

**ANALISIS DE LA ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN DEL SISTEMA  
PERMANENTE DE MONITOREO FORESTAL DEL PREDIO PARTICULAR “LAS  
BAYAS” DE LA UJED, MPIO. DE PUEBLO NUEVO, DURANGO.**

**REFERIDO AL MONITOREO DE LOS BOSQUES CON ALTO VALOR DE  
CONSERVACIÓN (BAVC)**

**Dr. José Javier Corral-Rivas<sup>1\*</sup>**

**Dr. Javier Leonardo Bretado Velásquez**

**M. C. José Carmelo López Meléndez**

**Dr. Arnulfo Meléndez Soto**

**Febrero del 2022.**

<sup>1</sup> Profesor Investigador, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Juárez del  
Estado de Durango, Río Papaloapan y Blvd. Durango s/n, Col. Valle del Sur,  
34120 Durango, Mexico.

\*Autor para la correspondencia: Tel.: +52 618 130 10 96; Fax: +52 618 130 11 48

E-mail: [jmbretado@ujed.mx](mailto:jmbretado@ujed.mx)

## RESUMEN

El presente trabajo se desarrolló para evaluar factibilidad de uso de la información hasta ahora derivada de las Parcelas Permanentes de Investigación Silvícola del Predio Particular Las Bayas. Esta información se utilizó en este estudio para la estimación de las variables dasométricas e índices para la caracterización estructural más importantes dentro del manejo forestal sustentable. La información colectada en estas parcelas permitió calcular estos parámetros de manejo eficiente, describir satisfactoriamente la diversidad estructural del estrato arbóreo y evaluar hasta ahora la dinámica de desarrollo de los elementos principales que componen la estructura de las unidades de manejo seleccionadas para evaluar su evolución. Estas parcelas constituyen actualmente la base más importante para obtener estimaciones confiables sobre el crecimiento y la producción y para evaluar el efecto de los tratamientos silvícolas sobre la diversidad estructural. La información de las siguientes mediciones generará instrumentos que apoyarán la elaboración y gestión de planes de manejo a nivel de paisaje y rodal sobre la base de la estimación de la tasa de cosecha acorde a criterios de sustentabilidad, considerando la condición de los ecosistemas en cuanto a composición de especies, productividad, densidad, estructura dimensional y estructura espacial en la toma de decisiones, lo que permitirá dirigir las actividades de manejo hacia objetivos y escenarios cuantificables.

**PALABRAS CLAVE:** variables dasométricas, diversidad de especies, estructura espacial, estructura dimensional.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las parcelas permanentes son y seguirán siendo la fuente de información más importante en manejo e investigación forestal (Graves 1906; Solomon 1976; Williams 1991). Permiten a los manejadores e investigadores forestales observar diversas variables económicas, ecológicas, sociales y culturales relevantes, y coleccionar evidencia objetiva en términos de información base.

En términos generales, se puede decir que en México los programas de manejo forestal, no contemplan la planeación y ejecución del proceso de monitoreo. El monitoreo es necesario para conocer los cambios que suceden en los componentes bióticos y abióticos del bosque como respuesta a las operaciones de manejo forestal. Cuando no se cuenta con un sistema de monitoreo, se pierde la oportunidad de: realizar posibles modificaciones al programa de manejo en curso, demostrar y estar conscientes del nivel de impacto de las prácticas de manejo y realizar revisiones periódicas al programa de manejo. Es decir, se pierde la oportunidad de establecer estrategias para el mejoramiento sistemático de las prácticas de manejo (Corral-Rivas *et al.*, 2006).

Uno de los propósitos fundamentales del proceso de certificación, impulsado por el *Forest Stewardship Council (FSC)*, es el mejoramiento de las prácticas de manejo forestal, por este motivo se estableció como un principio básico que las empresas de manejo forestal aspirantes a la certificación tengan establecido o realicen un sistema de monitoreo conducido según la escala e intensidad de las operaciones de manejo. Los requerimientos básicos para el monitoreo están establecidos en el *Principio 8: Monitoreo y Evaluación, del FSC*.

El Predio Las Bayas con la finalidad de dar cumplimiento a los requerimientos del monitoreo están establecidos en el *Principio 8: Monitoreo y Evaluación, del FSC*, estableció en este año en colaboración con La Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Juárez del Estado de Durango, un total de 10 Parcelas Permanentes de Investigación Silvícola (PPIS). El propósito inicial de las parcelas fue obedecer con una condicionante emitida por la entidad certificadora "*Smart Word*" en el marco del proceso de certificación forestal y con ello obtener el certificado que actualmente avala la aplicación de un manejo forestal responsable (certificado: SW-FM/COC-1256).

La información recabada de este sistema permanente de monitoreo constituye una herramienta básica para la toma de decisiones en el marco del manejo forestal sustentable. Las parcelas permitirán a los responsables del manejo forestal del Predio Las Bayas, entre otras actividades, observar variables económicas, sociales y ecológicas relevantes acerca del área que se está manejando y coleccionar evidencia objetiva en forma de información para detectar impactos negativos e indicadores para el manejo forestal sostenible. Los impactos negativos que interesa conocer en el caso particular del Predio Las Bayas, son aquellos que resultan como respuesta a los sistemas de manejo conocidos en México como el Método de Desarrollo Silvícola y el Método Mexicano de Ordenación de Montes para Bosques Irregulares. En el manejo adaptativo moderno, estos impactos negativos pueden reducirse o eliminarse de ser necesario mediante modificaciones al plan de manejo, de tal manera que se logren prácticas de manejo forestal más sostenibles.

La propuesta del programa de monitoreo permanente es realizar remediciones de las parcelas cada tres años, por lo que la próxima medición de esta red de parcelas será en invierno de 2010. Los objetivos de este trabajo son por lo tanto a partir de la información coleccionada: 1) describir la composición dasométrica y la diversidad estructural las 10 Parcelas Permanentes de Investigación Silvícola; 2) realizar un análisis que permita conocer la factibilidad de uso de estas parcelas para evaluar la tasa de crecimiento y de regeneración de la masa forestal; 3) presentar una metodología para evaluar el efecto que tienen los métodos de manejo utilizados sobre la diversidad de especies, la estructura espacial y la estructura dimensional en las unidades de manejo del Predio Las Bayas.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

En este capítulo se describen las características físicas de las parcelas, los procedimientos de toma de datos, y los cálculos y análisis estadísticos para alcanzar los objetivos de este trabajo.

### **2.1. Dispositivo de parcelas**

Generalmente se pueden distinguir tres tipos de parcelas para la elaboración de modelos de crecimiento y la evaluación de la respuesta de métodos de manejo en función del horizonte temporal de toma de datos (Gadow et al., 1999; Corral-Rivas et al., 2006): parcelas permanentes, temporales y de intervalo.

Las primeras se mantienen largos períodos de tiempo durante los cuales se realizan mediciones periódicas (al menos tres veces), y son las que aportan mayor información; sin embargo, tienen un elevado costo de mantenimiento.

Las parcelas temporales se miden una única vez, por lo que reducen el tiempo empleado en la toma de datos, aunque a costa de limitar la información que proporcionan. Así, por ejemplo, no pueden utilizarse para elaborar tablas de producción de silvicultura variable ni modelos de manejo o aprovechamiento de carácter dinámico. Con la información proveniente de parcelas temporales no es posible usar técnicas nuevas (efectivas y muy prácticas) basadas en ecuaciones diferenciales, al carecer de datos de crecimiento (García, 1988).

Una solución de compromiso entre los dos tipos de parcelas anteriores son las parcelas de intervalo, que se miden solamente dos veces, y que se instalan en masas de diferentes edades, calidades de estación y densidades, dentro de la zona geográfica estudiada. La duración del intervalo entre las dos medidas depende de la rapidez de crecimiento de la especie, siendo necesario que dicho tiempo absorba las condiciones climáticas anormales que ocurren en determinados años, por lo que para especies de crecimiento lento, como es el caso de los pinos, parece conveniente considerar intervalos de, al menos, cinco años (Corral-Rivas *et al.*, 2006).

En este sentido, El Departamento de Servicios Técnicos del Predio Las Bayas estableció, este mismo año, un dispositivo de 10 parcelas permanentes para elaborar modelos forestales de crecimiento y detectar impactos negativos e indicadores para el manejo forestal sostenible. Dicha red de parcelas está distribuida en todas las áreas de corta y trata de cubrir las diferentes edades, densidades y calidades de estación existentes en las masas mixtas e irregulares que forman parte del Predio Las Bayas (Figura 1).

