - 0.909053 1/A$

Donde: V= Volumen; A= Edad; S= Indice de sitio (metros); G= Area Basal (m²/ha); ln=logaritmo natural.

Cuadro 24"A": Volumen (m³/ha), incremento medio anual (IMA) e incremento corriente anual (ICA), calidad de sitio II, para *P. pseudostrobus* en bosques naturales de Chimaltenango y Sololá.

Edad	Volumen (m ³ /ha)	IMA	ICA
1	0.26	0.26	
2	2.44	1.22	3.64
3	7.70	2.57	6.87
4	16.13	4.03	9.94
5	27.44	5.49	12.61
6	41.21	6.87	14.85
7	57.00	8.14	16.67
8	74.42	9.30	18.12
9	93.12	10.35	19.25
10	112.83	11.28	20.10
11	133.26	12.11	20.72
12	154.21	12.85	21.15
13	175.50	13.50	21.41
14	196.98	14.07	21.54
15	218.54	14.57	21.56
16	240.06	15.00	21.48
17	261.47	15.38	21.32
18	282.69	15.70	21.10
19	303.66	15.98	20.83
20	324.33	16.22	20.52
21	344.68	16.41	20.17
22	364.67	16.58	19.80
23	384.26	16.71	19.40
24	403.46	16.81	18.99
25	422.23	16.89	18.56
26	440.58	16.95	18.13
27	458.49	16.98	17.69
28	475.95	17.00	17.25
29	492.95	17.00	16.80
30	509.56	16.99	16.36
31	525.70	16.96	15.92
32	541.40	16.92	15.48
33	556.67	16.87	15.05
34	571.50	16.81	14.62
35	585.92	16.74	14.20
36	599.91	16.66	13.79
37	613.50	16.58	13.38
38	626.68	16.49	12.98
39	639.46	16.40	12.59
40	651.86	16.30	12.20

Fuente: López (16)

Cuadro 25 "A": Tabla de rendimiento para *P. pseudostrobus*, calidad de sitio II, en bosques naturales de Chimaltenango y Sololá.

E	Area Basal (m ²)																										
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54
2	1.9	6.4	13.0	21.4																							
4	2.0	6.8	13.7	22.6	33.3																						
6	2.1	6.9	14.0	23.0	34.0																						
8					34.3	47.1	61.5	77.6	95.2	114.4																	
10					34.5	47.3	61.9	78.0	95.8	115.0																	
12								78.3	96.1	115.4																	
14								78.5	96.4	115.7	136.6	158.9	182.6	207.7	234.2	262.0	291.1	321.5	353.2	386.2	420.3	455.7					
16								78.7	96.5	116.0	136.9	159.2	183.0	208.1	234.6	262.5	291.7	322.2	353.9	386.9	421.2	456.6					
18														208.4	235.0	262.9	292.1	322.6	354.4	387.5	421.8	457.3					
20														208.7	235.3	263.2	292.5	323.0	354.9	388.0	422.3	457.9	494.7	532.7	571.8	612.2	653.7
22														208.9	235.5	263.5	292.8	323.4	355.2	388.4	422.7	458.4	495.2	533.2	572.4	612.8	654.4
24														209.1	235.7	263.7	293.0	323.6	355.5	388.7	423.1	458.7	495.6	533.6	572.9	613.3	654.9
26														209.2	235.9	263.9	293.2	323.9	355.8	389.0	423.4	459.1	495.9	534.0	573.3	613.7	655.4
28																							496.2	534.3	573.6	614.1	655.8
30																							496.5	534.6	573.9	614.4	656.1
32																							496.7	534.9	574.2	614.7	656.4
34																							496.9	535.1	574.4	615.0	656.7
36																							497.1	535.3	574.6	615.2	656.9
38																							497.3	535.4	574.8	615.4	657.1
40																							497.4	535.6	575.0	615.6	657.3
42																							497.5	535.7	575.1	615.7	657.5
44																							497.7	535.9	575.3	615.9	657.6
46																							497.8	536.0	575.4	616.0	657.8
48																							497.9	536.1	575.5	616.1	657.9
50																							498.0	536.2	575.6	616.2	658.0
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27

Fuente: López (16)

E: Edad (años)

Modelo: $\ln(V) = -0.057725 + 0.552798\ln(S) + 1.185625 \ln(G) - 0.219837 1/A$

Donde: V= Volumen; A= Edad; S= Indice de sitio (metros); G= Area Basal (m²/ha); ln=logaritmo natural.

