

DIVERSIDAD ARBÓREA Y ESTRUCTURA ESPACIAL DE BOSQUES DE PINO-ENCINO EN IXTLÁN DE JUÁREZ, OAXACA

TREE DIVERSITY AND SPACIAL STRUCTURE OF PINE-OAK FORESTS OF IXTLÁN DE JUÁREZ, OAXACA

Juan Francisco Castellanos-Bolaños¹, Eduardo Javier Treviño-Garza², Oscar Alberto Aguirre-Calderón², Javier Jiménez-Pérez² y Alejandro Velázquez-Martínez³

RESUMEN

Se realizó un análisis comparativo de la diversidad de especies arbóreas y se cuantificaron diversas variables para caracterizar la estructura espacial de rodales de pino-encino en Ixtlán de Juárez. Para ello se aplicó un muestreo aleatorio estratificado y se registró información dasométrica en 91 sitios circulares de 500 m² cada uno. A nivel de taxón se determinó el valor de importancia y de acuerdo con el dominante se definieron ocho comunidades fitosociológicas: Pipat, Pioax, Pipse, Pidou, Piaya, Piteo, Pirud y Pilei. La diversidad arbórea se estimó mediante el Índice Shannon (H'). Con información de las parcelas de muestreo se conformaron 2,612 grupos, cada uno constituido por cinco árboles vecinos, a partir de ellos se hizo la caracterización estructural. Se determinaron: la mezcla de especies (índice Mezcla de Especies, M_i), el patrón de distribución horizontal (índice de Uniformidad, W_i) y la diferenciación de tamaños de árboles (índice de Dominancia, U_i). De acuerdo con H' , las comunidades Pipat y Piaya presentaron la mayor diversidad de árboles (2.19 y 2.10, con 26 y 19 especies, respectivamente). Las comunidades Piaya, Pilei, Pioax y Pipat, tuvieron la mezcla de especies más alta ($0.591 < M_i < 0.687$); en las ocho comunidades fitosociológicas el arreglo espacial fue aleatorio ($0.530 < W_i < 0.569$). El análisis del tamaño de los diámetros, por comunidad mostró que de 46-51% de los árboles fueron más delgados que los individuos de referencia. Se concluye que la diversidad de especies arbóreas y la estructura de los rodales son diferentes en función de la comunidad fitosociológica.

Palabras clave: Comunidades fitosociológicas, índices estructurales, índice Shannon, *Pinus*, *Quercus*, valor de importancia.

ABSTRACT

This paper presents a comparative analysis of tree species diversity and the spatial structure of several pine-oak forest stands in Ixtlán de Juárez. Following a randomly-stratified sampling design, a forest survey was applied on 91 circular sites of 500 m². Using the importance value and the dominance level for all present pine species, eight phytosociological communities were defined; Pipat, Pioax, Pipse, Pidou, Piaya, Piteo, Pirud, and Pilei. Diversity was assessed through the Shannon Index (H'). Three indexes were used to describe the forest structure according with species mixture (Mingling Index, M_i), pattern of horizontal distribution (Uniform Angle Index or Contagion Index, W_i), and differentiation of tree sizes (Dominance Index, U_i). All recorded individuals (n) were split into 2,612 structural groups, which were compound by the five nearest neighbors. According to H' , the Pipat and Piaya communities had the broadest trees diversity (2.19 and 2.10 with 26 and 19 tree species, respectively). The Pipat, Piaya, Pilei and Pioax communities showed the greatest mixture of species ($0.591 < M_i < 0.687$), while for all the eight phytosociological communities, the horizontal spatial arrangement was random ($0.530 < W_i < 0.569$). The tree diameter size analysis, defined by the U_i at the community level, showed that 46-51% of trees were thinner than reference trees. It was concluded that tree species diversity and stand structure are different and dependant on the phytosociological community.

Key words: Phytosociological communities, structural indexes, Shannon index, *Pinus*, *Quercus*, importance value.

Fecha de recepción: 08 de marzo de 2010

Fecha de aceptación: 10 de septiembre de 2010

¹ Campo Experimental Valles Centrales, Centro de Investigación Regional Pacífico Sur (CIRPAS), INIFAP. Correo-e: castellanosjuan@inifap.gob.mx

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

³ Colegio de Posgraduados.

INTRODUCCIÓN

En la Sierra Norte del estado de Oaxaca, México, los ecosistemas forestales son de gran importancia ecológica, económica y social. Debido a su riqueza en flora y fauna esta cordillera forma parte de las 200 ecorregiones prioritarias en el ámbito mundial para la conservación (WWF, 2007) y de manera compatible, el manejo forestal es una de las principales actividades económicas de la región.

La estructura de los bosques se reconoce como un indicador clave de la biodiversidad, la estabilidad ecológica y el desarrollo futuro de los rodales (Kimmins, 1997; Franklin *et al.*, 2002). La simplificación de su composición conlleva a una disminución de las funciones del ecosistema; por el contrario, la complejidad aumenta la productividad y biodiversidad (Crow *et al.*, 2002; Ishii *et al.*, 2004). Se considera que esta característica de los rodales debe ser la base para determinar los índices de diversidad (Lähde *et al.*, 1999), por lo que las simulaciones y el monitoreo a mediano y largo plazo del desarrollo de las estructuras de los rodales naturales intervenidos se pueden utilizar para la evaluación del impacto de las prácticas de manejo (Bailey y Tappeiner, 1998).

El arreglo espacial tanto de forma vertical, como horizontal que presentan los árboles y otros vegetales en un lugar, en cierto tiempo y que determina la integridad y estabilidad del bosque, constituyen la estructura de la masa forestal (Del Río *et al.*, 2003). Es el resultado de la posición de los individuos, la mezcla de especies, la distribución de edades y la competencia, aspectos que condicionan la presencia y abundancia de plantas y animales (Spies, 1998; Brokaw y Lent, 1999). Su descripción se hace mediante tres características: 1) diversidad y mezcla de los taxa; 2) posición o patrones de distribución espacial de las especies y; 3) diferenciación de tamaños entre árboles (Gadow y Hui, 1999). Existen, principalmente, tres patrones de distribución espacial: regular, aleatorio y en grupos; aunque esta clasificación es simple, resulta muy útil en las primeras etapas del análisis espacial (Diggle, 1989). En particular los patrones de distribución de los árboles definen los regímenes de luz y patrones de regeneración dentro del bosque; además, tienen una influencia significativa en el desarrollo, crecimiento y mortalidad de los árboles (Canham *et al.*, 1994; Emborg, 1998; Newton y Jolliffe, 1998).

Los métodos convencionales de medición, análisis y modelado de los bosques, a nivel de rodal, se fundamentan en las siguientes variables: el diámetro medio, la altura dominante o el volumen por hectárea; sin embargo, estas técnicas ignoran la naturaleza tridimensional de la estructura, por lo que el reconocimiento de un rodal, como un espacio, con funciones estructurales colectivas, a partir del árbol individual considerado la unidad crítica para maximizar las aptitudes del conjunto, es de la mayor importancia (Pretzsch, 2009).

INTRODUCTION

At the Sierra Norte of Oaxaca State, Mexico, forest ecosystems have a great ecological, economic and social value. Due to its flora and wilderness, this mountain chain is part of the 200 main eco-regions in the world conservation scope (WWF, 2007), and in a compatible way, forest management is one of the most important economic activities.

The structure of forests is acknowledged as a key indicator of biodiversity, ecological stability and the future development of stands (Kimmins, 1997; Franklin *et al.*, 2002). The simplification of its composition leads to an ecosystem function reduction; on the other hand, its complexity increases its productivity and biodiversity (Crow *et al.*, 2002; Ishii *et al.*, 2004). It is considered that this stand feature must be the basis to determine diversity indexes (Lähde *et al.*, 1999); thus, simulations and middle and long term monitoring of the development of structures of the natural intervened stands can be used to assess the impact of management practices (Bailey and Tappeiner, 1998).

