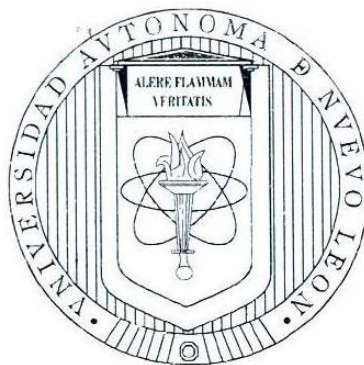


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE BOSQUES MIXTOS EN LA
SIERRA MADRE ORIENTAL, MÉXICO

TESIS DE MAESTRÍA

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

Presenta

ING. DORA ALICIA GARCÍA GARCÍA

Linares, Nuevo León

Septiembre de 2002

TM

Z599

FCF

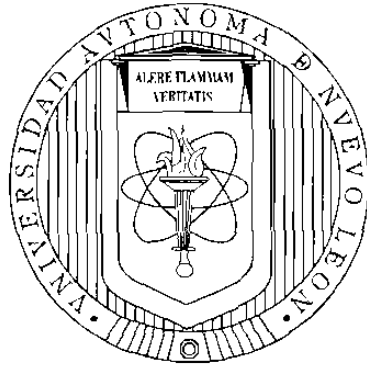
2002

.G3



1020148227

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



DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE BOSQUES MIXTOS EN LA
SIERRA MADRE ORIENTAL, MÉXICO

TESIS DE MAESTRÍA

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

Presenta

ING. DORA ALICIA GARCÍA GARCÍA

Linares, Nuevo León

Septiembre de 2002

5.2

2
6
23



FONDO
TESIS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

**DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE BOSQUES MIXTOS EN LA SIERRA MADRE
ORIENTAL EN EL NORTE DE MÉXICO**

TESIS

Para obtener el grado de
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES

Presenta

ING. DORA ALICIA GARCÍA GARCÍA

COMITÉ DE TESIS




Dr. Javier Jiménez Pérez

Presidente



Dr. Oscar A. Aguirre Calderón
Secretario



Dr. Eduardo J. Treviño Garza
Vocal

Linares, Nuevo León

Septiembre de 2002

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de tesis más que un fin es un medio y una forma donde la voluntad, esfuerzo, creatividad y propósitos se amalgaman para alcanzar una meta, sin escatimar esfuerzos personales e institucionales.

Agradezco sinceramente a:

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el otorgamiento de la beca crédito, así como el apoyo parcial del proyecto de investigación “Caracterización estructural del estrato arbóreo en bosques multicohortales del norte de México” proyecto CONACyT 33919-B.

A la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, por su aportación brindada para el establecimiento y desarrollo de este trabajo.

Al Comité de Tesis donde cada uno de los integrantes de manera honesta, capaz y respetuosa crearon un ambiente de confianza y responsabilidad en el desarrollo de esta investigación.

Al Dr. Javier Jiménez Pérez, por su disposición, tiempo, dedicación, atinada dirección, valiosos consejos, amistad y confianza en que llegaría a esta investigación a buen termino.

Al Dr. Oscar A. Aguirre, por su disposición al análisis y valiosos comentarios en torno a la investigación realizada y derroche de buena amistad.

Al Dr. Eduardo J. Treviño Garza, por su participación e intereses vertidos en sus comentarios, sugerencias y observaciones.

Al personal académico y administrativo de la Facultad de Ciencias Forestales por su valioso apoyo durante mi estancia en el programa de maestría.

A todos los profesores de la Facultad, por haberme enseñado, por su paciencia y su buen trato durante mi formación.

A mis compañeros de generación: Regina, Nelly, Artemio y José Juan por los grandes momentos que pasamos juntos, pero sobre todo por su amistad.

A Marco, Regina, Juan Luis, Eduardo y Claudio por su apoyo en la realización del trabajo de campo.

A todos mis compañeros de la Facultad por haber compartido momentos tan agradables.

Contenido

1. Introducción	1
1.1. Objetivo	3
1.1.1. Objetivo general	3
1.1.2. Objetivo específico	3
1.2. Hipótesis	3
2. Antecedentes	4
2.1. Grupo estructural de los 4 árboles	6
2.2. Índice de mezcla de especies	8
2.3. Índice de diferenciación diamétrica	9
2.4. <i>Abundancia, dominancia y frecuencia de especies</i>	11
2.5. Distribución espacial	13
2.6. Índices de distribución espacial	18
3. Materiales y métodos	26
3.1. Descripción del área de estudio	26
3.2. Cerro El Potosí	27
3.2.1. Geología	27
3.2.2. Clima	28
3.2.3. Vegetación	28
3.3 Sierra La Marta	29
3.3.1 Geología	30
3.3.2 Clima	30
3.3.3 Vegetación	31
3.4 Desarrollo metodológico	31
3.4.1 Localización del área de estudio	31

3.4.2 Medición global	32
3.4.3 Análisis muestral	33
3.5 Abundancia, dominancia y frecuencia	34
3.6 Índice de mezcla de especies	35
3.7 Diferenciación dimensional	37
3.8 Análisis de la distribución espacial	38
3.8.1 Índices de distribución espacial	41
3.8.1.1 Índice de dispersión	41
3.8.1.2 Índice de agrupamiento	42
3.8.1.3 Índice de Green	42
3.8.1.4 Índice de Clark & Evans	43
3.8.2 Distribución probabilística	44
3.8.2.1 Distribución de poisson	44
3.8.2.2 Distribución binomial negativa	46
4. Resultados y discusión	50
4.1. Cerro El Potosí	50
4.1.1. Análisis de la abundancia, dominancia y frecuencia	52
4.1.2. Índice de diferenciación diamétrica	54
4.1.3. Índice de mezcla de especies	55
4.1.4. Distribución espacial de las especies arbóreas	58
4.1.4.1. Índice de distribución espacial	58
4.1.4.2. Distribución probabilística de las especies	62
4.2. Sierra la marta	66
4.2.1. Análisis de la abundancia, dominancia y frecuencia	67
4.2.2. Índice de diferenciación diamétrica	69
4.2.3. Índice de mezcla de especies	70

4.2.4. Distribución espacial de las especies arbóreas	73
4.2.4.1. Índices de distribución espacial	75
4.2.4.2. Distribución probabilística de las especies	76
5. Conclusiones	80
6. Bibliografía	83

Resumen

El conocimiento de las características estructurales en los bosques multicohortales es fundamental en el desarrollo de los planes de manejo de los recursos forestales. El objetivo de este estudio fue determinar la distribución espacial de las especies arbóreas en ecosistemas forestales mixtos en dos fracciones de la Sierra Madre Oriental. Esta investigación se estableció en el Cerro El Potosí, (*Abies vejari*, *Pseudotsuga menziesii*, *Pinus hartwegii* y *Pinus ayacahuite*) y en la Sierra La Marta (*Abies vejari*, *Pseudotsuga menziesii* y *Pinus hartwegii*).

La metodología que se utilizó fue una combinación de la medición global y el análisis muestral, donde se analizaron variables dasométricas para determinar la abundancia y dominancia de las especies arbóreas. A su vez se determinó la frecuencia, índice de diferenciación dimensional, índice porcentual de la mezcla de especies, índice de dispersión, de agrupamiento, de Green, y el índice de Clark & Evans. Además de la comparación de la media aritmética y varianza, así como distribución de Poisson, Ji-cuadrada (X^2) y distribución Binomial negativa, esto con el fin de conocer la distribución espacial de las especies presentes en los ecosistemas forestales.

De acuerdo a los resultados correspondientes al Cerro El Potosí, se observó que la mayor abundancia y frecuencia la presentaron *Pseudotsuga menziesii* y *Pinus ayacahuite*; la dominancia *Pinus hartwegii* por sus dimensiones diamétricas. Para Sierra La Marta la especie de mayor abundancia, dominancia y frecuencia es *Pseudotsuga menziesii*. En ambas fracciones de la Sierra

Madre Oriental, se presentó una tendencia hacia la homogeneidad en cuanto a las dimensiones diamétricas.

Las especies mostraron una distribución aleatoria con el estudio de los diferentes índices, en ambos sitios de estudio, excepto *Pinus ayacahuite*, el cual mostró una tendencia hacia el agrupamiento en el Cerro El Potosí y el *Pinus hartwegii* en Sierra La Marta.

La distribución de Poisson y binomial negativa, a través de la prueba de X^2 , mostraron una aleatoriedad para Cerro El Potosí las especies de *Abies vejari* y *Pseudotsuga menziesii*, mientras que las especies del género *Pinus* presentaron una distribución de tipo uniforme. Para Sierra La Marta, *Abies vejari* presenta una tendencia hacia la distribución uniforme, *Pseudotsuga menziesii* presenta una tendencia agrupada y *Pinus hartwegii* presenta una tendencia hacia la aleatoriedad.

Summary

The knowledge of structural characteristics in mixed stands basic in the forest ecosystem management. The objective of this study was to determine the spatial distribution of tree species in mixed forest ecosystems in two location of the Sierra Madre Oriental. This investigation was establish in the summit of the Cerro El Potosí, (*Abies vejari*, *Pseudotsuga menziesii*, *Pinus hartwegii* and *Pinus ayacahuite*) and in the Sierra La Marta (*Abies vejari*, *Pseudotsuga menziesii* and *Pinus hartwegii*).

The methodology was a combination of the global mensuration and sample plot analysis muestral, where variable dasométricas were analyzed to determine the abundance and dominance of the arboreal species. To determines the frequency, dimensional differentiation index, mixture index, dispersion index, clumping, Green and Clark & Evans index. Besides the comparison of the average and variance, as well as distribution Poisson, Chi-square (X^2) and distribution Binomial negative.

According to the results corresponding to the summit of the Cerro El Potosí, was observed that the greater abundance and frequency were presented in *Pseudotsuga menziesii* and *Pinus ayacahuite*. For Sierra La Marta the species of greater abundance, dominance and frequency is *Pseudotsuga menziesii*. In both locations, a tendency was presented to in the diametric dimensions.

The species showed a random distribution with the study of the different indices, in both places, except the *Pinus ayacahuite*, which showed a tendency to the clumped in the Cerro El Potosí and *Pinus hartwegii* in Sierra La Marta.

The Poisson and binomial negative distribution, through the test of Chi-square, *Abies vejari* and *Pinus hartwegii* a randomness in Cerro El Potosí with the Poisson and binomial negative distribution.

1. INTRODUCCIÓN

El estudio de la distribución espacial de las masas arboladas es de gran interés en el ámbito de la dasometría. Esta relacionada con el crecimiento de los árboles o las masas arboladas, así como con la eficiencia del muestreo de los inventarios forestales en relación con el tipo de muestreo empleado y con la estimación del número de metros cúbicos por hectárea o de la distribución diamétrica (Condés *et al.*, 1998).

El conocimiento sobre la diversidad estructural de los ecosistemas constituye hoy en día uno de los instrumentos de mayor importancia para el establecimiento de patrones de dinámica dentro del gran complejo de las comunidades vegetales. El establecer un mecanismo de caracterización estructural en los planes de manejo forestal, otorga una certificación del estado actual del ecosistema arbóreo, con lo que se establecen las bases para el desarrollo sostenible de los ecosistemas forestales (Gadow *et al.*, 1992; Földner, 1995).

Los bosques multicohortales de *Pinus-Quercus* se distribuyen ampliamente a lo largo de la Sierra Madre Oriental y Sierra Madre Occidental en el norte de México, siendo este uno de los tipos de vegetación forestal económicamente más importante de México. Logran ocupar una extensión de 27.5 millones de hectáreas en las zonas de clima templado frío y templado seco, correspondiendo a un 70% de la superficie del aprovechamiento forestal (Jiménez y Kramer 1992).

De particular importancia es la generación de esquemas de gestión de los recursos forestales en ecosistemas multicohortales, que representan los escenarios deseables a futuro en muchas regiones. El reto del manejo forestal consiste en obtener a partir de tales variables, nuevos indicadores de sustentabilidad (Jiménez *et al.*, 1999; Aguirre, 1999).

En la actualidad una de las tareas del manejo forestal es la búsqueda de nuevos métodos de inventario y planeación de los ecosistemas forestales, particularmente en una época en que se generan múltiples discusiones sobre la conservación y fomento de la biodiversidad, a la par que se observa un incremento en la demanda de los productos forestales.

PROBLEMÁTICA Y JUSTIFICACIÓN

Los trabajos desarrollados en el Cerro El Potosí han estado orientados principalmente a la descripción de las diferentes comunidades vegetales existentes en este macizo montañoso, presentándose una carencia de estudios ecológicos. Con el presente estudio de investigación se pretende definir la distribución espacial del bosque mixto, así como el patrón de asociación entre las especies presentes en el área.

Con el establecimiento y seguimiento de sitios de evaluación continua se ofrecerá información real y precisa concerniente a la asociación entre las especies arbóreas, permitiendo que en un futuro se tomen decisiones acordes con el estado natural en que se desarrollan.

1.1 Objetivo

1.1.1 Objetivo general

Caracterización de la distribución espacial en bosques mixtos de pino-encino en la Sierra Madre Oriental con la finalidad de conocer la dispersión de las especies arbóreas.

1.1.2 Objetivos específicos

1. Comparación entre la población y el muestreo de los 4 árboles
2. Estimación de los parámetros abundancia, dominancia y frecuencia de las especies arbóreas
3. Determinación de la distribución espacial en especies de tipo arbóreo mediante índices de dispersión:
 - 3.1 Índice de Dispersión (ID)
 - 3.2 Índice de Agrupamiento (IC)
 - 3.3 Índice de Green (IG)
 - 3.4 Índice de Agregación de Clark & Evans (R)

1.2 Hipótesis

Mediante la caracterización de la distribución espacial en bosques mixtos se logra determinar la dispersión de las especies arbóreas.

2. ANTECEDENTES

En los bosques mixtos de pino-encino de las zonas montañosas, por lo general el género *Pinus* representa el principal interés económico, mientras que para el género *Quercus* no ha existido un interés económico, minimizando su posibilidad de ser analizado dentro del ecosistema, se caracteriza y esquematiza apoyándose en la elaboración de perfiles de vegetación, diferenciando tres tipos de bandas o zonas en los bosques en la Sierra Madre Oriental: zona baja y superior submontana, además de la zona media o montaña de bosque de encino (Müller-Using, 1994).

La baja productividad en estudios de poblaciones para bosques de clima templado-frío, bajo el precepto de ecosistemas forestales, orientados a evaluar en una forma real las relaciones sucesionales y dinámica de los recursos naturales renovables, ha traído consigo que una fracción de la superficie forestal mexicana se encuentre en un proceso rápido de degradación, sin que aún se logre conocer la forma de frenar este proceso acelerado de desertificación. Estudios científicos sobre el conocimiento de la dinámica y procesos de sucesión de los diferentes ecosistemas forestales en México son de una importancia relevante para lograr mediante decisiones adecuadas un manejo sustentable de los recursos naturales renovables (Jiménez *et al.*, 1996).

Actualmente la mayoría de los países dedicados al manejo de los ecosistemas forestales han retornado a evaluar sus distintos tipos de vegetación, para considerar de una manera global, el desarrollo de sus especies de importancia ecológica o económica. con el fin de mantener el concepto de sustentabilidad

de los ecosistemas sin llegar a causar un deterioro en los mismos. Entre ellos destacan Alemania y Estados Unidos.

México se distingue por poseer una gran diversidad de especies de flora y fauna en distintos tipos de ecosistemas. La flora la constituyen de 22 mil a 30 mil especies de plantas vasculares, que comparada con la flora europea es dos veces mayor a ésta, significando un 10% de flora mexicana con respecto a la mundial (Baca, 2000).

Existe una mayor cantidad de pinos y encinos en México, que en ningún otro país del mundo. Así mismo, existe una alta proporción de endemismo, motivos suficientes para realizar estudios de ecosistemas con carácter ecológico evolutivo (Gómez-Pompa, 1985).

El aprovechamiento de los recursos forestales en este país ha priorizado el crecimiento económico sobre la base de modelos tecnológicos especializados que no reconocen las características de los ambientes, dando como resultado la sobre explotación de los ecosistemas forestales.

Las investigaciones en el medio rural y sobre todo en lo que respecta a los ecosistemas de bienes y servicios forestales se han enfocado a objetivos económicos pasando por alto los efectos tales como erosión, deforestación, desequilibrio hídrico y la pérdida de la biodiversidad (Gómez-Pompa, 1985).

El desarrollo de las zonas dotadas de un ecosistema forestal implica el aprovechamiento de la potencialidad de los recursos bajo un esquema de conservación, de tal forma que éste resulte eficiente, comprende tanto las

dimensiones socio ecológicas y tecnológicas sobre los aspectos ecológico-ambientales (Toledo, 1984).

Es interesante mencionar que el Cerro El Potosí, en el estado de nuevo León, es una fracción de la Sierra Madre Oriental, donde logra alcanzar una altura sobre el nivel del mar (msnm) de 3,750 m. Debido a esta particularidad, ha sido objeto de estudios científicos, por encontrarse una diversidad de hábitat que ocurren desde un bosque encino-pino hasta la pradera subalpina y alpina, localizándose a lo largo de su gradiente altitudinal un gran número de especies endémicas, bajo protección especial, en peligro de extinción y maderables (González, 1999).

2.1 Grupo estructural de los 4 árboles

La aplicación en la práctica de índices para la caracterización estructural, depende de los objetivos de caracterización o manejo del ecosistema forestal, lo cual permite realizar una toma adecuada, asegurando que los procedimientos para la obtención de la información de campo sean óptimos en tiempo y costo (Gadow, 1999).

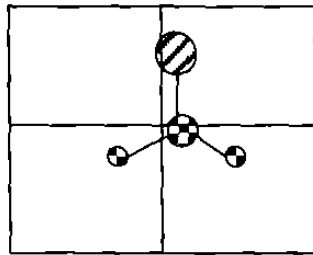


Figura 1: Muestreo del grupo estructural de los 4 árboles.

La experiencia en campo durante décadas, indica que los sitios de muestreo circulares son adecuados en bosques, cuando se trata de estimar las existencias volumétricas. Estos mismos contienen valiosa información, principalmente para el análisis de la estructura de las especies. De tal forma que a partir de la información de los sitios circulares, donde se registra la ubicación de los árboles, pueden ser utilizados para inferir ciertas variables dependientes de la distancia. Teniendo el inconveniente de no definir la influencia y el producto de las relaciones de vecindad de los árboles cercanos al límite del sitio (Nagel, 1994).

