

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ ANTONIO NARRO ”**

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



**Caracterización dasométrica y de productividad de los bosques del predio
El Pilar, Municipio de Arteaga, Coahuila, México.**

POR:

ELIUD MORALES MATEO

TESIS

Presentado como requisito parcial para obtener el Título de:

INGENIERO FORESTAL

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

JUNIO DE 2003

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ ANTONIO NARRO ”

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

Caracterización dasométrica y de productividad de los bosques del predio El
Pilar, Municipio de Arteaga, Coahuila, México.

POR:

ELIUD MORALES MATEO

TESIS PROFESIONAL

COMITÉ DE TESIS

INGENIERO FORESTAL

APROBADA

M.C. Luis Morales Quiñónes

Presidente

Dr. Oscar A. Aguirre Calderón

Asesor

José Armando Nájera Castro

Asesor

M.C. Arnoldo Oyervides García

Coordinador de la División de Agronomía

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Junio de 2003.

DEDICATORIA

A mis padres por darme la vida, su dedicación, apoyo económico, moral y Sentimental.

A mis abuelos paternos y maternos que siempre se han preocupado en mí.

En la memoria de mis abuelitas Epifania y Pulceda. Así, como la de mi abuelo Pedro Morales Parra por su apoyo moral, sentimental que cada uno me ofreció.

En la memoria de mis tíos Gabriel Mateo y Román Rodríguez por sus consejos y comentarios que me hacían, con tal de sentirme bien y motivarme.

A mis hermanos José Isabel, Magnolia y Marcelino que siempre me apoyan.

A todos mis primos, sobrinos, tíos, padrinos, amigos y amistades por la confianza que me han brindado.

A todos mis paisanos del Estado de Guerrero.

AGRADECIMIENTOS

Al sistema de Investigación Alfonso Reyes, por la beca de investigación otorgada a través del Proyecto SIREYES 20000606002: Desarrollo de Sistemas de Manejo Sustentable de Recursos Naturales Renovables en el Noreste de México.

A la fundación Alexander von Humboldt, por la donación del equipo empleado en este trabajo.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, que en sus aulas me forme recibiendo conocimientos y experiencias para el desempeño profesional.

A toda la planta docente del Departamento Forestal por ser la base fundamental de la mayoría de los conocimientos adquiridos en mi formación forestal.

Al Dr. Oscar A. Aguirre por brindarme su confianza en la participación del proyecto: Desarrollo de Sistemas de Manejo Sustentable de Recursos Naturales Renovables en el Noreste de México a su cargo. Así, por su valiosa asesoría del presente trabajo.

Al M.C. Luis Morales Quiñónez por su asesoría y orientación del presente trabajo.

Al M.C. Armando Nájera Castro por su empeño y revisión del presente trabajo.

Al Dr. Eduardo J. Treviño Garza por su apoyo en la realización del presente trabajo.

Al M.C. Dueñes Alanís por su apoyo que me ha brindado en todo momento.

CONTENIDO

PÁGINAS

ÍNDICE DE FIGURAS

VII

ÍNDICE DE CUADROS	VIII
RESUMEN	IX
I. INTRODUCCIÓN	1
Objetivos	2
Objetivo general	2
Objetivos específicos	2
Hipótesis	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
Concepto de productividad	4
Concepto de calidad de sitio	4
Métodos para determinar calidad de sitio	6
Métodos indirectos	7
Determinación de la productividad por medio de factores climáticos	7
Determinación por medio de factores edáficos y topográficos	7
Determinación de calidad de sitio con base a la flora	10
Determinación de calidad de sitio mediante índice de sitio	11
Métodos directos	13
Tabla de producción	13
Determinación de calidad de sitio por medio del taladro de Pressler	14
Determinación de calidad de sitio por medio de análisis troncal	17
III. MATERIALES Y MÉTODOS	20
Descripción del Área de Estudio	20
Ubicación geográfica	20

Clima	20
Suelo	20
Hidrología	22
Topografía	22
Vegetación	22
Descripción de especies	23
Fauna silvestre	24
METODOLOGÍA	25
Número de sitios de muestreo	27
Parámetros dasométricos	27
Números de árboles por hectárea (N)	27
Cálculo de área basal	28
Cálculo del volumen	28
Cálculo de área de copa	30
Índice de sitio	30
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
Caracterización dasométrica	31
Índice de sitio de <i>Abies vejarii</i>	47
Índice de sitio de <i>Pseudotsuga flahaulti</i>	49
Índice de sitio de <i>Pinus rudis</i>	51
Índice de sitio de <i>Pinus ayacahuite</i>	53
DISCUSIÓN	55
V. CONCLUSIONES	56
VI. RECOMENDACIONES	57
Literatura citada	58

ÍNDICE DE FIGURAS

PÁGINAS

Figura 1. Ubicación del Área de Estudio	21
Figura 2. Rodalización del Área de Estudio	26
Figura 3. Frecuencia diamétrica del rodal I	39

Figura 4. Frecuencia diamétrica del rodal III	40
Figura 5. Frecuencia diamétrica del rodal II	41
Figura 6. Frecuencia diamétrica del rodal V	41
Figura 7. Frecuencia diamétrica del rodal VI	42
Figura 8. Frecuencia diamétrica del rodal VII	42
Figura 9. Frecuencia diamétrica del rodal VII-2	43
Figura 10. Frecuencia diamétrica del rodal IX	43
Figura 11. Frecuencia diamétrica del rodal IX-2	44
Figura 12. Frecuencia diamétrica del rodal X	44
Figura 13. Frecuencia diamétrica general del Área de Estudio	45
Figura 14. Curvas anamórficas de productividad e índice de sitio para <i>Abies vejarii</i> a una edad base de 60 años	47
Figura 15. Curvas anamórficas de productividad e índice de sitio para <i>Pseudotsuga flahaulti</i> a una edad base de 60 años	49
Figura 16. Curvas anamórficas de productividad e índice de sitio para <i>Pinus rudis</i> a una edad base de 60 años	55
Figura 17. Curvas anamórficas de productividad a una edad base de 60 años	53

ÍNDICE DE CUADROS.

PÁGINAS.

Cuadro 1. Características dasométricas del rodal I	31
Cuadro 2. Características dasométricas del rodal II	32
Cuadro 3. Características dasométricas del rodal III	32

Cuadro 4. Características dasométricas del rodal V	33
Cuadro 5. Características dasométricas del rodal VI	33
Cuadro 6. Características dasométricas del rodal VII	34
Cuadro 7. Características dasométricas del rodal VII-2	34
Cuadro 8. Características dasométricas del rodal IX	35
Cuadro 9. Características dasométricas del rodal IX-2	35
Cuadro 10. Características dasométricas del rodal X	36
Cuadro 11. Características dasométricas de área de copa por especie y a nivel rodal	37
Cuadro 12. Edad-altura de acuerdo a su índice de sitio de <i>Abies vejarii</i>	48
Cuadro 13. Productividad e índice de sitio de <i>Abies vejarii</i>	48
Cuadro 14. Edad-altura de acuerdo a su índice de sitio de <i>Pseudotsuga flahaulti</i>	50
Cuadro 15. Productividad e índice de sitio de <i>Pseudotsuga flahaulti</i>	50
Cuadro 16. Edad-altura de acuerdo a su índice de sitio de <i>Pinus rudis</i>	52
Cuadro 17. Productividad e índice de sitio de <i>Pinus rudis</i>	52
Cuadro 18. Edad-altura de acuerdo a su índice de sitio de <i>Pinus ayacahuite</i>	54
Cuadro 19. Productividad e índice de sitio de <i>Pinus ayacahuite</i>	54

RESUMEN

El objetivo principal de esta investigación fue la caracterización dasométrica y de productividad de los bosques mixtos irregulares en el noreste de México. El estudio se realizó en el Predio particular El Pilar, Municipio de Arteaga, Coahuila, México. Se estimó el número de árboles/ha, área basal en m²/ha, volumen en m³/ha, área de copa en m²/ha, frecuencia diamétrica y la productividad empleando el modelo de Schumacher y la metodología de Índice de sitio de *Abies vejarii*,

Pseudotsuga flahaulti, *Pinus rudis* y *Pinus ayacahuite* en 10 rodales investigados. Obteniéndose los siguientes resultados.

Rodal I: 350 ind./ha; 32.99 m²/ha, de área basal; 231.82 m³/ha, de volumen y 7778.6 m²/ha, de área de copa. En cuanto a la productividad, destacó *Pseudotsuga flahaulti* con I.S=18.79 m (I).

Rodal II: 305 ind./ha; 29.39 m²/ha, de área basal; 131.91 m³/ha, de volumen; 5779.3 m²/ha, de área de copa. En lo que se refiere la productividad sobresale *Abies vejarii* con I.S=17.38 m (II) y *Pinus ayacahuite* con I.S=15.36 m (II).

Rodal III: 300 ind./ha; 20.06 m²/ha, de área basal; 135.06 m³/ha, de volumen; 6785.3 m²/ha, de área de copa. En lo referente a la productividad *Abies vejarii* sobresale con I.S=17.38 m (II).

Rodal V: 200 ind./ha; 20.19 m²/ha, de área basal; 169.28 m³/ha, de volumen; 4048.5 m²/ha, de área de copa. A lo correspondiente a la productividad *Abies vejarii* destacó con I.S=17.38 m y *Pinus rudis* con I.S=17.83 m, ambos con una condición de productividad (II).

Rodal VI: 360 ind./ha; 24.70 m²/ha, de área basal; 163.63 m³/ha, de volumen; 6656.7 m²/ha, de área de copa. *Abies vejarii* presentó un I.S=20.38 m (I) y el *Pinus ayacahuite* I.S=15.36 m (II).

Rodal VII: 140 ind./ha; 14.27 m²/ha, de área basal; 103.18 m³/ha, de volumen; 4994.6 m²/ha, de área de copa. En relación a la productividad destacando *Pinus ayacahuite* con I.S= 15.36 m (II).

Rodal VII-2: 120 ind./ha; 4.34 m²/ha, de área basal; 27.67 m³/ha, de volumen y 1247 m²/ha, de área de copa. En tanto, la productividad *Abies vejarii* destacó con I.S= 17.38 m (II).

Rodal IX: 306 ind./ha; 19.11 m²/ha, de área basal; 137.62 m³/ha, de volumen y 5708.6 m²/ha, de área de copa. En cuanto a la productividad *Pseudotsuga flahaulti*, *Pinus rudis* y *Pinus ayacahuite* con I.S=15.79, 17.83 y 15.36 m, respectivamente. Ambos con condición de productividad media (II).

Rodal IX-2: 140 ind./ha; 7.10 m²/ha, de área basal; 54.90 m³/ha, de volumen y 965.8 m²/ha, de área de copa. *Abies vejarii* presentó I.S= 17.38 m (II).

Rodal X: 120 ind./ha; 6.00 m²/ha, de área basal; 50.20 m³/ha, de volumen y 1126.8 m²/ha, de área de copa. En cuanto a la productividad *Abies vejarii* y *Pinus rudis* presentan una productividad baja (III).

El rodal I se encuentra cubriendo la mayor parte de la superficie en la exposición suroeste, donde *Pseudotsuga flahaulti* presenta una condición de productividad (I), lo cual sugiere que esta especie se desarrolla mejor en suelos con menor grado de humedad, que reciben los rayos solares más directamente, comparados con la exposición norte.

En el VI *Abies vejarii* presentó una productividad alta, lo cual se atribuye que se encuentra, en la exposición norte, donde existe más humedad y conservación de la misma.

Caracterización dasométrica y de productividad de los bosques del predio El Pilar, Municipio de Arteaga, Coahuila, México.

I. INTRODUCCIÓN

La producción forestal en México tiene aún limitaciones en el reconocimiento de los múltiples beneficios que los bosques y selvas, como ecosistemas, ofrecen a la sociedad. Esto ha traído como consecuencia que las acciones desarrolladas en el manejo de dicha producción, tanto por empresarios privados, como por los propios poseedores del recurso, se rijan por criterios productivos de muy corto plazo, dando poca importancia a lo que suceda en el futuro con estos recursos estratégicos.

La posibilidad de un manejo sustentable de bosques y selvas depende de las capacidades organizativas, de gestión, planeación y técnicas que las comunidades, ejidos y particulares puedan desarrollar.

Para el uso y aprovechamiento de los bosques, es prioritario realizar una caracterización dasométrica y su clasificación de acuerdo con la productividad del sitio. Esto permitirá el diseño de métodos de aprovechamiento congruentes con la capacidad productiva de los ecosistemas.

El desarrollo de este tipo de investigaciones es de gran importancia en la determinación de la capacidad productiva de una especie o grupo de especies, ya que se estima la potencialidad del suelo, de los rodales bajo manejo silvícola y se logra tener mejores bases para la toma de decisiones sobre el nivel de densidad que debe tener un determinado rodal, y los niveles de cosecha sustentable de acuerdo a su condición de productividad o por otro lado; con el conocimiento de los patrones de crecimiento en altura, es posible llegar a tomar decisiones sobre la rotación de las intervenciones silvícolas (podas, preaclareos, entre otros), necesarios para lograr el rendimiento sostenido de un rodal o bosque en particular.

La caracterización dasométrica y la evaluación de la capacidad productiva de las áreas forestales son tareas prioritarias para manejar dichos recursos, ya que permiten analizar la condición y el crecimiento de los árboles que componen el bosque y explicar y establecer comparaciones de las dimensiones como altura, diámetro y volumen de los bosques que crecen en diferentes condiciones de productividad. Esto proporciona una visión integral de las oportunidades silvícolas que es posible considerar en cada área.

Cuando las unidades de manejo no se caracterizan en forma adecuada y no se clasifican de acuerdo a su productividad, pueden tomarse decisiones subjetivas y el recurso forestal puede estar subaprovechando en áreas de alta productividad, o sobreaprovechando en áreas de baja productividad, lo que ocasionaría un detrimento progresivo de los ecosistemas.

Objetivos

Objetivo general

Contribuir al manejo sustentable de los recursos forestales a través de la caracterización dasométrica y de productividad del bosque en el predio El Pilar, Municipio de Arteaga, Coahuila.

Objetivos específicos

Caracterizar los ecosistemas del área de estudio de acuerdo a parámetros dasométricos.

Desarrollar un sistema de clasificación de productividad del predio El Pilar.

Hipótesis

Ho: Todos los rodales, tienen la misma productividad.

Ha: Al menos uno de los rodales, tienen diferente productividad.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Para la determinación de la productividad de un sitio forestal, se toma en primer lugar como estimador la calidad de sitio y en segundo lugar la densidad del rodal (Daniel *et al.*, 1982).

Concepto de productividad

La productividad de terrenos forestales se define, en gran medida por la calidad de sitio, la cual se estima mediante la máxima cosecha de madera que el bosque produce en un tiempo determinado (Daniel *et al.*, 1982).

La productividad es un concepto biológico y no puede expresarse matemáticamente. Por ello, se ha optado por presentar la calidad de sitio a través de un valor o índice denominado índice de sitio o índice de productividad, ambos muy populares porque son una expresión cuantitativa de calidad de sitio (Prodan *et al.*, 1997).

Su conocimiento resulta fundamental en la ingeniería forestal para elegir los mejores sitios, para plantar la especie apropiada en el lugar adecuado y para modificar sus características (Prodan *et al.*, 1997).

Concepto de calidad de sitio

Calidad de sitio es la suma de los diversos factores ambientales tales como: profundidad, textura, composición mineral, así como las características de los perfiles del suelo, el declive de las pendientes, la exposición, el microclima, las especies que viven sobre él y otros factores (Daniel *et al.*, 1982).

Calidad de sitio es la capacidad productiva de un terreno para cierta especie.

Una forma de calificar esta cualidad es a través de índices de sitio que es la altura que los árboles dominantes y codominantes alcanzan a cierta edad (Clutter *et al.*, 1983).

Dentro del contexto de manejo forestal, la calidad de sitio puede ser definida como la producción potencial de madera de un sitio para una especie en particular o para un tipo de bosque. Las palabras bueno, regular, y pobre son utilizadas frecuentemente para calificar la calidad de sitio, describiendo una alta productividad, mediana y baja productividad potencial, respectivamente. Aunque el sitio es a corto plazo constante e indistinto de la especie, la calidad de sitio tiene significado sólo con respecto a una o más especies que pueden ser consideradas para manejo de una área en particular (Quiñones, 2000).

