

Influence of the seed tree method on the diversity of regeneration in a mixed forest in Durango, Mexico

Influencia del método de árboles padres en la diversidad de la regeneración de bosques mixtos de Durango, México

Francisco J. Hernández*, Ana G. Deras-Ávila; Nelson I. Deras-Ávila; José G. Colín

Instituto Tecnológico de El Salto. Calle Tecnológico col. La Forestal. C. P. 34942. El Salto, Durango, México.

*Corresponding author: fcojhernan@yahoo.com.mx, tel.: +52 (675) 876 5509

Abstract

Introduction: Forest managers need to know the impact of regeneration cuts on tree species diversity in order to conserve it.

Objective. To evaluate changes in tree species richness and diversity after applying the seed tree method in six communities.

Materials and methods. The communities of Ciénega Grande, Las Ciénegas, La Colmena, El Venado, Los Bajíos and Pino Gordo of the Pueblo Nuevo ejido, Durango, were divided into three plots called: a) regeneration in seed trees cuttings (RST); b) regeneration in adult trees (RAT); and c) adult trees (AT). Starting from the center of each RST plot, and following the cardinal and subcardinal points, eight sites of 25 m² and 0.1 ha were located to record the regeneration and adult tree species, respectively. Species richness indicators (Shannon-Wiener, Simpson, Pielou and Sørensen) were estimated to characterize the plots by community and were compared with *t*-tests and rarefaction analysis.

Results and Discussion. Twelve species were recorded in the study area, of which 11 are found as a renewal of seed trees. Species richness in the RST plots with respect to that of AT was equal in the Ciénega Grande, El Venado and La Colmena communities, and higher in Las Ciénegas and Los Bajíos. The Shannon-Wiener and Simpson indices were higher in Pino Gordo, Los Bajíos and El Venado. The Sørensen index ranges from 0.67 to 1.0, indicating high species similarity among plots.

Conclusions. The seed tree method in a mixed forest ensures the continuity of tree species diversity.

Resumen

Introducción: El manejador forestal necesita conocer el impacto que las cortas de regeneración causan en la diversidad de especies arbóreas, para poder conservarla.

Objetivo. Evaluar los cambios en riqueza y diversidad de especies arbóreas después de aplicar el método de árboles padres en seis localidades.

Materiales y métodos. Las localidades Ciénega Grande, Las Ciénegas, La Colmena, El Venado, Los Bajíos y Pino Gordo del ejido Pueblo Nuevo, Durango, se dividieron en tres parcelas denominadas: a) regeneración en árboles padres (RAP); b) regeneración en arbolado adulto (RAA); y c) arbolado adulto (AA). Partiendo del centro de cada parcela de RAP, y siguiendo los puntos cardinales y subcardinales, se ubicaron ocho sitios de 25 m² y 0.1 ha, para registrar las especies de la regeneración y las del arbolado adulto, respectivamente. Los indicadores de riqueza de especies, Shannon-Wiener, Simpson, Pielou y Sørensen se estimaron para caracterizar las parcelas por localidad y se compararon con pruebas de *t* y análisis de rarefacción.

Resultados y Discusión. Se registraron 12 especies presentes en el área de estudio, de las cuales 11 se encuentran como renuevo de árboles padres. La riqueza de especies en las parcelas de RAP con respecto a la de AA fue igual en las localidades Ciénega Grande, El Venado y La Colmena, y superior en Las Ciénegas y Los Bajíos. Los índices de Shannon-Wiener y Simpson fueron superiores en Pino Gordo, Los Bajíos y El Venado. El índice de Sørensen varía de 0.67 a 1.0, indicando alta semejanza de especies entre parcelas.

Conclusiones. El método de árboles padres garantiza la continuidad de la diversidad de especies arbóreas.

Keywords: Species richness, Shannon-Wiener, Simpson, Pielou, Sørensen, rarefaction.

Palabras clave: Riqueza de especies, Shannon-Wiener, Simpson, Pielou, Sørensen, rarefacción.

Introduction

One of the premises in the carrying out of forest management programs is the conservation of the diversity of tree species, especially when the main objective is to provide habitat and resources for organisms present in the forest (Jayakumar & Nair, 2013). However, the conservation of diversity is put at risk when it is intended to favor the use of fast-growing timber species under intensive management systems. Intensive regular management systems seek to maximize timber production, decreasing the presence of tree species to favor the establishment of fast-growing desirable species. In contrast, irregular forest systems seek to optimize timber production by maintaining the dynamic equilibrium of the ecosystem, under the principle of conservation of species structure and composition. The simplification of tree diversity reduces the functions of the system, while its complexity increases them, improving the level of productivity (Castellanos-Bolaños, Treviño-Garza, Aguirre-Calderón, Jiménez-Pérez, & Velázquez-Martínez, 2010; Ishii, Tanabe, & Hiura, 2004).

Conserving the composition of tree species depends on their regeneration potential, considering that potential is the ability to complete each stage of development, and that regeneration is a strategic biological process that ensures the presence of species in a community (Khumbongmayum, Khan, & Tripathi, 2005). In the establishment of natural regeneration in mixed forests, it is important to evaluate the population and growth attributes of the plants to detect possible changes generated in the composition and diversity within the geographic distribution range of each species (Grubb, 1977; Malik & Bhatt, 2016). The presence of mixed forests, characterized by a high diversity of species and structural differentiation, requires knowing the response of trees to the application of silvicultural treatments, especially one destined to establish regeneration, to define the practices that lead to the sustainability of forest management (Corral, Aguirre, Jiménez, & Corral, 2005; Gadow, Sánchez, & Aguirre, 2004; Solís et al., 2006). Regeneration methods modify environmental conditions and the availability of resources, as well as the reproductive or regeneration capacity of the species. Applying these methods ensures the presence of plant species under diverse environmental conditions to conserve the composition (Khumbongmayum et al., 2005; Smith, Larson, Kelty, & Ashton, 1997).

The forests of southwestern Durango are characterized by being mixed with the presence of species of *Pinus* and *Quercus* (Medrano-Meraz, Hernández, Corral-Rivas, & Nájera-Luna, 2017); however, although it is intended to conserve primary diversity, regular management

Introducción

Una de las premisas en la ejecución de programas de manejo forestal es la conservación de la diversidad de las especies arbóreas, especialmente cuando el objetivo principal es proveer el hábitat de recursos para los organismos presentes en el bosque (Jayakumar & Nair, 2013). No obstante, la conservación de la diversidad se pone en riesgo cuando se pretende favorecer el aprovechamiento de las especies maderables de rápido crecimiento, bajo sistemas de manejo intensivo. Los sistemas intensivos de manejo regular buscan maximizar la producción de madera, disminuyendo la presencia de especies arbóreas, para favorecer el establecimiento de especies deseables de rápido crecimiento. En contraste, los sistemas de bosques irregulares buscan optimizar la producción de madera manteniendo el equilibrio dinámico del ecosistema, bajo el principio de la conservación de la estructura y composición de especies. La simplificación de la diversidad arbórea reduce las funciones del sistema, mientras que su complejidad las incrementa, mejorando el nivel de productividad (Castellanos-Bolaños, Treviño-Garza, Aguirre-Calderón, Jiménez-Pérez, & Velázquez-Martínez, 2010; Ishii, Tanabe, & Hiura, 2004).

La conservación de la composición de las especies arbóreas depende de su potencial de regeneración, considerando que el potencial es la habilidad para completar cada etapa de desarrollo, y que la regeneración es un proceso biológico estratégico que garantiza la presencia de las especies en una comunidad (Khumbongmayum, Khan, & Tripathi, 2005). En el establecimiento de la regeneración natural en bosques mixtos, es importante evaluar los atributos poblacionales y de crecimiento de las plantas, para detectar los posibles cambios generados en la composición y diversidad dentro del rango de distribución geográfica de cada especie (Grubb, 1977; Malik & Bhatt, 2016). La presencia de bosques mixtos, caracterizados por una diversidad alta de especies y diferenciación estructural, demanda conocer la respuesta del arbolado a la aplicación de tratamientos silvícolas, en especial el destinado a establecer la regeneración, para definir las prácticas que conlleven a la sustentabilidad del manejo forestal (Corral, Aguirre, Jiménez, & Corral, 2005; Gadow, Sánchez, & Aguirre, 2004; Solís et al., 2006). Los métodos de regeneración modifican las condiciones ambientales y la disponibilidad de los recursos, así como la capacidad de reproducción o regeneración de las especies. La aplicación de estos métodos garantiza la presencia de las especies vegetales bajo diversas condiciones ambientales, para conservar la composición (Khumbongmayum et al., 2005; Smith, Larson, Kelty, & Ashton, 1997).

systems are applied to favor the regulation of species composition, through selecting seed trees as parents. This basic treatment of the regular management system can promote changes in the presence and diversity of species. Little has been documented about the response to this treatment, in terms of the establishment of species different from those of the seed trees; in this sense, the objective of the present study was to evaluate the effect of the application of this regeneration cut on the diversity of tree species present in the undergrowth.