De acuerdo a lo anterior, existe una alternativa para obtener los índices estructurales de un ecosistema forestal arbóreo mediante el grupo estructural de los cuatro árboles (Füldner, 1995; Jiménez *et al.*, 1999), basada en construcción de redes por medio de las equidistancias de las coordenadas x-y, partiendo de un punto inicial aleatorio. Este muestreo se fundamenta en un procedimiento sistemático de inventario en el que los sitios de muestreo se ubican conformando una red (Füldner, 1995).

Las variables descriptivas de los atributos estructurales en bosques mixtos multicohortales pueden ser evaluadas a partir de la información del muestreo del vecino más cercano, ofreciendo la posibilidad de caracterizar las modificaciones estructurales que suceden en el ecosistema en tiempo y espacio al ser intervenido (Gadow, 1999).

El árbol más cercano a los puntos de intersección de la red se denomina árbol cero y/o objeto, y a partir de éste, se toma la distancia a los tres árboles vecinos más próximos. Tomando a los individuos sus datos dendrométricos de

diámetro, altura, área basal, edad y especie. La información obtenida y procesada en gabinete permite inferir:

- ⇒ El índice de mezcla de especies M_i , el de distancia entre árboles D_i , los índices de diferenciación dimensional TD
- ⇒ El índice de agregación de Clark & Evans
- ⇒ El índice de dispersión, agrupamiento y el índice de Green para poblaciones (Ludwig y Reynolds, 1988).

2.2 Índice de mezcla de especies (\overline{DM})

Este término fue descrito por Fuldner *et al.* (1994) para el desarrollo de un muestreo estructural de cuatro árboles. Los valores van de 0 a 1, presentando solamente cuatro categorías, donde cero corresponde cuando los árboles vecinos son de la misma especie, 0.33 cuando un individuo pertenece a otra especie, 0.67 cuando dos de los tres individuos pertenecen a otras especies y toma un valor de 1 cuando los tres vecinos pertenecen a una especie diferente a la del árbol centro o árbol muestra (figura 2).

$$DM_{n1} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_{ij}$$

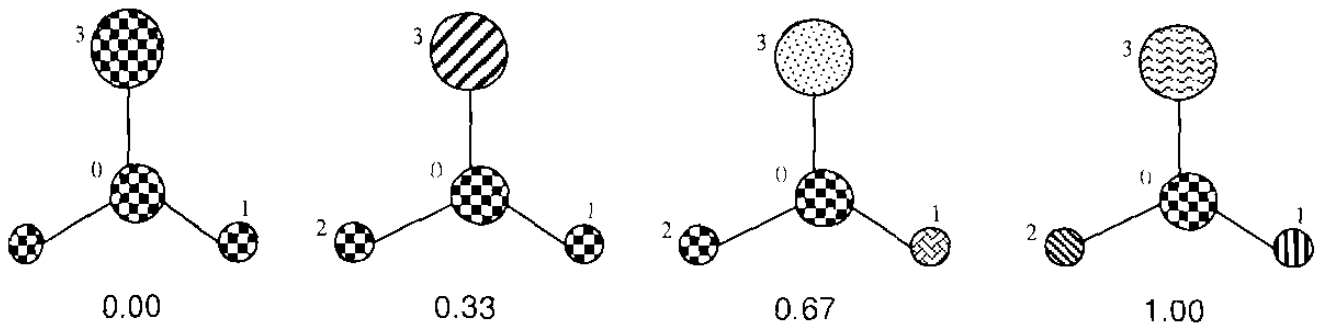


Figura 2: Constelación hipotética del índice de la mezcla de especies.

Jiménez *et al.* (2001) al evaluar el índice de la mezcla de especies en un bosque mixto en el norte de México, encontraron que el 33 por ciento de la masa forestal se ubicaba con un $DM = 1$ (índice de mezcla de especies), donde de cada tres árboles vecinos, uno de ellos pertenecía a diferente especie que el árbol muestra o árbol centro. Solo el 20 por ciento de los casos todos los individuos correspondieron a la misma especie. Mientras que *Pinus pseudostrobus* se vinculaba solo el 17 por ciento de los árboles-muestra de otra especie.

2.3 Índice de diferenciación diamétrica (TD)

Una de las principales características que define la estructura de una masa es la variación existente entre los tamaños de los árboles que la constituyen. Gadow y Földner (1995) propusieron un índice denominado *grado de diferenciación* para cuantificar esta característica. El índice puede aplicarse a cualquier variable numérica que represente el tamaño de un árbol¹ (árbol¹: esto suele aplicarse al diámetro a 1.3 m, la altura total, la longitud de copa o el

volumen de copa). Por ejemplo el valor del índice cuando se emplean los diámetros como variable de diferenciación de tamaños tiene la siguiente expresión:

$$T_i = 1 - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{\min(d_i, d_j)}{\max(d_i, d_j)}$$

donde:

T_i = diámetro de diferenciación en diámetros considerando los n árboles más cercanos al árbol analizado (i), $0 \leq T_i \leq 1$,

d_i = diámetro (cm) del árbol analizado (i) y

d_j = diámetro (cm) del árbol j más cercano al árbol i ($j=1, \dots, n$)

El principio se ilustra en la figura 3, el valor del índice del número de árboles considerados en la vecindad del árbol i . Cuando en el cálculo del índice solo se tienen en cuenta al árbol más cercano el valor de $T_i = 0.5 = 1 - (20/40)$. Sin embargo al considerar los dos árboles más cercanos el índice tiene un valor de $0.42 = (1 - (20/40 + 40/60))/2$

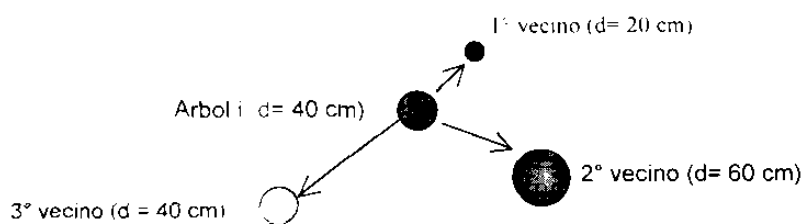


Figura 3: Situación hipotética con un árbol de referencia i y sus tres vecinos más cercanos con sus respectivos diámetros.

El valor de T_i se incrementa al aumentar la diferencia media de los tamaños de los árboles más cercanos. Un valor de cero corresponde a la situación en la que todos los árboles tienen el mismo tamaño. La sencillez del índice y el hecho de contar con un valor de referencia (cero) para comparar diferentes situaciones, aconseja su empleo para describir la estructura de una masa desde el punto de vista de las dimensiones de los árboles que la constituyen. Entre sus posibles aplicaciones cabe destacar el uso de las distribuciones de los valores de T_i para comparar diferentes estructuras específicas (Lewandowski y Gadow, 1997).

Para evaluar la distribución de los valores del índice de diferenciación diamétrica (TD), fueron divididos en 5 grupos (débil, moderado, medio, fuerte y muy fuerte) para la población y las especies en el estudio realizado por Jiménez *et al.* (2001) para el norte de México encontrando que el 41 por ciento de los árboles-muestra se ubicaban en el rango débil, es decir el 41 por ciento de los individuos presentaron dimensiones similares. Mientras que el 30 por ciento se ubicaba en el rango moderado. No se presentaron individuos en el rango muy fuerte, por lo que no existe una gran diferencia entre las dimensiones de los árboles presentes.

2.4 Abundancia, dominancia y frecuencia de las especies arbóreas

Para evaluar la importancia de las especies arbóreas en la población se utiliza la abundancia, dominancia y frecuencia como una medida de valoración (Müller-Dombois, 1974).

Lamprecht (1990) señala que la **abundancia** esta determinada por el número de individuos por hectárea y la **dominancia** como la variable de proporción de

área basal. A su vez la cobertura de la copa de todos los individuos de una especie determina su dominancia, esto representa una dificultad en ecosistemas demasiados cerrados como los bosques tropicales donde la determinación de las de las proyecciones de las copas no es posible. Para solucionar esta situación se emplea el área basal de los individuos como valor de **dominancia**. Por lo tanto la dominancia absoluta de una especie es el producto de la suma del área basal individual expresada en m². La dominancia relativa proviene del cálculo de la proporción de una especie en el área basal total evaluado (Jiménez *et al.*, 1998).

Lamprecht en 1990 define que la **frecuencia** se refiere a la existencia o la ausencia de una especie en un sitio de muestreo. Torres (2000) señala que la frecuencia indica el número de muestreos, en la cual una especie es encontrada y se expresa como la proporción del número total de muestras que contiene la especie en cuestión.

Jiménez *et al.* (1998) desarrollan una investigación con la finalidad de evaluar en forma cuantitativa la relación ecológica de las distintas especies arbóreas existentes en una comunidad de *Pinus pseudostrobus* y *Quercus rysophylla*, la cual conlleva a determinar la existencia de una relación directa entre las especies y el número de individuos presentes.

En estudios realizados en el norte de México, para bosques mixtos, se encontró que el género *Pinus*, presenta una mayor abundancia (57%) y dominancia (72%) sobre el género *Quercus* y otras especies (Jiménez *et al.*, 2001).

2.5 Distribución espacial

La distribución de organismos en la naturaleza raramente es tan uniforme como en un huerto o cultivo. Una dispersión aleatoria, donde la posición de un individuo es completamente independiente de la posición de cualquier otro individuo en la población, se presenta en ciertas especies (Brower *et al.*, 1990).

La constitución y la distribución de especies pueden variar extensamente de un punto a otro; gradientes ambientales, como la humedad, drenaje, pendiente, tipo de suelo e intensidad de luz, influyen en el aspecto del modelo horizontal dentro de un bosque. Los ecólogos denominan a estos cambios de composición de especies a lo largo de un gradiente ambiental, una vegetación continua.

Jiménez *et al.* (1999) definen el concepto de estructura como el ordenamiento específico de elementos dentro de un sistema; aplicándola a la estructura arbórea se refiere a la distribución de las características individuales dentro de un área forestal, acotando que la diversidad de especies, la distribución espacial y la diferenciación dimensional permiten definir los atributos estructurales de una comunidad vegetal.

La estructura de los ecosistemas se define de acuerdo a Gadow (1999) como el ordenamiento específico de las características arbóreas dentro de un sistema. Aguirre *et al.* (1997) describen a la estructura de la vegetación básicamente por el tipo, número, ordenamiento espacial y temporal de los elementos que lo constituyen. Jiménez *et al.* (1998) precisan el aspecto estructural de los ecosistemas como un conjunto de elementos agrupados por características de

diversidad, distribución espacial y diferenciación dimensional de las variables cuantitativas.

Everett *et al.* (1994) señalan que el conocimiento de la estructura arbórea es un elemento importante en el manejo de ecosistemas. La fase inicial en los estudios de diversidad biológica es estimar la complejidad específica en el tiempo y espacio, es decir, conocer que especies o comunidades están presentes. La segunda fase resulta ser el monitoreo de esta biodiversidad, donde la función es estimar la diversidad de ciertas comunidades, para trazar las diferencias de su dinámica poblacional (Wilson *et al.*, 1996).

Las poblaciones poseen una estructura concreta y un funcionamiento ordenado de todos y cada uno de los organismos que la componen y éstos a su vez en concordancia con otros grupos de individuos de la misma especie viven en un espacio determinado.

El patrón espacial de plantas y animales es una característica importante de las comunidades ecológicas, ésto es lo que usualmente se observa en cualquier comunidad y por lo tanto es la propiedad más fundamental de cualquier grupo de organismos (Baca, 2000).

Ludwig y Reynolds (1988) identifican varios factores causales que pueden llevar a patrones de distribución espacial: (1) factores vectoriales, resultado de la acción de los factores ambientales extremos; (2) factores reproductivos de las especies (sexual y asexual); (3) factores sociales (Cg. comportamiento territorial); (4) factor coactivo, resultado de interacciones intra específicas (competencia); (5) factores aleatorios, resultado de la variación de los factores

antes reflejados. Así, los procesos que contribuyen al patrón espacial pueden ser considerados como intrínsecos (reproducción, social y coactivo) o extrínsecos (vectorial).

Thomas (1975) señala que algunas de las propiedades de la población son particular de los grupos que se van conformando y se definen bajo los siguientes conceptos: dispersión (distribución), difusión (desplazamiento) y densidad (No. individuos/área determinada). De acuerdo al desarrollo de la población resultan de la calidad, mortalidad, distribución de edades, potencial biótico y forma de desarrollo. Así mismo menciona tres tipos de patrones de organización en las comunidades; al azar, por grupos (conglomerados) y sistemático. El objetivo para detectar patrones espaciales se genera como una hipótesis concerniente a la estructura de comunidades ecológicas.

De acuerdo a Thoma (1975) los patrones al azar en la población implica una homogeneidad ambiental o un patrón no selectivo; o bien los patrones no aleatorios muestran algunos contrastes en la existencia de la población. El patrón espacial por grupos indica que las agregaciones individuales se realizan debido a que existen partes más favorables en el hábitat. Mientras que las distribuciones uniformes son el resultado de las interacciones negativas entre individuos como la competencia por los nutrientes y el espacio. Sin embargo, debemos tener en cuenta que la naturaleza es multifactorial y algunos procesos de interacción (bióticos y abióticos) contribuyen a la existencia de patrones.

Según Brower *et al.* (1990) la densidad aislada presenta un cuadro incompleto de cómo una población se distribuye en su hábitat. Es decir, dos poblaciones pueden tener la misma densidad pero presentar diferente arreglo espacial. La

distribución de los miembros de una población dentro de un hábitat es referido como dispersión o distribución de patrones de una población. A su vez se refleja que el arreglo de los individuos dentro de un rodal por sitio y edad (estructura del rodal) es en parte determinado por estrategias de las especies y los disturbios en los rodales.

La estructura espacial de una masa es una característica que debe considerarse para una correcta planificación de los recursos naturales. Aunque habitualmente se suele asociar con la distribución de frecuencias del número de árboles por especie y tamaños, en muchos casos el uso exclusivo de estas distribuciones no es suficiente para describir la estructura espacial de una masa. En la figura 4 se muestran tres rodales hipotéticos contruidos de manera uniforme, agrupada y aleatoria.

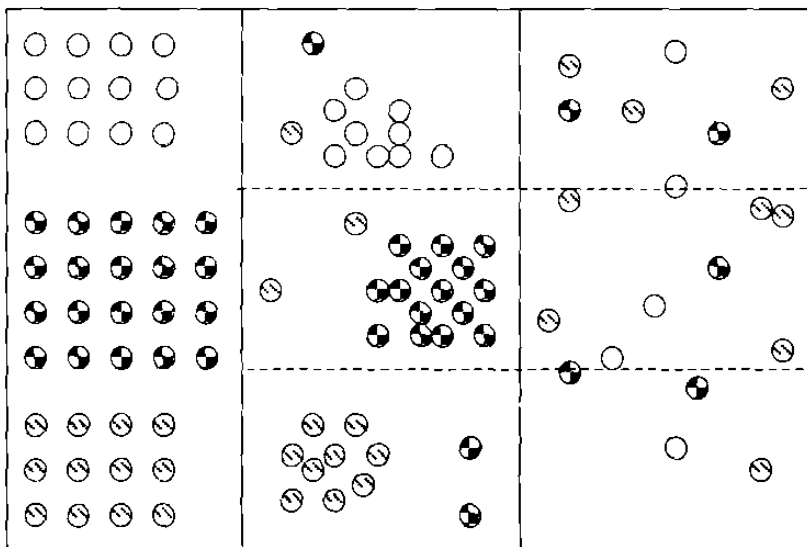


Figura 4: Individuos ordenados espacialmente en tres formas distintas (Gadow y Hui, 1998).

Los bosques hipotéticos son idénticos con respecto al número de árboles por especie y a la distribución de diámetro y altura. La diferencia es la estructura espacial, donde la posición de los individuos y sus atributos son ordenados espacialmente (Gadow y Hui, 1998).

El estudio de la distribución espacial en los ecosistemas forestales es de gran interés en lo correspondiente al manejo sostenible de los recursos naturales. Por un lado está relacionada con el crecimiento de los árboles y por tanto, de las masas arboladas. La inclusión en la toma de datos de la posición de los individuos en los inventarios forestales ha servido como punto de partida para las investigaciones sobre las distribuciones espaciales de las masas forestales (Füldner *et al.*, 1994).

Los ecosistemas forestales pueden responder por lo general a ciertos patrones de distribución espacial, los cuales se ubican dentro de tres formas generales de constelación espacial (Clark y Evans, 1954; Brower *et al.*, 1990; Jiménez *et al.*, 1999).

Aleatoria: los individuos están distribuidos al azar dentro del espacio disponible. No existe ningún tipo de interacción entre los mismos. Donde se deben cumplir dos condiciones para poder aceptar este tipo de distribución espacial: (1) los puntos del espacio tienen la misma probabilidad de ser ocupados y (2) la presencia de un individuo en cierto punto, no afecta a la ubicación de otro organismo (figura 5a).

Regular: este tipo de distribución ocurre cuando los individuos presentan cierta tendencia a mantener entre sí una distancia próxima a la similitud. Surge como

consecuencia de una repoblación o como respuesta a una fuerte competencia por alimento o espacio (figura 5b).

Agrupada: esta distribución esta conformada por grupos de organismos, alternándose con espacios abiertos (figura 5c). Tal proceso ocurre como consecuencia de la interacción entre los *individuos que componen una cierta masa forestal* o bien como resultado de la ausencia de homogeneidad en el sitio, comportamiento gregario y modo reproductivo (Ludwig y Reynolds, 1988).

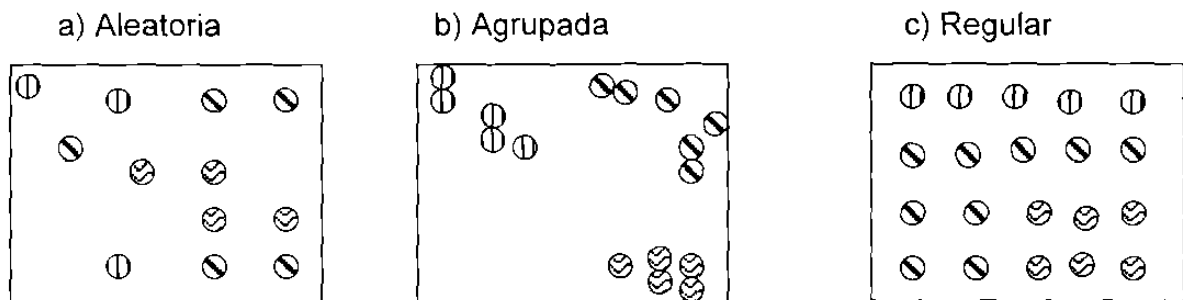


Figura 5: Tipos de distribución espacial.

