



Revista Chapingo. Serie Ciencias
Forestales y del Ambiente

ISSN: 2007-3828

rforest@correo.chapingo.mx

Universidad Autónoma Chapingo
México

Luna-Bautista, Lizbeth; Hernández-de la Rosa, Patricia; Velázquez-Martínez, Alejandro;
Gómez-Guerrero, Armando; Acosta-Mireles, Miguel
Understory in the composition and diversity of managed forest areas in Santa Catarina
Ixtepeji, Oaxaca
Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, vol. XXI, núm. 1, febrero,
2015, pp. 109-121
Universidad Autónoma Chapingo
Chapingo, México

Available in: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62937155010>

- How to cite
- Complete issue
- More information about this article
- Journal's homepage in redalyc.org

redalyc.org

Scientific Information System

Network of Scientific Journals from Latin America, the Caribbean, Spain and Portugal

Non-profit academic project, developed under the open access initiative

Understory in the composition and diversity of managed forest areas in Santa Catarina Ixtepeji, Oaxaca

El sotobosque en la composición y diversidad de áreas bajo manejo forestal en Santa Catarina Ixtepeji, Oaxaca

Lizbeth Luna-Bautista¹, Patricia Hernández-de la Rosa¹,
Alejandro Velázquez-Martínez^{1*}, Armando Gómez-Guerrero¹,
Miguel Acosta-Mireles².

¹Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. km 36.5 Carretera México-Texcoco. C. P. 56230. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. MÉXICO. Correo-e: alejvela@colpos.mx, tel.: (595) 952 0200 ext. 1470

(*Autor para correspondencia).

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Campo Experimental Valle de México. Carretera Los Reyes-Texcoco km 13.5. C. P. 56250. Coatlinchán, Texcoco, Edo. de México. MÉXICO.

Abstract

In the present study, the effect of silvicultural practices on richness, composition and diversity of tree species, herbaceous and shrub species in a forest community of Santa Catarina Ixtepeji, Oaxaca was evaluated. To this end, the following silvicultural treatments were evaluated: selective cutting (1998), light thinning (2011) and seed tree cutting (1998 and 2011). Alpha and beta diversity indices of tree communities (shrub and herbaceous) were estimated, and also the Importance Value index (IVI) of the tree layer. The results showed that the herbaceous component is the most diverse in both stands with and without silvicultural management, followed by the shrub component. According to the IVI, *Pinus oaxacana* Mirov was the most important ecological species in all treatments evaluated, including unmanaged forest. The results indicate that logging modifies richness, diversity and composition of the tree strata (shrub and herbaceous), these two tree strata are the largest contributors to diversity. Therefore it is important to assess the understory, because it helps giving a better explanation of the total plant diversity of the forest.

Keywords: Silvicultural treatments, understory vegetation, stand structure, biodiversity indices.

Resumen

En el presente estudio se investigó el efecto de las prácticas silvícolas sobre la riqueza, composición y diversidad de las especies arbóreas, herbáceas y arbustivas en un bosque de la comunidad de Santa Catarina Ixtepeji, Oaxaca. Para tal fin, los siguientes tratamientos silvícolas fueron evaluados: corta de selección 1998, aclareo ligero 2011 y árboles padre 1998 y 2011. Los índices de diversidad alfa y beta de las comunidades arbórea, arbustiva y herbácea se estimaron, así como el índice de valor de importancia (IVI) del estrato arbóreo. Los resultados mostraron que el componente herbáceo es el más diverso tanto en rodales bajo manejo silvícola como sin manejo, seguido del componente arbustivo. De acuerdo con el IVI, la especie de mayor importancia ecológica fue *Pinus oaxacana* Mirov. en todos los tratamientos evaluados, incluyendo el bosque sin manejo. Los resultados indican que el aprovechamiento forestal modifica la riqueza, diversidad y composición de los estratos arbóreo, arbustivo y herbáceo, siendo los dos últimos estratos los que más contribuyen a la diversidad. Por lo anterior resulta importante evaluar el sotobosque, ya que ayuda a dar una mejor explicación de la diversidad vegetal total del bosque.

Palabras clave: Tratamiento silvícola, vegetación del sotobosque, estructura del rodal, índices de biodiversidad.

Please cite this article as follows (APA 6): Luna-Bautista, L., Hernández-de la Rosa, P., Velázquez-Martínez, A., Gómez-Guerrero, A., & Acosta-Mireles, M. (2015). Understory in the composition and diversity of managed forest areas in Santa Catarina Ixtepeji, Oaxaca. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 21(1), 109–121. doi: 10.5154/r.rchscfa.2014.08.037

Received: August 28, 2014 / Accepted: March 10, 2015.



www.chapingo.mx/revistas/forestales

Introduction

Species richness and diversity of each of the strata forming a forest under silvicultural management have become topics of interest, because of the need to know the most important components of the ecosystem from an ecological, economic, social and cultural perspective. The adoption of new paradigms on forest management at international level, promote the need to employ practices imitating natural succession dynamics and enhancing biodiversity, specially flora and fauna (Ares, Berryman, & Puettmann, 2009; Puettmann, 2011). Silvicultural treatments used to control species composition, growth and development of a forest are essentially simulations of natural disturbances (Fujimori, 2001; Smith, Larson, Kelty, & Ashton, 1997) modifying structure, composition, diversity and function of the stand (Ares et al., 2009; Fujimori, 2001; Oliver & Larson, 1996). Due to the above, assessing forest ecosystems through ecological indicators such as structure and diversity, focus on the analysis of the relationship among species in a population (Jiménez, Aguirre, & Kramer, 2001) and the effect of both natural and human-induced disturbances.

In Mexico studies have been performed reporting the response of tree species to silvicultural treatments, evaluating tree structure differences in time and space (Alanís-Rodríguez et al., 2013; Castellanos et al., 2008; Leyva-López, Velázquez-Martínez, & Ángeles-Pérez, 2010; Návar-Cháidez & González-Elizando, 2009; Solís et al., 2006), and studies documenting the response to a disturbance such as forest fires (Alanís-Rodríguez et al., 2010). However, studies addressing the response of understory silvicultural practices such as regeneration cutting and thinning are scarce, even knowing that the composition of tree structure can influence the diversity of understory (Barbier, Gosselin, & Balandier 2008) and that it can intervene in changing the environment for the establishment of natural regeneration (Kuehne & Puettmann, 2008). The application of thinning leads to high levels of biodiversity and richness of tree species under logging (Ares, Neill, & Puettmann, 2010; Berger, Puettmann & McKenna, 2012; Burton, Ares, Mulford, Deanna, & Puettmann, 2013).

Understory is a key component of forest ecosystems because it provides habitat for wildlife and contributes to nutrient cycling, resulting in the maintenance of productive capacity in managed forests (Ampooter, Beaten, Koricheva, Vanhellemont, & Verheyen, 2014; Berger & Puettmann, 2000; Davis & Puettmann, 2009). This study considers that the understory (shrubs and herbs) is an integral component of the structure of managed forest. The general hypothesis is that the composition and species richness and alpha and beta diversity indices in a managed ecosystem differ between silvicultural treatments and application time.