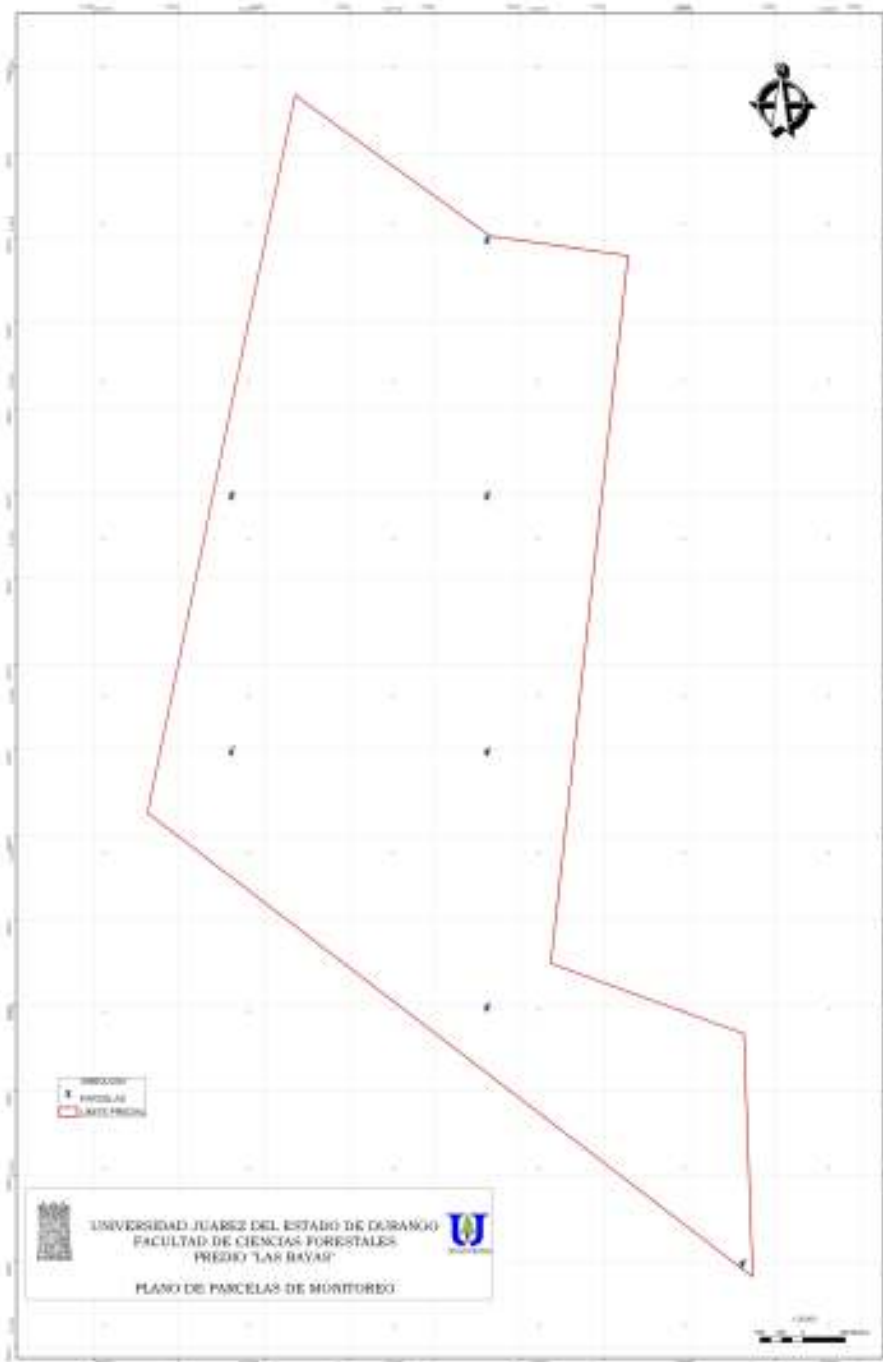


Figura 1. Distribución espacial de las Parcelas Permanentes de Investigación Silvícola en el Predio Las Bayas.

## 2.2. Instalación de las parcelas y toma de datos

Para el establecimiento de las parcelas se siguió la metodología desarrollada por Corral-Rivas *et al.* (2006), cuya finalidad es monitorear los efectos del manejo forestal en bosques certificados. La forma del sitio es cuadrada de 50 por 50 metros (2500 m<sup>2</sup>). El cuadrado está dividido en cuatro cuadrantes numerados en el orden del sentido de las manecillas del reloj y constituyen el área donde se levanta la información respecto a variables dasométricas, ecológicas, de control, silvícolas, de regeneración natural y de incrementos (Figura 2).

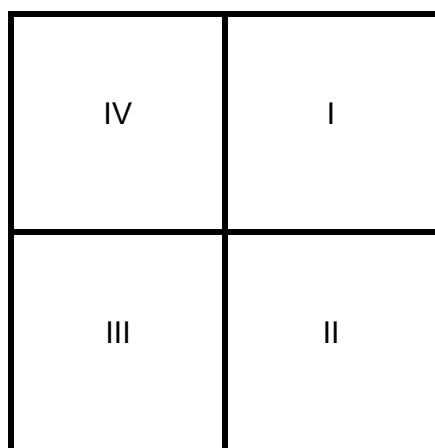


Figura 2. Esquema general de la forma y tamaño de las Parcelas Permanentes de Investigación Silvícola en el Predio Las Bayas, Municipio de Pueblo Nuevo, Durango.

Una vez finalizada la fase anterior se obtuvieron entre otras variables las siguientes para todos los árboles mayores de 7.5 cm en diámetro normal: especie, diámetro a 1,30m (cm), altura total (m), su clase social según Kraft (1884) y su ubicación espacial mediante el uso de coordenadas geográficas (X,Y). A partir de los datos dendrométricos se obtuvo para cada parcela: número de árboles por ha, área basal por ha, diámetro medio, altura media y la altura dominante siguiendo la definición de Assman (1970). Se anotaron también variables descriptivas de cada árbol, p.ej. si estaban vivos o muertos, o si presentaban alguna deformación y de qué tipo.

## 2.3. Descripción dasométrica

### 2.3.1. Variables dasométricas y ecológicas

A partir de los datos del inventario desarrollado se determinaron las siguientes variables dasométricas para cada parcela: edad media, densidad, área basal, diámetro medio cuadrático, diámetro medio aritmético, varianza diamétrica, altura

media, altura dominante y diámetro dominante. La metodología de cálculo se describe a continuación.

#### **2.3.1.1. Edad media**

Esta variable ha sido calculada a partir del conteo de muestras extraídas con el taladro de Pressler para seis árboles representativos de la parcela.

#### **2.3.1.2. Número de árboles por hectárea**

La densidad expresada como el número de árboles por hectárea, se determinó a partir de los datos del número de árboles vivos e inventariables ( $d_{ap} \geq 7.5$  cm) en cada parcela empleando la siguiente ecuación:

$$N = \frac{10000 * n}{S} \quad [1]$$

donde  $N$  es la densidad en árboles por hectárea,  $S$  ( $m^2$ ) es la superficie de la parcela en proyección horizontal y  $n$  es el número de árboles vivos de la parcela.

#### **2.3.1.3. Área basal**

El área basal, se calculó trasladando a valores por hectárea la suma de las secciones normales de todos los árboles inventariables presentes en la parcela. Este valor engloba la sección aportada por los árboles de diámetro normal mayor de 7.5 cm y que se encontraron vivos en el momento de realizar la toma de datos.

$$G = \frac{\pi}{4} \cdot \sum_{i=1}^n d_i^2 \cdot \frac{10000}{S} \quad [2]$$

donde  $G$  es el área basal ( $m^2/ha$ ),  $d_i$  el diámetro normal, en  $m$  de cada árbol con las características comentadas anteriormente y  $S$  es la superficie en proyección horizontal de la parcela en  $m^2$ .

#### **2.3.1.4. Diámetro medio cuadrático**

El diámetro medio cuadrático es el diámetro normal correspondiente al árbol de área basal media, su valor por tanto se puede determinar a partir del área basal de la parcela y a partir de la densidad:



$$d_g = 100 \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot N}}, \text{ o bien se puede expresar como: } d_g = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n}} \quad [3]$$

donde  $d_g$  es el diámetro medio cuadrático en cm.,  $d_i$  es diámetro normal del árbol  $i$  en cm,  $n$  es el número de árboles por parcela,  $N$  el numero de árboles por ha y  $G$  es el área basal en m<sup>2</sup>/ha.

### 2.3.1.5. Diámetro medio aritmético

Esta variable se puede calcular a partir de la distribución diamétrica como media de los diámetros de los árboles de cada clase diamétrica o de forma más exacta, directamente a partir de los diámetros de todos los pies inventariables de la parcela, según la siguiente expresión:

$$d_m = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \quad [4]$$

siendo  $d_m$  el diámetro medio en cm,  $d_i$  es diámetro normal del árbol  $i$  en cm, y  $n$  el número de árboles por parcela.

### 2.3.1.6. Varianza diamétrica

La varianza diamétrica se define como la media de los cuadrados de las desviaciones del diámetro de cada árbol con respecto al diámetro medio. La varianza de la muestra  $S^2$  se ha calculado como:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (d_i - d_m)^2}{n} \quad [5]$$

donde  $S^2$  es la varianza en cm<sup>2</sup>,  $d_i$  es diámetro normal del árbol  $i$  en cm,  $d_m$  el diámetro medio (cm) y  $n$  el número de árboles inventariables en la parcela.

### 2.3.1.7. Altura media

La altura media  $H_m$  se ha calculado como la media aritmética de las alturas totales de todos los árboles inventariables en cada parcela.

$$H_m = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{n} \quad [7]$$

donde  $H_m$  es la altura media de la parcela en  $m$ ,  $h_i$  la altura total del árbol  $i$  (m) y  $n$  el número de árboles inventariables en la parcela.

### 2.3.1.8. Altura dominante

La altura dominante considerada es aquella que corresponde a la media de las alturas de los 100 árboles más gruesos por hectárea (ASSMANN, 1970). Para su determinación se emplearon los datos de los árboles dominantes medidos en cada parcela:

$$H_o = \frac{\sum_{i=1}^{n_o} h_{oi}}{n_o} \quad [8]$$

donde  $H_o$  es la altura dominante en  $m$ .,  $h_{oi}$  es la altura del árbol dominante  $i$  y  $n_o$  es el número de árboles dominantes medidos en la parcela, cuyo valor depende de la superficie de la misma, de tal forma que no es el entero superior del producto de  $S/100$ .