2.6 Índices de distribución espacial

Aguirre *et al.* (1997) observan la necesidad de desarrollar metodologías que permiten analizar cuantitativamente la estructura de los estratos arbóreos en ecosistemas mixtos multicohortales, integrando los índices estructurales desarrollados por Gadow y Fuldner (1992). En México estos índices solo se han aplicado de manera experimental en ciertos trabajos de investigación.

La determinación de los índices estructurales no solo son propios para los individuos que conforman el ecosistema, sino también a nivel de especie o clase dimensional establecida, confiriéndoles un alto grado de versatilidad y utilidad. Existe una gran cantidad de índices, los cuales permiten evaluar la estructura de especies, tales como: riqueza, equitatividad, distribución espacial, similitud y perfil horizontal y vertical. En cuanto a los índices que describen la estructura horizontal del ecosistema se ubican el índice de agregación de Clark & Evans (R), (Clark & Evans, 1954), el índice de Green (Green, 1966), índice de dispersión e índice de agrupamiento (Ludwig y Reynolds, 1988).

Condés *et al.* (1998), realizaron una comparación entre los índices de distribución espacial de árboles más usados en el ámbito forestal, utilizando tres grupos de índices que permiten diferenciar entre los tipos de distribución espacial:

- Índices basados en la discretización del espacio ocupado por los árboles
- Índices basados en el cálculo de distancias
- Índices basados en la mapificación de los árboles

Los índices que pertenecen a los dos primeros grupos no requieren el conocimiento de las posiciones de todos los árboles en la superficie a estudiar, sino que se pueden calcular mediante la toma de los datos sobre el terreno (en el primer caso mediante el conteo de árboles y en el segundo mediante la medición de distancias entre los individuos más próximos). También es posible calcular estos índices sobre parcelas con árboles mapificados.

Para el cálculo de los índices que pertenecen al tercer grupo es imprescindible que las parcelas estén mapificadas con las posiciones de todos los árboles en su interior (Condés *et al.*, 1998).

La finalidad de los índices es conocer la distribución espacial, de los organismos constituidos en una población o en un muestreo. Existen varios índices de dispersión, entre los cuales se mencionan los siguientes (Ludwig y Reynolds, 1988):

Índice de Dispersión	ID
Índice de Agrupamiento	IC
Índice de Green	IG
Índice de Clark & Evans	R

Índice de Dispersión (ID)

Se basa en la comparación de la varianza y la media aritmética, cuando el valor de ambas es similar, nos estamos refiriendo a la distribución Poisson, se obtiene a través de la siguiente fórmula:

$$ID = \frac{S^2}{\bar{x}}$$

Este índice se fundamenta en la comparación de 2 parámetros estadísticos; la varianza (S^2) y la media aritmética (\bar{x}) donde la decisión de estos valores muestra la tendencia de la población hacia una forma específica de distribución.

Índice de Agrupamiento (IC)

David y Moore (1954) propusieron una modificación al índice de dispersión, y lo denominan índice de agrupamiento ("index of clumping") y se obtiene a través de la siguiente fórmula:

$$IC = \frac{S^2}{\bar{x}} - 1 \longrightarrow IC = ID - 1$$

El IC es igual a 0 cuando presentan una distribución aleatoria, 1 cuando se encuentran distribuidos de manera uniforme y $n-1$ cuando presentan el máximo agrupamiento. Como era el caso para ID, el índice de agrupamiento no es muy útil como una medida comparativa del grado de agrupamiento debido a su dependencia en n . Esta crítica es aplicable a la mayoría de las variantes de ID.

Índice de Green (IG)

Green en 1966, propuso una modificación del índice de agregación (David y Moore, 1954) que es independiente del número de muestras, bajo la siguiente ecuación:

$$IG = \left(\frac{s^2 / x}{n - 1} \right) - 1$$

El índice de Green, se utiliza para comparar el muestreo con la población. Los valores promedio de la muestra y el número de sitios de muestreo. Este índice oscila entre -1 (uniforme), 0 (aleatorio) y 1 (máximo agrupamiento) (Green, 1966).

Índice de agregación de Clark & Evans (R)

Agregación es un atributo espacial, el cual describe el grado de regularidad en la distribución de la posición del individuo en el terreno. Se han descrito un gran número de índices para cuantificar y evaluar la agregación (Gadow *et al.*, 2001). De todos ellos, el más empleado es el índice (R) desarrollado por Clark & Evans (1954), cuyo valor se obtiene como el cociente entre la distancia media observada entre cada árbol y su vecino más cercano y la distancia teórica:

$$R = \frac{\text{distancia media observada entre un árbol y el individuo más cercano}}{\text{distancia media teórica entre un árbol y el individuo más cercano}} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i}{\frac{1}{2} \sqrt{\frac{1000}{N}}}$$

donde:

r_i = la distancia desde el árbol i hasta su vecino más cercano (m),

N = número de árboles por hectárea

n = número de árboles en la parcela.

El valor de R es igual a uno cuando la distribución de los árboles en el terreno es aleatoria y se aproxima a cero a medida que aumenta la tendencia de los árboles a agruparse en una parte del total. Valores superiores a uno indican un aumento de la homogeneidad de la distribución. Un valor de dos correspondería a una distribución sobre el terreno según una malla cuadrada y el valor máximo posible (2.1491) se alcanza cuando la distribución de los árboles en el terreno es al tresbolillo, es decir, según una malla de triángulos equiláteros (Gadow y Hui, 1998).

Dentro de los índices utilizados por Condés *et al.* (1998), basados en el cálculo de distancias, se encontramos propuesto por Clark y Evans (1954). Este índice

precisa el conocimiento de la densidad de la población expresada en metros cúbicos por unidad de superficie y una muestra de n valores de las distancias entre un árbol seleccionado al azar y su vecino más próximo. En el caso de poblaciones aleatorias el índice tomará el valor 1, mientras que para poblaciones con agregados el valor $I_{CE} < 1$.

Ludwig y Reynolds en 1988 al referirse a los índices de distribución espacial, propone que deben realizarse en 2 aspectos:

- evaluar la igualdad de la varianza y promedio en una serie Poisson
- medir el índice de agrupamiento de una población de organismos.

Así mismo, mencionan que para conocer la distribución espacial de los organismos es importante conocer la varianza y el promedio de la frecuencia de los individuos de cada especie. Se realiza la comparación de estas 2 variables y según corresponda como se muestra en la tabla 1, es decir, ya sea mayor, menor o igual la comparación de los valores de una y otra variable. Este resultado solo indica un patrón de tendencia que siguen los individuos de alguna determinada especie. Por lo que se recomienda profundizar el análisis de esta tendencia a través de la prueba de ji-cuadrada (Ludwig y Reynolds, 1988).

Tabla 1: Tendencia de distribución espacial establecida por Ludwig y Reynolds (1998).

varianza = media aritmética	aleatoria	→	Distribución Poisson
varianza > media aritmética	agrupada	→	Binomial Negativa
varianza < media aritmética	uniforme	→	Binomial Positiva

Para emplear la distribución Poisson deben cumplirse dos condiciones. Cuando alguna de estas dos condiciones *no se cumplan* existe una probabilidad de una distribución agrupada o uniforme.

- cada unidad de muestreo presenta la misma probabilidad de tener cualquier individuo
- la presencia de un individuo en la unidad de muestreo no debe influir en la ubicación de otro organismo.

En una población que tiene una distribución Poisson, la media de la población (μ), es igual a la variación de la población. Por consiguiente una población distribuida de manera aleatoria tendría una proporción de su variación a su media

$$\frac{\sigma^2}{\mu} = 1.0$$

Una proporción menor de 1.0 indica una distribución uniforme, y una proporción mayor que 1.0 observa una tendencia al agrupamiento (Brower *et al.*, 1990).

El modelo binomial negativa: es una de las distribuciones de probabilidad normalmente más usadas, cuando los árboles de algún ecosistema tienden a presentar grupos de individuos alternados con espacios abiertos (Ludwig y Reynolds, 1988).

Otro método para concluir objetivamente si una distribución es al azar es emplear "la bondad de ajuste de ji-cuadrada" (Lewis, 1981). Donde son comparadas las frecuencias observadas y esperadas de los individuos.

La distribución de ji-cuadrada (X^2) se puede utilizar para estimar la probabilidad de obtener cualquier serie de desviaciones de los valores observados a partir de los valores *predichos*. Tiene una distribución con una media igual a cero y una desviación estándar igual a la unidad; así mismo puede ser usada para evaluar la calidad de ajuste de las curvas para los datos que representa (Lewis, 1981).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Descripción del área de estudio

El estudio se realizó en una fracción del estado de Nuevo León y del estado de Coahuila. En el estado de nuevo León, en el Cerro El Potosí, a los 2600 msnm, en un rodal de 1.24 hectáreas, y en el SE de Coahuila, en el municipio de Arteaga específicamente en la sierra denominada de La Marta en un rodal de 1 hectárea; considerando los ecosistemas forestales representativos de cada región.

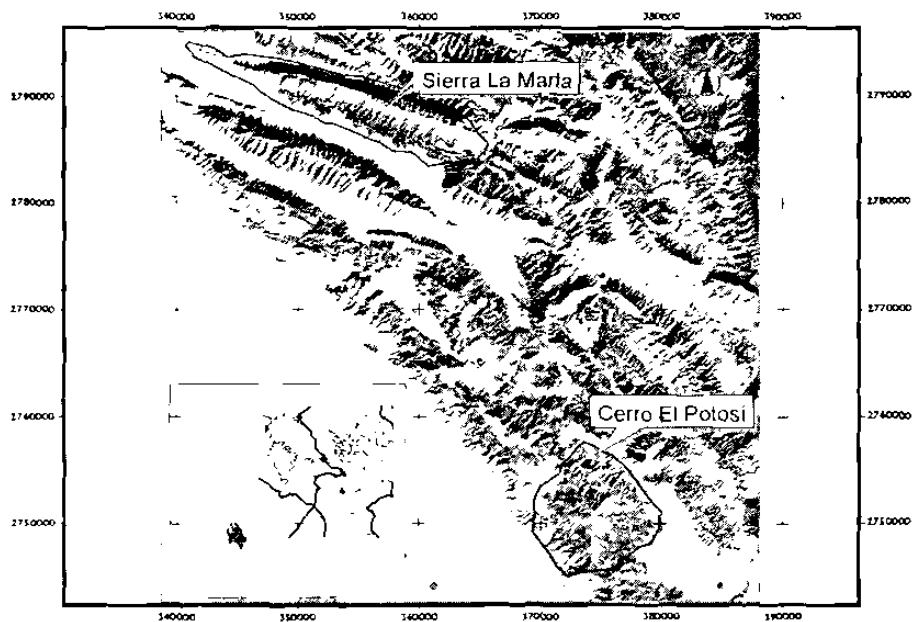


Figura 6: Vista panorámica del Cerro El Potosí y Sierra La Marta.

Laboratorio de percepción remota

3.2 Cerro El Potosí

El Cerro El Potosí se ubica en el municipio de Galeana, Nuevo León, en el Ejido 18 de Marzo; su cima se localiza 15 km al oeste del municipio de Galeana entre los 24°50'45" y 25°53'16" de latitud norte y los 100°13'9" y 100°15'12" longitud oeste. Se ubica en el flanco de la Sierra Madre y colinda hacia el sur y y el oeste con la Antiplanicie Mexicana. La cima del cerro tiene una longitud de poco más de 1 km y una anchura de 300 a 400 m. Presenta un alto porcentaje de especies endémicas, debido a su aislamiento geográfico y diferencias en el sustrato geológico con respecto a las montañas adjuntas (González, 1999).

3.2.1 Geología

Presenta formaciones del periodo cretácico inferior, compuesta de caliza micro cristalina, caliza laminada, caliza con lentejones y nódulos de pedernal negro; marga en capa, marga arenosa y arsénica. La roca caliza es de origen sedimentario marino (García *et al.*, 1991).

De acuerdo a las características propias de los suelos, en el área de estudio se presentan escasos desarrollos ubicados dentro de Orthents y los Rendolles, siendo estos últimos delgados con difícil diferenciación de horizontes, además de presentar un alto contenido de materia orgánica permaneciendo sobre estos minerales de caliza. Los suelos son de tipo Litosoles, combinado con Rendzinas presentándose en menor proporción de materia orgánica y materiales parcialmente descompuestos (González, 1999).

3.2.2 Clima

No existe información climática del área, pero en base de datos extrapolados de la estación 18 de Marzo (2,020 msnm) se calculó el clima de la zona de tipo E (T) H (e), frío y extremo (diferencia aproximadamente de 9° C entre las medidas del mes más frío y el mes más caliente) de acuerdo a la clasificación de Köppen modificada por García (1981).

3.2.3 Vegetación

El Cerro El Potosi cuenta con una gran diversidad de especies, tales como: *Pinus arizonica*, *P. greggii*, *P. cembroides*, *P. hartwegii*, *P. ayacahuite* y *P. culminicola* así como *Abies vejari*, *Pseudotsuga mensiezii*. Aunado a lo anterior se presenta como bosques principales: Bosque de *Pinus culminicola*, Bosque de *Pinus hartwegii*, Bosque de pino-encino y bosque de encino-matorral. La vegetación debajo de los 3500 m se encuentra en grave estado de deterioro debido a tala desmesurada, excepto en cañadas y sitios escarpados. A menos de 1700 m, en los alrededores del cerro, se presentan matorrales xerófilos y bosque abierto de *Pinus arizonica* y/o *P. cembroides*. En términos generales se presentan comunidades más altas y densas en el flanco oriental y norte del cerro, debido a la influencia de los vientos alisios (González, 1999).

Las principales comunidades vegetales del declive oriental son: matorral de *Berberis trifoliolata*, *Juniperus erythrocarpa*, *Condalia* sp. y *Rhus trilobata* entre los 2000 y 2070 (-2250 en laderas secas) m de altitud. De los 2070 a los 2180 m predomina un bosque abierto de *Pinus arizonica* y *P. cembroides*, que es substituido por bosques de *Quercus* hasta los 2300. Destacan *Quercus* aff.

emoryi, *Q. greggii*, *Q. affinis*, *Q. hypoxantha*, *Q. crassifolia* y *Q. aff. diversifolia*, así como *Arbutus xalapensis*. De los 2300 a los 2600 m prevalecen matorrales secundarios de *Quercus-Cercocarpus* con individuos aislados de *Pseudotsuga* y *Pinuspseudostrobus* con matorral de *Quercus hypoxantha* y *Ceanothus* sp. se presenta en áreas entre los 2560 y 2650 m. En exposiciones al norte y oriente entre los 2670 y 2700 m destacan *Pinus* y *Pseudotsuga*, y en áreas donde todo el bosque original ha sido talado hay bosques bajos de *Populus tremuloides*. *Pinus hartwegii* predomina entre los 2850 y 2930 m, asociándose con *P. ayacahuite*. En el sotobosque aparecen individuos aislados de *P. culminicola*. De los 2930 a los 3000 m un matorral denso de *Quercus greggii* con individuos jóvenes de *Pinus hartwegii* y *Pseudotsuga menziesii* ocupa amplias áreas. *P. menziesii* y *Pinus ayacahuite* con escaso *P. hartwegii* y *Abies vejari* forman bosques semidensos entre los 3000 y 3200 m. Más arriba predomina *P. hartwegii*, que es substituído en cañadas y exposiciones al norte por *P. ayacahuite* y *Abies vejari* hasta los 3470 m. El bosque de *P. hartwegii* alcanza la cima del cerro por el lado del norte, pero en declive oriental es substituído a partir de los 3450 m por matorral denso de *P. culminicola* (García, 1991).

3.3 Sierra La Marta

Región limitada por los paralelos 25° 09' y 25° 16' de latitud norte y los meridianos 100° 20' y 100° 35' de longitud oeste. La Sierra presenta una orientación general NW-SE; la altitud máxima de la Sierra es de 3,600 y la mínima de 2,300 msnm (CETENAL, 1975).

El área queda comprendida dentro de la cuenca hidrológica de El Salado, en la Subcuenca Laguna Jazminal y Potosí. Los escurrimientos superficiales debido a la presencia de un parteaguas fluyen hacia el SE para formar parte del arroyo La Boquilla; por otro lado los que se dirigen hacia el NW no forman cauce importante, perdiéndose en áreas con menor altitud (Cornejo, 1987).

3.3.1 Geología

La geología superficial de la sierra la constituyen rocas de origen sedimentario, siendo las calizas las de mayor importancia y distribución; en menor proporción se encuentran las lutitas, areniscos, brechas sedimentarias y conglomerados. Los suelos predominantes son *Litosoles* y *Rendzinas*, encontrándose en menor proporción los *Regozoles* y *Feozemas*; siendo todos en general de texturas medias (CETENAL, 1977).

3.3.2 Clima

En general se presentan las lluvias en el verano, iniciando en mayo y terminando en octubre; septiembre es el mes con mayor precipitación, siguiendo en forma descendente agosto, julio y junio; en estos meses ocurre del 50.07 al 57.34% de la precipitación media anual. En ambas vertientes un incremento altitudinal (de 1680 a 2160 msnm), corresponde con una mayor precipitación media anual (319.3 y 498.1 mm). En relación con la temperatura, se observa que el mes más caliente es junio (21.8°C), siguiendo en forma decreciente mayo y julio; el mes más frío es enero (13.3°C), posteriormente diciembre y febrero (Cornejo, 1987).

3.3.3 Vegetación

En la exposición noreste de la sierra y aproximadamente de los 2,500 a los 3,600 msnm ocurre un bosque constituido por tres estratos; el arbóreo lo comprende: *Pseudotsuga flahaulti*, *Pinus hartwegii*, *Abies vejari*, *Pinus ayacahuite* y *Picea mexicana*; el arbustivo lo integran: *Quercus pungens*, *Q. emoryi*, *Q. hypoxantha*, *Arbutus xalapensis*, *Cercocarpus mojadensis*, *Yucca camerosana*, *Gymnosperma glutinosum* y *Dasyllirion sp*; finalmente el estrato herbáceo lo constituyen: *Bromus sp*, *Vulpia octaflora*, *Geranium mexicanum* e *Hibiscus cardiophyllus*. En la sierra el bosque se observa perturbado (CETENAL, 1977).

