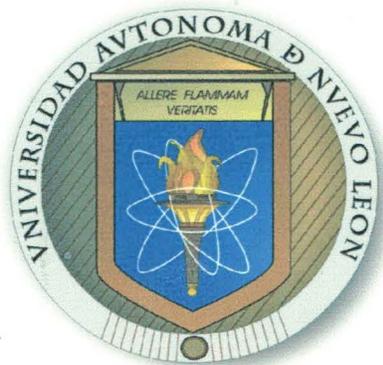


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



**“ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y FOLIAR EN ECOSISTEMAS
MULTICOHORTALES DEL NORTE DE MÉXICO”**

TESIS DE MAestrÍA

Como requisito parcial para obtener el grado de
MAestrÍA EN CIENCIAS FORESTALES

PRESENTA:
ING. REGINA PÉREZ DOMÍNGUEZ

CABU: FT



1020149398

uevo León, México

Enero de 2004

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

“ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y FOLIAR EN ECOSISTEMAS
MULTICOHORTALES DEL NORTE DE MÉXICO”

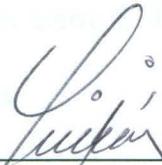
TESIS

Para obtener el grado de
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES

Presenta:

ING. REGINA PÉREZ DOMÍNGUEZ

COMITÉ DE TESIS



Dr. Javier Jiménez Pérez

Director



Dr. Oscar Aguirre Calderón

Secretario



Dr. Enrique Jurado Ybarra

Vocal

Linares, Nuevo León, México

Enero de 2004

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo general	2
1.2. Objetivos específicos	2
2. ANTECEDENTES	3
2.1. Ecosistemas forestales	3
2.2. Estructura de ecosistemas forestales	4
2.1.1. Caracterización de ecosistemas forestales	8
2.1.2. Distribución horizontal	10
2.1.3. Distribución vertical	10
2.3. Estructura del área foliar	11
2.3.1. Importancia del estudio de las copas	13
2.3.2. Funciones de las copas	14
2.3.3. Representaciones de la forma de copa	15
2.3.4. Impactos fisiológicos de la copa	16
2.3.5. Distribución vertical de las copas	17
2.3.6. Índice de área foliar	18
3. MATERIALES Y MÉTODOS	20
3.1. Descripción general del área de estudio	20
3.1.1. Localización del área de estudio	20
3.2. Descripción general del Cerro El Potosí	21
3.2.1. Fisiografía	21
3.2.2. Geología y suelos	22
3.2.3. Clima	22
3.2.4. Vegetación	23
3.3. Descripción general de Sierra La Marta	24
3.3.1. Fisiografía	24
3.3.2. Geología y suelos	24
3.3.3. Clima	24
3.3.4. Vegetación	25
3.4. Descripción de las especies	26
3.4.1. <i>Abies vejari</i>	26
3.4.2. <i>Pseudotsuga menziesii</i>	27
3.4.3. <i>Pinus ayacahuite</i>	28
3.4.4. <i>Pinus hartwegii</i>	28
3.5. Metodología	29

3.5.1. Inventario forestal	29
3.5.2. Muestreo de los cuatro árboles	32
3.5.3. Diferenciación dimensional	32
3.5.3.1. Diferenciación diamétrica	33
3.5.3.2. Diferenciación en altura	35
3.5.4. Índice de distribución vertical de las especies	36
3.5.5. Análisis de copas	37
3.5.5.1. Porcentaje de copa	39
3.5.5.2. Porcentaje de longitud de intercepción lumínica	39
3.5.5.3. Índice de densidad de copa	39
3.5.5.4. Porcentaje de expansión de copa	40
3.5.5.5. Área de proyección de copa	40
3.5.5.6. Superficie de copa	40
3.5.5.7. Área de Intercepción lumínica	41
4. RESULTADOS	42
4.1. Resultados del Cerro El Potosí	42
4.1.1. Valorización cuantitativa promedio	42
4.1.2. Diferenciación diamétrica	44
4.1.3. Diferenciación en altura	47
4.1.4. Distribución vertical de las especies	48
4.1.5. Análisis del estrato foliar	51
4.2. Resultados de Sierra La Marta	52
4.2.1. Valorización cuantitativa promedio	52
4.2.2. Diferenciación diamétrica	54
4.2.3. Diferenciación en altura	57
4.2.4. Distribución vertical de las especies	58
4.2.5. Análisis del estrato foliar	61
4. CONCLUSIONES	67
4. LITERATURA CITADA	

AGRADECIMIENTOS

La realización y culminación de mis estudios de Maestría fue gracias al apoyo diversas instituciones y personas, los cuales no hubiera sido posible lograr esta meta.

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el aporte brindado para la realización de mis estudios de Maestría, así como el apoyo del proyecto de investigación "Caracterización estructural del estrato arbóreo en bosques multicohortales del norte de México (33919-B)".

Al Dr. Javier Jiménez Pérez, por la dirección del presente trabajo, por el apoyo profesional, académico, moral y por sus valiosos consejos, pero principalmente por brindarme su confianza e invaluable amistad.

Al Dr. Oscar Aguirre Calderón, por su disposición y apoyo a lo largo de mi formación profesional y en la realización de este trabajo y por su valiosa amistad.

Al Dr. Enrique Jurado Ybarra, por su participación en el comité de tesis y en la realización de este trabajo con sus comentarios, sugerencias y observaciones.

A todos los profesores de esta Facultad que formaron parte de mi formación profesional, gracias a sus conocimientos transmitidos durante el transcurso de la Maestría.

A todos mis compañeros estudiantes de la Facultad con los que tuve la dicha de compartir momentos mis agradables.

A Dora García, Juan Luis Ruiz, Eduardo Alanís, Marco González, Claudio, Eduardo Aguirre, Félix Cervantes por su apoyo en la realización de este trabajo.

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo primordial el definir la estructura y características dasométricas en especies arbóreas en un ecosistema forestal mixto. La investigación se llevó a cabo en el Cerro El Potosí y Sierra La Marta. La metodología utilizada consistió en un inventario de la población total, donde en el Cerro El Potosí se evaluó una superficie de 1.24 ha, mientras que en Sierra La Marta se inventarió una superficie de una hectárea. A partir de este inventario se utilizó un muestreo sistemático, denominado grupo estructural de los cuatro árboles. Con la información obtenida del inventario forestal se determinó el número de individuos por hectárea, edad promedio, altura promedio, diámetro promedio, área basal por hectárea, distribución vertical de las especies y el análisis foliar. Mientras que con el muestreo sistemático se determinó la diferenciación en altura y en diámetro. Los resultados mostraron que en el Cerro El Potosí *Abies vejari* y *Pinus ayacahuite* fueron las especies más abundantes, mientras que *Pinus hartwegii* fue la especie con que presentó los valores mayores tanto en edad promedio como en diámetro y altura promedio. En lo referente a la diferenciación en diámetro la población muestra una tendencia hacia la homogeneidad, mientras que en diferenciación de altura esta muestra una tendencia hacia la heterogeneidad. En el análisis foliar se encontró que el estrato II presentó un mayor porcentaje de copa (73%).

En el área de estudio de Sierra La Marta *Pinus hartwegii* fue la especie más abundante y con los valores mayores en edad, diámetro y altura promedio. En la diferenciación en diámetro se observó que la población presenta una tendencia hacia la heterogeneidad, mientras que en la diferenciación en altura

esta presenta una tendencia hacia la homogeneidad. En la distribución vertical de los individuos el 70% de estos se encuentran ubicados en el estrato II. En el análisis foliar el estrato I mostró los mayores valores en la variables medidas.

En la comparación del Cerro El Potosí y Sierra La Marta, ésta última fue la que presentó los valores superiores en lo referente a la edad promedio, altura promedio, diámetro promedio y área basal por hectárea. En la diferenciación en diámetro el Cerro El Potosí mostró una tendencia hacia la homogeneidad mientras que Sierra La Marta presentó una tendencia hacia la heterogeneidad. En la diferenciación en altura ambas áreas presentaron una tendencias hacia la homogeneidad. El análisis foliar mostró que Sierra La Marta obtuvo los mayores valores por lo que se le considera que se encuentra en un mejor estado, con menores disturbios y mejor calidad de sitio.

ABSTRACT

The main objective of this research is to define the structure and the dasometric characteristics in tree species in a mixed forest ecosystem. This work was realized in the Cerro El Potosí and Sierra La Marta. The methodology was an inventory of the population, where in the Cerro El Potosí was evaluated 1.24 ha, while in Sierra La Marta was one hectare. After the inventory we used a systematic sampling, called structural group of four trees. With the inventory information was determined number of trees, age average, height average, diameter average, basal area average, vertical distribution and crown analysis. With the systematic sampling was determined the height and diameter differentiation. The results showed that in the Cerro El Potosí *Abies vejari* and *Pinus ayacahuite* were the most abundant species, while *Pinus hartwegii* was the species with the highest values of age, diameter and height. In diameter differentiation the population showed a tendency to homogeneity and in height differentiation showed a tendency to the heterogeneity. In the crown analysis was found that the strata I presented the highest crown percent (73%).

In Sierra La Marta *Pinus hartwegii* was the species with the most abundance and the highest values of age, diameter, and height. In diameter differentiation the population present a tendency to the heterogeneity, while in height differentiation this present a tendency to homogeneity. In vertical distribution 70% of the trees were located in strata II. In crown analysis strata I showed the highest values in the measure variables.

En the comparison between Cerro El Potosí and Sierra La Marta, the last one was the area that presented the superior values in age, height, diameter and

1. INTRODUCCIÓN

Los bosques templados son ecosistemas que han tenido una mayor alteración en nuestro país, debido a que hace décadas se ha efectuado un uso irracional de los productos que el bosque ofrece. Esto ha traído consigo una disminución o pérdida de los bosques templados. Los ecosistemas con mayor riqueza de especies de flora y fauna son los bosques de coníferas y encino.

Un gran número de especies se encuentra en riesgo de extinción y su ecología es muy diversa. La escala espacial y temporal a la que estas especies responden a la degradación del medio, varía en su magnitud y la respuesta de cada una de las especies es diferente.

Es importante conocer que la heterogeneidad espacial y temporal y complejidad son elementos críticos en la función de los ecosistemas, por lo que los procesos que mantienen esta heterogeneidad y diversidad de especies deben ser conservados.

Aguirre *et al.* (1998) y Jiménez *et al.* (1998) mencionan la necesidad de generar metodologías cuantitativas para el análisis estructural de ecosistemas mixtos con énfasis en el estrato arbóreo, a través de la integración de índices estructurales desarrollados, parámetros dasométricos, convencionalmente empleados para la evaluación de tales ecosistemas y finalmente, factores físicos de la localidad objeto de estudio.

HIPÓTESIS

El análisis estructural, mediante la aplicación de indicadores ecológicos, permite el conocimiento biológico sobre los ecosistemas forestales mixtos.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Definición de la estructura y las características dasométricas en especies arbóreas en un ecosistema forestal mixto.

1.2 OBEJTIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinación de las características dasométricas de las copas en diversos estratos del ecosistema forestal.
2. Estimación de la distribución vertical de especies en los distintos estratos arbóreos.
3. Caracterización de la estructura arbórea de un ecosistema forestal mixto.
4. Determinación de la estructura foliar en especies de coníferas.
5. Comparación de dos ecosistemas mixtos de coníferas.

2. ANTECEDENTES

2.1 Ecosistemas forestales

Actualmente los estudios enfocados a la conservación implican el análisis de las comunidades, para lograr un mejor entendimiento de las interacciones biológicas.

Desde el punto de vista de manejo de recursos naturales es importante conocer los factores naturales y los factores inducidos que influyen en la productividad, con la finalidad de sustentar y lograr la sustentabilidad de los ecosistemas forestales.

Miura *et al.* (2001) mencionan que los estudios a una reducida escala temporal dan estimaciones equívocas de la cobertura vegetal forestal y la dinámica de las comunidades, debido a los efectos en los eventos raros o episódicos, los cuales no son considerados; por lo que es necesario llevar a cabo estudios a gran escala o de tiempo prolongado, con la finalidad de que puedan tener un monitoreo.

Zenner *et al.* en el 2000 subrayan que la estructura de ecosistemas forestales se ha convertido en un factor determinante en el análisis y manejo de los mismos. Las características estructurales presentan una gran utilidad para definir los requerimientos de nicho de las especies silvestres, examinar la heterogeneidad espacial y la dinámica temporal de la vegetación que se encuentra en el estrato bajo, investigar los patrones de regeneración y

dinámica, explicar la variación microclimática y predecir la producción del bosque.

Spies (1998) describe a los bosques como sistemas tridimensionales, donde la estructura física tiene un papel preponderante tanto en la función como en la diversidad de los ecosistemas.

La información sobre los recursos forestales es cada vez más necesaria a escalas menores para aplicaciones operacionales y estratégicas, donde se deben incluir indicadores de monitoreo, manejo forestal, planeación de las operaciones de productividad, implementación prescripciones silviculturales y mantenimiento de la biodiversidad.

El cambio del manejo forestal de nivel bosque a nivel ecosistema, a hecho que la sustentabilidad en los componentes del ecosistema forestal se convierta en un objetivo primordial. Un componente integral en los ecosistemas es mantener la integridad de los sistemas, el cual incluye composición y diversidad de especies (Kaufmann *et al.*, 1994).

2.2 Estructura de los ecosistemas forestales

Las variaciones en la estructura de ecosistemas tienen gran influencia en los procesos ecológicos tales como; dispersión, sobrevivencia y establecimiento de las especies, los cuales determinan la distribución y abundancia de las poblaciones en espacio y tiempo (Minchinton, 2001).

Zenner *et al.* (2000) describen la estructura de los ecosistemas forestales como la distribución de la biomasa en el espacio, es decir el arreglo espacial horizontal y vertical de las especies de flora, la dimensión de las plantas o la distribución de las edades que se caracteriza por la variación y la distribución de las especies e individuos en diferentes estratos de copas y clases diamétricas.

Por otra parte, los ecosistemas forestales se pueden describir por sus atributos estructurales, donde se incluyen las dimensiones de los individuos dominantes, árboles derribados y el sotobosque. Estos atributos experimentan un patrón predecible de cambio, como la edad de los rodales y en conjunto definen las etapas estructurales para los tipos de bosques. La duración de cada etapa difiere de acuerdo al tipo de ecosistema, debido a la disparidad que existe en el rango de maduración de los individuos (Schneider *et al.*, 2000).

Stevens *et al.* (2000) mencionan que la evidencia teórica y empírica sugiere que la competencia interespecífica tiene un papel preponderante en la estructura de las comunidades forestales.

Jiménez *et al.* (1999) definen la estructura como el ordenamiento específico de los elementos que se encuentran dentro de un sistema. La estructura arbórea se refiere a la distribución de las características de un individuo dentro de un rodal forestal y señalan que la estructura de un ecosistema se define por el tipo, número, ordenamiento espacial y temporal de los elementos que los constituyen. Se consideran tres elementos como los más importantes para definir los atributos estructurales de una comunidad vegetal, siendo estos: la diversidad de las especies, diferenciación dimensional y distribución espacial, elementos fundamentales en la planeación del manejo en los bosques mixtos.

Oliver y Larson (1990) definen la estructura de ecosistemas forestales como la distribución temporal y física de los árboles en un rodal, donde se incluye una descripción de la distribución horizontal y vertical, los patrones espaciales, el tamaño de los árboles o de las secciones de un árbol y la edad respectiva.

La clasificación de la estructura de ecosistemas forestales deberá estar basada en categorías y formas de distribución de los individuos. Lo anterior, como un parámetro para la determinación de la diversidad en los ecosistemas (Lähde *et al.* 1999).

El estudio de la estructura de ecosistemas forestales puede ser descrita de dos maneras; como un producto de la dinámica forestal y/o por los procesos biofísicos, siendo los cuatro componentes más importantes para el conocimiento de la estructura de ecosistemas: (1) la distribución de tamaño/edad, (2) la distribución vertical del follaje, (3) la distribución horizontal de la copa y (4) los individuos muertos; donde las mediciones más comunes son la distribución de edad y dimensión respectiva (Spies, 1998).

Una base para el manejo forestal es conocer los patrones de variación de la estructura sobre el tiempo y el espacio, con la finalidad de encontrar estrategias para sostener los bienes y servicios de un ecosistema. Stelfox (1995) menciona que la abundancia de las especies de flora y fauna está relacionada con la estructura residual que se origina de un rodal coetáneo o un rodal en desarrollo, posterior a un incendio.

A su vez, señala que la transición en los rodales a una etapa madura, es evidente con la cercanía de las copas. Los rodales maduros son tipificados por la densidad de crecimiento de árboles relativamente homogéneos y un reducido sotobosque. La clave en los cambios incluye una dispersión de las copas y un decremento en las plantas del sotobosque, la emergencia de copas de las especies secundarias, la acumulación de tocones y árboles derribados.

La cuantificación de diferentes estructuras en los ecosistemas facilita el proceso de medición, entendimiento y manejo de los recursos naturales. Un ejemplo es la utilización de las características alométricas para predecir las características de copas desde los diámetros fustales (Waring y Schlesinger, 1985).

Los cambios estructurales son el resultado de la diferencia en cantidad y distribución del follaje y cobertura en los rodales, los cuales afectan las funciones del rodal, el crecimiento de los árboles, la sustentabilidad de la vida silvestre y la diversidad de especies en el sotobosque (Latham 1996; Waring y Schlesinger 1985).

Golley (1983) describe a los ecosistemas de dos formas: cuantitativamente y cualitativamente. El término cualitativo se define como la estratificación o el patrón de los individuos en la dimensión vertical y horizontal, donde se incluye la descripción florística del bosque. El término cuantitativo se refiere a la estructura del ecosistema que ha sido desarrollado a lo largo de la vegetación, donde se considera la relación existente entre el diámetro, la altura y el área foliar. La estratificación de los ecosistemas depende de los factores biológicos y el medio ambiente, incluyendo las interacciones interespecíficas e infraespecíficas. La población de un rodal puede consistir en diferentes

especies, diferentes edades, y un amplio rango en las dimensiones de los individuos.

Franklin *et al.* (1981) describen la estructura de los ecosistemas forestales como el arreglo de sus componentes. La estructura vertical incluye los árboles del estrato superior, los individuos el estrato inferior, así como tocones, arbustos y herbáceas. La estructura horizontal corresponde al número de individuos y especies y la distribución de los mismos.

La estructura del ecosistema forestal presenta un papel importante como una área de interceptación de radiación y precipitación, hábitats especializados para ciertas especies. La estructura de estos ecosistemas pueden ser el resultado de factores abióticos tales como; el viento, incendios, sucesión o disturbio.