Introducción

La riqueza de especies y la diversidad de cada uno de los estratos que conforman un bosque bajo manejo silvícola se han convertido en temas de interés, debido a la necesidad de conocer los componentes más importantes del ecosistema desde el punto de vista ecológico, económico, social y cultural. La adopción de nuevos paradigmas de manejo forestal a nivel internacional promueven la necesidad de emplear prácticas que imiten la dinámica de sucesión natural y mejoren la biodiversidad, en particular de la flora y la fauna (Ares, Berryman, & Puettmann, 2009; Puettmann, 2011). Los tratamientos silvícolas utilizados para controlar la composición de especies, el crecimiento y el desarrollo de un bosque son en esencia simulaciones de disturbios naturales (Fujimori, 2001; Smith, Larson, Kelty, & Ashton, 1997) que modifican la estructura, composición, diversidad y función del rodal (Ares et al., 2009; Fujimori, 2001; Oliver & Larson, 1996). Por lo anterior, la evaluación de los ecosistemas forestales, a través de indicadores ecológicos como la estructura y la diversidad, se enfocan en el análisis de la relación entre especies de una población (Jiménez, Aguirre, & Kramer, 2001) y el efecto de disturbios tanto naturales como inducidos.

En México se han realizado estudios que reportan la respuesta de las especies arbóreas a los tratamientos silvícolas, evaluando diferencias de la estructura arbórea en tiempo y espacio (Alanís-Rodríguez et al., 2013; Castellanos et al., 2008; Leyva-López, Velázquez-Martínez, & Ángeles-Pérez, 2010; Návar-Cháidez & González-Elizando, 2009; Solís et al., 2006), así como estudios que documentan la repuesta a algún disturbio como los incendios forestales (Alanís-Rodríguez et al., 2010). Sin embargo, los estudios que abordan la respuesta del sotobosque a prácticas silvícolas, como las cortas de regeneración y los aclareos, son escasos, aun conociendo que la composición de la estructura arbórea puede influir en la diversidad del sotobosque (Barbier, Gosselin, & Balandier, 2008) y que ésta puede intervenir en la modificación del ambiente para el establecimiento de la regeneración natural (Kuehne & Puettmann, 2008). La aplicación de aclareos induce altos niveles de biodiversidad y de la riqueza de las especies arbóreas bajo aprovechamiento (Ares, Neill, & Puettmann, 2010; Berger, Puettmann & McKenna, 2012; Burton, Ares, Mulford, Deanna, & Puettmann, 2013).

El sotobosque es un componente clave de los ecosistemas forestales, ya que provee hábitat para la fauna silvestre y contribuye en el ciclo de nutrientes, lo que se traduce en el mantenimiento de la capacidad productiva en bosques bajo manejo (Ampooter, Beaten, Koricheva, Vanhellemont, & Verheyen, 2014; Berger & Puettmann, 2000; Davis & Puettmann, 2009). En el presente estudio se considera que el sotobosque

Therefore, the objectives of this study were 1) to obtain richness, species composition and diversity indices (alpha and beta) of the tree layer and understory in forests managed under different silvicultural treatments and application times and 2) determine whether there are differences in the variables analyzed in a managed forest (silviculture and application time), when compared with unmanaged forest.

Materials and methods

Location of the study area

The study area is located in the communal lands of Santa Catarina Ixtepeji, Oaxaca (Figure 1) between the geographical coordinates 17° 26' N and 96° 34' W, and average altitude of 1,920 m (Zacaría-Eslava & Del Castillo, 2010). The climate is temperate subhumid with summer rains and average annual temperatures of 17.6 °C. The type of soil is silty medium textured humic Acrisol (Ah) (Zacaría-Eslava & Del Castillo, 2010; Vázquez & Givnish, 1998). Pine-oak and oak forest are the predominant vegetation; *Pinus oaxacana* Mirov., *P. teocote* Schiede ex Schltdl., *P. leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham., *Quercus crassifolia* Humb. & Bonpl., *Q. castanea* Née and *Q. rugosa* Née are among the most common species (Zacaría-Eslava & Del Castillo, 2010).

(arbustos y hierbas) es un componente integral de la estructura de bosques bajo manejo. La hipótesis general plantea que la composición y riqueza de las especies y los índices de diversidad alfa y beta en un ecosistema bajo manejo difieren entre tratamientos silvícolas y tiempo de aplicación. Por lo anterior, los objetivos de este estudio fueron 1) obtener la riqueza, composición de especies e índices de diversidad (alfa y beta) del estrato arbóreo y el sotobosque en bosques manejados bajo diferentes tratamientos silvícolas y tiempos de aplicación y 2) determinar si existen diferencias en las variables analizadas de un bosque con manejo (tratamientos silvícolas y tiempo de aplicación), al compararse con un bosque sin manejo.

Materiales y métodos

Localización del área de estudio

El área de estudio se encuentra en los terrenos comunales del municipio de Santa Catarina Ixtepeji, Oaxaca (Figura 1) entre las coordenadas geográficas 17° 26' LN y 96° 34' LO, a una altitud promedio de 1,920 m (Zacaría-Eslava & Del Castillo, 2010). El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano y temperaturas medias anuales de 17.6 °C. El tipo de suelo es Acrisol húmico (Ah) con textura media

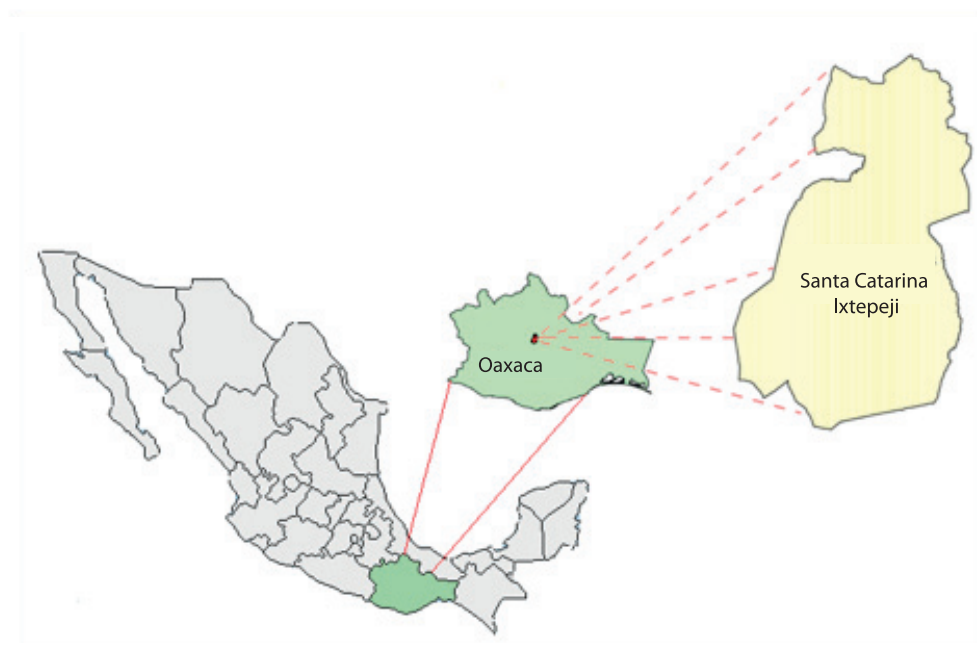


Figure 1. Location of the study area in the communal property of Santa Catarina Ixtepeji, Oaxaca.

Figura 1. Localización del área de estudio en el predio comunal de Santa Catarina Ixtepeji, Oaxaca.