The spatial arrangement in vertical and horizontal form that trees as well as other plants show in a particular place, at a certain time and that determine the integrity and stability of a forest, build up the structure of the forest mass (Del Río *et al.*, 2003). It is the result of the position of individuals, the mixture of species, age distribution and competence, aspects that condition the presence and abundance of plants and animals (Spies, 1998; Brokaw and Lent, 1999). Its description is made through three features: diversity and taxa mixture; place or spacial distribution patterns of species and 3) size differentiation among trees (Gadow and Hui, 1999). There are mainly three special patterns: regular, random and by groups, though this classification is rather simple, it is useful in the first spacial analysis stages. Tree distribution patterns, in particular, define light regimes as well as regeneration patterns inside the forest; besides this, they have an important influence upon tree development, growth and mortality (Canham *et al.*, 1994; Emborg, 1998; Newton and Jolliffe, 1998).

Conventional mensuration, analysis and modeling of forests, at the stand scale, are based upon the following variables: average diameter, dominant height or volume per 10,000 m² (hectarea or ha); however, these techniques ignore the three-dimensional nature of structure. Thus, the recognition of a stand, as a space with collective structural functions, from an individual tree considered as the critical unit to maximize the group aptitudes, is of the major importance (Pretzsch, 2009).

Gradually there is more evidence that the spatial pattern, species mixture and size should be taken into account in the traditional assessment used in silviculture to explain stands, in order to have a forest multi-purpose management guide (Pommerening, 2002; Crecente-Campo *et al.*, 2009).

Paulatinamente se presentan más evidencias en las que el patrón espacial, la mezcla de especies y el tamaño deberían ser incorporados a la evaluación tradicional usada en silvicultura para explicar cómo son los rodales a fin de disponer de una guía para el manejo multi-propósito de los bosques (Pommerening, 2002; Crecente-Campo *et al.*, 2009).

La capacidad para precisar las estructuras espaciales forestales y sus modificaciones debidas al aprovechamiento de madera, es de gran importancia para el manejo sustentable de ecosistemas forestales complejos, especialmente de bosques incoetáneos y mezclados, para lo cual se requiere de índices estadísticos que sean descriptores significativos de la estructura espacial (Gadow y Pogoda 2000; Corral-Rivas *et al.*, 2010).

Los objetivos del presente estudio consistieron en hacer un análisis comparativo de la diversidad de especies arbóreas y describir la composición estructural espacial de ocho comunidades fitosociológicas con dominancia de pino-encino, en Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

El trabajo se realizó en bosques de pino-encino de Ixtlán de Juárez, en el estado de Oaxaca, México, localizados entre las coordenadas geográficas: 17° 18' 16" y 17° 30' 00" N; 96° 31' 38" y 96° 22' 00" W (Figura 1). En un intervalo altitudinal de 1,900 y 2,900 m; con un clima templado húmedo y subhúmedo con lluvias en verano; la precipitación pluvial varía de 900 mm a 1,100 mm al año y la temperatura promedio anual es de 20°C (INEGI, 2009).

En el predio bajo estudio se tienen inventariadas 9,435 ha de bosques mezclados de pino-encino, en donde *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. está presente como especie dominante en 5,131 ha; *P. oaxacana* Mirov en 2,114 ha; *P. pseudostrobus* Lindl. en 346 ha; *P. douglasiana* Martínez en 463 ha; *P. ayacahuite* C.A. Ehrenb. en 200 ha; *P. teocote* Schltdl. et Cham. en 800 ha; *P. rudis* Endl. en 281 ha y *P. leiophylla* Schiede & Deppe en 100 ha. La mayor parte de ellos se conforman de rodales incoetáneos de segundo crecimiento que han estado bajo aprovechamiento maderable, principalmente, mediante cortas selectivas o aclareos para la producción de madera aserrada y celulosa.

Diversidad de especies arbóreas

Para cuantificar la diversidad arbórea se aplicó un diseño de muestreo aleatorio estratificado. Los estratos se definieron con base en la rodalización del Programa de Manejo Forestal de Ixtlán de Juárez (TIASA, 2002), la cual se realizó con el apoyo de fotografías aéreas, cartas topográficas y datos

The ability to give a precise forest spatial structures definition and their changes due to wood harvesting is of major importance for sustainable management of complex forest ecosystems, specially for uneven aged and mixed forests, for which statistical indexes that are significant descriptors of spatial structure are required (Gadow and Pogoda, 2000; Corral-Rivas *et al.*, 2010).

The objectives of the actual study were to make a comparative analysis of tree-species diversity and to describe the special structural composition of eight phytosociological communities with a pine-oak dominance at Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México.

MATERIALS AND METHODS

Location

The study was carried out in pine-oak forests of Ixtlán de Juárez, in Oaxaca state, located between 17° 18' 16" y 17° 30' 00" N; 96° 31' 38" y 96° 22' 00" W (Figure 1), with an altitude of 1,900 to 2,900 m. The weather is mild-humid and sub-humid with summer rain; rainfall varies from 900 mm a 1,100 mm per year, and annual average temperature of 20°C degrees (INEGI, 2009).

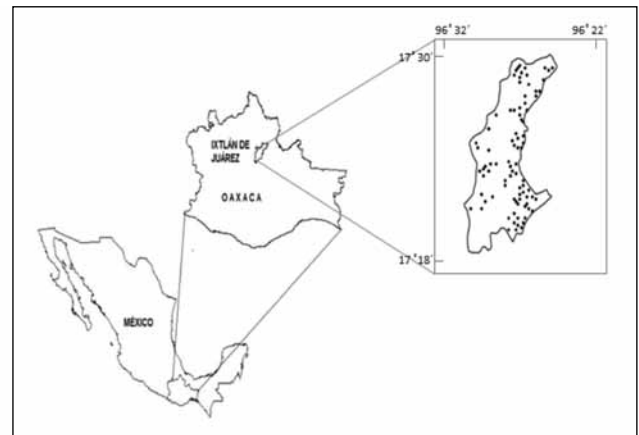


Figura 1. Localización del área de estudio y ubicación de los sitios de muestreo.

Figure 1. Study area location and sampling sites.

At the land property where the study was made 9,435 ha of pine-oak mixed forests have been counted; *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. is the dominant species, covering 5,131 ha; *P. oaxacana* Mirov, 2,114 ha; *P. pseudostrobus* Lindl., 346 ha; *P. douglasiana* Martínez, 463 ha; *P. ayacahuite* C. A. Ehrenb., 200 ha; *P. teocote* Schltdl. et Cham., 800 ha; *P. rudis* Endl., 281 ha and *P. leiophylla* Schiede & Deppe, 100 ha. Most of them are second growth uneven-aged stands that have been under wood harvesting, mainly, through selective cutting or clearing for sawn wood and cellulose production.

del inventario forestal. De esta forma se identificaron ocho comunidades vegetales, nombradas de acuerdo con la especie dominante: Pipat (*Pinus patula*), Pioax (*P. oaxacana*), Pipse (*P. pseudostrobus*), Pidou (*P. douglasiana*), Piaya (*P. ayacahuite*), Piteo (*P. teocote*), Pirud (*P. rudis*) y Pilei (*P. leiophylla*).

El muestreo cubrió un área total de 45,500 m², resultado del levantamiento de 91 parcelas circulares con una superficie individual de 500 m². El número de sitios por estrato fue el siguiente: Pipat, 44 sitios; Pioax, 14; Pipse, nueve; Pidou, cinco; Piaya, siete; Piteo, cuatro; Pirud, cinco y Pilei, tres. Se evaluaron sólo los individuos mayores de 7.5 cm de diámetro normal. Las variables cuantificadas fueron: la especie, el número de árbol, el diámetro normal y la altura total; así como, las distancias y los ángulos del árbol central con respecto a cada uno de los ejemplares dentro de la unidad de muestreo.

A partir de los datos anteriores, se derivó información fitosociológica y dasométrica. Por especie se determinó su dominancia, en función del área basal; su abundancia, de acuerdo al número de árboles y su frecuencia con base en su existencia en las parcelas. Los resultados se utilizaron para obtener un valor ponderado a nivel de taxón denominado valor de importancia (VI) (Müller y Ellenberg, 1974) que además, numéricamente, ratificó la definición de las ocho comunidades fitosociológicas. Con el total de los taxa y la proporción de cada una de ellos se aplicó el Índice de Shannon, H' para estimar la diversidad (Magurran, 2004).