Torres (2001), menciona que la práctica común para la estimación de calidad de sitio cuando un rodal o unidad de manejo tiene varias especies, consiste en seleccionar una especie, usualmente la dominante y sobre ella identificar la calidad de sitio. Si esta calidad de sitio se desea estimar en términos de una especie base, la práctica común es relacionar la calidad de sitio de una especie en función de la especie base. El procedimiento tiene sus inconvenientes dado que la productividad de sitio mixto puede ser más alta para una combinación de especies que para una especie única y el procedimiento sesga la estimación. Otro problema relacionado es que las estimaciones de los índices de sitio entre especies tienen errores correlacionados y ello no se toma en cuenta en el ajuste.

Métodos para determinar calidad de sitio

Para determinar la calidad de sitio se emplean métodos indirectos y directos.

En los primeros, el incremento se determina por medio del clima o la cubierta vegetal. Los segundos se clasifican en cuatro grupos: tablas de incrementos y

producción, método de taladro de Pressler, método de control y análisis troncales (Klepac, 1983).

Por otro lado, Daniel, *et al.* (1982) cita a (Jones, 1969), quien divide los métodos indirectos en tres categorías: índice del sitio, índice de vegetación e índice ambiental. Estos métodos se basan en su efectividad para traducir una estimación precisa; es decir, no importa en qué medida un método indirecto pueda reflejar la variación en el ambiente, su verdadero valor radica en el hecho de que pueda convertirse en una estimación precisa de la máxima producción en una edad predeterminada.

Los métodos directos: determinación de volumen o altura del rodal, registro histórico de desarrollo y rendimiento, intercepción, análisis fitosociológico y/o fisionómico de la vegetación presente en el área; y los métodos indirectos: medición de uno o más factores del medio que se consideran como íntimamente relacionados con el crecimiento de los árboles, determinación de características propias de los árboles o del rodal consideradas sensibles a la calidad del sitio y una combinación de las anteriores, (Prodan *et al.*, 1997).

Métodos indirectos

Determinación de la productividad por medio de los factores climáticos
(índice de Productividad de Paterson c.p.v)

Tomando como punto que el clima es uno de los elementos esenciales en la producción forestal, Paterson se limitó a estudiar la temperatura, humedad, época

del periodo de crecimiento e intensidad de la radiación. La aplicación del índice de Paterson en áreas pequeñas no de resultados satisfactorios; se ha comprobado que únicamente con base a los factores climáticos no es posible determinar productividad. Por lo tanto, además de los factores climáticos será necesario tomar en cuenta la fertilidad del suelo y la especie (Klepac, 1983; Aguirre y Kramer, 1990).

Determinación de calidad de sitio por medio de factores edáficos y topográficos

La calidad del sitio, dentro de un macroclima determinado, está asociada con la capacidad que tiene el suelo para aportar humedad y nutrientes a la comunidad vegetal. Los estudios del índice edáfico han permitido una mayor comprensión de las interacciones ecológicas de todos los factores del sitio. Los aspectos críticos de la cantidad de humedad presente en un suelo por su efecto sobre la calidad de sitio, se debe recordar que la capacidad de retención de agua del suelo está relacionada, por lo general, con su nivel de nutrientes (Daniel *et al.*, 1982).

Entre los trabajos realizados en México empleando factores edáficos y topográficos para estimar calidad de sitio, destacan los que se mencionan en los siguientes párrafos:

Arteaga (1988), analizó los factores del sitio que influyen en la productividad de *Pinus patula* Schl; en la región Chignahuapan - Zacatlan, Puebla. Sus resultados fueron: en terrenos con pendientes entre 5 y 15 % dependiendo del índice de sitio, es donde la especie logra su óptimo desarrollo, al aumentar la profundidad del horizonte A; se incrementa la altura de los árboles, pero al llegar a los 25 cm se estabiliza y cuando alcanza 36 cm declina. La posición del árbol en la pendiente tiene un efecto lineal positivo sobre el índice de sitio; observándose que la especie en campo presenta un mejor desarrollo en lomeríos y sitios con pendiente, lo cual está asociado con el drenaje del suelo. Respecto a las exposiciones, observa que la especie logra su óptimo desarrollo en las noreste y un menor desarrollo en la exposición sur, las exposiciones norte y noreste son las que reciben mayor influencia de los vientos húmedos del golfo de México. Concluye que el

crecimiento para esta especie tiene fuerte relación con la topografía y el suelo, representando especial importancia la pendiente, profundidad del horizonte A, la posición del árbol en la pendiente, la exposición y la interacción exposición-pendiente.

Narváez (1992), realizó la descripción de un perfil del suelo en cada sitio de muestreo para posteriormente realizar el análisis fisicoquímico a fin de relacionarlo con las características de la vegetación, para determinar la calidad de estación para *Pinus arizonica* y *Pinus durangensis* en el área experimental Madera, Chih., encontrando que la variación del índice de sitio de 69.4% es explicada por variables edáficas que son Ph y contenido de arcilla del horizonte A. La variación en el volumen de las especies de pino (74.2%), es explicada por variables topográficas, como son la profundidad total del suelo, lámina de agua aprovechable del horizonte B y exposición del terreno; concluyó que los factores edáficos y topográficos influyen de manera determinante en el crecimiento del arbolado.

Orantes y Musalen (1982), determinaron la calidad de estación de *Pinus hartwegii* Lind, en Zoquiapan, México, analizaron el efecto y la influencia de algunos componentes del suelo sobre el crecimiento de los árboles en diámetro y altura dominante a través de la edad. Encontraron que las características edáficas de menor variabilidad son el nitrógeno, capacidad de campo, capacidad de retención de humedad, profundidad de los horizontes y el limo; por el contrario, las características edáficas de mayor variabilidad son el fósforo, materia orgánica, arcilla, potasio, pH y arena. Respecto a las características dasométricas se aprecia que son altamente correlacionadas entre sí, excepto el incremento en diámetro y en el incremento medio anual en altura, que únicamente se correlacionaron con la edad. Por último, concluyeron que las características dasométricas y edáficas que más íntimamente se correlacionaron, fueron el incremento medio anual en altura, con el contenido de materia orgánica, en el horizonte "A"; el incremento periódico diámetro con la capacidad de retención de humedad en el horizonte "B"; la altura del fuste limpio, que se asocia estrechamente con el contenido promedio de arcilla. La altura dominante

únicamente se correlacionó con la profundidad promedio de los horizontes "A" y "B" del suelo.

De la fuente (2001), determinó índice de sitio para *Pinus rudis* en Ixtlan, Oaxaca, incorporando además de las variables dasométricas análisis de suelos. De los 129 sitios de muestreo se seleccionaron 50 para efectuar un muestreo de suelos, procediéndose a establecer un perfil en el centro de cada sitio. Concluye que las características de la localidad que más influencia tuvieron sobre los índices de sitio generados son pH, profundidad y contenido porcentual de arcilla, correspondiente al horizonte A, así como la altitud sobre el nivel del mar. Estas variables explican el 79.31 % de la variación presentada en dichos índices.

Domínguez (1991), realizó cuatro perfiles de suelo donde habita el *Abies vejarii* Martínez, cuyo análisis físico- químico mostró que éstos son suelos jóvenes, delgados, pedregosos, con altos contenidos de arcilla derivados de rocas sedimentarias, en su mayoría de textura franco-arcillosa, con un pH que oscila entre 6.2 y 7.2. Los contenidos de materia orgánica son altos en el primer horizonte, abatiéndose en el horizonte subyacente. Estas características de cambios radicales en los valores registrados de los primeros horizontes en comparación con los subyacentes, se mantuvieron constantes para los valores de nitrógeno total, relación carbono-nitrógeno y capacidad de intercambio catiónico. Para el caso del potasio y calcio, se registraron valores altos en los primeros horizontes y valores bajos en los inferiores. El magnesio y el fierro registraron valores bajos en el primer horizonte y valores relativamente altos en el segundo. Concluye que los suelos de la localidad de la especie, se encuentra fuertemente limitados en cuanto a fertilidad, pendiente y pedregosidad.

Determinación de la calidad de sitio con base en la flora

El análisis de la cubierta vegetal puede indicar la capacidad productiva de un bosque por medio de dos procedimientos: asociación vegetal y fitocenosis. Estos procedimientos con el paso del tiempo han sido probados con respecto al tipo de

bosque y a la comunidad vegetal. Los fundadores de la tipología son Morozov y Canjender y más tarde fue complementado por Ilvessalo (Klepac, 1983).

Varios estudios han demostrado que las ideas de Canjender son aplicables en Canadá y norte de Estados Unidos, pero la precisión de las evaluaciones del sitio han resultado en general, inciertas (Daniel *et al.*, 1982).

En México, Arellano *et al.* (1990) analizaron 8 plantas herbáceas y 4 arbustivas como indicadora de calidad de estación de *Pinus michoacana* cornuta Martínez y *Pinus oocarpa* Schiede, en la sierra de Tapalpa, Jalisco y se tomaron como variables la frecuencia de plantas y la calidad de estación (estimada mediante índice de sitio, por Benavides). También algunos factores del medio físico, utilizando el método del coeficiente de correlación del rango de Kendall, siendo éste un método de estadística no paramétrica. Los resultados de la frecuencia de plantas con calidad de estación no fueron significativos, por lo tanto no se consideró ninguna especie como indicadora de estación. En cuanto a los resultados de los factores del medio físico, sí se encontró cierta relación, sobre todo con los factores pendiente, posición de la pendiente y grado de erosión y recomiendan realizar otro tipo de toma de información para las plantas herbáceas y arbustivas en las cuales se realice un conteo total de las plantas por sitio o un muestreo dentro del mismo.

Determinación de calidad de sitio mediante índice de sitio

El índice de sitio es la altura que alcanza un árbol bajo las condiciones del promedio del bosque a una determinada (edad base). La altura promedio de todos los árboles no se utiliza debido a que se ve afectada por la eliminación de todos los árboles pequeños durante los aclareos, por las diferencias de la densidad y por los incendios. Las edades promedio se basan por lo general en la edad a la altura del pecho, aunque algunos investigadores suman una constante de edad a los resultados obtenidos por la medición a la altura del pecho, de donde se obtiene la edad total del árbol. Los datos acerca de la edad y la altura de todos los grupos de

muestreo, permiten la formación de otra familia de curvas anamórficas, de las cuales puede obtenerse el índice de sitio, el cual es un indicador más sensible de la calidad de sitio, que las expresiones de las tablas de rendimiento del volumen de productividad debido a que la altura del árbol dominante, en una edad particular, representa la máxima altura alcanzable. De lo anterior se concluye que un índice de sitio estima indirectamente la productividad de una zona en términos de volumen de madera, lo que restringe el concepto de calidad de sitio (Daniel *et al.*, 1982).

Narváez (1992), concluye con base a su estudio que las mejores ecuaciones para pronosticar la calidad de sitio, son las relacionadas al índice de sitio y volumen de las especies, ya que presentaron los más altos coeficientes de determinación y menor error estándar de estimación.

Madrigal y Moreno (2001), menciona que un aspecto básico en la ordenación de los bosques es la clasificación de la productividad de los terrenos forestales, para lo cual el método más empleado ha sido el índice de sitio, debido a su utilidad práctica y facilidad relativa de aplicación.

Torres (2001), afirma que la aplicación práctica de índices de sitio tiene dos problemas adicionales: las estimaciones son referidas a una sola especie y la validación frecuentemente muestra que las estimaciones de índices de sitios lejos del valor de edad base, son regularmente pobres.

Como se ha mencionado anteriormente, a pesar de las limitaciones del índice de sitio, este método se ha usado porque provee un simple valor numérico, fácil de medir, entender y comparar.

Se ha empleado en diversos trabajos de estimación de productividad forestal en México. Como los siguientes:

Arteaga *et al.* (1988), construyeron curvas polimórficas de índice de sitio para *Pinus patula* Schl., apartir de datos de análisis troncales, utilizando el modelo Richards modificado; la familia de curvas fue calculada para los índices de sitio de 15, 19, 23, 27 y 31 m, a la edad base de 35 años, con un intervalo de 4 m. Observaron que a edades juveniles no existe una diferenciación evidente entre un índice y otro, pero a medida que la edad es intermedia, estas diferencias son más estables, y en edades avanzadas, son contrastantes. Concluyen que el principal problema que se presenta al desarrollar curvas de índices de sitio, al utilizar la ecuación de Richards modificada, es el de cómo fijar los valores iniciales de los parámetros.

Franco (1997), obtuvo índice de sitio para *Pinus rudis* en la sierra de Arteaga, Coah., mediante análisis troncales generando 3 curvas anamórficas. A una edad base de 100 años, y apoyado en el método de la curva guía, estableció una equidistancia de 3 metros. La altura promedio fue de 15.6 m considerada como calidad de estación II (Regular). Además comparó el modelo Chapman - Richards, con el modelo de Shumacher, resultando ser mejor modelo el de Chapman – Richards en el ajuste mostrado a los datos.

De la fuente (2001), determinó índices de sitio para *Pinus rudis* en Ixtlan, Oaxaca. Para la elaboración de las curvas de crecimiento en altura se probaron los modelos de Schumacher y Chapman-Richards. Los resultados básicos del análisis efectuados a los modelos propuestos mostraron que para la generación del índice del sitio el mejor modelo resultó ser el de Schumacher.

Métodos directos

Determinación de calidad de sitio mediante tablas de producción

Las tablas de producción deben ser preparadas, para áreas de manejo forestal individuales. La aplicación práctica es simple: con base en la edad del bosque y la altura media del mismo, se determina la clase de calidad de estación, entonces de una tabla correspondiente se leen los valores los cuales se reducen de acuerdo al estado concreto del bosque. El incremento de las tablas no se reduce por medio del índice de densidad de los bosques, si no por un factor de reducción, que usualmente es poco mayor que el índice de densidad del bosque. Recientemente las calidades de estación de las tablas de producción han sido definidas por medio del incremento medio total a la edad de 100 años. En lugar de la altura media del bosque en la actualidad se usa para la evaluación de los suelos de acuerdo a su calidad, la altura media de los árboles dominantes. Tablas más recientes dan factores para convertir las alturas medias de los árboles dominantes en altura media del bosque y viceversa (Aguirre, 1991).

En los bosques incoetáneos las tablas de producción preparadas con base en la edad, no tiene una aplicación real porque se opera con el diámetro normal, el cual no siempre está en proporción directa a la edad, por lo tanto son diferentes (Klepac, 1983).

La función de las tablas de producción y su manejo tienen que ver con los objetivos propuestos; uno de ellos es conocer el volumen a extraer por edad; de acuerdo al número de árboles por categoría diamétrica así como sus dimensiones en diámetro, altura y el grado de densidad a manejar en las cortas. La intensidad y tiempo de aprovechamiento y el ciclo de corta en cada etapa de desarrollo cambiarán de acuerdo a los incrementos reportados por edad y diámetro (Franco, 1997).

Franco (1997), construyó una tabla de producción para *Pinus rudis* Endl. en la sierra de Arteaga, Coah., realizándola en clases de edad, a partir de los 10 años hasta 110 años, que fue la edad donde se recomienda realizar la corta final con un diámetro promedio de 37.84 cm y un índice de 15.6 m de altura a una edad base de 100 años. La producción total por hectárea en todo el turno considerado corresponde a un volumen de 605.3 m³/ha, y para la edad final de remoción (110

años), a la que se aplicó la última corta de protección, la producción ascendió a 617.7 m³/ha. La remoción resultó de acuerdo al nivel de densidad máximo deseable del 90%, y una mínima aproximada del 59.5 %; los ciclos de corta varían de acuerdo a los incrementos y densidad aceptables para cada una de las etapas de desarrollo.

Determinación de calidad de sitio por medio del taladro de Pressler

Este método se desarrolló primeramente en Alemania, posteriormente fue transferido a Francia y a otros países europeos y americanos en donde fue modificado; se usa en lugares templados en donde el incremento radial forma anillos de crecimiento más o menos visibles (Klepac, 1983).