Materials and methods

Location and description of the study area

The study was conducted in the Pueblo Nuevo ejido, located in the Sierra Madre Occidental mountain range in the El Salto region of southwestern Durango state, Mexico (Figure 1). The climate is semi-cold subhumid with rainfall in summer and an average annual temperature between 5 and 12 °C; the temperature of the coldest month ranges between 3 and 18 °C with winter rainfall accounting for between 5 and 10.2 % of the precipitation total (García, 1981). According to the Series II Edaphological Map, the soil of the study area is classified as Regosol (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2010), while the vegetation type is pine-oak.

Los bosques del suroeste de Durango se caracterizan por ser mixtos con la presencia de especies de *Pinus* y *Quercus* (Medrano-Meraz, Hernández, Corral-Rivas, & Nájera-Luna, 2017); sin embargo, aunque se pretende conservar la diversidad primaria, se aplican sistemas de manejo regular que favorecen la regulación de la composición de especies, a través de la aplicación de la corta de árboles padres. Este tratamiento básico del sistema de manejo regular puede promover cambios en la presencia y diversidad de especies. Poco se ha documentado sobre la respuesta de dicho tratamiento, en términos del establecimiento de especies diferentes a las de los árboles padres; en este sentido, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la aplicación de esta corta de regeneración sobre la diversidad de especies arbóreas presentes en el sotobosque.

Materiales y métodos

Ubicación y descripción del área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el ejido Pueblo Nuevo, ubicado en el macizo montañoso conocido como Sierra Madre Occidental en la región de El Salto, al suroeste del estado de Durango, México (Figura 1). El clima es semifrío subhúmedo con lluvias en verano y temperatura media anual entre 5 y 12 °C; la temperatura del mes más frío varía entre 3 y 18 °C con precipitación durante el invierno entre 5 y 10.2 %

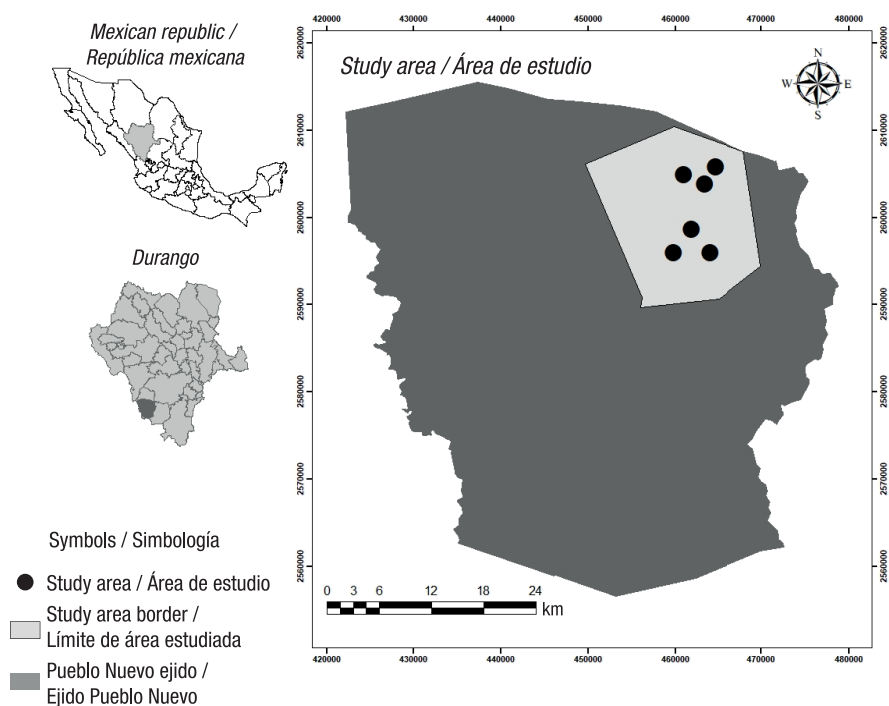


Figure 1. Location map of the study area in relation.

Figura 1. Plano de ubicación del área de estudio.

Sampling

Six communities were selected where the seed tree regeneration method was applied in a period prior to 10 years and without subsequent silvicultural treatment, under the following names: Las Ciénegas, Ciénega Grande, La Colmena, El Venado, Los Bajíos and Pino Gordo. Each community was divided into three plots identified as: a) regeneration cut of seed trees (RST), b) regeneration under adult trees (RAT) and c) adult trees (AT). The RST plots are characterized by tree species that were established in the undergrowth after applying the seed tree regeneration treatment; these trees are individuals of *Pinus durangensis* Martínez and *P. cooperi* C. E. Blanco, species of major economic importance. In turn, the RAT plots show advanced regeneration, established under the adult tree cover adjacent to the plots where the seed trees were felled. Finally, the AT plots are composed of trees with a diameter larger than 7.5 cm at a height of 1.30 m from the ground and which, like the RAT, are adjacent to the plot where the seed trees were felled.

Sampling sites were located every 75 m within the regeneration area, following the cardinal and intermediate points (north, south, east, west, northeast, southeast, southwest and northwest). By projecting these orientations to adjacent wooded areas, eight sites were located to assess the diversity of tree vegetation and regeneration. The diversity of natural regeneration was evaluated in 5 x 5 m (25 m²) squares, and the diversity of trees greater than 7.5 cm in diameter, in 0.1 ha circles (Figure 2).

(García, 1981). De acuerdo con la Carta Edafológica Serie II, el suelo del área de estudio se clasifica como Regosol (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2010), mientras que el tipo de vegetación es de pino-encino.

Muestreo

Se seleccionaron seis localidades donde se aplicó el método de regeneración de árboles padres en un periodo anterior a 10 años y sin tratamiento silvícola posterior, bajo las siguientes denominaciones: Las Ciénegas, Ciénega Grande, La Colmena, El Venado, Los Bajíos y Pino Gordo. Cada localidad se dividió en tres parcelas identificadas como: a) regeneración en corta de árboles padres (RAP), b) regeneración bajo arbolado adulto (RAA) y c) arbolado adulto (AA). Las parcelas de RAP se caracterizan por presentar especies arbóreas que se establecieron en el sotobosque después de haber aplicado el tratamiento de regeneración de árboles padres; estos árboles son individuos de *Pinus durangensis* Martínez y *P. cooperi* C. E. Blanco, especies de mayor importancia económica. A su vez, las parcelas de RAA presentan regeneración avanzada, establecida bajo la cobertura del arbolado adulto adyacente a las parcelas donde se aplicó la corta de árboles padres. Finalmente, las parcelas AA están compuestas por el arbolado mayor de 7.5 cm de diámetro a la altura de 1.30 m del suelo y que, al igual que la RAA, se encuentran adyacentes a la parcela donde se aplicó la corta de árboles padres.

Los sitios de muestreo se ubicaron cada 75 m dentro del área de regeneración, siguiendo los puntos cardinales

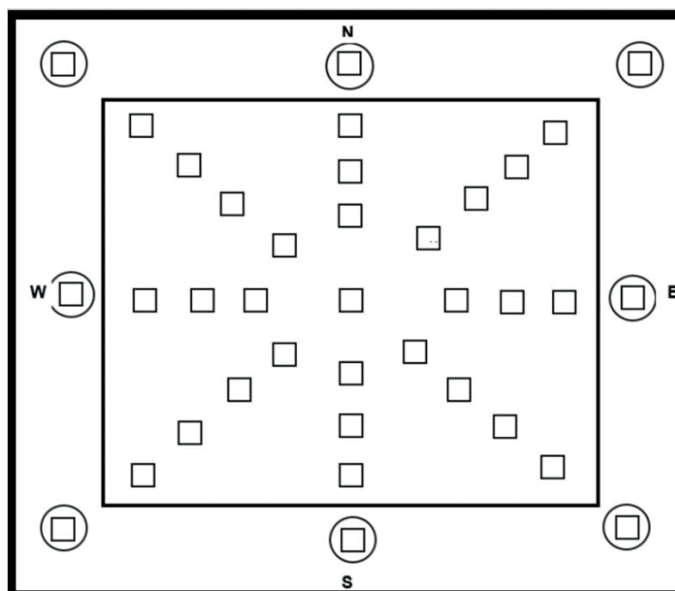


Figure 2. Sampling design in the seed tree regeneration areas. The diversity of natural regeneration was evaluated in 5 x 5 m (25 m²) squares, and the diversity of trees greater than 7.5 cm in diameter, in 0.1 ha circles.
Figura 2. Diseño de muestreo en las áreas de regeneración de árboles padres. La diversidad de la regeneración natural se evaluó en cuadrados de 5 x 5 m (25 m²), y la diversidad del arbolado mayor de 7.5 cm de diámetro, en círculos de 0.1 ha.