Cuadro 26 “A”: Valores de los estimadores b_i 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		

Fuente: Escobedo (7)

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 (compararlo con cuadro 3), es el siguiente:

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

Figura 3 "A" Familia de curvas de Calidad/Índice de sitio para *Pinus pseudostrobus* en Chimaltenango y Sololá, a una edad base de 25 años.

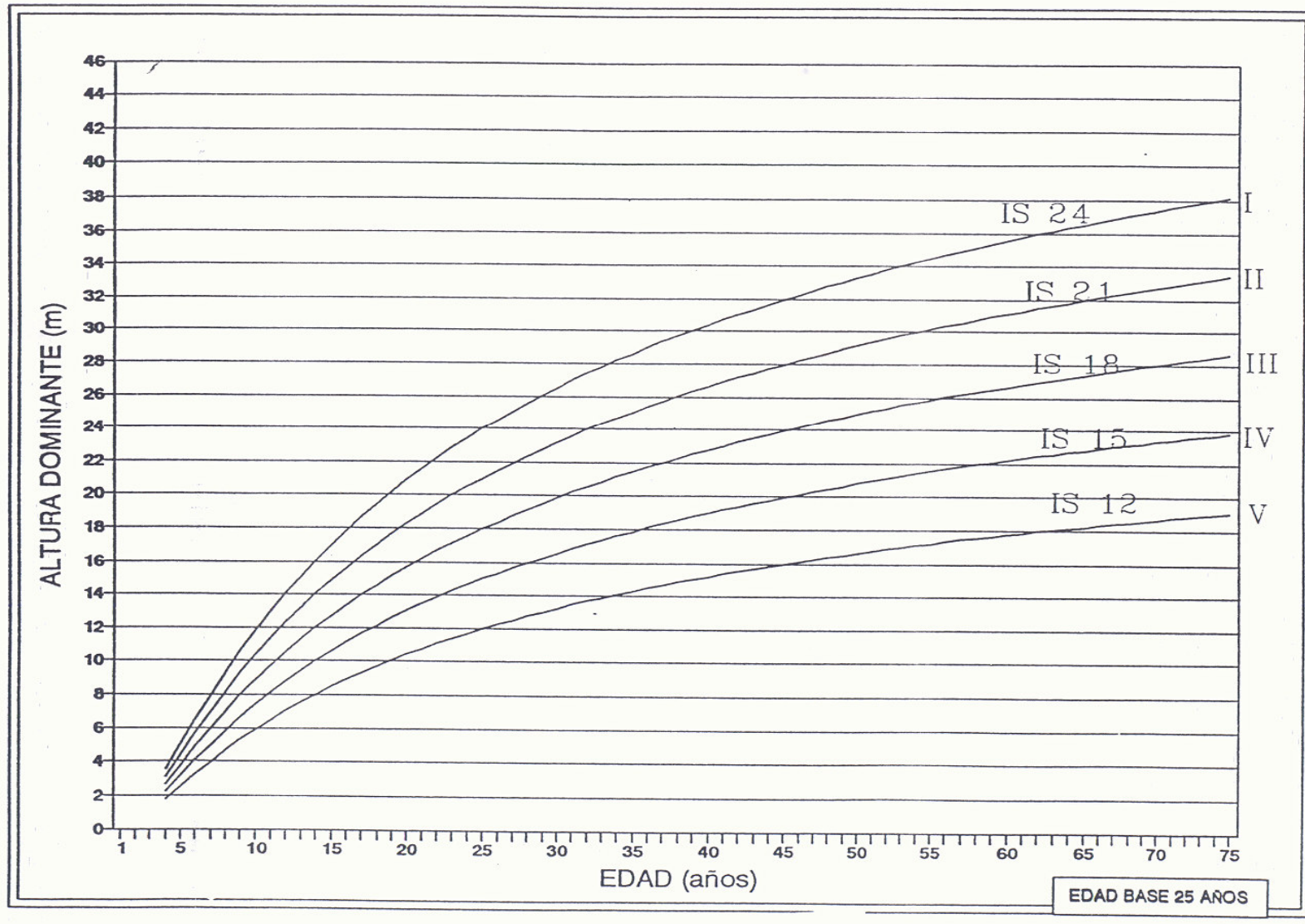


Figura 4 "A": Familia de curvas de Calidad/Índice de sitio para *Pinus pseudostrobus* en Chimaltenango y Sololá, a una edad base de 30 años.