Background of forest management

Forest management in the community of Santa Catarina Ixtepeji began 45 years ago. During the first 25 years, management was under Mexican method of irregular forest management (MMOBI) with selective cutting, which influenced determinedly the composition and structure of forests. In the past 20 years, the system of conservation and forestry development (SICODESI) has been used for regular stands with a rotation period of 60 years (liberation cutting, pre-thinning, four thinning and regeneration cutting) and for irregular stands with cutting cycles of 10 years and selective tree cutting as main method of regeneration. In both cases it is considered that a stand with regeneration of commercial species (predominating oak and other hardwoods) has not been generated, especially due to low intensity in the application of silvicultural treatments that have created favorable conditions for the species.

Sampling sites and measurement of variables

Cutting areas correspond to annualities 1998-1999 and 2010-2011. Stands with regeneration cutting with seed tree cutting, selective cutting and light thinning were chosen in these areas. Nearby areas with similar characteristics in composition, altitude, slope and aspect were selected in order to compare the effect of these treatments on structure, composition, richness and diversity of species in unmanaged stands. Table 1 reports the number of sites sampled by silvicultural treatment and annuality. A sampling intensity of 5 % for each annuality and silvicultural treatment was established. Sampling sites were chosen randomly from a grid of dots superimposed on an image of the work area. Nested circular sites were established. At the first place (400 m², 11.28 m radius) the total height of all trees with greater normal diameter of 2.5 cm was measured and the respective species was recorded. 200 m² (7.97 m radius) sites were established in a concentric manner and the coverage percentage of shrub species and their height were measured; finally, four sites (1 m²) were placed within such areas, these sites were located systematically at 7 m from the center of each site (400 m²) in the four free zones and in the direction of clockwise. At 1 m² sites, the coverage percentage of each herbaceous species was estimated and the frequency was recorded. All species not identified in the field were collected for subsequent taxonomic identification in the herbarium at the Colegio de Postgraduados.

Data analysis

In order to know if the sampling intensity per silvicultural treatment and annuality caught the total

limosa (Zacarías-Eslava & Del Castillo, 2010; Vázquez & Givnish, 1998). La vegetación predominante es el bosque de pino-encino y bosque de encino; entre las especies más comunes se encuentran *Pinus oaxacana* Mirov., *P. teocote* Schiede ex Schltdl., *P. leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham., *Quercus crassifolia* Humb. & Bonpl., *Q. castanea* Née y *Q. rugosa* Née (Zacarías-Eslava & Del Castillo, 2010).

Antecedentes de manejo forestal

El manejo forestal en la comunidad de Santa Catarina Ixtepeji comenzó desde hace 45 años. Durante los primeros 25 años, el manejo se hizo bajo el método mexicano de ordenación de bosques irregulares (MMOBI) con cortas selectivas, que influyó determinantemente en la composición y estructura de los bosques. En los últimos 20 años se ha aplicado el sistema de conservación y desarrollo silvícola (SiCoDeSi) para masas regulares con un turno de 60 años (una corta de liberación, un preaclareo, cuatro aclareos y una corta de regeneración) y para masas irregulares con ciclos de corta de 10 años y cortas de selección individual como principal método de regeneración. En ambos casos se considera que no se ha generado una masa con regeneración de las especies de interés comercial (predominando las de encino y otras latifoliadas), sobre todo por la baja intensidad en la aplicación de los tratamientos silvícolas que han generado condiciones propicias para las especies.

Sitios de muestreo y medición de variables

Las áreas de corta corresponden a las anualidades 1998-1999 y 2010-2011. En dichas áreas se eligieron rodales en los que se aplicaron cortas de regeneración con los métodos de árboles padre, de selección y aclareos ligeros. Con el fin de comparar el efecto de estos tratamientos sobre la estructura, composición, riqueza y diversidad de especies en rodales sin manejo, se seleccionaron áreas cercanas con características similares en composición, altitud, pendiente y exposición. El Cuadro 1 reporta el número de sitios muestreados por tratamiento silvícola y anualidad. Se estableció una intensidad de muestreo de 5 % para cada anualidad y tratamiento silvícola. Los sitios de muestreo se eligieron de manera aleatoria a partir de una malla de puntos sobrepuesta a una imagen del área de trabajo. Se establecieron sitios circulares anidados. En el primer sitio (400 m², 11.28 m de radio) se midió la altura total de todos los árboles con diámetro normal mayor de 2.5 cm y se registró la especie correspondiente. En forma concéntrica se establecieron sitios de 200 m² (7.97 m de radio) y se midió el porcentaje de cobertura de las especies arbustivas y su altura; finalmente, dentro de tales áreas se ubicaron cuatro sitios de 1 m² localizados de manera sistemática a 7 m del centro de cada sitio

Table 1. Number of sampled sites for silviculture treatment and annuality in Santa Catarina Ixtepeji, Oaxaca.
Cuadro 1. Número de sitios muestreados por tratamiento silvícola y anualidad en la comunidad Santa Catarina Ixtepeji, Oaxaca.

Cutting cycle/ Ciclo de corta	Annuity/ Anualidad	Area (ha)/ Superficie (ha)	Silviculture treatment/ Tratamiento silvícola	Sampling sites/ Sitios de muestreo
1998-2008	1 (1998-1999)	4.96	Selective cutting (SC1998)/ Cortas de selección (CS1998)	4
	1 (1998-1999)	8.16	Selective cutting (SC1998)/ Cortas de selección (CS1998)	6
	1 (1998-1999)	4.16	Selective cutting (SC1998)/ Cortas de selección (CS1998)	3
	1 (1998-1999)	7.68	Seed tree cutting (STC1998)/ Árboles padre (AP1998)	6
	1 (1998-1999)	3.36	Seed tree cutting (STC1998)/ Árboles padre (AP1998)	3
	1 (1998-1999)	8.32	Seed tree cutting (STC1988)/ Árboles padre (AP1988)	6
2008-2018	2 (2010-2011)	7.33	Seed tree cutting (STC 2011)/ Árboles padre (AP 2011)	6
	2 (2010-2011)	12.57	Seed tree cutting (STC 2011)/ Árboles padre (AP 2011)	8
	2 (2010-2011)	11.27	Seed tree cutting (STC 2011)/ Árboles padre (AP 2011)	8
	2 (2010-2011)	7.14	Light thinning (LT2011)/ Aclareo ligero (AL2011)	6
	2 (2010-2011)	9.43	Light thinning (LT2011)/ Aclareo ligero (AL2011)	7
	2 (2010-2011)	8.09	Light thinning (LT2011)/ Aclareo ligero (AL2011)	6

of richness present on the site, species-area curves were created using the program *Species diversity and richness* 4.1 (Seaby & Henderson, 2006). Analyses and comparisons were generated for managed and unmanaged forest (silvicultural treatment and annuality). Tree stratum, shrub and herbaceous were analyzed separately in each condition, considering the last two as main components of the understory. The floristic composition at the study sites was determined for each layer at family, genus and species level.