Composición de la estructura

La estructura de los rodales se estableció mediante tres metodologías: a) índice Mezcla de Especies (M_j), (Gadow, 1993), el cual es la probabilidad de que alguno de los árboles vecinos más cercano al de referencia sea de la misma especie; b) el índice de Uniformidad (W_j) (Gadow y Hui, 2002) el cual define el patrón de distribución espacial horizontal, y que se basa en el análisis de ángulos (θ) entre el individuo de referencia y cada uno de los cuatro árboles vecinos y; c) el índice de Dominancia (U_j) (Aguirre *et al.*, 2003) que cuantifica la diferenciación de tamaños, en este caso, diámetros entre árboles y que corresponde a la proporción de árboles vecinos más pequeños que el de referencia (Cuadro 1).

Los cálculos de los índices se basaron en el grupo estructural (GE) considerado como la unidad de muestreo. El GE es un conjunto de cinco árboles, de los cuales uno funge como referencia para los cuatro vecinos más cercanos (Pommerening, 2002).

Los registros de distancias y localización azimutal de los árboles en cada uno de los 91 sitios de muestreo, sirvieron para ser ubicados por medio de coordenadas polares. Los datos se procesaron con funciones trigonométricas para

Tree species diversity

In order to quantify the forest diversity, a stratified random sampling system was used. Strata were based upon the "standardisation" of the Forest Management Program of Ixtlán de Juárez (TIASA, 2002), which was achieved with the support of aerial photography, topographic charts and forest inventory data. Thus, eight vegetal communities were detected, and were named according to their dominant species: Pipat (*Pinus patula*), Pioax (*P. oaxacana*), Pipse (*P. pseudostrobus*), Pidou (*P. douglasiana*), Piaya (*P. ayacahuite*), Piteo (*P. teocote*), Pirud (*P. rudis*) y Pilei (*P. leiophylla*).

Sampling covered a total area of 45,500 m², which came out from the survey of 91 500 m² circular plots. Distribution of site numbers was as follows: Pipat, 44; Pioax, 14; Pipse, 9; Pidou, 5; Piaya, 7; Piteo, 4; Pirud, 5 and Pilei, 3.

Only over 7.5 cm normal diameter trees were assessed. The variables were: species, tree number, dbh and total height, as well as distance and central tree angles in regard to each of the samples within the sampling unit.

From the previous data, phytosociological and dasometric information was generated. For each species its dominance was determined, in terms of basal area; its abundance, according to the number of trees and its frequency based upon its existence in the plots. Results were used to obtain a pondered value at the taxon level named after its importance value (IV) (Müller and Ellenberg, 1974), which numerically confirmed the definition of the eight phytosociological communities. With the total taxa and their proportion in each of them was applied the Shannon, H' Index in order to estimate diversity (Magurran, 2004).

Structure composition

Stand structure was established through three methodologies: a) Species mixture index (M_j), (Gadow, 1993), which is the probability that one of the neighboring trees closer to the reference one might be of the same species; b) the Uniformity index (W_j) (Gadow and Hui, 2002), which defines the horizontal special distribution and is based upon the angle analysis (θ) between the reference tree and each of the four neighboring trees; and c) the Dominance index (U_j) (Aguirre *et al.*, 2003), that quantifies the differentiation of size, diameter of trees in this case and that belong to the proportion of closer neighboring trees smaller compared to the reference tree (Table 1).

Calculation of indexes was based upon the structural group (GE) which is considered as the sampling unit. GE is a group of five trees, from which one works as the reference for the other closer neighboring four (Pommerening, 2002).

Distance records and azimutal location of trees in every one of the 91 sampling sites were useful to locate them through their

Cuadro 1. Índices de diversidad y estructurales para las ocho comunidades fitosociológicas estudiadas.
Table 1. Diversity and structure indexes for the eight phytosociological communities.

Índice	Fórmula	Significado
Shannon (H')	$H' = - \sum_{i=1}^n p_i (\ln p_i)$	p_i = abundancia relativa de cada una de las especies n = número de especies
Mezcla de especies (M_i)	$M_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n m_{ij}$	$m_i = 0$ cuando el árbol vecino j es de la misma especie que i ; 1 de otra forma N = número total de grupos estructurales
Uniformidad (W_i)	$W_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n w_{ij}$	$w_i = 1$ cuando \square es menor de 72° ; 0 de otra forma N = número total de grupos estructurales
Dominancia (U_i)	$U_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n u_{ij}$	$u_{ij} = 1$ cuando el diámetro del árbol vecino j es menor que el árbol referente i ; 0 de otra forma N = número total de grupos estructurales

generar las distancias y ángulos entre cualquier par de individuos dentro de la parcela de muestreo y así conformar todos los posibles GE. Se excluyeron del análisis aquellos GE que tuvieron uno o más árboles ubicados fuera del límite del sitio; para ello se utilizó el método corrección de borde del vecino más cercano, también conocido como NNI (Pommerening y Stoyan, 2006). En este caso el criterio decisivo es si la distancia entre el árbol de referencia y el cuarto árbol vecino más cercano, es mayor que la distancia entre el de referencia y la frontera de la parcela.

Análisis estadístico

Con la finalidad de comparar estadísticamente la diversidad de especies y las posibles diferencias estructurales de las ocho comunidades vegetales, se amplió la base de datos a 1,000 submuestras por medio de la técnica de remuestreo "bootstrap" estándar (Efron, 1979). A partir de esa información, se obtuvo la distribución de probabilidades de los índices estimados; para ello se usó la prueba de bondad de ajuste para normalidad de Kolmogorov-Smirnov (K-S).

Los resultados de la prueba K-S mostraron que la distribución, en la mayoría de los índices bajo análisis y en las condiciones del estudio, no fue de forma normal, condición que sustentó la realización de un análisis de varianza no paramétrico con la prueba de Kruskal Wallis (Kr-Wall), bajo los supuestos de aleatoriedad e independencia de las muestras y el manejo de la hipótesis nula de igualdad de medianas, el cual

polar coordinates. Data were processed with trigonometric functions in order to generate the distances and angles between any pair of trees within the sampling plot and thus to conform all the possible GEs. Excluded from the analysis were those GE that had one or more trees out of the site limits; thus, a border correction method of the closer neighbor, known as NNI, was used (Pommerening and Stoyan, 2006). In this case, the decisive criterion is if the distance between the reference tree and the fourth closer neighboring tree is bigger than the distance between the reference tree and the plot border.

Statistical analysis

In order to statistically compare the species diversity and the possible structural differences of the eight vegetal communities, the data base was extended to one thousand subsamples through the "bootstrap" standard resampling technique (Efron, 1979). From this information, was obtained the probability distribution of the estimated indexes; thus, the goodness test was used to adjust the Kolmogorov-Smirnov (K-S) normality.

The K-S test results showed that the distribution, in most of the indexes that were analyzed and the study conditions was not normal, a fact that supported the achievement of a non-parametric analysis of variance with the Kruskal Wallis test (Kr-Wall), under the random assumptions and the independence of samples and the management of the nulle hypothesis of median equality, which was complemented with the multiple

se complementó con las comparaciones múltiples de Nemenyi con diferente número de datos en cada uno de los grupos (Zar, 2004), método que utiliza la suma de intervalos para confrontar cada uno de los algoritmos del grupo con el resto. Para ambas pruebas (K-S y Kr-Wall), se planteó un nivel de significancia de 95%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diversidad de especies arbóreas

Se identificaron 32 taxa en las ocho comunidades (Cuadro 2). En cada una sólo se observaron de cuatro a seis especies con un VI igual o superior a 5%, lo cual indica que, en la mayoría de los casos, se trata de árboles presentes en mínimas cantidades, de pequeñas dimensiones y distribuidos esporádicamente. En los bosques de Ixtlán de Juárez se han citado 23 especies de *Quercus* (Valencia y Nixon, 2004) y 13 de *Pinus* con dos variedades (Del Castillo *et al.*, 2004). La diversidad

Nemenyi comparisons with different data number in each one of the groups (Zar, 2004), method that uses the sum of ranges to confront each of the algorithms of the group with the rest. For both tests (K-S y Kr-Wall), a 95 per cent significance level was stated.