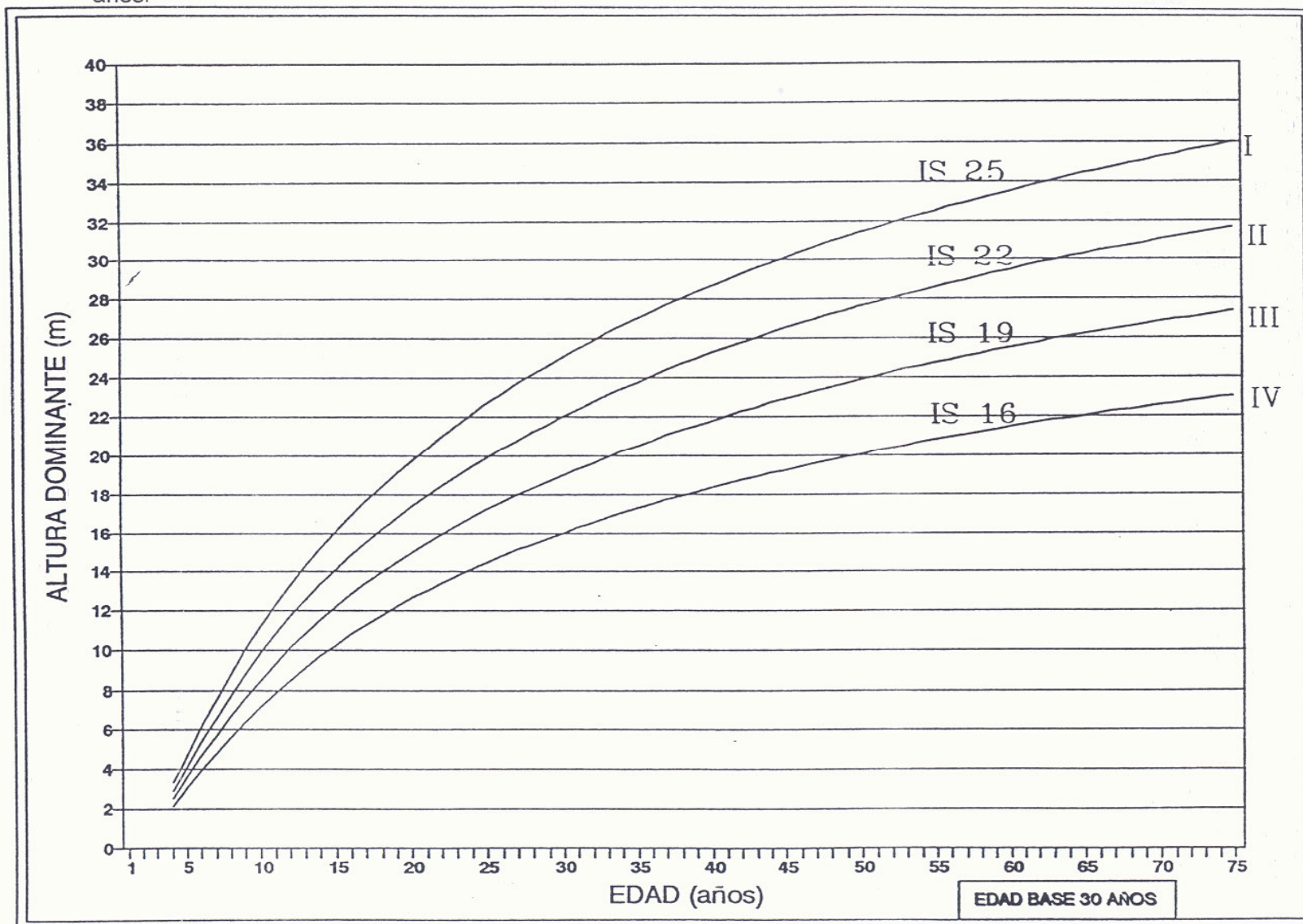


Figura 5 "A": Familia de curvas de Calidad/Índice de sitio para *Pinus pseudostrobus* en Chimaltenango y Sololá, a una edad base de 35 años.