### 2.3.1.9. Diámetro dominante

Es la media de los diámetros correspondientes a los 100 árboles más gruesos por hectárea:

$$D_o = \frac{\sum_{i=1}^{n_o} d_{oi}}{n_o} \quad [9]$$

donde  $D_o$  es el diámetro dominante en  $cm$ .,  $d_{oi}$  es el diámetro correspondiente a un árbol dominante  $i$  en  $cm$  y  $n_o$  es el número de árboles dominantes medidos en la parcela.

### 2.3.1.10. Valor de importancia

El valor de importancia ecológica ( $VIE$ ) se obtuvo para cada especie arbórea a partir de los parámetros de densidad, frecuencia y dominancia relativas estimados según

Franco *et al.* (1989) en su manual de ecología a través de las expresiones siguientes.

Densidad relativa: 
$$Denr = \frac{NAi}{NAT} * 100 \quad [10]$$

Dominancia relativa: 
$$Domr = \frac{ABi}{ABT} * 100 \quad [11]$$

Frecuencia relativa: 
$$Fr = \frac{Fri}{Ft} * 100 \quad [12]$$

Valor de importancia ecológica: 
$$VIE = Denr + Domr + Fr \quad [13]$$

Nota:  $AB_i$ = área basal de la especie  $i$ ,  $ABT$ = área basal de todas las especies,  $NA_i$ = número de árboles de la especie  $i$ ,  $NAT$ = número de árboles de las especies presentes,  $F_{ri}$ = número de sitios de muestreo en que aparece la especie  $i$ ,  $F_t$ = número total de sitios de muestreo.

### 2.3.2. Diversidad estructural

La estructura del estrato arbóreo es un buen indicador de la biodiversidad del sistema y es fácilmente modificable a través de la silvicultura (Pretzsch, 1998; Del Río *et al.*, 2003; Corral-Rivas *et al.*, 2005). La caracterización y conocimiento de la diversidad estructural de ecosistemas forestales constituye una condición básica para la toma de decisiones sobre el manejo de sus recursos, tanto en localidades bajo aprovechamiento, como en áreas protegidas, donde pueden observarse procesos de sucesión natural, así como efectos provocados por actividades antropogénicas, por lo que su adecuado conocimiento es necesario para garantizar una gestión sostenible (Albert *et al.*, 1999; Aguirre *et al.*, 1998; Corral-Rivas *et al.*, 2005).

Una determinada mezcla de especies determina factores micro ambientales como el régimen de luz (Canham *et al.*, 1994) y la composición de la materia orgánica (Ferrari, 1999), controlando así una gran variedad de procesos bióticos y abióticos. El tipo de distribución espacial está estrechamente relacionado también con el régimen de luz y el patrón de regeneración presente dentro de rodal (Emborg, 1998) y tiene efectos significantes en el crecimiento y producción de madera (Pretzsch, 1995; Kint, *et al.*, 2003). La diferenciación dimensional, ya sea vertical u horizontal determina la variación espacial de las condiciones microclimáticas,

disponibilidad de nutrientes y la complejidad estructural, que a su vez afectan directa e indirectamente la presencia de diferentes animales y plantas (Spies, 1998; Brokaw y Lent, 1999).

Las técnicas de simulación y las parcelas permanentes de monitoreo constituyen una buena oportunidad para evaluar el impacto de las prácticas silvícolas sobre la estructura arbórea de masas forestales destinadas a la producción maderable (Buongiorno *et al.*, 1994; Pretzsch, 1996; Bailey y Tappeiner, 1998). Algunos trabajos desarrollados en México, presentan metodologías para la evaluación de la estructura de ecosistemas (Aguirre *et al.*, 2003; Corral-Rivas *et al.*, 2005). El estudio de Corral-Rivas *et al.*, 2005) presenta una metodología para la evaluaciones del efecto que causan los tratamientos silvícolas sobre la diversidad estructural de una masa forestal. La evaluación considera tres importantes componentes de la estructura de un rodal o unidad de manejo: (i) el grado de mezcla, que evalúa la manera en que los árboles de diferentes especies se interrelacionan; (ii) la distribución espacial, que describe cómo se distribuyen los árboles sobre el terreno, y (iii) el grado de diferenciación dimensional, que cuantifica las diferencias en tamaño de los árboles que conviven dentro de la unidad de manejo.

En este trabajo se describe este el método de evaluación y se demuestra que puede ser utilizado de manera eficiente para describir e interpretar los procesos de desarrollo de las unidades de manejo del Predio Las Bayas, que resulten tanto de las prácticas de manejo, como de las interacciones de competencia entre los árboles que las componen. La caracterización de los tres componentes estructurales (el grado de mezcla, la distribución espacial, y el grado de diferenciación) evaluados en este trabajo, se basa en la estimación de índices desarrollados para tal fin. La base para la determinación de tales índices la constituyó un método de muestreo conocido como grupo estructural de los cinco árboles. Este sistema de muestreo fue desarrollado por un grupo de investigadores de la Universidad de Göttingen, Alemania, para evaluar los atributos estructurales de los árboles que conforman una masa forestal (Gadow, 1993; Földner, 1995; Gadow *et al.*, 2001; Aguirre *et al.*, 2003, Corral-Rivas *et al.*, 2006b). Estas índices y su metodología de cálculo se describen a continuación.

### 2.3.2.1. Diversidad de especies

La diversidad de especies es un aspecto muy importante que debe ser considerado dentro del concepto de manejo forestal sostenible. Para evaluar la diversidad de especies en este trabajo se utilizaron los siguientes índices:

#### a) Índice de Shannon

El índice de Shannon (1949) aumenta con el número de especies y toma mayores valores cuando las proporciones de las distintas especies son similares y se estima a partir de la siguiente expresión:

$$H_i' = -\sum p_i \ln p_i \quad [14]$$

donde  $p_i$  es la abundancia proporcional de la  $i$ -ésima especie. La comparación de la diversidad de especies de las parcelas para este índice en las futuras mediciones se puede realizar a través de la prueba de hipótesis sobre la similitud o diferencia en la diversidad-abundancia  $t$  de Hutcheson (Magurran, 1988; Corral-Rivas *et al.*, 2002) dada por la ecuación [15] y con grados de libertad estimados mediante [16]:

$$t = \frac{H_1 - H_2}{[\text{Var}(H_1) + \text{Var}(H_2)]^{1/2}} \quad [15]$$

$$df = \frac{[\text{Var}(H_1) + \text{Var}(H_2)]^2}{[\text{Var}(H_1)]^2 / N_1 + [\text{Var}(H_2)]^2 / N_2} \quad [16]$$

donde:  $H_i$  = índice de Shannon de la parcela  $i$ ;  $\text{Var } H_i$  = varianza del índice de Shannon de la parcela  $i$ ;  $N_i$  = número total de individuos en  $i$ -ésima parcela.

#### b) Índice de Mezcla de especies de Gadow

La estimación del índice de mezcla de especies de Gadow  $M_i$  (Gadow, 1993; Fülde, 1995) evalúa la diversidad de especies de la vecindad de un árbol de referencia y se define como la proporción de los  $n$  vecinos que no pertenecen a la misma especie del árbol de referencia.

$$M_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 v_j \quad [17]$$

donde  $v_j$  es una variable binaria discreta que asume el valor de 0 cuando el  $j$ -ésimo árbol es de la misma especie que el árbol de referencia  $i$ , y el valor de 1 si es de diferente especie. El valor de este índice puede variar entre 0 y 1. En el caso de usar cuatro vecinos el valor de  $M_i$  puede asumir 5 diferentes valores (0,0 – 0,25 – 0,50 – 0,75 y 1). Valores cercanos a cero indican que las especies tienden a agruparse y no se mezclan entre ellas; por el contrario, valores cercanos a uno indican una preferencia a mezclarse.

### 2.3.3. Distribución espacial

Diversos métodos han sido propuestos para la caracterización de la distribución espacial de los árboles dentro de los rodales (Clark y Evans, 1954; Ripley, 1979, Gadow *et al.*, 1998; Corral-Rivas *et al.*, 2006b). Para evaluar la distribución espacial de los individuos en ambas parcelas, en este trabajo fueron estimados los siguientes índices:

#### a) Índice de uniformidad de Gadow

La determinación del índice de uniformidad  $W_i$  de Gadow (Gadow *et al.*, 1998), se basa en la medición de los ángulos entre dos vecinos al árbol de referencia  $i$  y su comparación con un ángulo estándar  $\alpha$ , de tal manera que considerando cuatro vecinos al árbol de referencia  $W_i$  puede tomar valores de 0 hasta 1, donde un valor cercano a cero representa condiciones de regularidad, valores cercanos a 0.50 muestran tendencia a la aleatoriedad y aquellos próximos a 1 presentan condiciones de agrupamiento. En este trabajo fue utilizado un ángulo estándar de  $72^\circ$  en la estimación de este índice, debido a que en las simulaciones de Hui y Gadow (2002) se encontró a este valor como el óptimo ángulo estándar produciendo un promedio de  $\bar{W} = 0.50$  para una distribución aleatoria.

$M_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 v_j$	[18]
--------------------------------------	------

donde  $v_j$  es una variable binaria discreta que asume el valor de 1 si el  $j$ -ésimo ángulo entre dos árboles vecinos es menor o igual al ángulo estándar  $\alpha$ , y 0 en caso contrario.

