

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN ECOSISTEMA FORESTAL DE *Pinus* - *Quercus* EN LA SIERRA MADRE ORIENTAL

Luis Mario Torres Espinosa¹, José Alfredo Sánchez Salas¹
y Javier Jiménez Pérez²

RESUMEN

Se presenta una metodología que combina la medición global del bosque y el análisis muestral. La información de la medición total de la población se utilizó para determinar la abundancia (N/ha) y la dominancia ($G_{1,3}$ /ha) de las especies arbóreas. Se definió la frecuencia de las especies, así como el índice de diferenciación diamétrica (TD) y de altura (TH) y el índice de mezcla de especies (DM). La altura de especies arbóreas se usó para evaluar el índice de distribución vertical. Los resultados indican que *Pinus pseudostrobus* tiene mayor presencia en el ecosistema pino-encino, seguido de *Quercus rysophylla* y *Juniperus flaccida*. De acuerdo con el índice de mezcla de especies, este ecosistema es un bosque irregular, dado que más de 50% de la población crece con individuos de otras especies. El índice de distribución vertical de especies describe la existencia de 11 especies arbóreas en tres estratos de acuerdo a la altura, *Pinus pseudostrobus* destaca por estar presente en los tres estratos definidos y en mayor proporción. La diferenciación dimensional, tanto en diámetro como en altura de los árboles-cero y sus vecinos más cercanos definen que 70% de la población del bosque de pino-encino tiene una baja diferenciación diamétrica y de altura.

Palabras clave: Abundancia, bosque de *Pinus-Quercus*, dominancia, estructura horizontal, estructura vertical, frecuencia.

Fecha de recepción: 21 de octubre de 2005.

Fecha de aceptación: 30 de octubre de 2006.

¹ Campo Experimental Saltillo, Centro de Investigación Regional Noreste, INIFAP. Correo-e: torres.luis@inifap.gob.mx.

² Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León.

ABSTRACT

The present methodology is a combination of the global measurement of the forest and the sampling analysis; the data of the total measurement of the population was used to determine the abundance (N/ha) and the dominance ($G_{1.3}$ /ha) of the arboreal individual species. The frequency of the different tree species was defined through the sampling unit, as well as the index of the diametric differentiation (TD), height (TH) and the mixture of species (DM). The height of the tree species was used to assess the index of vertical distribution. Results show that *Pinus pseudostrabus* is the species with greater presence in the pine-oak ecosystem; followed by *Quercus rysophylla* and *Juniperus flaccida*. According to the mingling index of species, this ecosystem has an irregular forest form since more than 50 percent of the population grows close to some others species. The vertical distribution index of species describes the presence of 11 tree species distributed in three strata according to the height in the pine-oak ecosystem, being *Pinus pseudostrabus* the most outstanding, as it is found in three defined strata and in a greater proportion. The dimensional differentiation in diameter as well as in height of the zero trees and their closest neighbors in the pine-oak forest indicate that 70 per cent of the population shows a slight difference in both dimensions.

Key Words: Abundance, *Pinus-Quercus* forest, dominance, horizontal structure, vertical structure, frequency.

INTRODUCCIÓN

Jiménez *et al.* (1998) definieron estructura como el ordenamiento específico de elementos dentro de un sistema. Una estructura arbórea se refiere a la distribución de las características individuales dentro de un área forestal; la del nivel del ecosistema se establece básicamente por el tipo, número y ordenamiento espacio-temporal de los elementos que lo constituyen (Aguirre, 2002).

Los bosques multicohortales (diferentes alturas, edades, especies y estratos) de *Pinus-Quercus* se distribuyen ampliamente a lo largo de la Sierra Madre Oriental y constituyen uno de los dos tipos de vegetación forestal más importantes de México desde el punto de vista económico. Estas asociaciones ocupan una extensión de 27.5 millones de ha en las zonas de clima templado y frío, de las cuales procede 90% del aprovechamiento forestal (Jiménez y Kramer, 1991, 1992). Una de las principales actividades de la población rural en el sur del estado de Nuevo León es la explotación maderable, donde 95% de la madera derribada proviene de diferentes especies de este tipo de bosque (Wolf *et al.*, 1986).

Los ecosistemas en cuestión se caracterizan por tener variada estructura de especies, debido a que dependen, entre otros factores, del origen y desarrollo

de sus componentes. Su manejo requiere de conocimientos sobre el efecto de las prácticas silvícolas en su conformación, así como de instrumentos cuantitativos para el monitoreo de su condición actual.

Aguirre *et al.* (1998) consignan que la generación de esquemas de gestión de los recursos forestales en ecosistemas multicohortales es de particular importancia porque representan los escenarios deseables a futuro en muchas regiones. Deberán considerarse, entonces, índices de medición (*TD, TH, DM, E, Mi*), así como variables dasométricas convencionales (diámetro, altura, volumen, área basal, edad, etc.) que definan la estructura de forma cuantitativa. El reto del manejo forestal consiste en obtener nuevos indicadores de sustentabilidad a partir de tales variables (Jiménez *et al.*, 1998; Aguirre, 2002).

Müller-Using (1994) hizo una selección de bosques de encino, típicos de la Sierra Madre Oriental y llevó a cabo la caracterización y esquematización de su estructura por medio de perfiles de vegetación; a partir de ello, resultaron diferencias con respecto a la composición de especies arbóreas, las cuales se atribuyen, principalmente, a la distribución altitudinal de cada especie. Lo anterior hizo posible identificar tres cinturones de bosques en dicha formación orográfica, que corresponde a la zona baja submontana, la submontana superior y el cinturón montano de bosques de encino.

En la actualidad las grandes áreas forestales de Europa central son manejadas con nuevos propósitos, para los que se requieren nuevos métodos cuantitativos que describan la estructura de los rodales, además de estudios de rendimiento tradicional que apoyen la toma de decisiones de procesos para la planeación de ecosistemas forestales multifuncionales (Albert *et al.*, 1995).

Los tres elementos que destacan los atributos estructurales de una comunidad vegetal son la diversidad de especies, la diferenciación dimensional y la distribución espacial, mismos que son relevantes en el manejo forestal (Jiménez *et al.*, 1998). Gadow (1999) menciona que las variables expresadas para describirlos dentro de un tipo de vegetación pueden ser utilizadas para detallar cambios integrales de los bosques derivados de actividades silvícolas, para medir sus diferencias en tiempo y espacio, así como para analizar las estructuras arbóreas observadas y las esperadas.

