

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**  
**SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO**  
**DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA Y MANEJO FORESTAL**



**CARACTERIZACIÓN DE ESTRUCTURA DE ECOSISTEMAS FORESTALES EN  
DURANGO, MÉXICO.**

TESIS DE MAESTRÍA

REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS FORESTALES**

PRESENTA:

**ING. ELIUD MORALES MATEO**

**LINARES, NUEVO LEÓN, MÉXICO.**

**JUNIO DE 2005**

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

CARACTERIZACIÓN DE ESTRUCTURA DE ECOSISTEMAS FORESTALES  
EN DURANGO, MÉXICO.

TESIS DE MAESTRÍA


REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS FORESTALES

PRESENTA:


ING. ELIUD MORALES MATEO

COMITÉ DE TESIS



---

Dr. Oscar A. Aguirre Calderón  
Presidente



---

Dr. Javier Jiménez Pérez  
Secretario



---

Dr. Enrique Jurado Ybarra  
Vocal

LINARES, NUEVO LEÓN, MÉXICO.

JUNIO DE 2005

## **Dedicatoria**

El presente trabajo de investigación esta dedicado a la familia Morales Mateos. en especial a mis padres, por motivarme en lograr metas personales.

A mis hermanos Marcelino, José Isabel y Magnolia, por su apoyo moral.

A mis abuelos paternos y maternos, por sus valiosos consejos acerca de la vida.

A toda las personas que hicieron posible la realización y conclusión del trabajo.

A todas mis amistades y amigos por su amabilidad y atención que me ofrecieron durante estos dos años.

## **Agradecimientos**

Primeramente a dios por darme la vida y por acompañarme en el camino de mi vida.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para la realización de mis estudios de posgrado.

A la Facultad de Ciencias Forestales por el gran compromiso de formar profesionistas comprometidos con el desarrollo del sector forestal y del país.

Al Dr. Oscar Aguirre Calderón, por su confianza proporcionada y la dirección del trabajo de investigación.

Al Dr. Javier Jiménez Pérez, por su apoyo en la revisión del documento final.

Al Dr. Enrique Jurado Ybarra, por la revisión y sugerencias aportadas al trabajo presente.

Al Dr. Francisco Javier Hernández , por su apoyo en la investigación.

A mis compañeros que ayudaron en el levantamiento de datos de campo a Dorian, Gabriel y Froylan.

A todo el personal docente de la FCF, por los conocimientos transmitidos y por su valiosa cooperación en el desarrollo de la investigación.

A mis compañeros del programa de maestría por compartir experiencias de la vida y del sector forestal actual.

## Índice

Contenido	Página
<b>Lista de Figuras</b>	<b>i</b>
<b>Lista de Tablas</b>	<b>iii</b>
1. Introducción	1
1. 1 Objetivos	
1. 1. 1 Objetivo general	2
1. 1. 2 Objetivos específicos	2
1. 1. 3 Hipótesis	2
2. Antecedentes	
2. 1 Estructura de ecosistemas forestales	3
2. 1. 1 Estructura de especies	
2. 1. 1. 1 Índice H de Shannon	6
2. 1. 1. 2 Perfil de distribución vertical de especies (A)	6
2. 1. 1. 3 Índice de segregación S de Pielou	8
1. 1. 4 Índice de Mezcla de Especies $M_i$	9
2. 1. 2 Estructura espacial	
2. 1.2. 1 Índice de agregación R de clark & Evans	11
2. 1. 2. 2 Índice de Ángulos $W_i$	12
2. 1. 2. 3 Índice de Cox	14

2. 1. 3 Estructura dimensional	
2. 1. 3. 1 Coeficiente de Homogeneidad $H$	15
2. 1. 3. 2 Índice de diferenciación dimensional de Gadow	16
2. 2 Distribución diamétrica	18
2. 3 Tipos de parcelas	
2. 3. 1 Parcelas permanentes	18
2. 3. 2 Parcelas temporales	18
2. 3. 3 Parcelas de intervalos	18
3. Material y Metodología de investigación	
3. 1 Material de investigación	20
3. 2 Descripción del área de estudio	
3. 2. 1 Ubicación de área de estudio	20
3. 2. 2 Clima	21
3. 2. 3 Hidrología	21 21
3. 2. 4 Topografía	
3. 2. 5 Suelo	22
3. 2. 6 Vegetación	22
3. 3 Metodología para la obtención de datos	22
3. 3. 1 Grupo estructural de 5 árboles	
3. 4 Estructura espacial	24
3. 4. 1 Índice de Ángulos	

3. 5 Mezcla de Especies	
3. 5. 1 Índice de Mezcla de Especies $M_i$	25
3. 6 Diferenciación dimensional	
3. 6. 1 Índice de dominancia de $U_i$	26
3. 6. 2 Índice de diferenciación dimensional de Gadow	27
4. Resultados	
4. 1 Abundancia y dominancia de las parcelas estudiadas	28
4. 2 Caracterización estructural de la parcela no. 1	30
4. 3 Caracterización estructural de la parcela no. 2	33
4. 4 Caracterización estructural de la parcela no. 3	36
4. 5 Caracterización estructural de la parcela no. 4	39
4. 6 Caracterización estructural de la parcela no. 5	42
4. 7 Caracterización estructural de la parcela no. 6	45
4. 8 Caracterización estructural de la parcela no. 7	48
4. 9 Caracterización estructural de la parcela no. 8	51
4. 10 Índice de diferenciación dimensional de Gadow	53
5. Discusión	55
6. Conclusiones	56
7. Literatura citada	57

## Resumen

Se Presenta una caracterización de ecosistemas en El Ejido La Victoria, municipio de Pueblo Nuevo, Durango. Los datos provienen de 8 parcelas permanentes de muestreo y del grupo estructural de 5 árboles (árbol centro y 4 vecinos). Se determinó la estructura espacial, la estructura de especies y la estructura dimensional.

Para la estructura espacial se empleo el índice de Ángulos  $W_i$ , para la estructura de especies se utilizó el índice de mezcla de especies (Fuldner, 1995) y para la diferenciación dimensional se empleo el índice de dominancia (Hui *et al.*, 1998). Así como, la diferenciación de diámetro y altura. Los índices anteriormente mencionados, se presentan gráficamente en categorías.

En todas las parcelas estudiadas se encontró una distribución espacial de los individuos con tendencia al agrupamiento, un índice de mezcla de especies bajo. En la diferenciación en diámetro y altura presenta tendencia a la homogeneidad.



## Summary

A characterization of ecosystems in the Ejido the Victory, municipality of New Town, Durango. The data come from 8 permanent parcels of sampling and the structural group of 5 trees (tree center and 4 neighbors). The space structure was determined, the structure of species and the dimensional structure.

For the space structure use the index of Wi Angles, for the structure of species the index of mixture of species (Fuldner, 1995) and for the dimensional differentiation use the index of dominancia (Hui *et al.*, 1998). As well as, the differentiation of diameter and height. The indices previously mentioned, they appear graphically in categories.

In all the studied parcels was a space distribution of the individuals with tendency to the group, a low index of mixture of species. In the differentiation in diameter and height it presents/displays tendency to the homogeneity.

## **CARACTERIZACIÓN DE ESTRUCTURA DE ECOSISTEMAS FORESTALES EN DURANGO, MEXICO.**

### **1. Introducción**

La estructura de ecosistemas forestales puede definirse por la distribución espacial de los árboles, la mezcla de las diferentes especies y el patrón de distribución de las dimensiones de los árboles. Las diferentes especies y dimensiones de los árboles pueden encontrarse muy próximos entre sí y mostrar con ello un alto grado de mezcla, o pueden estar segregados espacialmente. La estructura espacial es uno de los atributos característicos de los ecosistemas forestales. El problema que se presentan es cómo caracterizar y describir ecosistemas forestales con diferentes atributos espaciales más adecuadamente, desarrollando y empleando técnicas de evaluación confiables (Pommerening, 2002).

La diversidad estructural es uno de los aspectos más relevantes en el ámbito forestal, debido a que es fácilmente modificable a través de las intervenciones silvícolas. Además está directamente relacionada con su estabilidad frente a distintos factores bióticos y abióticos, así como con los beneficios directos (productos) e indirectos (fijación de carbono, paisaje, protección del suelo, etc.) (Del Rio *et al.*, 2003). Dado el interés de la estructura del rodal y teniendo presente la tendencia a orientar el objetivo de la silvicultura de los bosques hacia una mayor diversidad estructural, es necesario ser precisos a la hora de describir la estructura (Albert *et al.*, 1995). Dentro de los elementos que componen la

estructura de un ecosistema forestal, los árboles suponen el más relevante; las distintas especies presentan diferentes características morfológicas y dan lugar a diferentes estructuras. El diámetro medio, la distribución diamétrica, la altura, la densidad y la competencia entre individuos, son importantes características de la estructura de los ecosistemas (Del Rio *et al.*, 2003).

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo general**

Desarrollo de una metodología para caracterizar la estructura del estrato arbóreo de ecosistemas forestales mediante índices cuantitativos.

### **1.1. 2 Objetivos específicos**

- 1) Estimación de la abundancia y dominancia de especies en el ecosistema.
- 2) Aplicación de índices cuantitativos para describir:
  - a) Las distribuciones de mezcla de especies en el ecosistema
  - b) Diferenciación dimensional del ecosistema
  - c) Regularidad espacial del ecosistema

### **1.1. 3 Hipótesis**

La estructura de los bosques pueden caracterizarse mediante índices cuantitativos.

## **2. Antecedentes**

### **2.1 Estructura de los ecosistemas forestales**

La caracterización de la estructura del estrato arbóreo de ecosistemas forestales debe basarse en índices cuantitativos que permitan analizar objetivamente influencias antropogénicas o procesos de sucesión natural. El atributo estructura de un ecosistema se define básicamente por el tipo, número, ordenamiento espacial y ordenamiento temporal de los elementos que lo constituyen. En este contexto destacan principalmente la estructura de especies, la estructura espacial y la estructura dimensional de los ecosistemas (Gadow y Hui, 2002).

El contar con información cuantitativa referida en tiempo y espacio sobre la estructura de los ecosistemas forestales, es condición básica para el análisis de este atributo desde el punto de vista dinámico. La descripción tradicional de tales ecosistemas comprende normalmente, junto a variables medibles como área basal, diámetro y alturas, una serie de variables categóricas que describen de manera cualitativa la estructura de los mismos mediante conceptos subjetivos dependientes de la persona que realiza el análisis y que por tanto, no son reproducibles (Gadow *et al.*, 1998). Los cambios en la estructura de los ecosistemas por sucesión natural o influencias antropogénicas pueden de esta manera suponerse, pero no evaluarse cuantitativamente.

Los índices para la caracterización de la estructura de los ecosistemas permiten una mejor reproducción de la condición de los mismos en un momento determinado y de su evolución en el tiempo. Tales índices deben considerarse adicionalmente a las variables empleadas de manera convencional (diámetro y altura media, área basal, volumen, edad, densidad, entre otros), a fin de lograr una mejor descripción de los sitios (Aguirre *et al.*, 2002).

El bosque cambia por efecto de la aplicación de tratamientos silvícolas y la modificación puede asumir muy diferentes formas. El análisis del tratamiento silvícola clarifica estas modificaciones que pueden evaluarse en términos de cambio en la densidad forestal (extracción de biomasa), cambio en la estructura forestal (adecuación sitio-especie; distribución dimensional) y valor forestal (valor recreativo; calidad de fustes) (Gadow *et al.*, 2004).

La manera más adecuada y precisa para describir la estructura espacial de un bosque es caracterizar los árboles que la constituyen desde el punto de vista de sus dimensiones, las especies a las que pertenecen y la distancia que los separa de los restantes individuos. Para ello es necesario el empleo de una serie de índices o variables que reflejen esas características en pequeñas superficies o rodales del bosque: el grado de diferenciación es un índice que cuantifica las diferencias en tamaño que los árboles que conviven en un pequeño rodal; el grado de mezcla evalúa la manera en que los árboles de diferentes especies se interrelacionan y mezclan y la agregación describe cómo se distribuyen los árboles sobre el terreno analizando en este caso sin usar distancias.

En los siguientes párrafos se describen diversos índices para la caracterización cuantitativa de los ecosistemas forestales. Los niveles de descripción considerados incluyen la estructura de especies, la estructura espacial del ecosistema y la estructura dimensional del arbolado.