## b) Índice de información direccional media de Corral-Rivas

El índice de información direccional de Corral-Rivas ( $R_i$ ) (Corral-Rivas *et al.*, 2006b) es una nueva variable desarrollada para el análisis espacial de los árboles dentro de una determinada área. A diferencia del índice de uniformidad  $W_i$  de Gadow,  $R_i$  utiliza de manera distinta la información direccional dada por un árbol de referencia  $i$  y su  $n$  vecinos más cercanos.

$$R_i = \sqrt{1 + \left( \sum_{j=2}^n \cos(\alpha_{ij}) \right)^2 + \left( \sum_{j=2}^n \sin(\alpha_{ij}) \right)^2} \quad [19]$$

Esta nueva variable se encuentra mejor relacionada con las ideas de la estadística direccional que  $W_i$  y por lo tanto requiere que la medición de los ángulos sea mas precisa, sin embargo, al igual que  $W_i$ , no requiere de las distancias entre los árboles. Como en  $W_i$ ,  $R_i$ -regular <  $R_i$ -aleatoria <  $R_i$ -agrupada. El valor exacto de  $\bar{R}$  para un rodal con distribución de árboles al azar es 1.8 (mas precisamente 1.799). Este valor fue obtenido mediante la simulación de  $10^6$  árboles y es muy cercano a una aproximación realizada para la dirección media  $E(R)$  de  $n$  vectores iniciando en un punto de referencia  $i$  y apuntando a  $n$  puntos al azar dada por la ecuación 15 tomada de Upton y Fingleton (1985, p. 227).

$$E(R_i) = \frac{1}{2} \sqrt{n \cdot \pi} \quad [20]$$

para  $n = 4$  la fórmula 3 es igual a 1.77, mientras que el valor exacto sería de 1.799.

### 2.3.4. Diferenciación dimensional

La última de las principales características que definen la estructura arbórea de un ecosistema forestal, analizadas en este trabajo es la variación existente entre los tamaños de los árboles que lo constituyen. Para evaluar este componente estructural los siguientes parámetros fueron estudiados:

#### a) Índices de diferenciación diamétrica y de altura

Los índices de diferenciación diamétrica ( $TD_i$ ) y de altura ( $TH_i$ ) (Gadow y Hui, 2002), fueron obtenidos al igual que otros índices de las relaciones de vecindad entre los árboles de las parcelas.

$$TD_i = \frac{\text{desviación estándar del diámetro}}{\text{diámetro medio}} \quad [21]$$

$$TH_i = \frac{\text{desviación estándar de la altura}}{\text{altura media}} \quad [22]$$

Una manera sencilla para el cálculo de estas variables es a través del uso del coeficiente de variación de los tamaños de los árboles que forman el grupo estructural. Para hacer compatibles estas variables con el resto de los índices estructurales, se integraron cinco grupos de diferenciación dimensional de acuerdo con Gadow y Hui (2002): Escasa  $Ti = 0.00$ :  $CV = 0.05$ ; Moderada  $Ti = 0.25$ :  $0.05 < CV < 0.15$ ; Media  $Ti = 0.50$ :  $0.15 \leq CV < 0.30$ ; Alta  $Ti = 0.75$ :  $0.30 \leq CV < 0.60$ ; Muy alta  $Ti = 0.60 \leq CV$ .

### **b) Índice de dominancia.**

La dominancia de un árbol de referencia  $i$  ( $U_i$ ) se define como la proporción de los cuatro vecinos que son mas grandes que dicho árbol (Gadow y Hui, 2002).

$$U_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 v_j \quad [23]$$

Al igual que el la mayoría de los índices los valores de esta variable varían de 0 a 1:  $U_i = 0.00$  si los cuatro vecinos son mas grandes que el árbol de referencia  $i$  (suprimido);  $U_i = 0.25$  si tres de los vecinos son más grandes que el árbol de referencia  $i$  (intermedio);  $U_i = 0.50$  si dos de los vecinos son mas grandes que el árbol de referencia  $i$  (codominante);  $U_i = 0.75$  si uno de los cuatro vecinos es más grandes que el árbol de referencia  $i$  (dominante) y  $U_i = 1$  si ninguno de los cuatro vecinos es más grande que el árbol de referencia  $i$  (muy dominante). Los cinco valores de  $U_i$  corresponden con las clases sociales desarrolladas por Kraft (1884).

## **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **3.1. Variables dasométricas**

Los resultados de la descripción dasométrica de las parcelas se muestra a continuación.



### 3.1.1. Edad media

Esta variable ha sido calculada a la altura del diámetro normal (1.30 m). Esto a partir del conteo de anillos de las muestras extraídas con el taladro de Pressler sumando una constante de cinco, que representa el número de años que en promedio requieren los árboles para alcanzar esa altura en la región. En la Figura 3, se representa la distribución de las Parcelas Permanentes de Investigación silvícola por clase de edad media en esta primera medición. Se puede observar que las parcelas se presentan un rango de clases de edad promedio entre 30 y 55 años.

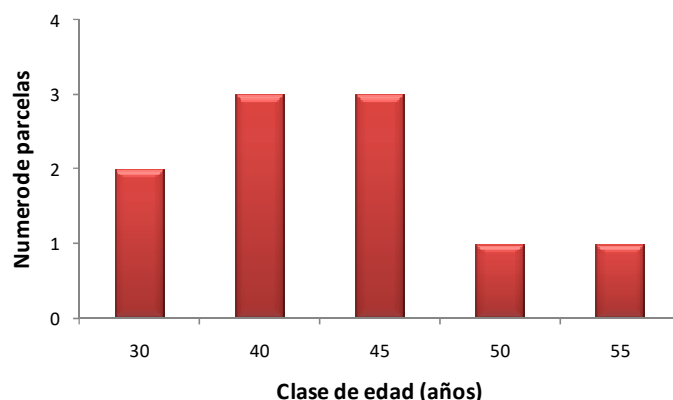


Figura 3. Histograma de frecuencias de las Parcelas Permanentes de Investigación Silvícola del Predio Las Bayas inventariados por clases de edad.

El monitoreo de la edad media de la unidad de manejo, permitirá entre otras actividades la determinación de la productividad y evaluar si los índices de sitio se actuales representan en realidad las diferentes clase de calidad de estación de estos ecosistemas. La meta es contar con sistemas de curvas de índice de sitio confiables para las especies más importantes.

### 3.1.2. Número de árboles por hectárea

En la figura 4 se muestra la distribución de las densidades de la parcelas para esta primera medición. Se puede apreciar que existe una buena representación de las clases de densidad por parte de las parcelas. Esta información podrá ser usada en el futuro para realizar guías de densidad de silvicultura variable y evaluar el cambio de esta variable en función de la aplicación de los tratamientos que se apliquen dentro del Método de Desarrollo Silvícola y el Método Mexicano de Ordenación de Montes para Bosques Irregulares.

Con la generación de la guía de densidad se tendrán las bases para clasificar los rodales por su condición de densidad y grado de densidad. La meta es disponer de guías de densidad para caracterización y monitoreo de esta variable dasométrica.

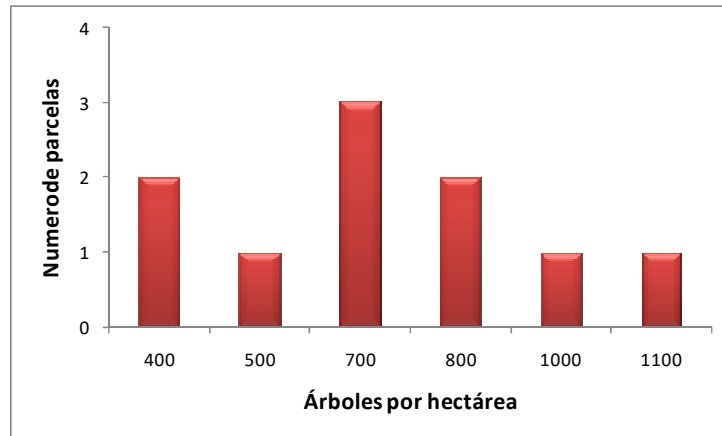


Figura 4. Histograma de frecuencias de las Parcelas Permanentes de Investigación Silvícola del Predio Las Bayas inventariados por clases de densidad de la masa.

### 3.1.3. Área basal

La Figura 5 muestra la distribución de esta variable dasométrica, donde se puede observar que las parcelas contienen una buena representación de las clases de área basal en general pero quedando mejor representadas aquellas que corresponden a las clases centrales 20 y 25 m<sup>2</sup>/ha.

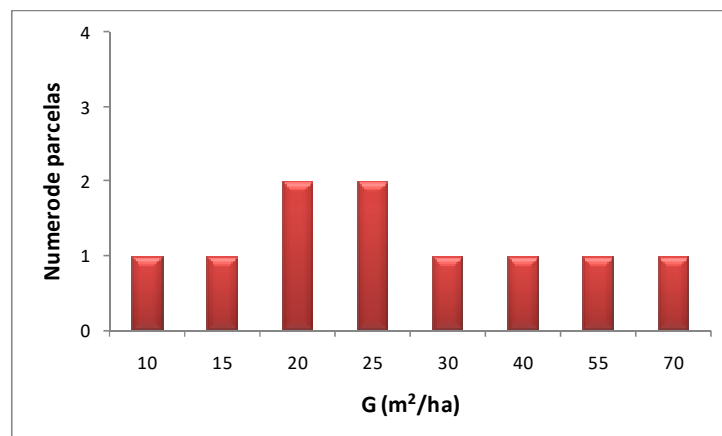


Figura 5. Histograma de frecuencias de las Parcelas Permanentes de Investigación Silvícola del Predio Las Bayas inventariados por clases de área basal.