RESULTS AND DISCUSSION

Tree species diversity

Thirty two taxa were identified in the eight communities (Table 2). In each one only were observed from 4 to 6, with an IV equal or over 5 per cent which means that in most cases, it is about the present trees in minimum amounts, of small dimensions and sporadically distributed. In the forests of Ixtlán de Juárez have been declared 23 *Quercus* species (Valencia and Nixon, 2004) and 13 of *Pinus* with two varieties (Del Castillo *et al.*, 2004). Diversity is higher in mature forests of *Pinus patula* than in young associations (Castellanos-Bolaños *et al.*, 2008).

Cuadro 2. Especies presentes y valor de importancia (VI) en cada una de las ocho comunidades fitosociológicas estudiadas.
Table 2. Species and importance value (IV) in each of the eight phytosociological communities.

Especie	VI (%) por comunidad							
	Pipat	Pioax	Pipse	Pidou	Piaya	Piteo	Pirud	Pilei
<i>Pinus patula</i> Schiede ex Schltdl. et Cham.	41	1	18	10	6	-	6	2
<i>Pinus oaxacana</i> Mirov.	1	44	1	5	-	-	-	14
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	6	1	44	3	13	5	-	-
<i>Pinus douglasiana</i> Martínez	1	1	-	37	-	2	-	-
<i>Pinus ayacahuite</i> Ehrenberg.	8	1	5	1	30	-	7	3
<i>Pinus teocote</i> Schltdl. et Cham.	1	5	1	1	1	46	-	13
<i>Pinus rudis</i> Endl.	-	-	-	-	-	-	64	2
<i>Pinus leiophylla</i> Schiede & Deppe	-	4	-	3	-	-	-	26
<i>Quercus corrugata</i> Hook.	5	11	2	7	10	16	-	11
<i>Quercus crassifolia</i> Bonpl.	12	13	11	25	1	17	-	19
<i>Quercus rugosa</i> Masam.	11	9	7	2	15	3	23	4
<i>Clethra lanata</i> Michx.	3	-	1	-	7	-	-	-
<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth	1	7	2	5	-	5	-	6
*Otras con valores de VI \leq 2.5	a	b	c	-	d	e	-	-

**Litsea* sp (a, b, d); *Litsea glaucescens* Kunth. (a); *Pinus oocarpa* Schiede (a); *Pinus michoacana* Mtz (c); *Ternstroemia pringlei* Rose (a, c, d); *Cinnamomum* sp. (a, c, d); *Cinnamomum areolatum* (Lundell) Kosterm. (a, d); *Cercocarpus fothersgilloides* Kunth. (b); *Dendropanax arboreus* (L.) Decne et Planch. (a, d); *Quercus scytophylla* liebm. (a); *Quercus laurina* Humb. et Bonpl. (a); *Bacharis conferta* Kunth. (b); *Rheedia macrophylla* Planchon et Triana. (a, b, d); *Buddleja cordata* Humb. Bonpl. et Kunth. (d); *Viburnum* sp (a); *Psychotria* sp (a, d, e); *Alnus acuminata* HBK. (a, d, e); *Prunus serotina* Ehrh. (a, c, d); *Abies hickelii* Flous et Gausson. (a, c, d).

es más alta en bosques maduros de *Pinus patula* que en asociaciones jóvenes (Castellanos-Bolaños *et al.*, 2008).

Como complemento al VI, se analizaron las variables dendrométricas (Cuadro 3). Con relación al número de árboles, a nivel de especies dentro de la misma comunidad existieron diferencias significativas; en todos los casos *Pinus* fue

As a complement to IV, dendrometric variables were analyzed (Table 3). In regard to the number of trees, at a species level within the same community significant differences were confirmed; in every case *Pinus* was the best represented, except for the Pilei community in which the higher number of trees belonged to *Quercus*. As a whole, both genus made up for 77 to 90 per cent of the total number of trees.

Cuadro 3. Información dendrométrica para las principales especies ($IV \geq 10\%$) en cada comunidad estudiada.
Table 3. Dendrometric information for the main species ($IV \geq 10\%$) in each of the studied community.

Comunidad	Especie	NA ha ⁻¹		AB (m ² ha ⁻¹)		Altura (m)	
		Abs	Rel	Abs	Rel	A	CV
Pipat	<i>P. patula</i>	270	41	26	61	24	30
	<i>Q. crassifolia</i>	95	14	4	10	13	25
	<i>Q. rugosa</i>	85	13	3	8	13	30
Pioax	<i>P. oaxacana</i>	247	39	33	74	26	21
	<i>Q. crassifolia</i>	117	19	3	7	11	22
	<i>Q. corrugata</i>	94	15	2	5	9	17
Piseu	<i>P. pseudostrobus</i>	307	51	26	59	25	34
	<i>P. patula</i>	89	15	8	17	23	24
	<i>Q. crassifolia</i>	82	14	4	8	12	33
Pidou	<i>P. douglasiana</i>	464	42	21	51	19	32
	<i>Q. crassifolia</i>	332	30	11	26	11	32
	<i>P. patula</i>	164	15	3	8	17	38
Piaya	<i>P. ayacahuite</i>	203	30	27	46	24	33
	<i>Q. rugosa</i>	137	20	8	14	14	51
	<i>P. pseudostrobus</i>	57	8	10	17	29	14
	<i>Q. corrugata</i>	86	13	5	8	16	32
Piteo	<i>P. teocote</i>	335	47	31	68	23	20
	<i>Q. crassifolia</i>	160	22	8	17	15	36
	<i>Q. corrugata</i>	145	20	2	5	8	33
Pirud	<i>P. rudis</i>	604	74	21	81	14	2
	<i>Q. rugosa</i>	172	21	3	13	7	28
Pilei	<i>P. leiophylla</i>	193	21	15	41	17	22
	<i>Q. crassifolia</i>	273	29	4	12	8	21
	<i>P. oaxacana</i>	80	9	7	19	20	22
	<i>P. teocote</i>	93	10	5	14	18	19
	<i>Q. corrugata</i>	133	14	3	8	9	41

NA = Número de árboles; AB = Área basal; A = Altura promedio; Abs = Absoluto; Rel = Relativo; CV = Coeficientes de variación.
NA = Number of trees; AB = Basal area; A = Average height; Abs = Absolute; Rel = Relative; CV = Variation Coefficient.

el mejor representado, a excepción de la comunidad Pilei, en donde el mayor número de individuos correspondió a *Quercus*. En conjunto, ambos géneros cubrieron entre 77 y 90% del total de árboles.

En relación a la dominancia, los taxa de *Pinus* tuvieron coberturas en área basal (AB) más altas en todas las

In regard to dominance, the *Pinus* taxa had higher covers in basal area (AB) in all the communities, but was different among them. *Pinus rudis* covered 80.8% of the Pirud, while *P. leiophylla* and *P. ayacahuite*, in spite of a broader cover in their own communities, did not reach the relative majority (>50%), which means a more intense interespecific competence.

comunidades, pero fueron diversas entre ellos. *Pinus rudis* se extiende sobre 80.8% de Pirud; mientras que *P. leiophylla* y *P. ayacahuite*, a pesar de presentar la cobertura superior en sus respectivas comunidades, no alcanzaron la mayoría relativa (>50%), lo que significa que existe una competencia interespecífica más intensa.

Con respecto a la altura, el estrato superior estuvo dominado por *Pinus* spp, cuyos coeficientes de variación indicaron la presencia de sus individuos en diferentes estratos.

El análisis de la diversidad con base en los valores de H' y de las diferentes pruebas estadísticas aplicadas, se

In terms of total height, the first layer was dominated by *Pinus* spp., whose variation coefficients showed the presence of their members in different layers.

In Table 4 are the analyses of diversity based upon the H' values and the different applied statistical tests. Results of the Kolmogorov-Smirnov test showed that almost every community, the H' index did not follow a normal form; with Kruskal-Wallis were obtained statistically significant differences among the phytosociological communities ($\chi^2 = 278.07$; $p = 0.0001$), and with the Nemenyi was estimated a critical distance of 39, which means that a bigger number in the average value of the significance range.

Cuadro 4. Diversidad y estadísticos que describen las ocho comunidades fitosociológicas estudiadas.
Table 4. Diversity and statistics that describe the eight phytosociological communities.