Recientemente Gadow y Földner (1992) desarrollaron índices estructurales que pueden determinarse para la totalidad de los individuos de un ecosistema, así como para una especie dada o una clase dimensional establecida, lo que los hace sumamente útiles y versátiles (Albert *et al.*, 1995); sin embargo no han sido aplicados en México. Existen otros índices como de equitatividad (*E*) (Nagel, 1994), perfil de especies (*A*) (Pretzsch, 1996), y el índice de mezcla de especies (*Mi*) (Földner y Gadow, 1994). Los que describen la estructura horizontal del ecosistema son el de agregación (*R*) (Clark y Evans, 1954) y el de distancia entre

árboles (D_i) (Pommerening, 1997). Finalmente, para la caracterización de la estructura dimensional se usa el coeficiente de homogeneidad (H) (De Camino, 1976) además de los índices de diferenciación diamétrica (TD) y de diferenciación en altura (TH) (Aguirre *et al.*, 1998).

La abundancia, la dominancia y la frecuencia de las especies arbóreas en la comunidad se utilizan como una medida de su valor de importancia relativa (Mueller-Dombois y Ellenberg, 1974). Estos valores pueden ser calculados, igualmente, para clases por categorías de altura (Lamprecht, 1990). Por su parte Pretzsch (1996) consigna que para los bosques en Alemania, se puede hacer una división en tres zonas de altura, que corresponde al esquema europeo, donde los árboles dominantes se ubican en la zona I, los codominantes en la zona II y los dominados en la zona III.

Las parcelas circulares de muestreo reúnen información valiosa para el análisis de la estructura de las especies. A partir del registro de la ubicación de los árboles dentro de ellos pueden derivarse algunos índices dependientes de la distancia. En este caso se presenta el problema de definir las relaciones de vecindad de los árboles cercanos al límite del sitio (Nagel, 1994; Pommerening, 1997).

Algunas alternativas para obtener índices estructurales la constituye el procedimiento de inventario denominado "grupos estructurales de cuatro árboles" (Füldner, 1995; Pommerening, 1997; Jiménez *et al.*, 1998), y el procedimiento sistemático de inventario en el que los sitios de muestreo se ubican conformando una red a distancia (Füldner, 1995) a partir de un punto inicial aleatorio, esquema de inventario que es particularmente adecuado para los ecosistemas forestales. El árbol más próximo a los puntos de intersección de la red se designa árbol-cero y con base en éste, se determina la distancia de los tres árboles más cercanos.

En este trabajo se planteó como objetivo presentar una nueva metodología para la descripción estructural de ecosistemas forestales mixtos de pino-encino.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

Se realizó una evaluación de la estructura de un bosque mixto de pino-encino en un sitio con exposición norte, ubicado en una fracción de la Sierra Madre Oriental al sur de Iturbide, Nuevo León, México, en 1999, situado en la latitud $24^{\circ} 42' 23''$ norte y longitud $99^{\circ} 51' 39''$ oeste, con un área de 1035 ha y un intervalo altitudinal de 1250 a 1900 m. En el sitio predomina un clima seco del tipo $Bs_1 hw$, con precipitaciones bajas que oscilan alrededor de los 600 mm al año y temperaturas entre los 14 y $18^{\circ}C$, que tiende a ser alta en el verano (Woerner, 1990).

Medición global

Se llevó a cabo una medición total de los árboles en una superficie de 2.18 ha (medición global); para cada individuo se determinó especie, posición (con respecto al norte), diámetro a 1.3 m de la base, la altura total y la altura de fuste limpio fue medida con pistola Haga, el diámetro de copa, en función de la proyección vertical de la copa (m^2), y la edad sólo para *Pinus pseudostrobus*, mediante el conteo de anillos de crecimiento. Partiendo de un punto inicial al azar, se ubicaron 54 sitios de muestreo en una red de puntos, con una equidistancia entre ellos de 20 m. En la Figura 1, los puntos representan los árboles muestreados.

Análisis muestral

Para estimar los diversos parámetros estructurales se utilizó el muestreo denominado Grupo Estructural de los Cuatro Árboles (Füldner, 1995) (Figura 2). El árbol más próximo a los puntos de intersección de la red sirvió como árbol-muestra o árbol-cero y a partir de éste, se midió la distancia de los tres individuos más cercanos. Los datos obtenidos fueron: número de individuos (n/ha), altura total en m (h), diámetro a la altura del pecho en cm ($d_{1.3}$), área basal en m^2/ha ($g_{1.3}$) y coeficiente de estabilidad ($h/d_{1.3}$).

Estimación de parámetros estructurales básicos

Con base en la medición global anterior de todos los árboles en 2.18 ha se obtuvo la abundancia (A_i), que equivale al número de individuos/ha, y la dominancia (D_i), que consistió en el área basal de los individuos presentes. Para evaluar la frecuencia se usó la información recabada en los sitios de muestreo relativa a: especies presentes dentro de estos, distancia promedio (E), número de individuos (n/ha), área basal por hectárea ($g_{1.3}/ha$) y diámetro medio del área basal (dg).

Para la estimación de estos parámetros básicos se utilizaron las siguientes relaciones:

- a) Abundancia (A_i) expresada como la cantidad de individuos/h de la especie i

$$A_i = \frac{n}{Area} ; \quad A_i \text{ rel} = \frac{n}{N} * 100$$

Donde:

n = número de individuos de la especie i

N = número total de individuos

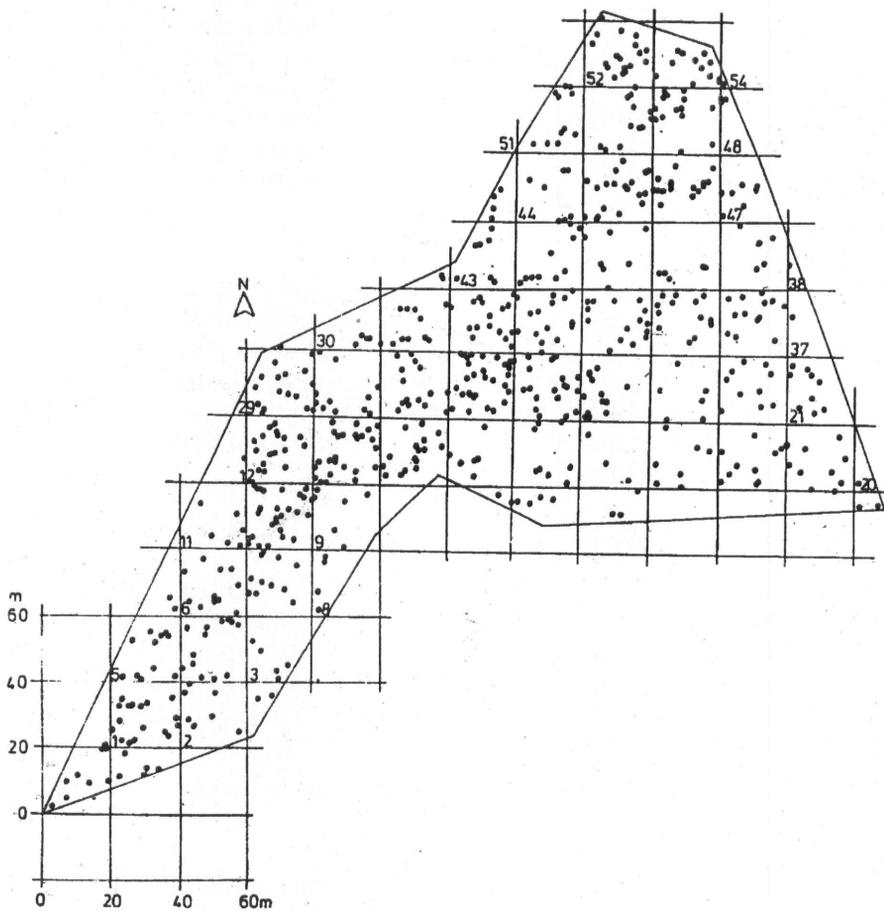


Figura 1. Mapa del sitio de la parcela experimental.

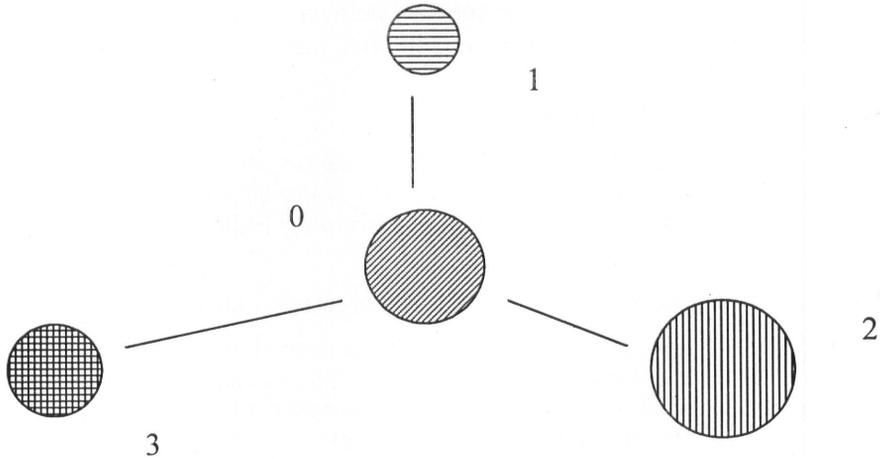


Figura 2. Grupo estructural de los cuatro árboles.

b) Dominancia (D_i) entendida como el área basal por hectárea de la i esima especie:

$$D_i = \frac{g}{Area} ; \quad D_i \text{ rel} = \frac{g}{G} * 100$$

Donde:

g = área basal de la especie i

G = área basal total

A partir de los datos del grupo estructural de los cuatro árboles se determinó la frecuencia y los principales atributos dasométricos mediante el procedimiento empleado por Kramer y Akça (1995).

c) Frecuencia: porcentaje de sitios de muestreo, donde la especie (i) se presenta:

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

Donde:

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

M = número total de muestreos

Los resultados obtenidos de abundancia y dominancia en la medición global se compararon con los de los sitios de muestreo.

Diferenciación dimensional

La diferenciación de los individuos vecinos es un atributo ecológico de los ecosistemas forestales. Para evaluar esta relación se utiliza la variable diferenciación dimensional introducida por Gadow y Földner (1995).

d) Índice porcentual de mezcla de especies arbóreas (\overline{DM})

El índice de mezcla de especies describe la estructura del ecosistema, que tiene como base las relaciones próximas entre las especies para determinar la relación existente en el muestreo estructural; se define en qué proporción de los tres individuos vecinos pertenece la especie objeto.

Este término fue descrito por Földner (1995), para el desarrollo de su muestreo estructural cuatro. Los sitios de muestreo pueden alcanzar como resultado (\overline{DM}) cuatro categorías:

- 0.00 = todos los individuos pertenecen a la misma especie;
- 0.33 = un individuo pertenece a otra especie;
- 0.67 = dos de tres individuos pertenecen a otra especie;
- 1.00 = los tres individuos pertenecen a distintas especies.

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

Donde:

V_{ij} toma un valor de 0 cuando el vecino j -ésimo pertenece a la misma especie del árbol objeto i , de lo contrario tiene un valor 1.

V = presencia de un árbol de la misma especie

i = especie del árbol objeto

ij = identifica al árbol vecino

n = sitio de muestreo

e) Índice de distribución vertical de especies (*A*)

Este índice cuantifica la diversidad de especies y su ocupación en espacio vertical dentro de la población. Con lo descrito se estimó la proporción de las especies de acuerdo a las zonas de altura de Pretzsch (1996). El índice *A* se calculó con la siguiente fórmula:

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

Donde:

S = número de especies presentes

Z = número de zonas de altura

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

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

N = número total de individuos

Ln = logaritmo natural

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

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

Los índices de distribución de especies se interpretan de acuerdo a la metodología de Lamprecht (1986), Nagel (1994) y Pretzsch (1996), quienes la interpretan en tres zonas de altura: el estrato I: comprende de 80% hasta 100% de la altura máxima del rodal; el estrato II: 50% hasta 80% y el estrato III: de 0 a 50%. Posteriormente se dividió en número de individuos (valores absolutos y relativos), donde se consideró a las especies y a los estratos. Junto a los datos de la población se presentó la información obtenida en los sitios de muestreo.

f) Índice de diferenciación diamétrica (*TD*)

Con fundamento en lo anterior, la diferenciación diamétrica se define como *TD*,

que resulta ser la relación entre el diámetro a la altura de pecho ($d_{1.3}$) para un árbol dado i ($i = 1 \dots l$) y n vecinos cercanos j ($j = 1 \dots n$) y se define por el cociente entre una variable dimensional del árbol más pequeño y la del árbol mayor, sustraído de 1 (Füldner y Gadow, 1994; Albert *et al.*, 1995).