El monitoreo de esta variable permitirá el desarrollo de modelos de crecimiento en área basal tanto a escala de árbol individual como de rodal (Gadow, *et al.*, 1999).

#### 3.1.4. Diámetro medio cuadrático

El histograma de frecuencias de esta variable se presenta en la Figura 6. En ella se observa que el diámetro cuadrático posee una forma congruente con los histogramas de la edad y el área basal.

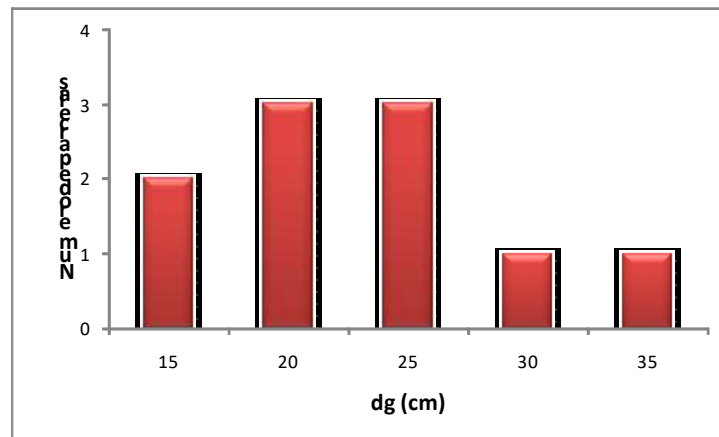


Figura 6. Histograma de frecuencias de las Parcelas Permanentes de Investigación Silvícola del Predio Las Bayas inventariados por clases de diámetro cuadrático.

El monitoreo de esta variable es importante porque su uso es preferido en el desarrollo de modelos crecimiento de masa, además de ser un parámetro muy utilizado en la elaboración de guías de densidad.

#### 3.1.5. Diámetro medio aritmético

La distribución de frecuencias del diámetro medio de las parcelas permanentes muestra una distribución normal, con una mayor representación de las clases centrales (Figura 7). El monitoreo de esta variable es importante dentro del manejo forestal sustentable, ya que una de sus metas es conservar la estructura diamétrica original de las unidades de manejo buscando con ello mantener el carácter de bosque regular e irregular según sea el caso.

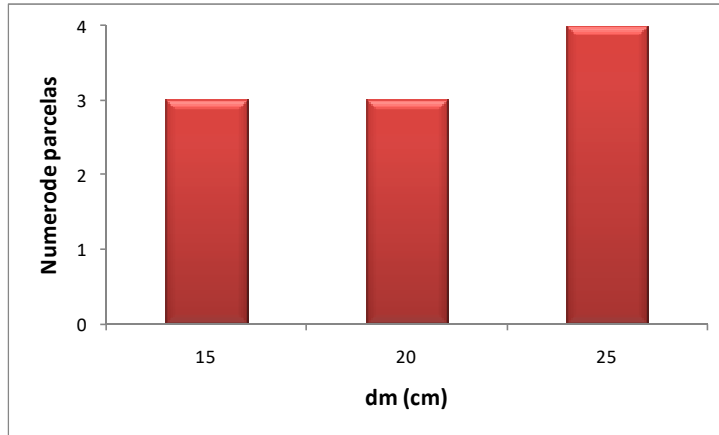


Figura 7. Histograma de frecuencias de las Parcelas Permanentes de Investigación Silvícola del Predio Las Bayas inventariados por clases de diámetro medio aritmético.

### 3.1.6. Varianza diamétrica

La cuantificación de la variabilidad es un parámetro importante en el marco del manejo forestal sustentable, ya que define en gran medida la homogeneidad o heterogeneidad de la masa que estamos manejando. La Figura 8 muestra una buena equidad en la representación de la muestra por clases de variabilidad.

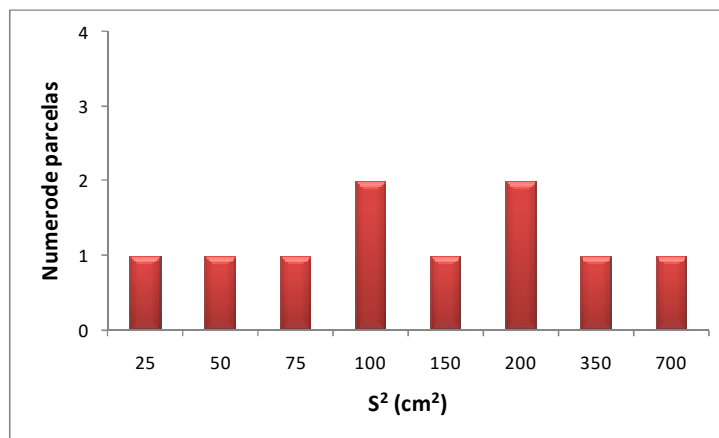


Figura 8. Histograma de frecuencias de las Parcelas Permanentes de Investigación Silvícola del Predio Las Bayas inventariados por clases de variabilidad diamétrica.

### 3.1.7. Altura media

La altura media de un árbol, junto con el diámetro o la circunferencia, es uno de los parámetros más importantes a medir o estimar para determinar el volumen de un árbol y luego por extensión de la masa. La Figura 9, muestra la distribución de

frecuencias de la altura media de las parcelas en ambos inventarios, donde se observa que dominan los árboles con alturas entre los 10 y los 15 metros.

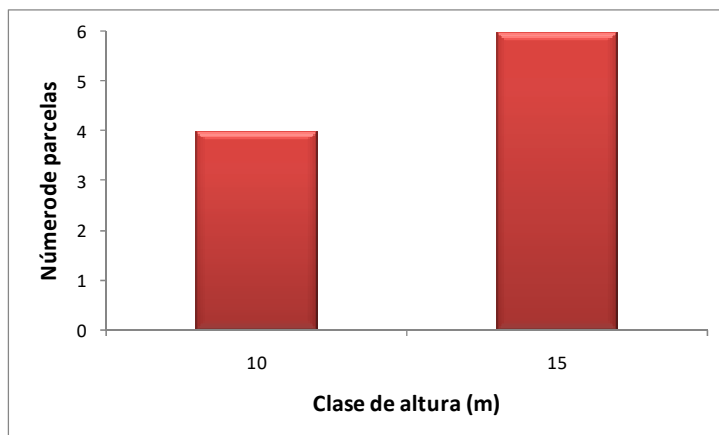


Figura 9. Histograma de frecuencias de las Parcelas Permanentes de Investigación Silvícola del Predio Las Bayas inventariados por clases de altura media.

El monitoreo de esta variable permite obtener diversos parámetros de forma o indicadores de la estabilidad mecánica de los árboles.

### 3.1.8. Altura dominante

La altura de los pies del estrato dominante de una masa se emplean principalmente para la determinación de la calidad productiva del medio, llamada calidad de estación (Gadow *et al.*, 2001). La Figura 10 muestra el histograma de frecuencias de esta variable, en el cual se evidencia de una buena distribución del rango de clases de altura dominante.

El monitoreo de esta variable es muy importante ya que nos permite evaluar la productividad de las unidades de manejo. Además cuando esta variable se colecta a partir de remediciones de parcelas permanentes, los datos ofrecen la posibilidad de usar las metodologías más eficientes para el desarrollo de curvas de índice de sitio.

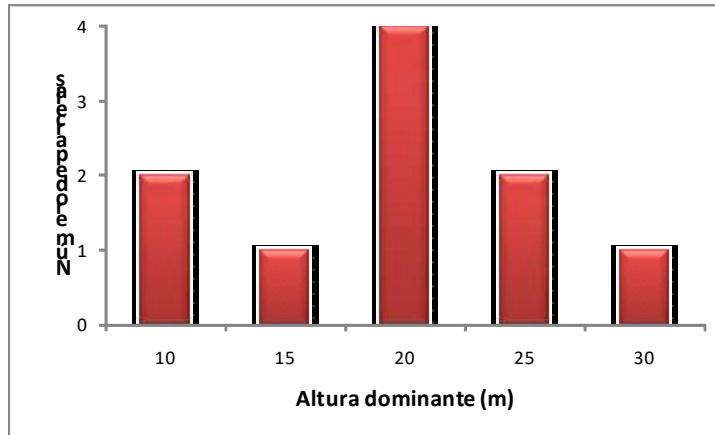


Figura 10. Histograma de frecuencias de las Parcelas Permanentes de Investigación Silvícola del Predio Las Bayas inventariados por clases de valores de altura dominante.

Estas metodologías comprenden el método de las diferencias algebraicas (ADA algebraic difference approach) y una generalización de este método al que llamaron método de las ecuaciones en diferencias algebraicas generalizado (GADA, generalized algebraic difference approach) propuesta por Cieszewski y Bailey (2000) propusieron, que tiene la ventaja de permitir que más de un parámetro de cada modelo dependa de la calidad de estación, con lo que las familias de curvas obtenidas son más flexibles. desarrollo de curvas polimorfitas de índice de sitio que puedan cumplir una serie de propiedades, entre las cuales destacan las siguientes (Bailey y Clutter 1974, Cieszewski y Bailey 2000): polimorfismo con pautas de crecimiento sigmoide con un punto de inflexión, alcanzar una asíntota horizontal a edades avanzadas, tener un comportamiento lógico (por ejemplo, la altura dominante debe ser cero a la edad cero, la curva debe ser siempre creciente), deben ser invariantes con respecto al camino de simulación (path invariance) y deben ser invariantes con respecto a la edad de referencia (base-age invariance).