2.2.1 Caracterización de los ecosistemas forestales

La forma más adecuada y precisa para la descripción de un ecosistema forestal es la caracterización de las especies arbóreas, desde el punto de vista de sus dimensiones, siendo necesaria la utilización de índices o parámetros que manifiesten las características en áreas pequeñas o rodales. Uno de estos índices es el grado de diferenciación, el cual cuantifica las dimensiones de los individuos en un ecosistema forestal (Gadow *et al.*, 2001).

Otra forma de caracterizar los ecosistemas forestales es mediante sus formas estructurales, incluyendo tipo y densidad de los árboles dominantes, tipo de sotobosque y cantidad de árboles en pie y derribados.

arreglo físico y las características del bosque, el cual es un componente importante para la descripción de la estructura forestal (Franklin *et al.* 1981).

2.2.2 Distribución horizontal

Cuando se requiere comparar dos rodales forestales es necesario estudiar las variables del rodal, donde se incluye la densidad, distribución diamétrica y de altura, así como los patrones espaciales de los individuos (Zenner *et al.*, 2000).

Thomas (1996) menciona que en la determinación de la distribución horizontal se requiere de la utilización del diámetro como un sustituto en la edad de los árboles y la interpretación de la relación estática de diámetro-altura. A su vez es necesario tomar en cuenta que los cambios en las condiciones de crecimiento a través del tiempo en un sitio dado no modifiquen la relación diámetro-altura.

2.2.3 Distribución vertical

Los patrones de crecimiento en altura determinan la distribución de las especies en su desarrollo vertical y son definidas por los patrones de crecimiento de altura (Spies, 1998).

O'Hara *et al.* en 1995 mencionan que la distribución vertical de la estructura es un atributo de la estructura forestal el cual es necesaria para el manejo de los recursos forestales.

La distribución vertical del área foliar, el arreglo espacial y los cambios de copa durante el desarrollo es debido a la competencia, la mortalidad, la iniciación de

un nuevo estrato, y al crecimiento de los árboles suprimidos (Latham *et al.*, 1998).

Johnson *et al.* en 1994 definen la estratificación vertical por la ecología de regeneración de especies y su patrón de crecimiento en altura, donde refleja la tolerancia relativa de las especies a la sombra y su determinación en los distintos estratos verticales.

2.3 Estructura del área foliar

La estructura foliar se define como la disposición y cantidad de ramas y follaje en una especie vegetal. El dosel se define como la cantidad y organización de las copas en un grupo de árboles o rodal.

Ishii y Wilson en 2001 mencionan que la estructura de las copas se caracteriza por la densidad de las ramas vivas, por el número de ramas muertas y la variabilidad del tamaño de las ramas. Esto define la complejidad estructural de las copas.

El dosel forestal puede ser considerado como un sistema con un cierto grado de propia regulación, se ha propuesto que en condiciones limitadas de nutrientes, las copas de los árboles minimizan la lixiviación por medio de las hojas y las ramas y asimilan los nutrimentos de la precipitación como un mecanismo de conservación de los mismos nutrientes que puede controlar la disponibilidad para el crecimiento y producción forestal (Moreno *et al.*, 2001).

La complejidad de la estructura de copas ha sido desarrollada como resultado de la interacción entre el crecimiento del árbol y los disturbios de baja severidad en las ramas y el fuste (Ishii y Wilson, 2001).

La complejidad estructural a escala de copa de los árboles puede ser definida por la variabilidad encontrada en el tamaño de las ramas, edad, biomasa y su distribución espacial (Ishii *et al.*, 2001).

En la últimas dos décadas se han tenido grandes avances en el análisis cuantitativo de las copas (Lowman y Nadkarni, 1995). A nivel rodal, existe un especial interés sobre como las copas ocupan un espacio tridimensional del dosel y como la radiación lumínica en el sotobosque esta influenciada por la estructura. La calidad lumínica que alcanza el sotobosque es afectada por la cantidad y distribución espacial del follaje en el rodal (Von Pelt y Franklin, 2000).

Hingston *et al.* en 1998 mencionan que las copas o el dosel está representado en tres estratos. El flujo fotosintético es estimado por la radiación solar diaria, el índice de área foliar y la arquitectura de las copas. A su vez el dosel se divide en dos secciones: la absorción directa de radiación lumínica y la radiación difusa.

Spies en 1998 menciona que las copas de los árboles varían tanto horizontal como verticalmente y tienen un papel preponderante en la intercepción de la radiación lumínica, el control del microclima y la determinación del hábitat. Del dosel forestal se pueden determinar los efectos de la superficie de las copas y los flujos de los gases y estudiar la estructura del hábitat y la disminución del

dosel, así como también el efecto de la estructura en la difusión lumínica a través de las copas y la medición de la posición de las copas y sus formas; para entender el crecimiento forestal, el tamaño de los individuos, la biomasa y el potencial de un hábitat.

La estructura del dosel puede ser caracterizada a diversos niveles; es comúnmente resumido por las dimensiones características o descriptivas, como la altura máxima del árbol o el promedio de altura en los árboles dominantes, biomasa de los elementos, el índice de área foliar, el área foliar por unidad de volumen. La superficie del dosel forestal es una de las secciones más importantes de un ecosistema debido a las interacciones atmosféricas (Parker, 1995).

Para hacer referencia acerca de la estructura del dosel han sido utilizados términos como: fisonomía, el cual se enfoca principalmente en las formas de las copas a nivel individual. Arquitectura, describe los patrones de crecimiento y las formas resultantes de los fustes. Organización, implica la distribución estadística de los componentes de las copas en espacio y tiempo y por último la Textura del dosel, que se refiere a los tamaños de las copas que compone el estrato alto (Parker, 1995).

2.3.1 Importancia del estudio de las copas

Los árboles están más expuestos conforme se desarrollan en lo referente a las copas, lo cual se modifica con la altura, a medida que se incrementa la disponibilidad lumínica (Sterck y Bungers, 2001). La copa es uno de los componentes de la producción primaria y sus dimensiones reflejan la salud del

individuo, como por ejemplo las copas densas y largas están asociadas con un crecimiento vigoroso; las copas de bajo desarrollo y poco densas se refieren a sitios con condiciones desfavorables por la competencia, estrés por humedad o la influencia de la defoliación por insectos, enfermedades de las hojas, etc. (Schomaker *et al.*, 1999).

La información que se obtiene al estudiar las copas es necesaria para dar respuesta acerca del comportamiento de los ecosistemas forestales, tales como; la proporción de individuos (por especie y por tipo de ecosistema), densidad de copa y alteraciones en los mismos ecosistemas (Schomaker *et al.*, 1999).

El estrato foliar es el único subsistema dentro del mismo ecosistema que presenta las interacciones fundamentales entre la vegetación y los factores abióticos. Varios autores muestran al dosel forestal como un hábitat y discuten sobre la distribución, abundancia y las relaciones de especies asociadas (Parker, 1995).

2.3.2 Funciones de las copas

Las principales funciones de la copa son la asimilación, respiración y la transpiración. La asimilación es conocida también como la fotosíntesis en las plantas y se define como el proceso donde la energía solar es retenida por la clorofila y utilizada para la producción de azúcares, bióxido de carbono y agua. La respiración es el proceso en el cual la energía es almacenada en compartimientos reducidos de carbón durante la fotosíntesis y es liberado por la oxidación en una forma en la que pueda ser utilizada en la asimilación, el

crecimiento y el mantenimiento de la estructura de las células y la función. La transpiración es una función importante en las copas, y se define como el proceso de la captura de agua del suelo por medio del sistema radicular y la pérdida de agua en la atmósfera en forma de vapor .

Brack y Wood en 1998 mencionan que las principales funciones de la copa de los árboles son; la exposición activa de las hojas fotosintetizando más eficientemente la energía radiante y la promoción de nuevas hojas. El área de mayor actividad fotosintética en la copa de un árbol comprende las hojas jóvenes o las hojas cercanas a la superficie. El área de superficie de la copa es un parámetro importante para la predicción de crecimiento.

El desarrollo de la radiación lumínica en árboles individuales de los bosques densos depende de la posición de sus copas y la proximidad de sus vecinos. Las copas largas de los árboles están más expuestas de forma vertical y aprovechan mayormente los recursos lumínicos y proveen sombra a los individuos que se encuentran en la parte inferior (Aiba *et al.*, 1997). El área de la superficie fotosintética en los árboles dependerá de la cantidad y la distribución espacial del follaje en la copa (Tang *et al.*, 1999).

2.3.3 Representaciones de forma de copa

La geometría o forma de las copas afecta significativamente el ambiente de la luz dentro de la misma. La sombra causada por los árboles vecinos es la principal variable en la disponibilidad de la luz en los árboles de un rodal (Brunner, 1998).

Existe una gran variedad de métodos desarrollados para describir la forma de las copas o su contorno. Anteriormente los investigadores estaban enfocados en la cuantificación del volumen de la copa. El volumen puede ser utilizado como una medición de estatus de competencia (Biging y Burkhardt, 1995).

2.3.4 Impactos fisiológicos de la forma de la copa

El volumen del espacio ocupado por las copas de los árboles y la distribución y la cantidad de follaje, determinan la cantidad de radiación solar absorbida por la copa.

El desarrollo de las copas en árboles tolerantes a la sombra determina la intercepción de luz y expansión. A menor cantidad lumínica los árboles incrementan su eficiencia en la intercepción de luz, esto por medio de las modificación del desarrollo foliar. Cuando existe mayor cantidad, los árboles incrementan su rango de expansión, lo cual permite madurar rápidamente, al mismo tiempo los árboles presentan una bifurcación en la parte alta, con copas alargadas y proporcionan mayor sombra (Sterk, 1999).

Doruska *et al.* (1994) mencionan que la habilidad para modelar el contorno de la copa y la forma de copa y/o el área foliar y la distribución es esencial en el proceso de modelos fisiológicos.

Algunos investigadores han demostrado que la cantidad y organización del follaje en la copa de un árbol pueden afectar al crecimiento. Generalmente entre mayor follaje tenga un árbol más luz podrá interceptar, y por lo tanto tendrá mayor crecimiento. Por otra parte la organización del follaje afecta la cantidad

de luz que se puede interceptar. Una forma esencial para predecir la productividad de los árboles individuales y los rodales es determinando la estructura de copas.

2.3.5 Distribución vertical de las copas

Algunos autores sugieren que exista o no el estrato de copas, el concepto de estratificación es una herramienta organizacional para el estudio de la distribución vertical de flora y fauna (Baker y Wilson, 2000).

Osada *et al.* en el 2001 mencionan que la distribución vertical en los ecosistemas forestales se mantiene a través de los procesos dinámicos de las especies arbóreas con diversas alturas en escalas cortas de tiempo.

Los bosques están verticalmente estructurados con cambios microclimáticos a lo largo de las copas. El aumento de los recursos de luz están disponibles en espacios abiertos, pero también se pueden presentar localmente, debido a la heterogeneidad de la estructura de copas (Lieberman *et al.*, 1995).

La divergencia vertical de la altura de las especies durante el desarrollo del bosque es llamada diferenciación (Oliver y Larson, 1990). Existen diversas categorías de estratos de copas que han sido reconocidas. El estrato alto comprende las copas más densas (dominantes y codominantes). El sotobosque incluye las plantas leñosas localizadas en el estrato más bajo. El estrato medio es una región de transición que se encuentra localizado entre el estrato alto y el sotobosque, en este estrato las copas son intermedias, que pueden estar intermedias u oprimidas (Parker, 1995).

La distribución vertical esta influenciada por los gradientes de disponibilidad lumínica en el dosel forestal (Canham *et al.*, 1994). La altura es una de las principales variables para representar la estructura forestal, varios modelos para el estudio de las interacciones dosel-atmósfera son dimensionales. La altura es una variable útil para el crecimiento de las características del medio ambiente en los bosques y para la radiación fotosintéticamente activa. El diámetro de copa esta correlacionado con el diámetro del fuste, esto ocurre en muchas especies de coníferas donde se encuentran en lugares abiertos y en rodales homogéneos.

2.3.6 Índice de área foliar

El índice de área foliar es un parámetro ecológico utilizado para caracterizar la estructura vegetativa de la copa. Este índice cuantifica el porcentaje entre el área de superficie foliar de un individuo o una comunidad de plantas y la superficie representada, (Küßner *et al.*, 2000).

El índice de área foliar tiene un significado físico, por la correlación entre el índice de área foliar y la penetración de radiación a través de las copas de los árboles, dando oportunidad de modelar la radiación dentro de la copa de los árboles (Brunner, 1998).

El área foliar tiene un alto significado biológico y una importante referencia cuantitativa en la investigación sobre los procesos fisiológicos tal como la fotosíntesis neta (Kloeppel *et al.*, 1998).

3.1.1.1. Área foliar y fotosíntesis

Como se sabe, el área foliar es un factor determinante en la fotosíntesis neta de una planta. El área foliar es el producto de la longitud y el ancho de las hojas. El área foliar es un factor determinante en la fotosíntesis neta de una planta. El área foliar es el producto de la longitud y el ancho de las hojas.

El área foliar es un factor determinante en la fotosíntesis neta de una planta. El área foliar es el producto de la longitud y el ancho de las hojas. El área foliar es un factor determinante en la fotosíntesis neta de una planta. El área foliar es el producto de la longitud y el ancho de las hojas.

El área foliar es un factor determinante en la fotosíntesis neta de una planta. El área foliar es el producto de la longitud y el ancho de las hojas.

El área foliar es un factor determinante en la fotosíntesis neta de una planta. El área foliar es el producto de la longitud y el ancho de las hojas. El área foliar es un factor determinante en la fotosíntesis neta de una planta. El área foliar es el producto de la longitud y el ancho de las hojas.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Área de estudio

3.1.1 Localización del área de estudio

Cerro El Potosí

El Cerro El Potosí se localiza en el municipio de Galeana, Nuevo León, México correspondiente al Ejido 18 de Marzo; su cima se localiza a 15 km al oeste de Galeana entre lo $24^{\circ}50'45''$ y $25^{\circ}53'16''$ de latitud norte y los $100^{\circ}15'12''$ longitud oeste, (González, 1999).

Sierra La Marta

La Sierra La Marta se ubica en una fracción de la Sierra Madre Oriental, en una porción del suroeste del estado de Coahuila, en el municipio de Arteaga. Esta región se encuentra localizada en los $25^{\circ}09'$ y $25^{\circ}16'$ de latitud norte y $100^{\circ}20'$ y los $100^{\circ}35'$ de longitud oeste (figura 1).

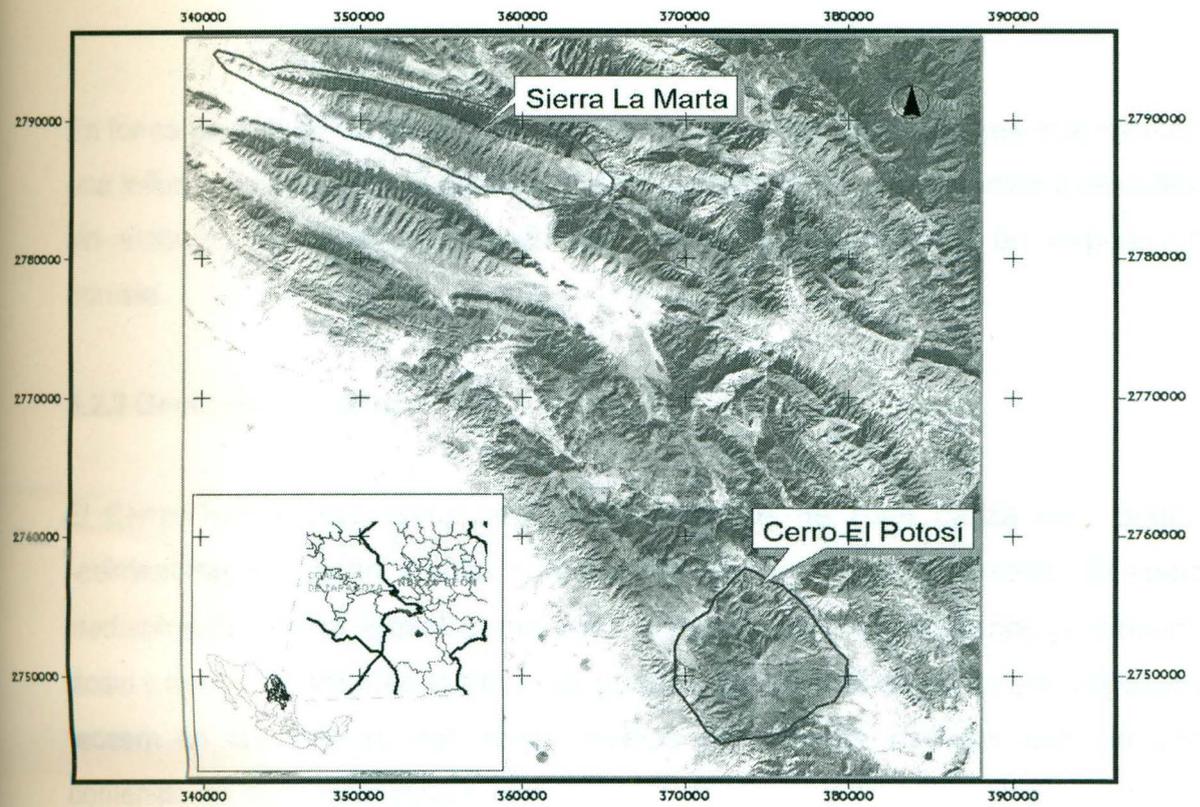


Fig. 1 Localización del área de estudio

3.2 Descripción del Cerro El Potosí

3.2.1 Fisiografía

El Cerro El Potosí pertenece a la región fisiográfica de la Sierra Madre Oriental, subprovincia de la Gran Sierra Plegada, sistema de topofomas de la Sierra Pliegue Flexionada, presenta una orientación semicircular oeste-este y sureste y una altitud máxima de 3,700 msnm con pendientes abruptas.

En forma general el Cerro El Potosí presenta diversas exposiciones que ejercen una influencia directa en la distribución y crecimiento de las especies forestales, sin embargo, el área de interés se localiza principalmente en exposición noreste.

3.2.2 Geología y suelos

El Cerro Potosí esta compuesto principalmente de roca caliza de origen sedimentario, con yeso y lutita perteneciente a la era del Mesozoico. El suelo predominante es el litosol combinado con rendzina, y en menor proporción litosol y rendzina, además también se puede encontrar el castañozem, regosol y feozem en las laderas del oeste. Suelos delgados y oscuros con un alto contenido de materia orgánica.