The importance value index (IVI) was calculated only for tree species based on density, coverage and relative frequency according to Magurran (2004). Simpson and Fisher's alpha indices, both considered robust, were calculated to define the alpha diversity (Moreno, 2001). The first is influenced by the most abundant species in the sample and is less sensitive to the richness of species; the second, besides not being influenced by the sample size, is less affected by the less abundant species, allows comparison between sites and different sample sizes as long as it has more than 1,000 observations. The beta diversity or index

de 400 m² en las cuatro orientaciones francas y en sentido de las manecillas del reloj. En los sitios de 1 m² se estimó el porcentaje de cobertura de cada una de las especies herbáceas y se registró su frecuencia. Todas las especies no identificadas en campo se colectaron para su identificación taxonómica posterior en el herbario del Colegio de Postgraduados.

Análisis de información

Con el fin de conocer si la intensidad de muestreo por tratamiento silvícola y anualidad captaba el total de riqueza presente en el sitio, se generaron curvas área-especie usando el programa *Species diversity and richness* 4.1 (Seaby & Henderson, 2006). Los análisis y comparaciones se generaron para el bosque con y sin manejo (tratamiento silvícola y anualidad). En cada condición, el estrato arbóreo, el arbustivo y el de herbáceas se analizaron por separado, considerando los dos últimos como componentes principales del sotobosque. La composición florística en los sitios muestreados se determinó para cada estrato a nivel de familia, género y especie.

of similarity between communities was obtained with Jaccard and Sorensen indices using the program *Species diversity and richness* 4.1 (Seaby & Henderson, 2006). Table 2 shows alpha and beta diversity indices used in this study. Subsequently a nonparametric statistical analysis was performed with the Kruskal-Wallis test (Wheater & Cook, 2005), and a Wilcoxon rank sum under the null hypothesis of equal silvicultural treatments and life forms.

El índice de valor de importancia (IVI) se calculó solo para las especies arbóreas con base en la densidad, cobertura y frecuencia relativas de acuerdo con Magurran (2004). Los índices de Simpson y alfa de Fisher, ambos considerados robustos, se calcularon para definir la diversidad alfa (Moreno, 2001). El primero está influenciado por las especies más abundantes en la muestra y es menos sensible a la riqueza de especies; el segundo, además de no estar influenciado por

Table 2. Alpha and beta diversity indices for the comparison of silvicultural treatments and annuities in forests of Santa Catarina Ixtepeji, Oaxaca.

Cuadro 2. Índices de diversidad alfa y beta para la comparación de tratamientos silvícolas y anualidades en bosques de Santa Catarina Ixtepeji, Oaxaca.

Diversity/Diversidad	Indices/Índices	Formula/Fórmula
Alpha	Simpson (D)	$D = \frac{ni(ni-1)}{N(N-1)}$
	Alfa de Fisher's (S)/Alfa de Fisher (S)	$S = \alpha \ln [1 + (N/\alpha)]$
Beta	Jaccard (I _j)	$I_j = \frac{c}{a + b - c}$
	Sorensen (I _s)	$I_s = \frac{2c}{a + b}$

Where: ni = Number of trees from the species i, N = Número of trees in the sample, α = Fisher's alpha, a = Number of species at site A, b = Number of species at B, c = Number of species at site A and B.

Donde: ni = Número de individuos de la especie i, N = Número de individuos en la muestra, α = Alfa de Fisher, a = Número de especie en el sitio A, b = Número de especies en el sitio B, c = Número de especies presentes en los sitios A y B.

Results and discussion

Species richness and composition

Area-species curves indicated that the number of samples was sufficient to capture most of the species in all conditions under analysis. The total richness in the study area corresponds to 43 species of vascular plants belonging to 31 genera and 25 families. Figure 2 shows the families and number of genera found per silvicultural treatment and annuality. A total of 30 species belonging to 23 genera and 20 families were recorded in the unmanaged forest, highlighting the Asteraceae (8) and Fagaceae (5) family. A total of 41 species belonging to 31 genera and 25 families were found in managed forests; the families with highest species richness were Asteraceae, Fabaceae and Fagaceae.

Litsea glaucescens Kunth is a species recorded in the NOM-059 (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2010), which had the highest density in unmanaged forests. Moreover, two exotic herbaceous species (*Geranium rutundifolium* L. and *Acmella papposa* [Hemsl.] R. K. Jansen) and two endemic herbaceous from the state of Oaxaca (*Matudanthus nanus* [M. Martens & Galeotti] D. R. Hunt and *Schoenocaulon oaxacense* [Frame] Zomlefer & Judd) were found in managed forests.

el tamaño de muestra, se ve menos afectado por las especies menos abundantes, permite la comparación entre sitios y tamaños de muestra diferentes, siempre y cuando se cuente con más de 1,000 observaciones. La diversidad beta o índice de similitud entre comunidades se obtuvo con los índices de Jaccard y Sorensen, para lo cual se utilizó el programa *Species diversity and richness* 4.1 (Seaby & Henderson, 2006). El Cuadro 2 muestra los índices de diversidad alfa y beta utilizados en este estudio. Posteriormente se realizó un análisis estadístico no paramétrico con la prueba de Kruskal-Wallis (Wheater & Cook, 2005), así como una suma de rangos de Wilcoxon bajo la hipótesis nula de igualdad de diversidad en los estratos con respecto a los tratamientos silvícolas.

Resultados y discusión

Riqueza y composición de especies

Las curvas de área-especie indicaron que el número de muestras fue suficiente para capturar la mayoría de las especies en todas las condiciones bajo análisis. La riqueza total en el área de estudio corresponde a 43 especies de plantas vasculares pertenecientes a 31 géneros y 25 familias. La Figura 2 presenta las familias y el número de géneros encontrados por tratamiento silvícola y anualidad. En el bosque sin manejo se registraron 30 especies pertenecientes a 23 géneros y 20 familias,