Data analysis

Field, species and number of individuals per species information was used to estimate alpha and beta diversity parameters. The estimators applied to describe the alpha diversity of the RST, RAT and AT plots in each of the communities were species richness (S), defined as the number of species present in each regeneration area; Simpson proportional diversity index ($\lambda = 1 - \sum p_i^2$); Shannon-Wiener index [$H' = \sum p_i \ln(p_i)$]; and Pielou equity index ($J' = \frac{H'}{H_{max}}$), where p_i is the proportional abundance of species i , and $H_{max} = \ln(S)$ is the maximum Shannon index.

To estimate beta diversity, the Sørensen qualitative index was applied (Moreno, 2001):

$$I_s = \frac{2C}{(A + B)}$$

where,

A = number of species at site A

B = number of species at site B

C = number of species common to both sites.

To determine whether there is a significant difference in species richness between the RST, RAT and AT plots per community, rarefaction analyses were applied, while for the comparison of Shannon diversity, Simpson diversity and Pielou equity, the t statistical test ($\alpha = 0.05$) was applied with the support of Past 3.16 software (Hammer, Harper, & Ryan, 2001).

Results

Species

Of the 30 species reported by Medrano-Meraz et al. (2017) for the El Salto region, *P. cooperi*, *P. durangensis*, *P. strobiformis* Engelm., *P. leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham., *P. teocote* Schltdl. et Cham., *P. herrerae* Martínez, *P. devoniana* Lindley, *Cupressus lindleyi* Klotzsch ex Endl., *Quercus rugosa* Neé, *Q. sideroxylla* Bonpl. and *Juniperus deppeana* Steud. are present in the study area, so *Alnus acuminata* H. B. K. is added to the list of species present in that region (Table 1).

Description of diversity indices

The number of species present in the RST, RAT and AT plots was 11, 11 and 12, respectively. In the same plot order, the Shannon-Wiener proportional diversity indices were 1.53, 1.71 and 1.70; the Simpson indices were 0.65, 0.72 and 0.73; and the Pielou equity indices were 0.64, 0.71 and 0.69. At community level, the species richness recorded was 7, 4, 9, 9, 7 and 10 species in Las Ciénegas, Ciénega Grande, El Venado,

e intermedios norte, sur, este, oeste, noreste, sureste, suroeste y noroeste. Mediante la proyección de esas orientaciones hacia las áreas arboladas adyacentes, se ubicaron ocho sitios destinados a evaluar la diversidad de la vegetación arbórea y de la regeneración. La diversidad de la regeneración natural se evaluó en cuadrados de 5 x 5 m (25 m²), y la diversidad del arbolado mayor de 7.5 cm de diámetro, en círculos de 0.1 ha (Figura 2).

Análisis de datos

La información de campo, especies y número de individuos por especie se utilizó para estimar los parámetros de diversidad alfa y beta. Los estimadores aplicados para describir la diversidad alfa de las parcelas de RAP, RAA y AA de cada una de las localidades fueron riqueza de especies (S), definido como el número de especies presentes en cada área de regeneración; índice de diversidad proporcional de Simpson ($\lambda = 1 - \sum p_i^2$); índice de Shannon-Wiener [$H' = \sum p_i \ln(p_i)$]; e índice de equidad de Pielou ($J' = \frac{H'}{H_{max}}$), donde, p_i es la abundancia proporcional de la especie i , y $H_{max} = \ln(S)$ es el índice máximo de Shannon.

Para estimar la diversidad beta se aplicó el índice cualitativo de Sørensen (Moreno, 2001):

$$I_s = \frac{2C}{(A + B)}$$

donde,

A = número de especies en el sitio A

B = número de especies en el sitio B

C = número de especies comunes a ambos sitios.

Para determinar si existe diferencia significativa en la riqueza de especies entre las parcelas de RAP, RAA y AA por localidad se aplicaron análisis de rarefacción, mientras que, para la comparación de la diversidad de Shannon, diversidad de Simpson y equidad de Pielou, se aplicó la prueba estadística de t ($\alpha = 0.05$) con el apoyo del programa Past 3.16 (Hammer, Harper, & Ryan, 2001).

Resultados

Especies

De las 30 especies reportadas por Medrano-Meraz et al. (2017) para la región de El Salto, *P. cooperi*, *P. durangensis*, *P. strobiformis* Engelm., *P. leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham., *P. teocote* Schltdl. et Cham., *P. herrerae* Martínez, *P. devoniana* Lindley, *Cupressus lindleyi* Klotzsch ex Endl., *Quercus rugosa* Neé, *Q. sideroxylla* Bonpl. y *Juniperus deppeana* Steud. se encuentran presentes en el área de estudio, por lo que

La Colmena, Los Bajíos and Pino Gordo, respectively. In the same community order, the Shannon-Wiener indicators were 1.18, 0.91, 1.31, 1.17, 1.52 and 1.67; the Simpson index had values of 0.55, 0.50, 0.62, 0.52, 0.75 and 0.78; and the Pielou equity index had values of 0.60, 0.66, 0.59, 0.53, 0.78 and 0.73.

Table 2 shows the diversity indicators estimated in the RST, RAT and AT plots in each of the communities. The maximum number of species ($S = 10$) was recorded in the AT plot in Pino Gordo, while the minimum number ($S = 4$), which was equal in the three plots evaluated, corresponded to Ciénega Grande. In relation to the Shannon index, the minimum value (0.69) corresponds to the RST plots in Ciénega Grande and the highest (1.68) to the AT plots in Los Bajíos. In turn, the Simpson index ranged between 0.43 and 0.79; the highest value corresponded to the RST plot in Pino Gordo. The Pielou equity index ranged from 0.46 to 0.94; these values were recorded in the communities of El Venado and Los Bajíos, respectively, in the AT plots.

Alpha diversity comparisons

Figure 3 graphically compares the diversity in the plots at study area level. The rarefaction analysis showed that the species richness of the AT plots was significantly higher than that of the RST and RAT

Alnus acuminata H. B. K. se adiciona a la lista de especies con presencia en esa región (Cuadro 1).

Descripción de los índices de diversidad

El número de especies presentes en las parcelas de RAP, RAA y AA fueron 11, 11 y 12, respectivamente. En el mismo orden de parcelas, los índices de diversidad proporcional de Shannon-Wiener fueron 1.53, 1.71 y 1.70; los de Simpson, 0.65, 0.72 y 0.73; y los de equidad de Pielou, 0.64, 0.71 y 0.69. A nivel de localidad, la riqueza de especies registrada fue 7, 4, 9, 9, 7 y 10 especies en Las Ciénegas, Ciénega Grande, El Venado, La Colmena, Los Bajíos y Pino Gordo, respectivamente. En el mismo orden de localidad, los indicadores de Shannon-Wiener fueron 1.18, 0.91, 1.31, 1.17, 1.52 y 1.67; el índice de Simpson tuvo valores de 0.55, 0.50, 0.62, 0.52, 0.75 y 0.78; y el de equidad de Pielou 0.60, 0.66, 0.59, 0.53, 0.78 y 0.73.

En el Cuadro 2 se presentan los indicadores de diversidad estimados en las parcelas de RAP, RAA y AA de cada una de las localidades. El número máximo de especies ($S = 10$) se registró en la parcela del AA de la localidad Pino Gordo, mientras que el número mínimo ($S = 4$), el cual fue igual en las tres parcelas evaluadas, correspondió a la localidad Ciénega Grande. Con relación al índice de Shannon, el valor mínimo (0.69) corresponde a las parcelas de RAP de la localidad

Table 1. Species present in the plots of the study area of the Pueblo Nuevo ejido in the El Salto region, Durango.
Cuadro 1. Especies presentes en las parcelas del área de estudio del ejido Pueblo Nuevo en la región de El Salto, Durango.

Species/Especies	RST/RAP	RAT/RAA	AT/AA
<i>Pinus cooperi</i>	X	X	X
<i>Pinus durangensis</i>	X	X	X
<i>Pinus strobiformis</i>	X	X	X
<i>Pinus leiophylla</i>	X	X	X
<i>Pinus teocote</i>	X	X	X
<i>Pinus herrerae</i>	X	X	X
<i>Pinus devoniana</i>	X	X	X
<i>Cupressus lindleyi</i>	-	-	X
<i>Juniperus deppeana</i>	X	X	X
<i>Quercus rugosa</i>	X	X	X
<i>Quercus sideroxyla</i>	X	X	X
<i>Alnus acuminata</i>	X	X	X

RST = Regeneration by seed trees, RAT = Regeneration established under the canopy of adjacent trees, AT = Adult trees adjacent to regeneration by seed trees.

RAP = Regeneración por árboles padres, RAA = Regeneración establecida bajo el dosel del arbolado adyacente, AA = Arbolado adulto adyacente al de la regeneración por árboles padres.

