

Changes in tree diversity and structure of a temperate forest under two silvicultural treatments in Durango, Mexico

Cambios en la diversidad y estructura arbórea de un bosque templado bajo dos tratamientos silvícolas en Durango, México

Edgar Silva-González¹; Oscar A. Aguirre-Calderón^{1*}; Eduardo Alanís-Rodríguez¹; Eduardo J. Treviño-Garza¹; Marco A. González-Tagle¹; José J. Corral-Rivas²

¹Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales. Carretera Nacional 85, km 145. C. P. 67700. Linares, Nuevo León, México.

²Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ciencias Forestales. Río Papaloapan y bulevar Durango s/n, col. Valle del Sur. C. P. 34120. Durango, Durango, México.

*Corresponding author: oscar.aguirrecl@uanl.edu.mx; tel.: +52 821 104 2735.

Abstract

Introduction: Forest diversity and structure are important attributes that can be modified by silvicultural treatments.

Objective: We compared tree diversity and structure of a temperate forest under the silvicultural treatments of selection and thinning in El Salto, Pueblo Nuevo, Durango.

Materials and methods: The Shannon diversity index of six sites treated with the selection method and six with thinning was determined in three inventories over a period of 10 years. The diversity among treatments was compared for each inventory using Hutcheson's t-test for similarity or difference in diversity-abundance. For each treatment and for the 12 sites, the ecological parameters (abundance, dominance and frequency), importance value index (IVI) and forest volume were analyzed with Kruskal-Wallis tests to determine differences between inventories.

Results and discussion: A total of 18 species were recorded in the three inventories; *Pinus cooperi*, *P. durangensis* and *Quercus sideroxyla* had the highest IVI. In each inventory, Hutcheson's t-test indicated that diversity was significantly higher ($P < 0.05$) in the selection treatments. On the other hand, in each treatment, the Kruskal-Wallis test showed no significant differences ($P > 0.05$) in the ecological parameters between inventories; furthermore, tree density, basal area and forest volume of each site showed no significant differences between inventories.

Conclusion: Diversity was higher for the selection treatment. The ecological parameters were not different between inventories, so the forest structure was not affected at the time of intervention.

Keywords: Thinning, selection cutting, Shannon diversity index, importance value index, ecological parameters.

Resumen

Introducción: La diversidad y la estructura de los bosques son atributos importantes que pueden ser modificados a través de tratamientos silvícolas.

Objetivo: Comparar la diversidad y estructura arbórea de un bosque templado bajo los tratamientos silvícolas de selección y aclareo en El Salto, Pueblo Nuevo, Durango.

Materiales y métodos: El índice de diversidad de Shannon de seis sitios intervenidos con el método de selección y seis con aclareos se determinó en tres inventarios realizados en un periodo de 10 años. En cada inventario, la diversidad entre tratamientos se comparó con la prueba de similitud o diferencia de diversidad-abundancia *t* de Hutcheson. Para cada tratamiento y para los 12 sitios, los parámetros ecológicos (abundancia, dominancia y frecuencia), índice de valor de importancia (IVI) y volumen fustal se analizaron con pruebas de Kruskal-Wallis para determinar diferencias entre los inventarios.

Resultados y discusión: En los tres inventarios se registraron 18 especies; *Pinus cooperi*, *P. durangensis* y *Quercus sideroxyla* fueron las de mayor IVI. En cada inventario, la prueba *t* de Hutcheson indicó que la diversidad fue significativamente mayor ($P < 0.05$) en los tratamientos de selección. Por otra parte, en cada tratamiento, la prueba de Kruskal-Wallis no demostró diferencias significativas ($P > 0.05$) de los parámetros ecológicos entre inventarios; asimismo, la densidad arbórea, área basal y volumen fustal de cada sitio no evidenciaron diferencias significativas entre inventarios.

Conclusión: La diversidad fue mayor en el tratamiento de selección. Los parámetros ecológicos no difieren entre inventarios, por lo que la estructura del bosque no fue afectada al momento de ser intervenida.

Palabras clave: aclareo; cortas de selección; diversidad de Shannon; índice de valor de importancia; parámetros ecológicos.

Introduction

Forest management involves decisions and activities for sustainable use, conservation and promotion of forest resources (Aguirre-Calderón, 2015). The objective of sustainable forest management is to meet the current needs of society without compromising the provision of ecosystem goods and services in the future (Aguirre-Calderón, 2015; Monarrez-Gonzalez et al., 2020).