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

Donde:

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

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

$$\overline{TD}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n r_{ij}$$

El índice de diferenciación diamétrica promedio en un ecosistema forestal se expresa entonces por:

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

Donde:

N = número de árboles en la unidad de muestreo

El intervalo de los valores posibles de TD abarca de 0 a menos de 1 y un valor menor a 1. Un valor de $TD = 0$ significa que el diámetro de ambos individuos vecinos es igual; para $TD = 0.1$ el diámetro del árbol más pequeño es 10% menor que el de más grosor.

g) Índice de diferenciación en altura (TH)

De manera análoga al índice de diferenciación diamétrica (TD), se determinó la variable diferenciación en altura TH , con base en los datos del árbol cero y su vecino más cercano (Aguirre *et al.*, 1997, 1998).

Este índice se define por la siguiente relación:

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

El índice de diferenciación en altura promedio se expresa entonces por:

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

Donde:

N = número de árboles en la unidad de muestreo

RESULTADOS

Composición y estructura forestal

El bosque mixto-incoetáneo está constituido por *Pinus pseudostrobus* Lindl, *Juniperus flaccida* Schlecht., *Quercus rysophylla* Weath, *Q. canbyi* Trel, *Q. laceyi* Small, *Q. polymorpha* Cham & Schldl., *Arbutus xalapensis* (Kunth), *Juglans mollis* Engelm., *Cercis canadensis* L., *Prunus serotina* Ehrh y *Rhus virens* Lindheimer & Gray. (Cuadro 1). La especie con mayor presencia es *P. pseudostrobus*, cuyos individuos portan fustes bien conformados y copas pequeñas.

El Cuadro 1 reúne los datos importantes de la población, disociados de acuerdo a las especies arbóreas. Se observa claramente que el número de individuos es una variable cuantitativa que de forma aislada no logra dilucidar explícitamente sobre la densidad y el porcentaje de las especies arbóreas. Así, *P. pseudostrobus* exhibe 57% del total de individuos de la población, mientras que su diámetro promedio ($d_{1.3}$) es de 26.1 cm, es decir, 72% del área basal total. Con las demás especies es el área basal (rel. g/ha) menor que el número de individuos (rel. N/ha). Por ejemplo, *Arbutus xalapensis* con un diámetro medio de 14 cm, un número porcentual de 5.7% de individuos, logra, sin embargo, un área basal de 1.9%.

Quercus rysophylla y *Juniperus flaccida* son las especies de mayor importancia después de *P. pseudostrobus*, dado que conforman 18.8 y 9.7% del total de la población, y 9 y 7.2% del área basal total. *Q. canbyi* y *Q. laceyi* tienen una representatividad muy similar dentro del rodal, de 7.4 y 6.7% del total de

Cuadro 1. Parámetros cuantitativos del bosque multicortal.

Especie	Abundancia N/ha		Dominancia G7ha (m ²)		Altura (m)			Diámetro _{1,3} (cm)			Alt/diam				
	Abs	Rel	Abs	Rel	\bar{h}	S _h	S _h %	min	max	$\bar{d}_{1,3}$		S _d	S _d %	min	max
Total	297	100.0	14.8	100.0	10.9	4.3	39	3.4	24.0	22.9	10.5	46	4.8	56.0	0.48
<i>Pinus pseudostrabus</i>	169	56.7	10.7	72.4	12.9	4.2	33	4.1	24.0	26.1	11.3	43	4.8	56.0	0.49
<i>Juniperus flaccida</i>	29	9.7	1.07	7.2	8.8	5.9	67	4.8	16.3	20.0	7.1	36	6.9	38.0	0.44
<i>Quercus rysophylla</i>	38	18.8	1.33	9.0	8.7	2.9	33	4.0	18.5	19.7	7.6	39	10.0	43.0	0.44
<i>Quercus canbyi</i>	22	7.4	0.67	4.5	8.7	2.6	30	4.5	15.9	18.2	7.4	41	5.8	52.0	0.47
<i>Quercus laceyi</i>	20	6.7	0.69	4.7	9.2	3.1	34	4.6	15.9	19.7	7.1	36	6.9	37.8	0.47
<i>Arbutus xalapensis</i>	17	5.7	0.28	1.9	5.6	1.2	21	3.4	9.6	14.1	2.9	21	9.0	22.0	0.40
Resto de especies*	3	1.0	0.05	0.3	9.5	2.3	24	6.3	12.0	17.0	3.0	18	13.5	22.0	0.56

* *Quercus polymorpha*, *Juglans mollis*, *Cercis canadensis*, *Prunus serotina* y *Rhus virens*.

individuos de la población, así como de 4.5 y 4.7% del área basal total, respectivamente. El resto de las especies son de baja densidad.

El intervalo de variación de la altura y el diámetro de la población, así como el coeficiente de variación ($S_h\% = 39$, $S_d\% = 46$) muestran una gran heterogeneidad en el rodal, pero los resultados no señalan si existe una acentuada diferenciación dimensional de las especies.

Esta variación está presente en la mayoría de ellas; así, por ejemplo, *P. pseudostrobus* tiene un $S_h\% = 33$ y $S_d\% = 43$. Para efectuar una comparación entre estos resultados de heterogeneidad se analizó la información de un rodal homogéneo, ubicado en la Sierra Madre Occidental, con una edad promedio de 50 años, donde las especies son *Pinus cooperi* Blanco y *Pinus leiophylla* Schiede & Deppe; el área sin aclareo $S_h\% = 13$ y $S_d\% = 24$, área con fuerte aclareo $S_h\% = 9$ y $S_d\% = 20$ (Aguirre *et al.*, 1998). El valor bajo de h/d en la mayoría de las especies arbóreas puede obedecer a que los rodales están expuestos a una fuerte incidencia de luz.