Table 2. Regeneration diversity indices in the area of seed trees (RST), regeneration in areas of adult trees (RAT) and adjacent adult trees (AT) by community in the Pueblo Nuevo ejido in the El Salto region, Durango.
Cuadro 2. Índices de diversidad de la regeneración en área de árboles padres (RAP), regeneración en áreas del arbolado adulto (RAA) y arbolado adulto (AA) adyacente por localidad en el ejido Pueblo Nuevo en la región de El Salto, Durango.

Community/ Comunidad	Species richness/ Riqueza de especies			Shannon-Wiener Index/ Índice de Shannon- Wiener			Simpson Index/ Índice de Simpson			Pielou Index/ Índice de Pielou		
	RST/ RAP	RAT/ RAA	AT/ AA	RST/ RAP	RAT/ RAA	AT/ AA	RST/ RAP	RAT/ RAA	AT/ AA	RST/ RAP	RAT/ RAA	AT/ AA
Las Ciénegas	7 a	6 a	5 b	1.32 a	1.38 a	0.78 b	0.63 a	0.71 a	0.36 b	0.68 a	0.77 a	0.49 b
Ciénega Grande	4 a	4 a	4 a	0.69 a	1.20 b	0.85 c	0.44 a	0.67 b	0.47 c	0.50 a	0.86 b	0.62 c
El Venado	9 a	8 a	9 a	1.46 a	1.24 b	1.00 c	0.69 a	0.63 b	0.50 c	0.67 a	0.59 b	0.46 c
La Colmena	8 a	7 a	8 a	0.99 a	0.99 a	1.23 b	0.43 a	0.45 a	0.58 b	0.48 a	0.51 a	0.59 b
Los Bajíos	7 a	5 b	5 b	1.59 a	1.54 b	1.68 c	0.75 a	0.70 b	0.71 b	0.76 a	0.86 ab	0.94 b
Pino Gordo	6 a	8 b	10 c	1.62 a	1.46 b	1.59 c	0.79 a	0.73 b	0.75 c	0.91 a	0.70 b	0.66 b

Different letters in each diversity index indicate significant difference ($P < 0.05$) between the RST, RAT and AT plots of each community.

Letras diferentes en cada índice de diversidad indican diferencia significativa ($P < 0.05$) entre las parcelas RAP, RAA y AA de cada comunidad.

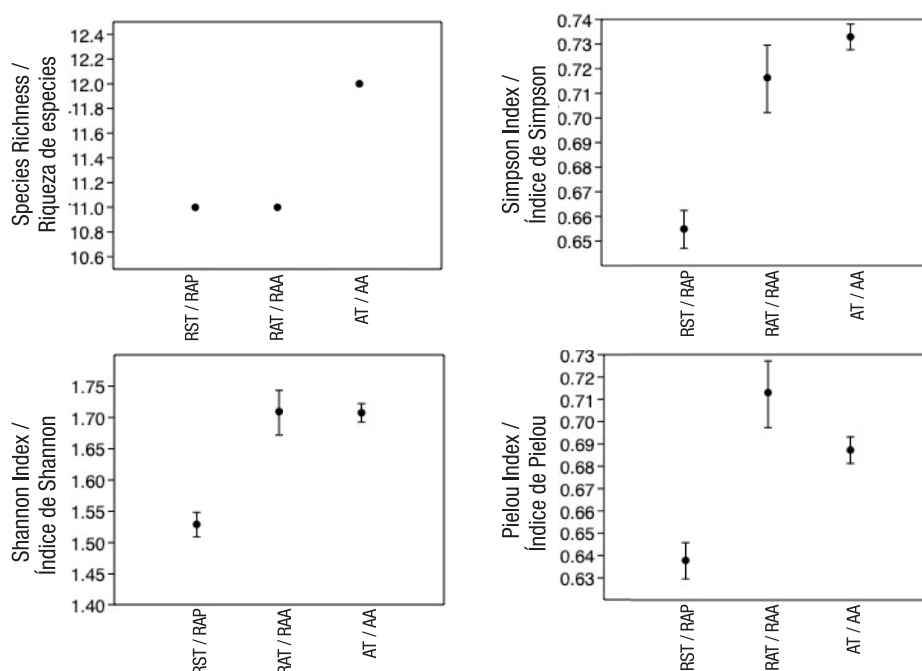


Figure 3. Point estimators and confidence intervals of the diversity indicators. Diversity in the regeneration in seed tree (RST) plots is different from those of regeneration in adult trees (RAT) and adult trees (AT).

Figura 3. Estimadores puntuales e intervalos de confianza de los indicadores de diversidad. La diversidad en las parcelas de regeneración en árboles padres (RAP) es diferente de las de regeneración en arbolado adulto (RAA) y arbolado adulto (AA).

ones ($P < 0.05$). The rejection probabilities estimated with the statistical t -tests and the absence of overlaps between confidence intervals showed that the diversity and proportional abundance of species in the RST plots were significantly lower than in the RAT and AT areas. In turn, the proportional diversities of Shannon-Wiener and Simpson of the RAT and AT plots were statistically similar ($P > 0.05$) and greater than in the RST ones. Considering the Pielou index, the RST plots were statistically less homogeneous than the RAT and AT ones.

Rarefaction analyses carried out in each of the communities showed that species richness is similar in the RST, RAT and AT areas in the Ciénega Grande, El Venado and La Colmena communities, and that they are different in Las Ciénegas, Los Bajíos and Pino Gordo. In Las Ciénegas and Los Bajíos, species richness was statistically higher ($P < 0.05$) than in the AT plots (Table 2).

On the other hand, according to Table 3, the values of t and the probability of rejection ($P < 0.05$) indicate that the RST plots have proportional diversity indicators different from those of RAT in the Ciénega Grande, El Venado, Los Bajíos and Pino Gordo communities.

Ciénega Grande y el mayor (1.68) a las del AA de la localidad Los Bajíos. A su vez, el índice de Simpson osciló entre 0.43 y 0.79; el mayor valor correspondió a la parcela de RAP de la localidad Pino Gordo. El índice de equidad de Pielou varió de 0.46 a 0.94; estos valores se registraron en las comunidades de El Venado y Los Bajíos, respectivamente, en las parcelas del AA.

Comparaciones de la diversidad alfa

La Figura 3 compara gráficamente la diversidad en las parcelas a nivel área de estudio. El análisis de rarefacción demostró que la riqueza de especies de los AA fue significativamente superior que la de RAP y RAA ($P < 0.05$). Las probabilidades de rechazo ($P < 0.0001$) estimadas con las pruebas estadísticas de t y la ausencia de traslapes entre los intervalos de confianza mostraron que la diversidad y la abundancia proporcional de especies de la RAP fueron significativamente inferiores a las que se presentan en las áreas de RAA y AA. A su vez, las diversidades proporcionales de Shannon-Wiener y Simpson de las parcelas RAA y AA fueron estadísticamente similares ($P > 0.05$) y mayores que en la RAP. Considerando el índice de Pielou, las parcelas de RAP fueron estadísticamente menos homogéneas que las de RAA y AA.

Table 3. Estimators of t and their probabilities of rejection ($P < 0.05$) in the comparison of differences of the Shannon-Wiener and Simpson diversity indices between plots in each community.

Cuadro 3. Estimadores de t y sus probabilidades de rechazo ($P < 0.05$) en la comparación de diferencias de los índices de diversidad de Shannon-Wiener y Simpson entre parcelas de cada localidad.

Community/ Localidad	Plots/Parcelas	Shannon-Wiener		Simpson	
		Value of t /Valor de t	Prob(t)	Value of t /Valor de t	Prob(t)
Las Ciénegas	RST vs RAT	-0.61	0.542	1.75	0.081
	RST vs AT	5.28	2.10×10^{-7}	-5.53	5.79×10^{-8}
	RAT vs AT	4.06	6.08×10^{-5}	-2.94	0.003
Ciénega Grande	RST vs RAT	-13.33	4.42×10^{-37}	11.04	1.04×10^{-23}
	RST vs AT	-5.26	1.74×10^{-7}	1.47	0.142
	RAT vs AT	10.94	1.1×10^{-25}	-12.43	5.65×10^{-33}
El Venado	RST vs RAT	6.10	1.48×10^{-9}	-4.32	1.76×10^{-5}
	RST vs AT	18.85	3.52×10^{-77}	-19.41	2.93×10^{-81}
	RAT vs AT	6.10	1.40×10^{-9}	-8.92	1.39×10^{-18}
La Colmena	RST vs RAT	0.07	0.942	0.94	0.346
	RST vs AT	-9.18	5.25×10^{-20}	12.32	1.65×10^{-34}
	RAT vs AT	-5.82	7.35×10^{-9}	6.13	1.21×10^{-9}
Los Bajíos	RST vs RAT	6.40	2.31×10^{-10}	-4.07	5.10×10^{-5}
	RST vs AT	6.09	1.30×10^{-9}	-4.28	1.95×10^{-5}
	RAT vs AT	-2.33	0.020	0.80	0.425
Pino Gordo	RST vs RAT	5.54	4.22×10^{-8}	-6.69	4.77×10^{-11}
	RST vs AT	3.26	0.001	-11.58	1.12×10^{-30}
	RAT vs AT	-3.74	0.0002	1.99	0.047

RST = Regeneration in seed trees, RAT = Regeneration in adult trees, AT = Adult trees

RAP = Regeneración en árboles padres, RAA = Regeneración en arbolado adulto, AA = Arbolado adulto.