In areas under forest management, silvicultural treatments modify forest structure, and therefore it is essential to know this, in combination with stand dynamics to guarantee sustainability (Castellanos-Bolaños et al., 2008). Tree structure, composition and diversity are characteristics that should be studied in managed forests, which can be modified by natural (fires, pests, diseases and droughts) and anthropogenic events (Guevara-Fisher et al., 2021; Hernández-Salas et al., 2013). This information provides information on the current condition of the forest and helps determining the appropriate silvicultural practices to conserve the attributes of forest ecosystems (Rendón-Pérez et al., 2021).

Silvicultural methods MMOBI (Mexican Management Method for Uneven-aged Forests) and SDM (Silvicultural Development Method) are applied in the forests of the state of Durango (northwestern Mexico). The MMOBI is aimed at the application of selective cutting, in groups or individually, to maintain an irregular structure composed of trees of different sizes on sites of low productivity. The SDM is carried out with periodic harvests to ensure the renewal of the forest, inducing tree mass to even-aged forests by applying regeneration clear-cuts or parent trees, and intensive clear-cuts such as thinning on sites where seasonal qualities are high (Santiago-Ramírez et al., 2019; Solís-Moreno et al., 2006; Soto-Cervantes et al., 2021).

Forest management needs information on diversity, tree structure, growth dynamics and forest productivity, which is collected from regular evaluations for the detection of changes generated by silvicultural practices (López-Hernández et al., 2017). Therefore, the objective of this study was to compare the diversity and tree structure of a temperate forest under the silvicultural treatments of selection and thinning in Durango, Mexico.

Materials and Methods

Study area

The study was carried out in five ejidos (La Victoria, La Ciudad, El Brillante, La Campana and San Esteban) in the town of El Salto, municipality of Pueblo Nuevo, Durango, northwestern Mexico, geographically framed

Introducción

En el manejo forestal se involucran decisiones y actividades para el uso sustentable, conservación y promoción de los recursos del bosque (Aguirre-Calderón, 2015). El objetivo del manejo forestal sustentable es satisfacer las necesidades actuales de la sociedad sin comprometer la provisión de los bienes y servicios de los ecosistemas en el futuro (Aguirre-Calderón, 2015; Monarrez-Gonzalez et al., 2020).

En las áreas bajo manejo forestal, los tratamientos silvícolas modifican la estructura de los bosques, es por ello que su conocimiento, aunado a la dinámica de rodales, es fundamental para garantizar su sostenibilidad (Castellanos-Bolaños et al., 2008). La estructura, composición y diversidad del arbolado son características que se deben conocer en bosques bajo manejo, las cuales pueden ser modificadas por eventos naturales (incendios, plagas, enfermedades y sequías) y antropogénicos (Guevara-Fisher et al., 2021; Hernández-Salas et al., 2013). Esta información permite conocer la condición actual del bosque y determinar las prácticas silvícolas apropiadas para conservar los atributos de los ecosistemas forestales (Rendón-Pérez et al., 2021).

En los bosques del estado de Durango (noroeste de México) se aplican los métodos silvícolas MMOBI (Método Mexicano de Ordenación de Bosques Irregulares) y MDS (Método de Desarrollo Silvícola). El MMOBI está dirigido a la aplicación de cortas selectivas, en grupos o de manera individual, para el mantenimiento de una estructura irregular compuesta por árboles de dimensiones distintas en sitios de productividad baja. El MDS se realiza con aprovechamientos periódicos para asegurar el renuevo del bosque, induciendo la masa arbórea a bosques de tipo coetáneo mediante la aplicación de cortas de regeneración a matarrasa o árboles padres, y cortas intensivas como los aclareos en sitios donde las calidades de estación son altas (Santiago-Ramírez et al., 2019; Solís-Moreno et al., 2006; Soto-Cervantes et al., 2021).

La gestión forestal requiere información sobre la diversidad, estructura arbórea, dinámica de crecimiento y productividad del bosque, la cual se obtiene mediante evaluaciones periódicas para la detección de cambios generados por prácticas silvícolas (López-Hernández et al., 2017). Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue comparar la diversidad y estructura arbórea de un bosque templado bajo los tratamientos silvícolas de selección y aclareo en Durango, México.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en cinco ejidos (La Victoria, La Ciudad, El Brillante, La Campana y San Esteban) de la localidad

between parallels $23^{\circ} 42' 34.48''$ and $23^{\circ} 49' 28.18''$ NL and meridians $105^{\circ} 30' 11.83''$ and $105^{\circ} 40' 6.56''$ WL in the Sierra Madre Occidental mountain range (Figure 1). The area has an average elevation between 2500 and 2900 m. Soil types are Lithosol, Cambisol and Regosol and the predominant texture is coarse to medium (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2015). The climates are (A)C(W₂), C(W₂), C(E)(M) and C(E)(W₂) with average annual precipitation of 945.3 mm and average temperature of 11.5 °C (INEGI, 2009).