3.2.3 Clima

El clima de la zona es del tipo E(T)H(e), frío y extremoso, esto de acuerdo a la clasificación de Copen, modificada por García en 1981. Muller en 1937 de acuerdo a sus observaciones caracterizó al clima como frío semiárido, mencionando que aunque la precipitación es tan alta como las de las zonas adyacentes, la humedad es poco efectiva debido a la alta evaporación. El Cerro El Potosí esta sometido a intensos vientos durante la mayor parte del año, los alisos húmedos y los nortes de invierno, afectan principalmente en el oriente y el norte, mientras que la ladera occidental recibe corrientes secas de convección. El área de estudio presenta fuertes neblinas y lluvias, a menudo con granizo, esto ocurre una gran parte del año (García, et. al 1991).

3.2.4 Vegetación

Los tipos de vegetación presentes en el Cerro Potosí son principalmente, bosque de coníferas, bosque de encino, bosque de encino-pino, chaparral con bosque de pino, matorral de coníferas y pradera alpina (García, 1996).

Los bosques de coníferas están representados por las siguientes especies arbóreas: *Pinus ayacahuite*, *Pinus hartwegii*, *Pseudotsuga menziesii* y *Abies vejari*. Mientras que la pradera alpina es el único tipo de vegetación que se encuentra en el noreste de México ya que presenta especies endémicas, raras, vulnerables y en peligro de extinción como: *Lupinus cacuminis*, *Potentilla leonina*, *Arenaria oresbia*, *Astragalus purpusii*, *Senecio loratifolius* y *Euphorbia beamanii*. La pradera subalpina se deriva de la pradera alpina y el matorral de *Pinus culminicola*, es frecuente encontrar especies como; *Senecio loratifolius*, *Euphorbia beamanii* y *Juniperus sabanoides*, principalmente. El Matorral de *Pinus culminicola*, la vegetación es muy densa y baja, donde *Pinus culminicola* es la especie dominante, mientras que otros arbustos se encuentran aislados tales como: *Holodiscus dumosus*, *Symphoricarpos microphyllus*, *Ribes ciliatum*, *Garrya ovata* y *Juniperus sabinooides*. Otro tipo de vegetación es el bosque mixto de *Pinus culminicola* y *Pinus hartwegii* en el cual se puede encontrar *Achillea lanusa*, *Ranunculus peruvianus* y principalmente *Senecio carnerensis*.

3.3 Descripción de la sierra La Marta

3.3.1 Fisiografía

La sierra La Marta presenta una orientación noroeste-sureste, la altitud máxima de la Sierra es de 3,600 msnm y la mínima es de 2,300 msnm (CETENAL, 1975). El área de estudio esta comprendida dentro de la cuenca hidrológica de El Salado, en la subcuenca Laguna Jazminal y El Potosí. Los escurrimientos superficiales debido a la presencia de un parteaguas, fluyen hacia el sureste, para formar después parte del arroyo La Boquilla; por otro lado, los que se dirigen hacia noroeste, no forman ningún cauce importante, perdiéndose después en áreas de menor altitud (DETENAL, 1979).

3.3.2 Geología y suelos

La sierra La Marta esta constituida por rocas de origen sedimentario, siendo las calizas las de mayor importancia y distribución; con menor proporción encontramos las lutitas, areniscas, brechas sedimentarias, y conglomerados. Los suelos predominantes son litosoles y rendzinas, encontrándose en menor proporción los regosoles y el feozem, teniendo en general texturas medias (CETENAL, 1977).

3.3.3 Clima

El área de estudio presenta un clima del tipo BW y Cx' y BS₁ y C(w₁), que se refiere al clima seco y semiseco. En lo referente a las lluvias, estas ocurren con mayor frecuencia en el verano, iniciando en el mes de mayo y terminando en

octubre. El mes de mayor precipitación es septiembre, siguiéndolo el mes de agosto, julio y junio. En relación con la temperatura, se observa que el mes con la temperatura promedio mayor es el mes de junio y el mes más frío es enero.

3.3.4 Vegetación

En lo referente a la vegetación, en la exposición noreste de la sierra, aproximadamente a los 2,500-3,600 msnm, se presenta un bosque constituido por tres estratos donde se puede encontrar; *Pseudotsuga menziesii*, *Pinus hartwegii*, *Abies vejari*, *Pinus ayacahuite* y *Picea mexicana*; en cuanto a las especies arbustivas se encuentran; *Quercus pungens*, *Q. emoryi*, *Q. hypoxantha*, *Arbutus xalapensis*, *Cercocarpus mojadensis*, *Yucca carnerosana*, *Gimnosperma glutinosum* y *Dasylyrion sp* y el estrato herbáceo está constituido por *Bromus sp.*, *Vulpia octiflora*, *Geranium mexicanum* e *Hibiscus cardiophyllus*.

En la exposición suroeste de la sierra, aproximadamente a los 2,400-2,700 msnm, existe un bosque formado por tres estratos, el estrato arbóreo constituido por; *Pinus cembroides*, el estrato arbustivo conformado por *Yucca carnerosana*, *Juniperus monosperma*, *Mimosa emoryana*, *Agave lecheguilla*, *Sophora secundiflora*, *Quercus sp.*, *Agave sp.* y *Opuntia sp.*; el estrato herbáceo está constituido por: *Bouteloua curtipendula*, *Gimnosperma glutinosum*, *Enneapogon sp.* y *Stevia berlandieri*.

3.4 Descripción de las especies

3.4.1 *Abies vejari*

Árbol de 30 a 40 metros de altura, copa cónica o piramidal; presenta una corteza delgada y lisa de color grisáceo con manchas blancas horizontales. Ramas extendidas y frecuentemente verticiladas, hojas aglomeradas, dispuestas en espiral, gruesas, dirigidas en todos los sentidos, rectas, rígidas, con el ápice obtuso, corneo y en ocasiones redondeado, presenta una hendidura longitudinal que se desvanece hacia el ápice y una costilla en la cara inferior. Las hojas miden de 15 a 20 mm de largo y 1.5 mm de ancho, su color es verde claro, presentan estomas en ambas caras, de 9 a 10 hileras en cada lado de la cresta y de 4 a 5 en cada lado en la cara superior, dos canales resiníferos, situados en la cara inferior y colocados sobre pequeñas células de subepidermis, los haces vasculares son dos muy cercanos (Capó, 1972).

Sus conos son erguidos, solitarios y sub-sésiles, oblongos, al principio presenta un color muy oscuro y después se torna amarillento; muy resinosos. Miden aproximadamente de 6 a 8.5 cm de largo y de 4 a 5 cm de diámetro en la parte media, las escamas son cóncavas, casi triangulares, con el ápice redondeado y entero, ligeramente reflejado hacia adentro, miden aproximadamente 25 mm de ancho y 20 mm de alto. Sus semillas son angostas de 10 mm de largo, con vejigas resinosas, ala delgada y casi triangular, anchamente truncada, de color amarillo violáceo de 22 mm de largo incluyendo la semilla y 12 mm de ancho en la parte superior y con los bordes enteros. Se localiza en terrenos pobres y moderadamente húmedos, en un rango de altitud de 2800 a 3000 msnm, y se encuentra en los estados de Tamaulipas, Nuevo León y Coahuila (Capó, 1972).

3.4.2. *Pseudotsuga menziesii*

Árbol cuya altura varia de los 12 a los 40 metros de altura, y con un diámetro de los 25 a los 70 cm. La corteza es color grisáceo, delgada en los árboles jóvenes y gruesa y áspera en los adultos, de 8 a 10 cm de espesor, con la superficie dividida en placas escamosas, la parte inferior se ve irregularmente distribuidas unas porciones de color rojizo y otras de color blanco amarillento, las primeras son duras y las segundas duras. Las ramas son subverticiladas o irregularmente dispuestas o algo levantadas, formando una copa cónica en los árboles jóvenes e irregular en los adultos (Capó, 1972).

Los conos son ovoides o largamente ovoides, solitarios, colgantes y caedizos, sobre péndulos generalmente cortos. Miden de 3.5 a 5.5 cm y de 3 a 4 cm de ancho. Su color son verdoso al principio y amarillento después. Maduran el mismo año y están formados por numerosas escamas insertadas en espiral en torno de un eje, sobre el que se fijan tenazmente. En su base llevan brácteas con una sola punta o con 3 siendo en este caso rudimentarias las de los lados.

La semilla es triangular, ovoide, en el lado externo totalmente cubierta por la base de la ala y de color castaño, y solo parcialmente por el lado interno es de color amarillo mate. La ala es de color castaño pálido, algo traslucida, miden de 10 a 15 mm, incluyendo la semilla.

La madera es blanca ligeramente amarillenta y medianamente resistente. Se usa en construcciones, se distingue de la madera de los pinos por la presencia de traqueidas espirales.

3.4.3. *Pinus ayacahuite*

Árbol de aproximadamente 30 metros de altura, copa cónica y aguda; presenta una corteza grisácea. Hojas en grupos de 5, por lo general delgadas. En fascículos espaciados de color verde intenso, azulado, triangulares, glaucas en sus caras internas; bordes aserrados, con los dientes separados y pequeños. Tienen un haz vascular y sus canales resiníferos son externos por lo general en grupos de 3 a 5.

Conos duros, subcilíndricos, atenuados con abundante resina amarilla, con frecuencia algo encorvados; de color amarillento con tinte anaranjado o ligeramente rojizo u ocre, lustrosos, de 15 a 25 m de largo. Escamas fuertes y gruesas, cóncavas y ralas con apófisis larga y frecuentemente enroscada. Semillas de 12 a 15 mm, con ala corta pero mas comúnmente nula. Comestibles de sabor resinoso. Madera suave, de textura fina y uniforme y muy estimada para construcciones de muebles, moldes de fundición, etc. Se localiza en los estados de Nuevo León y Coahuila (Capó, 1972).

3.4.4. *Pinus hartwegii*

Árbol de 15 a 30 metros de altura, corteza agrietada, de color rojizo pardo, ramas extendidas e irregularmente colocadas, ramillas muy ásperas de color rojizo oscuro, con las bases de las brácteas largas y fuertes. En la forma típica se observan 3 hojas; en algunos otros casos se ven 3 y 4, en otros 4 y 5 y en otros 5. Miden de 10 a 16.5 mm de largo. Son de color verde claro, medianamente gruesas, cara dorsal ancha y la costilla media apenas levantada;

se pueden ver triangulares cuando están en grupos de 5, los bordes son aserrados, siendo los dientes muy pequeños y próximos.

Conos largamente ovoides, acuminados, ligeramente oblicuos y ocasionalmente encorvados, extendidos, miden de 9 a 10 cm de largo, pero con un rango de 7 a 14 cm, color rojizo oscuro, casi negros, casi sésiles, se presentan generalmente por pares, pero en ocasiones en grupos de 3, 4 o 5, al caer el cono suele quedar el péndulo en la ramilla con algunas escamas basales. Semilla negra de 5 a 7 mm, con una ala de 12 mm de largo y 5 mm de ancho. Madera dura y resinosa (Capó, 1972).

3.5 Metodología

La metodología que se propuso para llevar al cabo esta investigación fue la realización de un inventario forestal total de área y un muestreo estructural de los cuatro árboles, descrito por Fuldner en 1995. Para la medición global se utilizó la valorización cuantitativa promedio, la determinación de la distribución vertical de las especies y las características de las copas. El muestreo estructural se utilizó para realizar el análisis de diferenciación diamétrica y diferenciación en altura.

3.5.1 Inventario forestal

En la figura 2 se observa la delimitación de área de estudio Cerro El Potosí el cual tiene una superficie de 1.24 ha. En la figura 3 se observa el área de estudio de *Sierra La Marta*, el cual ocupa una superficie de 1.0 ha. En ambas superficies donde se realizó una medición total de las especies arbóreas, teniendo como límite inferior 5 cm de diámetro. En la medición total se

determinó para cada individuo su especie, posición, diámetro, altura total, longitud de copa, radio de la copa, diámetro de copa, así como la edad para los géneros de *Pinus*, *Pseudotsuga* y *Abies*.

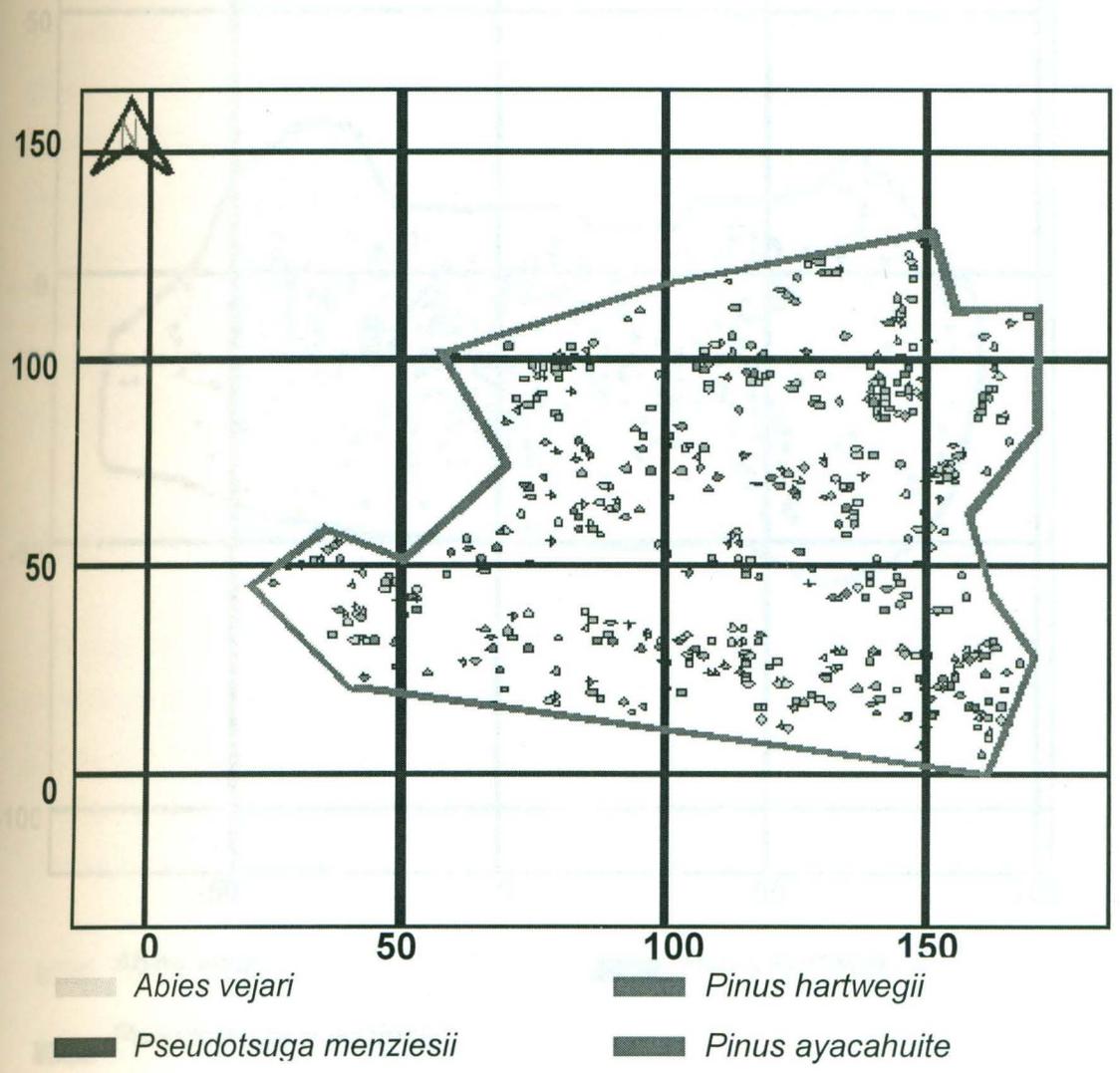


Figura 2: Área de estudio Cerro El Potosí.

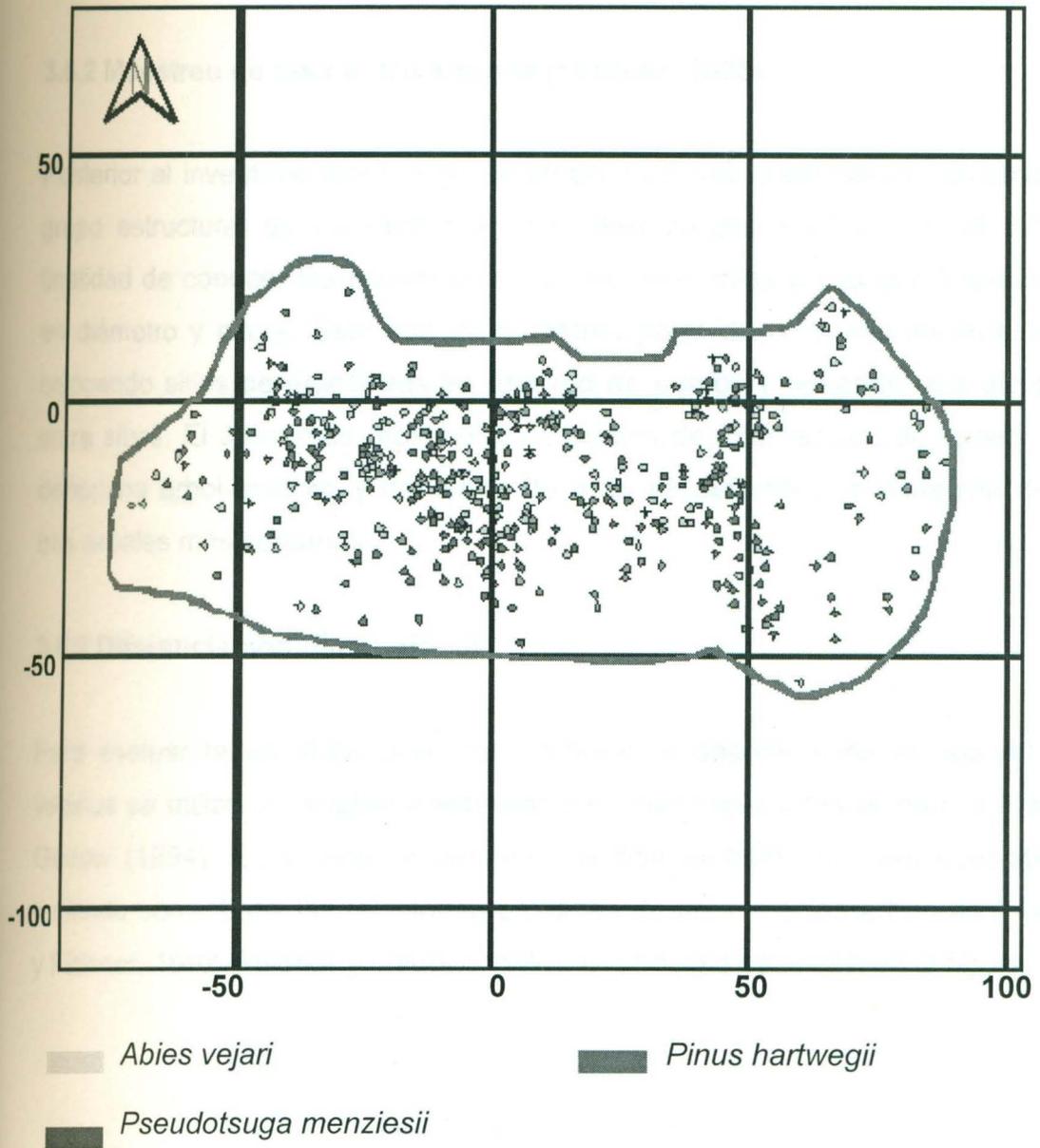


Figura 3: Área de estudio Sierra La Marta.