### 3.1.9. Diámetro dominante

Esta distribución de frecuencias correspondiente a los 100 árboles más gruesos por hectárea y se muestra en la Figura 11. Esta variable dasométrica al igual que la altura dominante muestra un comportamiento simétrico con una representación mayor por parte de las parcelas en las clases de diámetro dominante intermedias (25 y 30 cm).

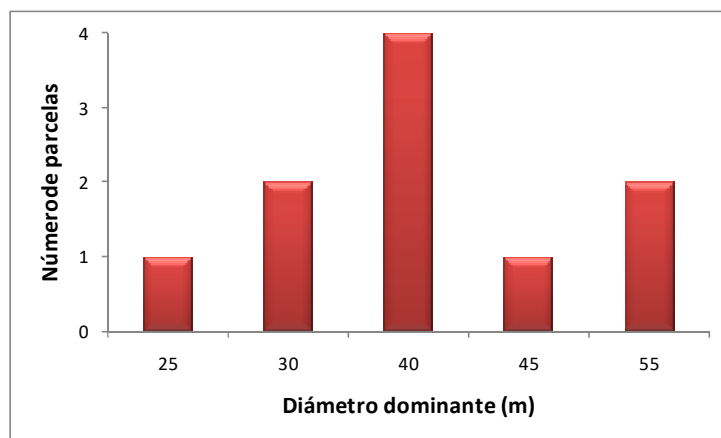


Figura 11. Histograma de frecuencias de las Parcelas Permanentes de Investigación Silvícola del Predio Las Bayas inventariados por clases de valores de diámetro dominante.

El estudio de la dinámica del diámetro dominante posibilita al gestor forestal el uso de esta variable como un predictor potencial en el desarrollo de modelos de crecimiento en diamétrico y en sección y guías de densidad variable.

### 3.1.10. Valor de importancia

La estimación de los parámetros ecológicos abundancia relativa, dominancia relativa, frecuencia relativa y valor de importancia relativa de las especies arbóreas encontradas en el área de estudio se presenta en el (Cuadro 1). El número promedio de árboles por hectárea y el área basal por especie dentro del Predio Las Bayas también se pueden observar en este cuadro. En términos generales, se puede concluir que se trata de una comunidad bastante balanceada en términos del uso de los recursos del sitio, ya que ninguna especie al parecer domina dentro de las especies. Por supuesto, que los parámetros presentados aquí, representan una situación media ya que de manera local es posible encontrar algunas especies dominando dentro de algunas parcelas.

Cuadro 1. Parámetros ecológicos de las especies arbóreas registradas en las Parcelas Permanentes de Investigación Silvícola del Predio Las Bayas inventariados en la primera medición realizada en el año de 2018.

Especie	Denr	Domr	Fr	VIR	N/ha	G/ha
<i>Pinus duranguensis</i>	14.31065	25.89659	80	13.35636	98.4	8.075294
<i>Pinus cooperii</i>	43.68819	32.39861	100	19.5652	300.4	10.10281
<i>Pinus teocote</i>	1.861547	1.582597	50	5.938238	12.8	0.493499
<i>Pinus leiophylla</i>	1.745201	1.16938	10	1.434953	12	0.364646
<i>Pinus ayacahuite</i>	3.664921	2.354311	90	10.6688	25.2	0.734141
<i>Pinus engelmannii</i>	1.04712	0.845846	10	1.321441	7.2	0.263759
<i>Juniperus sp</i>	5.061082	5.072137	100	12.23702	34.8	1.581637
<i>Cupressus sp</i>	5.817336	7.330703	20	3.683115	40	2.285922
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	2.094241	4.257037	20	2.92792	14.4	1.327465
<i>Picea chihuahuana</i>	0.34904	0.96733	10	1.257374	2.4	0.301641
<i>Abies durangensis</i>	0.8726	0.545853	20	2.379828	6	0.170213
<i>Quercus sp</i>	15.82315	15.41884	90	13.47133	108.8	4.808033
<i>Aile spp</i>	0.290867	0.12042	30	3.379032	2	0.03755
<i>Arbutus spp</i>	3.374055	2.040348	70	8.379378	23.2	0.636239
Total/Promedio	100	100	700	100	49.11429	2.227346

### 3.2. Diversidad de especies

#### a) Índice de Shannon

Los valores del índice de Shannon obtenidos para las parcelas variaron de 0.22 a 1.62. La Figura 12 muestra los valores para este índice en cada parcela, y en el futuro se pretende evaluar si la diversidad de especies dentro de las parcelas evaluadas a través de este índice se mantiene sin cambios significativos como resultado de las actividades de manejo.



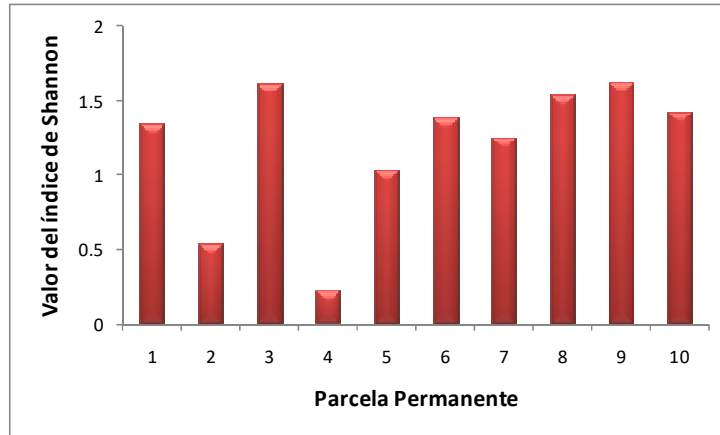


Figura 12. Histograma de frecuencias de las Parcelas Permanentes de Investigación Silvícola del Predio Las Bayas inventariados por clases de valores del índice de Shannon.

**b) Índice de Mezcla de especies de Gadow**

Los valores medios de las parcelas para este índice variaron entre 0.08 para la parcela 4 y 0.68 en la parcela 9. Así la parcela 4 corresponde a la menos diversa, en la cual los árboles se encuentran formando grupos de cinco árboles generalmente de la misma especie (*Pinus cooperii*), mientras que en la parcela 9 que es la más diversa, los grupos de árboles estructurales están representados por 3 y 4 especies diferentes. La Figura 13 muestra gráficamente los valores estimados para este índice en cada parcela.

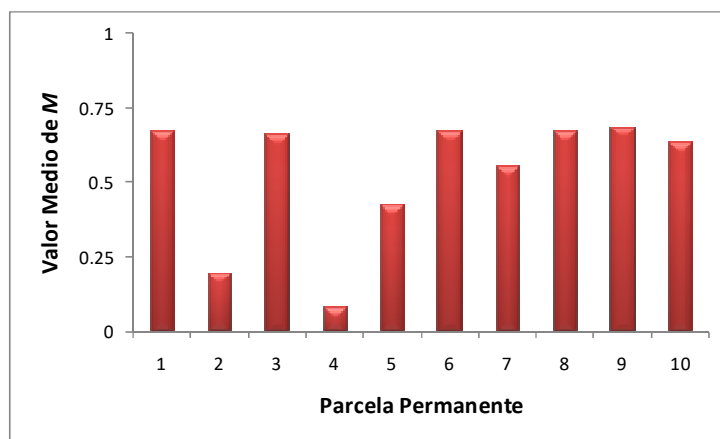


Figura 13. Valor Medio del índice de Mezcla de especies de Gadow por Parcela Permanente de Investigación Silvícola en el Predio Las Bayas.

El uso del índice de Mezcla de especies de Gadow presenta una ventaja muy importante en comparación con el índice de diversidad de Shannon, ya que es posible evaluar el grado de mezcla específica dentro de un área determinada

(Corral-Rivas *et al.*, 2005) como se muestra en la Figura 14, donde se presenta la distribución de este índice encontrada para la especie *P. cooperii* dentro de la parcela 1 (especie dominante en las parcelas). Esta gráfica muestra que esta especie tiene una gran preferencia a mezclarse, ya que se encontró que en más del 62% de su presencia esta creciendo rodeada de cuatro vecinos que pertenecen a una especie distinta a ella, en un 15% con tres y el 23 % restante con dos. Nunca se le encuentra formando grupos de con árboles de su misma especie.

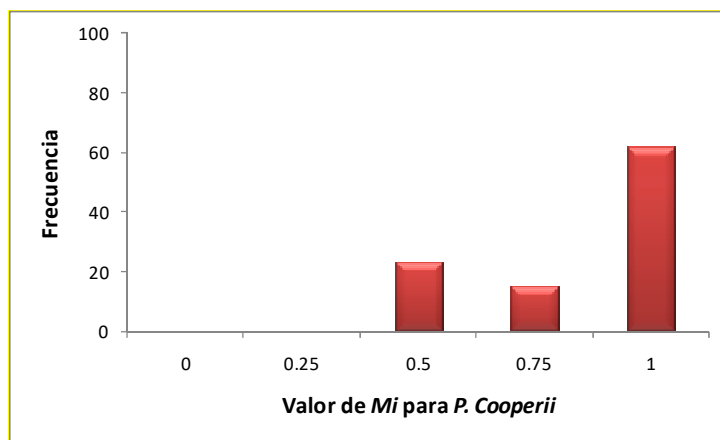


Figura 14. Histograma de frecuencias que muestra la distribución observada de los valores de este índice para la especie *P. cooperii* en la Parcela Permanentes de Investigación Silvícola número 1 del Predio Las Bayas.