3.4 Desarrollo metodológico

La metodología propuesta para realizar este trabajo fue una combinación de la medición global y el análisis muestral desarrollado por Földner (1995) y Jiménez *et al.*, (1998). La información de la medición total se utiliza para determinar la abundancia (n/ha), la dominancia (g/ha) y frecuencia de las especies arbóreas, así como la heterogeneidad de la población. Con los sitios de monitoreo se define la distribución de las especies arbóreas.

3.4.1 Localización general del área

Se realizaron visitas preliminares al área de estudio en el Cerro El Potosí y Sierra La Marta, con el fin de realizar una preselección del área para establecer los sitios de muestreo, delimitando en cartas topográficas y fotografías aéreas, originando una red o ruta de la estructura arbórea de interés. En la selección se

consideraron los rangos en función de la ubicación definitiva del área de estudio.

Se delimitó el área de la comunidad, ubicando sus vértices perimetrales. Los datos de azimut y distancia de cada estación, permitieron la construcción del plano del área. Utilizando el programa "waldsim" se construyó una red de proyecciones de coordenadas en la abscisa y ordenadas con equidistancia de 20 m, donde sus puntos de intersección fueron la base para la ubicación del centro de la unidad muestral (Lewandoski *et al.*, 1997).

3.4.2 Medición global

De acuerdo a los objetivos planteados, recursos económicos y metodología propuesta, se definió realizar un inventario global de la población, de acuerdo a la necesidad de seleccionar estructuras definidas por factores prescritos de localización, desde el punto de vista densidad, mezcla de especies y factores fisiográficos. De esta manera se evitó el muestreo en áreas o secciones de la población arbórea que no reflejen o contengan los criterios muestrales.

Dentro del área de estudio con una superficie de 1.24 ha para el Cerro El Potosí, y 1 ha para Sierra La Marta, se realizó una medición total o censo de las especies arbóreas, determinándose para cada individuo:

- Especie
- Diámetro
- Altura
- Distancia
- Azimut

Las mediciones se realizaron en forma de una red de puntos de tal manera que se estableció un banco de nivel, y de ahí partían las mediciones en el rodal, con el fin de cubrir toda el área de estudio, así mismo los árboles fueron marcados para estudios posteriores.

3.4.3 Análisis muestral

Para la estimación de los parámetros estructurales se utiliza el muestro denominado por Földner (1995) grupo estructural de los cuatro árboles. Partiendo de un punto inicial al azar se colocaron los sitios de muestreos en una red de puntos, teniendo una distancia de 20 metros entre sitios. El árbol más próximo a los puntos de intersección de la red se le denomina árbol-muestra o árbol-cero y partiendo de éste, se determina la distancia de los tres árboles más cercanos. Los sitios de muestreo se establecieron con ayuda del programa Waldsim, donde se introducen los datos de la población y se establecen los sitios a cada 20 metros de manera sistemática y el árbol más cercano a cada cuadrante es árbol cero o árbol centro y sus próximos tres vecinos a él, forman el grupo estructural de los 4 árboles.

Para seleccionar el área de estudio se consideraron las áreas de bosques mixtos, las cuales fueran representativas para el área a estudiar, esto con el fin de llevar a cabo una mejor estructuración de los ecosistemas forestales, representativos de la localidad.

El resultado del muestreo permitió conocer el número de individuos para cada especie por hectárea (n/ha). El área basal por hectárea (g/ha), área basal por especie (g) y número de árboles totales por hectárea (n).

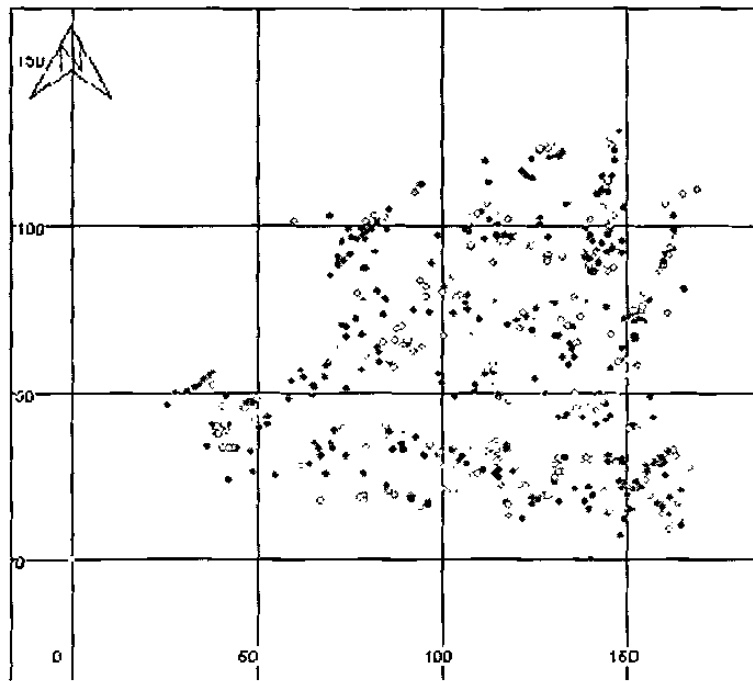


Figura 7: Sitios de muestreo representados en Waldsim.

3.5 Abundancia, dominancia y frecuencia de las especies arbóreas

Tomando como base que la abundancia, dominancia, frecuencia son parámetros que le dan valor a las especies en la población (Müller, 1974), se definió que la abundancia fuera determinada por el número de individuos por hectárea y la dominancia como la variable de proporción del área basal. A su vez la frecuencia se conforma en base a los datos de la especies presentes en el inventario de los sitios de "muestreo de los cuatro árboles" (Földner *et al.*, 1994).

Los resultados obtenidos en los datos provenientes del censo total y del muestreo, se estimaron bajo las siguientes ecuaciones:

Abundancia Indicador: número de individuos por área

$$A_{abs} = \frac{n}{\text{Área}} \quad A_i = \frac{n}{N} * 100$$

donde:

n = número de individuos de la especie i

N = número total de individuos

Dominancia Indicador: área basal por hectárea

$$D_{abs} = \frac{g}{\text{Área}} \quad D_{rel} = \frac{g}{G} * 100$$

donde :

g = área basal de especie i

G = área basal total

Frecuencia Indicador: porcentaje de sitios de muestreo, donde la especie (ei) este presente

$$F_i = m \quad F_{rel} = \frac{m}{M} * 100$$

donde:

m = frecuencia de la especie i en los sitios de muestreo

M = número total de muestreos

El procedimiento propuesto por Köhler fue la base para determinar los valores que permiten estimar los atributos dasométricos estructurales a partir de los datos del grupo estructural de los cuatro árboles (Baca, 2000).

3.6 Índice de mezcla de especies (DM)

Este índice toma valores de 0 a 1, presentando solamente cuatro categorías, donde cero corresponde cuando los árboles vecinos son de la misma especie, 0.33 corresponde cuando un individuo pertenece a otra especie, 0.67 es cuando dos de los tres individuos pertenecen a otras especies (figura 2). Se obtiene a través de la siguiente fórmula:

$$DM_{nt} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_{ij}$$

Tabla 2: Valores correspondientes al índice porcentual de la mezcla de especies.

Sitio	Especie	Índice porcentual
1	Pinus ayacahuite	0
	Pinus ayacahuite	
	Pinus ayacahuite	
	Pinus ayacahuite	
2	Pinus ayacahuite	0.33
	Pseudotsuga menziesii	
	Pinus ayacahuite	
3	Abies vejari	0.67
	Pinus hartwegii	
	Pinus ayacahuite	
4	Abies vejari	1
	Pinus ayacahuite	
	Pseudotsuga menziesii	
	Pinus hartwegii	
	Abies vejari	

3.7 Diferenciación dimensional (TD)

La diferenciación dimensional permite describir la estructura del ecosistema, teniendo como base las relaciones próximas de las demás especies arbóreas (Gadow y Fuldner 1992; Fuldner y Gadow 1994). Este índice 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 más pequeño y el valor correspondiente del árbol mayor, sustraído de 1 (Fuldner, 1995; Jiménez *et al.*, 1998).

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

donde = D -menor y D -mayor son los diámetros a 1.3 m del árbol-muestra o árbol-centro y su primer vecino.

Los valores posibles de TD entre 0 y <1.0 de tal forma que un valor de TD = 0 presupone que el diámetro normal entre ambos árboles vecinos no presenta diferenciación alguna o es muy similar; en contraparte para el caso de un TD = 0.8 el diámetro del árbol es menor, es decir de 80% mayor que el de menos grosor.

La sencillez del índice y el hecho de contar con un valor de referencia (cero) para comparar diferentes situaciones aconseja su empleo para describir la estructura de una masa desde el punto de vista de las dimensiones de los árboles que la constituyen. Entre sus posibles aplicaciones cabe destacar el uso de las distribuciones de los valores de TD para comparar diferentes estructuras específicas o para generar series de datos aleatorios de masas con unas

características determinadas que no son fáciles de lograr en la realidad (Gadow *et al.*, 2001).

La distribución de los valores del índice se pueden calcular para la masa considerada como un todo o para determinadas subpoblaciones que puedan tener un interés especial (Gadow *et al.*, 2001).

3.8 Análisis de distribución espacial

Al recoger datos relativos de las características de un grupo de individuos u objetos, sea altura y diámetro de algún rodal, suele ser imposible o nada práctico observar todo el bosque. En vez de examinar el rodal entero, llamado *población*, se examina una pequeña parte del bosque llamada *muestra*. Si una muestra es representativa de una población, es posible inferir conclusiones sobre la población a partir del análisis de la muestra.

Un **promedio** es un valor típico o representativo de un conjunto de datos. Como tales valores suelen situarse hacia el centro del conjunto de datos ordenados por magnitud, los promedios se conocen como *medidas de tendencia central*.

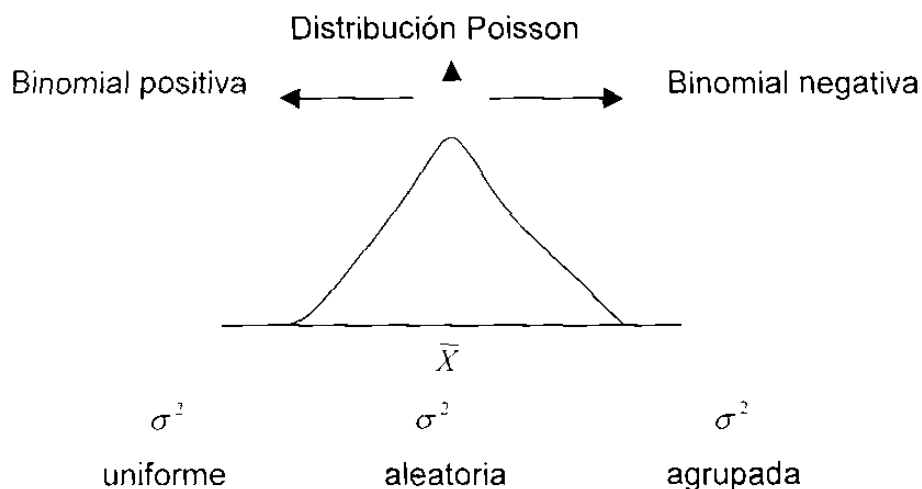
Se definen varios tipos, siendo los más comunes, la *media aritmética*: conjunto de n números $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ se denota por X y se define por:

$$X = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = \sum X$$

La **Varianza** de un conjunto de datos se define como el cuadrado de la desviación típica y viene dada en consecuencia por S^2 en la siguiente ecuación:

$$S^2 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N}} = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{N}} = \sqrt{\frac{\sum x^2}{N}} = \sqrt{(X - \bar{X})^2}$$

Como primer paso en el presente trabajo, se determinó la frecuencia de los individuos de cada especie por sitios de muestreo, es decir, debido a que cada sitio de muestreo estaba constituido de 4 individuos, los valores variaban desde cero hasta cuatro, donde: cero correspondía a la ausencia del individuo de una determinada especie en un sitio de muestreo, mientras que un valor de 4 indicaba, que los 4 individuos presentes en un sitio de muestreo pertenecían a la misma especie. Estos valores fueron empleados para estimar la varianza y el promedio (Ludwig y Reynolds, 1988).



Se realiza la comparación de la varianza con el promedio (este ejercicio se lleva a cabo en cada especie). Posteriormente se someten los valores a la prueba de Ji-cuadrada (X^2). De acuerdo al resultado obtenido de dicha comparación; es decir, si se refiere a X^2 existe un rango establecido (tabla 3) para probar el tipo de distribución que presentan los individuos; así mismo al comparar los parámetros varianza y promedio similares indicando una tendencia o seguimiento de cierto patrón de distribución que siguen los individuos del estrato arbóreo. Si la comparación de ambos parámetros fuese semejante, indica que el patrón que tienden a seguir es aleatorio y lo que se realiza después de esta suposición es la prueba de la distribución Poisson (Ludwig y Reynolds, 1988).

Ji-cuadrada es la distribución de varianzas de muestras al azar, por lo que se puede utilizar para establecer los límites de confianza para una estimación de la desviación estándar. Se puede utilizar para evaluar la calidad de ajuste de los datos que representan, a su vez para estimar la probabilidad de obtener proporciones de variables discontinuas (Lewis, 1981).

$$X^2 = \frac{S^2}{\bar{X}}(n-1)$$

Tabla 3: Rango establecido por la prueba de x^2 (Ludwig y Reynolds, 1988).

Especie	Valor crítico de X^2		Distribución
A	0.975	0.025	Aleatoria
B	>0.975		Uniforme
C	<0.025		Agrupada

Los patrones espaciales de flora y fauna representan una característica importante en las comunidades y una de las propiedades fundamentales de cualquier grupo de organismos vivos. Los modelos de análisis de patrones espaciales se basan en datos de abundancia de las especies a través de unidades de muestreo (U.M.) o distancia de individuos dentro de la comunidad (Baca, 2001).

Los pasos para definir el patrón de las comunidades se sustentan en la realización de pruebas de hipótesis, donde a partir de la suposición de que la distribución del número de individuos por unidad de muestra es aleatoria, el resultado de la relación varianza – media y de acuerdo a la tabla 3 se puede inferir que tipo de patrón espacial presenta la población.

3.8.1 Índices de distribución espacial

En el desarrollo del procedimiento analítico se establecieron indicadores (índice de dispersión, agrupamiento, de Green y el de Clark & Evans) y distribuciones probabilísticas (Poisson, binomial negativa y binomial positiva) como metodología propuesta por Ludwig y Reynolds (1988).

3.8.1.1 Índice de dispersión (ID)

Se basa en la simple comparación de la varianza y la media. Si el valor de los parámetros estadísticos es similar, se refiere a una distribución Poisson. Si el valor corresponde a cero la distribución es uniforme; uno es aleatoria y agrupada cuando el valor es mayor que uno (tabla 4). Se obtiene a través de la siguiente fórmula:

$$ID = \frac{S^2}{\bar{x}}$$

3.8.1.2 Índice de Agrupamiento (IC)

David y Moore (1954) propusieron una modificación al Índice de dispersión, y lo llamaron Índice de agrupamiento ("index of clumping"). Se obtiene a través de la siguiente fórmula:

$$IC = \frac{S^2}{\bar{x}} - 1 \longrightarrow IC = ID - 1$$

El IC es igual a 0 (cero) cuando presentan una distribución aleatoria, 1 (uno) cuando se encuentran distribuidos de manera uniforme y n-1 cuando presentan el máximo agrupamiento.

3.8.1.3 Índice de Green (IG)

Es usado para comparar el muestreo con la población. Los promedios de la muestra y el número de sitios de muestreo. sus valores oscilan entre -1 (uniforme), 0 (aleatorio) y 1 (máximo agrupamiento) (tabla 4) (Green, 1966). La fórmula es:

$$IG = \left(\frac{s^2/x}{n-1} \right) - 1$$

3.8.1.4 Índice de agregación de Clark & Evans (R)

Describe el grado de regularidad en la distribución de la posición de los individuos en el espacio. Su valor se obtiene como el cociente entre la distancia media observada entre cada árbol y su vecino más cercano y la distancia teórica. Sus valores oscilan entre uno (aleatoria), cero (agrupados) y mayores a uno >1 (homogeneidad de la distribución) (tabla 4) (Gadow y Hui, 1998),.

$$R = \frac{\text{distancia media observada entre un árbol y el individuo más cercano}}{\text{distancia media teórica entre un árbol y el individuo más cercano}} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i}{\frac{1}{2} \sqrt{\frac{1000}{N}}}$$

donde:

r_i = la distancia desde el árbol i hasta su vecino más cercano (m),

N = número de árboles por hectárea

n = número de árboles en la parcela

Tabla 4: Rangos establecidos por los diferentes índices de distribución.

Índice	Tipo de Distribución		
	Uniforme	Aleatoria	Agrupada
ID	0	1	n
IC	-1	0	n-1
IG	-1(n-1)	0	1
R	>1	1	0

3.8.2 Distribuciones probabilísticas discretas

3.8.2.1 Distribución de Poisson

Para una población de organismos distribuidos de manera aleatoria, el modelo de Poisson da las probabilidades para el número de individuos por unidad de muestreo, bajo las siguientes condiciones: (1) cada unidad de muestreo natural tiene la misma probabilidad de tener a un individuo, (2) la ocurrencia de un individuo en la unidad de muestreo no influye en su ocupación por otro, (3) cada unidad de muestreo está igualmente disponible para cualquier individuo, y (4) el número de individuos por unidad de muestreo es relativamente bajo para la máxima posibilidad que podría ocurrir en el sitio de muestreo. Para conocer estas probabilidades, se requiere realizar una estimación del promedio del número de individuos por unidad de muestreo (μ).

Los pasos en este procedimiento son:

1. hipótesis: El número de individuos por unidad de muestreo pertenece a una distribución de Poisson. Si esta hipótesis se acepta, se concluye que la población se dispersa de forma aleatoria. Si la hipótesis se rechaza, la dirección del modelo no es aleatorio.

2 frecuencia de distribución (F_x): Se resumen los datos de la muestra, que consisten en el número de individuos por unidad de muestreo, como una distribución de frecuencia.