Análisis de abundancia, dominancia y frecuencia de las especies arbóreas

En el Cuadro 2 se muestran los valores absolutos y relativos de abundancia, dominancia y frecuencia de las especies arbóreas. Los valores obtenidos de los sitios de muestreo, comparados con la medición total de la población, manifiestan variaciones porcentuales de los valores de abundancia y dominancia, positivas y negativas.

Dentro del ecosistema, estos mismos parámetros varían de forma sustancial, a partir de los valores de los sitios de muestreo (+14% N/ha y +33% G/ha). Estas diferencias son más fuertes en la mayoría de las especies, las cuales subestiman el número de individuos y el área basal de cada una de ellas, con excepción de *P. pseudostrobus* que tiene porcentajes muy similares en valores absolutos y relativos de la abundancia (+08 y -05%, respectivamente); aquí destaca el valor relativo de dominancia, que es idéntico al de la medición total de la población. La discrepancia entre los resultados de los sitios de muestreo y la medición total puede disminuir si se agrupan las especies y se utilizan valores relativos, como por ejemplo con *Quercus* que alcanza porcentajes de abundancia de +03% y de dominancia de +12%.

En cuanto a la frecuencia, *Pinus pseudostrobus* resulta ser la de mayor importancia, ya que ocurre en 89% de los sitios de muestreo, posteriormente *Juniperus flaccida* y *Quercus rysophylla* están presentes en 35% de los sitios.

Cuadro 2. Análisis de abundancia, dominancia y frecuencia de las especies que corresponden a los sitios de muestreo, en comparación con la medición total de la población.

Especie	Abundancia (N/ha)		Dominancia (A.B. = m ² /ha)		Frecuencia
	Abs	Rel	Abs	Rel	Rel
<i>Pinus pseudostrobus</i>	183 (+08)	53.8 (-05)	13.53 (+26)	72.2 (0)	89
<i>Juniperus flaccida</i>	44 (+51)	12.9 (+33)	1.00 (-07)	5.3 (-26)	35
<i>Quercus rysophylla</i>	56 (+47)	16.5 (-49)	2.16 (+62)	11.5 (+28)	35
<i>Quercus canbyi</i>	13 (-41)	3.8 (-49)	0.15 (-78)	0.8 (-72)	17
<i>Quercus laceyi</i>	25 (+25)	74 (+10)	1.50 (+117)	8.0 (+70)	15
Suma (<i>Quercus</i>)	94 (+118)	27.7 (+03)	3.81 (+42)	20.3 (+12)	67
<i>Arbutus xalapensis</i>	13 (-24)	3.8 (-33)	0.25 (-11)	1.3 (-32)	20
Otras especies	6 (+100)	1.8 (+80)	0.16 (+220)	0.9 (+200)	2
Total	340 (+14)	100	18.75 (+33)	100	

Diferenciación dimensional

Índice porcentual de mezcla de especies arbóreas (\overline{DM}).- En el Cuadro 3 se detecta que sólo 20.4% de la población convive con individuos de la misma

especie y 79.6% crece, por lo menos, con uno de otra especie, lo que significa que es bosque irregular, en el que la mayoría se desarrolla junto a ejemplares de otras especies. Es común que *Pinus pseudostrobus* crezca alrededor de miembros de la misma especie, y sólo 17.2% con individuos de especies diferentes.

Cuadro 3. Índice de mezcla de especies (\overline{DM}).

Especie	\overline{DM}				Total
	0.00	0.33	0.67	1.00	
<i>Pinus pseudostrobus</i>	27.7	37.9	17.2	17.2	100
<i>Juniperus flaccida</i>	0.0	42.8	0.0	57.2	100
<i>Quercus rysophylla</i>	11.1	11.1	44.5	33.3	100
<i>Quercus canbyi</i>	50.0	0.0	0.0	50.0	100
<i>Quercus laceyi</i>	25.0	25.0	0.0	50.0	100
<i>Arbutus xalapensis</i>	0.0	0.0	50.0	50.0	100
Otras especies	0.0	0.0		100	100
Total	20.4	27.8	18.5	33.3	100

0.00 = todos los individuos del muestreo son de la misma especie; 0.33 = uno de los vecinos del árbol cero pertenece a otra especie; 0.67 = dos de los tres vecinos son de una especie distinta; 1.00 = los tres vecinos del árbol cero corresponden a una especie distinta.

Juniperus flaccida y *Quercus rysophylla*, por lo general, se ubican junto a otras especies y 50% de los individuos de *Quercus canbyi* se desarrollan rodeados de individuos de la misma especie.

De los resultados obtenidos del índice porcentual de mezcla de especies arbóreas (\overline{DM}) no se logra aclarar ninguna diferenciación sobre cuál especie es el árbol-muestra y cuál es su vecino más cercano, por lo que se elaboró la Figura 3. En ella se observa que 62% de *P. pseudostrobus* tiene como primer vecino a un pino igual, y 17% tiene como árbol próximo a *Quercus rysophylla*. Con excepción de *Q. canbyi*, todas las especies tienen como árbol más cercano a *P. pseudostrobus*. 50% de *Q. rysophylla*, *Q. canbyi* y *Q. laceyi* tienen como primer vecino a individuos de la misma especie. *Arbutus xalapensis* no coexiste con sus semejantes.

Índice de distribución vertical de especies

En el Cuadro 4 se presenta la proporción de las especies de acuerdo a las diferentes zonas de altura. La distribución vertical de los árboles en esta población demuestra que sólo 4.2% del área basal de todos los individuos se ubican en el estrato I, 34.4% corresponde al estrato II y 61.4% se sitúa en el estrato III. La especie principal, *Pinus pseudostrobus* crece, por lo general en todos los estratos: 100% en el estrato superior, 85.8% en el estrato medio y 37% en el estrato inferior; este pino es predominante en cada estrato.