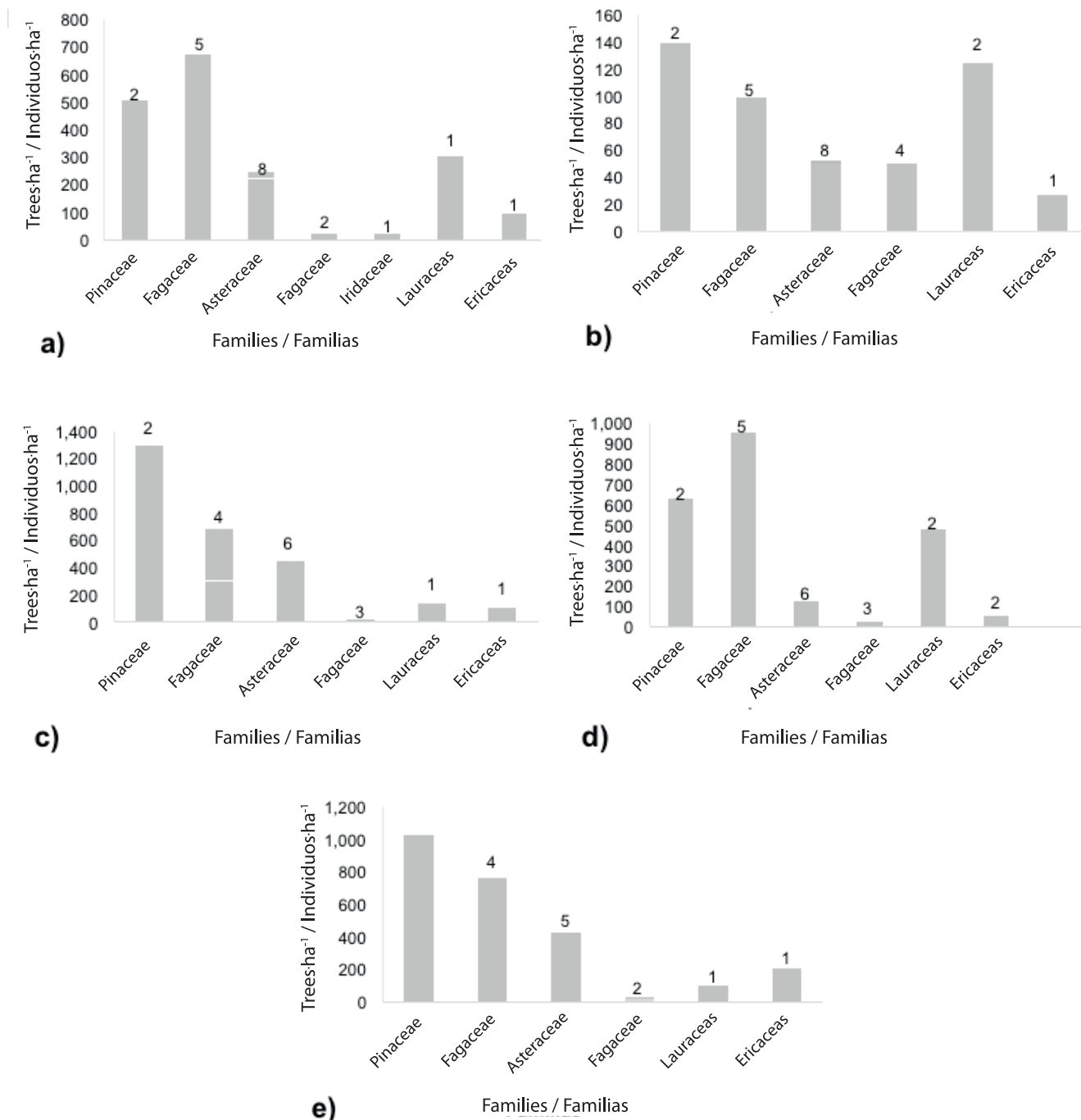


Figure 2. Families and number of genera (on the columns) representing trees, shrubs and herbs per silvicultural treatment and annuality in the community of Santa Catarina Ixtepeji, Oaxaca: a) unmanaged forests, b) seed tree cutting 1998, c) seed tree cutting 1998, d) seed tree cutting 2011, e) light thinning 2011.
Figura 2. Familias y número de géneros (sobre las columnas) representativos de árboles, arbustos y hierbas por tratamiento silvícola y anualidad en la comunidad de Santa Catarina Ixtepeji, Oaxaca: a) bosques sin manejo, b) árboles padre 1998, c) árboles padre 1998, d) árboles padre 2011, e) aclareo ligero 2011.

Pinus and *Quercus* had higher IVI. *P. oaxacana* had values of 34 % for unmanaged forests and 58 % for light thinning (2011), while *Quercus* sp. had 10 % for unmanaged forests and up to 15.9 % for seed tree cutting (1998). This coincides with the information provided by Leyva-López et al. (2010), Alanís-Rodríguez et al. (2010) and Alanís-Rodríguez et al. (2013) who found that in temperate forests, after applying silvicultural treatments, the genera with higher IVI were *Pinus* sp. and *Quercus* sp. which represent the biggest ecological weight of the ecosystem. Louman, Quirós, and Nilsson (2001) found that, generally, there is smaller proportion of dominant species in stands with greater diversity and the permanence of the few species in the stand can be influenced by silvicultural practices.

Life forms

Figure 3 shows there is greater density from trees and shrubs, regardless of the silvicultural treatment and age of application; however, density is even higher in unmanaged forest. Changes in tree density and composition influence the increase or decrease of richness and abundance of understory species (Ampoorter et al., 2014; Ares et al., 2010). Diversity and greater vertical stratification when advancing natural succession in the absence of disturbances (Smith et al., 1997) is promoted in unmanaged forests. In areas with high conservation value and low tree diversity stand out the shrub species as the most representative (García, Tapias, Fernández, Vázquez, & Salvador, 2010).

sobresaliendo la familia Asteraceae (8) y Fagaceae (5). En los bosques con manejo se encontraron 41 especies pertenecientes a 31 géneros y 25 familias; las familias con mayor riqueza de especies fueron Asteraceae, Fagaceae y Fabaceae.

Litsea glaucescens Kunth es una especie registrada en la NOM-059 (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2010), la cual presentó la mayor densidad en los bosques sin manejo. Por otro lado, en los bosques con manejo se encontraron dos especies herbáceas exóticas (*Geranium rutundifolium* L. y *Acmella papposa* [Hemsl.] R. K. Jansen) y dos herbáceas endémicas del estado de Oaxaca (*Matudanthus nanus* [M. Martens & Galeotti] D. R. Hunt y *Schoenocaulon oaxacense* [Frame] Zomlefer & Judd).

Los géneros con mayor IVI fueron *Pinus* y *Quercus*. La especie *P. oaxacana* presentó valores de 34 % en los bosques sin manejo y 58 % en los aclareos ligeros 2011, mientras que *Quercus* sp. presentó 10 % en bosques sin manejo y hasta 15.9 % en la corta de árboles padre 1998. Lo anterior coincide con la información de Leyva-López et al. (2010), Alanís-Rodríguez et al. (2010) y Alanís-Rodríguez et al. (2013) quienes encontraron que en bosques de clima templado, después de la aplicación de tratamientos silvícolas, los géneros con mayor IVI fueron *Pinus* sp. y *Quercus* sp. que representan el mayor peso ecológico dentro del ecosistema. Louman, Quirós, y Nilsson (2001) encontraron que, generalmente, hay menor proporción de especies dominantes en rodales

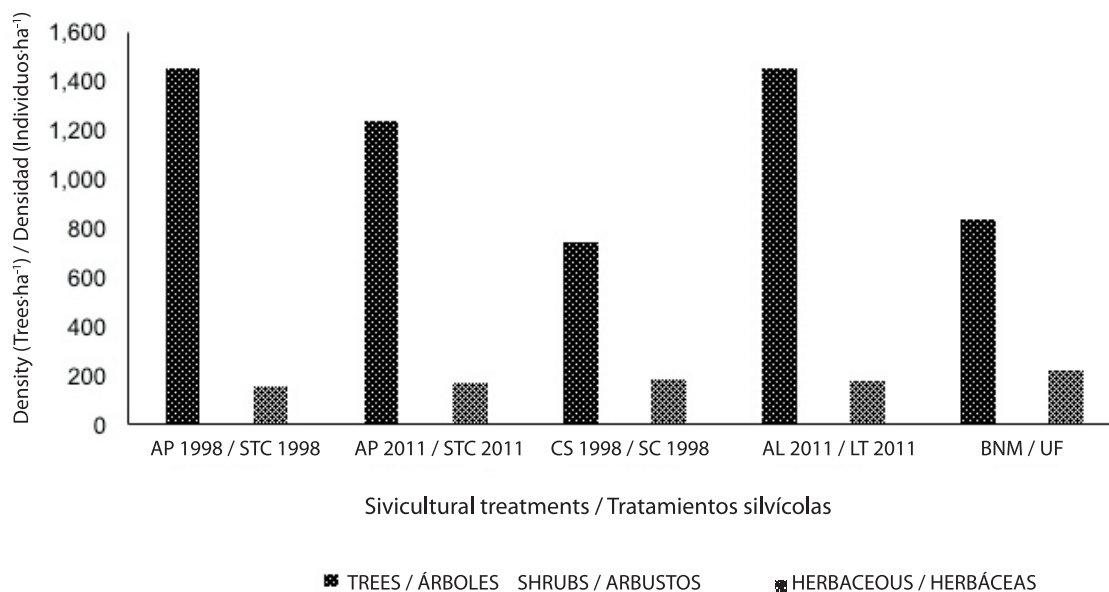


Figure 3. Distribution of growth forms for silvicultural treatments and annuality in Santa Catarina Ixtepeji, Oaxaca. UF = Unmanaged forest, STC= Seed tree cutting, LT = Light thinning, SC = Selective cutting.
Figura 3. Distribución de formas de crecimiento por tratamiento silvícola y anualidad en Santa Catarina Ixtepeji, Oaxaca. BNM = Bosque sin manejo, AP = Árboles padre, AL = Aclareo ligero, CS = Cortas de selección.