3.5.2 Muestreo de los cuatro árboles (Füldner, 1995)

Posterior al inventario forestal se utilizó un muestreo sistemático, denominado grupo estructural de los cuatro árboles descrito por Füldner 1995, con la finalidad de conocer los parámetros estructurales, tales como la diferenciación en diámetro y altura. Este tipo de muestreo parte de un punto inicial al azar, colocando sitios de muestreos en una red de puntos y teniendo una distancia entre sitios. El árbol más próximo a los puntos de intersección de la red se le denomina árbol-muestra y partiendo de éste, se determina la distancia de los tres árboles más cercanos.

3.5.3 Diferenciación dimensional

Para evaluar la variabilidad de los parámetros dasométricos en los árboles vecinos se utilizó la variable diferenciación dimensional introducida por Füldner Gadow (1994). Esta variable permite describir la estructura del ecosistema, teniendo como base las relaciones próximas de las especies arbóreas (Gadow y Füldner, 1992; Füldner y Gadow, 1994). El principio se ilustra en la figura 2.

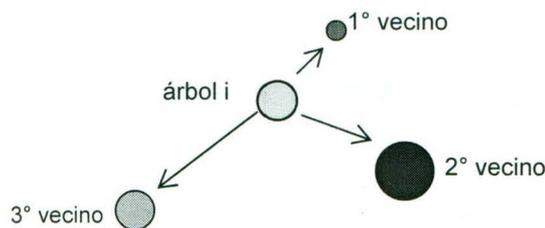


Figura 2: Muestreo de los cuatro árboles (Füldner, 1995).

3.5.3.1 Diferenciación diamétrica (Índice TD)

Se refiere a la relación existente entre el diámetro ($d_{1.3}$) para un árbol dado i ($i = 1 \dots n$) y sus n próximos vecinos j ($j = 1 \dots n$) y se define por el cociente entre el diámetro del árbol menor y el valor correspondiente del árbol mayor, sustraído de 1 (Gadow y Fuldner, 1992; Fuldner y Gadow, 1994; Fuldner, 1995; Pommerening *et al.*, 1997; Jiménez *et al.*, 1998).

$$TD = 1 - \frac{D - \text{menor}}{D - \text{mayor}}$$

Donde D -menor y D -mayor son los diámetros a 1.3 m de los árboles vecinos.

El valor promedio del índice de diferenciación diamétrica entre el i -ésimo árbol ($i = 1 \dots N$) y su próximos vecinos j ($j = 1, \dots, n$) se determina mediante la siguiente fórmula:

$$\overline{TDi} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n rij$$

donde:

$$rij = 1 - \frac{di}{dj} \text{ para } di < dj \text{ y}$$

$$1 - \frac{dj}{di} \text{ para } di > dj$$

Por lo tanto, el índice de diferenciación diamétrica promedio en un ecosistema forestal se define:

$$\overline{TD} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N TD_i$$

donde :

N = número de árboles en la unidad de muestreo

De tal forma que;

- El valor de TD aumenta con el incremento promedio de la diferencia de diámetros entre árboles vecinos.
- Los valores posibles de TD oscilan entre 0 y un valor menor a 1.

Consecuentemente, valores de TD de 0.2 a 0.9 indican que los diámetros a 1.3 m de los individuos menores son de 20 a 90%, menores que aquellos con mayor diámetro (Aguirre *et al.*, 1998; Jiménez *et al.*, 1998; Torres, 2000).

Aguirre *et al.* (1998) mencionan que el valor medio de TD proporciona información sobre la estructura global del ecosistema. Mediante la clasificación del rango de valores de TD de 0 a 1 y la representación de la distribución porcentual de los valores de TD de los sitios de muestreo en clases, se obtiene una información detallada sobre la estructura del ecosistema.

El índice tiene puntos de referencia interpretables y es apropiado para su uso en el manejo del recurso forestal, donde se requiere de una descripción de las estructuras de los bosques. Es de particular interés la distribución de los valores

de TD , para describir cualquier generación de estructuras específicas (Pommerening, *et al.*, 1997).

3.5.3.2 Diferenciación en altura (Índice TH)

Aguirre *et al.* (1998) y Jiménez *et al.* (1998) desarrollan nuevamente esta metodología, realizando una diferenciación, cuyo valor oscila entre 0.0-1.0, la dividen en 5 grupos de diferenciación (débil: 0.0 - 0.2; moderado: 0.2 - 0.4; media: 0.4 - 0.6; fuerte: 0.6 - 0.8; muy fuerte: 0.8 - 1.0). Este índice se define por la relación:

$$\overline{THi} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n rij$$

donde:

$$rij = 1 - \frac{hi}{hj} \text{ para } hi < hj \text{ y}$$

$$1 - \frac{hj}{hi} \text{ para } hi > hj$$

la función:

$$\overline{TH} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N THi$$

donde :

N = número de árboles en la unidad de muestreo

Este índice permite calcular la diferenciación promedio en altura para el estrato arbóreo de un ecosistema forestal.

3.5.4 Índice de distribución vertical de especies (Índice A)

Nagel (1994) y Pretzsch (1996) interpretaron la distribución de las especies en tres zonas de altura: zona de altura I: 80% - 100% de la altura máxima de la población, zona de altura II: 50% - 80%, zona de altura III: 0 - 50%. Además de la determinación de la distribución del área basal de las especies sobre las zonas de alturas y el cálculo del índice de altura de especies (A) de Pretzsch, este índice cuantifica la diversidad de especies y su ocupación en el espacio vertical dentro de la población. El índice A se obtiene entonces de acuerdo con la fórmula:

$$A = - \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^Z p_{ij} * \ln p_{ij}$$

S = número de especies presentes

Z = número de zonas de altura

p_{ij} = porcentaje de especies en cada zona $p_{ij} = n_{i,j} / N$

n_{ij} = número de individuos de la misma especie (i) en la zona (j)

N = número total de individuos

El valor del índice A se ubica entre 0 y el valor máximo de A (A_{max}). El valor 0 muestra que el rodal se conforma de una sola especie, el cual además sólo se ubica dentro de una zona. A_{max} se alcanza cuando todas las especies se localizan en todas las zonas. A_{max} depende del número de especies presentes (S), así como de las zonas (Z) existentes que ocurren en la población. Este índice se calcula de la siguiente manera.

$$A_{max} = \ln (S * Z)$$

3.5.5 Análisis de copas

La copa es uno de los componentes de la producción primaria y sus dimensiones reflejan la vigorosidad de los individuos. Las copas densas y largas están asociadas como el potencial o crecimiento vigoroso; las copas pequeñas y poco densas se refieren a condiciones desfavorables como la competencia entre árboles, estrés de humedad, o influencia por defoliación de insectos, enfermedades de las hojas (Schomaker *et al.*, 1999).

El conocimiento de las características de las copas son importantes para predecir la respuesta en el crecimiento. En este estudio de morfología de copas se midieron los parámetros: radio de copa, diámetro de copa, longitud de copa (figura 5).

Cabe mencionar que es de gran importancia las mediciones realizadas en el campo, tales como: la *longitud de copa* que es la medida vertical de la copa de un árbol desde el ápice hasta la primera rama viva y el *diámetro de la copa*, que es la máxima expansión de la copa, expresada como el diámetro mayor del árbol.

Figura 5. Variables de morfología de copas.

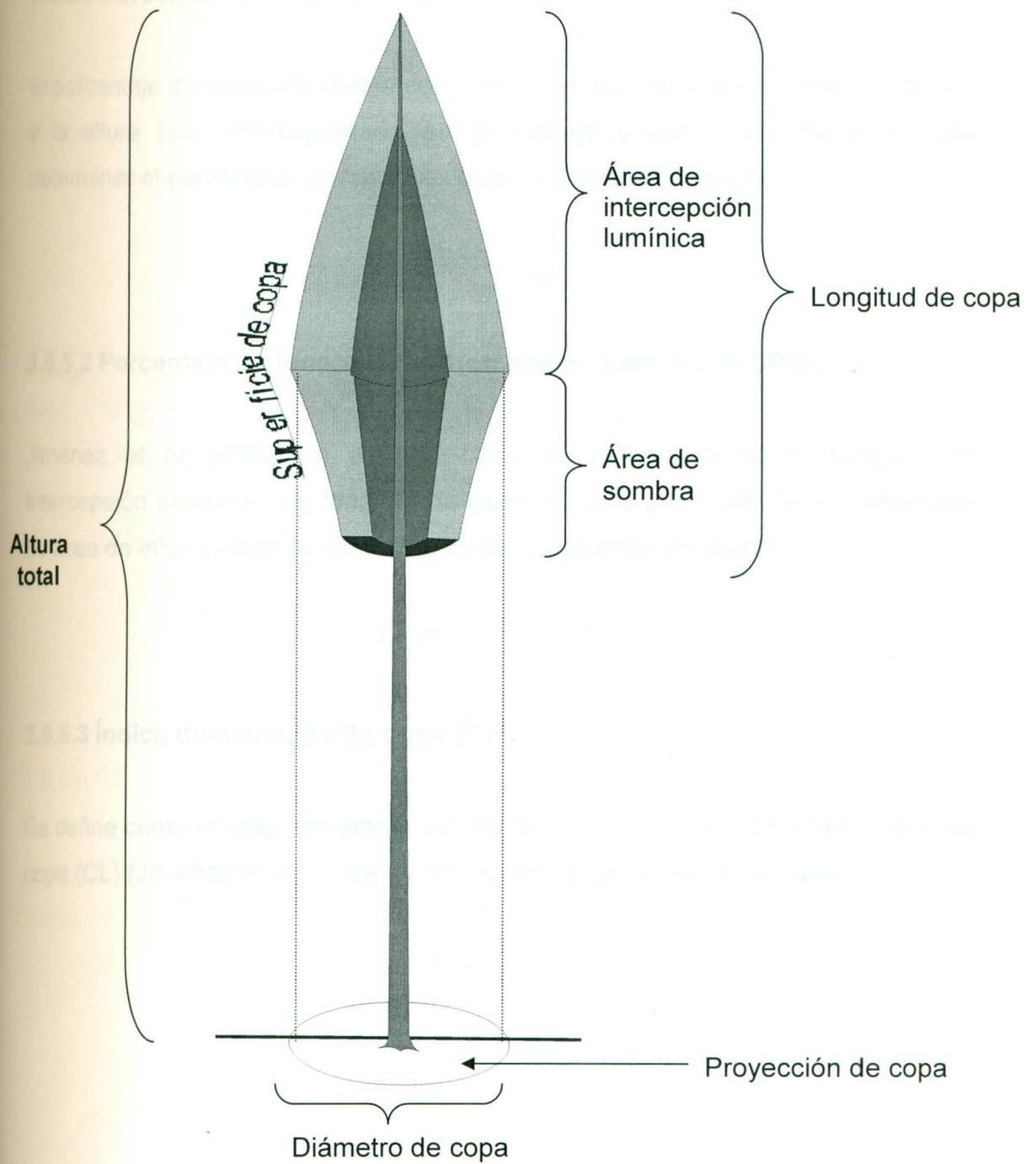


Figura 5: Variables foliares en el análisis de copas.

3.5.5.1 Porcentaje de copa (CR%)

El porcentaje de copas se define como el porcentaje de la longitud de copa (CL) y la altura total (H) expresado en porcentaje o como una fracción. Para determinar el porcentaje de copa se utiliza la siguiente ecuación:

$$CR\% = \frac{CL}{H}$$

3.5.5.2 Porcentaje de longitud de intercepción lumínica (LCP%)

Jiménez *et al.* (2002) lo definen como el porcentaje de la longitud de intercepción lumínica y la longitud de copa (CL), y para calcular el porcentaje de área de intercepción lumínica se utiliza la siguiente ecuación

$$LCP\% = H - CL$$

3.5.5.3 Índice de densidad de copa (CTI)

Se define como el valor resultante del diámetro de la copa (CD) y la longitud de copa (CL) (Jiménez *et al.*, 2002), y es expresado de la siguiente manera:

$$CTI = \frac{CD}{CL}$$

3.5.5.4 Porcentaje de expansión de copa (CSR%)

Jiménez *et al.* en el 2002 lo categorizan como el porcentaje existente entre el diámetro de copa (CD) y la altura total de individuo (H). Este porcentaje se utiliza para conocer la forma de la copa y se expresa de la siguiente manera:

$$CSR\% = \frac{CD}{H}$$

3.5.5.5 Área de proyección de copa

Se estima como la proyección horizontal en la tierra de una copa, y se utiliza como una medida de densidad del rodal, y se expresa de la siguiente manera:

$$CPA = \frac{\Pi}{4} * CD$$

3.5.5.6 Superficie de copa

Es la región más fotosintéticamente activa en la copa del árbol y comprende el follaje de los mismos. Se define como la superficie de la copa viva (Jiménez *et al.*, 2002).

$$CSA = \frac{\Pi r}{6h^2} \left[(4h^2 + r^2)^{\frac{3}{2}} - r^3 \right]$$

El conocimiento de la superficie de la copa es muy útil para predecir el crecimiento del árbol, particularmente conocer si el árbol está sobre maduro.

La siguiente ecuación se utilizó para obtener tanto la superficie total de la copa como para obtener la superficie del área de intercepción lumínica.

3.5.5.7 Área de intercepción lumínica

$$LCS = \frac{\pi r}{6CL^2} \left[(4CL^2 + r^2)^{\frac{3}{2}} - r^3 \right]$$

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Cerro El Potosí

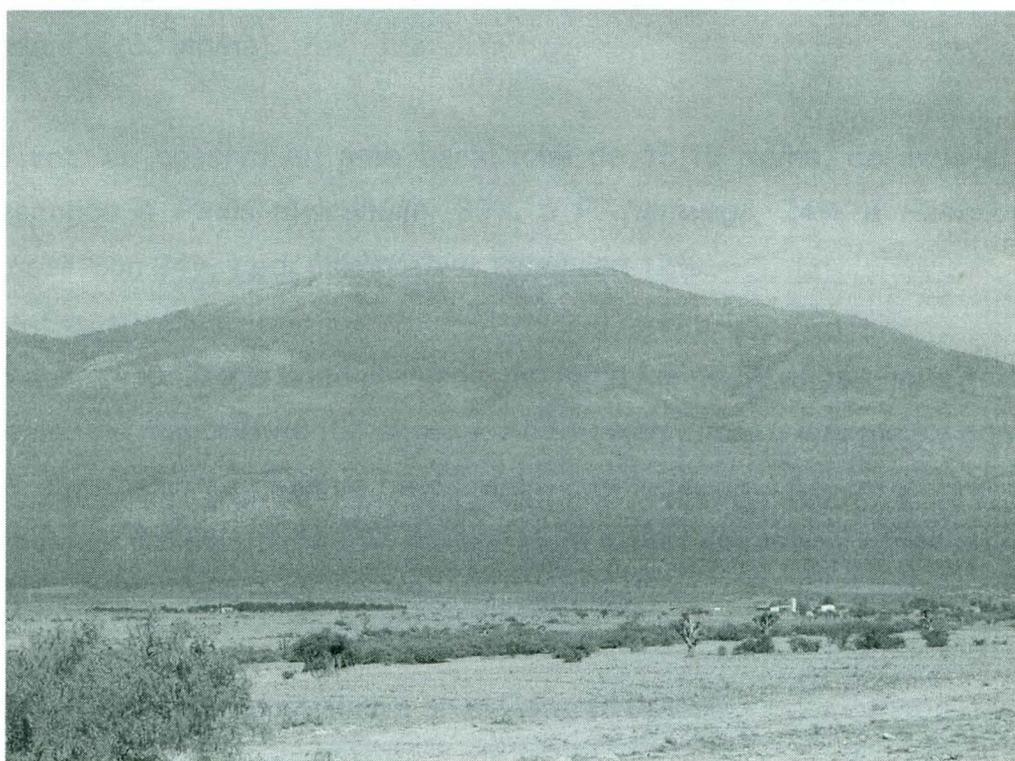


Figura 6: Área de estudio Cerro El Potosí

4.1.1 Valorización cuantitativa

La valorización cuantitativa promedio se realizó en el sitio seleccionado para el Cerro El Potosí, obteniendo una cuantificación básica de la estructura en los ecosistemas forestales mixtos.

En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos de esta valoración cuantitativa del área de estudio, donde se observa un total de 406 individuos por hectárea, teniendo una mayor abundancia *Abies vejari* (120 ind/ha) y *Pinus ayacahuite* (124 ind/ha), siendo *Pinus hartwegii* el que presentó una menor abundancia (60 ind/ha).

A su vez, se observa un área basal total de 15.10 m²/ha, del cual el 34% corresponde a *Pinus ayacahuite*, 30% a *P. hartwegii*, 24% a *Pseudotsuga menziesii* con 24% y por último *Abies vejari* con 12%.

En lo que respecta a la edad promedio del rodal fue de 38 años. *Pinus hartwegii* presentó una mayor edad (51 años) y *Abies vejari* mostró una menor edad (32 años). En el sitio se observa un diámetro promedio de 17.6 cm y una altura promedio de 8.6 m, siendo *P. hartwegii* el de mayor diámetro y altura promedio y *Abies vejari* el que mostró los valores menores.

Tabla 1: Valorización cuantitativa en el Cerro El Potosí.