Las distintas especies de *Quercus* junto con *Juniperus flaccida* se ubican de manera mínima en la zona II y en mayor proporción en la zona III; *Quercus rysophylla* es la especie de mayor ocurrencia, después de *P. pseudostrobus* en el estrato III, con 18.1%, seguida de *Juniperus flaccida* y *Q. canbyi* con 14.6% y 10.8%, respectivamente.

Al comparar la información obtenida de la población con los sitios de muestreo, los resultados son similares: *Pinus pseudostrobus* está en los tres estratos con porcentajes semejantes en ambas condiciones. En la distribución vertical de los sitios de muestreo se observa que 5.1% del total de los individuos se localiza en el estrato I con respecto a 4.2% de la población. En el estrato II de los sitios de muestreo se ubica 37.5% del total de los individuos, y 34.4% de la población. Finalmente, para el estrato III el muestreo indica una ocupación del 57.4% del total de los individuos contra 61.4% en la población.

En cuanto al número de especies en los diferentes estratos, tanto en la población como en el muestreo, son similares, a excepción del estrato III, donde los resultados del muestreo indican un menor número de especies. Cabe destacar que dichas especies son las de menor proporcionalidad en la población debido a la baja densidad.

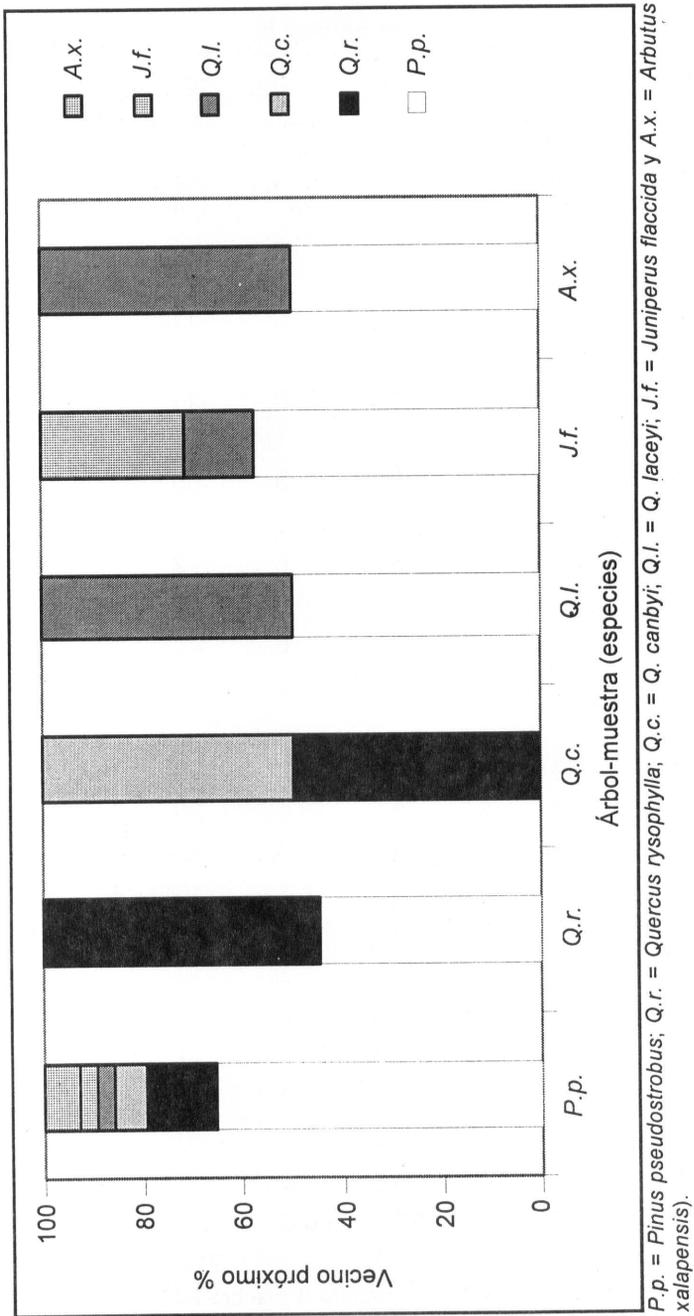


Figura 3. Valor relativo de las especies conforme al índice porcentual de mezcla de especies.

Cuadro 4. Descripción de la distribución vertical de especies.

Especie	Población				Muestreo			
	No. Ind.	%	% Área Basal	% Zona de altura	No. Ind.	%	% Área Basal	% Zona de altura
Estrato I*								
<i>Pinus pseudostrobus</i>	27	7	4.2	100.0	11	10	5.1	100.0
Subtotal	27		4.2	100.0	11		5.1	100.0
Estrato II*								
<i>P. pseudostrobus</i>	192	53	29.6	85.8	65	58	30.1	80.3
<i>Quercus rysophylla</i>	10	12	1.5	4.5	5	16	2.3	6.2
<i>Q. canbyi</i>	6	12	0.9	2.6	2	14	0.9	2.4
<i>Q. laceyi</i>	10	23	1.5	4.5	6	38	2.8	7.4
<i>Juniperus flaccida</i>	6	9	0.9	2.6	3	11	1.4	3.7
Subtotal	224		34.4	100.0	81		37.5	100.0
Estrato III*								
<i>P. pseudostrobus</i>	147	40	22.7	37.0	37	33	17.1	29.8
<i>Q. rysophylla</i>	72	88	11.1	18.1	26	84	12.0	21.0
<i>Q. canbyi</i>	43	88	6.6	10.8	12	86	5.6	9.7
<i>Q. laceyi</i>	33	77	5.2	8.3	10	63	4.6	8.1
<i>J. flaccida</i>	58	91	8.9	14.6	25	89	11.6	20.2
<i>Arbutus xalapensis</i>	37	100	5.7	9.3	13	100	6.0	10.4
<i>Juglans mollis</i>	2	100	0.3	0.5	0	0	0.0	0.0
<i>Q. polymorpha</i>	2	100	0.3	0.5	1	100	0.5	0.8
<i>Rhus virens</i>	1	100	0.2	0.3	0	0	0.0	0.0
<i>Cercis canadensis</i>	1	100	0.2	0.3	0	0	0.0	0.0
<i>Prunus serotina</i>	1	100	0.2	0.3	0	0	0.0	0.0
Subtotal	397		61.4	100.0	124		57.4	100.0
Total	648		100.0		216		100.0	

*Estrato I = sobre 80 hasta 100%:>19.2 m; Estrato II = sobre 50 hasta 80%:>12.0-19.2 m; Estrato III = 0 hasta 50%: 0-12.0 m.