Con el taladro de Pressler se perfora el árbol en ángulo recto a su eje longitudinal y a una altura de 1.3 m sobre el suelo. Se extraen virutas y con éstas se obtienen datos de crecimiento e incremento en diámetro de un árbol, con base en el cual se determinará el incremento volumétrico sin medir directamente el incremento en altura del árbol (Klepac, 1983).

Extracción de muestras

Debido a los daños que se ocasionan a los árboles con el uso del taladro de Pressler, se debe procurar tomar un número limitado de muestras. Una selección subjetiva de los árboles a taladrar puede ser muy inadecuada, ya que la práctica ha demostrado que el factor subjetivo se manifiesta de manera involuntaria dada la tendencia, porque el hombre tiende a tomar muestras de los mejores árboles. Para evitar el factor subjetivo al obtener las muestras con el taladro de Pressler, se recomiendan tres procedimientos. En los tres casos es necesario construir preliminarmente con base a mapas forestales un sistema de rectas paralelas, las cuales servirán para determinar los árboles a taladrar en campo. Estas líneas rectas deberán trazarse en ángulo recto de las líneas de contorno del terreno. En la práctica es suficiente obtener de cada árbol una muestra, pero si se quiere

determinar el incremento más exactamente, es conveniente extraer de cada árbol dos o tres muestras (Klepac, 1983).

Análisis de muestras

En general se distinguen dos procedimientos: contar o medir los anillos de crecimiento en una longitud definida y medir los últimos (n) anillos. Con el primer procedimiento se obtiene el tiempo de paso y con el segundo el incremento en diámetro del árbol.

En cualquiera de los casos se debe ser cuidadoso con los falsos anillos. El tiempo de paso es el número de anillos comprendidos en 2.5 cm; indica el número de años que requiere un árbol para obtener un incremento de 5 cm de diámetro normal, es decir, para pasar de una categoría diámetrica a otra. Se distingue el tiempo de paso individual y el tiempo de paso medio, al determinar el incremento generalmente se trabaja con el tiempo de paso medio, pero el problema es saber cual promedio se debe tomar, ya sea la media aritmética, la mediana o la media armónica (Klepac, 1983).

Incremento en diámetro

La anchura de los anillos de crecimiento, correspondientes a determinados años, puede medirse en las muestras. Estos análisis de muestras se llevan a cabo solamente por medio de lupas graduadas a escalas precisas de medición, microscopios o instrumentos especialmente diseñados para este fin. Es más práctico y más seguro medir la anchura de los últimos 10 anillos anuales (Klepac, 1983).

Aguilar y Aguilar (1991), utilizaron el método del taladro de Pressler en la comunidad Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, para determinar los índices de sitio de *Pinus pseudostrobus*, *P. montezumae*, *P. lawsonii*, *P. leiophylla* y *P. michoacana*. Observaron que el uso de los datos tomados con el taladro de Pressler y con un modelo específico para ello, así como los hechos en forma manual, sólo ofrecen resultados parciales, debido a que no logran definir una

tendencia de crecimiento después de una sola observación por individuo. Por lo tanto, las curvas de crecimiento obtenidas tienen un mejor funcionamiento entre los 40 y 60 años, observándose que sobreestiman y subestiman éste para edades menores y mayores respectivamente. Concluyen que los índices de sitio obtenidos permiten calificar los rodales cuando éstos no son ni jóvenes, ni maduros y que la información de los inventarios forestales que puede ser tratada matemáticamente y ofrece resultados más precisos para ser utilizados en los estudios de manejo que un procedimiento gráfico o manual. En lo que se refiere a la determinación de calidad de sitio, concluyeron que es preferible realizarla bajo una metodología con un tamaño de muestra adecuado y con análisis troncales.

Empleando este método se evaluó la productividad mediante índices de sitio para *Pinus cooperi* Blanco, en la Sierra del Nayar, Durango, donde se evaluaron los modelos matemáticos: Schumacher, Chapman-Richards y el Acumulativo de Weibull, en su versión anamórfica. El resultado de índice de sitio es de 16.84 m, a una edad de referencia de 60 años. Las curvas fueron construidas cada 3 metros, la inferior se ubicó en 10.84 m, (sitios de menor calidad) y la superior en 22.84 m, (sitios de mayor calidad). Concluyen que el modelo Schumacher estima con mayor precisión el índice de sitio para la especie y para su utilización es conveniente la validación del mismo (Quiñones *et al.*, 2001).

En bosques íncetaneos, Aguirre *et al.* (2001) estimaron la productividad en un rodal irregular de *Pinus teocote* en Nuevo León, con base a relaciones edad/diámetro normal y altura/diámetro normal. Concluyen que el procedimiento desarrollado constituye una alternativa para la estimación de la productividad de rodales irregulares a partir de parámetros dasométricos convencionales y relaciones funcionales simples.

Determinación de calidad de sitio por medio de análisis troncal

En las zonas de clima templado las capas del incremento anual en las coníferas se aprecian claramente, lo que permite la estimación del crecimiento e incremento del árbol, debido a que es posible por medio de ellas saber ¿que tan grande era el

árbol?, ¿cuál era su diámetro? y ¿cuál era su volumen en un determinado año de su vida. Para el análisis troncal, el árbol debe ser derribado, de este mismo se toman rodajas transversales, de las cuales dos de ellas deben ubicarse en sitios precisos. La primera debe tomarse a la altura del apeo, (20-30 cm), y la segunda a la altura del pecho, (1.30 m), las restantes se obtienen a igual distancias unas de otras (1, 2 ó 3 m), si es posible. En las secciones aserradas se anota en el lado inferior, la altura a la cual se hizo el corte, y en el lado superior, se cuentan los anillos de crecimiento y se llevan acabo las mediciones y se determinan la edad. Por este método se puede hacer análisis de altura, diámetro y volumétrico (Klepac, 1983).

Los resultados de análisis de crecimiento en altura de *Abies religiosa* Schl. en Zoquíapan, México, mostraron que el patrón de crecimiento tiene un comportamiento de desarrollo uniforme y el punto óptimo de crecimiento en altura para esta especie ocurre a los 24 años de edad, independientemente del índice de sitio en que se encuentra. También comparó el modelo de Schumacher con el de Chapman - Richards y resultó ser el mejor el de Chapman - Richards, mostrando los mejores coeficientes de determinación. Se concluye que la variabilidad de calidad de sitio para oyamel permite proponer cuatro índices de sitio 15, 25, 35, y 45 m, para una edad base de 60 años (Bojorges *et al.*, 1991).

Monroy (1996), estudió el índice de sitio para *Pinus patula* Schl., a través de análisis troncales en Huayacocotla, Veracruz, donde la familias de curvas anamórficas generadas representan los índices de sitios calculados, que fueron 18, 22, 26, 30, 34 y 38 m, a la edad base de 40 años y por medio de ellas observó que el crecimiento inicial es mucho más rápido en los índices de sitio de mayor calidad y más lento en los de baja productividad. Por último menciona que las curvas de índice de sitio obtenidas constituyen una herramienta indispensable para elaborar un mapa preliminar de calidades de estación de la especie en la zona de estudio.

Benavides (1991), determinó calidad de sitio con el modelo de Schumacher para las siguientes especies: *Pinus michoacana*, *P. oocarpa*, *P. leiophylla* y *P. lumholtzii*

en Tapalpa, Jalisco, por medio de análisis troncal. Las edades base fueron elegidas cerca del turno técnico, es decir, la edad en que se obtenía un diámetro entre 35 y 40 cm, las edades base fueron: 50, 70, 45 y 100 años respectivamente para las especies antes mencionadas. Los resultados fueron tres curvas, lo que representa tres índices de sitio para cada especie; se encontró que la especie de mayor distribución e importancia es *Pinus michoacana*; la especie de más rápido crecimiento es el *Pinus leiophylla* y la de más lento crecimiento es *Pinus lumholtzii*. Finalmente se obtuvieron superficies por calidad y especie.

Benavides y Manzanilla (1993), con 25 árboles seleccionados de *Pinus michoacana* cornuta Martínez y 6 árboles de *Pinus oocarpa* Schiede. en Tapalpa, Jalisco, a través de análisis troncales, construyeron familias de curvas, utilizando la edad de 1.30 m de altura del árbol. Determinaron 3 calidades de sitio (excelente, buena y regular) a una edad base de 45 años y agrupadas en un mapa por rodales. Concluyen que el modelo de Schumacher es recomendable por ser simple y confiable en la predicción del crecimiento en altura.

Aguilar (1991), comparó cuatro modelos matemáticos: Schumacher, Chapman - Richards, Weibull y logístico aplicados al crecimiento forestal edad-altura mediante funciones continuas de forma sigmoideal para *Pinus douglasiana*, en Atenquique, Jalisco. Concluye que el mejor modelo para calidad de estación es de Schumacher; Weibull y Gompertz sobresalen para crecimiento y los tres modelos para tarifas. Respecto al modelo logístico, no se recomienda utilizar en este tipo de relaciones.

Comparando tres modelos empíricos: modelos Schumacher, Chapman-Richards y Weibull, se probaron las metodologías, curva guía y diferencia algebraica, de la segunda, los tipos anamórficos y polimórficos para la determinación de índice de sitio de *Pinus douglasiana* y *Pinus lawsonii* en Barranca de Cupatitzio, Uruapan, Michoacán. Se observó que la diferencia algebraica es la mejor metodología cuando se cuenta con remediciones y de ésta el tipo polimórfico y de los modelos probados el que mejor bondad de ajuste proporcionó fue el polimórfico de Schumacher. Concluyen que los resultados de los modelos por la curva guía y los

anamórficos se consideran aceptables pero no tan confiables como los obtenidos con los polimórficos (Madrigal y Ramírez, 1995).

Madrigal y Moreno (2001), generaron curvas polimórficas de índice de sitio para *Pinus pseudostrobus* Lindl, en la región Hidalgo - Zinapécuaro, Michoacán; se utilizaron los métodos de predicción de parámetros y de la diferencia algebraica, así como los modelos de Schumacher y Chapman - Richards. Concluyen que los modelos de Schumacher y de Chapman - Richards, formulados con el método de la diferencia algebraica tuvieron un excelente ajuste estadístico. Sin embargo, mostraron diferencias al incluir los índices de sitio para obtener curvas que presenten diferentes patrones de crecimiento. Tales diferencias incluyen una sobreestimación de la altura para mejores clases de índice de sitio y una subestimación para los de menor calidad, ocurriendo ambos casos en forma muy marcada.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del Área de Estudio

Ubicación Geográfica

El predio El Pilar está ubicado en la sierra de Arteaga, al Noroeste de la población de San Antonio de las Alazanas, municipio de Arteaga, Coahuila con las siguientes coordenadas geográficas: 100° 29' 12" y 100° 30' 46" Longitud Oeste y; 25° 15' 32" y 25° 16' 55" Latitud Norte (Fig. 1).

Clima

De acuerdo con la Clasificación de Köppen, modificado por Enriqueta García, el área se ubica dentro del grupo de clima templado; subgrupo de clima semifrío " C(E) " y el que predomina en el predio es el C(E) x' , con temperaturas medias anuales entre 5 y 12° C. La precipitación media anual, oscila entre 150 a 200 mm. La precipitación ocurre durante los meses de noviembre a abril con un total anual

de 700 mm. La frecuencia de heladas es entre 20 y 60 días. La temperatura en el mes más frío oscila entre -3 y 18° C.

Suelo

Son suelos someros de origen residual. De acuerdo a la clasificación de la FAO - UNESCO 1970, modificado por CETENAL, para el área de estudios se reportaron las siguientes asociaciones: litosol asociado con renzina con clase de textura media, luvisol crómico con clase de textura fina y fase física lítica profunda.

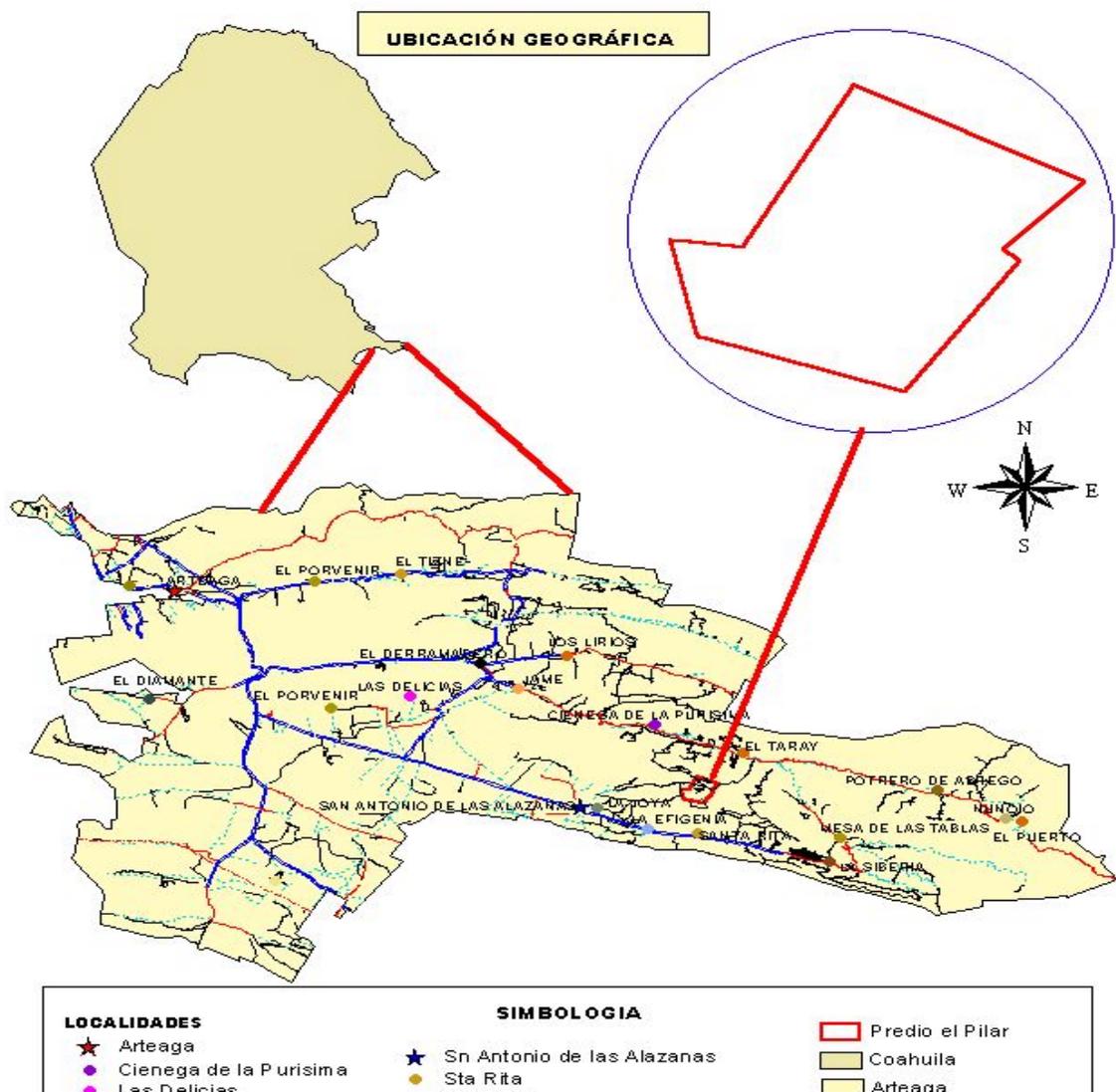


Figura I. Ubicación geográfica predio El Pilar.

Hidrología

El predio comprende pequeñas cuencas abiertas las cuales cuentan con escurrimientos superficiales intermitentes y temporales, ocasionados por las lluvias torrenciales, teniendo su curso hacia un cauce principal, enviando su flujo de agua al poniente del Cañón de las Alazanas.

Topografía

El área está comprendida en la región flexionada al Este de Saltillo y Sur de Monterrey, que se denomina anticlonorio de Arteaga. Constituido por los sistemas de topoformas generales en: sierra, pliegue flexionado, bajada con sierras y valle intermontano. Orográficamente el predio está dentro de la unidad orogénica llamada Sierra Madre Oriental.