### 2.3.3. Distribución espacial

#### a) Índice de uniformidad de Gadow

El índice de uniformidad de Gadow se calculo para cada parcela y los valores promedio de este índice nos indican el tipo de arreglo espacial de los árboles que crecen dentro de ella. La figura 15 muestra los valores medios estimados para este índice. De acuerdo con el trabajo de Hui y Gadow (2002), puede ser decirse que la mayoría de las parcelas presentan distribución espacial de los árboles con un patrón aleatorio, con excepción del parcela 6, donde existe un una distribución agrupada del arbolado.

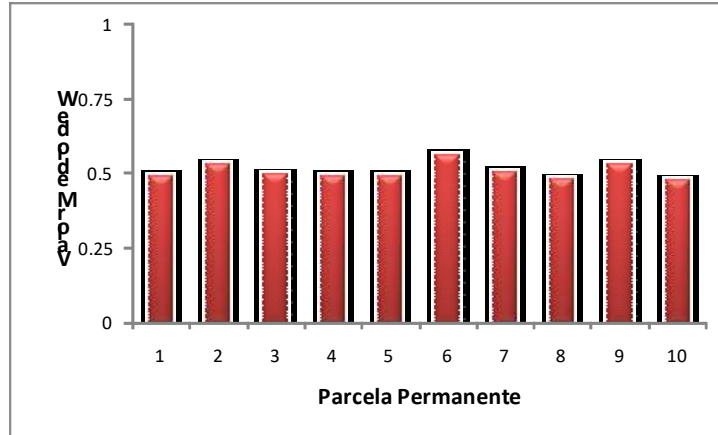


Figura 15. Valor Medio del índice de Uniformidad de Gadow por Parcela Permanente de Investigación Silvícola en el Predio Las Bayas.

**b) Índice de información direccional media de Corral-Rivas**

Los valores promedio estimados para esta nueva variable espacial variaron entre 1.63 y 2 y al igual que el índice anterior la mayoría de ellas presentan una distribución al azar (Corral-Rivas *et al.*, 2006), ya que dichos valores se encuentran dentro de los valores críticos desarrollado para una distribución aleatoria (1.6 – 2.03) en sitios con un promedio de 100 árboles.

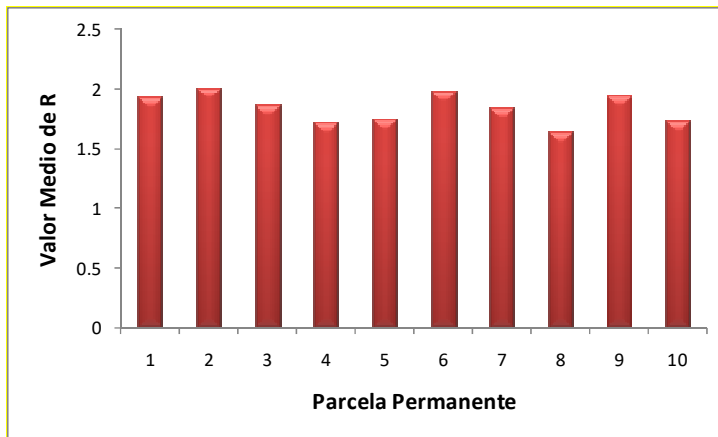


Figura 16. Valor Medio del índice de Información Direccional Media de Corral-Rivas por Parcela Permanente de Investigación Silvícola en el Predio Las Bayas.

**2.3.4. Diferenciación dimensional**

**a) Índice de diferenciación diamétrica**

Los promedios obtenidos para *TDi* tuvieron un rango de 0.52 y 0.80. Estos valores indican un grado de diferenciación en diámetro alto. La Figura 17 muestra los valores medios de este índice en para las parcelas de monitoreo y el seguimiento de

esta variable permitirá en el futuro conocer si los efectos del manejo modifican de manera significativa la estructura diamétrica de las unidades de manejo.

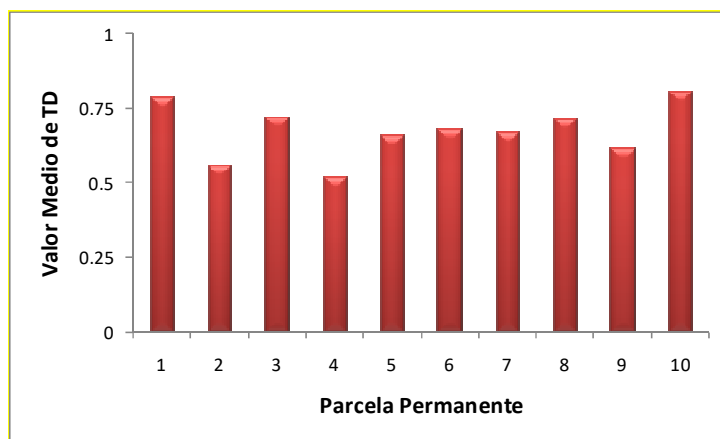


Figura 17. Valores Medios del índice de diferenciación diamétrica por Parcela Permanente de Investigación Silvícola en el Predio Las Bayas.

#### **b) Índices de diferenciación en altura**

Los promedios obtenidos para el grado de diferenciación en altura variaron entre 0.43 y 0.79. Estos valores indican un grado de diferenciación en altura alto, lo cual es una característica de los bosques mixtos e irregulares de la Sierra Madre Occidental. La Figura 18 muestra los valores medios de este índice estimados en este primer inventario donde se observa que al igual que en la variable diámetro, el grado de diferenciación en altura es alto. A través las siguientes mediciones se podrá monitorear esta variable y conocer en que medida se modifica su distribución como resultado de las operaciones de manejo.

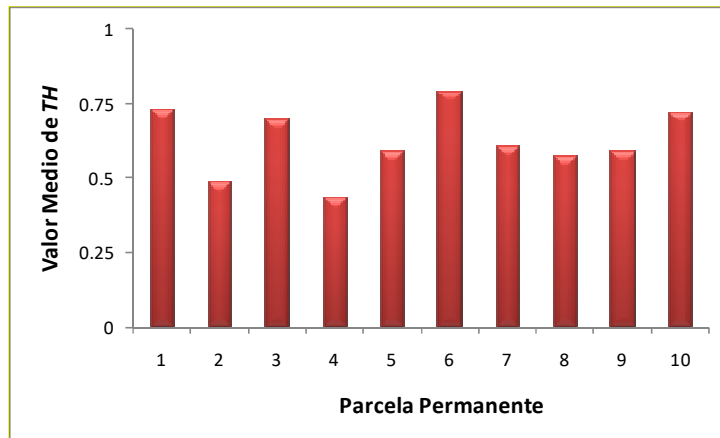


Figura 18. Valores Medios del índice del índice de diferenciación en altura por Parcela Permanente de Investigación Silvícola en el Predio Las Bayas.

**c) Índice de dominancia.**

El promedio de  $U_i$  para las parcelas inventariadas fue en su mayoría muy cercano a 0.5. Eso indica que la clase social que domina en la comunidad arbórea es la codominante. La Figura 19 muestra gráficamente los valores medios encontrados para este índice y se corrobora la dominancia de los árboles codominantes dentro de todas las parcelas de investigación (Gadow y Hui, 2002).

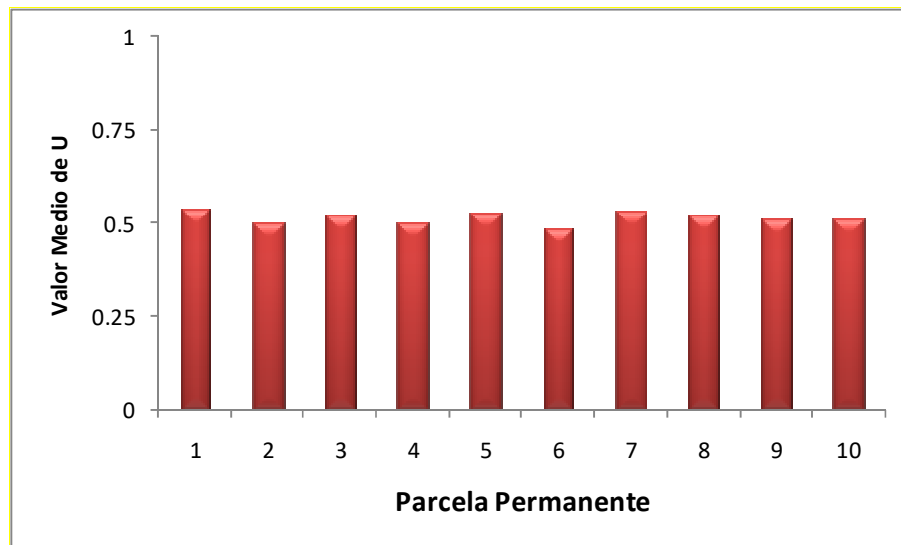


Figura 19. Valores Medios del índice de dominancia por Parcela Permanente de Investigación Silvícola en el Predio Las Bayas.

#### **4. ACTIVIDADES PROGRAMADAS**

La segunda medición se hará después haberse realizado el aprovechamiento. En el caso de que la parcela no fuese aprovechada, la segunda medición se hará dentro de cinco años. Esta segunda medición será la base inicial para los cálculos de incremento y para efectuar algunas correcciones de posibles malas anotaciones realizadas en la primera medición. Todas las mediciones siguientes deberán ejecutarse en lo posible, durante el invierno, por ser la época de reposo de los árboles de interés, posibilitando con ello la evaluación real del crecimiento anual.

Antes de la temporada de incendios se realizarán brechas corta fuegos alrededor de cada parcela, las cuales tendrán mantenimiento periódico (cada año) y su finalidad será el mantener protegidas las parcelas contra este fenómeno que representa el principal riesgo que atenta contra las parcelas.