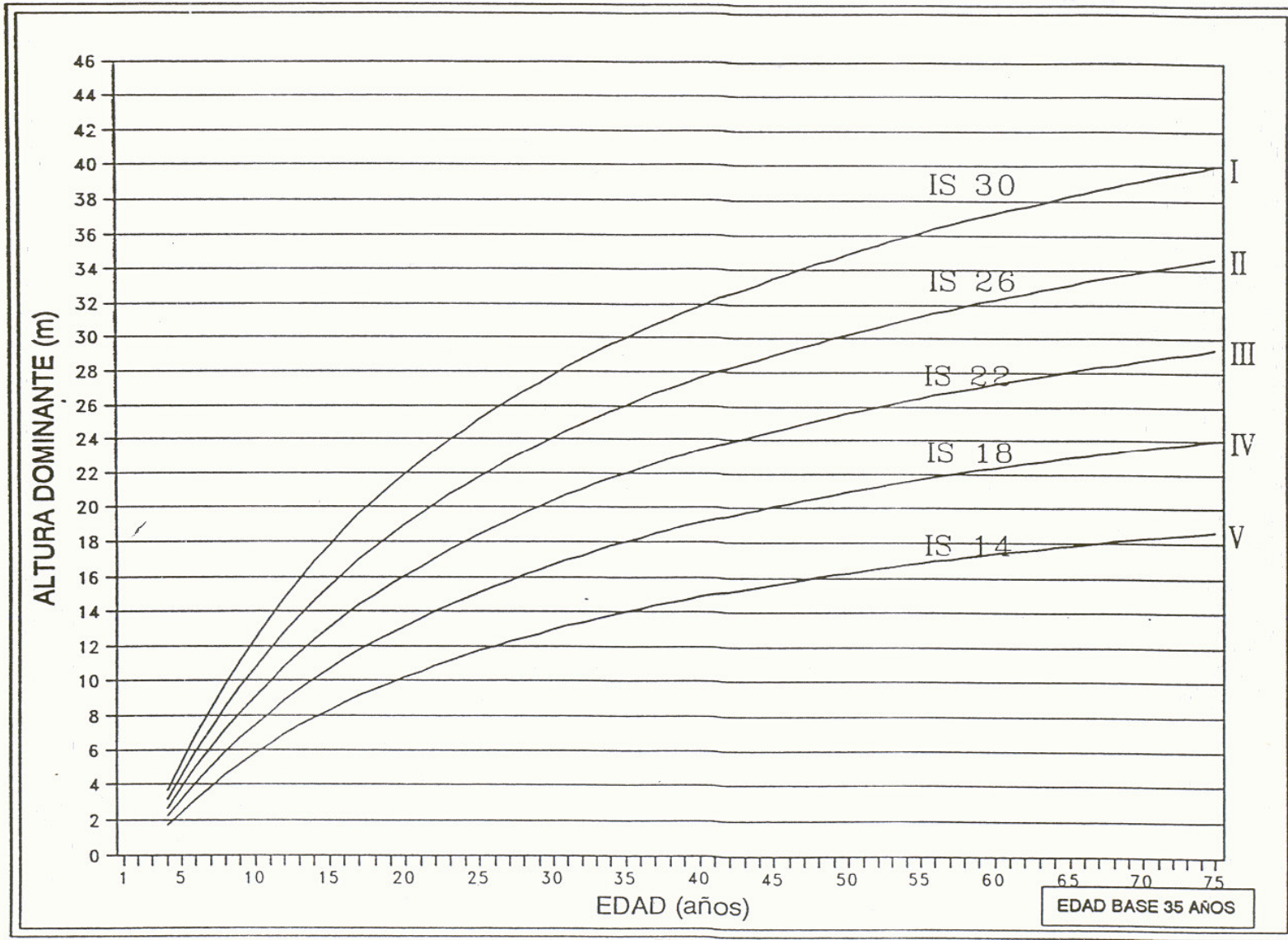


Figura 6 "A": Localización de puntos de muestreo en el área de estudio. Departamento de Chimaltenango



ESCALA 1:500 000

No.	Municipio	Finca o Área	Coordenadas	
			Latitud	Longitud
1	Tecpán, Chimaltenango	Vista Bella	14°44'58"	90°58'30"
2	Tecpán, Chimaltenango	La Esperanza	14°45'42"	90°00'58"
3	Tecpán, Chimaltenango	San Vicente	14°44'35"	90°57'20"
4	Santa Apolonia, Chimaltenango	Astillero Municipal	14°51'20"	90°58'30"

Cuadro 27 "A": Boleta de campo para toma de datos

Fecha:		Localidad:				Calidad de sitio:				
No. de rodal.:		No. de parcela:		Posición en la pendiente: A___ M___ B___						
Características dasométricas					Densidad (árboles por ha):					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Edad (años)										
DAP (cm)										
Altura (m)										
Factores fisiográficos										
Pendiente del terreno (%)		0 - 16		16 - 32		32 - 64		> 64		
Forma del terreno		Plano		Ondulado		Colinado		Montañoso		
Factores edáficos										
Textura del suelo		Campo				Laboratorio				
Pedregosidad (%)		0 (sin piedras)	0 - 1 (moderadamente pedregoso)		1 - 3 (pedregoso)		3 - 15 (muy pedregoso)		> 15 (excesivamente pedregoso)	
Profundidad efectiva		0 - 20		20 - 35		35 - 50		50 - 70		> 70
Superficie del paisaje				Cóncava		Homogénea		Convexa		
Anotador:										
Observaciones:										