Comunidad	Número de especies*	Índice Shannon	Kolmogorob-Smirnov		Kruskal-Wallis Rango Medio	Nemenyi
			Valor	Probabilidad		
Pipat	26	2.19	0.0356	0.0046	333	a*
Piaya	19	2.10	0.0448	0.0001	318	a
Pilei	10	1.93	0.0354	0.0049	264	b
Pioax	15	1.77	0.0467	0.0001	201	c
Pipse	15	1.71	0.068	0.0001	192	c
Pidou	11	1.59	0.0273	0.0761	144	d
Piteo	9	1.52	0.0287	0.0509	117	d
Pirud	4	0.88	0.0952	0.0001	31	e

*Valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes.
The values with the same letter are not statistically different

ordenan en el Cuadro 4. Los resultados de la prueba de Kolmogorov-Smirnov mostraron que en casi todas las comunidades, el índice H' no se distribuyó de forma normal; con la de Kruskal-Wallis se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre las comunidades fitosociológicas ($\chi^2 = 278.07$; $p = 0.0001$) y con la de Nemenyi se estimó una distancia crítica de 39, esto indica que una cifra superior en el valor medio del intervalo es significativa.

Pipat y Piaya fueron las más diversas, seguidas por la Pilei; un tercer grupo lo constituyeron Pioax y Pipse; a continuación se ubicaron Pidou y Piteo; para finalizar con Pirud. De los principales factores que pueden promover que un número elevado de especies coexistan, de acuerdo con Wright (2002) y Leigh *et al.* (2004), está la especialización de las plantas en diferentes estratos del bosque que les permite utilizar los recursos limitantes como la luz, agua y nutrimentos; así como los disturbios que provocan la caída de árboles y la apertura de claros, los cuales modifican los niveles de luz y los ambientes radiculares, donde llegan a coincidir organismos heliófilos y umbrófilos.

Pipat and Piaya were the most diverse communities, followed by Pilei; a third group was conformed by Puiax and Pipse; after it, were Piou and Piteo and finally, Pirud. One of the major factors that can promote that a good number of species coexist, according to Wright (2002) and Leigh *et al.* (2004), are the specialization of plants in different layers of the forest that makes it possible to use the limiting resources as light, water and nutriments, as well as the disturbs that come from tree-felling and clear-opening, which change the levels of light and root environments, where heliophylous and umbrophyllous organisms may coexist.

The H' index shows the heterogeneity of a community upon the basis of two factors: the number of present species and their relative abundance. Thus, in a montanous cloud forest, Corral *et al.* (2005) estimated a $H' = 2.46$ value for 22 species, and $H' = 2.32$ for 28 taxa in different rates. Del Río *et al.* (2003) described a plantation with 4 species at the same proportion that $H' = 2.0$ and another one, with 2 species ($H' = 1.0$). Magurran (2004) states that when a distribution of abundance behaves as the logarithmic normal, around 100 taxa are needed to reach a $H' = 3.0$ value.

El índice H' refleja la heterogeneidad de una comunidad sobre la base de dos factores: el número de especies presentes y su abundancia relativa. Así, en un bosque mesófilo de montaña, Corral *et al.* (2005) estimaron un valor $H' = 2.46$ para un total de 22 especies y $H' = 2.32$ con 28 taxa en diferentes proporciones. Del Río *et al.* (2003) documentaron una plantación con cuatro especies en la misma proporción con $H' = 2.0$ y otra, con dos especies ($H' = 1.0$). Magurran (2004) menciona que cuando la distribución de la abundancia tiene el comportamiento de una normal logarítmica, se necesitan alrededor de 100 taxa para obtener un valor de $H' = 3.0$.

Composición de la estructura

En el Cuadro 5 se resume el número de GE con que se caracterizaron las comunidades y se registran las distancias promedio de los árboles vecinos más cercanos. La cuantificación de la estructura horizontal mediante el M_i puede variar

Structure Composition

In Table 5 is summarized the GE number with which communities were described and the average distance among the closer neighboring trees is recorded. The quantification of the horizontal structure through M_i might vary from 0 to 1. Numbers near 0 mean that species tend not to mix; the opposite condition takes place when numbers get closer to 1. Pirud had the lowest average number, that is, that any tree has between 1 or 2 neighbors of different taxa. Piaya showed the most important mixture, since from each 4 surrounding trees, at least 2 belong to a different taxon.

The Kruskal-Wallis for M_i test proved the existence of significant statistical differences ($\chi^2 = 191.53$ and $p = 0.0001$). The Nemenyi method estimated a critical distance of 215, which means a higher value at the average range between two communities is significant. In this context, Piaya, Pilei, Pioax and Pipat made up the first statistical group with the highest mixture of species.

Cuadro 5. Grupos estructurales (GE) y valores promedio de los índices para la caracterización de las ocho comunidades fitosociológicas estudiadas.

Table 5 Structural groups (GE) and average values of the indexes for the description of the eight phytosociological communities.

Comunidad	n	Distancia media (m)	M_i	KW para M_i	W_i	KW para W_i	U_i	KW para U_i
Piaya	198	(1.84) 4.08	0.687	1554a	0.534	1242a	0.498	1326a
Pilei	123	(1.62) 3.16	0.650	1469ab	0.569	1410a	0.511	1327a
Pioax	365	(2.10) 4.22	0.622	1419abc	0.553	1379a	0.513	1333a
Pipat	1176	(1.99) 4.27	0.591	1346abcd	0.542	1282a	0.506	1297a
Pipse	213	(1.87) 3.96	0.559	1273bcd	0.561	1303a	0.462	1285a
Pidou	240	(1.55) 3.26	0.545	1240cd	0.547	1320a	0.486	1281a
Piteo	124	(1.72) 3.78	0.490	1152d	0.542	1318a	0.516	1348a
Pirud	173	(1.61) 3.51	0.346	636e	0.530	1289a	0.512	1304a

*Valores en la misma columna y con la misma letra no son estadísticamente diferentes según la prueba de Nemenyi. La distancia media entre el árbol de referencia i y el primer árbol vecino más cercano entre paréntesis, y el cuarto árbol vecino más cercano fuera del paréntesis. n = Número de GE; KW = Rango medio de la prueba de Kruskal-Wallis; W_i = Índice de uniformidad; U_i = Índice de dominancia.

Values in the same column and with the same letter are not statistically different according to the Nemenyi test. Average distance between the reference tree i and the first neighboring trees between brackets and the fourth closer tree out of the brackets. n = GE number; KW = Average range of the Kruskal-Wallis test; W_i = Uniformity index; U_i = Dominance index.

entre 0 y 1. Valores cercanos a cero implican que las especies tienden a no mezclarse; situación contraria cuando los valores se acercan a 1. Pirud presentó el promedio más bajo, es decir, que cualquier árbol tiene entre uno y dos individuos vecinos de taxa diferentes. La Piaya mostró la mayor mezcla, ya que de cuatro árboles circunvecinos, al menos dos son de otro taxón.

La prueba de Kruskal-Wallis para M_i evidenció la existencia de diferencias estadísticas significativas ($\chi^2 = 191.53$ y $p = 0.0001$). El método de Nemenyi estimó una distancia

In Figure 2 can be observed the percentage distribution of the M_i index of the representative phytosociological communities as well as the dominant *Pinus* species in association with each of them. In Piaya (Figure 2a), which is representative of the first statistical group, at least 61 per cent of the number of trees coexist with three and four closer trees of different taxa. The contrasting case occurs in the Pirud community (Figura 2d), which was the condition with the lowest mixture, where 66.5 per cent of the individuals belong to pure groups or that are linked just to one taxon; in addition, they have two in-between conditions, Pidou and Piteo (figures 2b and 2c).

crítica de 215, que indica que un valor superior al intervalo medio entre dos comunidades es significativo. En este contexto, Piaya, Pilei, Pioax y Pipat conformaron el primer grupo estadístico con la mezcla de especies más alta.

Forest management and interspecific competence fall into the composition of the tree layer (Neumann and Starlinger, 2001), while the M_i index is determined, mainly, by the relative abundance of species (Kint *et al.*, 2003). The species in great numbers show low mixture values, since there are few neighbors of other taxa.