El predio presenta una topografía poco accidentada, con pendientes moderadas muy variables, en cuencas con formaciones de lomeríos, bajadas suaves, de 17° a 21° en las partes altas y en pequeñas porciones se encuentran pendientes fuertes iguales y mayores a 45°.

En lo que respecta a la altitud, el área de estudio tiene un rango de 2900 a 3240 m.s.n.m.

Vegetación

Se presentan asociaciones de pino y oyamel de portes altos, desarrollándose a partir de los 2400 m.s.n.m. hasta la máxima altitud del área de estudio.

Descripción de especies

Pinus ayacahuite var. brachyptera Shaw

Es un árbol grande que crece en zonas frías a templadas desde el centro de América hasta el límite con los Estados Unidos. Posee copa cónica y aguda; corteza moreno- grisácea. Hojas en grupos de 5, por lo general delgadas. En fascículos espaciados de color verde intenso. Tienen un haz vascular y sus canales resiníferos son externos, generalmente en número de tres a cinco. Sus vainas son pajizas y desaparecen pronto. Conillos sub-cilíndricos, con pedúnculos de 25 mm y colocados por pares o en grupos de tres. Escamas fuerte y gruesas, cóncavas y ralas con apófisis larga. Miden de 25 a 35 mm, a veces hasta 40 mm de ancho, por 50 a 70 mm de largo. Semillas de 12 a 15 mm, con ala corta, a lo más de 10 mm, comestibles de sabor resinoso, la madera del árbol es suave, blanca, de textura fina y uniforme y muy estimada para la elaboración de muebles (Capó, 1972).

Pinus rudis Endl.

Árbol de 8 a 25 m., con ramas extendidas y frecuentemente torcidas; corteza oscura, divididas en placas gruesas. Hojas en grupos de 5 a veces 4 por

fascículo, de 10 a 16.5 cm de longitud. Las vainas persistentes, anilladas, de 5 a 25 mm y de color castaño oscuro. Las yemas son ovoides u ovoide cónicas, y los conillos de marcado color azul. Conos largamente ovoides, agudos, extendidos o algo colgantes; de color oscuro. Miden de 8 a 12.5 cm y se presentan por pares o grupos de 3 ó 4. Escamas delgadas y frágiles, de 20 a 30 mm de largo por 10 a 13 mm de ancho, con el ápice redondeado (Capó, 1972).

Abies vejarii Martínez

Árbol de 30 a 40 m de altura, por 30 a 50 cm de diámetro, de tronco recto, con la copa cónica o piramidal; corteza delgada, lisa, de color grisáceo, con manchas blancas horizontales. Ramas extendidas y comúnmente verticiladas, hojas aglomeradas, dispuestas en espiral, gruesas y dirigidas en todos sentidos. Yemas globosas, muy resinosas. Ramillas glabras, lustrosas, de color moreno rojizo. Conos erguidos, solitarios y sub - sésiles, cortamente oblongos, de color violáceo muy oscuro, al principio y amarillento después, muy resinosos, miden de 6 a 8.5 cm. Las escamas son cóncavas, casi triangulares, con el ápice redondeado y entero miden 25 mm de ancho, por 20 de longitud. Semilla angosta, de 10 mm de largo, con vejigas resinosas, ala delgada, casi triangular y de color amarillento violáceo (Capó, 1972).

Pseudotsuga flahaulti

Son árboles cuya altura varía de 12 a 40 m, por 25 a 70 cm de diámetro, dependiendo de la localidad. Sus yemas son ovoides, agudas y sin resinación; conos colgantes, tienen escamas persistentes y con las brácteas salientes y trifidas. La corteza es grisácea, delgada en los árboles jóvenes y gruesa y áspera en los adultos, hasta de 8 a 10 cm de espesor, con la superficie dividida en placas escamosas. Las ramas son sub-verticiladas o irregularmente dispuestas,

extendidas o algo levantadas, formando una copa cónica en los árboles jóvenes e irregular en los adultos, y con el follaje algo ralo (Capó, 1972).

Fauna silvestre

Se encuentran los siguientes animales silvestres mamíferos como: *Odocoileus virginianus* (venado cola blanca), *Lynx rufus* (Gato montes), *Urocyon cinereoargenteus* (Zorra gris), *Sylvilagus floridanus* (Conejo). *Canis latrans* (Coyote), *Siurus spp* (Ardilla) y aves como: *Sitta pygmaea* (Salta palo), *Corvus corax* (Cuervo), *Colapetes auratus* (Carpintero alirrojo), *Buteo jamaicensis* (Aguililla cola roja), *Rynchonpsita terrisii* (Cotorra serrana).

METODOLOGÍA

Rodalización del área de estudio

Para poder llevar acabo el levantamiento de información de campo, se utilizó la rodalización elaborada sobre una ortofoto digital por (Pimienta, 2003), lo cual tomó en cuenta la espesura de la vegetación, como criterio principal (Fig.2).

Tamaño de los sitios de muestreo

Avendaño (1991), analizó los tamaños de sitio de muestreo de forma circular de 500, 750, 1000 y 1250 m² en la Sierra de Arteaga, Coah. El parámetro estimado fue el volumen medio en m³/sitio, utilizando volúmenes aparentes en todos casos. Concluye que el tamaño de sitio óptimo de muestreo es de 500 m² para estimar existencias volumétricas en bosques de clima templado en la región de estudio.

Aguirre (1997), evaluó diversos tamaños de sitios de muestreo de 0.01 a 0.1 ha en intervalos de 0.01 ha en un rodal de *Pinus cooperi* Blanco, en la región de El Salto, Durango. En este trabajo el tamaño de sitio óptimo es de 0.06 ha en base a los parámetros estadísticos del área basal.

Para el caso del presente estudio se utilizó el tamaño de 500 m², estableciéndose sitios de muestreos circulares.

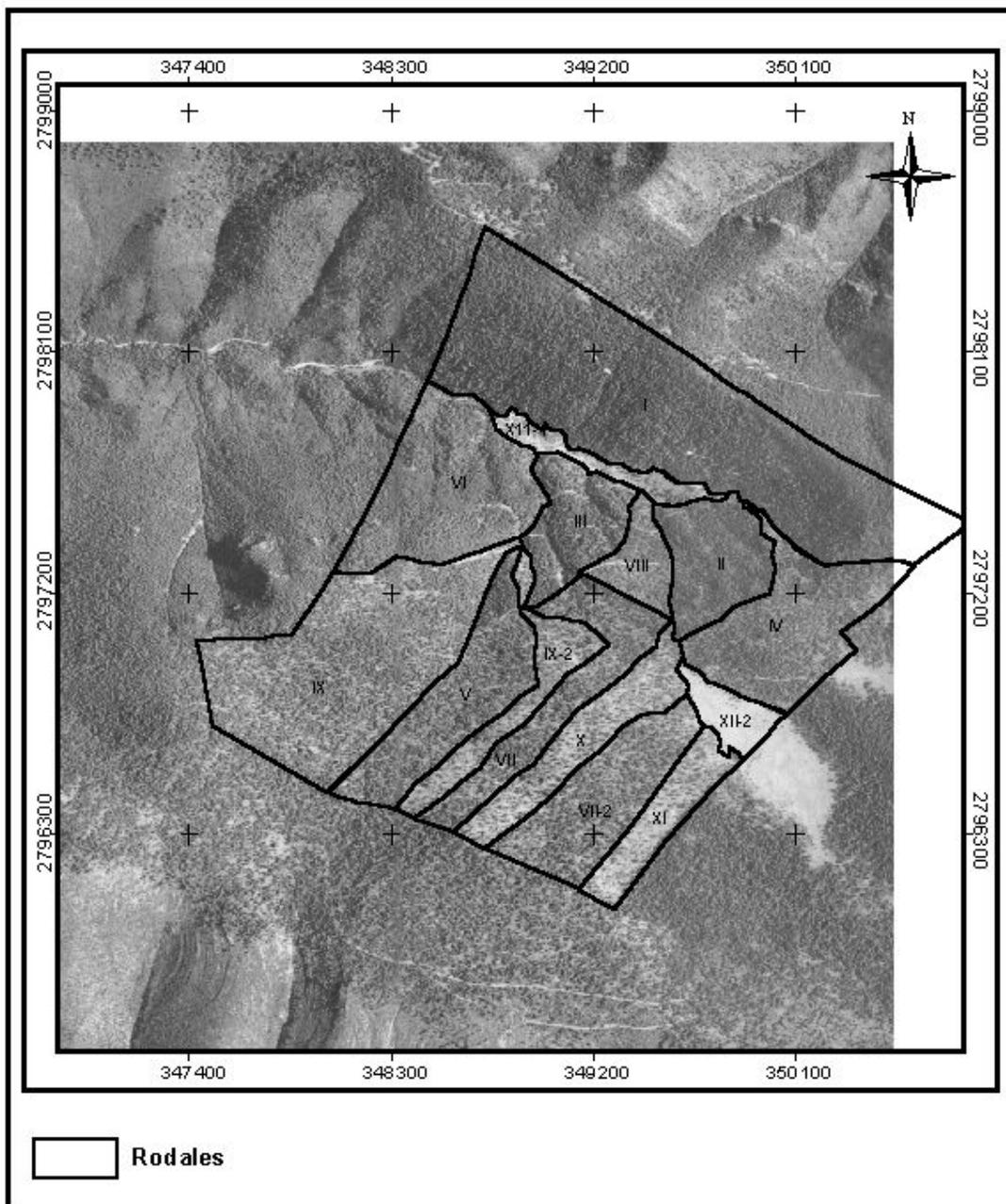


Figura 2. Rodalización del área de estudio realizada por (Pimienta 2003)

Número de sitios de muestreo

Para obtener la información de campo se establecieron 18 sitios circulares mediante el sistema de muestreo aleatorio; los sitios se distribuyeron en los diferentes rodales los cuales cubren una superficie de 320 ha en el predio El Pilar. Las principales variables dasométricas que se midieron fueron: diámetro normal ($d_{1.3}$), diámetro de tocón ($d_{.30}$), la altura total, altura de fuste limpio y grosor de corteza. De estas variables se derivó el volumen y área basal promedio y total. Adicionalmente se obtuvo la medida de los diámetros de copa en sentido norte-sur y este-oeste, respectivamente. Además de las variables dasométricas antes mencionadas, se registró la ubicación de cada árbol espacialmente a partir de la distancia al centro del sitio y el rumbo y de manera general la sanidad del arbolado, y daños presente en el mismo y por último, se extrajo con el taladro de Pressler una muestra de los árboles dominantes y, codominantes a la altura de 1.3 m y .30 m para la determinación de la edad. Una vez colectados los datos de campo se procedió a elaborar una base de datos para el cálculo de las variables dasométricas de los rodales y la evaluación de su productividad.

Parámetros Dasométricos

Con la información de campo se creó una base de datos de cada uno de los sitios de muestreo, tanto para el total de los árboles como para cada especie por separado. Los procedimientos de cálculo empleados para la obtención de los parámetros dasométricos de interés son los siguientes:

Números de árboles por hectárea (N)

El cálculo de este parámetro por especie se realizó de la siguiente manera:

La suma total de los individuos, se dividió entre el número de sitios presentes en el rodal; el resultado se extrapola a la hectárea.

Cálculo del área basal (AB)

Para el cálculo del área basal se empleó la fórmula:

$$AB = 0.7854 * (d)^2$$

Donde:

AB = área basal en m²

d = diámetro normal en metros

El área basal por hectárea se determinó de la siguiente manera:

La suma total de área basal de todos los sitios establecidos en el rodal, se dividió entre el número de sitios, de esta manera se obtuvo un promedio para 500 m² mismo que se extrapola a la hectárea.

El procedimiento anterior se realizó para las 4 coníferas presentes en el área de estudio.

Cálculo del Volumen

Para el cálculo de volumen unitario se utilizaron tablas de volumen elaboradas por INIFAP (S.F), para la especie *Pinus rudis* y *Abies vejarii*; para el caso de *Pseudotsuga flahaulti* se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Modelo: Vol} = \text{Exp}(-9.87472826 + 1.87766305 \text{ Log (DN)} + 1.00933229 \text{ Log (HT)})$$

Donde:

DN = diámetro normal en centímetros

HT = altura total

Log = logaritmo natural

Respecto al *Pinus ayacahuite*, al no haber tabla de volumen se procedió al cálculo con la ecuación de volumen aparente; utilizándose un coeficiente mórfico de 0.5 para realizar una estimación adecuada de este parámetro.

$$VA = .7854*(DN)^2* HT *.5$$

Donde:

VA = Volumen aparente

DN = Diámetro normal en metros

HT = Altura total

0.5 = coeficiente mórfico

El volumen por hectárea se calculó como se indica a continuación:

La suma del volumen de todos los sitios que se levantaron en un rodal se dividió entre el número de sitios. Obtenido el promedio se extrapoló a la hectárea. De esta manera se realizó para las cuatro especies.

Diámetro de copa (DC)

Para la obtención de este parámetro se midió la longitud de la copa en dirección norte – sur y este – oeste, para cada una de las especies presentes en el sitio y el diámetro se calculó empleando la siguiente fórmula:

$$DC = (LC + LC) / 2$$

Donde:

DC = Diámetro de copa (m)

LC = longitud de copa (m)

LC = longitud de copa (m)

Área de copa (AC)

Una vez obtenido el diámetro de copa, se obtuvo el área de copa, que se expresa en m² con la siguiente fórmula:

$$AC = 0.7854 * DC^2$$

El área de copa por hectárea se calculó como se indica a continuación:

La suma total de todos los sitios levantados de cada una de las especies, se dividió entre el número de sitios. Obtenido su promedio se extrapoló a la hectárea.

Índice de sitio

Para la estimación del índice de sitio, se seleccionaron árboles individuales dominantes y codominantes, sanos, sin presencia de bifurcación y sin evidencia de daños visibles en los diferentes rodales.

A los árboles seleccionados se les tomaron las variables altura total y la edad a 30 cm del suelo; para la estimación de la segunda variable se utilizó el taladro de incrementos.

El índice de sitio se estimó utilizando los valores de alturas dominantes y codominantes y edad total del árbol. La edad total = edad a 30 cm + 4 años.

Para la evaluación de relación altura=f(edad) se probaron los siguientes modelos: Gompertz, Korsun, Schumacher y Chapman-Richards, a fin de determinar cuál de ellos mostraba un mejor comportamiento respecto a su representación del crecimiento en altura. Lo anterior se realizó para las cuatro especies.

Observando cuál era el mejor modelo se procedió a generar un sistema de curvas de índice de sitio, se eligió la edad base de 60 años para todas las especies, se tomó una equidistancia de 3 metros entre las curvas, se obtuvo el coeficiente de proporcionalidad y por último cada una de las alturas estimadas se multiplicó con sus respectivos coeficiente de proporcionalidad a fin de generar las curvas adicionales a la curva guía. Como resultado se generaron las curvas de índice de sitio.

Para la calificación de los rodales de acuerdo a su productividad se realizó un promedio en edad y altura de los árboles-muestra que se midieron en campo. Con esto se calificó la condición de productividad del rodal alta (I), media (II) y baja (III).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización Dasométrica

Uno de los objetivos centrales de la dasometría es describir poblaciones (bosques) en términos del valor total de alguna características de todos los árboles (área basal, volumen). Dado que las poblaciones forestales son por lo general muy extensas y de difícil acceso, la descripción se basa en una pequeña muestra de árboles, seleccionados de un modo que representen a toda la población. Por razones prácticas, los árboles no se seleccionan individualmente, si no en grupos, llamados unidades muestrales (Prodan *et al.*, 1997).

Cuadro 1. características dasométricas del rodal I

Especies	N/ha	%	Área basal m ² /ha	%	Volumen m ³ /ha
<i>Abies vejarii</i>	30	9	2.22130	7	18.94960
<i>Pseudotsuga flahaulti</i>	90	26	11.93960	36	46.12120
<i>Pinus rudis</i>	140	40	13.19490	40	122.61900
<i>Pinus ayacahuite</i>	90	26	5.63520	17	44.13000
Total	350	100	32.99100	100	231.81980

En el cuadro 1 se muestran los valores de los parámetros dasométricos del rodal I. Se observa que la especie dominante es *Pinus rudis* con 140 individuos/ha, un área basal mayor con 13.19 m² /ha y ambos representan en términos relativos el 40%. Respecto al volumen es la especie que presenta el mayor valor con 122.62 m³/ha; además de presentar ambos mayor área basal. En cuanto a *Pseudotsuga flahaulti* y *Pinus ayacahuite*, presentan 90 ind./ha, pero hay diferencias contrastantes en área basal, 11.94 y 5. 64 m²/ha, respectivamente. Lo anterior da una idea clara de que algunos árboles son de diámetros mayores en *Pseudotsuga flahaulti*. Por último, *Abies vejarii* presenta 30 ind./ha, menor a todos los demás, por lo tanto, el área basal y volumen son menores. En total, en el rodal I se obtuvieron 350 ind/ha, 32.99 m² de área basal/ha y 231.82 m³/ha.