## **2. 1. 1 Estructura de especies**

Desde un punto de vista de diversidad estructural interesan dos aspectos en los bosques mixtos: a) la riqueza o variedad de especies, así como las proporciones de cada una de ellas en el rodal; b) el grado de mezcla o cómo se distribuyen las diferentes especies en el espacio. La diversidad de especies es uno de los aspectos más relevante en el estudio de la biodiversidad; sin embargo; al estudiar la diversidad estructural de un bosque adquiere mayor interés el grado de mezcla.

Existen numerosos índices para medir la diversidad de especies en un determinado ecosistema, siendo los más frecuentes la riqueza, el índice de Shannon, el índice de Simpson y el índice de uniformidad. Estos índices se basan en la presencia y proporción de las distintas especies en el ecosistema, presentando la desventaja de no tener en cuenta su distribución espacial. Para describir el grado de mezcla de las especies los índices más usados son el índice de segregación de Pielou y el índice de mezcla de Gadow, en los que es necesario conocer la distribución espacial de los árboles.

### 2. 1. 1. 1 Índice H de Shannon

El índice de Shannon (1948) es una de las variables más empleadas para la estimación de la diversidad de especies, para su determinación se emplea la fórmula:

$$H = - \sum_{i=1}^S p_i \cdot \ln(P_i)$$

S= número de especies presentes

$p_i$  = proporción de las especies  $p_i = n_i / N$

$n_i$  = número de individuos de la especie  $i$

N= número total de individuos

El valor H incrementa conforme ocurre un mayor número de especies y la proporción de individuos de las mismas es más homogénea. H depende por tanto no sólo del número de especies presentes en un ecosistema, si no de la frecuencia con que estén representadas.

### 2. 1. 1. 2 Perfil de distribución vertical de especies (A)

Para la caracterización de la estructura vertical de las especies de un rodal, Pretzsch (1996) desarrolló, a partir del índice de Shannon la variable perfil de especies A, cuya fórmula es:

$$A = \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^Z P_{ij} \cdot \ln(P_{ij})$$

S= Número de especies presentes

Z= Número de estratos de altura

P<sub>ij</sub>= proporción de especies en las zonas de altura

$$P_{ij} = \frac{n_{ij}}{N}$$

n<sub>ij</sub>= número de individuos de la especie i en la zona j

N= número total de individuos

A<sub>max</sub> es una función del número de especies (s) y de estratos (Z)se obtiene mediante:

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

Pretzsch define tres estratos para la aplicación del índice A; el estrato I comprende sobre 80% hasta 100% de la altura máxima del rodal; el estrato II sobre 50% hasta 80% y el estrato III de 0 a 50%.

Este índice cuantifica la diversidad de especies y su ocupación en espacio vertical dentro de la población. El índice de distribución vertical presenta un rango de distribución entre 0 y un valor máximo (A<sub>max</sub>). Un valor A= 0 significa que el rodal está constituido por una sola especie que ocurre además en un solo estrato A<sub>max</sub> se obtiene cuando la totalidad de las especies ocurre además en la misma proporción tanto en el rodal como en los diferentes estratos (Biber, 1997).

Un problema de la aplicación del índice de Shannon es que según cómo se tomen los estratos puede tener un mayor o menor sentido biológico a lo largo de la vida del bosque.



### **2. 1. 1. 3 Índice de segregación S de Pielou**

El índice de segregación S de Pielou (1961) describe la combinación o mezcla de dos especies, esto es, el ordenamiento espacial de una especie respecto a la otra. Para calcularlo se determina la especie de la totalidad N de los árboles de una superficie dada y la de su vecino más próximo, obteniéndose el número de individuos de las especies 1 y 2 (m, n), así como el número de árboles con vecinos de la misma especie (a, d) y vecinos de diferente especie (c, b). El índice S se obtiene entonces a partir de:

$$S=1- \frac{\text{número observado de pares mixtos}}{\text{número esperados de pares mixtos}}$$

Para poder calcular el valor del índice es necesario elaborar un cuadro de datos en el que figuren las frecuencias relativas observadas de todos los tipos de parejas posibles y las proporciones de árboles de las especies.

S toma valores de -1 a 1; -1 representa la máxima segregación negativa posible, 0 denota ausencia de segregación y 1 corresponde a la máxima segregación positiva posible (Pielou, 1977). Valores de  $S < 0$  significan por tanto que existe asociación entre las especies;  $S > 0$  corresponde a una segregación, esto es, separación espacial de las especies.

Una de las ventajas del índice de Pielou es que es posible realizar pruebas estadística para determinar si un valor observado es significativamente diferente cero.

Este índice presenta la desventaja que puede verse influenciado por la distribución espacial de las especies (regular o agregados), al utilizar sólo el vecino más próximo y no grupos de más de dos individuos puede dar lugar a valores que indiquen una excesiva atracción entre especies que realmente no existe sobre el terreno, sobre todo cuando las proporciones de cada una de ellas son muy diferentes.

#### **2. 1. 1. 4 Índice de Mezcla de Especies $M_i$**

El índice de mezcla de especies  $M_i$  se define para el  $i$ -ésimo árbol ( $i= 1...N$ ) y sus tres vecinos próximos  $j$  ( $j = 1... 4$ ) como la proporción relativa de árboles vecinos a una especie distinta (Füldner, 1995). Este índice se desarrolló a fin de salvar la limitación del índice de Shannon, que no permite derivar información sobre la distribución espacial (vertical y horizontal) de las especies. Rodales con igual  $H$  pueden presentar una distribución espacial de los árboles muy distinta. El índice de mezcla de especies se obtiene de función:

$$M_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n m_{ij}$$

$M_{ij}$  toma un valor 0 cuando el vecino  $j$ -ésimo pertenece a la misma especie del árbol objeto  $i$ ; de lo contrario tiene un valor 1. El grado de mezcla varía entre 0 y 1. Valores cercanos a cero indican que la especie analizada tiende a agruparse y no se mezcla con el resto. Por el contrario, valores cercanos a uno indican una preferencia a mezclarse con el resto de especies. El valor medio del índice es una característica del ecosistema que indica el grado de combinación entre

especies y es una herramienta útil para su planificación y gestión. Sin embargo, cuando lo que se pretende es analizar la estructura espacial de una masa es mucho más interesante emplear la distribución de las frecuencias de los valores del índice que simplemente la media.

### **2. 1. 2 Estructura espacial**

Es importante señalar que agregación es la característica del bosque que describe el grado de regularidad en la distribución en el terreno de los árboles que la componen (Gadow, 2002).

Los métodos cuantitativos de análisis espacial tienen como objetivo la detección y descripción de patrones de distribución espacial, permitiendo evaluar hipótesis sobre los procesos ecológicos que han causado el patrón observado (Rozas y Camarero, 2005).

La distribución espacial de los individuos de un bosque está condicionada por las relaciones entre individuos (competencia, asociación), las estrategias de regeneración de las diferentes especies y las intervenciones silvícolas que se realizan en el rodal. A su vez, está muy relacionada con la fase de desarrollo del rodal. De los muchos índices que se han utilizado para describir la distribución espacial de los árboles se distinguen cuatro tipos:

1) los que se basan en muestreos del número de árboles en la parcela; 2) métodos del vecino más cercano; 3) métodos del momento de segundo orden;

4) métodos que utilizan datos simulados. Los métodos que utilizan datos simulados se basan en el uso de modelos para analizar los mecanismos que dan lugar a diferentes tipos de estructuras, haciéndose referencia a ellos en el análisis dinámico de la estructura.

Todos estos índices se pueden aplicar a todos los árboles de un rodal o bien utilizarlos para estudiar la distribución de distintas clases, como la clases de tamaños, especies, etc., obteniendo el patrón espacial de las zonas en las que se localizan las parcela de muestreo.

### 2. 1. 2.1 Índice de agregación R de Clark & Evans

El índice de agregación R de Clark & Evans (1954) describe la relación entre la distancia media observada ( $\bar{r}_{\text{observada}}$ ) entre los árboles de un área dada y sus vecinos próximos y la distancia media esperada ( $\bar{r}_{\text{esperada}}$ ) para una distribución aleatoria del arbolado.

$$R = \frac{\bar{r}_{\text{observado}}}{\bar{r}_{\text{esperada}}}$$

R toma valores entre 0 y 2.1491 y permite caracterizar la distribución de los árboles en forma regular, aleatoria o en grupos. Valores de R menores de 1 muestran una tendencia al agrupamiento de los individuos, valores cercanos a 1 denotan una distribución aleatoria y aquellos mayores a 1 significan que los árboles muestran una distribución con tendencia regularidad (Gleichmar y Gerold, 1998).

Por otra parte (Gadow y Hui, 1999),  $R$  es igual a 1 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 terreno 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 de tresbolillo, es decir, según una malla de triángulos equiláteros.

Pommerening (1997) citado por (Gadow y Hui, 1999), desarrolla otro índice que describe la estructura espacial utilizando la distancia promedio entre el árbol  $i$  y sus  $n$  vecinos más cercanos:

$$A_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n s_{ij}$$

Donde  $s_{ij}$  = distancia desde el árbol  $i$  hasta el árbol  $j$  ( $n$ ).

### 2. 1. 2. 2 Índice de Ángulos $W_i$

El índice de ángulos  $W_i$  (Gadow *et al.*, 1998) describe la regularidad de la distribución de los árboles vecinos a un árbol-cero de referencia  $i$ . La determinación de este índice se basa en la medición de los ángulos entre dos vecinos al árbol-cero  $i$  y su comparación con un ángulo estándar  $\alpha_0$  obtenido mediante:

$$\alpha_0 = 360/n \pm 360/10n$$

$n$  = número de árboles vecinos considerados

El índice de ángulos  $W_i$  se define entonces por la proporción de los ángulos  $\alpha$  menores al ángulo estándar  $\alpha_0$ :

$$W_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n w_{ij}$$

$w_{ij}$  tiene un valor =1 cuando el  $j$ -ésimo ángulo  $\alpha$  entre dos árboles vecinos próximos es menor o igual al ángulo estándar  $\alpha_0$ , en caso contrario toma un valor=0.

El valor promedio del índice de ángulos se calcula mediante:

$$\bar{W} = \frac{1}{N} \sum_i^N W_i$$

Valores de  $\bar{W}$  de 0.5 corresponde a una distribución aleatoria de los árboles, aquellos mayores a esta denotan tendencia al agrupamiento y los menores indican tendencia a la regularidad.

Gadow (2002) indica que para cuatro vecinos el valor de ángulo estándar  $\alpha_0 = 90^\circ$ . Sin embargo, indica que este ángulo puede resultar demasiado estricto y clasificar pocos bosques como regulares, por lo que se propone reducir el ángulo de comparación para 4 vecinos a  $72^\circ$ .

El estimador del índice de ángulos de un bosque dado es  $\bar{W}$ , la media aritmética de todos los valores  $W_i$ . A pesar de que el valor promedio del índice de

ángulos  $\bar{W}$  es suficientemente informativo para caracterizar una distribución puntual, es muy conveniente estudiar la distribución de los valores  $W_i$ , que muestra la variación estructural de un ecosistema dado.

El índice de uniformidad de ángulos refleja la asimetría de la competencia, por lo que describe exclusivamente la microestructura del rodal. Este índice es de utilidad cuando se quiere relacionar la distribución espacial con el crecimiento del árbol individual.

### **2. 1. 2. 3 Índice de Cox**

El índice de agregación de Cox utiliza el cociente de la varianza ( $s_x^2$ ) entre la media aritmética de número de individuos por parcelas ( $\bar{x}$ ):

$$IC = s_x^2 / \bar{x}$$

La estructura espacial de una masa es una característica que debe tenerse en cuenta para una correcta planificación. Aunque habitualmente se suele asociar con la distribución de frecuencias del número de árboles por especies y tamaños, en muchos casos el uso exclusivo de estas distribuciones no es suficiente para describir la estructura espacial de un ecosistema.

### **2. 1. 3 Estructura dimensional**

#### **Diferenciación**

Describe la relación dimensional entre los árboles vecinos. La diferenciación se puede referir a distintas variables (diámetro, altura, copa, entre otros.) aunque para reflejar la diferenciación horizontal y vertical las variables más frecuentes son el diámetro y la altura, respectivamente.

Dentro de los índices que describen la diferenciación, existen índices espaciales y no espaciales. Los índices más frecuentes son el índice de homogeneidad y el índice de Shannon entre los no espaciales y el índice de diferenciación de Gadow y el índice de diferenciación de copas entre los espaciales.