#### **5. CONCLUSIONES Y RESULTADOS ESPERADOS**

Hasta el momento la información derivada de las Parcelas Permanentes de Investigación Silvícola del Predio Las Bayas, constituye la base más importante para obtener estimaciones confiables sobre las variables dasométricas, el crecimiento y la producción, y la condición actual y futura de la estructura de las unidades de manejo que componen dicho predio. Esta información puede ser usada igualmente para cuantificar los efectos de los distintos tratamientos silvícolas que se practican en el Predio Las Bayas.

Las variables dasométricas y los índices para la caracterización estructural estimados en este informe de trabajo permitieron describir satisfactoriamente el estrato arbóreo de las parcelas de investigación y evaluar hasta ahora la dinámica de desarrollo de los elementos principales que constituyen la diversidad estructural de las unidades de manejo.

La medición realizada en este año permitió entre otras cosas diseñar la metodología propuesta para cuantificar los efectos de los tratamientos silvícolas sobre la estructura de los rodales una vez que estos sean aplicados.

La información de las siguientes mediciones generará instrumentos que apoyarán la elaboración y gestión de planes de manejo a nivel de paisaje y rodal sobre la base de la estimación de la tasa de cosecha acorde a criterios de sustentabilidad,

considerando la condición de los ecosistemas en cuanto a composición de especies, productividad, densidad, estructura dimensional y estructura espacial en la toma de decisiones, lo que permitirá dirigir las actividades de manejo hacia objetivos y escenarios cuantificables

Para el monitoreo puntual sobre los atributos de los Bosques con Alto Valor de Conservación (BAVC) se usa la información de la parcela de Monitoreo Número 5, ubicada en el Paraje La Tecolota, con ubicación en 516402 y 2590798 en coordenadas UTM. Para la cual se definen los atributos de estructura, composición, valore de importancia e índices de biodiversidad tal y como se explican en los apartados anteriores.

(SE ANEXA LA BASE DE DATOS DE LA SEGUNDA REMEDICIÓN REALIZADA EN NOVIEMBRE DEL 2018, EN LA CUAL SE MUESTRA LA ESTRUCTURA Y LAS VARIABLES Y ATRIBUTOS MEDIBLES).

## 6. LITERATURA CITADA

- Aguirre, O., G. Hui., K. Gadow., Jiménez, J. 2003. An analysis of spatial forest structure using neighbourhood-based variables. *Forest Ecology and Management* 183: 137-145.
- Aguirre, O., H. Kramer. y Jiménez, J. 1998. Strukturuntersuchungen in einen Kiefern-Durchforstungsversuch Nordmexikos. *Allgemeine Forst-und Jagdzeitung* 168 (12): 213-219.
- Albert, M. 1999. Analyse der eingriffsbedingten Strukturveränderung und Durchforstungsmodellierung in Mischbeständen. PhD Diss., Faculty of Forest Sciences, Univ. Göttingen, Germany. Hainholz Verlag.
- Assmann, E. 1970. *The principles of Forest Yield Study*. Pergamon Press, Oxford, New York, 506 pp.
- Bailey, R.L., Clutter, J.L. 1974. Base-age invariant polymorphic site curves. *For. Sci.* 20: 155-159.
- Bailey, D., J.C. Tappeiner. 1998. Effects of thinning on structural development in 40- to 100-year-old Douglas-fir stands in western Oregon. *For. Ecol. Manage.* 108: 99–113.
- Brokaw, N.V.L., R.A. Lent. 1999. Vertical structure in Maintaining biodiversity in forest ecosystems, Hunter, M.L., Jr. (ed.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom. p: 373–399.
- Buongiorno, J., S.H. Dari; C. Lu., Lin. 1994. Tree size diversity and economic returns in uneven-aged forest stands. *For. Sci.* 40(1): 83–103.
- Canham, C.D., A.C. Finzi., S.W. Pacala., Burbank, D.H. 1994. Causes and consequences of resource heterogeneity in forests: Interspecific variation in light transmission by canopy trees. *Can. J. For. Res.* 24: 337–349.
- Clark, P., Evans, F.C. 1954. Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationships. *Ecology* 35(4): 445-453.



- Cieszewski, C.J., Bailey, R.L. 2000. Generalized Algebraic Difference Approach: Theory based derivation of dynamic site equations with polymorphism and variable asymptotes. *For. Sci.* 46: 116-126.
- Corral-Rivas, J., D. Stoyan., A. Pommerening., Gadow, y K.v. 2006b. An analysis of two directional indices for characterizing the spatial distribution of forest trees. *Scandinavian Journal of Forest Research*. En prensa
- Corral-Rivas, J., Aguirre, O.A., Jiménez, J., Návar, Ch.J. 2002. Muestreo de diversidad y observaciones ecológicas del estrato arbóreo del Bosque mesófilo de montaña «El Cielo», Tamaulipas, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 8(2): 125-131.
- Corral-Rivas, J., O. Aguirre., J. Jiménez y S. Corral. 2005. Un análisis del Efecto del Aprovechamiento Forestal Sobre la diversidad Estructural en el Bosque Mesófilo de Montaña “El Cielo”, Tamaulipas, México. *Investigaciones Agrarias. Sistemas de Recursos Forestales*. Vol. 14 N° 2: 217-228.
- Corral-Rivas, J.J., Bretado, B.J., Fernández, S.F. 2006a. Un método para el monitoreo permanente del manejo forestal en los bosques mixtos e irregulares de México. En preparación.
- Del Río, M., F. Montes., I. Cañelas. y G. Montero. 2003. Revisión: Índices de Diversidad Estructural en las Masas Forestales. *Investigaciones Agrarias. Sistemas de Recursos Forestales*. Vol. 12 (1): 159-176.
- Emborg, J. 1998. Understorey light conditions and regeneration with respect to the structural dynamics of a near-natural temperate deciduous forest in Denmark. *For. Ecol. Manage.* 106: 83–95.
- Ferrari, J.B. 1999. Fine-scale patterns of leaf litterfall and nitrogen cycling in an old-growth forest. *Can. J. For. Res.* 29: 91–302.
- Fülde, K. 1995. Zur Strukturbeschreibung in Mischbeständen. *Forstarchiv* 66, pag., 149-161.
- Gadow, K.v. 1993. Zur Bestandesbeschreibung in der Forsteinrichtung. *Forst und Holz* 21: 601-606.

- Gadow, K.v.; P. Real y J.G Alvarez. 2001. Modelización del crecimiento y la evolución de los bosques. IUFRO World Series. Vol. 12, 242 p.
- Gadow, K.v., G. Hui., y M. Albert. 1998. Das Winkelmaß - ein Strukturparameter zur Beschreibung der Individualverteilung in Waldbeständen. Centralblatt für das gesamte Forstwesen 115(1): 1-9.
- Gadow, K.v.; Rojo, A.; Álvarez González, J.G.; Rodríguez, R. 1999. Ensayos de crecimiento. Parcelas permanentes, temporales y de intervalo. Invest. Agr.: Sist. Recur. For. Fuera de Serie nº 1:299-310.
- García, O. (1988). Growth modelling – a (re)view. N. Z. For. 33(3):14-17.
- Graves, H.S. 1906. Forest mensuration. New York, Wiley. 458 p.
- Hui, G. y K.v. Gadow. 2002. Das Winkelmaß. Herteilung des Optimalen Standarwinkels. Allgemeine Forst u Jagdzeitung 10:173-177.
- Kint, V., M. Van., N. Lieven., G. Geudens. y N. Lust. 2003 Spatial methods for quantifying forest stand structure development: a comparison between nearest-neighbor indices and variogram analysis. Forest Science (49): 36-49.
- Kraft, G. 1884. Beiträge zur Lehre von den Durchforstungen, Schlagstellungen und Lichtungshieben. Verlag Keindworth, Hannover, 147 p.
- Magurran, A.E. 1988. Ecological diversity and its measurement. Princeton University Press, 200 p.
- Manzanilla, B. H. 1980. Los sitios permanentes de investigación silvícola del INIF. Inédito. SARH-NIFAP. México 68 p.
- Pretsch, H. 1995. Zum Einfluss des Baumverteilungsmusters auf den Bestandeszuwachs. Allg. Forst Jagdztg. 166:190–201.
- Pretsch, H., 1996. Strukturvielfalt als Ergebnis waldbaulichen Handels Allgemeine Forst-und Jagdzeitung. Vol. 67, (11): 213-221.
- Pretsch, H., 1998. Structural diversity as a result of sil-vicultural operations. Lesnictví-Forestry 44(10): 429-439.
- Ripley, B.D. 1979. Tests of 'randomness' for spatial point patterns. J. R. Stat. Soc. B. 41: 368–374.

- Shannon, C.E. 1949. The mathematical theory of communication. En C.E. Shann; W. Weaver (Ed): The mathematical theory of comunication urbana, Univ. Of Illinois Press 3-91.
- Solomon, D.S. 1979. Permanent plots in forestry research. Pp. 327-332 in Frayer, W.E. (ed), Forest resource inventories, Vol. 1. Fort Collins, Society of American Foresters, Colorado State University. 513 p.
- Spies, T.A. 1998. Forest structure: a key to the ecosystem. Northwest Sci. 72(2): 34–39.
- Upton, G. y B. Fingleton, B. 1985. Spatial Data Analysis by Example. Vol. 2: Categorical and Directional Data. John Wiley & Sons. 416 p.
- Williams, D.S. 1991. Forest composition changes over 25 years on Pureora Mountain. Rotorua Botanical Society Newsletter 22: 15-20.