Cuadro 2. Características dasométricas del rodal II

Especies	N/ha	%	Área basal m ² /ha	%	Volumen m ³ /ha
<i>Abies vejarii</i>	166	54	10.20707	35	82.16153
<i>Pseudotsuga flahaulti</i>	13	4	0.42833	1	2.49067
<i>Pinus rudis</i>	13	4	0.52360	2	3.12933
<i>Pinus ayacahuite</i>	113	37	18.23560	62	44.12700
Total	305	100	29.39460	100	131.90853

En el cuadro anterior se observa que la especie dominante en el rodal II es *Abies vejarii*, con 166 ind./ha., seguido del *Pinus ayacahuite*, con 113 ind./ha. No obstante, esta especie presenta mayor área basal a pesar de tener menor número de ind./ha, esto se debe a que algunos árboles tienen diámetros normales más grandes. Respecto al volumen, la especie dominante tiene la mayor proporción debido a que son más árboles y también a que presentan mayores alturas.

Cuadro 3. Características dasométricas del rodal III

Especies	N/ha	%	Área basal m ² /ha	%	Volumen m ³ /ha
<i>Abies vejarii</i>	130	43	6.94150	35	49.19590
<i>Pseudotsuga</i>	30	10	2.54888	13	16.85650

<i>flahaulti</i>					
<i>Pinus rudis</i>	10	3	1.07520	5	8.21200
<i>Pinus ayacahuite</i>	130	43	9.49410	47	60.79120
Total	300	100	20.05968	100	135.05560

En cuadro 3 se muestra que el *Abies vejarii* y *Pinus ayacahuite* en el rodal III 130 ind./ha respectivamente, lo que representa el 43% para cada una. Sin embargo, *Pinus ayacahuite* presenta mayor área basal con 9.49 m²/ha, ya que existen algunos árboles con diámetros normales más grandes; esto se refleja claramente en el volumen para esta especie que alcanzan 60.79 m³/ha.

Cuadro 4. Características dasométricas del rodal V

Especies	N/ha	%	Área basal m ² /ha	%	Volumen m ³ /ha
<i>Abies vejarii</i>	60	30	5.07620	25	36.64070
<i>Pseudotsuga flahaulti</i>	50	25	6.58820	33	54.42740
<i>Pinus rudis</i>	50	25	4.65190	23	46.48640
<i>Pinus ayacahuite</i>	40	20	3.86950	19	31.72990
Total	200	100	20.18580	100	169.28440

En el cuadro 4 se observa que la especie dominante en el rodal V es *Abies vejarii* con 60 ind./ha, seguido de *Pseudotsuga flahaulti* y *Pinus rudis* con 50 ind./ha, respectivamente. Respecto al área basal, *Pseudotsuga flahaulti* tiene el valor más alto (6.59 m²/ha), seguido por *Abies vejarii* con 5.08 m²/ha. Por otro lado, en el parámetro volumétrico las especies con mayor volumen son *Pseudotsuga flahaulti* y *Pinus rudis* con 54.43 y 46.49 m³/ha, respectivamente.

Cuadro 5. Características dasométricas del rodal VI

Especies	N/ha	%	Área basal m ² /ha	%	Volumen m ³ /ha
<i>Abies vejari</i>	90	25	3.66298	15	30.10590
<i>Pseudotsuga flahaulti</i>	10	3	0.24050	1	0.79150
<i>Pinus rudis</i>	0	0	0.00000	0	0.00000
<i>Pinus ayacahuite</i>	260	72	20.80010	84	132.73320

Total	360	100	24.70358	100	163.63060
-------	-----	-----	----------	-----	-----------

En el cuadro 5 se observa claramente que la especie dominante en el rodal VI en los tres parámetros considerados es *Pinus ayacahuite* con 260 ind./ha, área basal de 20.80010 m²/ha y 132.73 m³/ha. Es un rodal con una densidad de 360 ind./ha, área basal de 24.70 m²/ha y 163.63 m³/ha.

Cuadro 6. Características dasométricas del rodal VII

Especies	N/ha	%	Área basal m ² /ha	%	Volumen m ³ /ha
<i>Abies vejarii</i>	20	14	1.65920	12	11.26800
<i>Pseudotsuga flahaulti</i>	20	14	0.79520	6	5.10800
<i>Pinus rudis</i>	0	0	0.00000	0	0.00000
<i>Pinus ayacahuite</i>	100	71	11.81080	83	86.80420
TOTAL	140	100	14.26520	100	103.18020

Al igual que el cuadro 5, en el rodal VII, Cuadro 6, se observa que el *Pinus ayacahuite* es la especie dominante con 100 ind./ha, área basal de 11.81 m²/ha y el parámetro volumétrico de 86.80 m³/ha. En total, en este rodal el volumen por ha alcanza 103.18 m³.

Cuadro 7. Características dasométricas del rodal VII-2

Especies	N/ha	%	Área basal m ² /ha	%	Volumen m ³ /ha
<i>Abies vejarii</i>	80	67	3.72280	86	25.70820
<i>Pseudotsuga flahaulti</i>	40	33	0.61880	14	1.96060
<i>Pinus rudis</i>	0	0	0.00000	0	0.00000
<i>Pinus ayacahuite</i>	0	0	0.00000	0	0.00000
Total	120	100	4.34160	100	27.66880

En el cuadro 7, se observa que el que tiene mayor número de individuos es *Abies vejarii*, seguido del *Pseudotsuga flahaulti* el mayor valor con 80 y 40 ind./ha respectivamente. Respecto al volumen el *Abies flahaulti* tiene 25.71 m³/ha. De los rodales delimitados, es éste el que presenta una menor densidad (4.34 m²/ha de área basal) y el volumen más bajo de las áreas investigadas.

Cuadro 8. Características dasométricas del rodal IX

Especies	N/ha	%	Área basal m ² /ha	%	Volumen m ³ /ha
<i>Abies vejarii</i>	13	4	0.90700	5	6.20180
<i>Pseudotsuga flahaulti</i>	160	52	6.26510	33	39.24800
<i>Pinus rudis</i>	73	24	6.55390	34	53.68350
<i>Pinus ayacahuite</i>	60	20	5.38040	28	38.12870
Total	306	100	19.10640	100	137.26200

En el cuadro 8, se observa que *Pseudotsuga flahaulti* es la especie dominante en el rodal IX con 160 ind./ha, seguido de *Pinus rudis* y *Pinus ayacahuite*, con 73 y 60 ind./ha, respectivamente. En el área basal el que presenta el valor más alto es *Pinus rudis* debido a que son árboles con diámetros más grandes; esta especie presenta el mayor volumen con 53.68 m³/ha debido a lo mencionado anteriormente y también a que presenta un fuste más cilíndrico.

Cuadro 9. Características dasométricas del rodal IX-2

Especies	N/ha	%	Área basal m ² /ha	%	Volumen m ³ /ha
<i>Abies vejarii</i>	80	57	4.10000	58	31.20000
<i>Pseudotsuga flahaulti</i>	0	0	0.00000	0	0.00000
<i>Pinus rudis</i>	20	14	1.70000	24	16.80000
<i>Pinus ayacahuite</i>	40	29	1.30000	18	6.90000
Total	140	100	7.10000	100	54.90000

En el cuadro 9 se observa que la especie dominante es *Abies vejarii* con 80 ind./ha en el rodal IX-2, misma que tiene un área basal de 4.10 m²/ha y un volumen de 31.20 m³/ha. Se tiene para el rodal un total de 140 ind./ha, 7.10 m²/ha de área basal y 54.90 m³/ha de volumen.

Cuadro 10. Características dasométricas del rodal X

Especies	N/ha	%	Área basal m ² /ha	%	Volumen m ³ /ha
Abies vejarii	80	67	3.80000	63	29.70000
<i>Pseudotsuga flahaulti</i>	0	0	0.00000	0	0.00000
<i>Pinus rudis</i>	20	17	1.50000	25	15.00000
<i>Pinus ayacahuite</i>	20	17	0.70000	12	5.50000
Total	120	100	6.00000	100	50.20000

En el cuadro 10 se observa que la especie dominante en el rodal X es *Abies vejarii* con 80 ind./ha, un área basal de 3.80 m²/ha y 29.70 m³/ha de volumen. *Pinus rudis* y *Pinus ayacahuite* tienen 20 ind./ha, por lo tanto, 17% para cada especie, siendo *Pinus rudis* el que muestra mayor área basal y volumen, 1.5 m²/ha y 15.0 m³/ha, respectivamente.

Cuadro 11. Características dasométricas de área de copa, por especie y a nivel rodal, dentro del predio.

Roda I Núm.	Especies	Área de copa m²/ha	% de Área de copa
I	Abies vejarii	2014.66	25.9
	Pseudotsuga flahaulti	1983.54	25.5
	Pinus rudis	451.16	5.8
	Pinus ayacahuite	3329.24	42.8
	Total	7778.6	100
II	Abies vejarii	2450.42	42.4
	Pseudotsuga flahaulti	190.72	3.3
	Pinus rudis	213.83	3.7
	Pinus ayacahuite	2924.33	50.6
	Total	5779.3	100
III	Abies vejarii	2368.07	34.9
	Pseudotsuga	332.48	4.9

<i>flahaulti</i>			
	<i>Pinus rudis</i>	895.66	13.2
	<i>Pinus ayacahuite</i>	3189.09	47
	Total	6785.3	100
V	<i>Abies vejarii</i>	587.03	14.5
	<i>Pseudotsuga</i>	821.85	20.3
	<i>flahaulti</i>		
	<i>Pinus rudis</i>	1765.15	43.6
	<i>Pinus ayacahuite</i>	870.43	21.5
	Total	4048.5	100

Continuación:

Rodal Núm.	Especies	Área de copa m ² /ha	% de Área de copa
VI	<i>Abies vejarii</i>	5451.84	81.9
	<i>Pseudotsuga</i>	99.85	1.5
	<i>flahaulti</i>		
	<i>Pinus rudis</i>	00.00	00.0
	<i>Pinus ayacahuite</i>	1105.01	16.6
	Total	6656.7	100
VII	<i>Abies vejarii</i>	394.57	7.9
	<i>Pseudotsuga</i>	4210.45	84.3
	<i>flahaulti</i>		
	<i>Pinus rudis</i>	00.00	00.00
	<i>Pinus ayacahuite</i>	394.57	84.3

	Total	4994.6	100
VII -2	Abies vejarii	1117.31	89.6
	Pseudotsuga flahaulti	241.92	19.4
	Pinus rudis	00.00	00.00
	Pinus ayacahuite	00.00	00.00
	Total	1247	100
IX	Abies vejarii	2808.63	49.2
	Pseudotsuga flahaulti	1410.02	24.7
	Pinus rudis	1238.77	21.7
	Pinus ayacahuite	251.18	4.4
	Total	5708.6	100
IX - 2	Abies vejarii	572.72	59.3
	Pinus rudis	141.97	14.7
	Pinus ayacahuite	251.11	26
	Total	965.8	100
X	Abies vejarii	714.39	63.4
	Pinus rudis	203.95	18.1
	Pinus ayacahuite	209	18.6
	Total	1126.8	100

En el cuadro 11 se observa que el rodal I tiene mayor área de copa con 7778.6 m²/ha, seguido del rodal III con 6785.3 m²/ha, el VI con 6656.7 m²/ha, el II con 5779.3 m²/ha, el IX con 5708.6 m²/ha, el VII con 4994.6 m²/ha, el V con 4048.5 m²/ha, el VII -2 con 1247 m²/ha, el X , 1126.8 m²/ha y el IX-2, 965.8 m²/ha de área de copa. Los últimos rodales presentan menor área de copa porque han estado bajo manejo forestal con diferentes intensidades de corta. Los datos anteriores corresponden a los que se pueden derivar de los cuadros 1-10, en los que se observa las diferencias de densidad de los rodales investigados.

Frecuencia diamétrica

En las siguientes figuras se muestra la frecuencia diamétrica por rodal y a nivel especie del área de estudio investigada.