According to the Shannon-Wiener and Simpson indices, the diversity of the RST plots and RAT are statistically different to AT plots.

Figures 4 and 5 show that, according to the Shannon index, the proportional diversity estimated in the RST plots, with respect to the RAT and AT ones, is higher in El Venado, Los Bajíos and Pino Gordo; lower in Ciénega Grande; and similar in Las Ciénegas and La Colmena. On the other hand, the Pielou equity index showed that the number of individuals per species in the RST plots is more homogeneous than that of the RAT and AT plots in the communities of El Venado and Pino Gordo and equally homogeneous in those of Las Ciénegas, La Colmena and Los Bajíos.

Los análisis de rarefacción realizados en cada una de las localidades demostraron que la riqueza de especies es similar entre las áreas RAP, RAA y AA en las localidades Ciénega Grande, El Venado y La Colmena, y que son diferentes en Las Ciénegas, Los Bajíos y Pino Gordo. En Las Ciénegas y Los Bajíos, la riqueza de especies fue estadísticamente superior ($P < 0.05$) que la de AA (Cuadro 2).

Por otra parte, de acuerdo con el Cuadro 3, los valores de t y la probabilidad de rechazo ($P < 0.05$) indican que las parcelas de RAP presentan indicadores de diversidad proporcional diferentes de las de RAA en las localidades Ciénega Grande, El Venado, Los Bajíos y Pino Gordo. De acuerdo con los índices de Shannon-Wiener y Simpson,

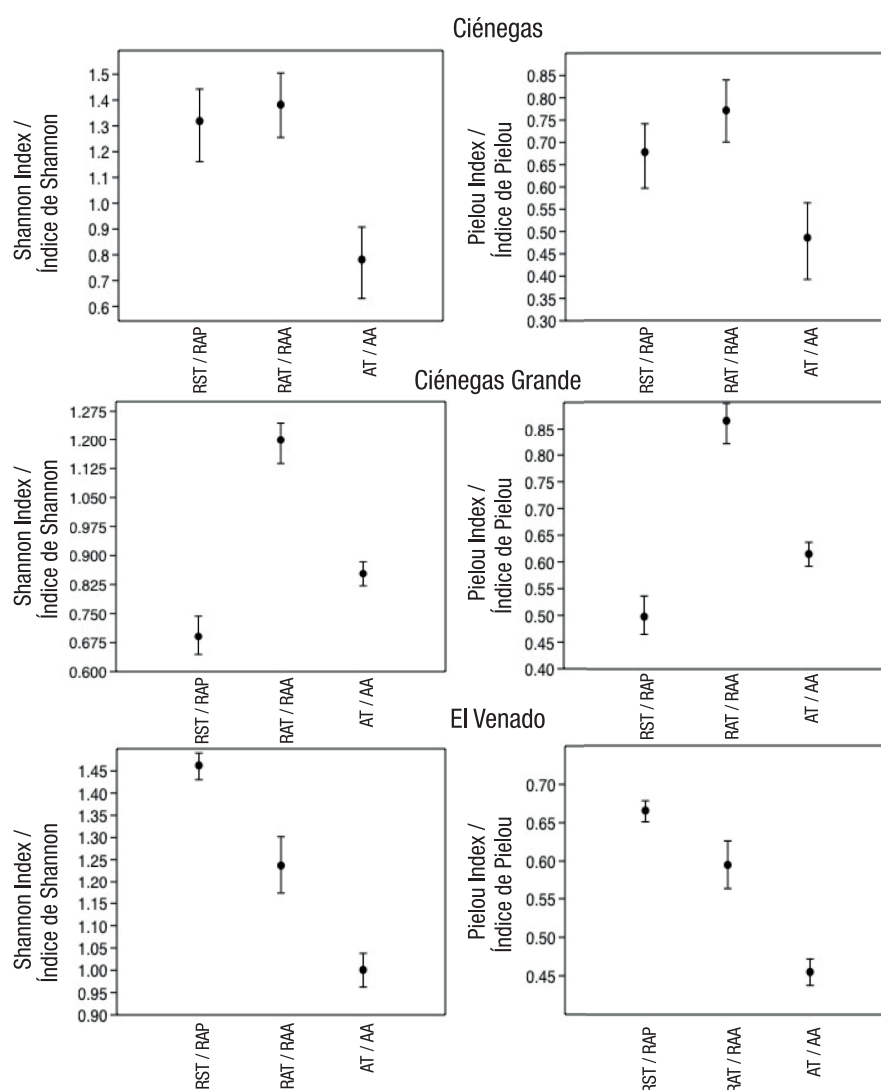


Figure 4. Confidence intervals of the Shannon-Wiener and Pielou indices in the Las Ciénegas, Ciénega Grande and El Venado communities. The absence of overlap indicates significant difference ($P < 0.05$) between plots. RST = Regeneration in seed trees, RAT = Regeneration in adult trees, AT = Adult trees.

Figura 4. Intervalos de confianza de los índices Shannon-Wiener y Pielou en las parcelas de las localidades Las Ciénegas, Ciénega Grande y el Venado. La ausencia de traslape indica diferencia significativa ($P < 0.05$) entre parcelas. RAP = Regeneración en árboles padres, RAA = Regeneración en arbolado adulto, AA = Arbolado adulto.

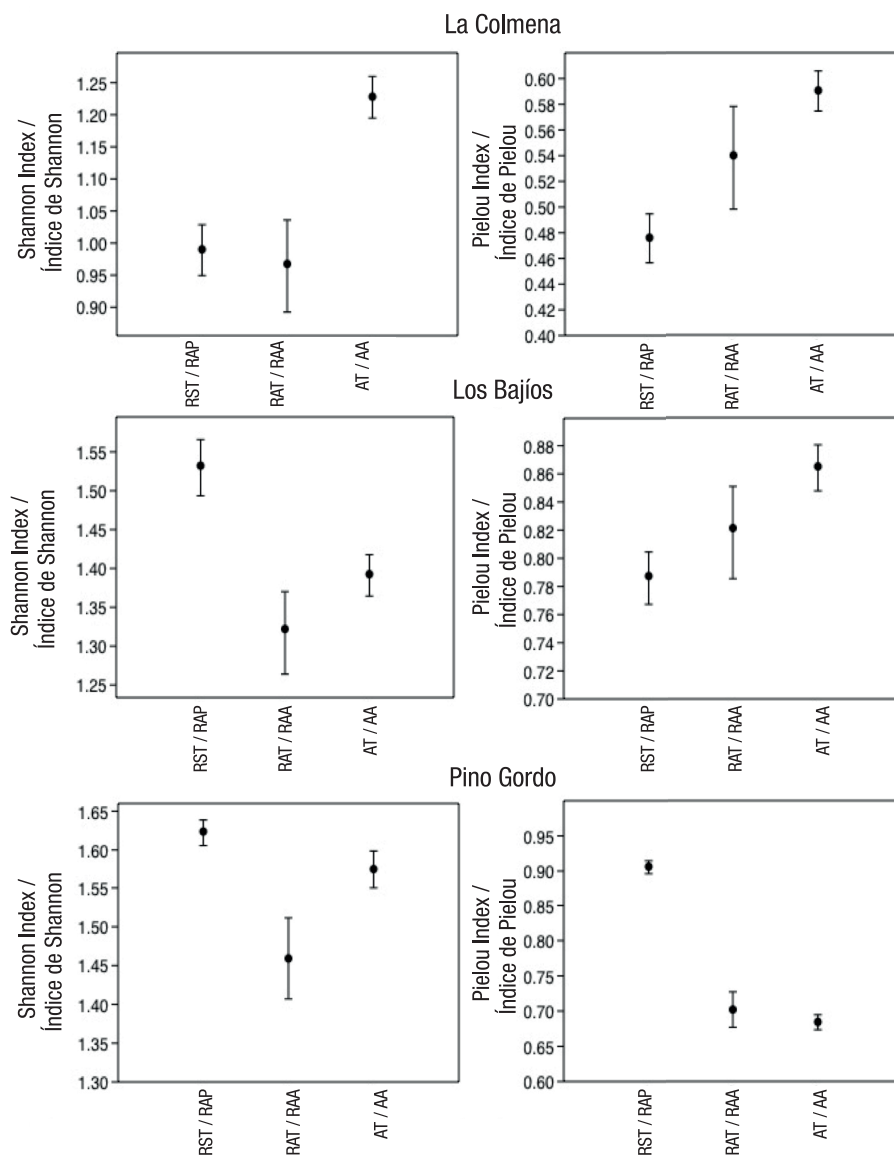


Figure 5. Confidence intervals of the Shannon-Wiener and Pielou indices in the plots of the La Colmena, Los Bajíos and Pino Gordo communities. The absence of overlap indicates significant difference ($P < 0.05$) between plots. RST = Regeneration in seed trees, RAT = Regeneration in adult trees, AT = Adult trees.