#### **2. 1. 3.1 Coeficiente de Homogeneidad $H$**

La homogeneidad de un rodal puede describirse de manera simple mediante el empleo del coeficiente de homogeneidad ( $H$ ) de De Camino (1976).  $H$  se expresa mediante la relación porcentual entre el número de árboles y volumen por categoría diamétricas. En un rodal totalmente homogéneo todos los árboles tienen el mismo volumen; en uno heterogéneo un alto porcentaje de árboles representan una porción pequeña de volumen, mientras que pocos individuos contribuyen con la mayor proporción volumétrica.



El coeficiente de homogeneidad H se determina mediante:

$$H = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} SN\%}{\sum_{i=1}^{n-1} SN\% - SV\%}$$

SN% = Suma de los porcentajes de número de árboles hasta la categoría diamétrica  $i$

SV% = Suma de los porcentajes de volumen hasta la categoría diamétrica  $i$

### 2. 1. 3. 2 Índice de diferenciación dimensional de Gadow

Los índices de diferenciación dimensional describen la relación entre un árbol  $i$  y su vecino próximo  $j$  y se definen por el cociente entre una variable dimensional del árbol más pequeño y la correspondiente al árbol mayor, sustraído de 1 (Füldner y Gadow, 1994; Albert *et al.*, 1995). La diferenciación diamétrica  $TD_i$ , por ejemplo, se obtiene mediante la función:

$$TD_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n td_{ij}$$

$Td_{ij}$  se deriva de la relación de los diámetros normales de los árboles vecinos sustraída de 1:

$$TD_{ij} = 1 - \frac{\text{menor}(d_{1.3i}, d_{1.3j})}{\text{mayor}(d_{1.3i}, d_{1.3j})}$$

El valor medio de la diferenciación diamétrica es:

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

N = número de árboles del rodal

Un valor  $TD_i = 0$  significa que ambos árboles tienen el mismo diámetro normal. Conforme la diferencia de los diámetros incrementa, crece también el valor de  $TD_i$ . El valor de  $TD_i$  se incrementa al aumentar la diferencia media de los tamaños de los árboles cercanos.

De manera análoga puede emplearse además de la diferenciación diamétrica  $TD_i$ , otra variable dimensional, lo que conformaría, por ejemplo, los índices de diferenciación en altura  $TH_i$ , y de diferenciación en área de Copa  $TKS_i$  (Aguirre *et al.*, 1998, Aguirre *et al.*, 1998a).

La sencillez del índice y el hecho de contar con un valor de referencia (0) para comparar diferentes situaciones aconseja su empleo para describir la estructura de un bosque desde el punto de vista de las dimensiones de los árboles que la constituyen.

## **2. 2 Distribución diamétrica**

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

## **2. 3 Tipos de parcelas de muestreo**

### **2. 3. 1 Parcelas permanentes**

Las parcelas permanentes de muestreo representan una base de datos muy importante para caracterizar la dinámica de los ecosistemas. Durante un largo período se registran en las mismas los cambios cuantitativos y cualitativos de los atributos de los árboles. De esta manera las observaciones obtenidas permiten la caracterizar la dinámica para un conjunto de condiciones. Una de las desventaja del diseño de parcelas permanentes es el elevado costo de mantenimiento de la infraestructura de investigación y la larga espera para la obtención de los datos.

### **2. 3. 2 Parcelas temporales**

Este tipo de parcelas proporcionan soluciones rápidas en situaciones donde no existen datos sobre el desarrollo forestal. Estas parcelas se miden sólo una vez pero pueden cubrir un amplio rango de edades y de sitios. La principal limitación

de las parcelas temporales es el hecho que no proporcionan información de las tasas de crecimiento.

Se puede lograr la obtención de tasas de crecimiento, utilizando un sistema de parcelas de muestreo que mantenga las ventajas de la parcelas permanentes, como la obtención de tasas de crecimiento, y de las parcelas temporales, como la espera mínima por los datos.

### **2. 3. 3 Parcelas de intervalo**

Se miden dos veces. El intervalo entre dos mediciones es un período de crecimiento sin perturbaciones. Las parcelas de intervalos se pueden establecer sobre un amplio rango de sitios, estados de desarrollo y tratamientos silvícolas. Estas parcelas combinan las ventajas de las parcelas permanentes y temporales. Se pueden obtener tasas de crecimiento para diferentes estados iniciales y entre un mediano plazo se dispone de datos adecuados para modelar procesos.

### 3. Material y Metodología de investigación

#### 3.1 Material de investigación

El material de investigación lo constituye 8 parcelas permanentes establecidas en ecosistemas forestales de diferente composición y características estructurales.

#### 3.2 Descripción del área de estudio

##### 3.2.1 Ubicación del Área de Estudio

Las área de investigación se ubica en el Ejido La Victoria de la región de El Salto, Municipio de Pueblo Nuevo, Durango. En las coordenadas geográficas son 23° 40' 04" Latitud Norte y 105° 21' 31" Longitud oeste (Figura 1).

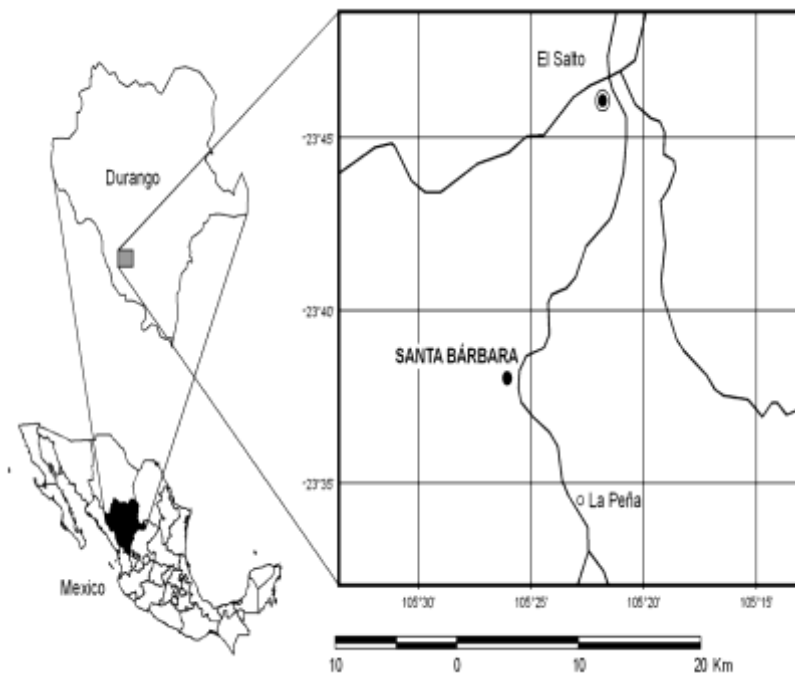


Figura 1. Localización del área de estudio.

### **3. 2. 2 Clima**

El clima preponderante en la región es C (w2) y C(e)(w2), templado subhúmedo con lluvias en verano y templado extremoso, de acuerdo a la clasificación de Köppen modificado por E. Garcia (Garcia E. 1970). Según la estación meteorológica más cercana se reporta una precipitación media anual de 800 mm.

### **3. 2. 3 Hidrología**

El Ejido se encuentra dentro de la Región Hidrológica No. 11 (Presidio-San Pedro), Cuenca (D), Río Presidio, y la subcuenca (c). Dentro del Ejido existe una gran cantidad de arroyos intermitentes.

### **3. 2. 4 Topografía**

Las principales topofomas que se encuentran en el área son ondulaciones y mesetas. Aproximadamente el 41% de las formas fisiográficas se consideran planas, el 19 % onduladas, el 30% laderas y el 10% lomeríos. En base a lo anterior, más del 58% de las pendientes tienen un rango de 0 a 20%; el 31% un rango del 20 al 40% y el 11% con pendientes mayores a 41%. La altura promedio del ejido es de 2,200 msnm con poca variación superior e inferior. Su posición dentro del parteaguas le da un papel importante en la región, desde una perspectiva de manejo de cuencas.

### **3. 2. 5 Suelo**

Los suelos son de tipo Cambisol, Regosol y Litosol con textura predominante gruesa a media. En general la capa de la materia orgánica del suelo presenta un espesor de 0 a 5 cm, con este rango cubre aproximadamente el 98% del predio. La compactación del suelo se considera regular en un 65% del área del ejido.

### **3. 2. 6 Vegetación**

En el orden de importancia se encuentran las siguientes especies *Pinus cooperi*, *P. leiophylla*, *P. durangensis*, *Quercus sideroxyla* y *Arbutos xalapensis*.

## **3. 3 Metodología para obtención de datos**

Para la caracterización de la estructura de los ecosistemas se establecieron parcelas permanentes de muestreo de 0.5 hectáreas. Estas parcelas son permanentes por lo que se posicionaron empleando GPS y ubicando en sus vértices marcas indelebiles, ubicadas las parcelas se evaluaron las características físicas del sitio, se realizó un censo de la totalidad de los árboles presentes, ubicándolos mediante coordenadas para su posterior localización.

### **3. 3. 1 Grupos estructural de 5 árboles**

La base para la determinación de los índices cuantitativos: Regularidad, Mezcla de especies y diferenciación dimensional fue los muestreos denominados 5 árboles, en los que se ubican un árbol centro y sus 4 vecinos más próximos.

Se llevó a cabo el muestreo de los 5 árboles (es decir, el centro y cuatro árboles vecinos). Para esto, se procedió a levantar el primer sitio dejando 5 metros del borde o límite y la amplitud entre sitios fue de 20 metros (cuadrícula) en la cual se tomó como árbol centro el más cercano a la intersección. La información obtenida fue número del árbol, especie, diámetro a 1.30 metros, y altura total.

Posteriormente se aplicaron 3 tipos de parámetros estructurales, basados en relaciones de vecindad entre árboles: regularidad, mezcla y diferenciación. Estos parámetros pueden emplearse para obtener una descripción completa de la estructura espacial de un ecosistema. La evaluación y descripción puede realizarse basada en un árbol o en un punto dado. En el procedimiento basado de un árbol se elige un árbol-muestra dentro del sitio de muestro como árbol de referencia y se obtiene los atributos de sus vecinos próximos (dimensiones, especies), así como la regularidad de sus posiciones con respecto al árbol de referencia (Albert, 1999, Zenner y Hibbs, 2000). En el procedimiento basado en un punto, los atributos estructurales de un grupo de árboles vecinos (variación de especies y dimensiones, regularidad de las posiciones de los árboles) se obtiene a partir de un punto de muestreo (Staupendahl, 2001).



La caracterización estructural de los ecosistemas evaluados se realizó mediante la aplicación de los siguientes índices:

### 3. 4. Estructura espacial

#### 3. 4. 1 índice de Ángulos

El índice de ángulos  $W_i$  se basa en la clasificación de los ángulos  $\alpha_j$  entre los cuatro vecinos. En este estudio se considero un valor de referencia al ángulo estándar  $\alpha_0$ , que se esperaría en una distribución regular =  $90^\circ$  comparado con cada  $\alpha_j$ . El índice de ángulos se expresa entonces como la proporción de ángulos  $\alpha_j$  entre los cuatro árboles vecinos, que son más pequeños que el ángulo estándar  $\alpha_0$ :

$$W_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 v_j$$

$$v_j = \begin{cases} 1, & \alpha_j < \alpha_0 \\ 0, & \text{en caso contrario} \end{cases} \quad \text{y } 0 \leq W_i \leq 1$$

$W_i = 0$  indica que los árboles vecinos al árbol de referencia están posicionados de manera regular, mientras que  $W_i = 1$  indica una distribución irregular o agrupada. Con 4 vecinos, existen 5 valores posibles que puede tomar  $W_i$  (0, 0.25, 0.5, 0.75 y 1).