Especie	Edad años			N (%)	G (m ²)	Diámetro (cm)				Altura (m)			
	t	min	max			d _{1.3}	S _d %	min	max	h	S _h %	min	max
<i>Abies vejari</i>	32	16	72	120 (30)	1.86 (12)	12.5	49.8	5.1	39.2	7.9	39.7	3.5	18.4
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	38	16	105	102 (25)	3.65 (24)	17.1	77.2	5.0	61.2	8.9	50.6	2.5	20.1
<i>Pinus ayacahuite</i>	40	15	126	124 (30)	5.10 (34)	18.8	69.6	5.0	65.4	8.1	53.6	2.2	18.1
<i>Pinus hartwegii</i>	51	14	121	60 (15)	4.62 (30)	26.5	62.5	5.1	65.3	10.6	51.3	2.3	22.4
TOTAL	38	14	126	406 (100)	15.10 (100)	17.6	73.1	5.0	65.4	8.6	50.1	2.2	22.4

4.1.2 Diferenciación diamétrica



Figura 7:
Diferenciación diamétrica del
área de estudio Cerro el Potosí

Aunado a las variables cuantitativas de la caracterización de ecosistemas forestales mixtos, es importante conocer la heterogeneidad de las comunidades, utilizando para este fin el análisis de diferenciación diamétrica.

En la figura 8 se observa la distribución diamétrica de acuerdo a las categorías correspondientes, donde el rango de distribución ocurre desde 10 hasta 60 cm. *Pinus hartwegii*, *P. ayacahuite* y *Pseudotsuga menziesii* se distribuyen en todas las categorías diamétricas. Del 100% de la población el 59.7% se presenta en la categoría diamétrica 10, donde *Abies vejari* (21.8%) y *Pinus ayacahuite* (16.9%) son las de mayor porcentaje.

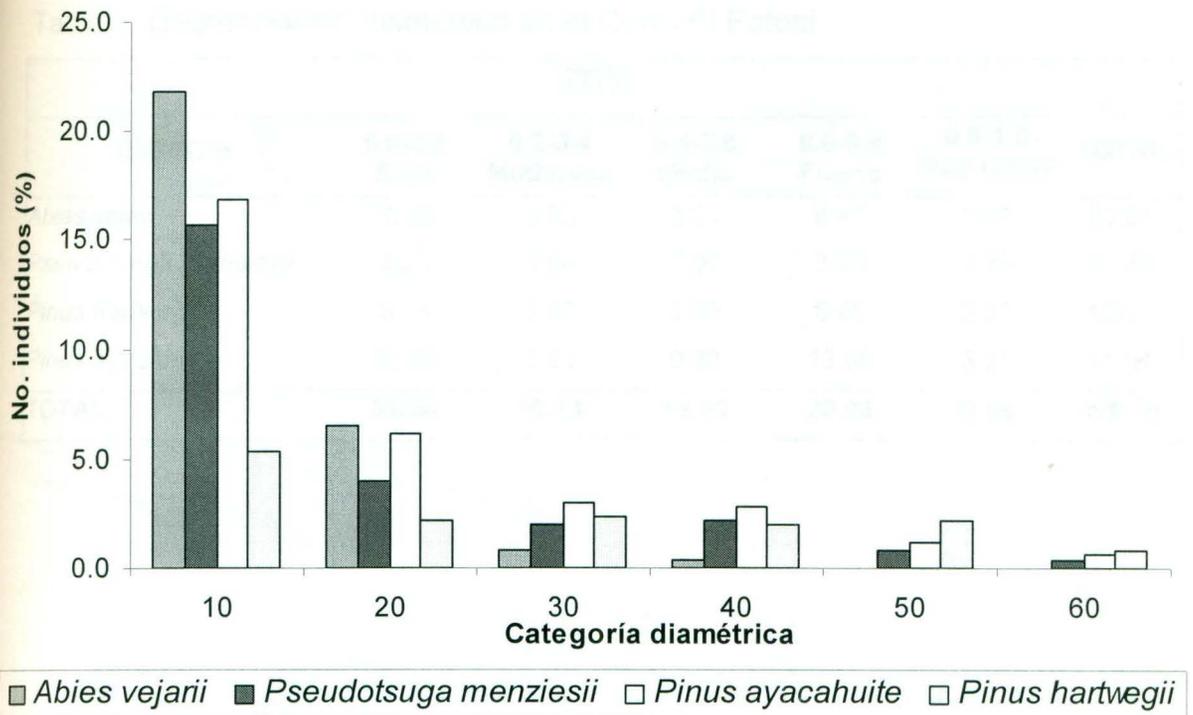


Figura 8: Distribución de las especies de acuerdo a las categorías diamétricas.

En la tabla 2 se muestran los resultados referentes a la diferenciación diamétrica, donde se presentan los 5 rangos de diferenciación. En esta área de estudio se encontró que el 48.4 % de la población observó una diferenciación diamétrica de baja a moderada, donde *Abies vejarii* y *Pinus ayacahuite* fueron las especies con mayor representatividad.

Tabla 2: Diferenciación diamétrica en el Cerro El Potosí

ESPECIE	TD%					TOTAL
	0.0-0.2 Baja	0.2-0.4 Moderada	0.4-0.6 Media	0.6-0.8 Fuerte	0.8-1.0 Muy fuerte	
<i>Abies vejari</i>	12.90	3.23	3.23	6.45	0.00	25.81
<i>Pseudotsuga mensiezii</i>	3.23	9.68	0.00	3.23	3.23	19.35
<i>Pinus hartwegii</i>	3.23	0.00	0.00	6.45	3.23	12.90
<i>Pinus ayacahuite</i>	12.90	3.23	9.68	12.90	3.23	41.94
TOTAL	32.26	16.13	12.90	29.03	9.68	100.00

Figura 9: Diferenciación en clases del área de estudio Cerro El Potosí

En la tabla 2 se observa que la diferenciación en altura se realizó de manera homogénea en los rangos de baja a fuerte, teniendo un total de 4 categorías. Por otro lado, se observó que el 58.1% de la población se situó entre los rangos de baja y moderada. Estas especies y *Pinus ayacahuite* son las especies que se encuentran en las categorías más altas.

4.1.3 Diferenciación en altura

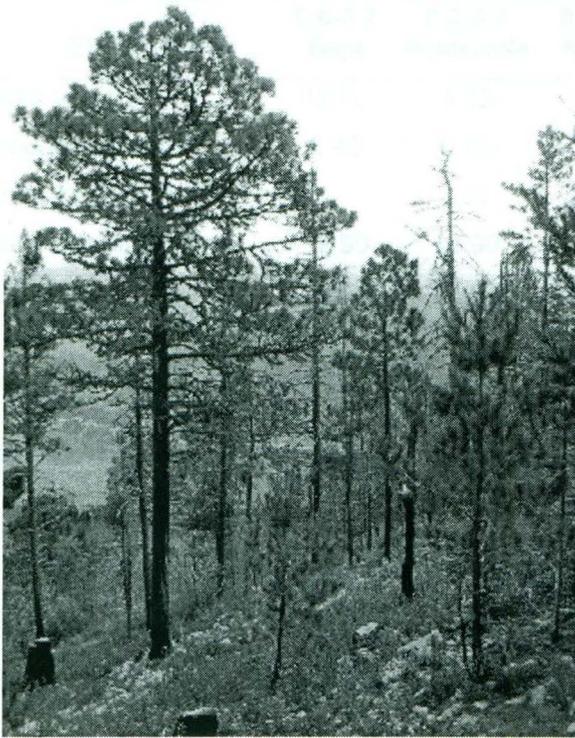


Figura 9: Diferenciación en altura del área de estudio Cerro El Potosí.

En la tabla 3 se observa que la diferenciación en altura se distribuyó solamente entre los rangos de baja a fuerte, teniendo un total de 4 categorías. Los resultados muestran que 58.1% de la población se ubica entre los rangos de baja y moderada. *Abies vejari* y *Pinus ayacahuite* son las especies que presentaron los porcentajes más altos.

Tabla 3: Diferenciación en altura del Cerro El Potosí.

ESPECIE	TH%					TOTAL
	0.0-0.2 Baja	0.2-0.4 Moderada	0.4-0.6 Media	0.6-0.8 Fuerte	0.8-1.0 Muy fuerte	
<i>Abies vejari</i>	12.90	3.23	9.68			25.81
<i>Pseudotsuga mensiezii</i>	6.45	6.45		6.45		19.35
<i>Pinus hartwegii</i>		3.23	3.23	6.45		12.90
<i>Pinus ayacahuite</i>	12.90	12.90	16.13			41.94
TOTAL	32.26	25.81	29.03	12.90		100.00

4.1.4 Distribución vertical

Para llevar a cabo la distribución vertical de las especies en el Cerro El Potosí, se dividió en dos zonas de altura, donde el estrato I contempla del 51% al 100% y el estrato II del 0% al 50% de la altura máxima del rodal.

En la tabla 4 se observa que el diámetro promedio es de 17.6 cm, donde el estrato I obtuvo un valor de 35.3 cm y el estrato II un valor de 11.7 cm. La altura promedio de la población fue de 8.6 m, donde el estrato I alcanzó una altura promedio de 15.2 m y el estrato II obtuvo un valor de 6.4 m- Finalmente la edad promedio de la población fue de 39 años, donde el estrato I tiene una edad de 66 años y 29 años el estrato II.

Tabla 4: Distribución vertical de las especies en el Cerro El Potosí.

Espece	N	N(%)	$\bar{d}_{1.3}$ cm	\bar{h} m	\bar{t}
Estrato I					
<i>Abies vejari</i>	26	5.15	23.9	13.9	47
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	30	5.94	33.6	15.2	63
<i>Pinus hartwegii</i>	36	7.13	39.3	15.5	72
<i>Pinus ayacahuite</i>	36	7.13	39.6	15.3	73
SUMA	128	25.35	35.3	15.2	66
Estrato II					
<i>Abies vejari</i>	138	27.33	10.7	6.9	29
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	78	15.45	10.8	6.5	28
<i>Pinus hartwegii</i>	36	7.13	13.2	6.1	31
<i>Pinus ayacahuite</i>	125	24.75	12.2	5.6	28
SUMA	377	74.65	11.7	6.4	29
TOTAL	505	100	17.6	8.6	39

La distribución vertical de las especies arbóreas muestra que del 100% encontrados en el estrato I, *Pinus hartwegii* (28.1%) y *Pinus ayacahuite* (28.1%) son las que presentan un mayor número de individuos en este estrato. Para el caso del estrato II del 100% *Abies vejari* (36.6%) y *Pinus ayacahuite* (33.1%), muestran un mayor número de individuos en el estrato II (figura 10).

4.1.5 Análisis del estrato inferior

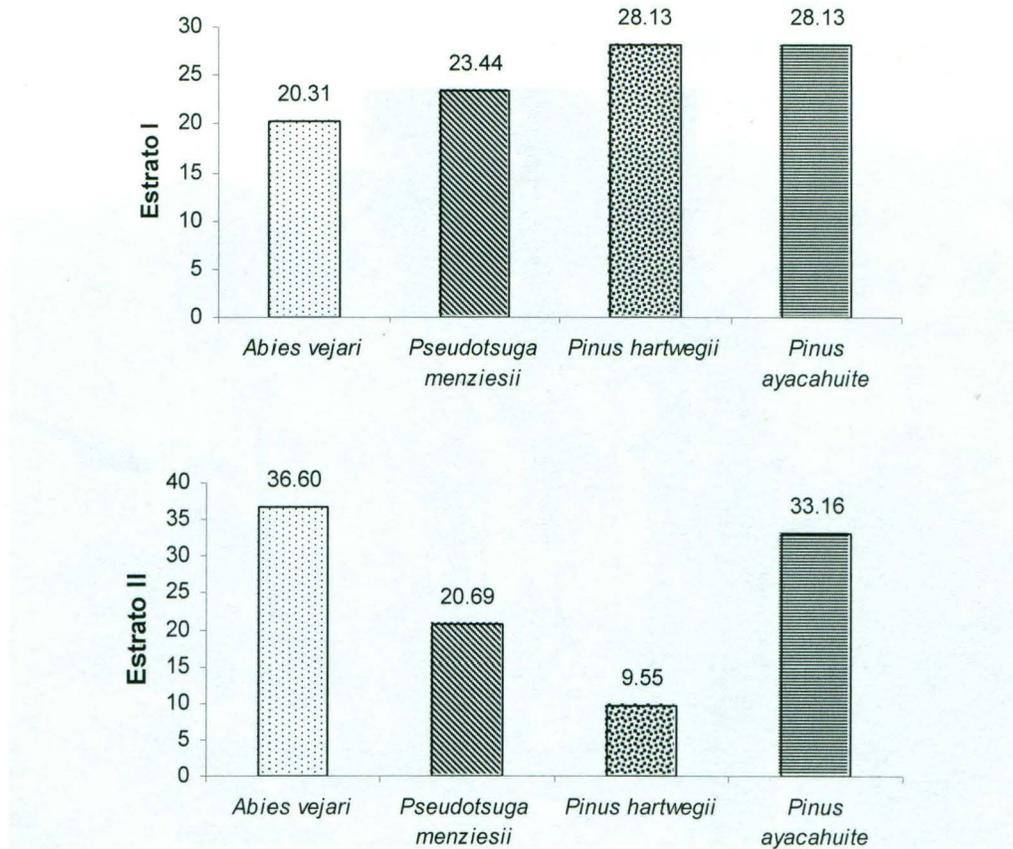


Figura 10: Distribución vertical de las especies en relación a su proporcionalidad por estrato.

4.1.5 Análisis del estrato foliar



Figura 11: Estrato foliar en el área de estudio Cerro El Potosí.

Para llevar a cabo el análisis del estrato foliar se consideraron las especies así como los estratos arbóreos, de acuerdo a la tabla 4.

En la tabla 5 se presentan los resultados de las variables cuantitativas para las especies y sus respectivas copas. Se determinó que el diámetro de copa promedio del estrato I fue de 5.6 m y en el estrato II de 2.8 m. El estrato I presentó una altura a la base de la copa promedio de 7.2 m. y el estrato II

obtuvo un valor de 1.8 m. Los resultados obtenidos en lo correspondiente a la longitud de copas (CL) el estrato I obtuvo un valor promedio de 8 metros, teniendo un rango de 6.7 m a 8.9 m. El estrato II obtuvo un valor promedio de 4.6 m teniendo este estrato una mayor similitud en sus resultados.

El porcentaje de copa (CR%) obtenido en el estrato I fue de 53%, donde el 75% de éste corresponde a la longitud de intercepción lumínica (LCP%), mientras que en el estrato II el porcentaje fue de 73%, del cual 75% se ubica en el LCP%. De los resultados obtenidos del índice de densidad de copa (CTI) se observa que el estrato I presenta un valor promedio de 0.74 y el estrato II un valor promedio de 0.63, esto se debe a que en el estrato I se encuentra una menor competencia entre los individuos.

El porcentaje de expansión de copa (CSR) muestra que en el estrato I resultó un valor de 0.37 y en el estrato II se obtuvo un valor de 0.45. Cabe mencionar que no se presentó una gran diferencia entre las especies, tanto para el estrato I como para el estrato II.

Con respecto al área de proyección de copa (CPA) se observa que en el estrato I se obtuvo un valor promedio de 26.71 m², donde *Pinus hartwegii* y *P. ayacahuite* fueron las especies que presentaron los más altos valores, debido a que ambas especies mostraron los valores mayores de diámetro de copa. El estrato II presentó un valor promedio de 7.12 m², donde *Abies vejari* y *P. ayacahuite* fueron las especies de mayor representatividad.

Los resultados obtenidos sobre la superficie de copa (CSA) muestran que el estrato I presentó un valor de 94.71 m², y el estrato II obtuvo un valor promedio

de 30.06 m², cabe destacar que *Pseudotsuga menziesii* y *Pinus ayacahuite* presentaron valores similares en sus respectivos estratos. Finalmente, respecto al área de intercepción lumínica (LCS) se encontró que en el estrato I el valor promedio fue de 74.22 m² y en el estrato II fue de 24.17 m², cabe mencionar que *Abies vejari* fue la especie que mostró el valor superior en el estrato I y II.

Tabla 5: Variables del estrato foliar en el Cerro El Potosí.

Especie	CD (m)	HBC (m)	CL	CR %	LCP	LCP %	CTI	CSR	CPA (m ²)	CSA (m ²)	LCS (m ²)
ESTRATO I											
<i>Abies vejari</i>	4.2	5.5	8.4	62	8.2	96	0.51	0.31	14.91	77.7	74.78
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	5.3	6.3	8.9	58	7.9	87	0.61	0.34	23.98	105.6	72.05
<i>Pinus ayacahuite</i>	5.9	7.3	8.2	53	4.9	60	0.75	0.38	28.59	106.3	68.93
<i>Pinus hartwegii</i>	6.3	8.6	6.7	45	4.4	67	0.96	0.41	33.90	97.8	71.03
TOTAL	5.6	7.2	8.0	53	6.1	75	0.74	0.37	26.71	98.8	74.22
ESTRATO II											
<i>Abies vejari</i>	3.0	2.0	4.9	72	4.3	90	0.63	0.44	7.52	33.0	29.00
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	2.8	1.7	4.8	76	3.6	75	0.59	0.45	6.57	31.2	23.79
<i>Pinus ayacahuite</i>	2.9	1.9	4.2	71	2.8	65	0.68	0.48	7.82	30.0	20.55
<i>Pinus hartwegii</i>	2.2	1.4	4.2	78	2.6	61	0.50	0.39	4.66	22.2	14.39
TOTAL	2.8	1.8	4.6	73	3.5	75	0.63	0.45	7.12	30.14	24.17

CD = Diámetro de copa, HBC = Altura a la base de la copa, CL = Longitud de copa, CR% = Porcentaje de copa, LCP = Longitud de intercepción lumínica, LCP% = Porcentaje de longitud de intercepción lumínica, CTI = Índice de densidad de copa, CSR = Porcentaje de esparcimiento de copa, CPA = Área de proyección de copa, CSA = Área de superficie de copa, LCS = Superficie de área de intercepción lumínica.

En la figura 12 se observan los resultados de porcentaje de copa para la especie *Abies vejari*, donde se encontró que a medida que incrementa su edad disminuye el porcentaje de copa, es decir, a la edad de 20 años esta especie presentó un 74% de copa mientras que a la edad de 80 años esta presentó un 61%. Cabe destacar que esta especie en particular presentó una estabilización en lo referente al porcentaje de copa a partir de la edad de 60 años.