Figura 5. Intervalos de confianza de los índices Shannon-Wiener y Pielou en las parcelas de las localidades La Colmena, Los Bajíos y Pino Gordo. La ausencia de traslape indica diferencia significativa ($P < 0.05$) entre parcelas. RAP = Regeneración en árboles padres, RAA = Regeneración en arbolado adulto, AA = Arbolado adulto.

Index of similarity between communities

Table 4 presents the qualitative Sørensen index that was estimated to assess species similarity between the communities. Considering the RST plots, the index ranged from 0.50 to 1.0. The highest value corresponded to Las Ciénegas and Los Bajíos, which share the same number of species; in contrast, the lowest similarity index was obtained for Ciénega Grande and El Venado, which share only three species. In turn, the indicators of similarity between the communities in the RAT plots ranged from 0.50 to 0.91, where the highest value corresponded to the communities of Las Ciénegas and Los Bajíos and the lowest to El Venado and Los Bajíos.

la diversidad de las parcelas RAP y RAA contra AA son estadísticamente diferentes.

En las Figuras 4 y 5 se observa que, de acuerdo con el índice de Shannon, la diversidad proporcional estimada en las parcelas de RAP, con respecto a la de RAA y AA, es superior en El Venado, Los Bajíos y Pino Gordo; es menor en Ciénega Grande; y es similar Las Ciénegas y La Colmena. Por su parte, el índice de equidad de Pielou demostró que el número de individuos por especies de la RAP es más homogéneo que el de las parcelas de RAA y AA en las localidades El Venado y Pino Gordo e igual de homogéneo en las comunidades Las Ciénegas, La Colmena y Los Bajíos.

The estimators to assess the similarity between AT communities ranged from 0.33 to 0.95; the lowest value belongs to Ciénega Grande and El Venado, and the highest was estimated in the La Colmena and Pino Gordo pair.

Index of similarity between plots

According to Table 5, the Sørensen similarity indices between plots ranged from 0.67 to 1.0, indicating high species similarity among the RST, RAT and AT plots. The number of species in the RST plots, with respect to the AT plots, was higher in Las Ciénegas and Los Bajíos; the same in Ciénega Grande, El Venado and La Colmena; and lower in Pino Gordo. These results show that applying seed tree felling in mixed forests positively influences the presence of native species.

Índice de similitud entre comunidades

El Cuadro 4 presenta el índice cualitativo de Sørensen que se estimó para valorar la similitud de especies entre las comunidades. Considerando las parcelas de RAP, el índice varió de 0.50 a 1.0. El valor más alto correspondió a Las Ciénegas y Los Bajíos, las cuales comparten el mismo número de especies; en contraste, el índice de similitud más bajo se obtuvo para Ciénega Grande y El Venado, quienes comparten solo tres especies. A su vez, los indicadores de similitud entre las comunidades en las parcelas de RAA osciló entre 0.50 a 0.91, donde el valor mayor correspondió a las localidades Las Ciénegas y Los Bajíos y el menor a El Venado y Los Bajíos. Los estimadores para valorar la similitud entre comunidades del AA variaron de 0.33 a 0.95; el valor menor pertenece a Ciénega Grande y El Venado, y el mayor se estimó en la dupla La Colmena y Pino Gordo.

Table 4. Similarity indices of the regeneration of seed trees (RST), regeneration in adjacent areas (RAT) and of tree vegetation adjacent (AT) to the seed tree area between communities of the Pueblo Nuevo ejido, El Salto, Durango.

Cuadro 4. Índices de similitud de la regeneración de árboles padres (RAP), regeneración en áreas adyacentes (RAA) y de la vegetación arbórea adyacente (AA) al área de árboles padres entre comunidades del ejido Pueblo Nuevo, El Salto, Durango.

Contrasted communities/ Comunidades contrastadas	Sørensen similarity index/Índices de similitud de Sørensen		
	RST/RAP	RAA/RAA	AT/AA
Las Ciénegas vs Ciénega Grande	0.73	0.80	0.89
Las Ciénegas vs La Colmena	0.88	0.71	0.71
Las Ciénegas vs El Venado	0.67	0.77	0.62
Las Ciénegas vs Los Bajíos	1.00	0.91	0.80
Las Ciénegas vs Pino Gordo	0.92	0.71	0.67
Ciénega Grande vs La Colmena	0.62	0.67	0.62
Ciénega Grande vs El Venado	0.50	0.55	0.33
Ciénega Grande vs Los Bajíos	0.73	0.89	0.89
Ciénega Grande vs Pino Gordo	0.80	0.67	0.57
El Venado vs La Colmena	0.71	0.67	0.71
La Colmena vs Los Bajíos	0.88	0.77	0.71
La Colmena vs Pino Gordo	0.80	0.75	0.95
El Venado vs Los Bajíos	0.67	0.50	0.60
El Venado vs Pino Gordo	0.71	0.80	0.80
Los Bajíos vs Pino Gordo	0.92	0.77	0.67

Table 5. Sørensen similarity indices between plots by community of the Pueblo Nuevo ejido, El Salto, Durango. Cuadro 5. Índices de similitud de Sørensen entre parcelas por comunidad del ejido Pueblo Nuevo, El Salto, Durango.

Community/ Localidad	Areas/ Áreas	a	b	c	Sørensen
Las Ciénegas	RST vs RAT	7	6	6	0.92
	RST vs AT	7	5	5	0.83
	RAT vs AT	6	5	5	0.91
Ciénega Grande	RST vs RAT	4	4	4	1.00
	RST vs AT	4	4	4	1.00
	RAT vs AT	4	4	4	1.00
El Venado	RST vs RAT	9	8	7	0.94
	RST vs AT	9	9	9	1.00
	RAT vs AT	8	9	8	0.94
La Colmena	RST vs RAT	8	7	6	0.80
	RST vs AT	8	8	8	1.00
	RAT vs AT	7	8	6	0.80
Los Bajíos	RST vs RAT	7	5	5	0.83
	RST vs AT	7	5	5	0.83
	RAT vs AT	5	5	5	1.00
Pino Gordo	RST vs RAT	6	8	5	0.71
	RST vs AT	8	10	6	0.67
	RAT vs AT	8	10	8	0.89

a = number of species of community A, b = number of species of community B, c = number of common species.

a = número de especies de la comunidad A, b = número de especies de la comunidad B, c = número de especies comunes.

Discussion

Navar-Cháidez and González-Elizondo (2009) report that, in plots subject to silvicultural treatments, the Shannon-Wiener and Simpson species richness and diversity indicators were equal to 7, 0.76 and 0.73, respectively; these values are similar to those found in the plots of the present study. Indicators at plot level are lower than those estimated at regional level, as pointed out by Medrano-Meraz et al. (2017), who indicate that the Shannon-Wiener and Simpson species richness and diversity indicators were equal to 30, 2.09 and 0.82, respectively.

The evaluation shows that, in five of the six communities studied, tree species richness in the RST was similar to or greater than in the RAT and AT (Table 2). Leyva-

Índices de similitud entre parcelas

Acorde con el Cuadro 5, los índices de similitud de Sørensen entre las parcelas variaron de 0.67 a 1.0, indicando que existe alta semejanza en especies entre las parcelas de RAP, RAA y AA. La cantidad de especies en las parcelas de RAP, con respecto a las de AA, fue mayor en Las Ciénegas y Los Bajíos; igual en Ciénega Grande, El Venado y La Colmena; e inferior en Pino Gordo. Estos resultados demuestran que la aplicación de la corta de árboles padres en bosques mixtos influye positivamente en la presencia de las especies nativas.

Discusión

Navar-Cháidez y González-Elizondo (2009) reportan que, en parcelas sujetas a tratamientos silvícolas, los

López, Velázquez-Martínez, and Ángeles-Pérez (2010), in a study conducted in mixed forests in the state of Oaxaca, reported results similar to those of this study. These authors argue that the differentiated presence of the species may be related to their ability to respond to the level of disturbance. Smith et al. (1997) and Zavala (2001) state that the number of species is a function of the ability of each of them to reproduce vegetatively or regenerate by seed, as well as the vulnerability to stress caused by the direct incidence of the sun's rays, changes in temperature, water availability and competition. Tree harvesting practices free the soil from adult tree cover and expose it to direct sunlight, limiting the establishment of shade-tolerant species, but favoring the regeneration and development of intolerant species (Smith et al., 1997). Sandor and Chazdon (2014) report that the remaining trees in the managed areas explain the species composition of the established regeneration.