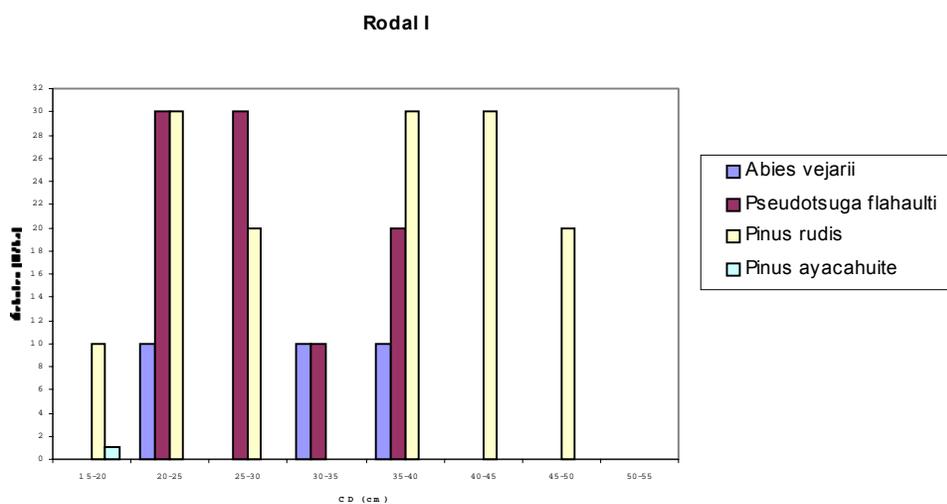


Figura 3. Frecuencia diamétrica del rodal I

Rodal III

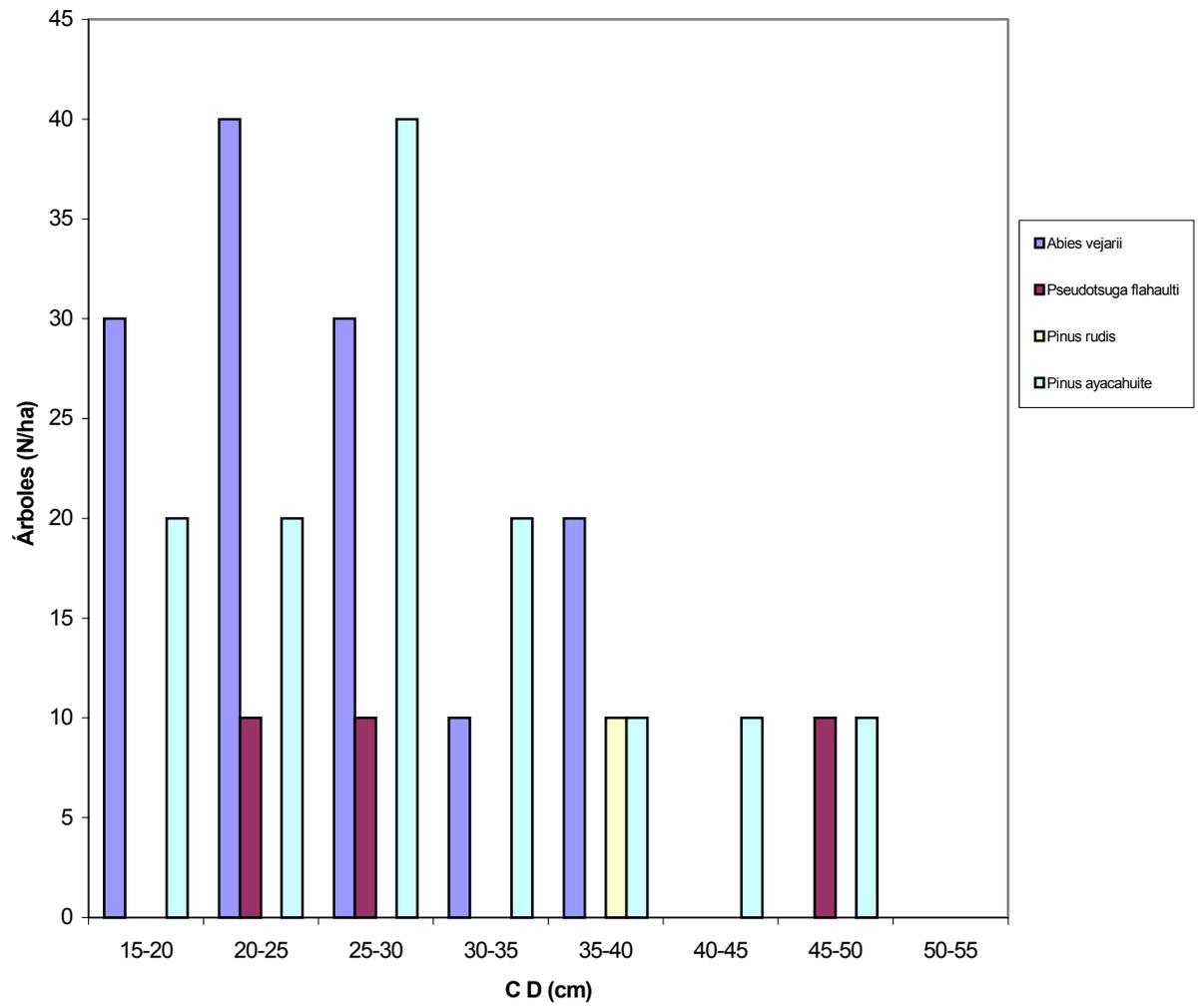


Figura 4. Frecuencia diamétrica del rodal III

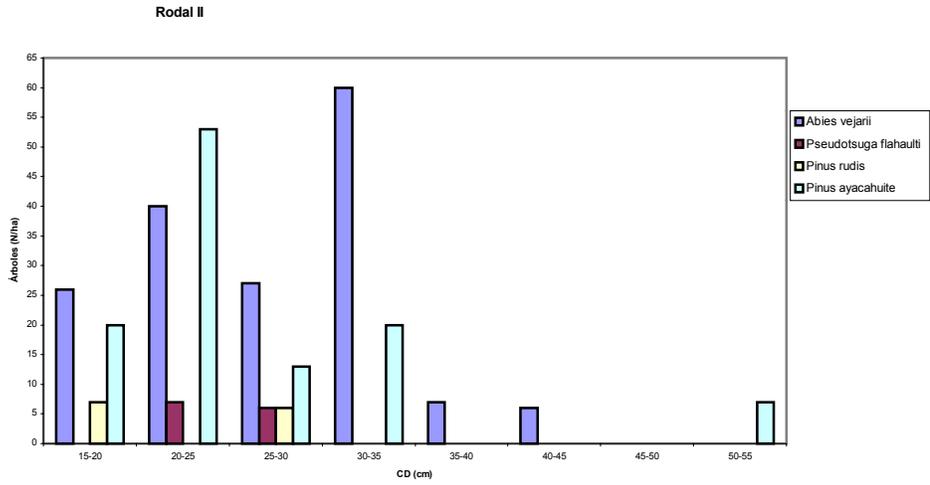


Figura 5. Frecuencia diamétrica del rodal II

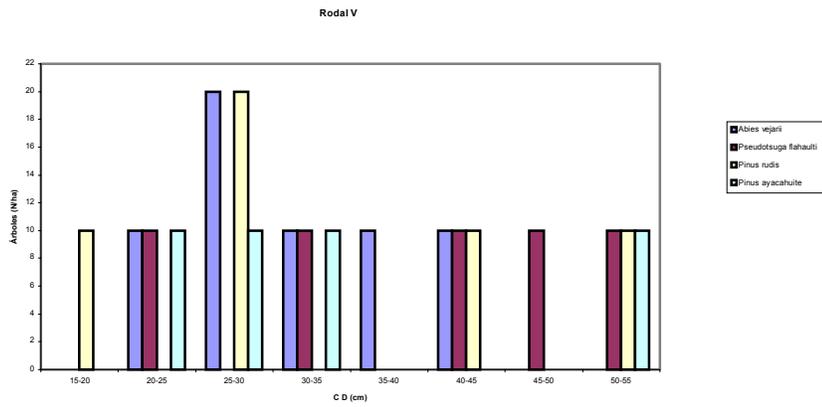


Figura 6. Frecuencia diamétrica del rodal V

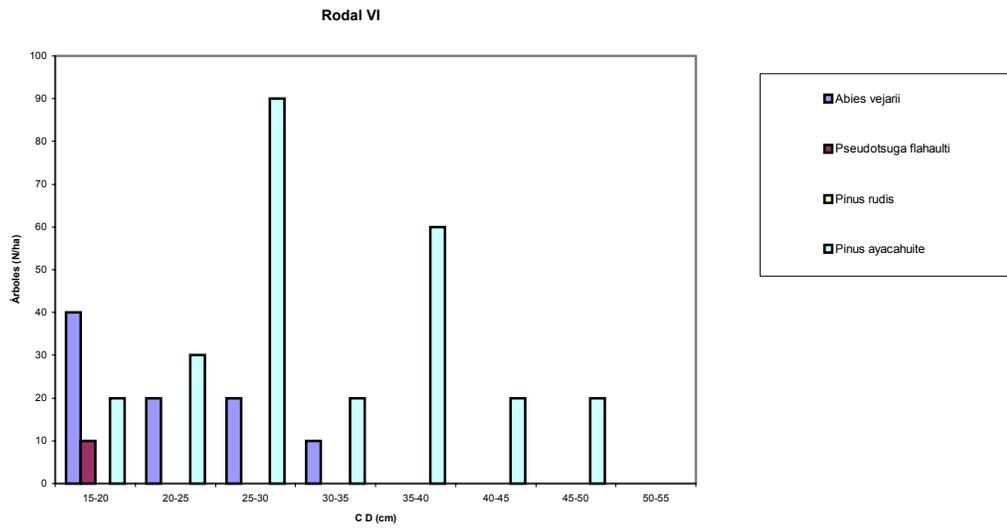


Figura 7. Frecuencia diamétrica del rodal VI

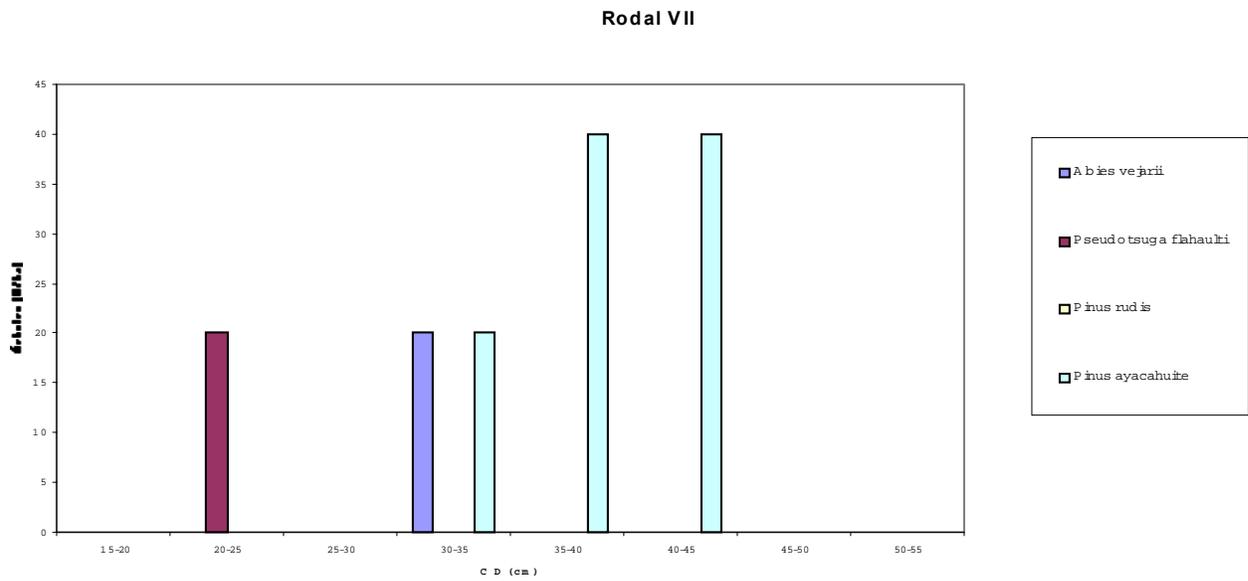
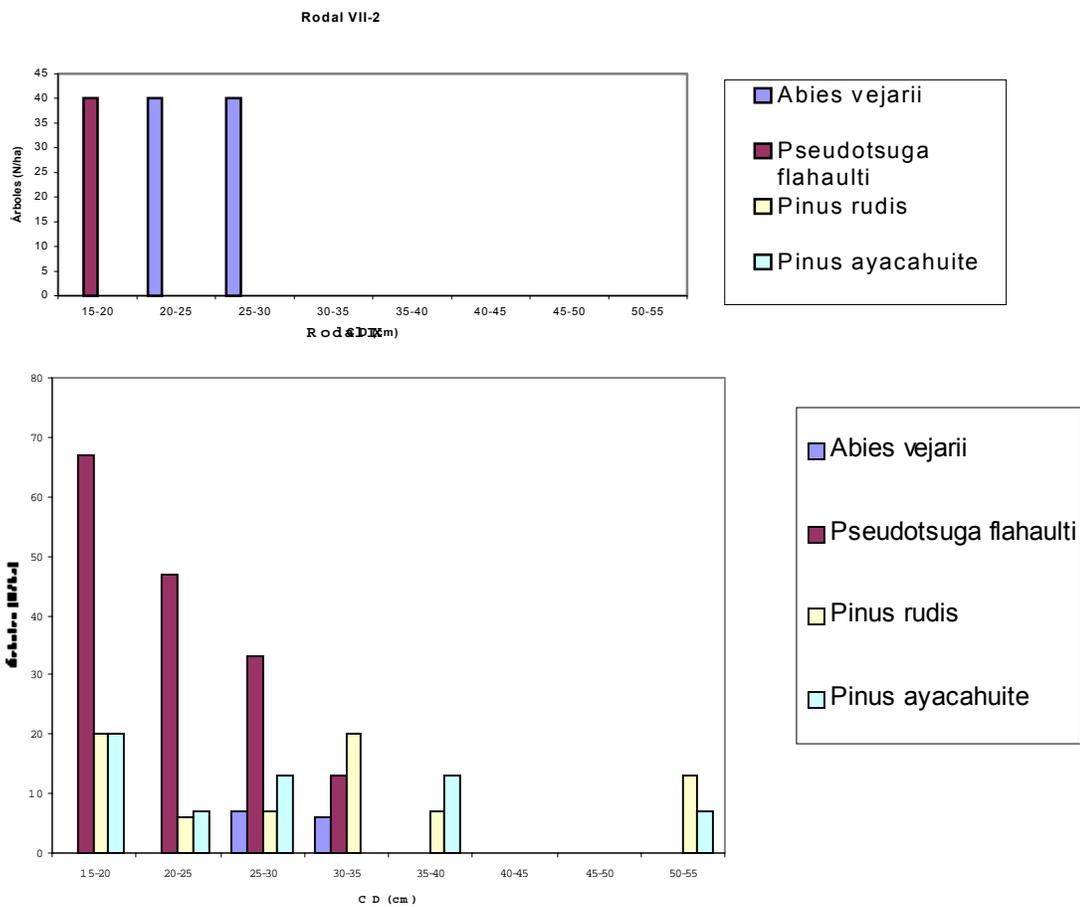