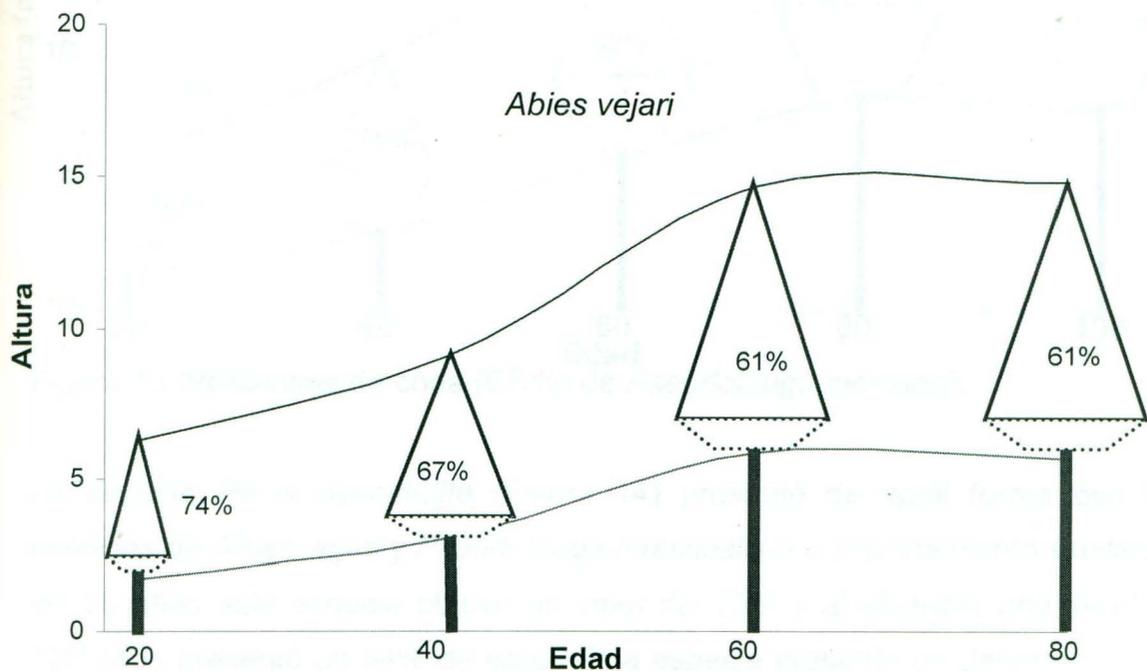


Figura 12: Porcentajes de copa (CR%) de *Abies vejari*.

En la figura 13 se muestran los resultados de *Pseudotsuga menziesii*. Se observa que esta especie presenta un patrón similar que *Abies vejari*, es decir que el porcentaje de copa disminuye mientras incrementa su edad. A la edad de 20 años presentó 76% de copa y a una edad de 100 años obtuvo un 54%. Cabe

mencionar que esta especie mostró una disminución porcentual del 22% entre los 20 y los 100 años de edad.

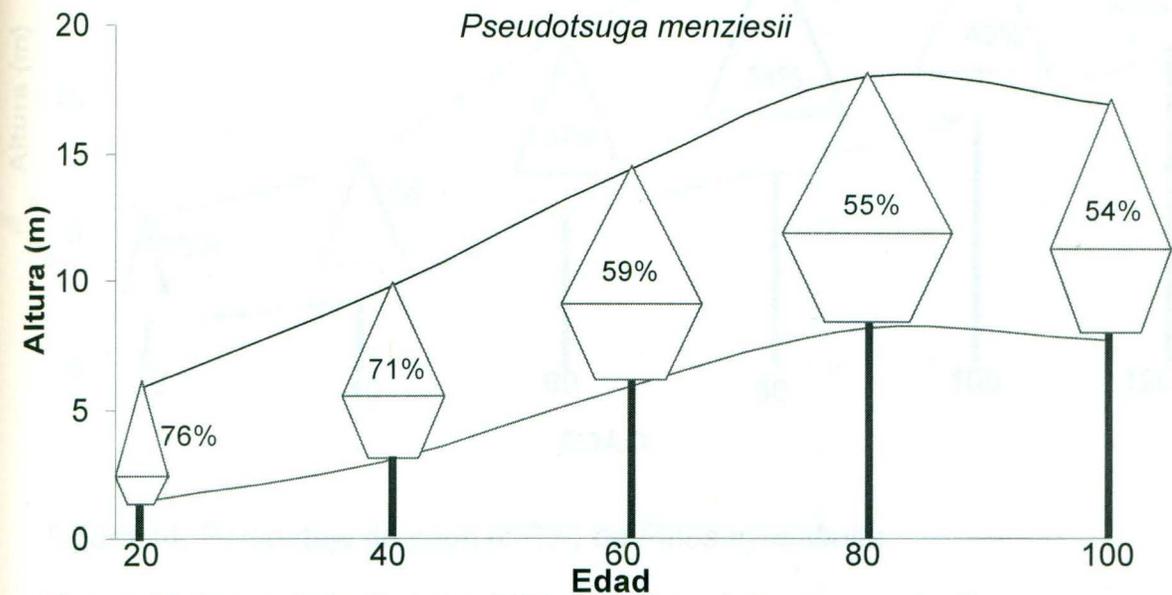


Figura 13: Porcentaje de copa (CR%) de *Pseudotsuga menziesii*.

La especie *Pinus ayacahuite* (Figura 14) presentó de igual forma que las especies de *Abies vejari* y *Pseudotsuga menziesii* un comportamiento similar, a los 20 años esta especie obtuvo un valor del 73% y al alcanzar una edad de 120 años presentó un 34% de copa. Esta especie presentó un decremento del 30% de los 20 a los 120 años.

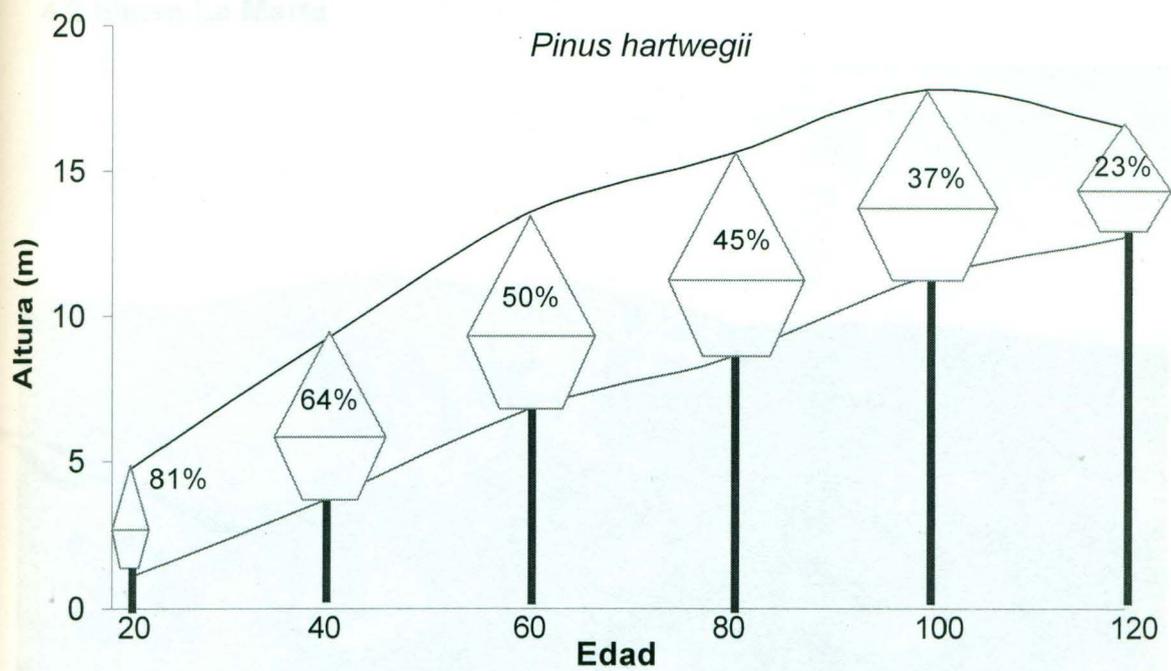


Figura 15: Porcentajes de copa de *Pinus hartwegii*.

4.2 Sierra La Marta



Figura 16: Área de estudio de Sierra La Marta

4.2.1 Valorización cuantitativa

A continuación se presentan los resultados obtenidos de la Sierra La Marta, donde se presentan un total de 496 individuos por hectárea y *Pseudotsuga menziesii* obtuvo una mayor abundancia (250 ind/ha), seguido después por *Abies vejari* con un valor de 146 ind/ha y finalmente *Pinus hartwegii* con 100 ind/ha.

La edad promedio en el área de estudio fue de 55 años, *Pinus hartwegii* fue la especie que presentó la mayor edad (79 años). El área basal total es de 24.7 m²/ha, la cual el 47.4% corresponde a *Pseudotsuga menziesii*, 41.7% a *Pinus hartwegii* y 10.9% a *Abies vejari* (Tabla 7.).

El área de estudio presentó un diámetro promedio de 21 cm. con una variación de 13 cm a 32.4 cm. En lo correspondiente a la altura se presentó un valor promedio de 14.4 m, con un rango entre 11.3 m y 17.1m. Cabe destacar que *Pinus hartwegii* es la especie con mayor diámetro y altura, pero no así con la mayor área basal.

Tabla 6: Valorización cuantitativa en la Sierra La Marta

Especie	Edad años			N (%)	G (m ²)	Diámetro (cm)				Altura (m)			
	t	min	max			d _{1.3}	S _h %	min	max	h	S _h %	min	max
<i>Abies vejari</i>	49	25	125	146 (30)	2.7	13.0	61.7	5	60	11.3	38.6	3.4	28.8
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	48	21	111	250 (50)	11.7	21.0	59.4	5	65	15.1	38.2	5.0	30.0
<i>Pinus hartwegii</i>	79	25	145	100 (20)	10.3	32.4	50.7	5	70	17.1	34.3	4.2	29.5
TOTAL	55	21	145	496 (100)	24.7	21.0	66.7	5	70	14.4	40.3	3.4	30.0

4.2.2 Diferenciación diamétrica



Figura 17: Distribución diamétrica en el área de estudio de Sierra La Marta.

Al igual que el área de estudio Cerro El Potosí, se analizó la diferenciación diamétrica para la Sierra La Marta. En la figura 18 se observan los resultados de la distribución diamétrica de acuerdo a las categorías correspondientes, donde el rango de distribución ocurre entre los 10 cm y 70 cm. Del 100% de la población el 70% se ubica en las categorías 10 y 20. Cabe destacar que *Abies vejari* y *Pseudotsuga menziesii* fueron las especies que presentaron el mayor porcentaje en las categorías menores, mientras que *Pinus ayacahuite* fue la única especie presente en todas las categorías diamétricas.

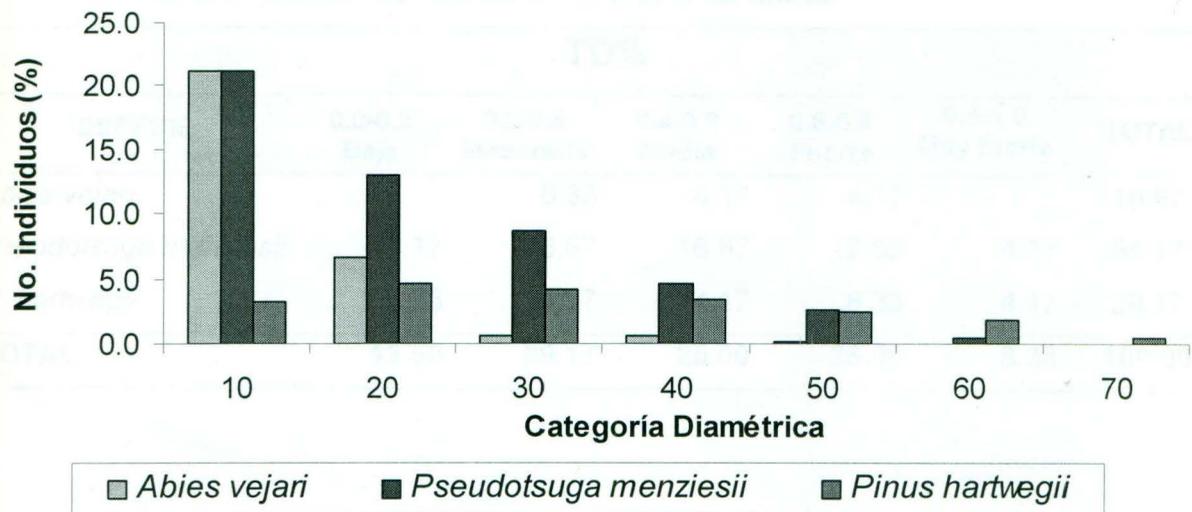


Figura 18: Distribución diamétrica de las especies.

En la tabla 7 se muestran los resultados correspondientes a la diferenciación diamétrica, donde se presentan 5 rangos de diferenciación. El 79% de los individuos se ubican entre la diferenciación diamétrica moderada a fuerte. Lo anterior indica que el ecosistema muestra una tendencia a la heterogeneidad con respecto a la variable diámetro. Cabe mencionar que la especie *Pseudotsuga menziesii* fue la que presentó el porcentaje mayor en los rangos de diferenciación.

4.2.3 Diferenciación en altura



Figura 19: Distribución de la altura en el área de estudio de Sierra La Marta.

En la tabla 8 se observan los resultados de la diferenciación en altura de Sierra La Marta. Solamente se presentan cuatro rangos de diferenciación en altura, los cuales son baja, moderada, media y fuerte. El 63% de los individuos se distribuyen en los rangos de diferenciación de baja a moderada. La especie *Pseudotsuga menziesii* fue la que presentó los valores mayores en los rangos de baja y moderada. *Pinus hartwegii* mostró igual valor que *Pseudotsuga menziesii* en el rango de moderado. Estos resultados indican que la población presenta una tendencia hacia la homogeneidad en altura.

Tabla 8: Diferenciación en altura de Sierra La Marta

ESPECIE	TH%					TOTAL
	0.0-0.2 Baja	0.2-0.4 Moderada	0.4-0.6 Media	0.6-0.8 Fuerte	0.8-1.0 Muy fuerte	
<i>Abies vejari</i>	4.17	4.17	4.17			12.50
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	16.67	16.67	12.50	8.33		54.17
<i>P. hartwegii</i>	4.17	16.67	8.33	4.17		33.33
TOTAL	25.00	37.50	25.00	12.50	0	100.00

4.2.3 Distribución vertical de las especies

La distribución vertical de la especies resultante en la Sierra La Marta muestra que el estrato I presenta un diámetro de 37.5 cm, una altura de 21.8 m y una edad de 82 años. Cabe mencionar que *Pseudotsuga menziesii* es la que presenta una mayor abundancia y la mayor altura en este estrato, pero además una edad menor. *Pinus hartwegii* es la especie que muestra el mayor diámetro y edad (Tabla 9).

En lo correspondiente al estrato II *Abies vejari* y *Pseudotsuga menziesii* fueron las especies que presentaron la mayor abundancia. El diámetro es de 13.80 cm, altura de 11.20 m y la edad de 55 años. Es importante destacar que se presentaron una similitud en los datos promedio de altura y edad para las tres especies presentes en el estrato II (Tabla 9).

Tabla 9: Distribución vertical de las especies en la Sierra La Marta

Especie	N	N(%)	$\bar{d}_{1.3}$ cm	\bar{h} m	\bar{t}
Estrato I					
<i>Abies vejari</i>	12	2.42	31.8	21.0	86
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	89	17.98	34.4	21.7	67
<i>Pinus hartwegii</i>	48	9.70	44.8	22.2	92
SUMA	149	30.10	37.5	21.8	82
Estrato II					
<i>Abies vejari</i>	133	26.87	11.31	10.37	44
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	161	32.52	13.60	11.49	41
<i>Pinus hartwegii</i>	52	10.51	20.96	12.33	44
SUMA	346	69.90	13.80	11.20	42
TOTAL	495	100.00	20.96	14.57	55

En lo correspondiente a la distribución de las especies en el plano vertical, se puede observar en la figura 20, del 100% de los individuos del estrato I la especie que presentó el mayor número de individuos fue *Pseudotsuga menziesii* con 59.7% y *Pinus hartwegii* con 32.2%. En el estrato II se encontró que del 100% de los individuos, la especie *Pseudotsuga menziesii* (46.5%) y *Abies vejari* (38.4%) fueron las que mostraron un mayor número de individuos.

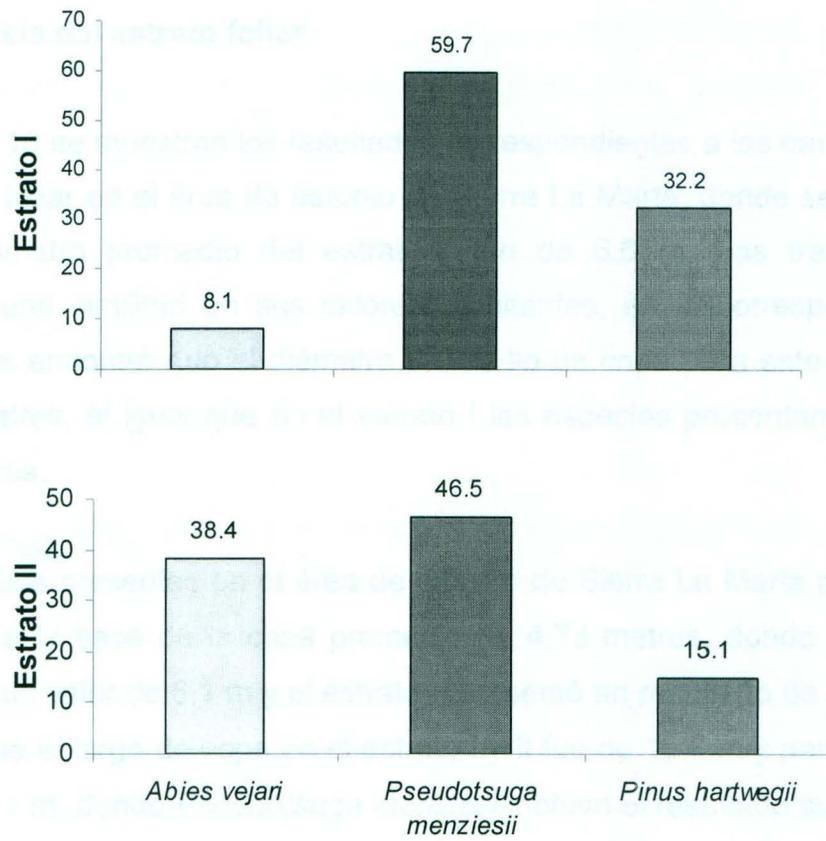


Figura 20: Distribución vertical de las especies en relación a su proporcionalidad por estrato.