3. probabilidades de Poisson P(X): La probabilidad de encontrar individuos en una unidad de muestreo, esto es, P(x), dónde x = 0,1,2,...r individuos;

$$P(x) = (u^x e^{-u}) / x!$$

dónde e es la base del logaritmo natural (2.7183) y x! es el factorial de x (por ejemplo, para x = 3, x!=(3)(2)(1) =6). La media (u) es el único parámetro en el modelo de Poisson. Para estimar u, la \bar{x} , es a través del promedio del número de individuos por unidad de muestreo. Usando la \bar{x} , las probabilidades de x = 0,1,2,...,r, individuos por unidad de muestreo son:

$$P(0) = e^{-\bar{x}}$$

$$P(1) = (\bar{x})^1 e^{-\bar{x}} / 1! \quad \circ \quad (\bar{x} / 1)P(0)$$

$$P(2) = (\bar{x})^2 e^{-\bar{x}} / 2! \quad \circ \quad (\bar{x} / 2)P(1)$$

$$P(r) = (\bar{x})^r e^{-\bar{x}} / r! \quad \circ \quad (\bar{x} / r)P(r - 1)$$

La suma de las probabilidades, P(x)'s será uno.

4. las frecuencias esperadas de Poisson, (Ex): El modelo de Poisson es una distribución de probabilidad, y cuando cada probabilidad se multiplica por el número total (n) de las unidades de muestreos, el número esperado de dicha unidad de muestreo será 0,1,2,...,r individuos puede determinarse. Así, permitiendo (Ex), represente las frecuencias esperadas de x = 0,1,2,...,r individuos por unidad de muestreo, tenemos:

$$E_0 = (N)P(0)$$

$$E_1 = (N)P(1)$$

$$E_2 = (N)P(2)$$

$$E_r = (N)P(r)$$

5. prueba estadística de X^2 : la prueba X^2 es usada para determinar las frecuencias observadas (F_x , paso 2) comparar las frecuencias esperadas (E_x , paso 4). La prueba estadística X^2 se conoce con la siguiente fórmula:

$$X^2 = \sum_{i=1}^q [(F_x - E_x)^2 / E_x]$$

Esta prueba estadística es comparada con la tabla de probabilidades X^2 con los grados de libertad $q - 2$ (recalcando que $q = r + 1$, paso 4). Si la prueba de estadística de X^2 es mayor que X^2 tabular (por ejemplo al 0.5%), se concluye que es improbable que la distribución de frecuencia sea una serie de Poisson y se rechaza la hipótesis nula.

Tabla 5: Rango establecido por X^2 .

Especie	Valor crítico de X^2	Distribución	
A	0.975	0.025	Aleatoria
B	>0.975		Uniforme
C		<0.025	Agrupada

3.8.2.2 Distribución Binomial Negativa

El modelo binomial negativa: es una de las distribuciones de probabilidad más utilizada cuando los individuos del ecosistema tienden a presentar grupos de

individuos alternados con espacios abiertos. Cuando se emplea la distribución Poisson deben cumplirse dos condiciones:

- 1) cada unidad de muestreo presenta la misma probabilidad de tener cualquier individuo
- 2) la presencia de un individuo en la unidad de muestreo no debe influir en la ubicación de otro organismo.

Cuando alguna de estas dos condiciones no se cumplan existe la probabilidad de una distribución agrupada o uniforme.

La distribución binomial negativa tiene dos parámetros

- 1.- μ . el promedio del número de individuos por unidad de muestreo.
- 2.- K. un parámetro que se relaciona con el grado de agrupamiento.

Los pasos en la prueba de acuerdo a la frecuencia observada de distribución binomial negativa se presentan a continuación:

1. La hipótesis a ser probada en este tipo de distribución es que el número de individuos por unidad de muestreo sigue una distribución binomial negativa y no una distribución aleatoria, pero que exista el modelo de agrupación de los árboles. No rechazando esta hipótesis, el ecólogo puede tener un modelo empírico bueno para describir la frecuencia de los datos observados; esto no explica cuales son las causas que están debajo de los factores que podrían ser responsables para el modelo. Bliss y Calhoun (1954) discuten varios fenómenos naturales que podrían dar lugar a una distribución binomial negativa durante la dispersión de una población de organismos.

2. La distribución de frecuencias: El número de individuos por unidad de muestreo se resume con una distribución de frecuencia; que es el número por unidad de muestreo 0, 1, 2, ..., r individuos.
3. Las probabilidades de la distribución binomial negativa P(x): La probabilidad de encontrar los individuos x por unidad de muestreo, se presenta en la siguiente fórmula:

$$P(x) = [u / (u + k)]^x \{ (k + x - 1)! / [x!(k - 1)!] \} [1 + (u / k)]^{-k}$$

El parámetro μ se estima del promedio de la muestra (\bar{x}). El parámetro K es una medición del grado de agrupamiento y tiende hacia el cero como máximo agrupamiento. Una estimación para k (es decir, k) se obtiene usando la siguiente ecuación:

$$\log_{10}(N / N_0) = k \log_{10} [1 + (\bar{x} / k)]$$

donde N es el número total de unidades de muestreo y N_0 es el número de unidades de muestreo con 0 individuos. Se estima la k, que se obtiene a través de la siguiente fórmula:

$$\hat{k} = \frac{\bar{x}^2}{s^2 - \bar{x}}$$

Cuando la media es baja es una manera eficaz de estimar k. Por otro lado, si la media es grande, este método es eficaz sólo si hay agrupamiento extenso en la población.

Una vez que se obtienen los dos valores estadísticos, tanto la x y k , las probabilidades de encontrar a los individuos de x en una unidad de muestreo, es decir, $P(x)$, dónde $x = 0, 1, 2, \dots, r$ individuos, se analiza como:

$$P(0) = \left[\bar{x} / (\bar{x} + k) \right]^k \left[(k + 0 - 1)! / (0!(k - 1)!) \right] \left[1 + (\bar{x} / k) \right]^{-k}$$

$$= \left[1 + (\bar{x} / k) \right]^{-k}$$

$$P(1) = \left[\bar{x} / (\bar{x} + k) \right]^k \left[(k + 1 - 1)! / (1!(k - 1)!) \right] \left[1 + (\bar{x} / k) \right]^{-k}$$

$$= \left[\bar{x} / (\bar{x} + k) \right] \left[k / 1 \right] P(0)$$

$$P(2) = \left[\bar{x} / (\bar{x} + k) \right]^k \left[(k + 2 - 1)! / (2!(k - 1)!) \right] \left[1 + (\bar{x} / k) \right]^{-k}$$

$$= \left[\bar{x} / (\bar{x} + k) \right] \left[(k + 1) / 2 \right] P(1)$$

$$P(r) = \left[\bar{x} / (\bar{x} + k) \right]^k \left[(k + r - 1)! / (r!(k - 1)!) \right] \left[1 + (\bar{x} / k) \right]^{-k}$$

$$= \left[\bar{x} / (\bar{x} + k) \right] \left[(k + r - 1) / r \right] P(r - 1)$$

4. La frecuencia esperada de binomial negativa (Ex): Como se realizó para el modelo Poisson, el número esperado de sitios de muestreo contiene x individuos y se obtiene multiplicando cada uno de las probabilidades por N , el número total de unidades de muestreo. El número de clases de frecuencia, q , también es determinado como lo describe para el modelo de Poisson.

5. La prueba estadística de X^2 : El resultado de la prueba estadística de X^2 se compara con la tabla de probabilidades de X^2 con $q - 2$ (parámetros) - 1, eso es $q - 2$ grados de libertad.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Cerro El Potosí

En la tabla 6 se observan los datos paramétricos de la población del Cerro El Potosí, dichos datos se desplegaron de forma tal que las especies presentes, su número y valores dendrométricos, dan la posibilidad de inferir sobre la densidad y el porcentaje de las especies arbóreas. De tal forma que las especies *Pinus ayacahuite* y *Abies vejari* presentan el valor superior con respecto al número de individuos por hectárea con 124 y 120 respectivamente y por consecuencia un 30% en abundancia relativa. De manera subsecuente *Pseudotsuga menziesii* con 102 individuos y *Pinus hartwegii* con 60 ind/ha.

En lo referente a la dominancia relativa, al observar los resultados del área basal, la especie de *Pinus ayacahuite* es la que ocupa mayor espacio sobre la superficie, representándose con un 34%, *P. hartwegii* con un 30% ocupa el segundo lugar en cuanto al área basal/ha, seguido por *Pseudotsuga menziesii* con un 24% y la especie de *Abies vejari* es una de las especies de mayor abundancia, más no-dominancia, esto se debe a que presenta un mayor número de individuos/ha, pero sus dimensiones son pequeñas a diferencia de los diámetros de *Pinus hartwegii*, los cuales oscilan entre 65.3 y 5.1 cm, con un promedio de 26.5 cm. Dicho valor es superior al resto de los promedios del diámetro de la población, mientras que la especie de *Pinus ayacahuite* ocupa el primer lugar, en cuanto a dominancia y abundancia se refiere.

Tabla 6: Datos dasométricos para la población del Cerro El Potosí.

Especie	N/ha		G/ha(m ²)		\bar{h}	Altura (m)			Diámetro (cm)			
	abs	rel.	abs	rel.		S _n %	min	max	d _{1.3}	S _d %	min	max
Total	406	100	15.29	100	8.8	49.3	2.2	22.4	17.65	73	5	65.4
<i>Abies vejan</i>	120	30	1.86	12	7.92	40.07	3.5	18.4	12.5	50.8	5.2	39.2
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	102	25	3.63	24	8.8	51.93	2.6	20.1	17.05	73.7	5	61.2
<i>Pinus hartwegii</i>	60	15	4.65	30	10.6	52	2.3	22.4	26.5	63.6	5.1	65.3
<i>Pinus ayacahuite</i>	124	30	5.31	34	8.12	53.89	2.2	18.1	18.8	70.1	5	65.4

Por otra parte, la diferencia entre los coeficientes de variación (Sh% y Sd%) de la población muestra una divergencia marcada ya que Sh%=49.3 y Sd%= 73 dan la posibilidad de inferir sobre la heterogeneidad del ecosistema. Considerando tomando como base el trabajo realizado por Aguirre *et al* (1998) donde comparan el cambio de Sh% y Sd% de un rodal homogéneo al aplicarle un aclareo, se observó una variación mayor, ya que antes de la intervención el rodal presentaba Sh%=12 y Sd%=24 al final del tratamiento resultó que Sh%=9 y Sd% =20.

Para el muestreo del Cerro El Potosí se observa que los valores relativos con respecto a la abundancia, representa un 85% en las tres especies, mientras que la especie de *Pinus hartwegii* solo muestra un 15%. Esta misma especie al referirse al área basal representa un 34%, lo cual se debe a que presenta como diámetro máximo un valor de 55.4 cm, y un promedio de 21.6 cm (tabla 7).

La diferencia entre los coeficientes de variación (Sh% y Sd%) del muestreo de los 4 árboles, es muy poca Sh% = 56.8 y Sd% = 67.2 lo cual indica que existe alta variabilidad en los resultados.

Tabla 7: Datos dasométricos para el muestreo en el Cerro El Potosí

Especie	N/ha		G/ha (m ²)		Altura (m)				Diámetro (cm)			
	abs	rel.	abs	rel.	\bar{h}	S _h %	min	max	d _{1.4}	S _d %	min	Max
Total	397	100	8.37	100	7.69	56.8	2.2	22	13.18	67.2	5	55.4
<i>Abies vejari</i>	99	25	1.44	17	9.20	56.08	4	22	12.63	40.06	5.2	23.7
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	118	30	1.52	18	6.55	38.16	3.4	15.8	11.40	51.2	5	20
<i>Pinus hartwegii</i>	58	15	3.11	37	9.61	57.54	2.3	20	21.76	67.5	5.1	55.4
<i>Pinus ayacahuite</i>	122	30	2.3	28	6.67	55.4	2.2	18	13.42	58.1	5	40.5

4.1.1 Análisis de la abundancia, dominancia y frecuencia

Las poblaciones no existen aisladas en la naturaleza, de tal forma que son parte del ensamble con otras poblaciones estructurales en una misma área, las interacciones existentes entre especies de las poblaciones forman una asociación intraespecífica, cuyo grado se define por los parámetros abundancia, dominancia y frecuencia. En la tabla 8 se muestran las especies en los sitios de muestreo, además de los valores absolutos y relativos de abundancia (n/ha) y dominancia (g=m²/ha), tanto para la población como para los sitios de muestreo.

Tabla 8: Abundancia, dominancia y frecuencia de la población y el muestreo.

Especie	Abundancia		Dominancia		Frecuencia
	%		%		%
	pob	mue	pob	mue	muestra
<i>Abies vejari</i>	30	24	12	17	58
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	25	30	24	18	68
<i>Pinus hartwegii</i>	15	15	30	37	45
<i>Pinus ayacahuite</i>	30	30	34	28	71

Las especies de *Abies vejari* y *Pinus ayacahuite* son las de mayor abundancia. *Pinus hartwegii* es la especie que presenta menor porcentaje de numero de individuos/ha, pero sus dimensiones diamétricas superan a otras especies que presentan una mayor abundancia en la población. *Abies vejari*, siendo una de las de mayor abundancia es la que presenta la menor dominancia debido a que son bastantes individuos, pero con dimensiones diamétricas menores (figura 8).

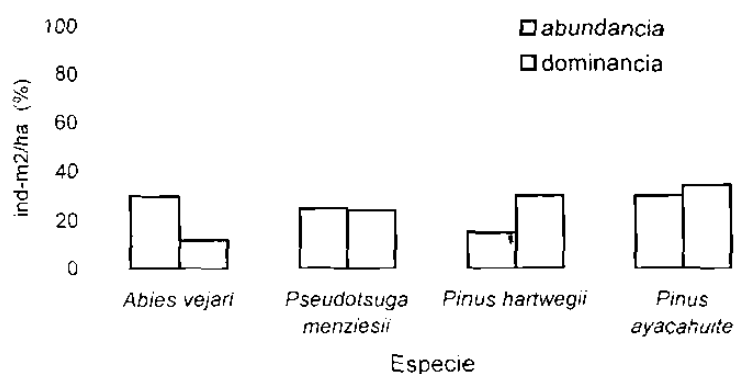


Figura 8: Abundancia y dominancia para la población del Cerro El Potosí.

La especie de *Pseudotsuga menziesii*, es la más abundante y la más frecuente, más no dominante sobre la superficie. Por el contrario *Pinus hartwegii* se encontró con pocos individuos, por tanto hay una frecuencia menor; pero tiene las mayores proporciones dasométricas, caso similar a la población. A diferencia del *P. ayacahuite* que es el más abundante y por ende más frecuente, pero sus dimensiones no son mayores como *P. hartwegii*; *Abies vejari*, al igual que en la población en el muestreo presenta una mayor abundancia y frecuencia (figura 9).

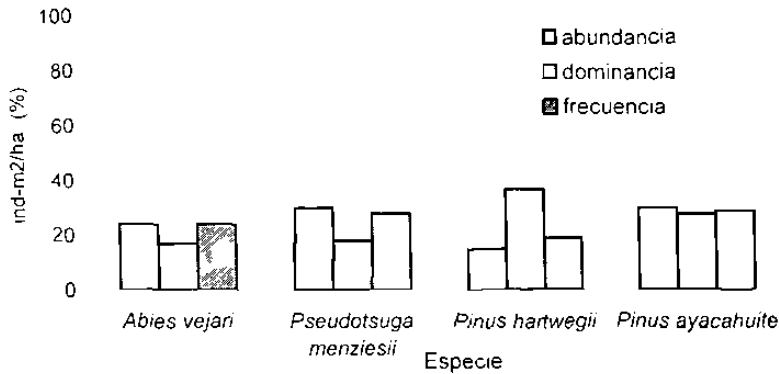


Figura 9: Abundancia, dominancia y frecuencia para el muestreo en el Cerro El Potosí.

4.1.2 Índice de diferenciación diamétrica

En la tabla 9 se muestra la distribución de valores referentes al índice de diferenciación diamétrica, el cual presenta 5 grupos de diferenciación a nivel de especies, y donde el 45% de los árboles-muestra se ubican en el rango moderado y un 25% en el rango bajo, sumando un 63% de la población de árboles-muestra y debido a que solo tres especies muestran esta diferenciación. Es posible inferir que se trata de un ecosistema mixto. Cabe aclarar que estos elementos de juicio son un tanto básicos y por lo tanto es necesario realizar un análisis a detalle de las especies con mayor peso o aporte a la diferenciación diamétrica (figura 10).

Tabla 9: Diferenciación diamétrica (TD).

Especie	TD					TOTAL 100 %
	baja 0.0–0.20	moderado 0.2–0.40	medio 0.4–0.60	fuerte 0.6–0.80	muy fuerte 0.81– 1.0	
<i>Abies vejari</i>	9.37	9.4	3.1	3.1	0	25
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	3.3	16.4	0	3.3	0	23
<i>Pinus hartwegii</i>	0	3.25	9.75	0	0	13
<i>Pinus ayacahuite</i>	9.75	16.25	3.25	6.5	3.25	39
Total	22 %	45 %	16 %	12.9 %	3.25 %	100 %

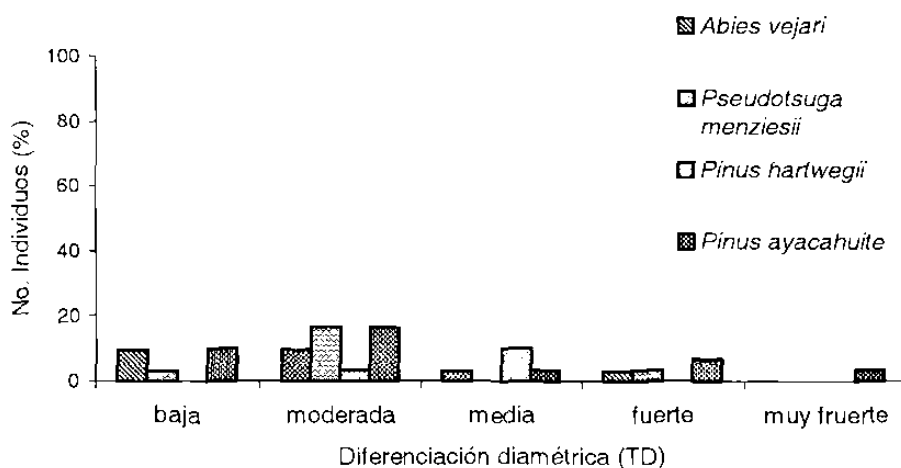


Figura 10: Índice de diferenciación diamétrica.

4.1.3 Índice de mezcla de especies

La base de definición de este índice, es la relación que guardan los tres individuos vecinos con respecto a la similitud específica con el árbol-objeto, dentro de la metodología del muestreo estructural de los cuatro árboles (Füldner, 1995).