With respect to the effect that regeneration methods have had on species richness, Chaudhary, Burivalova, Koh, and Hellweg (2016) state that selection and retention systems, where the protection system and seed trees can be included, are rated as having the least impact on the change in species richness, in contrast to the effect of clear-cuts (Návar-Cháidez & González-Elizondo, 2009). In particular, the selection system by individual trees allows the establishment and development of only shade-tolerant species, the group selection semi-tolerant species (Shields, Webster, & Nagel 2007), the protection cuts to semi-tolerant and shade-intolerant species (Nasiri & Parsakhoo, 2012) and that of seed trees to completely shade-intolerant species (Smith et al., 1996). Considering the above, the equal or greater number of RST species recorded in relation to AT (Table 2) is attributed, in part, to the presence of pine species capable of producing and dispersing seed from the boundaries of the AT plots and of facultative vegetative reproduction species within the RST plots. In this study, the presence of the species of the genera *Alnus* and *Quercus* is attributed to their ability to reproduce vegetatively from the roots remaining after felling, and the presence of *Pinus* is due to their ability to reproduce by seed; furthermore, all of them respond favorably to the direct incidence of the sun's rays. As examples of the response of oaks to vegetative reproduction and of pine to regeneration in open areas, Návar-Cháidez and González-Elizondo (2009) report that *P. cooperi*, *P. teocote*, *P. leiophylla*, *Juniperus* spp. and *Q. sideroxylla* were successfully established after the application of a clear-cut applied in the forests of Durango. Alanís-Rodríguez et al. (2012) also documented that species of the genus *Quercus*, in an ecosystem in northwestern Mexico, had high resprouting capacity after being subject to disturbances caused by fires.

indicadores de riqueza de especies y de diversidad de Shannon-Wiener y Simpson fueron iguales a 7, 0.76 y 0.73, respectivamente; estos valores son similares a los encontrados en las parcelas del presente estudio. Los indicadores a nivel de parcela son inferiores a los estimados a nivel regional, tal como lo señalan Medrano-Meraz et al. (2017), quienes indican que la riqueza de especies y la diversidad de Shannon-Wiener y Simpson fueron iguales a 30, 2.09 y 0.82, respectivamente.

La evaluación muestra que, en cinco de las seis localidades estudiadas, la riqueza de especies arbóreas en la RAP fue similar o mayor que en la RAA y AA (Cuadro 2). Leyva-López, Velázquez-Martínez, y Ángeles-Pérez (2010), en un estudio realizado en bosques mixtos en el estado de Oaxaca, reportaron resultados similares a los de este estudio. Estos autores argumentan que la presencia diferenciada de las especies puede estar relacionada con su habilidad de respuesta al nivel de disturbio. Por su parte, Smith et al. (1997) y Zavala (2001) mencionan que el número de especies está en función de la facultad que cada una de ellas tiene para reproducirse de manera vegetativa o regenerarse por semilla, así como de la vulnerabilidad al estrés causado por la incidencia directa de los rayos del sol, cambios de temperatura, disponibilidad de agua y competencia. Las prácticas de extracción del arbolado liberan al suelo de la cobertura de los árboles adultos y lo dejan expuesto a los rayos directos del sol, limitando el establecimiento de especies tolerantes a la sombra, pero favoreciendo la regeneración y desarrollo de las especies intolerantes (Smith et al., 1997). Por su parte, Sandor y Chazdon (2014) reportan que los árboles remanentes en las áreas manejadas explican la composición de especies de la regeneración establecida.

Con respecto al efecto que los métodos de regeneración han tenido en la riqueza de especies, Chaudhary, Burivalova, Koh, y Hellweg (2016) mencionan que los sistemas de selección y retención, donde se pueden incluir el sistema de protección y árboles padres, son calificados como los de menor impacto en el cambio de riqueza de especies, en contraste con el efecto que tiene el de matarrasa (Návar-Cháidez & González-Elizondo, 2009). Particularmente, el sistema de selección por árboles individuales permite el establecimiento y desarrollo solo de especies tolerantes a la sombra; el de selección en grupos a especies semitolerantes (Shields, Webster, & Nagel 2007); el de protección a especies semitolerantes e intolerantes a la sombra (Nasiri & Parsakhoo, 2012); y el de árboles padres a especies completamente intolerantes a la sombra (Smith et al., 1996). Considerando lo anterior, el registro de igual o mayor número de especies de la RAP en relación con el AA (Cuadro 2) se atribuye, en parte, a la presencia de especies de pino con capacidad de producir y dispersar semilla en los límites de las parcelas del AA y de

The Shannon and Simpson indicators show that the proportional diversity of RST was higher than that of AT in four of the six communities (Figures 4 and 5), which is attributed to the change in the proportional abundance of individuals per species. Hernández-Salas et al. (2013) and Leyva et al. (2010) state that applying the seed tree method modifies diversity in regeneration. Hernández-Salas et al. (2013) report that periodic application of forest management practices, while ensuring the presence of species, changes their proportional abundance, thereby modifying diversity indicators. Changing the proportional abundance of each species modifies the composition and proportional diversity (Del Río, Montes, Cañellas, & Montero, 2003). Pourmagidian et al. (2010) state that opening the canopy, apart from causing changes in the structure, increases diversity.

Consistent with the alpha diversity results, the beta diversity index indicates that there is high species similarity among the RST, RAT and AT plots (Table 5), demonstrating that the selection of a single species as seed trees in mixed forests does not guarantee their dominance, much less their unique presence, as occurs in forests characterized by a single species (Smith et al., 1997). The species found in the boundaries and within the regeneration area contribute to species richness, under mechanisms of regeneration by seed and reproduction by shoots. In these cases, the number of species can equal or even outnumber the desirable ones, especially when in the regeneration areas there are species that reproduce by shoots. In case of wanting to control the composition, favoring the presence of one or several species, the application of complementary treatments such as thinnings should be considered to manipulate the proportion of desirable species through density control (Louman, Quirós, & Nilsson, 2001). Leyva et al. (2010) and Hernández-Salas et al. (2013) affirm that the number of species that develop within the same area decreases when applying silvicultural treatments. Contrary to the above, when the adjacent trees are shade-intolerant, old enough to produce seed and represent the diversity of forest species, the cutting of seed trees will be a good option to take advantage of the timber forest resource while conserving the composition and diversity of the forest.

Conclusions

The results on the analysis of species richness and the diversity, equity and similarity indices show that regeneration cutting of seed trees in mixed forests does not significantly affect the composition and diversity of tree species present in the region, ensuring their conservation. The establishment of the species and, consequently, their conservation, are achieved through the dispersion of the seed produced by the adult trees

las especies facultativas de reproducción vegetativa dentro de las parcelas de RAP. En este estudio, la presencia de las especies de los géneros *Alnus* y *Quercus* se atribuye a la facultad que tienen para reproducirse vegetativamente a partir de las raíces que quedan después del derribo, y la presencia de *Pinus* se debe a su capacidad de reproducirse por semilla; además, todas ellas responden favorablemente a la incidencia directa de los rayos del sol. Como ejemplos de la respuesta de los encinos a la reproducción vegetativa y de los pinos a la regeneración en áreas abiertas, Nívar-Cháidez y González-Elizondo (2009) reportaron que *P. cooperi*, *P. teocote*, *P. leiophylla*, *Juniperus* spp. y *Q. sideroxylla* se establecieron exitosamente después de la aplicación de una corta de matarrasa aplicada en los bosques de Durango. Alanís-Rodríguez et al. (2012) también documentaron que las especies del género *Quercus*, en un ecosistema del noroeste de México, presentaron alta capacidad de rebrotar después de ser sujetas a disturbios causados por los incendios.

Los indicadores de Shannon y Simpson muestran que la diversidad proporcional de la RAP fue superior a la de la AA en cuatro de las seis comunidades (Figuras 4 y 5), lo cual se atribuye al cambio en la abundancia proporcional de individuos por especie. Hernández-Salas et al. (2013) y Leyva et al. (2010) mencionan que la aplicación del método de árboles padres modifica la diversidad en la regeneración. Hernández-Salas et al. (2013) reportan que la aplicación periódica de las prácticas de manejo forestal, aunque aseguran la presencia de las especies, cambian la abundancia proporcional de las mismas, modificando los indicadores de diversidad. Al cambiar la abundancia proporcional de cada especie se modifica la composición y la diversidad proporcional (Del Río, Montes, Cañellas, & Montero, 2003). Pourmagidian et al. (2010) mencionan que la apertura del dosel, aparte de provocar cambios en la estructura, incrementa la diversidad.