### 3.5 Mezcla de Especies

La diversidad de especies se ha convertido en un aspecto muy importante del manejo y conservación de ecosistemas forestales y existen numerosos para su descripción. Se empleo el siguiente:

#### Índice de Mezcla de especies $M_i$

Evaluar la diversidad de especies en la vecindad de un árbol de referencia y definir la mezcla de especies  $M_i$  como la proporción de los  $n$  vecinos próximos que no pertenecen a la especie del árbol de referencia (Füldner, 1995), específicamente:

$$M_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 v_j$$

con  $v_j = \begin{cases} 0, \text{ vecino } j \text{ pertenece a la} \\ \text{misma especie del árbol de} \\ \text{referencia } i \\ 1, \text{ en caso contrario} \end{cases}$

$$\text{y } 0 \leq M_i \leq 1$$

Con cuatro vecinos, el atributo mezcla de especies  $M_i$  puede tomar valores de 0, 0.25, 0.5, 0.75 y 1. De particular interés es la condición de mezcla para cada especie; obteniendo la relación entre la mezcla promedio de una especie dada ( $\bar{M}_{sp}$ ) y la proporción del número de árboles con que ésta ocurre en el ecosistema ( $p_{sp}$ ) mediante la relación:

$$M_{\text{ratio}} = \frac{1 - p_{sp}}{\bar{M}_{sp}}$$

### 3. 6 Diferenciación dimensional

#### 3. 6. 1 Índice de dominancia de Hui ( $U_i$ )

El atributo arbóreo dominancia fue propuesto por Hui *et al.* (1998) para evaluar la dominancia relativa de una especie dada en relación a sus vecinos próximos. En este trabajo la dominancia  $U_i$  se define como la proporción de los  $n$  vecinos próximos a un árbol de referencia dado que son más pequeños que éste. Este índice se calcula en forma análoga a los descritos anteriormente de acuerdo al procedimiento basado en un árbol:

$$U_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 v_j$$

$$v_j = \begin{cases} 1, & \text{vecino cuando el árbol vecino } j \text{ es de mayor dimensión al árbol de referencia } i, \text{ en} \\ \text{caso contrario toma el valor de } 0 \end{cases}$$

$$Y 0 \leq U_i \leq 1$$

Con cuatro vecinos,  $U_i$  puede asumir cinco valores (0, 0.25, 0.5, 0.75 y 1).

### 3. 6. 2 Índice de diferenciación dimensional de Gadow (TD<sub>i</sub>).

Los índices de diferenciación dimensional describen la relación entre un árbol *i* y su vecino próximo *j* y se definen por el cociente entre una variable dimensional del árbol más pequeño y la correspondiente al árbol mayor, sustraído de 1 (Füldner y Gadow, 1994; Albert *et al.*, 1995). La diferenciación diamétrica TD<sub>i</sub>, por ejemplo, se obtiene mediante la función:

$$TD_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n td_{ij}$$

Td<sub>ij</sub> se deriva de la relación de los diámetros normales de los árboles vecinos sustraída de 1:

$$Td_{ij} = 1 - \frac{\text{menor}(d_{1.3i}, d_{1.3j})}{\text{mayor}(d_{1.3i}, d_{1.3j})}$$

El valor medio de la diferenciación diamétrica es:

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

N = número de árboles del rodal

Un valor TD<sub>i</sub> = 0 significa que ambos árboles tienen el mismo diámetro normal. Conforme la diferencia de los diámetros incrementa, crece también el valor de TD<sub>i</sub>.

El valor de TD<sub>i</sub> se incrementa al aumentar la diferencia media de los tamaños de los árboles cercanos.

De manera análoga se empleó además de la diferenciación diamétrica TD<sub>i</sub>, otra variable dimensional, que es los índices de diferenciación en altura TH<sub>i</sub>.

## **5. Discusión**

La densidad de las 8 parcelas es variable, esto obedece a que cada parcela presenta diferente área basal residual.

La parcela 8, es la segunda en densidad (N/ha). Sin embargo, en dominancia (G/ha) está en cuarto lugar, se explica porque hay más árboles de diámetros menores comparados con la parcela 3, 5 y 6.

Para la variable agregación, de manera estricta todas las parcelas tienden al agrupamiento. Una explicación por esta tendencia es que obedece a las intervenciones silvícolas que anteriormente se realizaron. Antes de estas intervenciones se puede suponer que su distribución espacial fue de manera aleatoria.

La variable mezcla de especies en todas las parcelas es baja, porque la mayoría de sitios de muestreos de 5 árboles se presentó condición homogéneas (uniespecíficas), es decir, el árbol centro con sus vecinos fue de igual especie y en muy pocos casos los árboles inmediatos fue de diferentes especies.

La variable dominancia presentó más variedad de distribución en las categorías consideradas debido a que, las parcelas, porque las parcelas mostraron ambos casos: que los árboles de referencia fueron de mayor dimensión respecto a los vecinos inmediatos y viceversa.

En las categorías diamétricas se presentan diferentes distribuciones; en algunas parcelas no se presentaron individuos de 50, 55, 60 y 65 cm es porque se realizó un tratamiento silvícola (aclareo por lo alto) y en otras donde no

existen individuos de 5, 10, 15, 20 cm se debe a que se realizó un aclareo por lo bajo.

En cuanto al índice de diferenciación de Gadow se muestra que en la parcela 8 se muestra la tendencia a la homogeneidad, aunque una más que otras, debido a que hay más árboles con similar dimensión en diámetros. Lo mismo se presenta en la diferenciación en alturas. Lo anterior es consecuencia de los tipos de aclareos que se realizaron, que ocasiona rodales más similares en altura y diámetro.

## **6. Conclusiones**

La medida cuantitativa de agregación aplicada puede emplearse para caracterizar la distribución espacial de las posiciones de los árboles sin necesidad de medir las distancias entre los mismos.

La dominancia por el índice  $U_i$  mide la proporción de los  $n$  vecinos más cercanos a un árbol de referencia dado que son más pequeños que éste, y proporciona información sobre el estado relativo de una especie dentro de la población es sencillo aplicarlo, pero es difícil determinar si se acerca a la homogeneidad la población en la variable diámetro.

La diversidad de la especie evaluada por el atributo mezcla de especies que mide a proporción de los  $n$  vecinos más cercanos que no pertenecen a la misma especie del árbol de referencia es práctico y sencillo.

El índice de diferenciación de Gadow comparado con el índice de Hui ( $U_i$ ) es también práctico, aunque un poco más laborioso. Sin embargo, su interpretación es sencilla y da una clara idea de la homogeneidad o heterogeneidad del el bosque respecto a las variables diámetro y altura.

**Literatura citada.**

Aguirre C., O. A.; Kramer, H.; Jiménez P., J. 1998 Strukturuntersuchungen in einem Kiefern-Durchforstungsversuch Nordmexikos. Allgemeine Forst-und Jagdzeitung 168(12): 213-219.

Biber P., 1997. Analyse verschiedener Strukturaspekte von Waldbeständen mit dem Wachstumssimulator SILVA2. Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten. Sekt. Ertragskunde. Jahrestagung 1997, Grunberg, 100 – 120.

Gadow, K. V.; Hui, G. Y., 1999 : Modelling Forest Development , Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. 213p.

Gadow, K. v.; Hui, G. Y., 2002: Characterizing forest spatial structure and diversity. Forestry . En prensa.

Gadow, K. v.; Sánchez O., S. Aguirre C., O. A. 2004. Manejo forestal con bases científicas. Madera y Bosques 10 (2): 3-16

Gleichmar, W.; Gerold, D. 1998: Índizes zur Charakterisierung der horizontalen Baumverteilung. Forstwissenschaftliches Centralblatt 117(1): 69-80.

Martin, G. L.; Ek, A. R., 1984: A comparison of competition measures and growth models for predicting plantation red pine diameter and height growth. For. Sci. 30, 731-743.

Oliver C. D., Larson B. C. 1990: Forest stand dynamics. McGraw Hill. New York. 467 p.

Pielou, E. C. 1961: Segregation and Symmetry in two-species Populations as studied by nearest Neighbour Relations. *Journal of Ecology* 49: 255-269

Pommerening, A. 2002: Approaches to quantifying forest structures. *Forestry* 75(3), 305-324.

Pretzsch, H. 1992: Konzeption und Konstruktion Von Wuchsmodellen Für Reinund Mischbestände. *Schriftenreihe d. Forstw. Fak. Univ. München*, No. 115: 332 p.

Pretzsch, H. 1995: Zum Einfluss der Baumverteilung auf den Bestandszuwachs. *Allgemeine Forst-und Jagdzeitung* 66 (9/10): 190-201.

Pretzsch, H. 1996: Strukturvielfalt als Ergebnis waldbaulichen Handels. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 67 (11): 213-221

Pretzsch, H. 2001: Modellierung des Waldwachstums. Parey Buchverlag Berlin. 341p.

Rozas, V., Camarero, J. J. 2005. Técnicas de análisis espacial de patrones de puntos aplicadas en ecología Forestal. *Investigación Agraria: Sist Recur* 14 (1): 79 – 97.

Shannon, C. E. 1948: The mathematical theory of communication. En C. E. Shannon; W. Weaver (Ed.): *The mathematical theory of communication*. Urbana, Univ. of Illinois Press. pp: 3-91.

Staupendahl, K., 2001: Das flächenbezogene Winkelmaß  $W_f$  – Ein Index zur quantitativen Beschreibung der horizontalen Baumverteilung. In A. Akca *et al.* (Hrs): *Waldinventur, Waldwachstum und Forstplanung – Moderne Technologien, Methoden und Verfahrensweisen*. Festschrift K. von Gadow Zohab-Verlag Göttingen. 101-115.



Sterba, H. 1990. Validitätsprüfung des Einzelbaumssimulators für Fichtenkiefern – Mischbestände. Taunsbericht. Dt. Verb. Forstl. Forschungsanstalten- Sektion Ertragskunde: 101-117.

Zenner, E. K., Hibbs, D.E., 2000: A new method for modeling the heterogeneity of forest structure. Forest Ecology and Management. 129(1): 75-87.

## 4. Resultados

### 4. 1 Abundancia y dominancia del las parcelas estudiadas.

Tabla 1. Número de árboles (N/ha) y área basal (G/ha) de las 6 especies arbóreas que ocurren en las parcelas permanentes de muestreo.

Parcelas	Especies													
	<i>Pinus cooperi</i>		<i>P.inus leiophylla</i>		<i>Pinus durangensis</i>		<i>Quercus sideroxila</i>		<i>Juniperus deppeana</i>		<i>Arbutos xalapensis</i>		Total	Total
	N/ha	G/ha	N/ha	G/ha	N/ha	G/ha	N/ha	G/ha	N/ha	G/ha	N/ha	G/ha	N/ha	G/ha
1	242	26.39	36	0.33	4	0.29							282	27.01
2	118	13.74	22	0.64			2	.004					142	14.38
3	146	17.33					2	0.04	4	0.10			152	17.47
4	124	11.69					10	0.11			2	.004	136	11.70
5	132	15.50					10	1.08	2	.063			144	16.64
6	156	18.20	2	.016					2	.098			160	18.31
7	158	13.34			6	0.09	4	0.59					168	14.02
8	234	15.81											234	15.81

En la figura 2 – 9 se presentan los resultados de las variables regularidad, mezcla de especies y distribución diamétrica de las 8 parcelas de muestreo

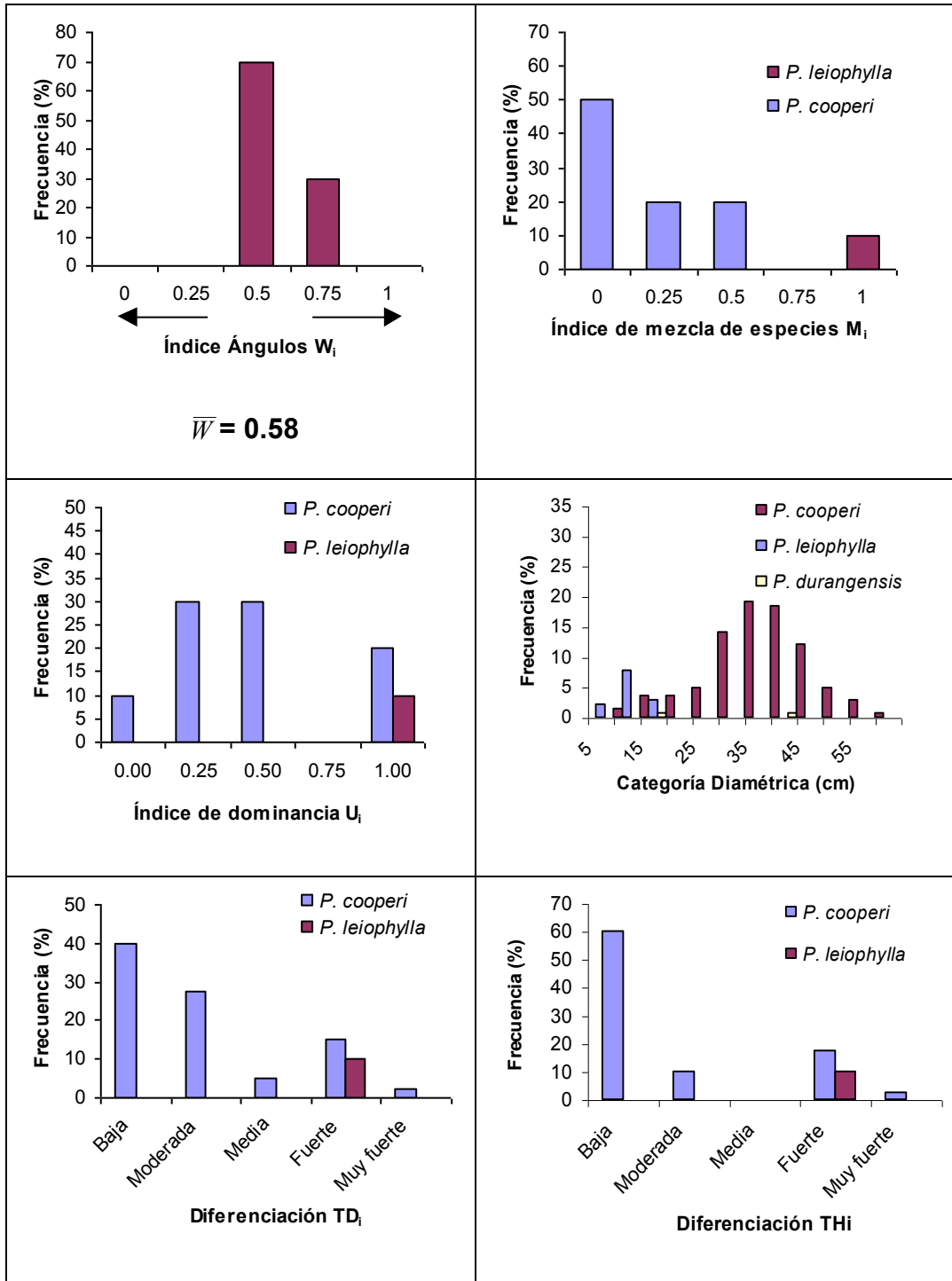


Figura 2. Distribuciones de las variables de agregación, mezcla de especies, dominancia, distribución diamétrica, diferenciación  $TD_i$  y diferenciación  $TH_i$  de la parcela de muestreo no. 1