En la tabla 10 se muestra que el 32.2% de los sitios de muestreo están tipificados con el valor *DM* igual a 1; infiriendo que de cada tres vecinos del árbol-objeto pertenece a una especie distinta y un 22.45% de los sitios de muestreo reflejan que uno de los vecinos del árbol-objeto pertenecen a otra especie, y un 42.1% se encuentran en el rango de 0.67; donde dos de los tres individuos vecinos pertenecen a diferente especie y en el de 0.0 en el cual los tres vecinos pertenecen a una misma especie se ubica únicamente el 3.25% (figura 11).

Tabla 10: Índice de la mezcla de especies.

Especie	Índice de mezcla de especies				Total
	0.0	0.33	0.67	1.0	
<i>Abies vejari</i>	0	6.5	13	6.5	26
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	0	6.2	9.6	6.2	22
<i>Pinus hartwegii</i>	0	0	3.25	9.75	13
<i>Pinus ayacahuite</i>	3.25	9.75	16.25	9.75	39
Total	3.25	22.45	42.1	32.2	100

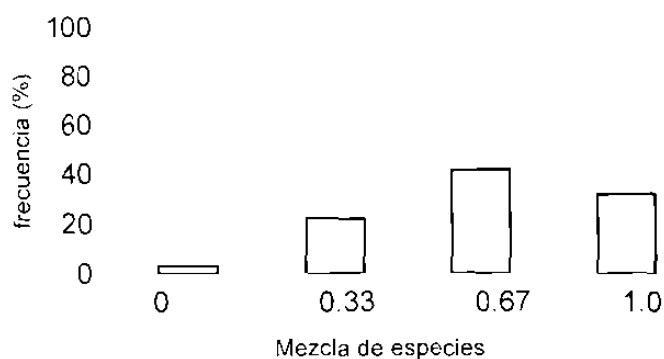


Figura 11: Índice de mezcla de especies.

En la figura 11 se observa el comportamiento de las especies, en cuanto a la mezcla entre ellas; la única especie, cuyos individuos pertenecen a la misma especie. *Pinus hartwegii* cuando fue árbol centro, en ningún caso presentó a los tres vecinos de su misma especie, solo convivió en un 9.75% con tres individuos de diferentes especies y en un 3.25% se asocia con uno de los tres vecinos de su misma especie. *Abies vejari* en un 6.5% de los sitios de muestreo se asoció con uno y tres vecinos diferentes a su especie mientras que un 13% dos de sus árboles vecinos pertenecían a diferente especie.

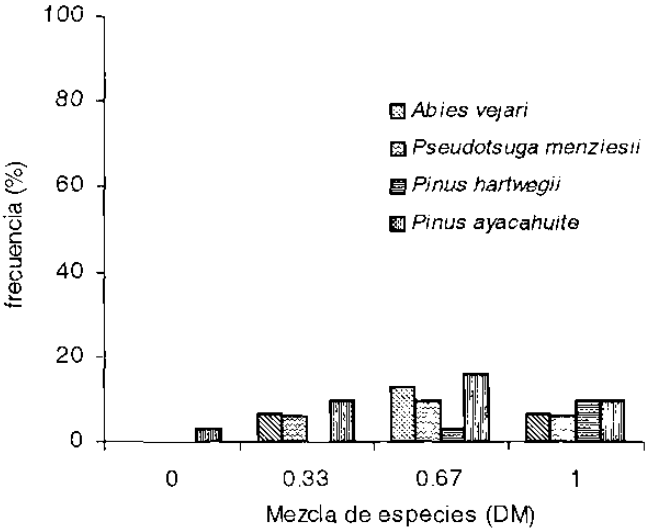


Figura 12: Grado de asociación del índice de mezcla de especies.

En cuanto a la convivencia de las especies del árbol-centro, se observa en la figura 13, que todas las especies conviven entre sí, incluso hasta con individuos de otra especie, excepto la especie de *Pinus hartwegii* que en ningún caso convive con el *P. ayacahuite*. *P. ayacahuite* presenta un 16% siendo su primer

vecino el *P. hartwegii*. La especie de *Abies vejari* convive con si misma en un 37%, al igual que con *Pseudotsuga menziesii*, asociándose con un igual porcentaje de 12.5 con el genero *Pinus*.

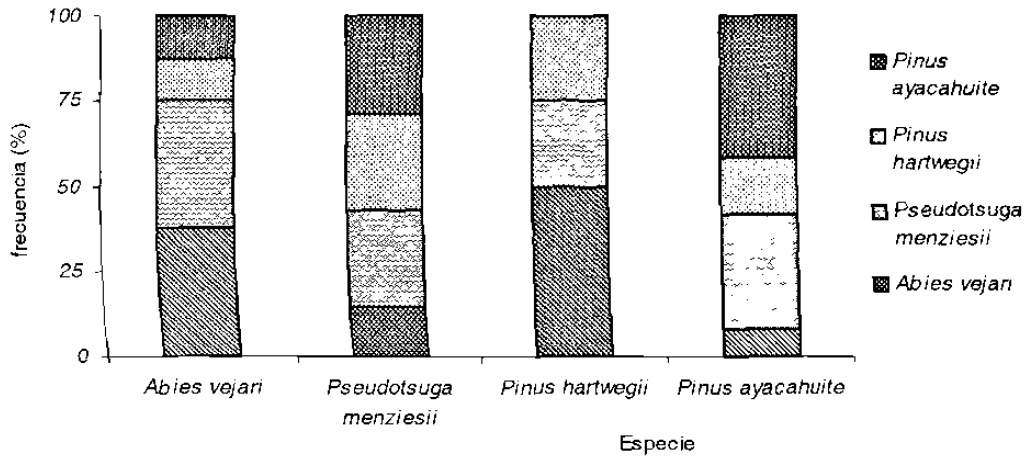


Figura 13: Árbol centro y su primer vecino.

4.1.4 Distribución espacial de las especies arbóreas

4.1.4.1 Índice de distribución espacial

Los valores utilizados para estimar la distribución espacial a través de los diferentes índices de muestreo fueron la varianza y la media aritmética. Estos parámetros estadísticos se corroboraron con los distintos tipos de distribución, según la tendencia de los valores.

Tabla 11: Valores de varianza y media aritmética de las especies.

Especie	Varianza	Media aritmética
<i>Abies vejari</i>	1	1
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	1.0279	1.1935
<i>Pinus hartwegii</i>	0.455914	0.5483
<i>Pinus ayacahuite</i>	1.131183	1.2580

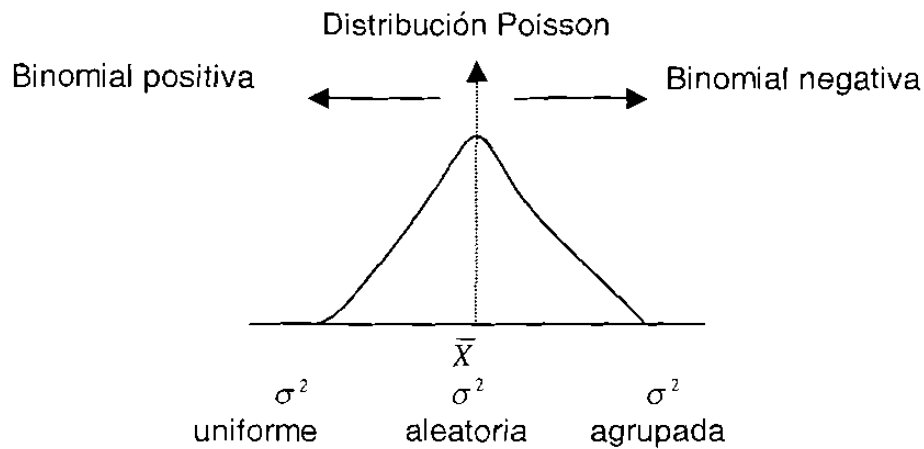
Debido a que los resultados (de la varianza y la media) fueron tan similares se dedujo que tendrían a seguir una distribución de manera aleatoria. Esta información se corroboró con X^2 .

$$X^2 = \frac{S^2}{\bar{X}}(n - 1)$$

Tabla 12: Valores de X^2 .

Especie	$\frac{S^2}{\bar{X}} * n - 1$	X^2	Rango de X^2	
			0.975	0.025
<i>Abies vejari</i>	(1/1) * 30	30	16.8	47
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	(1.0279/1.1935) * 30	25.83	16.8	47
<i>Pinus hartwegii</i>	(0.4559/0.5483) * 30	24.94	16.8	47
<i>Pinus ayacahuite</i>	(1.131/1.2580) * 30	26.97	16.8	47

Si el valor de X^2 se encuentra dentro del rango establecido por los valores de la tabla de X^2 (0.975 - 0.025) la distribución es aleatoria (Ludwig *et al.*, 1998). Si el valor del resultado de X^2 es mayor, la distribución será agrupada; y si es menor la distribución será uniforme.



Para conocer la varianza y la media aritmética de las especies presentes en el muestreo se consideró la frecuencia, es decir, si se presentaron y cuantas veces ocurrían por sitio de muestreo. *Abies vejari* en 13 sitios de muestreo no se presentó, en 9 sitios se presentó 2 veces, y en ninguna ocasión se presentó cuatro veces el mismo individuo por sitio de muestreo; *Pinus ayacahuite* fue la única especie que se presentó con los cuatro individuos en el sitio de muestreo (tabla 13).

Tabla 13: Frecuencia de las especies en los sitios de muestreo.

Especie	Frecuencia				
	0	1	2	3	4
<i>Abies vejari</i>	13	7	9	2	0
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	10	8	10	4	0
<i>Pinus hartwegii</i>	17	10	3	0	0
<i>Pinus ayacahuite</i>	9	9	10	2	1

En la tabla 14 se representan los rangos establecidos por los diferentes índices con la finalidad de conocer la distribución espacial de las especies.

Tabla 14: Rangos establecidos por los diferentes índices para conocer el tipo de distribución (Ludwig y Reynolds, 1988).

Índice	Tipo de distribución		
	Uniforme	Aleatoria	Agrupada
ID	0	1	n
IC	-1	0	n-1
IG	-1(n-1)	0	1
R	>1	1	0

De acuerdo a los valores establecidos por los diferentes índices, se obtiene que en su totalidad las especies se distribuyen de manera aleatoria.

El índice de dispersión (ID) establece un valor de 1, para que se presente una distribución aleatoria y el valor obtenido para la especie de *Abies vejari* es 1 (uno); para la especie de *Pseudotsuga menziesii* un valor ID de 0.8612; *Pinus hartwegii* 0.8313 y para *P. ayacahuite* 0.8991, por lo que se considera que estas especies presentan una distribución aleatoria (tabla 15).

El índice de agrupamiento (IC) atribuye un valor de 0 (cero) a una distribución de tipo aleatorio. Para *Abies vejari* tiene un valor de IC = 0 (cero), *Pseudotsuga menziessi* -0.1387, *Pinus hartwegii* -0.1687 y *P. ayacahuite* -0.100, por lo que los valores están muy cercanos al valor establecido para la aleatoriedad. En tal sentido, se establece que de acuerdo al índice de agrupamiento las especies se distribuyen de manera aleatoria (tabla 15).

Para el índice de Green (IG) se establece un valor de 0 (cero) cuando se presenta una distribución aleatoria, un valor de 1 (uno) al referirse a un agrupamiento y un valor de -1(n-1) cuando se trata de una distribución de tipo uniforme. En este trabajo, se tienen 31 unidades de muestreo, por lo que

$-1*(n-1)$, se tiene un valor 30. por lo que se considera que el valor establecido para una distribución uniforme y de tipo aleatoria sería un valor de -16 a -30 , estaría en el rango de la distribución uniforme, y un valor de 0 a -15 sería una distribución aleatoria. Por lo que todos los valores de dicho índice están dentro del rango establecido para una distribución de tipo aleatorio (tabla 15).

En cuanto al Índice de Clark & Evans (R) el valor establecido para la aleatoriedad es de 1 y el valor obtenido para las especies presentes es de 0.9162 . Este valor esta más cercano a 1 que a 0 , por lo que se considera una distribución aleatoria (tabla 15).

Tabla 15: Valor de los índices por especie.

Especie	Índices de distribución espacial			
	ID	IC	IG	R
<i>Abies vejari</i>	1	0	0	0.9162
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	0.8612	-0.1387	-0.0038	0.9162
<i>Pinus hartwegii</i>	0.8313	0.1687	-0.0105	0.9162
<i>Pinus ayacahuite</i>	0.89914	-0.100	-2.65	0.9162

4.1.4.2 Distribución probabilística de las especies

Para las especies presentes en Cerro El Potosí, los valores observados y esperados tanto para la distribución POISSON, como para BINOMIAL NEGATIVA, se muestran en la tabla (16-19). Los valores observados se obtuvieron de la frecuencia de las especies por sitio de muestreo. Al comparar el valor de X^2 con la tabla de distribución de X^2 se observa que las especies presentes en los sitios de muestreo: *Abies vejari*, *Pseudotsuga menziesii*, *Pinus hartwegii* y *P. ayacahuite* los valores esperados tanto para la distribución de Poisson, como para la binomial negativa, se asemejan a los valores observados

y al ser comparados con el valor tabulado de X^2 , se acepta que es una distribución espacial de tipo aleatorio, debido a que el valor calculado de X^2 es menor que el valor tabulado.

Tabla 16: Distribución probabilística para *Abies vejari*.

		DISTRIBUCIÓN			
		POISSON		BINOMIAL NEGATIVA	
	observado	esperado	X^2	esperado	X^2
0	13	11.4	0.22	13	0.00
1	7	11.4	1.70	9.88	0.84
2	9	5.7	1.91	4.94	3.34
3	2	1.9	0.01	2.04	0.00
4	0	0.59	0.59	1.14	1.14
	31	31	4.43	31	5.32
			df = 4		df = 3

Tabla 17: Distribución probabilística para *Pseudotsuga menziesii*.

		DISTRIBUCIÓN			
		POISSON		BINOMIAL NEGATIVA	
	observado	esperado	X^2	esperado	X^2
0	10	9.4	0.04	10.00	0.00
1	8	11.22	0.92	10.74	0.70
2	10	6.69	1.63	6.38	2.17
3	3	2.66	0.04	2.6	0.04
4	0	1.02	1.02	1.28	1.28
	31	31	3.65	31	4.19
			df = 4		df = 4

Tabla 18 Distribución probabilística para *Pinus hartwegii*.

DISTRIBUCIÓN					
	observado	POISSON		BINOMIAL NEGATIVA	
		esperado	X ²	esperado	X ²
0	17	17.91	0.05	17.00	0.00
1	11	9.82	0.14	11.22	0.00
2	3	2.69	0.03	2.56	0.08
3	0	0.49	0.49	0.22	0.22
4	0	0.08	0.08	0.00	0.00
	31	31	0.79	31	0.3
			df = 4		df = 2

Tabla 19 Distribución probabilística para *Pinus ayacahuite*.

DISTRIBUCIÓN					
	observado	POISSON		BINOMIAL NEGATIVA	
		esperado	X ²	esperado	X ²
0	9	8.81	0.00	9	0.00
1	9	11.08	0.39	10.94	0.35
2	10	6.79	1.31	6.84	1.46
3	2	2.92	0.29	2.92	0.29
4	1	1.21	0.30	1.29	0.33
	31	31	2.299	31	2.437
			df = 4		df = 3

En la figura 14 se observan los grados de libertad en función del valor de X² tanto para la distribución Poisson, como de binomial negativa. Los valores que se ubiquen dentro del rango indican una distribución aleatoria. Si ocurren fuera de la línea superior, será una distribución agrupada, y si los valores se encuentran abajo de la línea inferior, será una distribución de tipo uniforme (Brower *et al.*, 1990).

Para el Cerro El Potosí, se encontró en una distribución de tipo aleatoria para las especies de *Abies vejari* y *Pseudotsuga menziesii*, por estar dentro del rango establecido por Brower *et al.* (1990), mientras que el resto de las

especies pertenecientes al genero *Pinus* se ubicaron por debajo de la línea, lo cual indica una distribución uniforme.

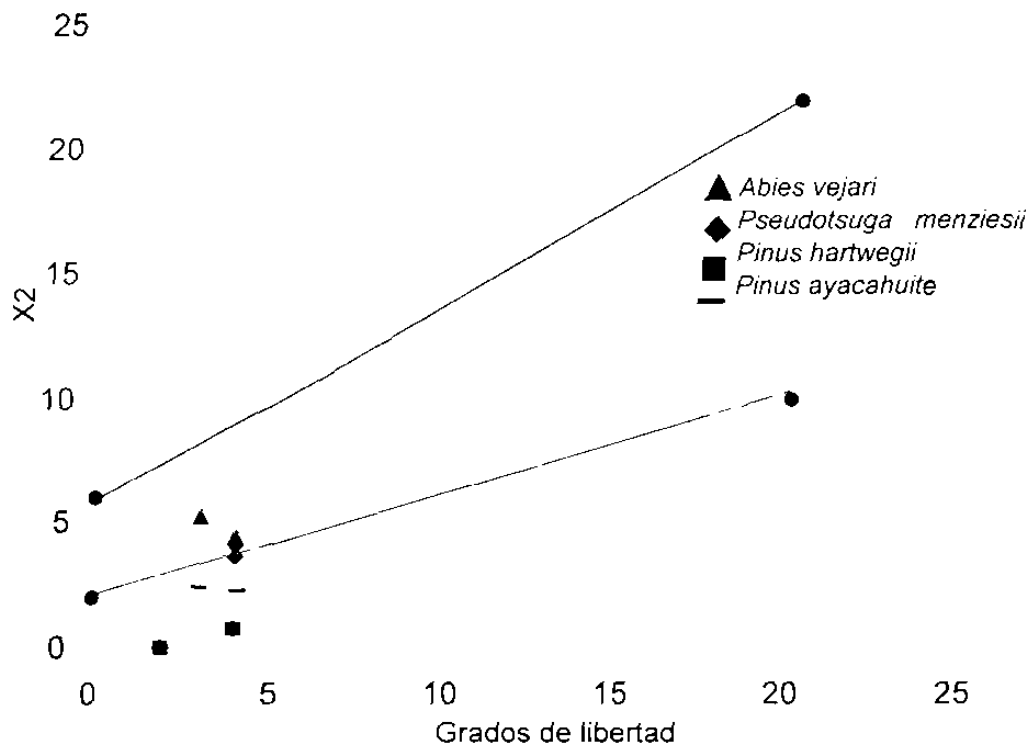


Figura 14: Distribución probabilística de las especies en función de X^2 .