Santa Catarina Ixtepeji reports that shrub species in the areas studied are dominant at lower altitudes around 2,000 m, due to weather conditions, while trees dominate when the altitudinal gradient increases (Zacarías-Eslava & Del Castillo, 2010). According to Alanís-Rodríguez et al. (2010), life forms change with respect to climate, altitude and type of ecosystem that is being evaluated.

In the study area is evident that the history of forest management with the application of different silvicultural treatments, not always with the right intensity, has led to mixed composition for the upper canopy (Leyva-López et al., 2010), and this in turn influences the presence of life forms of temperate forests (Ampoorter et al., 2014).

Alpha diversity

Simpson diversity indices and Fisher's alpha indices reported in Table 3 indicate that regardless of the silvicultural treatment and annuality, there is greater diversity in herbaceous plants and in some cases the shrub component exceeds the tree layer. This confirms the importance of high diversity represented by the understory in forest ecosystems and the significance of incorporating it when evaluating the diversity

con mayor diversidad y que la permanencia de las especies escasas en el rodal puede estar influenciada por las prácticas silvícolas.

Estratos de vegetación

La Figura 3 muestra que hay mayor densidad de formas arbóreas y arbustivas, independientemente del tratamiento silvícola y edad de aplicación; sin embargo, la densidad es todavía mayor en el bosque sin manejo. Los cambios en la densidad y composición arbórea influyen en el aumento o disminución de la riqueza y abundancia de las especies del sotobosque (Ampoorter et al., 2014; Ares et al., 2010). En los bosques sin manejo se promueve una diversidad y estratificación vertical mayor al avanzar la sucesión natural en ausencia de disturbios (Smith et al., 1997). En zonas con alto valor de conservación y con baja diversidad arbórea sobresalen las especies arbustivas como las más representativas (García, Tapias, Fernández, Vázquez, & Salvador, 2010). En el caso de Santa Catarina Ixtepeji se reporta que las especies arbustivas en las áreas estudiadas son dominantes a altitudes menores, alrededor de 2,000 m, a causa de las condiciones climáticas, mientras que los árboles dominan al aumentar el gradiente altitudinal (Zacarías-Eslava & Del Castillo, 2010). De acuerdo con Alanís-Rodríguez et al. (2010), las formas de vida cambian

Table 3. Indices of diversity per layer for each silvicultural treatment evaluated in forests of Santa Catarina Ixtepeji, Oaxaca.

Cuadro 3. Índices de diversidad por estrato para cada uno de los tratamientos silvícolas evaluados en bosques de Santa Catarina Ixtepeji, Oaxaca.

Silvicultural treatment/ Tratamiento silvícola	Layer/Estrato	Simpson's indices/ Índice de Simpson	Fisher's alpha index/ Índice alfa de Fisher
UF/BNM	Trees/Árboles	4.34abcd	2.30bcde
	Shrubs/Arbustos	4.47abcde	2.93bcde
	Herbaceous/Herbáceas	15.96cde	4.63de
STC 1998/AP 1998	Trees/Árboles	4.56abcde	1.54abc
	Shrubs/Arbustos	3.34ab	1.24a
	Herbaceous/Herbáceas	15.27e	10.79e
STC 2011/AP 2011	Trees/Árboles	2.86ab	1.50ab
	Shrubs/Arbustos	4.02abc	1.45ab
	Herbaceous/Herbáceas	10.07cde	6.06cde
SC 1998/CS 1998	Trees/Árboles	4.07abc	1.88abcd
	Shrubs/Arbustos	5.12bcde	1.72abcde
	Herbaceous/Herbáceas	11.66de	8.54de
LT 2011/AL 2011	Trees/Árboles	2.08a	1.67abcd
	Shrubs/Arbustos	4.42abcde	1.42ab
	Herbaceous/Herbáceas	11.33de	8.55de

UF = Unmanaged forest, STC = Seed tree cutting, LT = Light thinning, SC = Selective cutting. Means followed by different letters are significantly different according to the Wilcoxon rank sum test ($P < 0.05$).

BNM = Bosque sin manejo, AP = Árboles padre, AL = Aclareo ligero, CS = Cortas de selección. Medias seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes de acuerdo con la suma de rangos de Wilcoxon ($P < 0.05$).

in managed forests, even if the contribution of the understory to the total biomass may not be as important (Ampoorter et al., 2014; Ares et al., 2010; Berger & Puettmann, 2000; Elliott & Knoepp, 2005).

Specially, unmanaged forest has the highest diversity index of herbs and a significant contribution from the bushes. Theoretically, greatest diversity of life forms and further stratification of the vertical structure is promoted, when there is no logging (Davis & Puettmann, 2009), this reflects, in many cases, a high diversity.

This study shows that silvicultural treatments performed in 1998 (seed tree and selective cutting) have similar Simpson indices, although statistically different for the tree component; in contrast, light thinning and seed tree cutting in 2011 had the lowest indices. In the case of the Fisher's alpha index, diversity was lower in the tree and shrub layer, regardless of the silvicultural treatment and time of application. Several studies have reported the modification of the diversity and composition of tree layer as a result of logging (Alanís-Rodríguez et al., 2010; Castellanos et al., 2008; Leyva-López et al., 2010; Solís et al., 2006). In particular, Alanís-Rodríguez et al. (2013) reported that forest management in a temperate forest in the ejido El Largo, Durango, modified the alpha diversity in the forest, and although species richness remained, indices of Margalef and Shannon-Wiener decreased. Moreover, Zacarías-Eslava and Del Castillo (2010) report that in the area of Ixtepeji, Oaxaca, shrub species have greater variation of species richness than the trees, and that shrubs diversity decreases with altitude. In general terms, it is evident that the herbaceous component contributes significantly to the total plant diversity in the area.

Beta diversity

The similarity of species between the evaluated treatments increases with time of application of silvicultural treatment. Table 4 shows the floristic similarity indices for silvicultural treatment and annuality. The highest values of Jaccard and Sorensen indices are presented between the selective cutting and seed tree cutting in 1998. As the forest develops, a larger number of species is seen due to the stand opening and to the both, biotic and abiotic conditions that are modified when silvicultural practices are applied (Alanís-Rodríguez et al., 2010; Ares et al., 2009; Berger & Puettmann, 2000).