## 4. 2 Caracterización estructural de la parcela no. 1

### Regularidad

La mayor parte de los sitios de muestreo (70%) presentó una distribución aleatoria. El  $\bar{W} = 0.58$ , muestra que la distribución espacial de la población tiende al agrupamiento.

### Mezcla de especies

Cuando *Pinus cooperi* es centro el 50 % de los sitios de muestreo; los vecinos son de la misma especie al árbol de referencia, 20 % de los sitios de muestreo; de los cuatro vecinos solo una especie es diferente y 20% de los sitios de muestreo; de los cuatro vecinos dos especies son diferentes al árbol de referencia. Por último, cuando *Pinus leiophylla* es árbol centro; todos sus vecinos son de especies diferentes.

### Diferenciación dimensional

Existe cierta homogeneidad en número de árboles vecinos que son más grandes (17) y pequeños (19), respecto al árbol de referencia *Pinus cooperi*. Cuando *Pinus leiophylla* es centro sus cuatro vecinos son de mayor dimensión.

### Distribución diamétrica

Se observa que las categorías diamétricas 30, 35, 40 y 45 cm son representativas de la especie *Pinus cooperi*, las categorías diamétricas de 5, 10 y 15 cm esta presente *Pinus leiophylla* con 12.8 % y *Pinus durangensis* se presenta en la categoría diamétrica 15 y 40 cm con 1 individuo respectivamente, y representa el 1.4 % de total de los individuos de las parcelas.

### **Diferenciación TD<sub>i</sub>**

*Pinus cooperi* está presente en las 5 categorías, siendo la baja que ocupa un 40 % de los árboles que son similares en tamaño del diámetro, un 27.5 % de los árboles vecino son de 2 – 4 % mas grande al árbol muestra. Cuando *Pinus leiophylla* es árbol de referencia, 3 vecinos inmediatos son 6 a 8 % veces más grande.

### **Diferenciación TH<sub>i</sub>**

Se muestra que *Pinus cooperi* en la categoría baja se concentra el 60 % de los individuos, el cual indica que la mayor parte de los vecinos son de dimensiones similares en altura al árbol de referencia. *Pinus leiophylla* se encuentra en la categoría fuerte sus 4 vecinos son 6 a 8 % veces más grandes en altura, respecto al árbol de referencia.

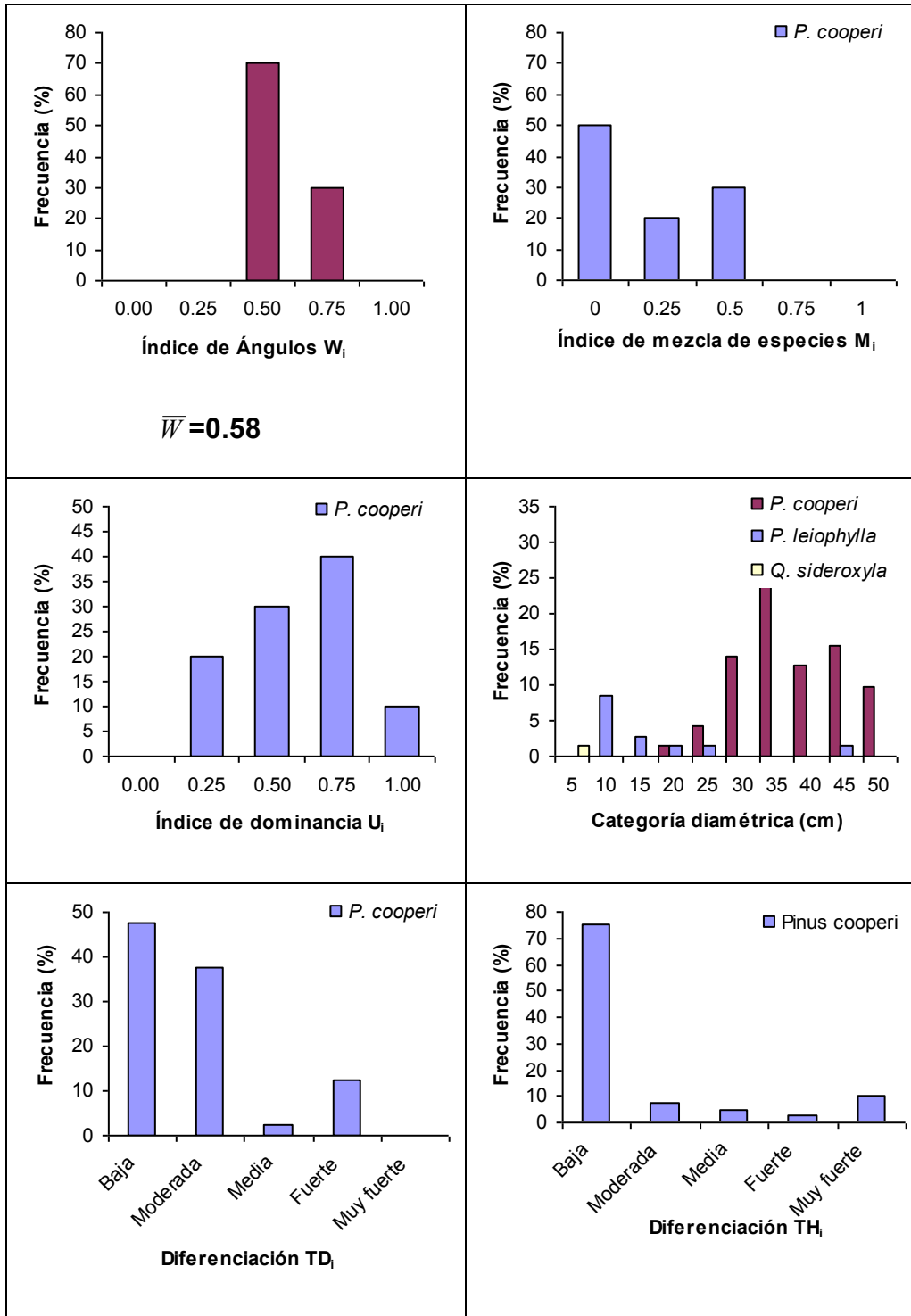


Figura 3. Distribuciones de las variables de agregación, mezcla de especies, dominancia y distribución diamétrica, diferenciación  $TD_i$  y diferenciación  $TH_i$  de la parcela de muestreo no. 2.

### 4.3 Caracterización estructural de la parcela no. 2

#### **Regularidad**

La distribución de los individuos que presenta es tendiente al agrupamiento. Aunque se observa que la mayoría de los sitios de muestreo, su distribución es de manera aleatoria.

#### **Mezcla de especies**

Se observa una mezcla de especies baja. Esto se debe a que el 20 y 30 % de los sitios de muestreo; es de 1 y 2 individuos de sus 4 vecinos son de diferentes especies, al árbol de referencia respectivamente. Otro indicador el 50% de los sitios; presentó una condición homogénea (uniespecífica).

#### **Diferenciación dimensional**

Se presenta un sesgo a la derecha. Esto indica que la mayoría de los árboles vecinos son más grandes respecto al árbol de referencia.

#### **Distribución diamétrica**

La categoría diamétrica (cd) que sobresale es de 35 cm, mientras la de 30, 40, 45 y 50 cm se mantiene más uniforme respecto al número de árboles en *Pinus cooperi*. La presencia de *Pinus leiophylla* en la cd 10, 15, 20, 25 y 45 cm es de 15.5 % respecto al total de los individuos de la parcela, siendo las tres últimas más uniforme en cuanto al porcentaje. *Q. sideroxylla* se presenta una sola ocasión en la cd de 5 cm.

El 47.5 % de los árboles vecinos inmediatos son homogéneos en tamaño, el 37.5 % se encuentra en una categoría moderada; es decir, son más grandes de 2 a 4 % veces al árbol de referencia.

Se muestra más grado de homogeneidad en alturas con el árbol de referencia, presentándose un 75 %, es decir, 30 árboles vecinos de 40 son homogéneas en la variable altura.



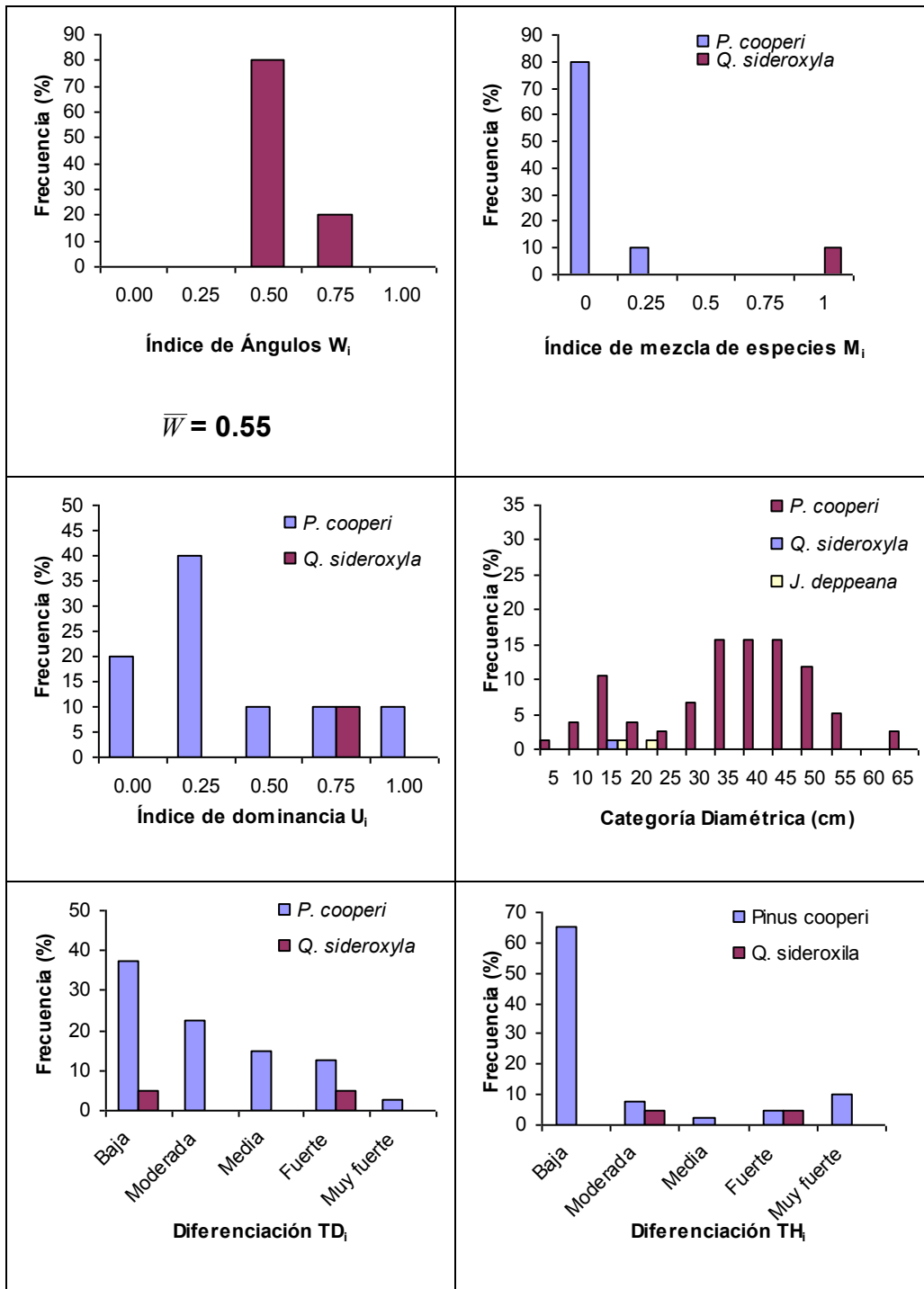


Figura 4. Distribuciones de las variables de agregación, mezcla de especies, dominancia y distribución diamétrica, diferenciación  $TD_i$  y diferenciación  $TH_i$  de la parcela no. 3

#### **4. 4 Caracterización estructural de la parcela no. 3**

##### **Regularidad**

se observa que la mayoría de los sitios de muestreo los individuos se distribuye de manera aleatoria. Sin embargo, muestra la tendencia a la distribución agrupada.