Data collection

We selected 12 sites with evidence of forest management using silvicultural methods of selection and thinning using the Permanent Sites of Forestry and Soil Research (SPIFyS), belonging to UMAFOR 1008. The sites were established in 2007 and 2008 (inventory 1), following the methodology described by Corral-Rivas et al. (2009). Two remeasurements were carried out five and 10 years later (inventory 2 and 3, respectively) using the guide for the establishment, monitoring and evaluation of permanent monitoring sites in productive forest landscapes (Corral-Rivas et al., 2013). The silvicultural treatment applied to each site differed according to the year of cutting from the management programs for each ejido (Table 1).

de El Salto, municipio de Pueblo Nuevo, Durango, al noroeste de México, enmarcado geográficamente entre los paralelos $23^{\circ} 42' 34.48''$ y $23^{\circ} 49' 28.18''$ LN y los meridianos $105^{\circ} 30' 11.83''$ y $105^{\circ} 40' 6.56''$ LO en el macizo montañoso de la Sierra Madre Occidental (Figura 1). El área cuenta con una elevación promedio entre 2500 y 2900 m. Los tipos de suelo son Litosol, Cambisol y Regosol y predomina una textura de gruesa a media (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2015). Los climas son de tipo (A)C(W₂), C(W₂), C(E)(M) y C(E)(W₂) con precipitación media anual de 945.3 mm y temperatura promedio de 11.5 °C (INEGI, 2009).

Toma de datos

A través de los Sitios Permanentes de Investigación Forestal y de Suelos (SPIFyS), pertenecientes a la UMAFOR 1008, se seleccionaron 12 sitios con evidencia de manejo forestal mediante los métodos silvícolas de selección y aclareos. Los sitios se establecieron en los años 2007 y 2008 (inventario 1), siguiendo la metodología descrita por Corral-Rivas et al. (2009). Se hicieron dos remediciones cinco y 10 años después (inventario 2 y 3, respectivamente) mediante la guía para el establecimiento, seguimiento y evaluación de sitios permanentes de monitoreo en paisajes productivos forestales (Corral-Rivas et al., 2013). El tratamiento