4.2.4 Análisis del estrato foliar

En la tabla 10 se muestran los resultados correspondientes a las características del estrato foliar en el área de estudio de Sierra La Marta, donde se determinó que el diámetro promedio del estrato I fue de 6.6 m. Las tres especies presentan una similitud en sus valores resultantes, en lo correspondiente al estrato II se encontró que el diámetro promedio de copa para este estrato fue de 3.61 metros, al igual que en el estrato I las especies presentan resultados muy similares.

Los individuos presentes en el área de estudio de Sierra La Marta presentaron una altura a la base de la copa promedio de 4.73 metros, donde el estrato I obtuvieron un valor de 6.1 m y el estrato II presentó un resultado de 4.1 metros. Mientras que el largo de copa en el estrato I y II fue de 15.7 m y para el estrato III fue de 7.1 m, donde *Pseudotsuga menziesii* obtuvo el resultado superior para ambos estratos.

El porcentaje de copa, en el estrato I obtuvo un resultado de 70% teniendo un rango de variación entre 63% y 73%, mientras que para el estrato II el valor fue de 60%, teniendo un rango de variación desde 55% hasta 66%. De estos resultados un 80.6% le corresponde al estrato I del porcentaje de área de intercepción lumínica y el estrato II un 73.7%.

En lo referente al índice de densidad de copa el estrato II obtuvo un resultado promedio mayor (0.57) que el estrato I (0.45), cabe destacar que *Pinus hartwegii* fue la especie que presentó una mayor densidad en ambos estratos.

En los resultados de expansión de copa el estrato II (0.39) obtuvo valores mayores que el estrato I (0.31), siendo *Abies vejari* y *Pseudotsuga menziesii* las especies que presentaron valores muy similares y a la vez mayores para el estrato I y en el estrato II *Pinus hartwegii* mostró el valor mayor.

Los resultados referentes a la proyección de copa el estrato I obtuvo 36.6 m² mientras que el estrato II presentó un valor de 11.6 m². En lo correspondiente a la superficie de copa el estrato I presentó un valor de 225.2 m², mientras que en el estrato II 59.1 m². Cabe mencionar que para el estrato I *Pseudotsuga menziesii* presentó el valor promedio más altos, mientras que para el estrato II *Pinus hartwegii* fue la especie con el resultado promedio superior. Situación similar ocurre en cuanto al resultado del área de intercepción lumínica; *Pseudotsuga menziesii* obtuvo el valor promedio mayor en el estrato I, pero en cuanto al estrato II las especies *Abies vejari* y *Pinus hartwegii* obtuvieron valores semejantes.

Tabla 10. Variables del estrato foliar en la Sierra La Marta

Especie	CD (m)	HBC	CL	CR %	LCP	LCP %	CTI	CSR	CPA (m ²)	CSA (m ²)	LCS (m ²)
Estrato I											
<i>Abies vejari</i>	6.51	5.70	15.34	73	12.4	80.76	0.43	0.31	35.77	218.56	176.10
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	6.43	5.11	16.61	76	13.78	82.34	0.40	0.30	34.17	230.34	190.95
<i>Pinus hartwegii</i>	7.02	8.12	14.10	63	10.82	76.78	0.55	0.30	41.23	217.38	170.35
SUMA	6.63	6.1	15.7	70	12.7	80.6	0.45	0.31	36.57	225.21	183.10
Estrato II											
<i>Abies vejari</i>	3.51	3.42	6.95	66	5.51	79.25	0.56	0.35	10.61	57.18	46.59
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	3.49	4.18	7.32	63	5.18	70.84	0.53	0.39	10.61	58.58	42.80
<i>Pinus hartwegii</i>	4.28	5.73	6.58	55	4.52	68.61	0.71	0.51	16.96	65.48	46.59
SUMA	3.61	4.1	7.1	60	5.2	73.7	0.57	0.39	11.56	59.07	50.05

CD = Diámetro de copa, HBC = Altura a la base de la copa, CL = Longitud de copa, CR% = Porcentaje de copa, LCP = Longitud de intercepción lumínica, LCP% = Porcentaje de longitud de intercepción lumínica, CTI = Índice de densidad de copa, CSR = Porcentaje de esparcimiento de copa, CPA = Área de proyección de copa, CSA = Área de superficie de copa, LCS = Superficie de área de intercepción lumínica.

En la figura 21 se encuentran representados los valores de la proporción de copa de acuerdo a la categoría diamétrica para *Abies vejari*. Esta especie incrementa su porcentaje de copa conforme avanza en su edad, a los 20 años presentó un 58% y concluye a los 120 años con un 76%, con una diferencia porcentual de copa del 18%.

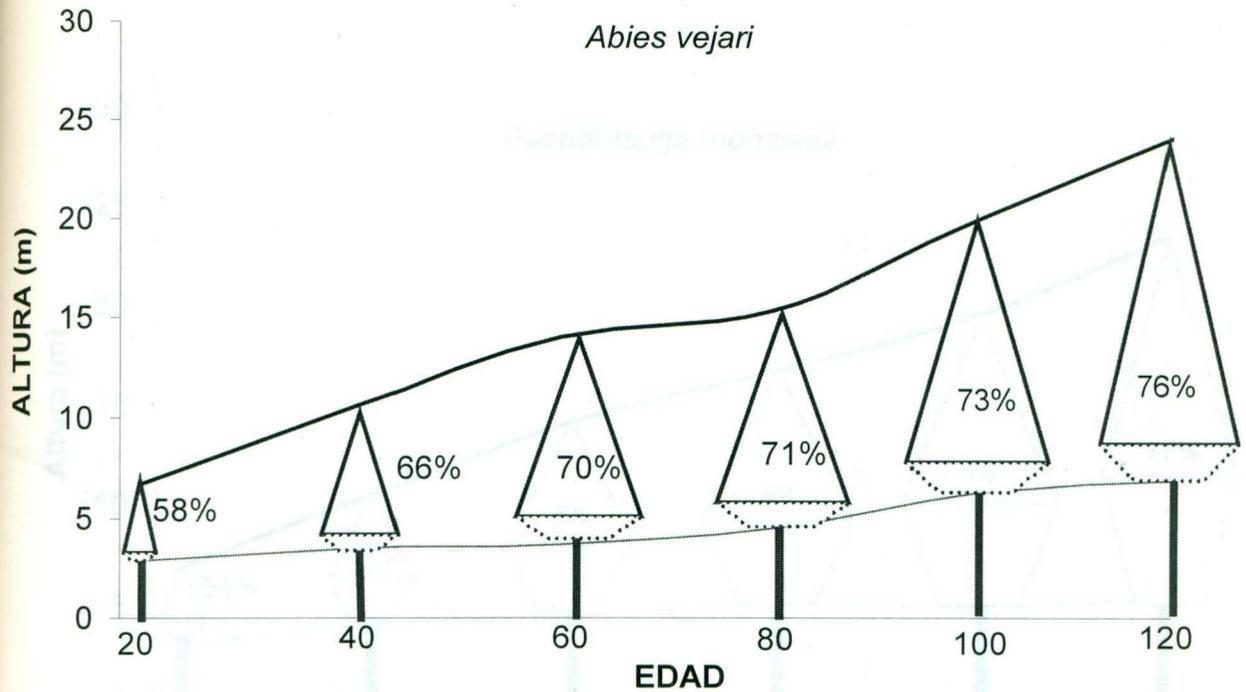


Figura 21: Porcentaje de copa de *Abies vejari*.

Pseudotsuga menziesii (Figura 22) presentó el mismo comportamiento que *Abies vejari*, es decir el porcentaje de copa se incrementa conforme se incrementa la edad. A los 20 años esta especie presentó un 54% mientras que a los 120 años obtuvo un valor de 77%. Cabe mencionar que los valores tanto para esta especie como *Abies vejari* fueron similares. A su vez estas dos especies mostraron el patrón de crecimiento normal para las dos especies de coníferas tolerantes, donde existe un desarrollo gradual del área foliar conforme se presente un incremento en edad.

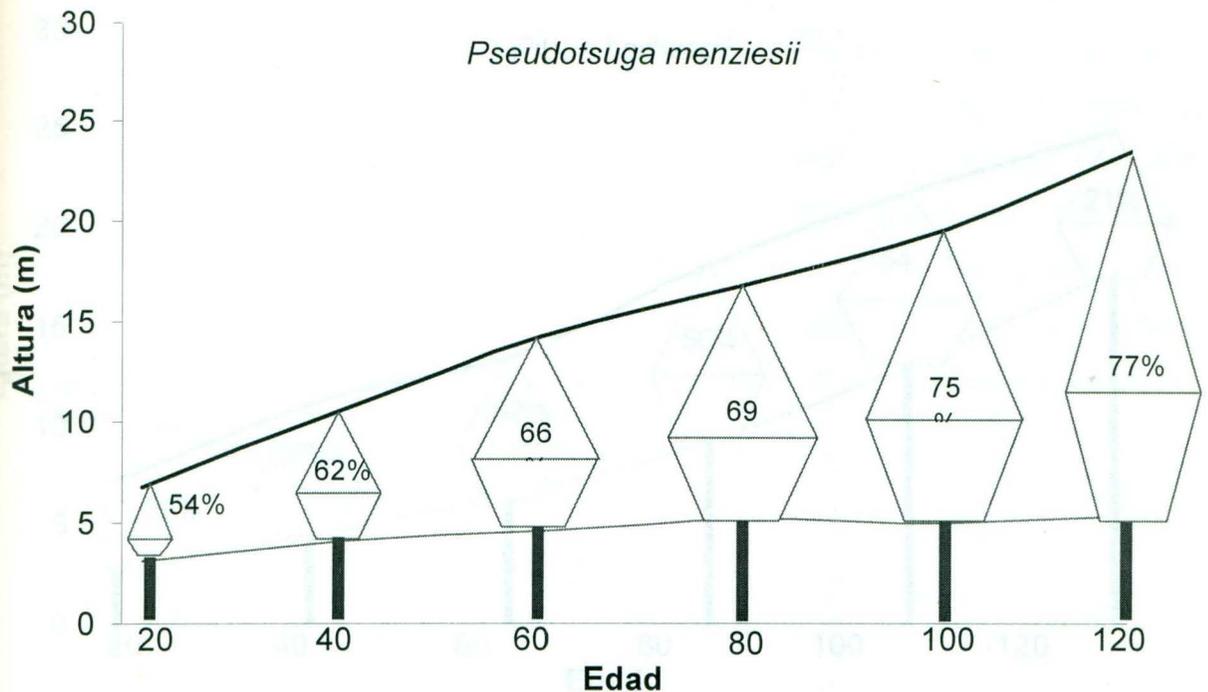


Figura 22: Porcentaje de copa de *Pseudotsuga menziesii*.

En la figura 23 se observan los resultados obtenidos de *Pinus hatwegii*, donde se presentó un valor de 52% a la edad de 20 años y una culminación a la edad de 120 años, con un 21% de área foliar. Es importante resaltar que estas dos especies de la familia Pinacea presentan un patrón de crecimiento típico, por lo que el porcentaje de sus copas es menor conforme se incrementa su edad.

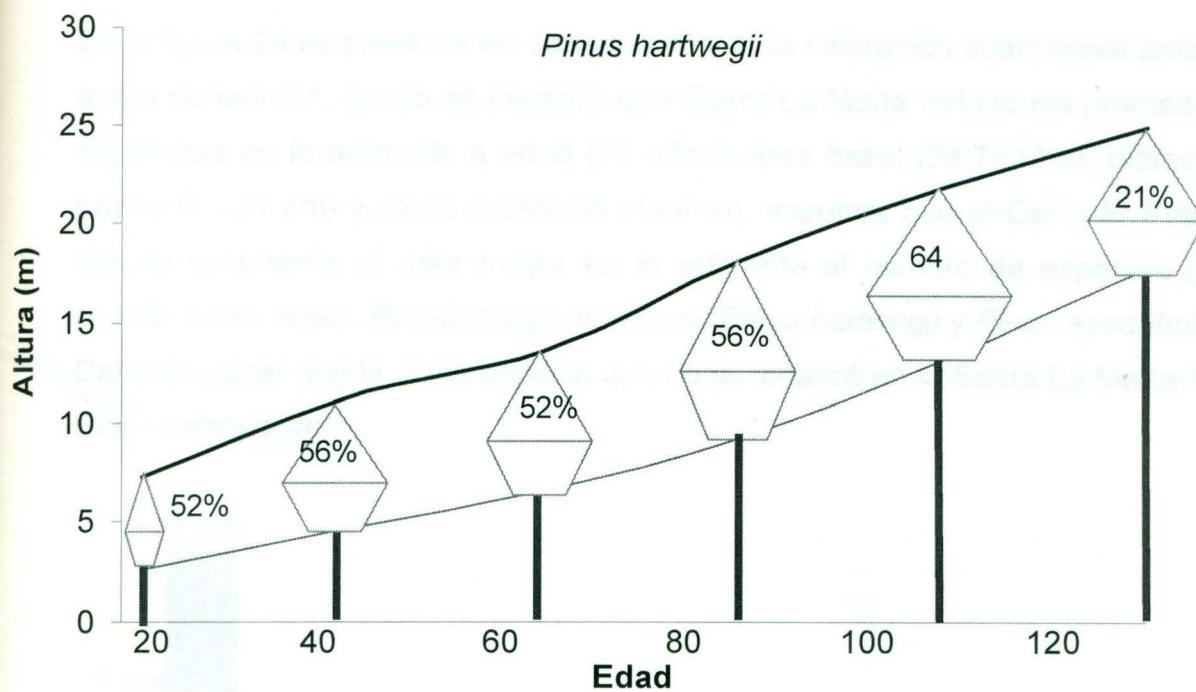


Figura 23: Porcentajes de copa de *Pinus hartwegii* de acuerdo a su edad.

4.3 Comparación entre el Cerro El Potosí y Sierra La Marta

En la figura 24 se presenta la comparación de la valoración cuantitativa de ambas áreas de estudio, donde se muestra que Sierra La Marta obtuvo los promedios superiores en lo referente a edad (55 años), área basal ($24.7 \text{ m}^2/\text{ha}$), diámetro promedio (21 cm) y altura promedio (14.4 m), mientras que el Cerro El Potosí obtuvo solamente el valor mayor en lo referente al número de especies (4), siendo *Abies vejari*, *Pseudotsuga menziesii*, *Pinus hartwegii* y *Pinus ayacahuite*. Cabe destacar que la única especie que no se localizó en la Sierra La Marta fue *Pinus ayacahuite*.

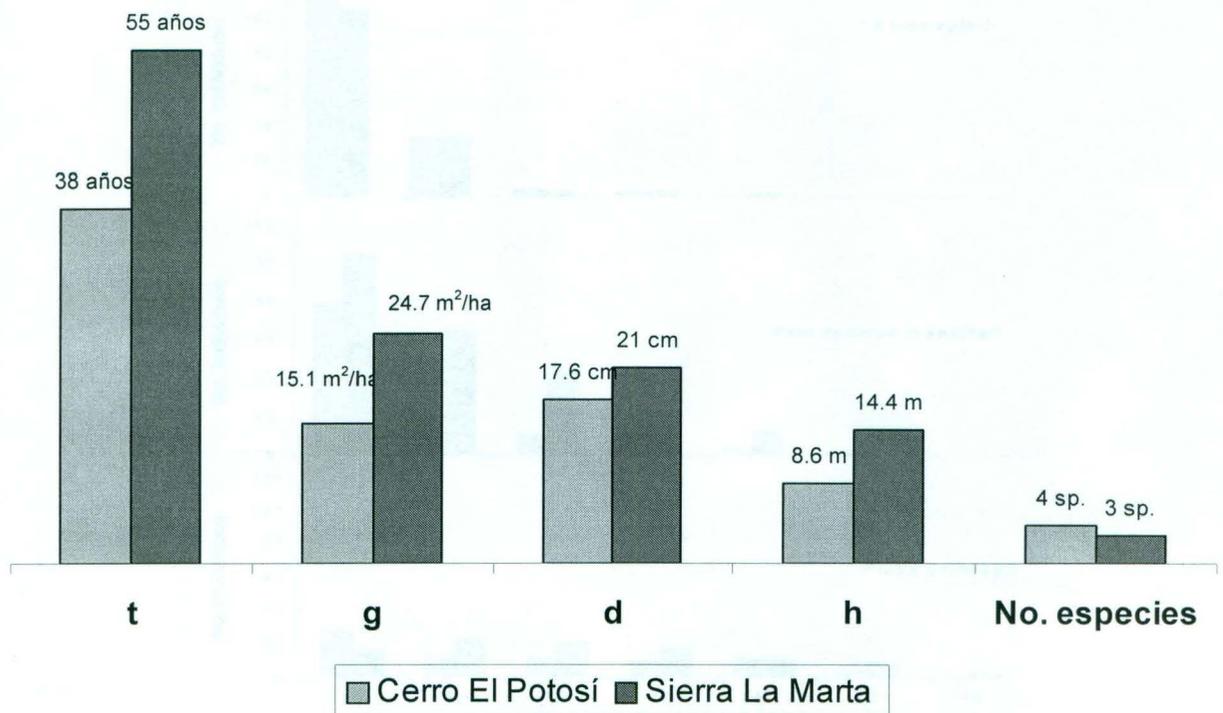


Figura 24: Valorización cuantitativa del Cerro El Potosí y Sierra La Marta.

En la comparación realizada con respecto a la distribución diamétrica se observó en general que las especies de la Sierra La Marta se presentaron en la mayor parte de las categorías diamétricas y con un mayor número de individuos por categoría, es decir en *Abies vejari* se presentó hasta la categoría 50, observándose su mayor número de individuos en la categoría 10. Para *Pseudotsuga menziesii* el 68% de su población se colocó entre las categorías 10 y 20. Y por último para *Pinus hartwegii* en la Sierra La Marta se mostró una tendencia a la homogeneidad en lo referente a la distribución del número de individuos por categoría diamétrica (figura 25).