APENDICE 1
The SAS System
FSITIO CONTRA CRECIMIENTO

The CANCORR Procedure

Canonical Correlation Analysis

	Canonical Correlation	Adjusted Canonical Correlation	Approximate Standard Error	Squared Canonical Correlation
1	0.998063	0.997889	0.000410	0.996130
2	0.441741	0.354982	0.085316	0.195135
3	0.303294	0.233627	0.096249	0.091987
4	0.155471	0.077931	0.103438	0.024171
5	0.034034	-0.109051	0.105877	0.001158

Test of H0: The canonical correlations in the Eigenvalues of $\text{Inv}(E)^*H$ current row and all that follow are zero = $\text{CanRsq}/(1-\text{CanRsq})$

Likelihood Approximate

	Eigenvalue	Difference	Proportion	Cumulative
1	257.4222	257.1797	0.9986	0.9986
2	0.2424	0.1411	0.0009	0.9995
3	0.1013	0.0765	0.0004	0.9999
4	0.0248	0.0236	0.0001	1.0000
5	0.0012		0.0000	1.0000

	Ratio	F Value	Num DF	Den DF	Pr > F
1	0.00275648	35.66	30	318	<.0001
2	0.71233655	1.43	20	266.28	0.1061
3	0.88503835	0.84	12	214.6	0.6042
4	0.97469830	0.35	6	164	0.9077
5	0.99884168	0.05	2	83	0.9530

Multivariate Statistics and F Approximations

S=5 M=0 N=38.5

Statistic	Value	F Value	Num DF	Den DF	Pr > F
Wilks' Lambda	0.00275648	35.66	30	318	<.0001
Pillai's Trace	1.30858227	4.90	30	415	<.0001
Hotelling-Lawley Trace	257.7918429	668.36	30	199.82	<.0001
Roy's Greatest Root	257.42216277	3561.01	6	83	<.0001

NOTE: F Statistic for Roy's Greatest Root is an upper bound.