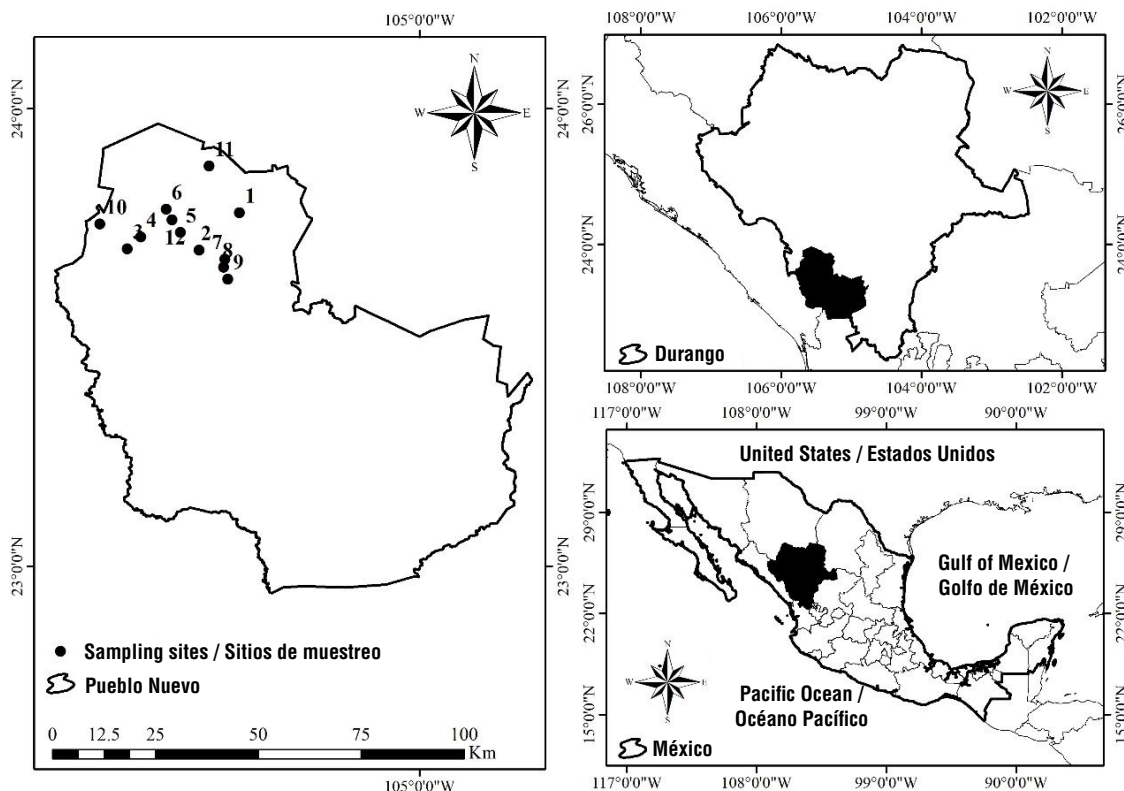


Figure 1. Location of the evaluated sites in a temperate forest in the locality of El Salto, Pueblo Nuevo, Durango
Figura 1. Ubicación de los sitios evaluados en un bosque templado en la localidad de El Salto, Pueblo Nuevo, Durango.

Table 1. Sites analyzed according to silvicultural treatment applied in a temperate forest in the locality of El Salto, Pueblo Nuevo, Durango.

Cuadro 1. Sitios analizados de acuerdo con tratamiento silvícola aplicado en un bosque templado de la localidad de El Salto, Pueblo Nuevo, Durango.

Site/ Sitio	Ejido	Inventory 1/ Inventario 1	Inventory 2/ Inventario 2	Inventory 3/ Inventario 3	Cutting year/ Año de corta
Selection/Selección					
1	La Victoria	2007/10/01	2012/11/21	2017/12/01	2013
2	La Victoria	2007/11/01	2012/11/27	2017/12/02	2012
3	La Ciudad	2008/03/01	2013/04/25	2018/07/02	2009
4	La Ciudad	2008/03/01	2013/04/19	2018/07/05	2009
5	La Campana	2008/03/01	2013/04/09	2018/06/26	2008
6	La Campana	2008/03/01	2013/04/15	2018/06/27	2015
Thinning/Aclareo					
7	El Brillante	2008/12/01	2013/12/16	2018/09/21	2009
8	El Brillante	2008/12/01	2013/12/11	2018/09/23	2012
9	El Brillante	2008/12/01	2013/12/21	2018/10/05	2009
10	La Ciudad	2008/03/01	2013/04/20	2018/06/26	2017
11	San Esteban	2008/03/09	2013/04/04	2018/07/04	2013
12	La Campana	2008/03/01	2013/04/11	2018/06/28	2009

The size of the sites was 2500 m², from which the following tree measurement information was collected: number of trees, species, diameter at breast height (>7.5 cm) and total height (m). The forest communities in the region are composed of mixed forests of *Pinus* and *Quercus*, *Juniperus*, *Arbutus* and *Alnus*. The stands are second-growth subjected to forest exploitation for more than 100 years (Colín et al., 2018; Lujan-Soto et al., 2015).

Data analysis

Diversity

Species diversity for each treatment in each inventory was estimated with the Shannon diversity index (H') (Shannon & Weaver, 1949):

$$H' = - \sum pi (\ln pi)$$

where,

ln = natural logarithm

pi = proportion of trees of species i found (obtained from the ratio ni/N)

ni = number of trees of species i

N = total number of trees

Values obtained using the Shannon index were compared with the Hutcheson's t diversity-abundance

silvícola aplicado a cada sitio difiere de acuerdo con el año de corta proveniente de los programas de manejo para cada ejido (Cuadro 1).

El tamaño de los sitios fue de 2500 m², de los cuales se obtuvo la información dasométrica siguiente: número de árboles, especie, diámetro normal (>7.5 cm) y altura total (m). Las comunidades forestales de la región están compuestas por bosques mezclados de *Pinus* y *Quercus*, *Juniperus*, *Arbutus* y *Alnus*. Los rodales son de segundo crecimiento sometidos a explotación forestal desde hace más de 100 años (Colín et al., 2018; Lujan-Soto et al., 2015).