##### **Mezcla de especies**

El 80% de los sitios de muestreos presentó condición homogénea, 10 % de los sitios; solo hay una especie diferente de los 4 vecinos. Cuando *Q. sideroxyla* es la especie centro, sus vecinos son de diferente especie. Se muestra un índice de mezcla de especie bajo.

##### **Diferenciación dimensional**

Se presenta más árboles vecinos que son más pequeños, respecto al árbol de referencia *Pinus cooperi*. Mientras que cuando *Q. sideroxyla* es árbol centro, al menos tres vecinos son más grandes que éste.

##### **Distribución diamétrica**

En *Pinus cooperi*; la categoría diamétrica (cd) 35, 40 y 45 cm es uniforme en cuanto al número de individuos, existen pocos árboles en la cd 5, 10, 20, 25, 30, 55 y 65 cm, *J. deppeana* se presenta en la cd 15 y 20 cm, con un individuo en cada categoría y en cuanto al *Q. sideroxyla*; se presenta en la cd de 15 cm con un individuo.

### **Diferenciación TD<sub>i</sub>**

*Pinus cooperi* se encuentra en las cuatro categorías. Siendo con más número de árboles la categoría baja, moderada, media y fuerte. Es decir; el 50% son similares en tamaños, el 22.5 son de 2 – 4 % más grande, 15 % de 4 – 6 veces más grande y 12.5 % son de 6 – 8 % más grandes en tamaño los vecinos inmediatos, al árbol de referencia respectivamente. cuando *Quercus sideroxyla* es árbol centro, dos de sus vecinos inmediatos son similares en tamaño y dos se presentan en la fuerte, los cuales son de 6 – 8 más grandes, respecto al árbol de referencia.

### **Diferenciación TH<sub>i</sub>**

*Pinus cooperi* el 65 % de los árboles vecinos; son similares en la variable altura, el 10 % de los vecinos; son de 8 a 10 % veces de mayor dimensión en altura que el árbol de referencia. Mientras que *Quercus sideroxyla* ésta presente en la categoría moderada, que indica que dos vecinos esta de 2 a 4 % veces de mayor dimensión y en la categoría fuerte dos vecinos son de 6 a 8 % veces de mayor dimensión de la variable altura.

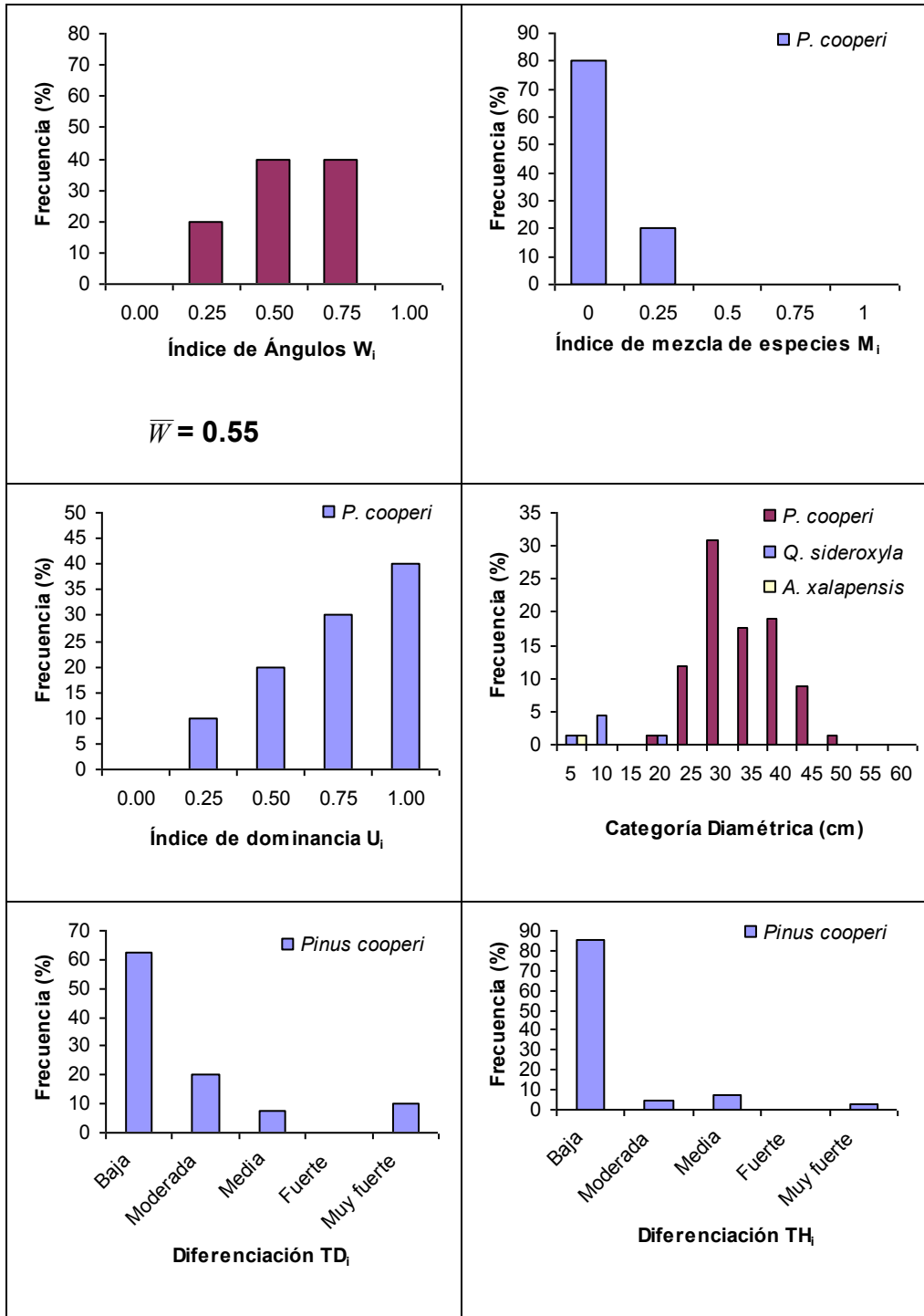


Figura 5. Distribuciones de las variables de agregación, mezcla de especies, dominancia, distribución diamétrica, diferenciación  $TD_i$  y diferenciación  $TH_i$  de las parcelas de muestreo no. 4.

#### 4.5 Caracterización estructural de la parcela no. 4

##### Regularidad

Se observa que el 40% de los sitios de muestreos, se distribuye de manera aleatoria y otro 40% su distribución es tendiente al agrupamiento. El  $\bar{W} = 0.55$  indica que los individuos tienden al agrupamiento.

##### Mezcla de especies

El índice de mezcla de especies es bajo. Dado a que el 80% de los sitios de muestreo, presenta condición homogénea (uniespecíficas) y el 20% de los sitios de muestreo, un individuo es de diferente especie de los 4 vecinos al árbol de referencia.

##### Diferenciación dimensional

Presenta un sesgo a la derecha, por lo que muestra que la mayoría de los vecinos son dominantes o más grandes que el árbol centro.

##### Distribución diamétrica

*Pinus cooperi*; muestra que la categoría diamétrica (cd) que tiene mayor porcentaje es la de 30 cm y no existe ningún individuo en la (cd) de 5, 10, 15, 55 y 60 cm, todos se encuentran en el rango de (cd) de 20 – 50 cm. Para el caso de *Q. sideroxylla*; se encuentran individuos en la (cd) de 5, 10 y 20 cm con un total de 5 individuos, lo que representa 7.4 % del número de individuos de la parcela. Por último, presenta un individuo de *Arbutus xalapensis* en la (cd) de 5 cm.

### **Diferenciación TD<sub>i</sub>**

*Pinus cooperi* se presenta en 4 categorías; baja, moderada, media y fuerte. Las dos primeras tienen mayor número de individuos 62.5 y 20 %; es decir, de los 40 vecinos, 25 son de tamaños similares y 8 son de 2 a 4 % veces más grande al árbol de referencia.

### **Diferenciación TH<sub>i</sub>**

Están presentes 4 categorías, baja, moderada, media y muy fuerte, de las cuales el 85 % se presenta en la categoría baja, del cual se aproxima más a la homogeneidad en cuanto a la variable altura de los árboles.

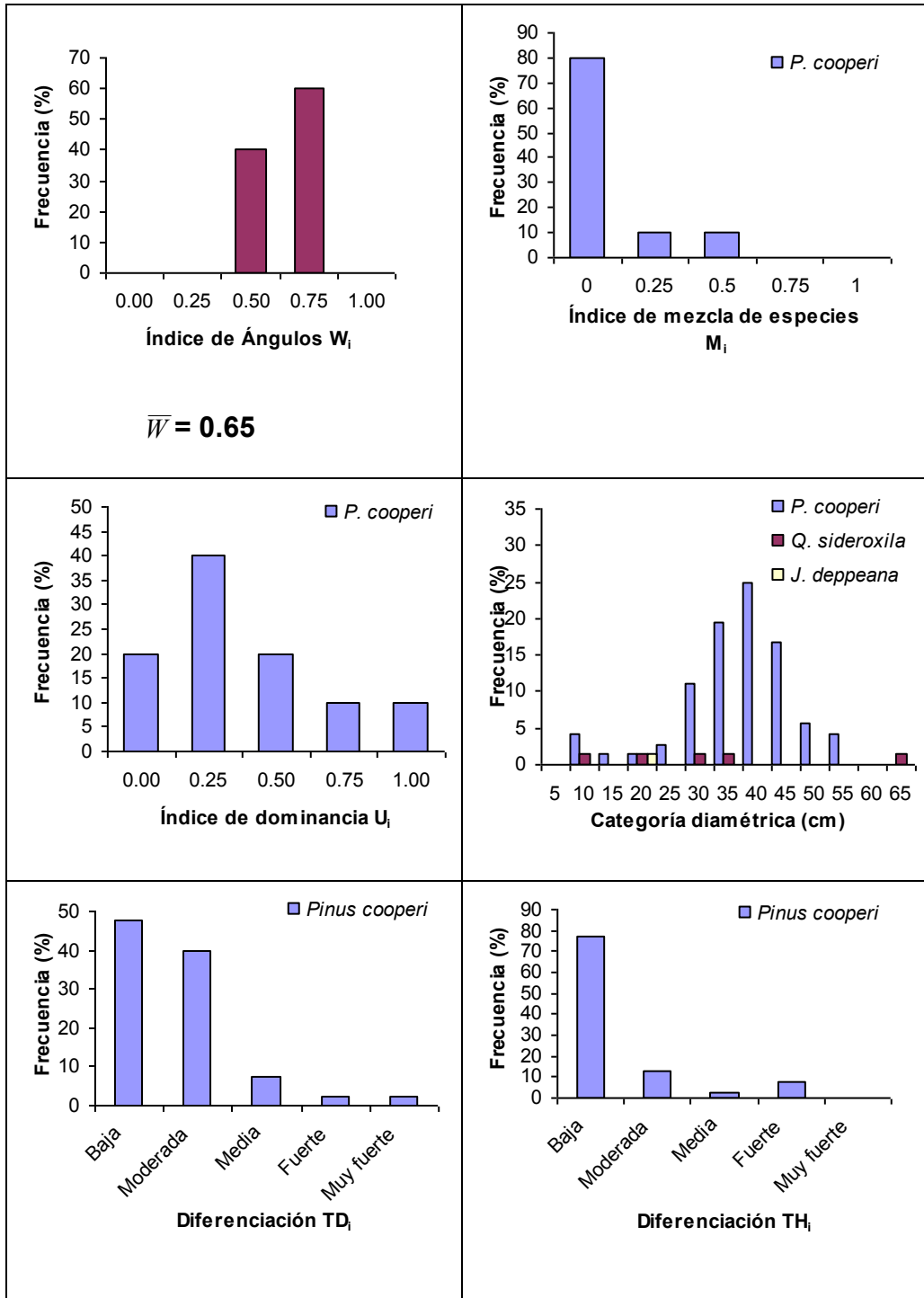


Figura 6. Distribuciones de las variables de agregación, mezcla de especies, dominancia, distribución diamétrica, diferenciación  $TD_i$  y diferenciación  $TH_i$  de la parcela de muestreo no. 5

## 4.6 Caracterización estructural de parcela no. 5

### Regularidad

A) Se muestra que la mayoría de los sitios de muestreo, la distribución de los individuos es agrupada, Mientras que el 40 % de los sitios, se distribuye de manera aleatoria. El valor  $\bar{w} = 0.65$  indica que los individuos su distribución es con tendencia a la agrupación.