The SAS System
 FSITIO CONTRA CRECIMIENTO

The CANCORR Procedure

Canonical Correlation Analysis

Raw Canonical Coefficients for the VAR Variables

	V1	V2	V3	V4	V5
PEND	0.3605838236	-2.867364042	-2.861939396	-1.220760607	-1.451313476
FORM	0.4157498661	2.4470951469	2.8078706019	-0.219855785	1.0388235882
TEXT	0.3830759621	-0.309860138	0.9914125091	0.1237205284	-0.424568031
PEDR	0.3874706793	0.4630823682	-0.446519028	0.4928438619	0.994363962
PROF	0.3771834039	-0.039139798	0.5960938534	1.502536812	-1.719488848
SUPER	0.3813633858	-0.828575573	0.4734890174	0.4990617572	0.7550375093

Raw Canonical Coefficients for the WITH Variables

	W1	W2	W3	W4	W5
CS	0.3729494318	-0.119354053	0.2334298748	0.0100695219	-0.302326099
IMAH	-0.231521429	11.857261772	5.6597380291	-26.8666192	8.8412885732
ICAH	1.7266229708	-63.03765362	-45.19891555	70.784565129	30.313359445
IMAD	0.0187573261	9.2640143971	0.4737406239	8.2877599097	-1.270211957
ICAD	-0.951139564	19.058205563	33.7505963	-25.94415536	-16.05856154

The SAS System
 FSITIO CONTRA CRECIMIENTO

The CANCORR Procedure

Canonical Correlation Analysis

Standardized Canonical Coefficients for the VAR Variables

	V1	V2	V3	V4	V5
PEND	0.2705	-2.1513	-2.1473	-0.9159	-1.0889
FORM	0.3371	1.9840	2.2765	-0.1782	0.8422
TEXT	0.2721	-0.2201	0.7042	0.0879	-0.3016
PEDR	0.3592	0.4293	-0.4140	0.4569	0.9219
PROF	0.1984	-0.0206	0.3135	0.7903	-0.9044
SUPER	0.2771	-0.6021	0.3440	0.3626	0.5486

Standardized Canonical Coefficients for the WITH Variables

	W1	W2	W3	W4	W5
CS	0.9831	-0.3146	0.6153	0.0265	-0.7969
IMAH	-0.0200	1.0259	0.4897	-2.3246	0.7650
ICAH	0.0749	-2.7342	-1.9605	3.0702	1.3148
IMAD	0.0022	1.0752	0.0550	0.9619	-0.1474
ICAD	-0.0710	1.4236	2.5210	-1.9379	-1.1995

The SAS System
FSITIO CONTRA CRECIMIENTO

The CANCECORR Procedure

Canonical Structure

Correlations Between the VAR Variables and Their Canonical Variables

	V1	V2	V3	V4	V5
PEND	0.8818	0.0242	-0.2014	-0.3853	-0.1058
FORM	0.8529	0.2306	-0.0085	-0.4080	-0.0089
TEXT	0.0056	-0.2420	0.6015	-0.0197	-0.3118
PEDR	0.7942	0.3420	-0.3588	0.2604	0.1207
PROF	0.6622	0.2131	-0.1968	0.4826	-0.4180
SUPER	0.2011	-0.6624	0.2225	0.2088	0.5631

Correlations Between the WITH Variables and Their Canonical Variables

	W1	W2	W3	W4	W5
CS	0.9998	0.0025	0.0161	-0.0075	-0.0102
IMAH	0.5209	0.1417	0.2719	-0.0533	0.7948
ICAH	0.0813	-0.1874	0.6455	0.2769	0.6819
IMAD	0.3867	0.5655	0.2802	0.4651	0.4857
ICAD	-0.2904	-0.1862	0.8357	0.2174	0.3678

Correlations Between the VAR Variables and the Canonical Variables of the WITH Variables