4.2 Sierra La Marta

En la tabla 20 se observan los datos dasométricos de la población en la Sierra La Marta. Se determinó que el 50% de la abundancia esta representada por la especie de *Pseudotsuga menziesii* con 250 individuos por hectárea, seguida por *Abies vejari* con 145 ind/ha, ocupando un 30%, mientras que *Pinus hartwegii* solo representa el 20% con 100 ind/ha.

En lo referente a la dominancia relativa, *Pseudotsuga menziesii* ocupa un mayor espacio sobre la superficie (47%), ya que presenta un diámetro de 20.82 cm, sin embargo *Pinus hartwegii* presenta un diámetro mayor (32.38 cm); esto es de acuerdo a que presenta un diámetro máximo de 70 cm, pero no tiene la mayor dominancia, debido a que el número de individuos por hectárea es menor que *Pseudotsuga menziesii*.

Por otra parte, la diferencia entre los coeficientes de variación (Sh% y Sd%) de la población muestra una divergencia marcada ya que Sh%=40.6 y Sd%= 66.8, dan la posibilidad de inferir sobre la heterogeneidad del ecosistema.

Tabla 20: Datos dasométricos para la población en la Sierra La Marta.

Especie	N/ha		G/ha (m ²)		\bar{h}_i	Altura (m)			Diámetro (cm)			
	abs	rel	abs	rel		S _n %	min	max	d _{1.3}	S _d %	min	max
Total	495	100	24.47	100	14.4	40.6	3.4	34.9	20.86	66.8	4.95	70
<i>Abies vejari</i>	145	30	2.65	10.8	11.25	38.4	3.4	28.8	13	61.7	5	60
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	250	50	11.5	47	15.13	38.1	5	30	20.82	59.2	4.95	65
<i>Pinus hartwegii</i>	100	20	10.3	42.2	17.17	35.1	4.2	34.9	32.38	50.4	5	70

Para el muestreo de Sierra La Marta (tabla 21) se observa que los valores relativos con respecto a la abundancia, representa un 58% la especie de *Pseudotsuga menziesii*; mientras que *Pinus hartwegii* y *Abies vejari* representan un 42%. Al referirse al área basal se encuentra que *Pseudotsuga menziesii* es la dominante con un 46% lo cual se debe a que presenta un diámetro máximo de 55.4 cm, y un diámetro promedio de 23.5 cm.

La diferencia entre los coeficientes de variación (Sh% y Sd%) del muestreo de los 4 árboles, es muy poca Sh% = 38.69 y Sd% = 58.93 lo cual indica que existe alta variabilidad.

Tabla 21: Datos dasométricos para el muestreo en la Sierra La Marta.

Especie	N/ha		G/ha (m ²)		Altura (m)				Diámetro (cm)			
	Abs	rel	abs	rel.	\bar{h}	S _v %	min	max	d _{1.4}	S _d %	min	max
Total	355	100	24.66	100	15.7 6	38.6 9	5.3	34.9	24.3	58.9 3	5.4	65
<i>Abies vejari</i>	70	20	4.03	16	12.45	40.16	6.4	21.8	15.05	51.6	6.3	38.5
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	207	58	11.24	46	16.01	34.9	5.3	27.8	23.5	49.5	5.3	27.8
<i>Pinus hartwegii</i>	78	22	9.39	38	18.05	42.1	6	34.9	34.7	52.1	6.9	65

4.2.1 Análisis de la abundancia, dominancia y frecuencia

En la tabla 22 se muestra el despliegue de las especies que aparecieron en los sitios de muestreo además de los valores absolutos y relativos de abundancia (n/ha) y dominancia (g=m²ha) tanto para la población como para los sitios de muestreo.

Tabla 22: Abundancia, dominancia y frecuencia de la población y el muestreo.

Especie	Abundancia %		Dominancia %		Frecuencia %
	pob	mue	Pob	mue	muestra
<i>Abies vejari</i>	30	20	11	16	50
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	50	58	47	46	96
<i>Pinus hartwegii</i>	20	22	42	38	50

La especie de mayor abundancia es *Pseudotsuga menziesii* y ocupa un 58%, seguido por *Pinus hartwegii* (22%) y *Abies vejari* (20%). *Pseudotsuga menziesii* presenta una mayor dominancia sobre las demás especies, debido a que presenta individuos con diámetros superiores a las otras especies (figura 15).

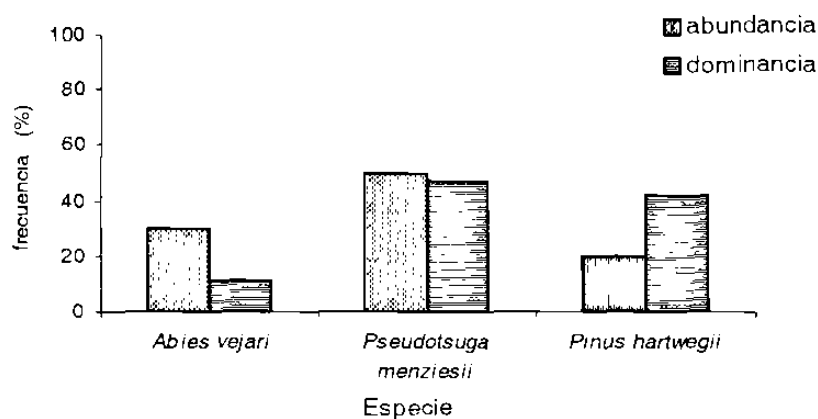


Figura 15: Abundancia y dominancia para la población en la Sierra La Marta.

La especie de mayor abundancia, dominancia y frecuencia en los sitios de muestreo para Sierra La Marta es *Pseudotsuga menziesii*, seguida por *Pinus hartwegii* y *Abies vejari*, caso similar a la población donde estas especies

ocupan el segundo y tercer lugar en cuanto a abundancia y dominancia (figura 16).

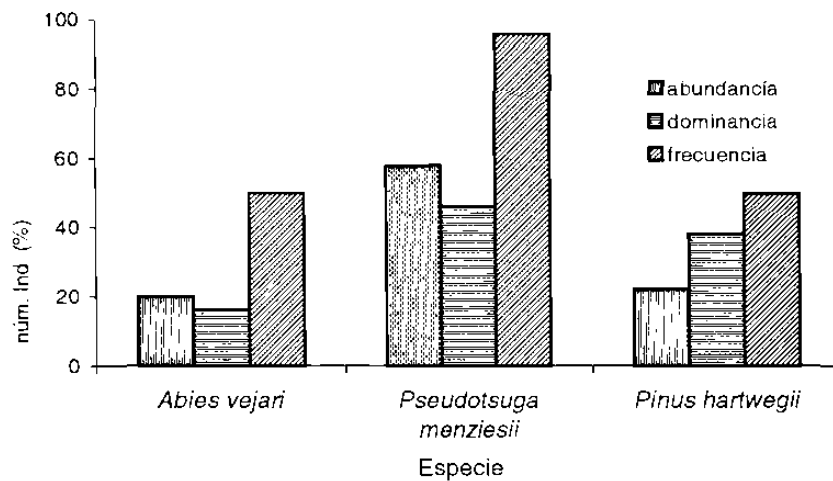


Figura 16: Abundancia, dominancia y frecuencia para el muestreo en la Sierra La Marta.

4.2.2 Índice de diferenciación diamétrica

Para el índice de diferenciación diamétrica, el 50% de los árboles-muestra se ubican en el rango moderado y medio; mientras que un 42% se ubican entre el rango bajo y fuerte, y tan solo un 8% de los árboles-muestra esta presente en el rango muy fuerte, por lo que se considera que solo un 30% de los individuos muestran una gran diferenciación diamétrica, mientras que el 70% indica que es un bosque regular en cuanto a la superficie ocupada por los individuos sobre el terreno (tabla 23). La especie de *Pseudotsuga menziesii* es la única especie que no ocurre en el rango muy fuerte, es decir sus individuos presentan una distribución diamétrica similar (figura 17).

Tabla 23: Índice de diferenciación diamétrica.

Especie	TD					TOTAL
	bajo 0.0 – 0.20	moderado 0.21 – 0.40	medio 0.41 – 0.60	fuerte 0.61 – 0.80	muy fuerte 0.81 – 1.0	
<i>Abies vejari</i>	4.16	8.33	4.16	4.16	4.16	25
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	8.32	12.49	12.49	12.49	0	45.8
<i>Pinus hartwegii</i>	8.33	4.16	8.33	4.16	4.16	29.16
TOTAL	21%	25%	25%	21%	8%	100%

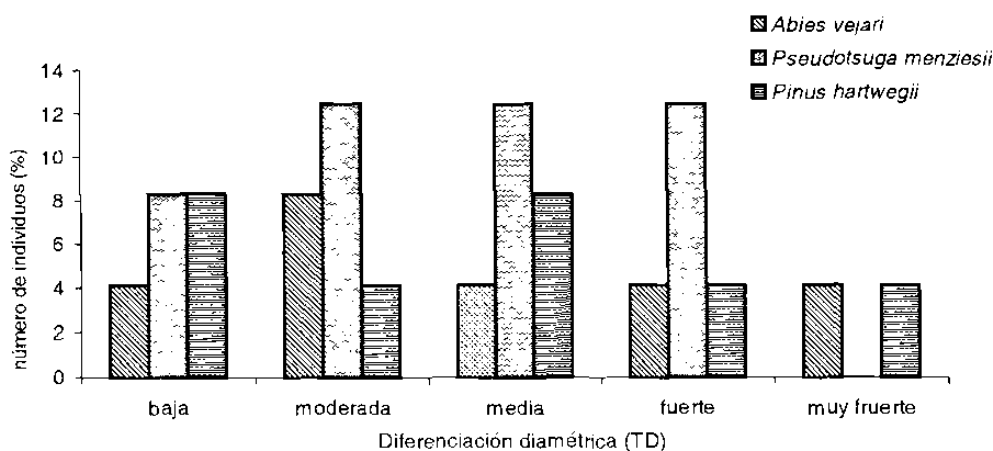


Figura 17: Índice de diferenciación diamétrica.

4.2.3 Índice de mezcla de especies

En la tabla 24 se muestra de manera general que el 33% de los sitios de muestreo están tipificados con el valor \overline{DM} igual a 0; infiriendo que de cada tres vecinos, el árbol-objeto pertenece a la misma especie del árbol-centro, es decir el 33% de los sitios de muestreo estaban conformados por grupos de árboles de la misma especie. El 17% de los árboles-centro o muestra,

presentan un individuo de especie diferente, mientras que un 50% de los árboles-muestra observan dos y tres individuos de especie diferente (figura 18).

Tabla 24: Índice de mezcla de especies.

Índice de mezcla de especies					
Especie	0.0	0.33	0.67	1.0	Total
<i>Abies vejari</i>	0	0	17	8	25
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	29	9	4	4	46
<i>Pinus hartwegii</i>	4	8	4	13	29
Total	33	17	25	25	100

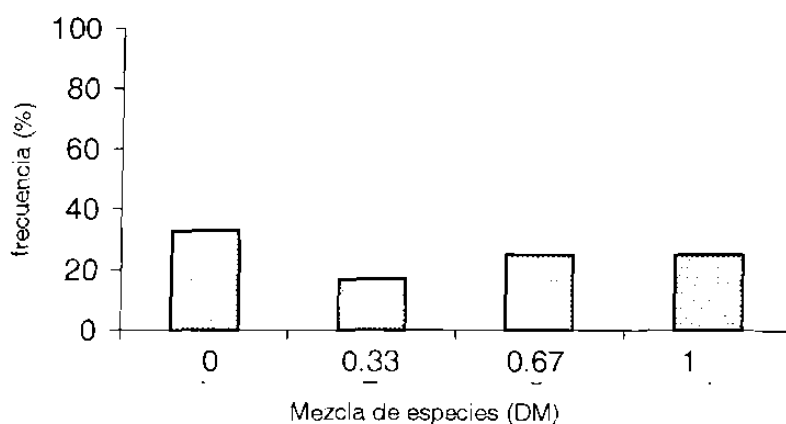


Figura 18: Índice de mezcla de especies.

El comportamiento de las especies, en cuanto a la mezcla entre ellas; las especies de *Pseudotsuga menziesii* y *Pinus hartwegii* se presentaron en los sitios de muestreo con individuos de su misma especie. *Pinus hartwegii* solo se presentó en un 4% de los sitios de muestreo, mientras que al mezclarse con tres individuos de diferente especie un 13%. A diferencia de *Pseudotsuga menziesii*, que en el 30% estuvo mezclada con individuos de su misma especie.

Abies vejari se presentó en los sitios de muestreo con dos individuos de diferente especie y en un menor porcentaje (8%) sus tres vecinos pertenecían a diferente especie (figura 19).

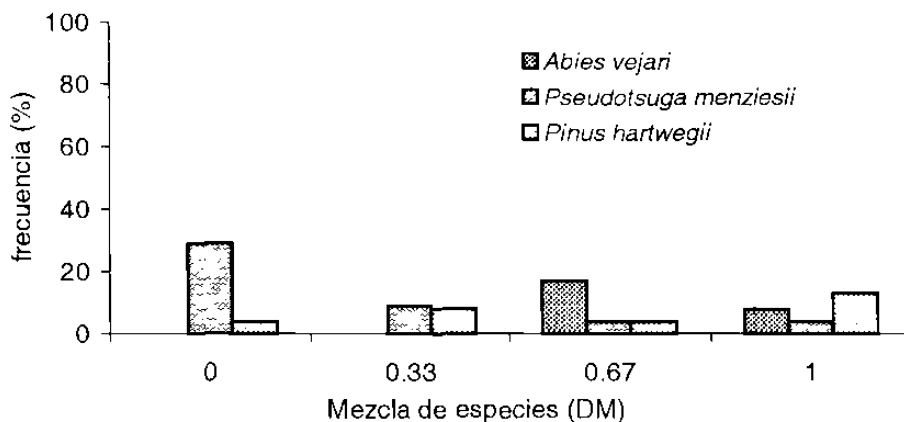


Figura 19: Índice de mezcla de especies.

La convivencia de las especies del árbol centro con sus tres vecinos más cercanos se muestra en la figura 20, donde las especies conviven con entre sí como es el caso de *Pseudotsuga menziesii* con un 82% y *Pinus hartwegii* con 57%; la especie de *Abies vejari* presentó una mayor convivencia con individuos de *Pseudotsuga menziesii* (50%).

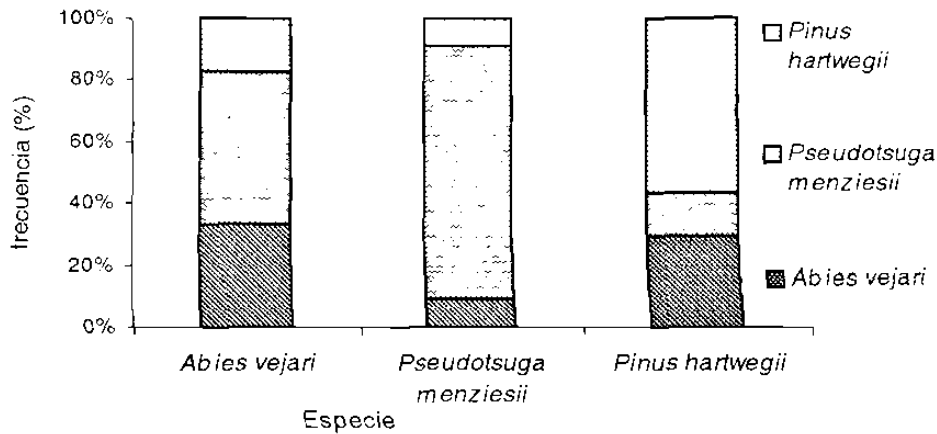


Figura 20: Árbol centro y su primer vecino.

4.2.4 Distribución espacial de las especies arbóreas

Los valores utilizados para estimar la distribución espacial a través de los diferentes índices de muestreo fueron la varianza y la media, así como la comparación con los distintos tipos de distribución probabilística.

Abies vejari es la especie que presenta una mayor similitud en sus valores de varianza y media, por lo que tiende a presentar una distribución de tipo aleatorio. A diferencia de *Pseudotsuga menziesii* que la varianza es menor que la media, lo que tiende a ser una distribución de tipo uniforme. Mientras que *Pinus hartwegii* presenta una tendencia al agrupamiento, ya que la media es menor que la varianza (tabla 25).

Tabla 25: Valores de varianza y media aritmética.

Especie	Varianza	Media aritmética
<i>Abies vejari</i>	0.86	0.79
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	1.71	2.33
<i>Pinus hartwegii</i>	1.33	0.87

Posteriormente, estos datos fueron sometidos a la prueba de X^2 , mostrándose los valores en la tabla 26. De acuerdo al rango establecido de X^2 al 0.975 y al 0.025, los valores para las tres especies encontradas en Sierra La Marta, se ubican dentro del rango establecido, por lo que los individuos presentan una distribución de tipo aleatorio (tabla 26).

Tabla 26: Rango de los valores de X^2 .

Especie	$\left(\frac{S^2}{\bar{X}}\right) * n - 1$	X^2	Rango de X^2	
			0.975	0.025
<i>Abies vejari</i>	$(0.86/0.79) * 23$	25.21	11.7	38.1
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	$(1.71/2.33) * 23$	16.86	11.7	38.1
<i>Pinus hartwegii</i>	$(1.33/0.87) * 23$	34.94	11.7	38.1

La varianza y la media aritmética de las especies presentes en el muestreo se determinaron a través de la frecuencia en los sitios de muestreo. *Abies vejari* no se presentó en 12 sitios de muestreo, en 6 sitios se ubicó una vez. *Pseudotsuga menziesii* se presentó 7 ocasiones en los sitios de muestreo asociada con su misma especie (tabla 27).

Tabla 27: Frecuencia de las especies en los sitios de muestreo.

Especie	Frecuencia				
	0	1	2	3	4
<i>Abies vejari</i>	12	6	5	1	0
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	1	7	6	3	7
<i>Pinus hartwegii</i>	12	7	2	2	1

4.2.4.1 Índice de distribución espacial

El índice de dispersión (ID) establece un valor de 1, para que se presente una distribución aleatoria y el valor obtenido para *Abies vejari* es 1.09 (cerca a uno), sin embargo presenta una mínima tendencia al agrupamiento; al igual que *Pinus hartwegii* con un valor de 1.5217, mientras que *Pseudotsuga menziesii* un valor de 0.7329 este valor está más cercano a uno (distribución aleatoria) que a cero (distribución uniforme) por lo que se considera una distribución de tipo aleatorio con una ligera tendencia hacia la uniformidad (tabla 28).