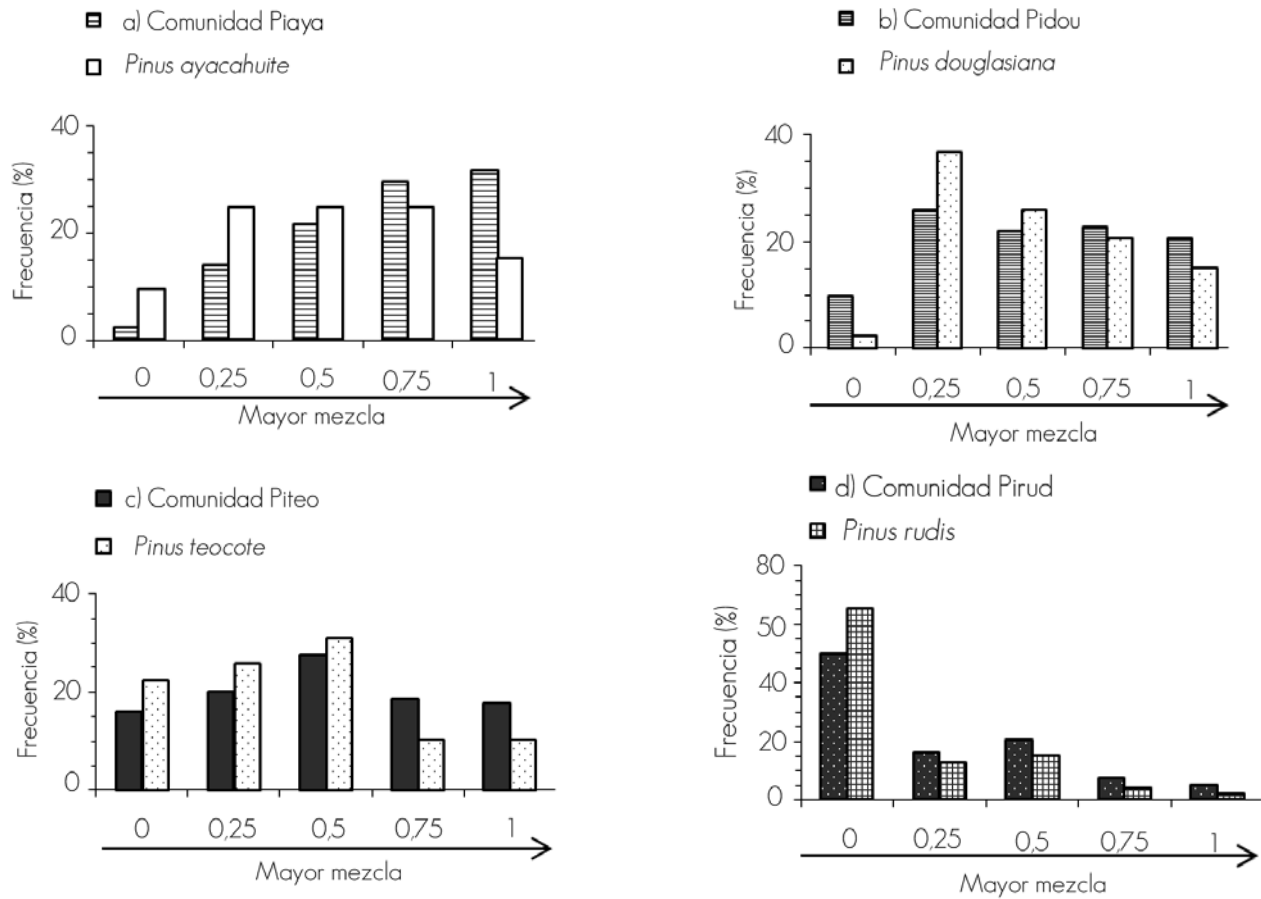


Figura 2. Distribución del índice mezcla de especies (M_i) para cuatro comunidades fitosociológicas y para la especie de *Pinus* dominante asociada.

Figure 2. Mixture of species index distribution (M_i) for 4 phytosociological communities and for the dominant associated *Pinus* species.

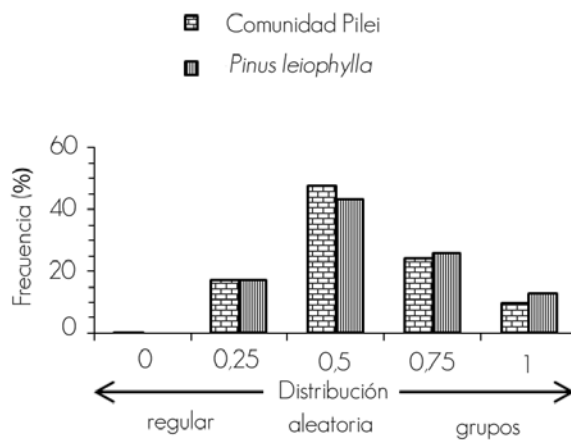
En la Figura 2 se observa la distribución porcentual del índice M_i de las comunidades fitosociológicas representativas y también de la especie de *Pinus* dominante asociada a cada una de ellas. En la condición Piaya (Figura 2a), representante del primer grupo estadístico, al menos 61% del número de árboles conviven con tres y cuatro árboles más cercanos de taxa diferentes. El caso contrastante se muestra en la comunidad Pirud (Figura 2d), que fue la condición con menor grado de mezcla, aquí 66.5% de los individuos pertenecen a grupos puros o están asociados sólo a otro taxón; además se presentan dos condiciones intermedias, Pidou y Piteo (figuras 2b y 2c).

The analysis of the species distribution patterns showed that there were no statistical differences among the eight assessed conditions; the average value of W_i varied from 0.530 to 0.569 (Table 5), which in general terms, addresses a horizontal random spatial arrangement with a tendency to form groups. This is more notorious for the Pilei community case (Figure 3a).

The growth space occupied by the trees is different, in regard to their distribution. The regular type provides the greatest space and better growth conditions for each tree, while the cluster type causes increment loss (Pretzsch, 2009). According to Gadow and Hui (2002), when W_i is 0.5, there is a random distribution, as the data are displaced towards 0.6, tends to

El manejo forestal y la competencia interespecífica inciden en la composición del estrato arbóreo (Neumann y Starlinger, 2001); mientras que el índice M_i está determinado, principalmente, por la abundancia relativa de las especies (Kint *et al.*, 2003). Las especies presentes en gran proporción reflejarán valores bajos de mezcla, al tener pocos vecinos de otros taxa.

El análisis de los patrones de distribución de las especies mostró que no hubo diferencias estadísticas entre las ocho condiciones evaluadas, el valor promedio de W_i varió de 0.530 a 0.569 (Cuadro 5), que representa de manera general un arreglo espacial horizontal aleatorio con tendencia a formar grupos. Esto es más notorio para el caso de la comunidad Pilei (Figura 3a).



form clusters and a number under 0.4 means it is a regular distribution. However, the precise definition of the indicative ranges demands fines scales. In this sense, Corral-Rivas *et al.* (2010) intend a new spatial random permutation test more sensible to these patterns; they consider W_i values from 0.512 up to 0.548 for a cluster distribution.

Even if the average W_i is very informative to describe the point arrangements, it is advisable to know the corresponding to values, which exhibit the structural variability in a certain forest. In Figure 3 are observed the distribution for the Pipat and Pilei representative communities; the latter had 34 per cent of the GE in a cluster distribution and was the higher condition with this component. The dominant pine species had a similar tendency.

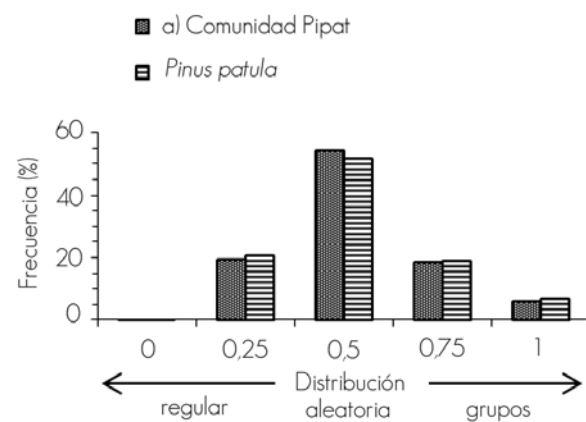


Figura 3. Distribución del índice U_i en dos comunidades fitosociológicas representativas y para la especie de *Pinus* dominante asociada. Figure 3. U_i index distribution in two representative phytosociological communities for the associated dominant *Pinus* species.