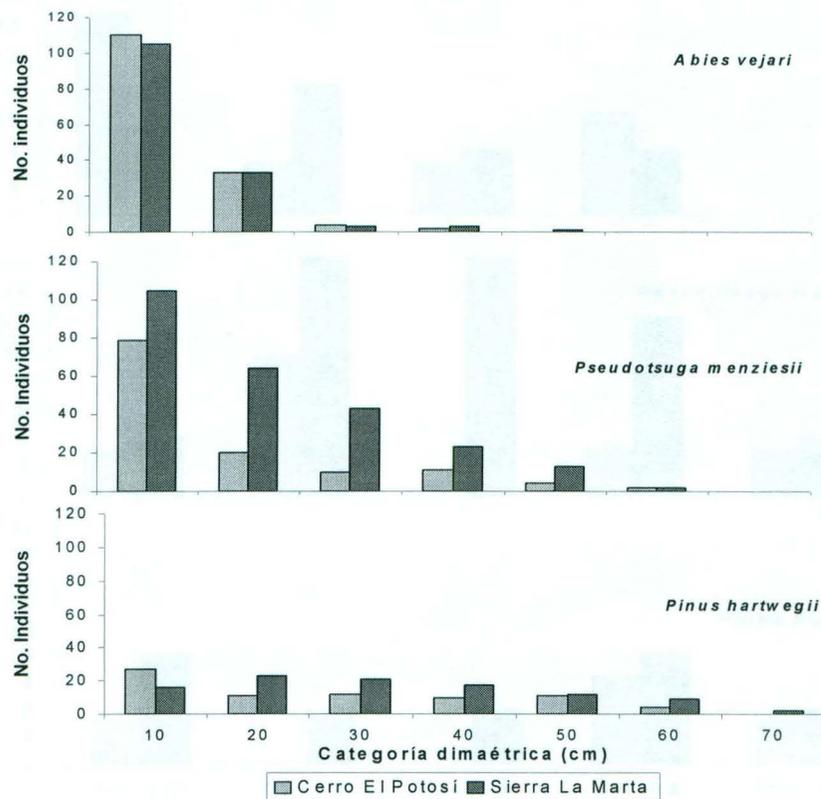


Figura 25: Distribución diamétrica.

Al comparar la diferenciación diamétrica se encontró en *Abies vejari* que en el Cerro El Potosí se presenta una tendencia hacia la homogeneidad, mientras que para Sierra La Marta ocurre una tendencia hacia la heterogeneidad, porque el 100% de sus individuos se encuentran entre la categoría de moderada y fuerte. En el Cerro El Potosí *Pinus hartwegii* muestra una tendencia hacia la homogeneidad mientras que en la Sierra La Marta ocurre una tendencia hacia la heterogeneidad (figura 26).

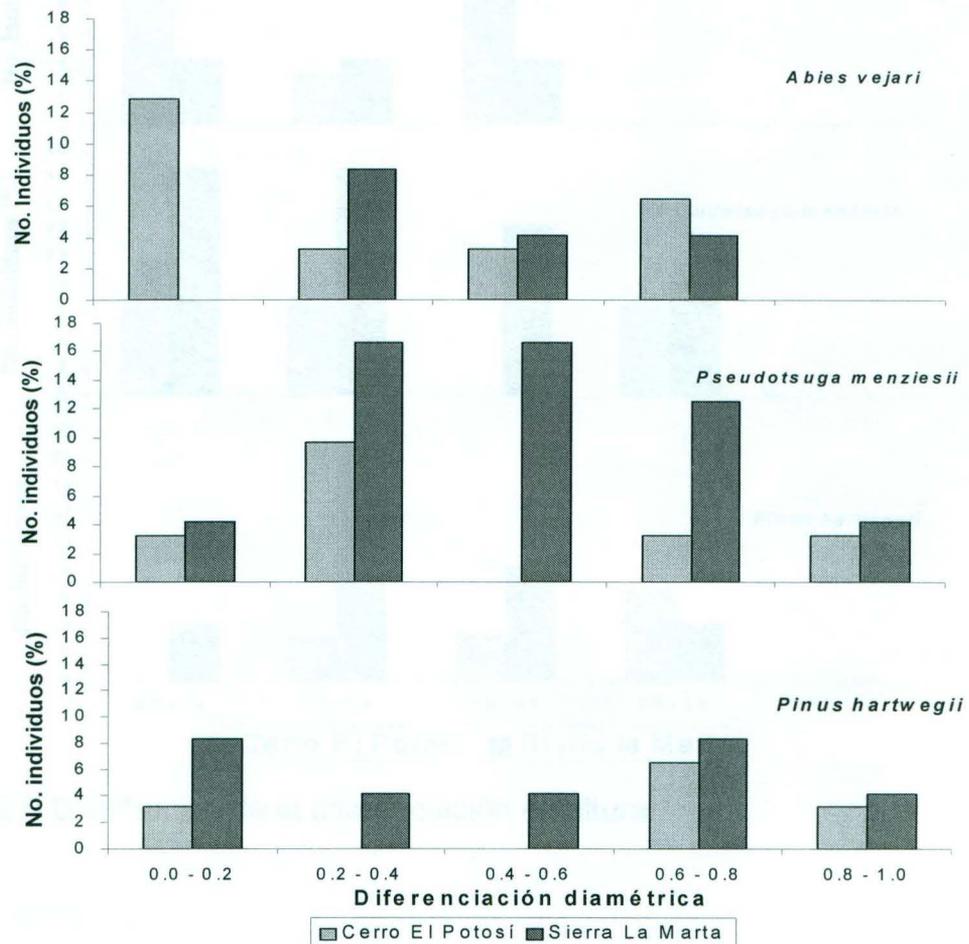


Figura 26: Distribución de la diferenciación diamétrica.

En lo correspondiente a la diferenciación en altura se encontró que tanto *Abies vejari* como *Pseudotsuga menziesii* presentaron una tendencia hacia la homogeneidad, mientras que en *Pinus hartwegii* presentó una tendencia hacia la heterogeneidad en lo referente a la altura (figura 27).

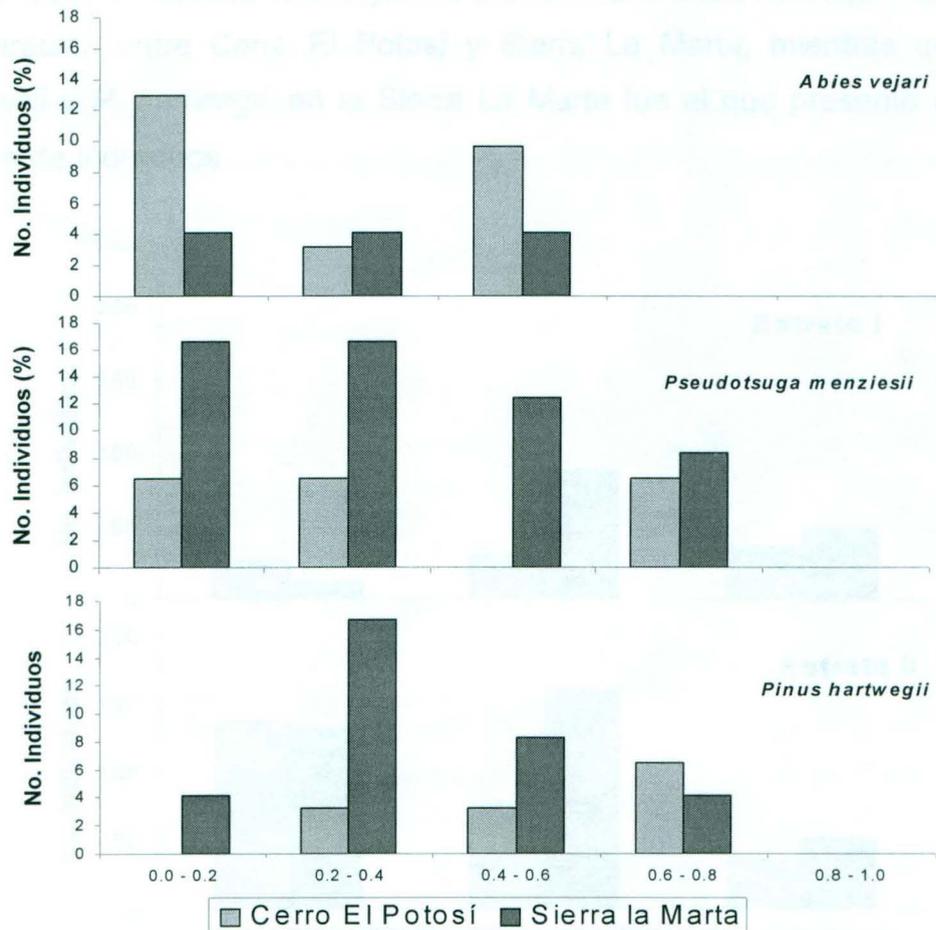


Figura 27: Distribución de la diferenciación en altura.

En la figura 28 se presentan los resultados para la distribución vertical, donde se encontró que el mayor porcentaje de número de individuos fue en el estrato II. En el estrato I en el caso de *Abies vejari* el Cerro El Potosí obtuvo un número mayor, caso contrario en *Pseudotsuga menziesii* y *Pinus hartwegii*, es decir estas especies presentaron su mayor número de individuos en Sierra La Marta. Para el caso del estrato II, *A. vejari* no presentó una diferencia significativa en la comparación entre Cerro El Potosí y Sierra La Marta, mientras que en *P. menziesii* y *P. hartwegii*, en la Sierra La Marta fue el que presentó un mayor número de individuos.

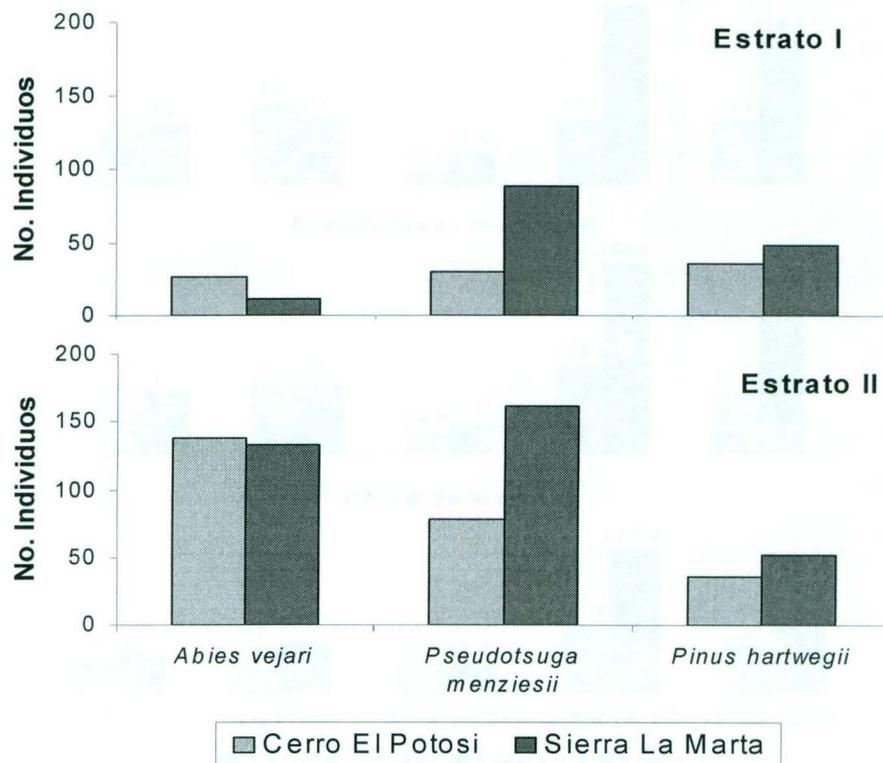


Figura 28: Distribución vertical de las especies por estrato.

En la figura 29 se muestran los resultados de la comparación del análisis foliar, donde se encontró que en la Sierra La Marta obtuvo los mayores valores en las tres especies en lo que corresponde a porcentaje de copa (CR%), en lo referente a porcentaje de intercepción lumínica (LCP%) el Cerro El Potosí obtuvo los porcentajes más altos en *Abies vejari* y *Pseudotsuga menziesii*, pero no ocurrió en *Pinus hartwegii*, esta especie presentó su mayor porcentaje en Sierra La Marta. En lo referente al área de proyección de copa (CPA), Área de superficie de copa (CSA) y Superficie de área de intercepción lumínica (LCS) Sierra La Marta presentó resultados superiores a los del Cerro El Potosí.

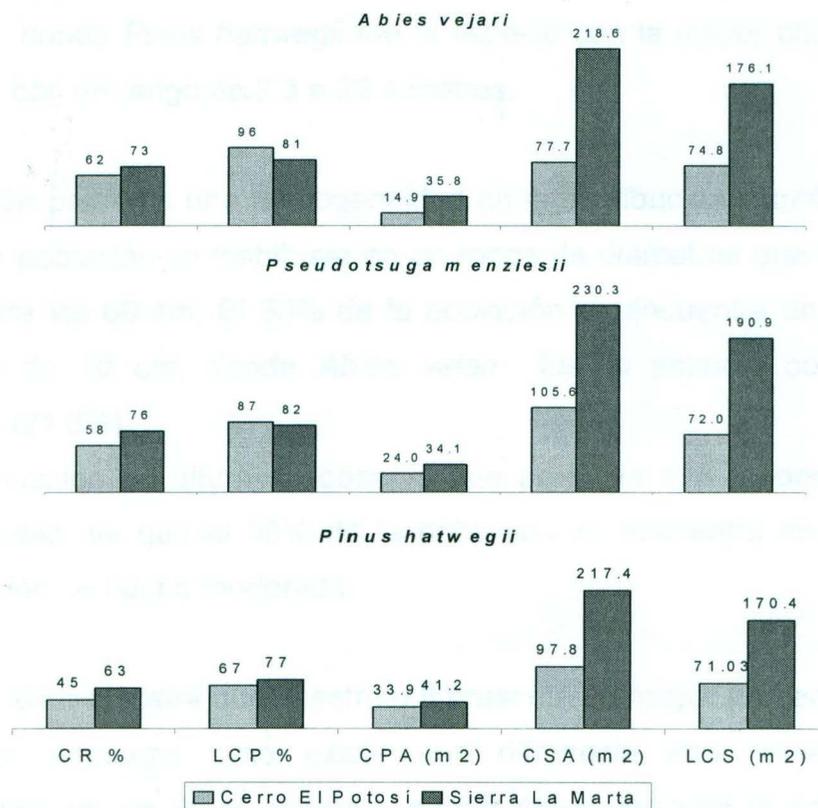


Figura 29: Comparación del análisis foliar del Cerro El Potosí y Sierra La Marta.

5. CONCLUSIONES

5.1. Cerro El Potosí

De acuerdo al análisis de la valorización cuantitativa se observa que *Pinus hartwegii* (51 años) fue la especie que presentó la edad promedio mayor mientras que *Abies vejari* (32 años) la que presentó la menor edad promedio. *Pinus ayacahuite* y *Abies vejari* fueron las especies con mayor abundancia. En cuanto a diámetro promedio existe una gran heterogeneidad, una muestra de esto es la cual presentó el diámetro promedio mayor (26.5 cm) con un rango de variabilidad de 5.1 a 65.3 cm. Mientras que en la altura promedio ocurrió lo semejante, donde *Pinus hartwegii* fue la especie con la mayor altura promedio de 10.6 m, con un rango de 2.3 a 22.4 metros.

La población presenta una homogeneidad en la distribución diamétrica, debido a que esta población se distribuye en un rango de diámetros que va desde los 10 cm hasta los 60 cm. El 60% de la población se encuentra en la categoría diamétrica de 10 cm, donde *Abies vejari* fue la especie con un mayor porcentaje (21.8%).

En diferenciación en altura se observa que presenta una tendencia hacia la homogeneidad, ya que el 58% de la población se encuentra en el rango de diferenciación de baja a moderada.

El análisis foliar muestra que el estrato II presenta un mayor porcentaje de copa (73%). Sin embargo, no existe una diferencia intra específica. Esta manifestación ocurre en el estrato I, donde *Abies vejari* es la especie con el porcentaje mayor (62%).

5.2. Sierra La Marta

El área de estudio de Sierra La Marta se muestra una edad promedio del rodal de 55 años, donde *Pinus hartwegii* es la especie con la edad, diámetro y altura promedio mayor. De acuerdo a la distribución diamétrica el cual muestra un rango de 10 a 70 cm de diámetro, donde el área de estudio presenta una tendencia hacia la heterogeneidad debido al número de individuos presentes en las categorías diamétricas y la diferenciación dimensional. Mientras que en la diferenciación en altura los individuos presenta una tendencia hacia la homogeneidad. Cabe destacar que en la distribución vertical de los individuos el 70% de estos se encuentran ubicados en el estrato II, donde *Abies vejari* y *Pseudotsuga menziesii* son las especies con los valores mas altos.

En el análisis foliar se encontró que el estrato I fue el que presentó los valores mas altos en las variables de, porcentaje de copa, longitud de intercepción lumínica, porcentaje de longitud de intercepción lumínica, índice de densidad de copa, porcentaje de esparcimiento de copa, área de proyección de copa, área de superficie de copa y superficie de área de intercepción lumínica.

5.3. Comparación entre el Cerro El Potosí y Sierra La Marta

Y por finalizar, después del análisis estructural y foliar del Cerro El Potosí y Sierra La Marta, se presentan las comparaciones del Cerro El Potosí y Sierra La Marta. Donde se encontró que Sierra La Marta es el sitio que presentó los valores mayores en las variables de edad, área basal, diámetro y altura promedio.

En lo referente a las distribuciones diamétricas se muestra que las especies de Sierra La Marta se presenta en todas las categorías diamétricas. Mientras que en la diferenciación en altura ambas áreas de estudio presentan una tendencia hacia la homogeneidad. En distribución vertical se encontró que el mayor porcentaje de individuos se presenta en el estrato II, siendo Sierra La Marta la de los mayores valores.

Por último, en lo correspondiente al análisis foliar se muestra que Sierra La Marta obtuvo los valores mayores en todas la variables evaluadas.

Aiba S., Koyano T. 1997. Crown architecture and life-history traits of pioneer species in a warm temperate rain forest: significance of spatial heterogeneity. *Journal of Ecology* 85 (5): 611-624.

Baker, P.J., Wilson, J.S. 2000. A quantitative technique for the identification of canopy stratification in tropical and temperate forest. *Forest Ecology and Management* 127:77-80.

Brang, O.S., Burkhart, H.E. 1995. Estimation of competition indices in individual tree growth models. *Forest Science* 41:366-377.

Brack, C., Wilson, J.T. 1998. Forest Mensuration: Measuring trees, stands and forest for effective forest management.

http://www.forest.msu.edu/extension/2000/brack_wilson_2000.pdf

Burke, A. 1995. A light model for spatially explicit forest stand dynamics. *Forest Ecology and Management* 147 (1-3): 19-46.