The unmanaged forest had the lowest similarity values, indicating that a significant percentage of species is exclusive to this condition and, therefore, beta diversity increases, although the species richness is relatively similar (Table 4). Leyva-López et al. (2010) and Alanís-Rodríguez et al. (2013) reported the above and say the number of species decreases when silvicultural

con respecto al clima, altitud y tipo de ecosistema que se esté evaluando.

En la zona de estudio es evidente que el historial de manejo forestal con la aplicación de diferentes tratamientos silvícolas, no siempre con la intensidad adecuada, ha propiciado una composición mezclada para el dosel superior (Leyva-López et al., 2010), y esto a su vez influye en la presencia de formas de vida características de bosques templados (Ampoorter et al., 2014).

Diversidad alfa

Los índices de diversidad de Simpson y alfa de Fisher reportados en el Cuadro 3 indican que, independientemente del tratamiento silvícola y anualidad, hay mayor diversidad en las plantas herbáceas y en algunos casos el componente arbustivo supera al estrato arbóreo. Lo anterior confirma la importancia de la alta diversidad que el sotobosque representa en los ecosistemas forestales y la trascendencia de incorporarlo al evaluar la diversidad en bosques manejados, aun cuando la contribución del sotobosque a la biomasa total puede no ser tan importante (Ampoorter et al., 2014; Ares et al., 2010; Berger & Puettmann, 2000; Elliott & Knoepp, 2005).

Particularmente, el bosque sin manejo presenta el mayor índice de diversidad de hierbas y una contribución importante de los arbustos. Teóricamente, cuando no existe aprovechamiento forestal se promueve mayor diversidad de formas de vida y mayor estratificación de la estructura vertical (Davis & Puettmann, 2009), lo cual se refleja, en muchos casos, en una alta diversidad.

En este estudio se encontró que los tratamientos silvícolas realizados en 1998 (árboles padre y cortas de selección) presentan índices de Simpson similares, aunque estadísticamente diferentes para el componente arbóreo; en contraste, las cortas de aclareo ligero y árboles padre realizadas en 2011 presentan los menores índices. En el caso del índice alfa de Fisher, la diversidad fue menor en el estrato arbóreo y arbustivo, independientemente del tratamiento silvícola y tiempo de su aplicación. Diversos estudios han reportado la modificación de la diversidad y composición del estrato arbóreo como resultado del aprovechamiento forestal (Alanís-Rodríguez et al., 2010; Castellanos et al., 2008; Leyva-López et al., 2010; Solís et al., 2006). Particularmente, Alanís-Rodríguez et al. (2013) reportan que el manejo forestal en un bosque templado en el ejido El Largo, Durango, modificó la diversidad alfa en el arbolado, y que aunque la riqueza de especies se mantuvo, los índices de Margalef y Shannon-Wiener disminuyeron. Por otro lado, Zacarías-Eslava y Del Castillo (2010) reportan que en la zona de Ixtepeji, Oaxaca, las especies arbustivas presentan mayor

Table 4. Floristic similarity indices (trees, shrubs and herbaceous) of Jaccard and Sorensen for managed (silvicultural treatments and annuality) and unmanaged forest in Santa Catarina Ixtepeji, Oaxaca.**Cuadro 4. Índices de semejanza florística (árboles, arbustos y herbáceas) de Jaccard y Sorensen en los bosques con manejo (tratamientos silvícolas y anualidad) y no manejado en Santa Catarina Ixtepeji, Oaxaca.**

Silvicultura treatment / Tratamiento silvícola	SC 1998 / CS 1998	STC 1998 / AP 1998	LT 2011 / AL 2011	STC 2011 / AP 2011	UF / BNM
SC 1998 / CS 1998	43	0.821	0.725	0.641	0.353
STC 1998 / AP 1998	0.901	42	0.556	0.667	0.458
LT 2011 / AL 2011	0.841	0.714	36	0.615	0.581
STC 2011 / AP 2011	0.781	0.800	0.762	42	0.465
UF / BNM	0.522	0.220	0.735	0.635	30

UF = Unmanaged forest, STC = Seed tree cutting, LT = Light thinning, SC = Selective cutting. Values on the diagonal represent richness; values on the diagonal, the Jaccard index; and the values at the bottom, Sorensen index.

BNM = Bosque sin manejo, AP = Árboles padre, AL = Aclareo ligero, CS = Cortas de selección. Valores en la diagonal representan la riqueza; los valores sobre la diagonal, el índice de Jaccard; y los valores en la parte inferior, el índice de Sorensen.

treatments are performed; however, the species richness of forest remains.

Conclusions

Alpha diversity indices were higher in herbaceous and shrubs for all silvicultural treatments and years of application. This indicates the importance of incorporating the understory in the evaluation of plant diversity in managed ecosystems. Beta diversity indices indicate that the similarity increases over the years in the silvicultural treatments evaluated; however, the unmanaged forest has low similarity values when compared with other silviculture treatments. The explanation of composition, richness and diversity of managed forest by including understory components is complex, since they are determined by multiple biotic and abiotic factors.

End of English version

References / Referencias

- Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Aguirre-Calderón, O. A., Treviño-Garza, E. J., Hernández-Salas, J., González-Tagle, M. A., . . . Domínguez-Pereda, L. A. (2013). Efecto del manejo forestal en la diversidad y composición arbórea de un bosque templado del noroeste de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 19(2), 189–199. doi: 10.5154/r.rchscfa.2012.08.052
- Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Pando-Moreno, M., Aguirre-Calderón, O. A., Treviño-Garza, E. J., & García-Galindo, P. C. (2010). Efecto de la restauración ecológica post-incendio en la diversidad arbórea

variación de riqueza de especies que los árboles y que la diversidad de los arbustos disminuye de acuerdo con la altitud. En general, es evidente que el componente herbáceo contribuye de manera importante a la diversidad vegetal total en la zona.

Diversidad beta

La similitud de especies entre los tratamientos evaluados aumenta con el tiempo de aplicación del tratamiento silvícola. El Cuadro 4 muestra los índices de semejanza florística por tratamiento silvícola y anualidad. Los valores mayores de los índices de Jaccard y Sorensen se presentan entre la corta de selección y la de árboles padre realizadas en 1998. A medida que la masa forestal se desarrolla, se comparte un número mayor de especies debido a la apertura de claros y a las condiciones bióticas y abióticas que se modifican al realizar las prácticas silvícolas (Alanís-Rodríguez et al., 2010; Ares et al., 2009; Berger & Puettmann, 2000).

El bosque sin manejo presentó los valores menores de similitud, lo que indica que un porcentaje importante de las especies es exclusivo de esta condición y, por lo tanto, la diversidad beta incrementa, aunque la riqueza específica es relativamente similar (Cuadro 4). Leyva-López et al. (2010) y Alanís-Rodríguez et al. (2013) reportaron lo anterior y afirman que el número de especies que se comparten disminuye al realizar tratamientos silvícolas; sin embargo, la riqueza específica del bosque se sigue conservando.