El espacio de crecimiento ocupado por los árboles es diferente, en función de su distribución. La de tipo regular proporciona el máximo espacio y mejores condiciones de crecimiento para cada individuo; mientras que una agrupada causa pérdidas de incremento (Pretzsch, 2009). De acuerdo con Gadow y Hui (2002), cuando W_i es igual a 0.5 la distribución es aleatoria, conforme el dato se desplaza hacia 0.6, tiende a ser en grupos y un número menor de 0.4 indica una distribución regular. Sin embargo, la definición precisa de los intervalos indicativos, requiere de escalas más finas. Al respecto, Corral-Rivas *et al.* (2010) proponen una nueva prueba de permutación de aleatoriedad espacial más sensible para dichos patrones; ellos consideran valores de W_i de 0.512 hasta 0.548, para una distribución en grupos.

Aunque el promedio de W_i es bastante informativo para caracterizar el arreglo de puntos, es aconsejable conocer el que corresponde a sus valores, los cuales exhiben la variabilidad estructural en un bosque dado. En la Figura 3 se observa la

For the eight conditions, the average per cent of trees with a regular distribution was 20, random, 53 and cluster, 27. Those patterns that have been linked to several processes such as the creation of gaps, competence, regeneration, dispersion (dispersal), the stand development stage, and forestry activities, among others (Zenner and Hibbs, 2000).

The results related to the size differentiation, in diameter, quantified through the Dominance(U_i) index, are summarized at the community level in Table 5. The statistical test showed a similar behavior among communities with average near 0.5, which means that any tree inside the i community has two neighboring trees with a smaller diameter and two with a larger diameter. In Table 6 *P. douglasiana* in 42 per cent of GE behaved like a suppressed species, as it is surrounded by four and three neighboring trees with a larger diameter; on the contrary, in 43 per cent of the clusters was detected one dominant species located among three and four thinner trees. In the case of *P. leiophylla* was observed a dominant behavior,

distribución para las comunidades representativas Pipat y Pilei; esta última tuvo en 34% de los GE en una distribución en grupos y fue la condición superior con esta característica. Las especies de pinos dominantes tuvieron una tendencia similar. Para las ocho condiciones, el porcentaje promedio de árboles con una distribución regular fue del 20%, aleatoria 53% y en grupos 27%. Dichos patrones han sido vinculados a diversos

since from the four trees around it, three of them have a smaller diameter.

In general terms, the frequency distribution of the eight *Pinus* species kept its significance values in each of the classification criteria, which makes it possible to define its condition of dominant, co-dominant and suppressed, in their own communities

Cuadro 6. Valor promedio de U_i y distribución de frecuencias de grupos estructurales para las especies de *Pinus* más importantes en sus respectivas comunidades.

Table 6. Average U_i value and frequency distribution in structural groups for de most important *Pinus* species in their respective communities.

Especie de referencia	U_i	Cuatro árboles más cercanos ¹				
		G = 4 P = 0	G = 3 P = 1	G = 2 P = 2	G = 1 P = 3	G = 0 P = 4
<i>Pinus douglasiana</i>	0.49	28	14	15	18	25
<i>P. pseudostrobus</i>	0.51	22	17	18	20	23
<i>P. rudis</i>	0.52	20	17	17	25	21
<i>P. ayacahuite</i>	0.55	19	19	12	21	29
<i>P. patula</i>	0.59	14	15	19	23	29
<i>P. teocote</i>	0.62	12	14	19	24	31
<i>P. oaxacana</i>	0.68	10	10	21	17	42
<i>P. leiophylla</i>	0.76	0	9	13	43	35

¹ = Árboles vecinos mayores (G) y menores (P), en diámetro, que el árbol de referencia. G = Bigger and P= smaller neighboring-trees diameter than the reference tree.

procesos, como la creación de huecos, la competencia, la regeneración, la dispersión, la fase de desarrollo del rodal y las intervenciones silvícolas, entre otros (Zenner y Hibbs, 2000).

Los resultados correspondientes a la diferenciación de tamaños, en diámetro, cuantificados mediante el índice de Dominancia (U_i), se resumen a nivel de comunidad en el Cuadro 5. La prueba estadística presentó un comportamiento similar entre comunidades con promedios alrededor de 0.5, lo cual significa que cualquier árbol dentro de la comunidad i tiene a dos árboles vecinos con menor diámetro y dos con diámetro superior. En el Cuadro 6 se observa que *P. douglasiana* en 42% de los GE se comportó como una especie suprimida, al estar rodeada por cuatro y tres árboles vecinos de diámetro más grande; por el contrario, en 43% de los grupos se identificó una especie dominante ubicada entre tres y cuatro individuos más delgados. Para el caso de *P. leiophylla* se observó un comportamiento dominante, ya que de los cuatro árboles que lo rodean, tres de ellos son de diámetro inferior.

En términos generales, la distribución de frecuencias de las ocho especies de *Pinus*, se mantuvo con valores significativos en cada uno de los criterios de clasificación, lo que permite definir su carácter de

CONCLUSIONS

The change of values of indexes inside and among communities provides information about the structure of the stand. The influence of the interspecific competence and wood harvesting is outstanding in the composition of species, in the horizontal distribution and in the size of trees.

Pine-oak forests in Ixtlan de Juarez, Oaxaca, Mexico are heterogeneous. Pipat and Piaya communities were the most diverse; Pirud showed the opposite situation. Pine taxa are outstanding since they cover most of the basal area, with the highest number of trees per surface unit and are displayed on almost all the area. In spite of the great diversity of tree species, most of them are represented by very few dispersed elements of small dimensions.

The degree mixture of tree species was different for each plant association. Pipat, Piaya, Pilei and Pioax communities made up one cluster with the highest values; Pirud showed the smaller mixture, a situation that can be attributed to the relative abundance of taxa. The horizontal spacial arrangement of the trees had a similar behavior for the eight communities, with a general random distribution pattern, even if in each one of them were obtained smaller proportions, with a regular and cluster distributions.

árboles dominantes, codominantes y suprimidos, en sus respectivas comunidades.

CONCLUSIONES

El cambio de valores de los índices dentro y entre comunidades proporciona información sobre la estructura del rodal. La influencia de la competencia interespecífica y los aprovechamientos de madera es notoria en la composición de especies, en la distribución horizontal y en el tamaño de los árboles.

Los bosques de pino-encino en Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México son heterogéneos. Pipat y Piaya fueron las más diversas, Pirud mostró una situación opuesta. Los taxa de pinos sobresalen, pues ocupan la mayor área basal, con el número más alto de árboles por unidad de área y se distribuyen en casi toda la superficie. A pesar de la gran diversidad de especies arbóreas, la mayoría de ellas están representadas por pocos individuos, de pequeñas dimensiones y dispersos.

El grado de mezcla de las especies arbóreas fue diferente para cada asociación vegetal; Pipat, Piaya, Pilei y Pioax conformaron un grupo con los valores más grandes; Pirud fue la que presentó la menor mezcla, situación atribuible a la abundancia relativa de los taxa. El arreglo espacial horizontal de los árboles tuvo un comportamiento similar para las ocho comunidades, con un patrón general de distribución aleatorio; aunque en cada una de las comunidades se obtuvieron proporciones menores, con distribución regular y en grupos.

El tamaño de los individuos, definido a través de la dominancia en diámetro a nivel de especie, fue diverso y cubrieron proporcionalmente las diferentes condiciones como árboles dominantes, codominantes y suprimidos. En la comunidad Pilei y *Pinus leiophylla* como su principal representante, se observó una distribución restringida, alta competencia y en su mayoría reúne árboles grandes. De acuerdo con sus valores se considera que es un taxón que pudiese estar en proceso de ser desplazado.

REFERENCIAS

Aguirre C., O. A., G. Hui, K. Gadow and J. Jiménez. 2003. An analysis of spatial forest structure using neighborhood-based variables. *Forest Ecology and Management* 183(1): 137-145.