La caracterización de la diversidad de especies a nivel de estructura vertical se determinó con base en la información de la población y los sitios de muestreo, con los siguientes resultados:

Población $A = 2.07$; $A_{\max} = 3.50$; Muestreo $A = 2.11$; $A_{\max} = 3.04$

Los valores obtenidos muestran una gran similitud, en comparación con la población. El del índice A es cercano al de A_{\max} , por lo que se concluye que se trata de un rodal que se conforma de diferentes especies y que alguna de ellas está presente dentro de todos los estratos.

Con base en los resultados de este trabajo y lo consignado por Lamprech (1990) y Pretzsch (1996), se asume que es necesario llevar a cabo una nueva división de los bosques multicohortales e incoetáneos, donde existe una gran radiación lumínica y los árboles crecen en su mayoría sin competencia por nutrientes, sería razonable que esta reclasificación se efectuara en función de la copa de los árboles y de la proyección porcentual de su sombra o bien, por categorías diamétricas.

Índice de diferenciación diamétrica (TD)

Los índices de diferenciación dimensional describen la estructura horizontal del ecosistema de forma confiable. Mediante la clasificación del intervalo de valores de TD entre 0-1 y la representación de la distribución porcentual de los valores de TD de los sitios de muestreo en clases, se genera información detallada sobre la estructura propia del ecosistema.

El ordenamiento de valores de TD de Földner (1995) en 10 clases de diferenciación dimensional, se modificó en cinco grupos, que corresponden a los definidos por Aguirre *et al.* (1998): baja: 0.0-0.2; moderada: 0.2-0.4; media: 0.4-0.6; fuerte: 0.6-0.8; muy fuerte: 0.8-1.0.

En el Cuadro 5 se muestra la distribución de los valores del índice de diferenciación diamétrica (\overline{TD}), fraccionado en 5 grupos de diferenciación para la población y las especies en cuestión. De manera general se puede advertir que 40.7% de los árboles-muestra se ubican en la clase de diferenciación baja y 29.6% en la moderada, es decir, que 70% de la población tiene baja diferenciación diamétrica.

En un ecosistema mixto esta respuesta general resulta insuficiente, debido a que ciertas especies son poco diferenciables. Del número de individuos, las especies de mayor representatividad en la población son *P. pseudostrabus* y *Q. rysophylla*, ubicándose en la categoría de baja diferenciación diamétrica.

Cuadro 5. Diferenciación diamétrica (\overline{TD}).

Especie	\overline{TD} (%)					Total
	0.0 - 0.2 baja	0.2 - 0.4 moderada	0.4 - 0.6 media	0.6 - 0.8 fuerte	0.8 - 1.0 muy fuerte	
<i>Pinus pseudostrabus</i>	48.3	24.1	10.4	17.2	0.0	100
<i>Juniperus flaccida</i>	0.0	42.9	57.1	0.0	0.0	100
<i>Quercus rysophylla</i>	55.6	11.1	22.2	11.1	0.0	100
<i>Q. canbyi</i>	0.0	50.0	50.0	0.0	0.0	100
<i>Q. laceyi</i>	25.0	75.0	0.0	0.0	0.0	100
<i>Arbutus xalapensis</i>	50.0	0.0	50.0	0.0	0.0	100
Otras especies	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100
Total	40.7	29.6	18.6	11.1	0.0	100

Índice de diferenciación en altura (\overline{TH})

Utilizando los datos del árbol-cero y su vecino más próximo se determinaron los valores de diferenciación en altura, lo cual permite obtener una medida cuantitativa de la estructura de los ecosistemas forestales. Los valores de diferenciación en altura y la distribución porcentual de los mismos en cinco grupos respectivos describe con mayor precisión la estructura vertical del ecosistema.

La diferenciación en altura (Cuadro 6) corresponde en forma similar a la del diámetro. La primera categoría (0.0 – 0.2) es notablemente baja, 70% de los sitios de muestreo tienen diferenciación escasa, lo que significa que la diferencia en altura entre la mayoría de los árboles vecinos en este rodal es de 40%, es decir se trata de una área con tendencia a la homogeneidad con respecto a esta

variable. Los grupos de media y alta diferenciación tienen una menor proporción (18.5 y 9.3% respectivamente). El grupo de mayor diferenciación no se presenta en este caso.

Cuadro 6. Diferenciación en altura (\overline{TH}).

Especie	(\overline{TH}) (%)					Total
	0.0 - 0.2 baja	0.2 - 0.4 moderada	0.4 - 0.6 media	0.6 - 0.8 fuerte	0.8 - 1.0 muy fuerte	
<i>Pinus pseudostrobus</i>	58.6	27.6	3.5	10.3	0.0	100
<i>Juniperus flaccida</i>	14.2	42.9	42.9	0.0	0.0	100
<i>Quercus rysophylla</i>	22.2	33.4	22.2	22.2	0.0	100
<i>Q. canbyi</i>	50.0	0.0	50.0	0.0	0.0	100
<i>Q. laceyi</i>	0.0	75.0	25.0	0.0	0.0	100
<i>Arbutus xalapensis</i>	0.0	50.0	50.0	0.0	0.0	100
Otras especies	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100
Total	38.9	33.3	18.5	9.3	0.0	100

Con algunas especies esta diferenciación es muy notoria, como sucede con *P. pseudostrobus* y *Quercus canbyi*, que más de 50% de los sitios de muestreo muestran una diferenciación en altura baja.

CONCLUSIONES

Pinus pseudostrobus es la especie con mayor presencia en el ecosistema pino-encino, seguido de *Quercus rysophylla* y *Juniperus flaccida*.

Al utilizar los parámetros de abundancia, dominancia y frecuencia procedentes de los sitios de muestreo en comparación con la medición total de la población se manifiestan variaciones sustanciales de estos valores dentro del ecosistema (+14% N/ha y +33% G/ha), por lo que se recomienda agrupar a las especies y utilizar valores relativos.