Conclusiones

Los índices de diversidad alfa fueron mayores en las herbáceas y arbustos para todos los tratamientos silvícolas y años de aplicación. Esto indica la importancia

- del Parque Ecológico Chipinque, México. *Madera y Bosques*, 16(4), 39–54. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v16n4/v16n4a3.pdf>
- Ampoorter, E., Baeten, L., Koricheva, J., Vanhellefont, M., & Verheyen, K. (2014). Do diverse overstoreys induce diverse understoreys? Lessons learnt from an experimental–observational platform in Finland. *Forest Ecology and Management*, 318, 206–215. doi:10.1016/j.foreco.2014.01.030
- Ares, A., Berryman, S. D., & Puettmann, K. J. (2009). Understory vegetation response to thinning disturbance of varying complexity in coniferous stands. *Journal of Applied Vegetation Science*, 12(4), 472–487. doi: 10.1111/j.1654-109X.2009.01042.x
- Ares, A., Neill, A. R., & Puettmann, K. J. (2010). Understory abundance, species diversity, and functional attribute response to thinning in coniferous stands. *Forest Ecology and Management*, 260(7), 1014–1113. doi:10.1016/j.foreco.2010.06.023
- Barbier S., Gosselin, F., & Balandier, P. (2008). Influence of tree species on understory vegetation diversity and mechanisms involved—A critical review for temperate and boreal forests. *Forest Ecology and Management*, 254, 1–15. doi:10.1016/j.foreco.2007.09.038
- Berger, A., & Puettmann, K. J. (2000). Overstorey composition and stand structure influence herbaceous plant diversity in the mixed aspen forest of northern Minnesota. *American Midland Naturalist*, 143, 111–125. Obtenido de <http://www.jstor.org/stable/3082988>
- Berger, A. Puettmann K. J., & McKenna, J. (2012). Understory response to repeated thinning in Douglas-fir forests of Western Oregon. *Journal of Sustainable Forestry*, 31(6), 589–605. doi: 10.1080/10549811.2011.628523
- Burton, J. I., Ares, A., Mulford, S. E., Deanna, H., & Puettmann, K. J. (2013). Above-ground carbon storage, down wood, and understory plant species richness after thinning in Western Oregon. In P. D. Anderson, & K. L. Ronnenberg (Eds), *Density management for the 21st century: West side story*. Portland, OR, USA: U. S. Department of Agriculture-Forest Service-Pacific Northwest Research Station.
- Castellanos, B. J. F., Treviño, G. E. J., Aguirre, C. O. A., Jiménez, P. J., Musalem, S. M., & López, A. R. (2008). Estructura de bosques de pino patula bajo manejo en Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México. *Madera y Bosques*, 14(2), 51–63. Obtenido de http://www1.inecol.edu.mx/myb/resumenes/14.2/MB_2008_14-2_051-064.pdf
- Davis, L. R. & Puettmann, K. J. (2009). Initial response of understory vegetation to alternative thinning treatments. *Journal of Sustainable Forestry*, 28, 904–934. Obtenido de http://www.fs.fed.us/pnw/pubs/journals/pnw_2009_davis001.pdf
- Elliott, K. L. & Knoepp, J. D. (2005). The effects of three regeneration harvest methods on plant diversity and soil characteristics in the southern Appalachians. *Forest Ecology and Management*, 211, 296–317. doi:10.1016/j.foreco.2005.02.064
- de incorporar al sotobosque en la evaluación de la diversidad vegetal en ecosistemas bajo manejo. Los índices de diversidad beta indican que la similitud se incrementa con el paso de los años en los tratamientos silvícolas evaluados; sin embargo, el bosque sin manejo presenta bajos valores de similitud si se compara con los demás tratamientos silvícolas. La explicación de la composición, riqueza y diversidad de bosques bajo manejo al incluir componentes del sotobosque es compleja, ya que están determinadas por múltiples factores bióticos como abióticos.

Fin de versión en español

Fujimori, T. (2001). *Ecological and silvicultural strategies for sustainable forest management*. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier Science B. V.

García, F. J., Tapias, R., Fernández, M., Vázquez, F. J., & Salvador, L. (2010). La biodiversidad como herramienta en la gestión y certificación forestal zonas de alto valor de conservación en montes madereros del sureste peninsular. *Boletín Informativo CIDEU*, 8(9), 57–73. Obtenido de <http://dialnet.unirioja.es/ejemplar/275337>

Jiménez, J., Aguirre, O., & Kramer, H. (2001). Análisis de la estructura horizontal y vertical en un ecosistema multicohortal de pino-encino en el norte de México. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 10(2), 355–366. Obtenido de <http://www.inia.es/IASPF/2001/vol10-2/jimen.PDF>

Kuehne, C. & Puettmann, K. J. (2008). Natural regeneration in thinned Douglas-fir stands in western Oregon. *Journal of Sustainable Forestry*, 27, 246–274. doi: 10.1080/10549810802256221

Louman, B., Quirós, D., & Nilsson, M. (2001). *Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central*. Turrialba, Costa Rica: CATIE.

Leyva-López, J. C., Velázquez-Martínez, A., & Ángeles-Pérez, G. (2010). Patrones de diversidad de la regeneración natural en rodales mezclados de pino. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 16(2), 227–239. doi: 10.5154/r.rchscfa.2010.06.038

Magurran, A. E. (2004). *Measuring biological diversity*. Oxford, UK: Blackwell Publishing Company.

Moreno, C. E. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad*. Zaragoza, España: Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED)-Oficina Regional de Ciencia y Tecnología para América Latina del Caribe (ORCYT-UNESCO)-Sociedad Entomológica Aragonesa (SEA).

Návar-Cháidez, J. J. & González-Elizondo, S. (2009). Diversidad, estructura y productividad de bosques templados de Durango, México. *Polibotánica* 27, 71–87. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/polib/n27/n27a5.pdf>

Oliver, C. D. & Larson, B. C. (1996). *Forest stand dynamics*. New York, USA: John Wiley & Sons, Inc.

- Puettmann, K. J. (2011). Silvicultural challenges and options in the context of global change: "Simple" fixes and opportunities for new management approaches. *Journal of Forestry*, 109, 321–331. Obtenido de <http://www.cof.orst.edu/cof/fs/kpuettmann/JoF%20109%202011.pdf>
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2010). Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. México: Diario Oficial de la Federación. Obtenido de <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/DO2454.pdf>
- Seaby, R. M. H. & Henderson, P. A. (2006). Species diversity and richness version 4.1. Lymington, England: Pisces Conservation Ltd.
- Smith, D. M., Larson, B. C., Kelty, M. J., & Ashton, P. M. S. (1997). *The practice of silviculture: Applied forest ecology*. New York, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Solís, M. R., Aguirre, C. O. A., Treviño, G. E. J., Jiménez, P. J., Jurado, Y. E., & Corral-Rivas, J. (2006). Efecto de dos tratamientos silvícolas en la estructura de ecosistemas forestales en Durango, México. *Madera y Bosques*, 12(2), 49–64. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61712205>
- Vázquez, G. A. & Givnish, T. J. (1998). Altitudinal gradients in tropical forest composition structure and diversity in the Sierra de Manantlán. *Journal of Ecology*, 86(6), 999–1020. doi: 10.1046/j.1365-2745.1998.00325.x
- Wheater, C. P. & Cook, P. A. (2005). *Using statistics to understand the environment*. London, UK: Routledge Taylor & Francis.
- Zacarías-Eslava, Y. & Del Castillo, F. R. (2010). Comunidades vegetales templadas de la Sierra Juárez, Oaxaca: Pisos altitudinales y sus posibles implicaciones al cambio climático. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 87, 13–28. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/bsbm/n87/n87a2.pdf>