Índice de agrupamiento (IC) atribuye un valor de 0 (cero) a una distribución de tipo aleatorio. Para *Abies vejari* el valor obtenido de IC fue 0.09 para *Pinus hartwegii* 0.52, ambos valores están próximos a uno, por lo que muestran un tipo de distribución aleatorio, con una tendencia hacia el agrupamiento, sobre todo el *Pinus hartwegii*, donde su valor está más lejano del establecido para la aleatoriedad que para *Abies vejari*. Caso contrario para *Pseudotsuga menziesii* que su valor está cercano a la aleatoriedad con una pequeña desviación hacia la uniformidad (tabla 28).

Para el Índice de Green (IG) se establece un valor de 0 (cero) cuando se presenta una distribución aleatoria, un valor de 1 (uno) al referirse a un

agrupamiento y un valor de $-1(n-1)$ cuando se trata de una distribución de tipo uniforme. Para Sierra La Marta se trabajó con 24 sitios de muestreo (n). *Abies* y *Pseudotsuga* presentan un valor de cero, por lo que se consideran dentro de una distribución aleatoria de acuerdo a este índice, mientras que la especie de *Pinus hartwegii* con un valor de 2.60, estaría dentro de la distribución agrupada (tabla 28).

En cuanto al Índice de Clark & Evans (R) el valor establecido para la aleatoriedad es de 1 y el valor obtenido para las especies presentes es de 0.82; si observamos este valor esta más cercano a 1 que a cero, por lo que se considera, de acuerdo a este índice, como una distribución aleatoria, con tendencia hacia el agrupamiento de individuos (tabla 28).

Tabla 28: Valor de los índices por especie.

Especie	Índices de distribución espacial			
	ID	IC	IG	R
<i>Abies vejari</i>	1.09	0.09	0.00	0.82
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	0.73	-0.26	-0.00	0.82
<i>Pinus hartwegii</i>	1.52	0.52	2.60	0.82

4.2.4.2 Distribución probabilística de las especies

En las tablas 29, 30 y 31 se muestran los valores observados y esperados para las especies de la Sierra La Marta, tanto para la distribución POISSON, como para BINOMIAL NEGATIVA, conociendo los valores observados a través de la frecuencia de las especies por sitio de muestreo. Comparando el valor de la X^2 (calculado) con la tabla de distribución X^2 .

Para *Abies vejari* y *Pinus hartwegii* los valores esperados tanto de la distribución Poisson, como de binomial negativa, son similares a los observados en los sitios de muestreo y al ser comparados con el valor tabulado de X^2 , se acepta que es una distribución aleatoria, debido a que el valor calculado de X^2 es menor que el valor tabulado (tabla de probabilidad de X^2). *Pseudotsuga menziesii*, fue la única especie cuyo valor calculado, rebasa el valor tabulado, por lo que de acuerdo a este tipo de prueba, no se acepta una distribución de tipo aleatorio.

Tabla 29: Distribución probabilística para *Abies vejari*.

DISTRIBUCIÓN					
	observados	POISSON		BINOMIAL NEGATIVA	
		esperados	X^2	esperados	X^2
0	12	10.87	0.12	12.00	0.00
1	6	8.61	0.79	7.32	0.24
2	5	3.41	0.74	3.07	1.21
3	1	0.90	0.01	1.09	0.01
4	0	0.21	0.21	0.50	0.50
	24	24	1.87	24	1.96
			df = 4		df = 3

Tabla 30: Distribución probabilística para *Pseudotsuga menziesii*.

DISTRIBUCIÓN					
	observados	POISSON		BINOMIAL NEGATIVA	
		esperados	X^2	esperados	X^2
0	1	2.33	0.76	1	0.00
1	7	5.43	0.45	4.48	1.41
2	6	6.34	0.02	7.99	0.50
3	3	4.93	0.75	7.03	2.31
4	7	4.97	8.02	3.49	5.71
	24	24	10.00	24	9.92
			df = 4		df = 3

Tabla 31: Distribución probabilística para *Pinus hartwegii*.

DISTRIBUCIÓN					
		POISSON		BINOMIAL NEGATIVA	
	observados	esperados	X^2	esperados	X^2
0	12	10	0.40	12.00	0.00
1	7	8.75	0.35	6.70	0.01
2	2	3.38	0.87	3.08	0.38
3	2	1.12	0.70	1.32	0.35
4	1	0.29	2.39	0.90	0.75
	24	24	4.71	24	1.49
			df = 4		df = 3

En la figura 32 se muestran los grados de libertad en relación con el valor de X^2 , tanto para la distribución Poisson, como de la binomial negativa. Los valores que se localicen en el rango lineal, indican que es una distribución aleatoria, mientras que si ocurren sobre la línea superior es una distribución agrupada. Si los valores se encuentran por abajo de la línea inferior, será de una distribución de tipo uniforme (Brower *et al.*, 1990).

De acuerdo a lo antes expuesto, *Pseudotsuga menziesii* presenta una distribución agrupada, mientras que *Abies vejari* se encuentra por abajo de la línea, al igual que *Pinus hartwegii*, por lo que presentan una distribución uniforme.

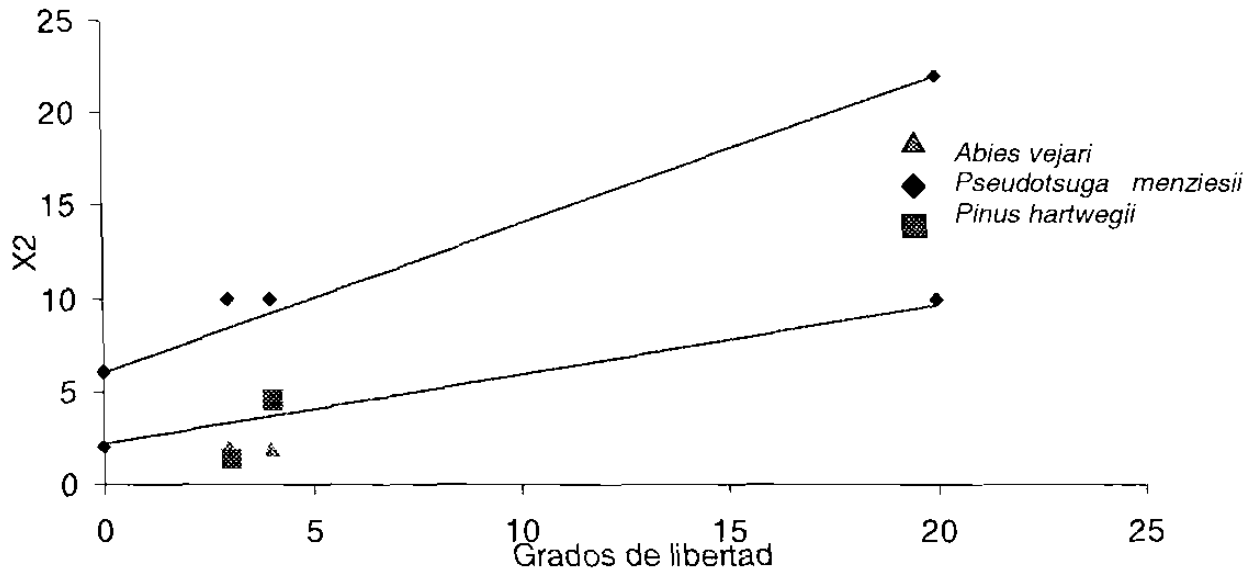


Figura 32: Distribución probabilística de las especies en función de X^2 .

5. Conclusiones

Al comparar el muestreo de los cuatro árboles con la población tanto en Cerro El Potosí como Sierra La Marta, el muestreo representa la población. Así mismo, se puede evaluar en estos sitios de muestreo, la abundancia, dominancia y frecuencia de las especies.

Para el Cerro El Potosí: al comparar la población con el muestreo de los cuatro árboles con respecto a la abundancia (N/ha), las especies del género *Pinus* obtuvieron el mismo valor porcentual tanto en el muestreo como la población mientras que *Abies vejari* el muestreo subestimó la población. Para la dominancia (g/ha) en las especies de *Abies vejari* y *Pinus hartwegii* el muestreo sobreestimó a la población. La especie más frecuente, debido a su mayor abundancia, fue *Pinus ayacahuite*.

En Sierra La Marta las especies de *Pseudotsuga menziesii* y *Pinus hartwegii* al encontrarse en los sitios del muestreo, el número de individuos sobreestimó la población mientras que *Abies vejari* el muestreo subestimó la población en un 10%. Los resultados para la dominancia: las especies *Pseudotsuga menziesii* y *Pinus hartwegii* en el muestreo subestimaron a la población, mientras que *Abies vejari* la sobreestimó en un 5%. La especie de mayor frecuencia, al igual que abundancia fue *Pseudotsuga menziesii*.

Así mismo en este tipo de muestreo se puede conocer el tipo de bosque de acuerdo a las dimensiones de los individuos a través del índice de diferenciación diamétrica el cual indica acerca de la regularidad de los bosques. Para Cerro El Potosí existe un bosque regular, debido a que el mayor

porcentaje de los valores (67%) se encuentran en el rango de bajo y moderado, es decir, las dimensiones del área basal entre los individuos fueron muy similares. Para la Sierra La Marta el 71% de los valores se ubicaron entre bajo, moderado y medio.

A su vez en este tipo de muestreo se estima la asociación existente entre las especies presentes, es decir, la distribución espacial de éstas y con quien se les asocia en mayor convivencia, si con si misma o con árboles de diferente especie. Al evaluar los índices de distribución espacial ocurre que las especies del Cerro El Potosí presentan una distribución de tipo aleatoria a través de los cuatro índices evaluados. Para Sierra La Marta la especie de *Pinus hartwegii* no se ajustó a los índices de distribución, ya que sus valores fueron los más lejanos al rango expuesto para una distribución aleatoria, excepto para el índice de Clark & Evans, que su valor al igual que el resto de las especies, se localizó lo más cercano a uno, valor establecido para una distribución aleatoria.

Al evaluar la frecuencia de las especies en los sitios de muestreo, calcular los valores esperados y comparar con los valores esperados a través de la distribución Poisson y binomial negativa, se encontró que el valor calculado fue menor que el valor tabulado de X^2 , tanto Cerro El Potosí como Sierra La Marta, excepto para *Pseudotsuga menziesii*, donde el valor calculado superó el valor tabulado en la Sierra La Marta.

Al representar los grados de libertad con los valores de la X^2 de acuerdo al rango establecido por Brower *et al.*, en 1990; a través de la distribución Poisson y binomial negativa, se concluye que para el Cerro El Potosí las especies que presentan una distribución de tipo aleatoria son *Abies vejari* y *Pseudotsuga*

menziesii y las especies del género *Pinus* presentan una distribución de tipo uniforme.

En la Sierra La Marta una distribución uniforme corresponde a las especies de *Abies vejari* y *Pinus hartwegii*. Una distribución aleatoria se encuentra en *Pinus hartwegii* y *Pseudotsuga menziesii* presenta una distribución de tipo agrupada.

6. BIBLIOGRAFÍA

Aguirre, O. 1999: Índices para la caracterización de la estructura del estrato arbóreo de ecosistemas forestales. *Revista Ciencia Forestal* (en prensa).

Aguirre, O., Jiménez, J., Vargas, B. 1997: Análisis estructural del estrato arbóreo de ecosistemas forestales multicohortales. III Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales. Resumen de ponencias, 36 p.

Aguirre, O., Kramer, H., Jiménez, J. 1998: Análisis de la estructura de ecosistemas forestales, un caso de estudio en Durango, México. Memoria del Primer Congreso Mexicano, IUFRO Valdivia Chile, 11 p.

Baca, M. 2000: Caracterización de la estructura vertical y horizontal en bosques de pino-encino. Tesis Maestría. Facultad de Ciencias Forestales, U.A.N.L., 93 p.

Bliss, C., Calhoun, D. 1954: An outline of biometry. Yale Co-op Publ., New Haven, CT., 234 p.

Brower, E., Zar, H., Von Ende, N. 1990: General Ecology: Field and laboratory methods. Wm. C. Brown Publisher. Third Edition 237 p.

CETENAL, 1975: Carta topográfica, clave G14C45, San Rafael, escala 1:50,000.

CETENAL, 1977: Carta edafológica, clave G14C45, San Rafael, escala 1:50,000.

Clark, J., Evans, C. 1954: Distance to nearest neighbour as a measure of spatial relationships in populations. *Ecology*, 445-453.

Condés, S., Martínez, J. 1998: Comparación entre los índices de distribución espacial de árboles más usados en el ámbito forestal. *Investigación Agraria: Sistemas de Recursos Forestales*. Vol. 7 (1, 2) 173-187.

Cornejo, E. 1987: Aspectos ecológicos y dasonómicos del bosque de *Pseudotsuga*, *Pinus* y *Abies* en la Sierra La Marta, Arteaga, Coahuila. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", 196 p.

David, F., Moore, P. 1954: Notes on contagious distributions in plant populations. *Annals of Botany* 18: 47-53.

Everett, R., Oliver, C., Saveland, J. 1994: Adaptive ecosystem management. In: *Ecosystem management: principles and applications*. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-318. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Region: 340-354.

Füldner, K. 1995: Strukturbeschreibung von Buchen- Edellaubholz-Mischwäldern. Dissertation, Forstliche Fakultät, Göttingen. Cuvillier Verlag, Göttingen, 146 p.

Füldner, K., Gadow, K. 1994: How to define a thinning in a mixed deciduous beech forest. In: Mixed Stands. Proceeding from the symposium of the IUFRO Working Groups 54.01-03 and S4.01-04. Lousa & Coimbra, Portugal, 31-42.

Gadow, K. 1999: Waldstruktur und Diversität. Aus dem Institut für Forsteinrichtung und Ertragskunde, Georg-August Universität Göttingen. Allg. Forst-u.J.-Ztg., 170. Jg., 7.117-122.

Gadow, K., Hui, G. 1998: Modeling Forest Development. Faculty of Sciences and Woodland Ecology, Göttingen, Germany 242 p.

Gadow, K., Füldner, K. 1992: Bestandesbeschreibung in der Forsteinrichtung. Tagungsbericht der Arbeitsgruppe Forsteinrichtung, Klieken bei Dessau, 122-138.

Gadow, K., Füldner, K. 1995: Zur Beschreibung Forstlicher Eingriffe. Forstw. Cbl. 114, 151-159.

Gadow, K., Real, P., Alvarez, J. 2001: Modelización del crecimiento y la evaluación del bosque. Institut Forsteinrichtung Georg-August-Universität Göttingen, 242 p.

García, A., Gonzalez, S. 1991: Flora y vegetación de la cima del Cerro Potosí, municipio de Galeana, Nuevo León, México. Acta Botanica Mexicana, No. 13: 53-74.

García, E. 1981: Modificaciones la sistema de clasificación climática de Köppen. U.N.A.M. 243 p.

Gómez-Pompa A. 1985: Los recursos bióticos de México Ed. Alhambra Mexicana. México, 72 p.

Gonzalez, M. 1999: Patrones de dinámica de un ecosistema multicohortal de *Pinus culminicola* Andresen & Beaman y *Pinus hartwegii* Lindl. en una fracción de la Sierra Madre Oriental. Tesis de postgrado; Facultad de Ciencias Forestales, U.A.N.L., 76 p.

Green, R. 1966: Measurement of non-randomness in spatial distributions. *Researches Population Ecology* 8: 1-7.

Jiménez, J., Aguirre, O., Kramer, H. 1998: Beslandesstrukturanalyse in ungleichaltrigen Kiefern- Wacholder- Eichen- Mischwald Nordostenmexikos. *Forstachiv* 69 (6) 227-234.

Jiménez, J., Aguirre, O., Kramer, H. 2001: Análisis de la estructura horizontal y vertical en un ecosistema multicohortal de Pino-Encino en el norte de México. *Investigación Agraria, Sistemas y Recursos Forestales*. Vol 10 (2) 355-366.

Jiménez, J., Kramer, H. 1992: Dinámica del crecimiento de especies arbóreas en un rodal mixto-incoetáneo mediante la metodología de análisis troncal. *Reporte Científico No. 31*. Facultad de Ciencias Forestales, Linares, N. L., 36 p.

Jiménez, J., Kramer, H., Aguirre, O. 1996: *Pinus culminicola*. Zur Entdeckung und Erhaltung einer mexikanischer Zwergkiefer. Fort und Holz. Alemania 664-667.

Jiménez, J., Torres, L., Baca, J. 1999: Descripción estructural de un ecosistema de Pinus- Quercus en la Sierra Madre Oriental. IV Congreso Mexicano Sobre Recursos Forestales. Durango, Dgo. México, 9 p.

Lamprecht, H. 1990: Silvicultura en los Trópicos: Los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas; posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido. Ed. Gtz Alemania, 335 p.

Lewandowski, A. y Gadow, K.v. 1997: Ein heuristischer Ansatz zur Reproduktion von waldbeständen. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 168: 170-174.

Lewis, A. 1981: Bioestadística, CECSA, México, 279 p.

Ludwig, J., Reynolds, J. 1988: Statistical ecology: A primer on methods and computing. John Wiles. New York, 337 p.

Müller-Dombois. D., Ellenberg, H. 1974: Aims and methods of vegetation ecology, John Wiley, New York., 547 p.

Müller-Using, B. 1994: Contribución al conocimiento de los bosques de Encino y pino-encino en el Noreste de México. Reporte Científico No. especial 14. Facultad de Ciencias Forestales. Linares, N. L. México, 194 p.

Nagel, J. 1994: Structural Analyses of the Forest Reserve Saubrink on the Basis of a Permanent Sample Plot Data. Symposium of the IUFRO Working Groups S4.01-03 and S4.01-04. Lousa & Coimbra, Portugal, 81-96.

Thomas, C. 1975: Ecología y biología de las poblaciones. Ed. Nueva editorial internacional S. A. C. V. México, 59-66.

Toledo, C. 1984: Diagnostico ecogeográfico y ordenamiento ambiental del Municipio de Alcozauca. Gro., 50 p.

Torres, L. 2000: Análisis estructural de un ecosistema multicohortal de Pinus–Quercus en una fracción de la Sierra Madre Oriental. Tesis Maestría. Facultad de Ciencias Forestales, U.A.N.L., 79 p.

Wilson, E., Cole, R., Nichols, D. 1996: Measuring and monitoring biological diversity: standard methods for mammals. Washington, D.C. Smithsonian Inst. Press, 409 p.