De acuerdo al índice porcentual de mezcla de especies, el ecosistema es un bosque irregular, dado que más de 50% de la población crece junto a individuos de otras especies. La diferenciación dimensional tanto en diámetro como en altura de los árboles muestra y sus vecinos más próximos favorece la realización de un análisis más completo de la estructura horizontal del ecosistema.

Dada la gran similitud de resultados es factible la utilización de los sitios de muestreo para la determinación de la distribución vertical de las especies arbóreas de ecosistemas multicohortales mixtos de pino-encino.

REFERENCIAS

- Aguirre C., O., J. Jiménez P. y B. Vargas. 1997. Análisis estructural del estrato arbóreo de ecosistemas forestales multicohortales. *In: Memoria de Resúmenes III Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales*. 36 p.
- Aguirre C., O., H. Kramer y J. Jiménez P. 1998. Análisis de la estructura de ecosistemas forestales. Un caso de estudio en Durango. México. *In: Memoria del Primer Congreso Latinoamericano IUFRO, Valdivia, Chile*. 11 p.
- Aguirre C., O. A. 2002. Índices para la caracterización de la estructura del estrato arbóreo de ecosistemas forestales. *Rev. Cien. For. en Méx.* 27(92). pp. 5-28.
- Alanís G., G. Cano y M. Rovalo. 1996. Vegetación y flora de Nuevo León. Una guía botánica-ecológica. Ed. Imp. Monterrey. Monterrey N.L., México. 251 p.
- Albert, M., K. Gadow V. und H. Kramer. 1995. Zur Strukturbeschreibung in Douglasien-jungbeständen am Beispiel der Versuchsflächen Manderschied und Uslar. *Allgemeine Forst-und Jagdzeitung* 166 (11): 205-210.
- Clark, J. and C. Evans. 1954. Distance to nearest neighbour as a measure of spatial relationships in populations. *Ecology* 35: 445-453.
- De Camino, R. 1976. Zur Bestimmung der Bestandeshomogenität. *Allgemeine Forst-und Jagdzeitung* 147 (2/3): 54-58.
- Füldner K. and K. Gadow V. 1994. How to define a thinning in a mixed deciduous beech forest. *In: Mixed Stands. Proceeding from the Symposium of the IUFRO Working Groups S4.01-03 and S4.01-04*. Lousa & Coimbra, Portugal. pp. 31-42.

- Füldner K. 1995. Strukturbeschreibung von Buchen-Edellaubholz-Mischwäldern. Dissertation, Forstl. Fakultät d. Universität Göttingen, Cuvillier Verlag, Göttingen, Deutschland. 146 p.
- Gadow V., K. und K. Füldner. 1992. Bestandesbeschreibung in der Forsteinrichtung. Tagungsbericht der Arbeitsgruppe Forsteinrichtung, Klieken bei Dessau. 133 (1/7): 23-26.
- Gadow V., K. und K. Füldner. 1995. Zur Beschreibung forstlicher Eingriffe. ForstwCbl. pp. 114, 151-159.
- Gadow V., K. 1999. Waldstruktur und Diversität. Aus dem Institut für Forsteinrichtung und Ertragskunde, Georg-August Universität Göttingen. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 170 (7): 117-122.
- Jiménez P., J. y H. Kramer. 1991. Breve análisis sobre la situación actual de los recursos forestales en México. Reporte Científico No. Esp. 7. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, N.L. México. 21 p.
- Jiménez P., J. y H. Kramer. 1992. Dinámica del crecimiento de especie arbóreas en un rodal mixto-incoetáneo mediante la metodología de análisis troncal. Reporte científico No. 31. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, N. L. México. 36 p.
- Jiménez P., J., O. Aguirre C. and H. Kramer. 1998. Bestandes Strukturanalyse in ungleichtrigen Kiefern-Wacholder-Eichen-Mischwald Nordostenmexikos. Forstarchiv 69 (6): 227-234.
- Kramer, H. und A. Akça. 1995. Waldmeßlehre. J.D. Sauerlander's Verlag, Frankfurt, Deutschland. 266 p.
- Lamprecht, H. 1986. Waldbau in der Tropen. Paul Parey, Hamburguniversität. Berlin, Deutschland. 318 p.
- Lamprecht, H. 1990. Silvicultura en los trópicos. Los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas; posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido. Ed. GTZ Alemania. 336 p.
- Mueller-Dombois, D. and H. Ellenberg. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. John Wiley & Sons, Co. New York, NY. USA. 547 p.
- Müller-Using, B. 1994. Contribución al conocimiento de los bosques de encino y y encino-pino en el Noreste de México. Reporte Científico No. 14. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, N.L., México. 194 p.
- Nagel, J. 1994. Structural analyses of the Forest Reserve Saubrink on the basis of a permanent sample plot data. Proceedings from the Symposium of the IUFRO Working Groups S4.01-03 and S4.01-04. Lousa & Coimbra. Portugal. pp. 81-96.
- Pommerening, A. 1997. Eine Analyse neuer Ansätze zur Bestandesinventur in Strukturreichen Wäldern. Dissertation. Forstl. Fakultät d. Universität Göttingen. Cuvillier Verlag. Göttingen, Deutschland. 150 p.

- Pretzsch, H. 1996. Strukturvielfalt als Ergebnis waldbaulichen Handelns. Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten. Sekt. Ertragskunde. Jahrestagung 1996. Nehresheim, Deutschland. pp. 134-154.
- Wilson E., R. Cole and D. Nichols. 1996. Measuring and monitoring biological diversity. Standard methods for mammals. Smithsonian Institute Press. Washington, DC. USA. 409 p.
- Woerner, M. 1990. Los suelos del Bosque Escuela de la Universidad Autónoma de Nuevo León en la Sierra Madre Oriental, Iturbide, N. L. Reporte Científico No. 20. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, N. L., México. 56 p.
- Wolf, C., U. Carreón y J. González. 1986. Diagnóstico de la utilización de productos forestales en el noreste de México. Fundamentos ecológicos, usos actuales y potenciales de los bosques y matorrales del noreste de México. Schr. D. Forstl. Fak. D. Univ. Gottingen ud. Nds. Forstl. Versuchsanstalt, Bd. 84. pp. 117-127.