En concordancia con los resultados de la diversidad alfa, el índice de diversidad beta indica que existe alta similitud de especies entre las parcelas de RAP, RAA y AA (Cuadro 5), demostrando que la selección de una sola especie como árboles padres en bosques mixtos no garantiza la dominancia y mucho menos la presencia única, como ocurre en los bosques caracterizados por una sola especie (Smith et al., 1997). Las especies que se encuentran en los límites y dentro del área de regeneración contribuyen a la riqueza de especies, bajo mecanismos de regeneración por semilla y reproducción por brotes. En estos casos, la cantidad de especies puede igualar e inclusive superar en número a las deseables, especialmente cuando en las áreas de regeneración se encuentran especies que se reproducen por brotes, pero que carecen de presencia en las áreas de arbolado adulto. En caso de desear controlar la

present in the boundaries of the regeneration cuts and by the vegetative reproduction of the broadleaved trees removed within the regeneration areas.

Acknowledgments

Thanks are due to the *Tecnológico Nacional de México* for the support granted through the *Instituto Tecnológico de El Salto*, as well as to the Technical Services Unit of the Pueblo Nuevo ejido for the facilities provided to carry out this project.

End of English version

References / Referencias

- Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Valdecantos-Dema, A., González-Tagle, M. A., Aguirre-Calderón, O. A., & Treviño-Garza, E. T. (2012). Composición y diversidad de la regeneración natural en comunidades de *Pinus-Quercus* sometidas a una alta recurrencia de incendios en el noreste de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83, 1208–1214. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmbiodiv/v83n4/v83n4a26.pdf>
- Castellanos-Bolaños, J. F., Treviño-Garza, E. J., Aguirre-Calderón, O. A., Jiménez-Pérez, J., & Velázquez-Martínez, A. (2010). Diversidad arbórea y estructura espacial de bosques pino-encino en Ixtlán de Juárez, Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 1(2), 39–52. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63438955004>
- Chaudhary, A., Burivalova, Z., Koh, L. P., & Hellweg, S. (2016). Impacts of forest management on species richness: global meta-analysis and economic trade-off. *Scientific Reports*, 6(23954), 1–10. doi: 10.1038/srep23954
- Corral, R., J., Aguirre, C. O., Jiménez, P. J., & Corral, R. S. (2005). Un análisis del efecto del aprovechamiento forestal sobre la diversidad estructural en el bosque mesófilo de montaña El Cielo, Tamaulipas, México. *Investigación Agraria: Sistema de Recursos Forestales*, 14(2), 217–228. Retrieved from <https://recyt.fecyt.es/index.php/IA/article/view/2278/1685>
- Del Río, M., Montes, F., Cañellas, I., & Montero, G. (2003). Revisión: Índices de diversidad estructural en masas forestales. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 12(1), 159–176. Retrieved from <https://recyt.fecyt.es/index.php/IA/article/view/2490>
- Gadow, K. V., Sánchez, S., & Aguirre-Calderón, O. (2004). Manejo forestal con bases científicas. *Madera y Bosques*, 10(2), 3–16. doi: 10.21829/myb.2004.1021271
- García, E. (1981). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. México: Instituto de Geografía, Universidad Autónoma de México.
- Grubb, P. J. (1977). The maintenance of species richness in plant communities. The importance of the regeneration niche. *Biological Reviews*, 52(1), 107–114. doi: 10.1111/j.1469-185X.1977.tb01347.x

composición, favoreciendo la presencia de una o varias especies, se debe plantear la aplicación de tratamientos complementarios como los aclareos, para manipular la proporción de especies deseables a través del control de la densidad (Louman, Quirós, & Nilsson, 2001). Leyva et al. (2010) y Hernández-Salas et al. (2013) afirman que el número de especies que se desarrollan dentro de una misma área disminuye al realizar tratamientos silvícolas. Contrario a lo anterior, cuando los árboles adyacentes sean intolerantes a la sombra, tengan edad para producir semilla y representen la diversidad de especies del bosque, la corta de árboles padres será una buena opción para aprovechar el recurso forestal maderable conservando la composición y diversidad del bosque.

Conclusiones

Los resultados sobre los análisis de riqueza y los índices de diversidad, equidad y similitud de especies demuestran que la corta de regeneración de árboles padres en bosques mixtos no afecta significativamente la composición y diversidad de las especies arbóreas presentes en la región, garantizando su conservación. El establecimiento de las especies y, por consiguiente, su preservación, se consiguen mediante la dispersión de la semilla producida por el arbolado adulto presente en los límites de las cortas de regeneración y por la reproducción vegetativa de las hojosas eliminadas dentro de las áreas de regeneración.

Agradecimientos

Se agradece al Tecnológico Nacional de México por el apoyo otorgado a través del Instituto Tecnológico de El Salto, así como a la Unidad de Servicios Técnicos del ejido de Pueblo Nuevo por las facilidades prestadas para la realización de este proyecto.

Fin de la versión en español

- Hammer, Ø., Harper, D. A. T., & Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education. Retrieved March 9, 2018 from folk.uio.no/ahammer/past
- Hernández-Salas, Aguirre-Calderón, O., Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Treviño-Garza, E., González-Tagle, M., & Domínguez-Pereda, L. (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
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). Retrieved March 9, 2018 from <https://www.inegi.org.mx/temas/mapas/edafologia/>

- Ishii, H. T., Tanabe, S., & Hiura, T. (2004). Exploring the relationships among canopy structure, stand productivity and biodiversity of temperate forest ecosystems. *Forest Science*, 50(3), 342–355. Retrieved from www.researchgate.net/publication/233503484_Exploring_the_Relationships_Among_Canopy_Structure_Stand_Productivity_and_Biodiversity_of_Temperate_Forest_Ecosystems
- Jayakumar, R., & Nair, K. K. N. (2013). Species diversity and regeneration pattern in tropical forest of the Western Ghats, India. *ISRN Ecology*, Article ID 890862, 1–14. doi: 10.1155/2013/890862
- Khumbongmayum, A. D., Khan, M. L., & Tripathi, R. S. (2005). Survival and growth of seedlings of a few species in four sacred groves of Manipur, Northeast India. *Current Science*, 88(11), 1781–1788. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/236628069_Survival_and_growth_of_seedlings_of_a_few_tree_species_in_the_four_sacred_groves_of_Manipur_Northeast_India
- Leyva-López, J. C., Velázquez-Martínez, A., & Ángeles-Pérez, G. (2010). Patrones de diversidad de la regeneración natural en rodales mezclados de pinos. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 16(2), 227–239. doi: 10.5154/r.rchscfa.2010.06.038
- Louman, B., Quirós, D., & Nilsson, M. (2001). *Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central*. Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Malik, Z. A., & Bhatt, A. B. (2016). Regeneration status of tree species and survival of their seedlings in Kedarnath Wildlife Sanctuary and its adjoining areas in Western Himalaya, India. *Tropical Ecology*, 57(4), 677–690. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/313368616_Regeneration_status_of_tree_species_and_survival_of_their_seedlings_in_kedarnath_wildlife_sanctuary_and_its_adjoining_areas_in_Western_Himalaya_India
- Medrano-Meraz, M. J., Hernández, F. J., Corral-Rivas, S., & Nájera-Luna, J. A. (2017). Diversidad arbórea a través de gradientes topográficos en la Región de El Salto, Durango. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4(12), 525–534. doi: 10.19136/era.a4n12.1121
- Moreno, E. C. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad* (vol. 1). Zaragoza, España: M&T-Manuales y Tesis SEA.
- Nasiri, M., & Parsakhoo, A. (2012). Shelterwood cutting system for forest management. *Journal of Applied Biological Sciences*, 6(3), 57–60. Retrieved from <http://dergipark.gov.tr/download/article-file/415652>
- Návar-Cháidez, J. J., & González-Elizondo, S. (2009). Diversidad, estructura y productividad de bosques templados de Durango, México. *Polibotanica*, 27, 71–87. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-27682009000100005
- Pourmajidian, M. R., Jaliluand, H., Fallah, A., Hussein, S. A., Parskhoo, A., Vosoughian, A., & Rahmani, A. (2010). Effect of shelterwood cutting method on forest regeneration and stand structure in a Hyrcanian forest ecosystem. *Journal of Forestry Research*, 2(3), 265–272. doi: 10.1007/s11676-010-0070-7
- Sandor, M. E., & Chazdon, R. L. (2014). Remnant trees affect species composition but not structure of tropical second-growth forest. *PloS ONE*, 9(1), e83284. doi: 10.1371/journal.pone.0083284
- Shields, J. M., Webster, Ch. R., & Nagel, L. M. (2007). Factors influencing tree species diversity and *Betula alleghaniensis* establishment in silvicultural openings. *Forestry*, 80(3), 293–307. doi: 10.1093/forestry/cpm013
- Smith, M. D., Larson, B. C., Kelty, M. J., & Ashton, P. M. S. (1997). *The practice of silviculture applied forest ecology* (9th ed.). USA: John Wiley & Sons.
- Solís, M. R., Aguirre, C. O., Treviño, G. E., 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 Bosque*, 12(2), 49–64. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61712205>
- Zavala, Ch. F. (2001). *Introducción a la ecología de la regeneración natural de encinos*. México: Universidad Autónoma Chapingo.