Figura 8. Frecuencia diamétrica del rodal VII

Figura 9. Frecuencia diamétrica del rodal VII-2

Figura 10. Frecuencia diamétrica del rodal IX



Rodal IX-2

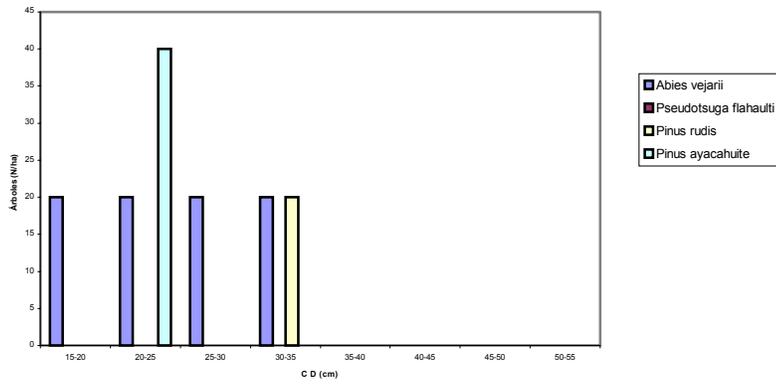


Figura 11. Frecuencia diamétrica del rodal IX-2

Rodal X

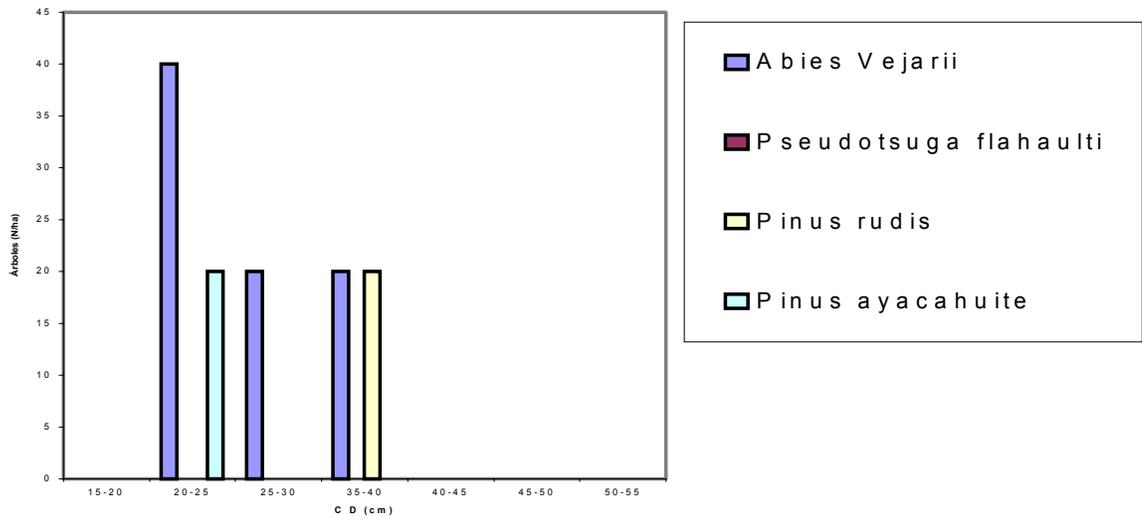


Figura 12. Frecuencia diamétrica del rodal X

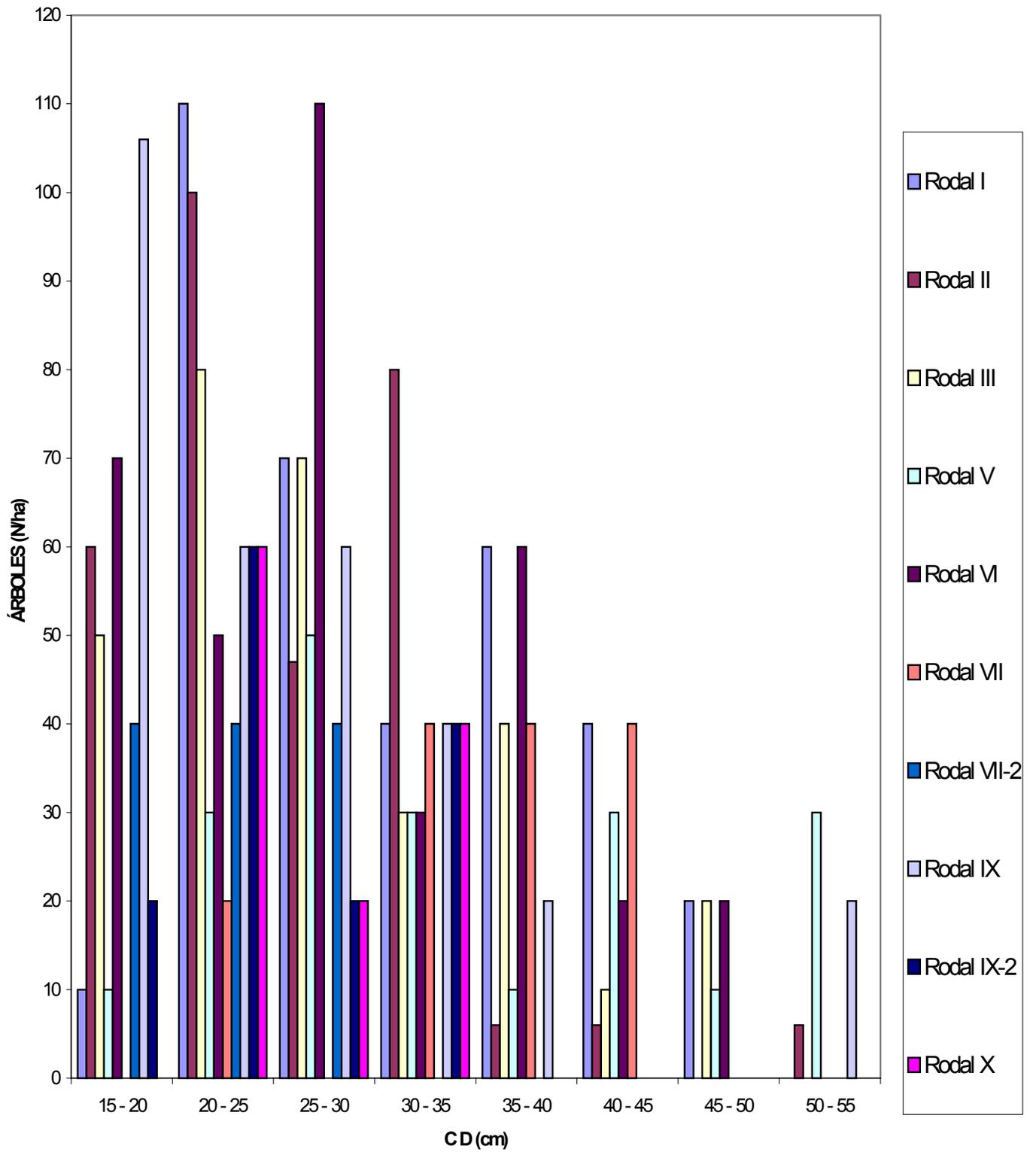


Figura 13. Frecuencia diamétrica general del área de estudio.

En la gráfica anterior se observa que los rodales I, II y III tienen concentrados en la categoría diamétrica de 20-25 cm con 110, 100 y 80 árboles/ha, respectivamente. En los rodales V y VI tienen un alto valor en la categoría diamétrica 25-30 cm presentando 50 y 110 árboles/ha.

En el rodal VII existen diámetros de 30 a 45 cm con un total de 120 árboles/ha mientras el rodal VII-2 tiene diámetros de 15-30 cm con 120 árboles/ha. En tanto, que no hay árboles de diámetros superiores a 30 cm.

El rodal IX en la categoría diamétrica de 15-20 cm presenta de todos los rodales el mayor con 106 árboles/ha. También no tiene árboles de diámetros mayores de 40 cm.

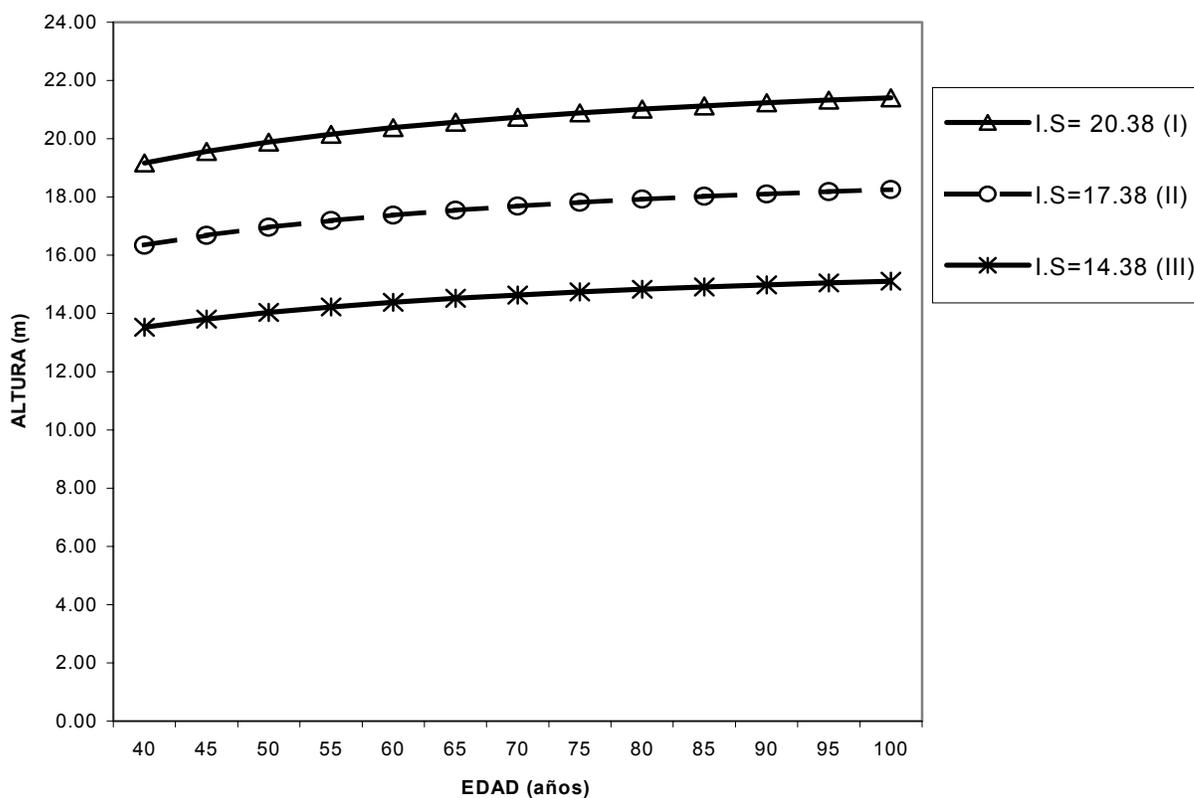
Los rodales IX-2 y X tienen la mayor dominancia en la categoría diamétrica 20-25 cm con 60 árboles/ha, ambos no presentan diámetros mayores a 35 cm.

Índice de sitio

Índice de sitio de *Abies vejarii*

El modelo que mejor comportamiento tuvo en cuanto a la relación altura-edad (H -T) fue el de Schumacher que se exponen a continuación: $H = \exp(a_0 + a_1/T)$.

Con la siguiente ecuación: $H = \exp((2.978057) + (-7.363932)/T)$



I, II, III =Productividad; I.S.=índice de sitio.

Figura 14. Curvas anamórficas de productividad e índice de sitio para *Abies vejarii* a una edad base de 60 años.

Cuadro 12. Edad - altura de acuerdo a su índice de sitio de *Abies vejarii*.

EDAD	I. S (m)	I. S (m)	I. S (m)
40	19.17	16.35	13.52
45	19.56	16.68	13.80
50	19.89	16.96	14.03
55	20.15	17.19	14.22
60	20.38	17.38	14.38
65	20.57	17.54	14.52
70	20.74	17.69	14.63
75	20.89	17.81	14.74
80	21.02	17.92	14.83
85	21.13	18.02	14.91
90	21.23	18.11	14.98
95	21.32	18.18	15.05
100	21.41	18.25	15.10

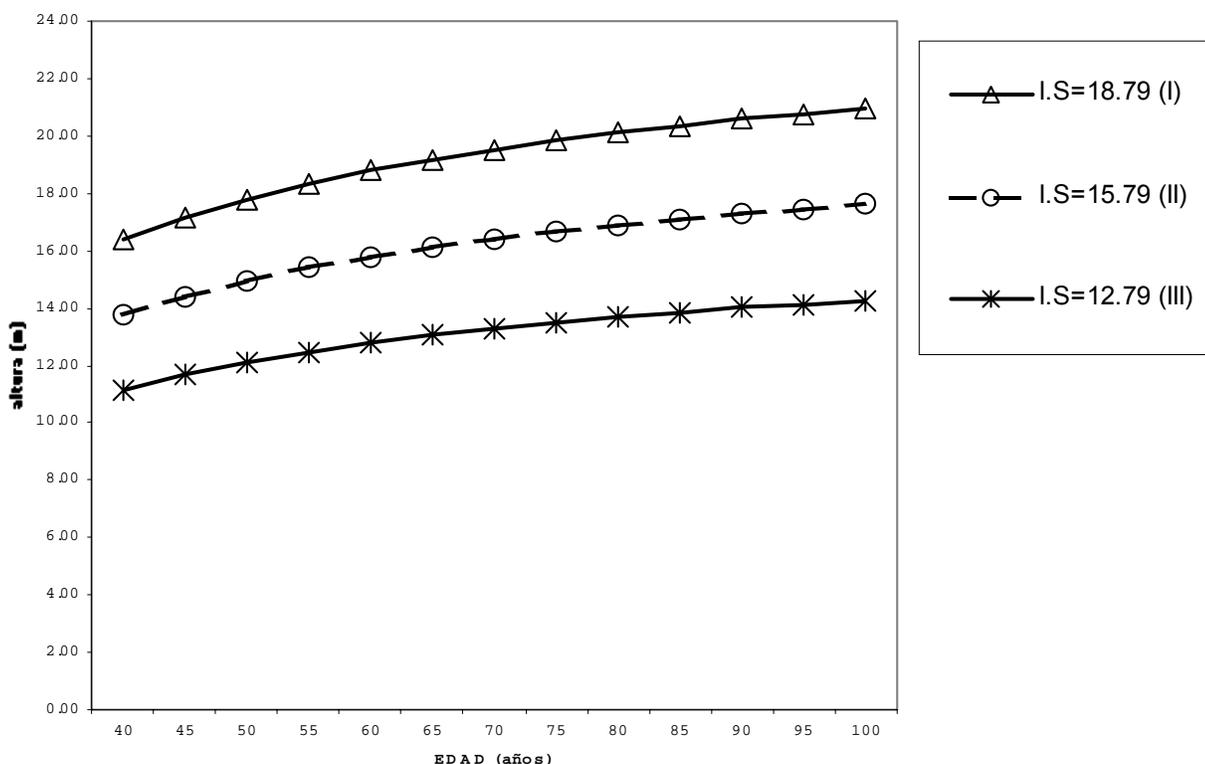
Cuadro 13. Productividad e índice de sitio de *Abies vejarii*

Rodales	Edad media (años)	Altura media (m)	I.S (m) Edad base (60 años)	Productividad
I	45	18.5	20.38	I
II	59	17.33	17.38	II
III	55	17.5	17.38	II
V	71	18	17.38	II
VI	52	20.5	20.38	I
VII	58	15	14.38	III
VII-2	51	17	17.38	II
IX	62	15	14.38	III
IX-2	66	17	17.38	II
X	70	16	14.38	III

En el cuadro 13 se observa, que los rodales I y VI presenta una productividad alta (I.S=20.38 m); mientras que los rodales II, III, V, VII-2 y IX-2, presentan una productividad media (I.S=17.38) y los rodales VII, IX y X, presentan una productividad baja (I.S=14.38).

Índice de sitio de *Pseudotsuga flahaulti*

El modelo que presentó mejor comportamiento en la relación altura-edad fue también el de Schumacher, derivándose la siguiente ecuación $H = \exp((3.032499) + (-16.3909)/T)$



I, II, III =Productividad; I.S= índice de sitio.

Figura 15. Curvas anamórficas de productividad e índice de sitio de *Pseudotsuga flahaulti* a una edad base de 60 años.

Cuadro 14. Edad - altura de acuerdo a su índice de sitio de *Pseudotsuga flahaulti*.

Edad	I. S (m)	I. S. (m)	I. S (m)
40	16.39	13.77	11.16
45	17.15	14.41	11.68
50	17.79	14.95	12.11
55	18.33	15.40	12.48
60	18.79	15.79	12.79
65	19.19	16.12	13.06
70	19.54	16.42	13.30
75	19.84	16.68	13.51
80	20.12	16.91	13.69
85	20.36	17.11	13.86
90	20.58	17.29	14.01
95	20.78	17.46	14.14
100	20.96	17.61	14.27

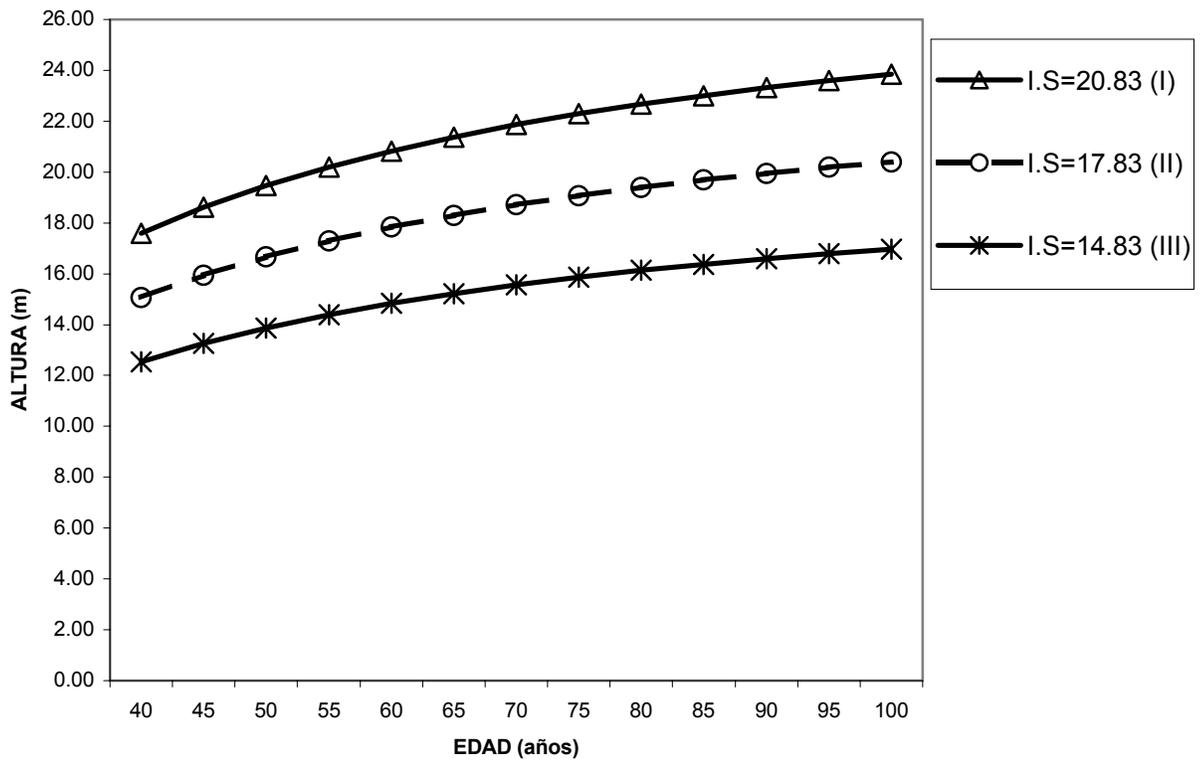
Cuadro 15. Productividad e índice de sitio de *Pseudotsuga flahaulti*

Rodales	Edad media (años)	Altura media (m)	I.S (m) Edad base (60 años).	Productividad
I	52	18.25	18.79	I
III	48	13	12.79	III
V	109	16.33	15.79	II
IX	59	17	15.79	II

En el Cuadro XV se presentan los tres índices de sitio, observándose que el rodal I, presenta una productividad alta (I.S=18.79 m); los rodales IX y V, tienen una productividad media (I.S=15.79 m) y el rodal III, presenta una productividad baja (I.S=12.79).