	W1	W2	W3	W4	W5
PEND	0.8801	0.0107	-0.0611	-0.0599	-0.0036
FORM	0.8512	0.1019	-0.0026	-0.0634	-0.0003
TEXT	0.0056	-0.1069	0.1824	-0.0031	-0.0106
PEDR	0.7927	0.1511	-0.1088	0.0405	0.0041
PROF	0.6610	0.0941	-0.0597	0.0750	-0.0142
SUPER	0.2007	-0.2926	0.0675	0.0325	0.0192

Correlations Between the WITH Variables and the Canonical Variables of the VAR Variables

	V1	V2	V3	V4	V5
CS	0.9978	0.0011	0.0049	-0.0012	-0.0003
IMAH	0.5199	0.0626	0.0825	-0.0083	0.0271
ICAH	0.0811	-0.0828	0.1958	0.0431	0.0232
IMAD	0.3860	0.2498	0.0850	0.0723	0.0165
ICAD	-0.2899	-0.0823	0.2535	0.0338	0.0125

APENDICE 2
 The SAS System
 FACTORES DE SITIO CONTRA ISITIO

The CANCERR Procedure

Canonical Correlation Analysis

	Canonical Correlation	Adjusted Canonical Correlation	Approximate Standard Error	Squared Canonical Correlation
1	0.770326	0.757259	0.043099	0.593402

Test of H0: The canonical correlations in the Eigenvalues of $\text{Inv}(E) \cdot H$ current row and all that follow are zero
 $= \text{CanRsqr} / (1 - \text{CanRsqr})$

Likelihood Approximate

	Eigenvalue	Difference	Proportion	Cumulative
1	1.4594		1.0000	1.0000

	Ratio	F Value	Num DF	Den DF	Pr > F
1	0.40659849	20.19	6	83	<.0001

NOTE: The F statistic is exact.

Multivariate Statistics and Exact F Statistics

S=1 M=2 N=40.5

Statistic	Value	F Value	Num DF	Den DF	Pr > F
Wilks' Lambda	0.40659849	20.19	6	83	<.0001
Pillai's Trace	0.59340151	20.19	6	83	<.0001
Hotelling-Lawley Trace	1.45942872	20.19	6	83	<.0001
Roy's Greatest Root	1.45942872	20.19	6	83	<.0001

The SAS System
FACTORES DE SITIO CONTRA ISITIO

The CANCELL Procedure

Canonical Correlation Analysis

Raw Canonical Coefficients for the VAR Variables

V1

Pendiente	0.4379494104
Forma	0.382272785
Textura	0.1717406223
Pedregosidad	0.4337866064
ProEfectiva	0.2239575323
Superf	0.207876714

Raw Canonical Coefficients for the WITH Variables

W1

Isitio	-1.217921727
--------	--------------

The SAS System
FACTORES DE SITIO CONTRA ISITIO

The CANCELL Procedure

Canonical Correlation Analysis

Standardized Canonical Coefficients for the VAR Variables

V1

Pendiente	0.3286
Forma	0.3099
Textura	0.1220
Pedregosidad	0.4022
ProEfectiva	0.1178
Superf	0.1510

Standardized Canonical Coefficients for the WITH Variables

W1

Isitio	-1.0000
--------	---------

The SAS System
FACTORES DE SITIO CONTRA ISITIO

The CANCORR Procedure

Canonical Structure

Correlations Between the VAR Variables and Their Canonical Variables

	V1
Pendiente	0.9234
Forma	0.8984
Textura	-0.1251
Pedregosidad	0.8431
ProEfectiva	0.6755
Superf	0.0978

Correlations Between the WITH Variables and Their Canonical Variables

	W1
Isitio	-1.0000

Correlations Between the VAR Variables and the Canonical Variables of the WITH Variables

	W1
Pendiente	0.7113
Forma	0.6920
Textura	-0.0963
Pedregosidad	0.6495
ProEfectiva	0.5203
Superf	0.0753

Correlations Between the WITH Variables and the Canonical Variables of the VAR Variables

	V1
Isitio	-0.7703