Bailey, D. and J. C. Tappeiner. 1998. Effects of thinning on structural development in 40 to 100-year-old Douglas-fir stands in western Oregon. *Forest Ecology and Management*. 108(1):99-113.

Brokaw N., V. L. and R. A. Lent. 1999. Vertical structure. In: Hunter, M. L. (Ed). *Maintaining biodiversity in forest ecosystems*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. pp. 373-399.

Canham, C. D., A. C. Finzi, S. W. Pacala and D. H. Burbank. 1994. Causes and consequences of resource heterogeneity in forests: interspecific variation in light transmission by canopy trees. *Can. J. For. Res.* 24: 337-349.

The size of the individuals, defined through the dominance in diameter at the species level was diverse and proportionally covered the different conditions as dominant, co-dominant and suppressed trees. At Pilei community and *Pinus leiophylla*, as its main species, a restricted distribution and intense competence were observed, and most of the trees are big. According to its numbers, this taxon can be considered in the process of displacement.

End of the English version

Castellanos-Bolaños, J. F., E. J. Treviño-Garza, O. A. Aguirre-Calderón, J. Jiménez-Pérez y R. López-Aguillón. 2008. Estructura de bosques de pino pátula bajo manejo en Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México. *Madera y Bosques* 14(2):51-63.

Corral R., J. J., O. A. Aguirre C., J. Jiménez P. y S. Corral R. 2005. Un análisis del efecto del aprovechamiento forestal sobre la diversidad estructural en el bosque mesófilo de montaña "El Cielo", Tamaulipas, México. *Invest. Agrar. Sist. Recur. For.* 14(2):217-228.

Corral-Rivas, J. J., C. Wehenkel, H. A. Castellanos-Bocaz, B. Vargas-Larreta and U. Diéguez-Aranda. 2010. A permutation test of spatial randomness: application to nearest neighbor indices in forest stands. *J. For. Res.* DOI 10.1007/s10310-010-0181-1. 8p.

Crecente-Campo, F., A. Pommerening and R. Rodríguez-Soalleiro. 2009. Impacts of thinning on structure, growth and risk of crown fire in a *Pinus sylvestris* L. plantation in northern Spain. *Forest Ecology and Management*. 257(10):1945-1954.

Crow, T. R., D. S. Buckley, E. A. Navertz and J. C. Zasada. 2002. Effects of management on the composition and structure of northern hardwood forests in upper Michigan. *For. Sci.* 48(1): 129-145.

Del Castillo, R. F., J. A. Pérez de la Rosa, G. Vargas Amado y R. Rivera-García. 2004. Coníferas. In: García-Mendoza, A. J., M. J. Ordóñez y M. Briones-Salas (Eds.), *Biodiversidad de Oaxaca*. Instituto de Biología-UNAM, Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza, World Wildlife Fund, México, D. F. México. pp. 141-158.

Del Río, M., F. Montes, I. Cañellas y G. Montero. 2003. Revisión: índices de diversidad estructural en masa forestales. *Invest. Agrar. Sist. Recur. For.* 12(1):159-176.

Diggle, P. J. 1989. *Statistical analysis of spatial point patterns*. Academic Press, London. UK. 148 p.

Efron, B. 1979. Bootstrap methods: another look at the jackknife. *Annals of Statistics* 7:1-16.

Emborg, J. 1998. Understorey light conditions and regeneration with respect to the structural dynamics of a near natural temperate deciduous forest in Denmark. *Forest Ecology and Management* 106(2): 83-95.

Franklin, J. F., T. A. Spies, R. Van Pelt, A. B. Carey, D. A. Thornburgh, D. R. Berg, D. B. Lindenmayer, M. E. Harmon, W. S. Keeton, D. C. Shaw, K. Bible and J. Chen. 2002. Disturbances and structural development of natural forest ecosystems with silvicultural implications, using Douglas-fir forest as an example. *Forest Ecology and Management*. 155(1): 399-423.

Gadow, K. V. 1993. Zur Bestandesbeschreibung in der Forsteinrichtung. *Forst und Holz* 21:601-606.

Gadow, K. V. and G. Hui. 1999. *Modeling forest development*. Kluwer Academic Publishers Dordrecht, The Netherlands. 212 p.

Gadow, K. V. and P. Pogoda. 2000. Assessing forest structure and diversity. *Man. For.* 1:1-8.

Gadow, K. V. and G. Hui. 2002. Characterizing forest spatial structure and diversity. In: Bjoerk, L. (Ed). *Proceedings of the IUFRO International workshop 'Sustainable forestry in temperate regions'*. Lund, Sweden. pp. 20-30.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2009. Anuario estadístico del estado de Oaxaca. www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/sisnav/default.aspx?proy=ae&edi=2009&ent=20. (febrero de 2010).

- Ishii, H. T., S. Tanabe and T. Hiura. 2004. Exploring the relationships among canopy structure, stand productivity, and biodiversity of temperate forest ecosystems. *For. Sci.* 50 (3): 342-355.
- Kimmins, J. P. 1997. Biodiversity and its relationship to ecosystem health and integrity. *For. Chron.* 73:229-232.
- Kint, V., M. Van Meirvenne, L. Nachtergale, G. Geudens and N. Lust. 2003. Spatial methods for quantifying forest stand structure development: a comparison between nearest-neighbor indices and variogram analysis. *For. Sci.* 49 (1): 36-49.
- Lähde, E., O. Laiho, Y. Norokorpi, and T. Saksala. 1999. Stand structure as the basis of diversity index. *Forest Ecology and Management* 115(2): 213-220.
- Leigh, J., E. G., P. Dadvivar, C. W. Dick, J. P. Puyravaud, J. Terborgh, H. ter Stege and S. J. Wright. 2004. Why do some tropical forests have so many species of trees?. *Biotropica* 36(4): 447-473.
- Magurran, A. E. 2004. *Measuring biological diversity*. Blackwell. Publishing House. Oxford, UK. 256 p.
- Müller-Dombois, D. and H. Ellenberg. 1974. *Aims and methods of vegetation ecology*. John Wiley and Sons. New York, NY. USA. 547 p.
- Neuman, M. and F. Starlinger. 2001. The significance of different indices for stand structure and diversity in forest. *Forest Ecology and Management* 145(1): 91-106.
- Newton, P. F. and P. A. Jolliffe. 1998. Assessing processes of intraspecific competition within spatially heterogeneous black spruce stands. *Can. J. For. Res.* 28:259-275.
- Pommerening, A. 2002. Approaches to quantifying forest structures. *Forestry* 75(3):305-324.
- Pommerening, A. and D. Stoyan. 2006. Edge-correction needs in estimating indices of spatial forest structure. *Can. J. For. Res.* 36(7): 1723-1739.
- Pretzsch, H. 2009. *Forest dynamics, growth and yield*. Springer-Verlag Berlin, Heilderberg, Germany. 664 p.
- Spies, T. A. 1998. Forest structure: a key to the ecosystem. *Northwest Sci.* 72(2):34-39.
- Técnica Informática Aplicada, S. A. (TIASA). 2002. Programa de Manejo Forestal de Ixtlán de Juárez 1993-2002. Ixtlán de Juárez, Oaxaca. México. 290 p.
- Valencia Á., S. y K. C. Nixon. 2004. Encinos. In: García-Mendoza, A. J., M. J. Ordóñez y M. Briones-Salas (Eds.), *Biodiversidad de Oaxaca*. Instituto de Biología-UNAM, Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza, World Wildlife Fund, México, D. F. México. pp. 219-225.
- World Wildlife Fund (WWF). 2007. Ecorregiones prioritarias. Sierra Norte de Oaxaca. www.wwf.org.mx/wwfmex/programas.php. (febrero de 2010).
- Wright, S. J. 2002. Plant diversity in tropical forests: a review of mechanisms of species coexistence. *Oecologia*. 130: 1-14.
- Zar, J. H. 2004. *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall. New Jersey, NJ. USA. 929 p.
- Zenner, E. K. and D. E. Hibbs. 2000. A new method for modeling the heterogeneity of forest structure. *Forest Ecology and Management*. 129(1): 75-87.