índice de sitio de *Pinus rudis*

En la relación altura-edad (H-T) el modelo que presentó mejor comportamiento fue el de Schumacher, derivándose la siguiente ecuación: $H = \exp((3.218387) + (-20.25041)/T)$.



I, II, III= Productividad; I.S.= índice de sitio.

Figura 16. Curvas anamórficas de productividad e índice de sitio para *Pinus rudis* a una edad base de 60 años.

Cuadro 16. Edad – altura de acuerdo a su índice de sitio de *Pinus rudis*.

Edad	I. S (m)	I. S (m)	I. S (m)
40	17.60	15.06	12.53
45	18.61	15.93	13.25
50	19.47	16.67	13.86
55	20.20	17.29	14.38
60	20.83	17.83	14.83
65	21.38	18.30	15.22
70	21.86	18.71	15.56
75	22.28	19.08	15.87
80	22.66	19.40	16.14
85	23.00	19.69	16.38
90	23.31	19.95	16.60
95	23.59	20.19	16.79
100	23.84	20.41	16.97

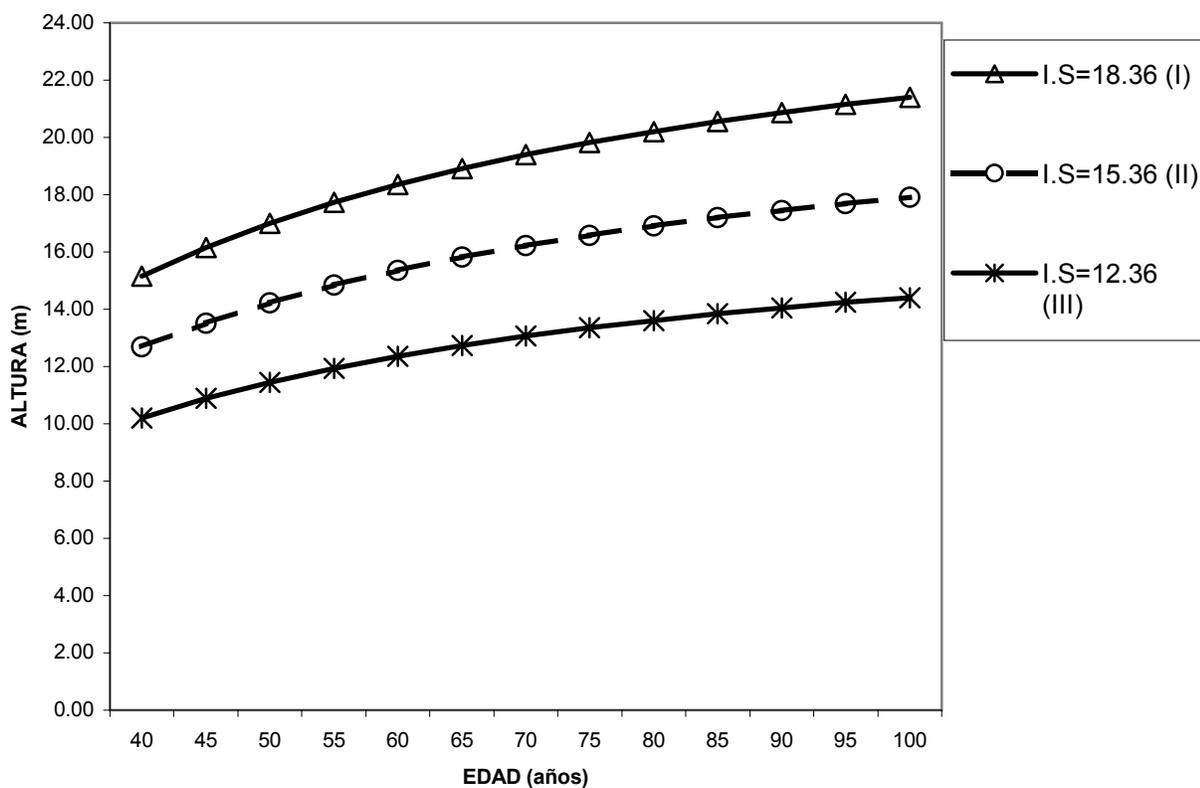
Cuadro 17. Productividad e índices de sitio de *Pinus rudis*

Rodales	Edad media (años)	Altura media (m)	I. S (m) Edad base (60 años)	Productividad
I	63	18.5	17.83	II
II	59	15	14.83	III
V	60	18	17.83	II
IX	60	18	17.83	II
X	62	17	17.83	II

En el cuadro 17 se observa que los rodales I, V, IX y X presentan una productividad media (I.S=17.83 m), en tanto que, el rodal II tiene una productividad baja (I.S=14.83 m).

Índice de sitio de *Pinus ayacahuite*

El modelo que presentó mejor comportamiento en la relación altura-edad (H-T) fue el de Schumacher, derivándose la siguiente ecuación: $H = \exp((3.115189) + (23.00226)/T)$.



I, II, III=Productividad; I.S= índice de sitio

Figura 17. Curvas anamórficas de productividad e índice de sitio para *Pinus ayacahuite* a una edad base de 60 años.

Cuadro 18: Edad - altura de acuerdo a su índice de sitio de *Pinus ayacahuite*.

Edad	I. S I	I. S II	I. S III
40	15.16	12.68	10.20
45	16.16	13.52	10.88
50	17.01	14.23	11.45
55	17.73	14.83	11.94
60	18.36	15.36	12.36
65	18.91	15.82	12.73
70	19.39	16.23	13.06
75	19.82	16.58	13.35
80	20.21	16.91	13.60
85	20.55	17.19	13.84
90	20.86	17.45	14.05
95	21.15	17.69	14.24
100	21.40	17.91	14.41

Cuadro 19. Productividad e índices de sitio de *Pinus ayacahuite*

Rodales	Edad media (años)	Altura media (m)	I.S (m) Edad base (60 años)	Productividad
I	50	13.67	15.36	II
II	54	14.5	15.36	II
III	47	13.40	15.36	II
VI	52	14.88	15.36	II
VII	84	17	15.36	II
IX	68	18	15.36	II

En el cuadro XIX se observa que los rodales I, II, III VI, VII y IX; tienen una productividad media(I.S=15.36 m).

DISCUSIÓN

El ajuste del modelo de Schumacher en todas las especies investigadas fué bajo, considerando el coeficiente de determinación obtenidos en el procesamiento estadístico de la información. Lo anterior se explica por la ausencia de datos en altura-edad en las primeras etapas de desarrollo de los rodales mixtos irregulares, en los cuales se observó una predominancia de árboles maduros con edades a partir de 40 años, predominantemente. Para los rangos de datos disponibles, el modelo Schumacher resultó sin embargo, ser el más adecuado desde el punto de vista biológico. Dado que el objetivo del trabajo es reproducir adecuadamente este proceso de crecimiento, se atendió predominantemente al ajuste gráfico del modelo.

En el rodal VI *Abies vejarii* destacando una productividad alta (I) lo cual se atribuye que la mayor parte del rodal se encuentra en gran parte, en la exposición norte. Por lo tanto, existe más humedad y conservación de la misma. La especie se desarrolla bien en este tipo de condiciones.

El rodal I se encuentra cubriendo la mayor parte de la superficie en la exposición suroeste, donde *Pseudotsuga flahaulti* presenta una condición de productividad (I), lo cual sugiere que esta especie se desarrolla mejor en suelos con menor grado de humedad, que reciben los rayos solares más directamente, comparados con la exposición norte.

En los rodales I, V, IX y X donde *Pinus rudis* presenta una condición de productividad media (II) deduciendose que se desarrolla mejor en suelos con menor humedad que en suelos húmedos, como los que se encuentran en exposiciones norte y noroeste, donde no se presentan en forma considerable.

En el rodal II y VI donde *Pinus ayacahuite* abunda, presenta una con condición de productividad media (II), al igual que *Abies vejarii* se encuentran ubicados en exposiciones noroeste y norte, mostrando que abunda mejor en suelos donde hay más humedad debido a que se recibe menor radiación solar durante el día.

En cuanto a la hipótesis formulada se rechaza H_0 , porque si se mostró diferencias en los rodales en productividad.

V. CONCLUSIONES

La caracterización dasométrica de los bosques permite cuantificar el recurso forestal a fin de generar estrategias de manejo forestal sustentable.

La caracterización dasométrica de los bosques posibilita tomar decisiones acerca de los tratamientos silvícolas más adecuados, a partir de la condición inicial y los objetivos de manejo establecidos a corto, mediano y largo plazo

La cuantificación diamétrica permite observar, la distribución de los diámetros en los rodales bajo estudio (estructuras diamétricas) y generar indicadores de la sustentabilidad, que servirán para tomar decisiones para el manejo del recurso forestal.

El modelo Schumacher fue el que mejor comportamiento presentó en la estimación cuantitativa de la relación altura-edad en las especies bajo estudio: *Abies vejarii*, *Pseudotsuga flahauti*, *Pinus rudis* y *Pinus ayacahuite*.

La estimación de la productividad de los rodales naturales investigados permitió predecir la altura que tendrán en el futuro, así como realizar comparaciones entre los mismos, de acuerdo a sus condiciones del sitio (suelo, exposición, pendiente, humedad en el suelo).

Los estudios de productividad en bosques naturales permiten definir la intensidad del tratamiento silvícola propuesto, estableciendo una relación entre el incremento anual y la posibilidad de cosecha sustentable.

El presente trabajo constituye una alternativa para la evaluación de la productividad en bosques mixtos irregulares.

VI. RECOMENDACIONES

El ajuste grafico se recomienda en los bosque mixtos irregules, cuando se analiza la productividad con la metodología del taladro de incremento, principalmente cuando se obtiene muestras de árboles dominantes.

Literatura citada.

- Arteaga, M. B. 1988. Factores del sitio que influyen en la productividad de *Pinus Patula* Schl. en la región Chignahuapan - Zacatlan, Puebla. *Agrociencia*. 72: 121-131.
- Arteaga, M. B., M. Angel M y A. Trinidad S. 1988. Índice sitio para *Pinus patula* Schl. en la región Chignahuapan - Zacatlan, Puebla. *Agrociencia*. 72: 133-141.
- Avendaño A., H. S. 1991. Determinación del tamaño óptimo de sitio de muestreo en un bosque de coníferas en la sierra de Arteaga, Coah. Tesis profesional. División de Agronomía, U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coah. 65 p.
- Aguilar, R. M. Y D. Aguilar S. 1991. Determinación de la calidad de estación en los Bosques de la comunidad indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán. *Ciencia Forestal*. 16 (69): 35-57.
- Aguilar, R. M. 1991. Comparación de cuatro modelos Matemáticos aplicados al Crecimiento Forestal. *Ciencia Forestal*. 16 (70): 87-108.
- Arellano, A. R., J. D. Benavides. S. y E. Talvera, Z. 1990. Estudio sobre plantas indicadoras de calidad de estación en la sierra de Tapalpa, Jalisco. *Ciencia Forestal*. 15 (67): 89 -110.
- Aguirre C., O. A y Kramer, H. 1990. Observaciones sobre el crecimiento de los bosques en el mundo. Reporte científico No. 17. Facultad de Ciencias Forestales, Linares, N. L.
- Aguirre C., O.A. 1991. Elaboración de tablas de producción en base a parcelas temporales de muestreo. *Investigación Agraria Sistemas y Recursos Forestales I*: 61-67
- Aguirre C., O. A., J. Jiménez P., E. J. Treviño G. y B. Meraz A. 1997. Evaluación de diversos tamaños de sitio de muestreo en inventarios forestales. *Madera y Bosques* 3(1): 71 - 79.
- Aguirre C., O. A., J. Jiménez P y H. Kramer. 2001. Estimación de la Productividad En Bosques Irregulares de *Pinus teocote* Schl. Cham. V Congreso Mexicano de Recursos Forestales. Guadalajara, Jalisco, México. 449 p.

- Benavides S., J. D. 1991. Índice de sitio para estimar la calidad de sitio en bosque de Coníferas. *Ciencia Forestal*. 16 (69): 3-33.
- Benavides S., J. D. y H. Manzanilla B. 1993. Estimación de Calidad de sitio de *Pinus michoacana* Cornuta Martínez y *Pinus oocarpa* Schiede, para el A. D. F. Tapalpa, Estado de Jalisco. *Ciencia Forestal*. 18 (74):121-138.
- Bojorges S., J. A., R. Maldonado H. y A. M. Fierros G. 1991. Índice de sitio para Oyamel en Zoquiapan, México. *Revista Chapingo*.15(75): 158-161.
- Capó A., M. A. 1972. Observaciones sobre la taxonomía y distribución de las Coníferas de Nuevo León, México. Tesis profesional. UANL. Monterrey, N. L. 190 p.
- Clutter, J.L.,J. C., Forston, L. V., Pienar y G. H. Brister.1983. *Timber Management: A quantitative approach*. Wiley & Son Co. New York. 333 p.
- Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL) 1977. Carta Edafológica. G14C35, San Antonio de las Alazanas, Escala 1: 50,000. S.P.P. México.
- Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL) 1977. Carta Topográfica. G14C35, San Antonio de las Alazanas, Escala 1: 50,000. S.P.P. México.
- Daniel, P. W., J. A. Helms, y F. S. Baker. 1982. *Principios de Silvicultura*. 2ª Edición. Ed. McGraw - Hill. México. 429 p.
- Domínguez A., F. A. 1991. Nueva localidad para *Abies vejari* Martínez. *Ciencia Forestal*. 16 (70): 60-71
- De la fuente, E. A. 2001. Determinación de índices de sitio para *Pinus rudis* Endl. de Pueblos Mancomunados, Ixtlan, Oaxaca. V Congreso Mexicano de Recursos Forestales. Guadalajara, Jalisco, México. 449 p.
- Franco A., R.C. 1997. Tabla de producción para *Pinus rudis* Endl. En Arteaga, Coahuila. Tesis profesional. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coah. 103 p.
- Franco A., R.C. 2001. Índice de sitio para *Pinus montezumaea* Lam y su Asociación con variables del Clima, Fisiografía, Físico - Químicas del Suelo y Vegetación. En Cd. Hidalgo, Michoacán. Tesis de Maestría en Ciencias. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coah. 111 p.
- Klepac, D. 1983. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. 2ª Edición. UACH. México. 365 p.
- Madrigal, H. S. y H. M. Ramírez. 1995. Comparación de nueve modelos empíricos Para la determinación de índice de sitio en Michoacán. *Ciencia Forestal*.

20 (78): 35 - 56.

- Madrigal, H. S y Ch. J. Moreno. Comparación de dos métodos de construcción de curvas de índice de sitio para *Pinus pseudostrobus* Lindl. En la región Hidalgo- Zinapecuaro de Michoacan. V Congreso Mexicano de Recursos Forestales. Guadalajara, Jalisco, México. 449 p.
- Monroy, R., C. R. 1996. Índice de sitio para *Pinus patula* Schl. et Cham. En la región de Huayacocotla, Estado de Veracruz. Ciencia Forestal. 21(80): 57-76.
- Narváez, F. R. 1992. Suelo - Calidad de Estación en el Área Experimental Forestal Madera, Chihuahua. Ciencia Forestal. 17 (71): 3 - 26.
- Orantes G., F. R. y M. A. Musálem S. 1982. Determinación de calidad de estación de *Pinus hartwegii* Lind. En Zoquiapan, México. Ciencia Forestal. 7 (35): 3 -20.
- Prodan M.; Peter R.; Cox F.; Real P.1997.Mensura Forestal, serie de Investigación y educación en desarrollo sostenible, ICA BMZ/gtz 551 P.
- Quiñones B., M. A. 2000. Caracterización Silvícola y Estructural de rodales *Pinus Pseudostrobus* Lindl. En el sur de Nuevo León. Tesis de Maestría en Ciencias. UANL. Linares Nuevo León. 93 p.
- Quiñones, Ch. A., R. Alemán V y R. Trujillo R. 2001. Determinación de la calidad de sitio para *Pinus cooperi* Blanco. en Durango. V Congreso Mexicano de Recursos Forestales. Guadalajara, Jalisco, México. 449 p.
- Torres R., J. M. 2001. Evaluación de la productividad de rodales multiespecíficos con funciones de distancia. V Congreso Mexicano de Recursos Forestales. Guadalajara, Jalisco, México. 449 p.