### Mezcla de especies

El 80% de los sitios presenta condición homogénea, el 10 % de los sitios, 1 individuo vecino es de especie diferente y el otro 10%, 2 individuos vecinos pertenecen a especie diferente respecto al árbol de referencia *Pinus cooperi*.

### Diferenciación dimensional

El sesgo esta hacia la izquierda esto se debe a que hay más árboles de referencia que son dominantes, lo que muestra que la mayoría de los vecinos son más pequeños respecto al árbol de referencia.

### Distribución diamétrica

Las categorías diamétricas (cd) que más individuos tienen son 40, 35 y 45 cm., presentan pocos individuos en la cd de 10, 15, 20, 25, 50 y 55 cm; así es como, esta representado el *Pinus cooperi*. Tiene pocos individuos *Q. sideroxylla* en la cd 10, 20, 30, 35 y 66. Por último, *J. deppeana* presenta 1 individuo en la (cd) de 20 cm.



### **Diferenciación TD<sub>i</sub>**

Las categorías que presentan mayor número de individuo son la baja y moderada con 47.5 y 40 % respectivamente. Se presenta una homogeneidad media en tamaño de los diámetros en la mitad de los árboles vecinos de la parcela, 19 de 40 árboles.

### **Diferenciación TH<sub>i</sub>**

Se presenta en las primeras 4 categorías baja, moderada, media y fuerte. De éstas, la categoría baja representa el 77.5 % de los individuos, que indica que de 40 árboles vecinos, solo 35 vecinos son similares en dimensión en la variable altura, a los árboles de referencia.

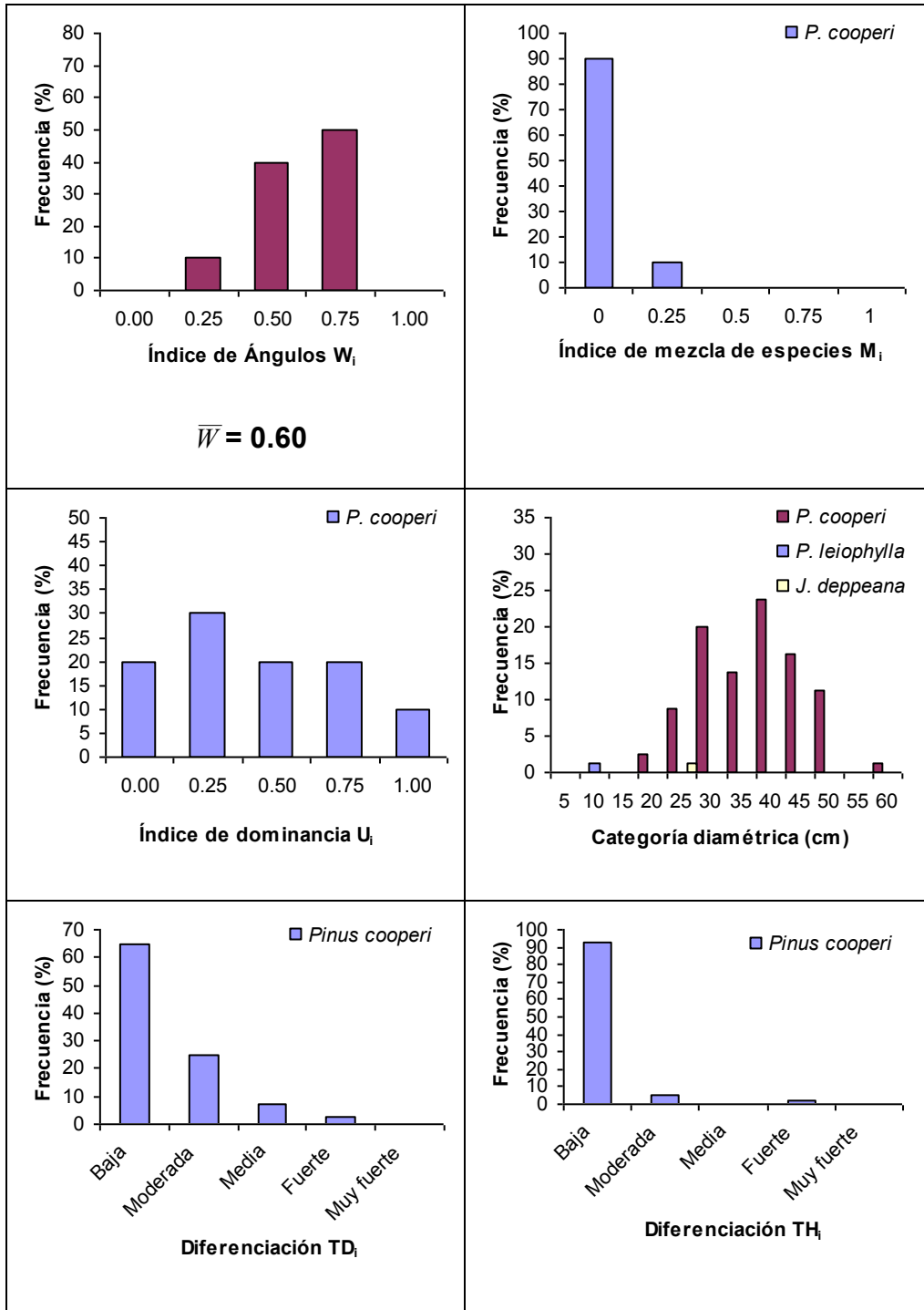


Figura 7. Distribuciones de las variables de agregación, mezcla de especies, dominancia, distribución diamétrica, diferenciación  $TD_i$  y diferenciación  $TH_i$  de la parcela de muestreo no. 6

## 4.7 Caracterización estructural de la parcela no 6

### Regularidad

La mayor parte de los sitios de muestreo la distribución de los individuos es aleatoria y con tendencia al agrupamiento. El  $\bar{w} = 0.60$  indica que los individuos tienen una distribución con tendencia al agrupamiento.

### Mezcla de especies

Se muestra un índice de mezcla de especies bajo. Esto se refleja porque el 90% de los sitios de muestreo, presenta condición homogénea (uniespecífica) y el porcentaje restante una especie es diferente de los cuatro vecinos, respecto al árbol de referencia.

### Diferenciación dimensional

Se observa que existen más árboles vecinos inmediatos pequeños y en menor proporción vecinos más grandes, comparado con el árbol de referencia *Pinus cooperi*.

### Distribución diamétrica

*Pinus cooperi* tiene más individuos en la categoría diamétrica (cd) de 40, 30, 45, 35, 50 cm, en último, la cd 20 y 60 cm son las que se encuentran ambas con 1 individuo, presentándose ausencia de individuos en la cd de 55 cm. *Pinus leiophylla* está únicamente en la cd de 10 cm con 1 individuo. *Juniperos deppeana* presenta 1 individuo en la categoría diamétrica de 25 cm.

### **Diferenciación TD<sub>i</sub>**

se observa que el 65 % de los árboles del muestreo se presentó en la categoría baja. Es decir, 26 individuos de 40 vecinos inmediatos tienen a ser homogéneos en diámetro. Mientras que un 25 % son de 2 a 4 veces más grandes al árbol de referencia.

### **Diferenciación TH<sub>i</sub>**

Esta parcela es homogénea en altura, esto lo explica la categoría baja con 92.5 % de los árboles vecinos presentan alturas similares respecto al árbol de referencia.

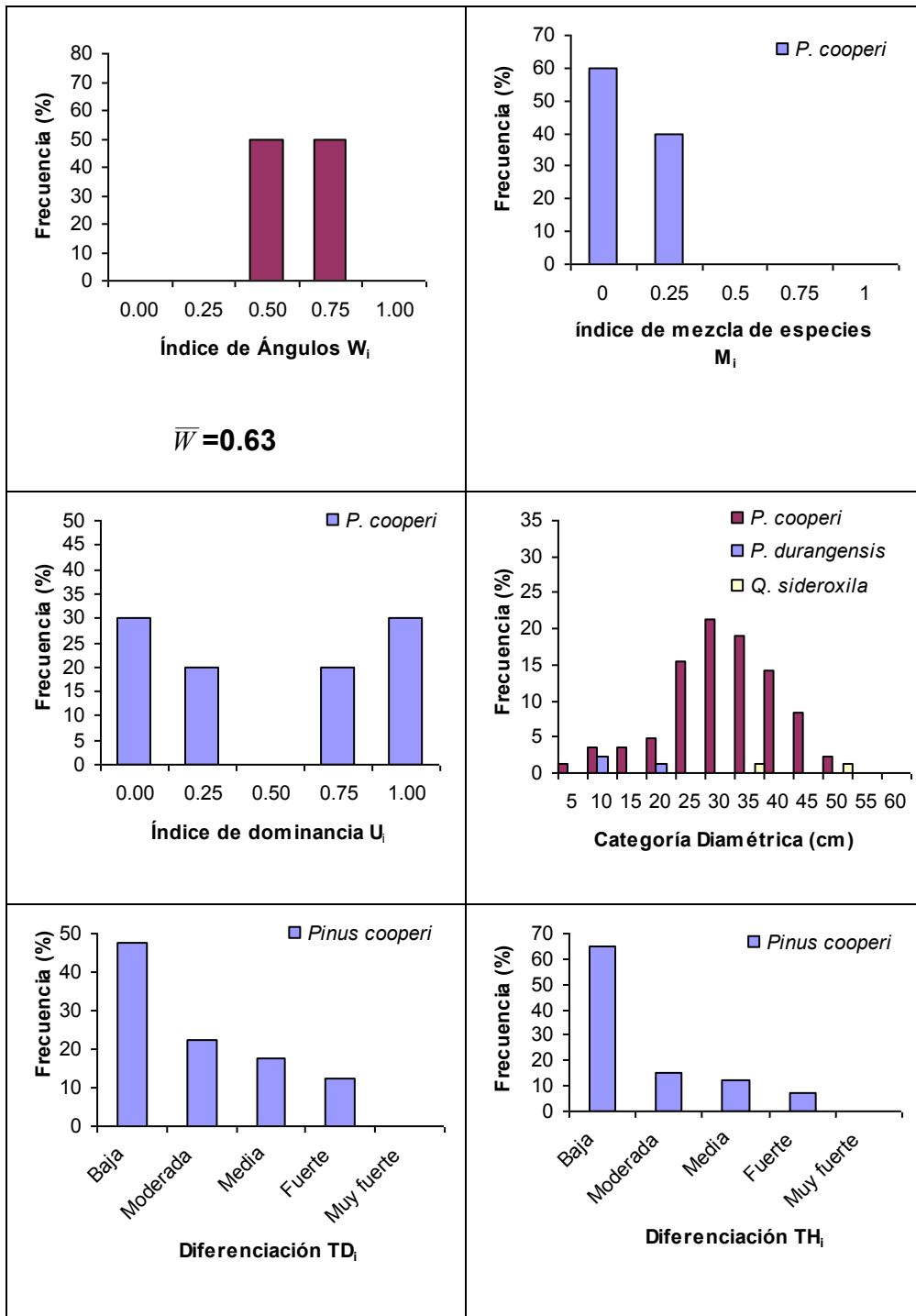


Figura 8. Distribuciones de las variables de agregación, mezcla de especies, dominancia, distribución diamétrica, diferenciación  $TD_i$  y diferenciación  $TH_i$  de la parcela no. 7

## 4.8 Caracterización estructural de la parcela no. 7

### Regularidad

Ambos casos tienen uniforme la frecuencia de número de sitios, tanto en la distribución aleatoria como en la tendiente al agrupamiento. El  $\bar{W} = 0.63$  indica que los individuos se distribuye con tendencia al agrupamiento.

### Mezcla de especies.

El 60% de los sitios de muestreo, presenta condición homogénea (uniespecíficas), otro 40 % de los sitios, 1 individuo de los 4 vecinos es de especie diferente respecto al árbol de referencia. Por lo consiguiente, la mezcla de especies es baja.

### Diferenciación dimensional

Las frecuencias se reparten de manera homogénea en ambos extremos. No presentándose en la categoría intermedia. Esto quiere decir, que hay igual número de árboles vecinos inmediatos más grandes, al árbol de referencia y número de árboles más pequeños, respecto al árbol de referencia.

### Distribución diamétrica

En *Pinus cooperi* la categoría diamétrica (cd), que más individuos presentan son 30, 35, 25, 40 cm. En contraste la cd 5, 50, 10, 15 Y 20 cm tienen reducido el número de individuos. *Pinus durangensis* únicamente se presenta en la cd 10 y 20 cm. *Quercus sideroxylo* tiene 1 individuo en la cd 35 y 50 cm.

### **Diferenciación TD<sub>i</sub>**

En 4 categorías se presenta; baja, moderada, media y fuerte participando con 47.5, 22.5, 17.5 y 12.5 % de los individuos del muestreo respectivamente. Es decir, 19 individuos son similares en tamaño, 9 de 2 a 4 % más grandes y 7 de 4 a 6 más grandes, 5 de 6 a 8 veces más grandes de los 40 individuos vecinos, al árbol de referencia respectivamente.

### **Diferenciación TH<sub>i</sub>**

Presenta árboles en las primeras 4 categorías, la categoría baja tiene más individuos con 65 %, seguido de la moderada y fuerte con 15, 12.5 y 7.5 % de los individuos vecinos. En la categoría baja 26 de 40 individuos vecinos son similares en alturas, respecto a los árboles centro.

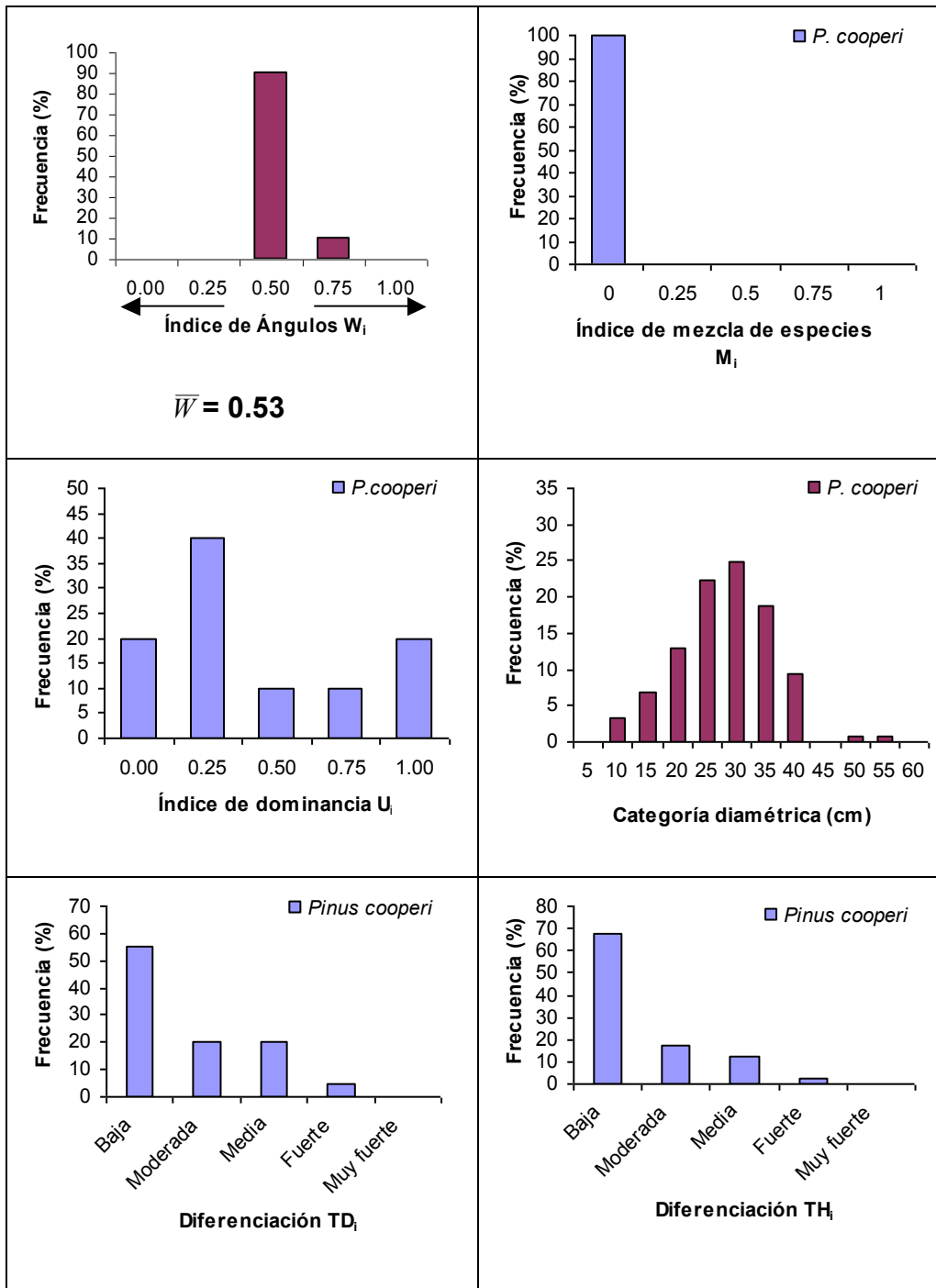


Figura 9. Distribuciones de las variables de agregación, mezcla de especies, dominancia, distribución diamétrica, diferenciación  $TD_i$  y diferenciación  $TH_i$  de la parcela no. 8



#### **4.9 Caracterización estructural de la parcela no. 8**

##### **Regularidad**

El 90% de los sitios de muestreo, presenta la distribución de manera aleatoria, otro 10% de los sitios, la tendencia es hacia el agrupamiento. El  $\bar{w} = 0.53$  éste valor según Gadow (2002) lo clasifica como aleatorio lo cual los individuos toman esa distribución espacial.

##### **Mezcla de especies**

Se muestra claramente ausencia de mezcla de especies. Por lo que, se presenta una condición de manera homogénea (uniespecífica). Es decir, el árbol de referencia con sus vecinos inmediatos son de la misma especie, en este caso *Pinus cooperi*.

##### **Diferenciación dimensional**

Se sesga un poco a la izquierda debido a que hay más árboles vecinos más pequeños, respecto al árbol de referencia y menor número de árboles vecinos inmediatos dominantes, al árbol de referencia.

##### **Distribución diamétrica**

En éste caso, se observa más la presencia de individuos en la categoría diamétrica (cd) 30, 25 35 cm, en menor proporción la (cd) 10, 15 y 40 cm y únicamente 1 individuo se presenta en la (cd) 50 y 55 cm de la especie *Pinus cooperi*.

### **Diferenciación TD<sub>i</sub>**

En la categoría baja con 55 %, es decir, 22 individuos vecinos de los 40, son de tamaño similar al árbol de referencia y la categoría moderada y media con 20 %, lo cual indica que 8 árboles son de 2 a 4 veces más grandes y 8 son de 4 a 6 % veces más grandes, al árbol de referencia respectivamente.

### **Diferenciación TH<sub>i</sub>**

En la categoría baja tiene el 67.5 % de los individuos. Es decir, 27 individuos de los 40, tienen alturas similares a los árboles de referencia y categoría moderada con 17.5 %, que indica que 7 de los 40 individuos son de 2 a 4 % veces más grandes de la variable altura, comparado a los árboles de referencia.

#### 4. 10 Índice de diferenciación dimensional de Gadow

El índice de diferenciación diamétrica como el de altura resultan de gran importancia para el análisis de la estructura vertical de los ecosistemas, además de que permiten derivar conclusiones sobre el grado de homogeneidad o heterogeneidad dimensional.

##### 4. 10. 1 Diferenciación diamétrica TD<sub>i</sub>

Tabla 2. Índice de diferenciación diamétrica (TD%)

<b>Parcela</b>	<b>0.0 – 0.2 Baja</b>	<b>0.2 – 0.4 Moderada</b>	<b>0.4 – 0.6 Media</b>	<b>0.6 – 0.8 Fuerte</b>	<b>0.8 – 1.0 Muy fuerte</b>	<b>Total</b>
1	40	27.5	5	25	2.5	<b>100</b>
2	47.5	37.5	2.5	12.5	0	<b>100</b>
3	42.5	22.5	15	17.5	2.5	<b>100</b>
4	62.5	20	7.5	0	10	<b>100</b>
5	47.5	40	7.5	2.5	2.5	<b>100</b>
6	65	25	7.5	2.5	0	<b>100</b>
7	47.5	22.5	17.5	12.5	0	<b>100</b>
8	55	20	20	5	0	<b>100</b>

#### 4. 10. 2 Diferenciación de altura TH<sub>i</sub>

Tabla 3: Diferenciación de altura (TH<sub>i</sub>%).

<b>Parcela</b>	<b>0.0 – 0.2</b>	<b>0.2 – 0.4</b>	<b>0.4 – 0.6</b>	<b>0.6 – 0.8</b>	<b>0.8-1.0</b>	<b>Total</b>
	<b>Baja</b>	<b>Moderada</b>	<b>Media</b>	<b>Fuerte</b>	<b>Muy fuerte</b>	
<b>1</b>	60	10	0	27.5	2.5	<b>100</b>
<b>2</b>	75	7.5	5	2.5	10	<b>100</b>
<b>3</b>	65	12.5	2.5	10	10	<b>100</b>
<b>4</b>	85	5	7.5	0	2.5	<b>100</b>
<b>5</b>	77.5	12.5	2.5	7.5	0	<b>100</b>
<b>6</b>	92.5	5	0	2.5	0	<b>100</b>
<b>7</b>	65	15	12.5	7.5	0	<b>100</b>
<b>8</b>	67.5	17.5	12.5	2.5	0	<b>100</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
1. Localización del área de estudio	20
2. Distribuciones de las variables de agregación, mezcla de especies, dominancia, distribución diamétrica, diferenciación $TD_i$ y diferenciación $TH_i$ de la parcela no. 1	29
3. Distribuciones de las variables de agregación, mezcla de especies, dominancia, distribución diamétrica, diferenciación $TD_i$ y diferenciación $TH_i$ de la parcela no. 2	32
4. Distribuciones de las variables de agregación, mezcla de especies, dominancia, distribución diamétrica, diferenciación $TD_i$ y diferenciación $TH_i$ de la parcela no. 3	35
5. Distribuciones de las variables de agregación, mezcla de especies, dominancia, distribución diamétrica, diferenciación $TD_i$ y diferenciación $TH_i$ de la parcela no. 4	38
6. Distribuciones de las variables de agregación, mezcla de especies, dominancia, distribución diamétrica, diferenciación $TD_i$ y diferenciación $TH_i$ de la parcela no. 5	41

7. Distribuciones de las variables de agregación, mezcla de especies, dominancia, distribución diamétrica, diferenciación $TD_i$ y diferenciación $TH_i$ de la parcela no. 6	44
8. Distribuciones de las variables de agregación, mezcla de especies, dominancia, distribución diamétrica, diferenciación $TD_i$ y diferenciación $TH_i$ de la parcela no. 7	47
9. Distribuciones de las variables de agregación, mezcla de especies, dominancia, distribución diamétrica, diferenciación $TD_i$ y diferenciación $TH_i$ de la parcela no. 8	50

**LISTA DE TABLAS**

<b>Tabla</b>	<b>Página</b>
1. Número de árboles (N/ha) y área basal (G/ha) de las 6 especies arbóreas que ocurren en las parcelas permanentes de muestreo.	28
2. Índice de diferenciación diamétrica (TD <sub>i</sub> %)	53
3. Índice de diferenciación de altura (TH <sub>i</sub> %)	54