Análisis de datos

Diversidad

La diversidad de especies de cada tratamiento en cada inventario se estimó con el índice de diversidad de Shannon (H') (Shannon & Weaver, 1949):

$$H' = - \sum pi (\ln pi)$$

donde,

ln = logaritmo natural

pi = proporción de los árboles encontrados de la especie i (se obtiene de la relación ni/N)

ni = número de árboles de la especie i

N = número total de árboles

similarity or difference hypothesis test between selection and thinning treatments, in the three inventories (Corral-Rivas et al., 2005; Hernández-Salas et al., 2013; Solís-Moreno et al., 2006). Degrees of freedom (df) and variances were estimated with the following equations:

$$t = \frac{H'_1 - H'_2}{\sqrt{\text{Var}H'_1 + \text{Var}H'_2}}$$

$$df = \frac{(\text{Var}H'_1 + \text{Var}H'_2)^2}{\left[\frac{(\text{Var}H'_1)^2}{N_1}\right] + \left[\frac{(\text{Var}H'_2)^2}{N_2}\right]}$$

$$\text{Var}H' = \frac{\sum pi(\ln pi)^2 - (\sum pi \ln pi)^2}{N} - \frac{S-1}{2N^2}$$

where,

H' = diversity of site n

$\text{Var} H'$ = variance of site n

N = total number of trees of site n

S = number of species

Ecological parameters and importance value index

In each evaluation period and for each silvicultural treatment, the relative values of abundance, according to the number of trees; dominance, according to basal area; frequency, based on the presence of species; and importance value index (IVI), with the sum of the previous ecological indicators in percentage values from 0 to 300, and dividing the value by three (Alanís-Rodríguez et al., 2020), were determined for each tree species (Table 2).

Los valores obtenidos mediante el índice de Shannon se compararon con la prueba de hipótesis sobre similitud o diferencia de la diversidad-abundancia t de Hutcheson entre los tratamientos de selección y aclareos, en los tres inventarios (Corral-Rivas et al., 2005; Hernández-Salas et al., 2013; Solís-Moreno et al., 2006). Los grados de libertad (df) y las varianzas se estimaron con las ecuaciones siguientes:

$$t = \frac{H'_1 - H'_2}{\sqrt{\text{Var}H'_1 + \text{Var}H'_2}}$$

$$df = \frac{(\text{Var}H'_1 + \text{Var}H'_2)^2}{\left[\frac{(\text{Var}H'_1)^2}{N_1}\right] + \left[\frac{(\text{Var}H'_2)^2}{N_2}\right]}$$

$$\text{Var}H' = \frac{\sum pi(\ln pi)^2 - (\sum pi \ln pi)^2}{N} - \frac{S-1}{2N^2}$$

donde,

H' = diversidad del sitio n

$\text{Var} H'$ = varianza del sitio n

N = número total de árboles del sitio n

S = número de especies

Parámetros ecológicos e índice de valor de importancia

En cada periodo de evaluación y para cada tratamiento silvícola se determinaron los valores relativos de abundancia, de acuerdo con el número de árboles; dominancia, en función del área basal; frecuencia, con base en la presencia de especies; y el índice de valor de importancia (IVI), con la sumatoria de los indicadores ecológicos previos en valores porcentuales de 0 a 300,

Table 2. Estimated ecological parameters and importance value index of tree species.

Cuadro 2. Parámetros ecológicos estimados e índice de valor de importancia de las especies arbóreas.

Parameters and index/ Parámetros e índice	Formula (EN)	Fórmula (ES)	Variables
Relative abundance (RA)/ Abundancia relativa (AR)	$RA = \frac{n}{N} * 100$	$AR = \frac{n}{N} * 100$	n = number of individuals of species i N = total number of individuals/ n = número de individuos de la especie i N = número total de individuos
Relative dominance (RD)/ Dominancia relativa (DR)	$RD = \frac{g}{G} * 100$	$DR = \frac{g}{G} * 100$	g = basal area of species i G = total basal area/ g = área basal de la especie i G = área basal total
Relative frequency (RF)/ Frecuencia relativa (FR)	$RF = \frac{m}{M} * 100$	$FR = \frac{m}{M} * 100$	m = frequency of species i in the sampling sites M = total number of sampling sites/ m = frecuencia de la especie i en los sitios de muestreo M = número total de sitios de muestreo
Importance value index (IVI)/ Índice de valor de importancia (IVI)	$IVI = \frac{RA + RD + RF}{3}$	$IVI = \frac{AR + DR + FR}{3}$	

Volume

For most species recorded, the stem volume was determined using equations generated by the Forest Biometric System (SiBiFor) belonging to UMAFOR 1008 through the 'digital library of the biometric system for the planning of sustainable forest management of ecosystems with timber potential in Mexico', based on the equation of Schumacher and Hall; only for *Arbutus* spp. was the equation generated by Cruz-Cobos et al. (2016) (Table 3).

Statistical analysis

The normal distribution of the data for each ecological parameter (abundance, dominance and frequency), IVI and forest volume was verified with the Shapiro-Wilk test and homogeneity of variances with the Levene test. Based on the normality result, a one-factor ANOVA (equality of means) or, instead, the non-parametric Kruskal-Wallis test (equality of medians) was used to determine if there are statistical changes among the inventories for each treatment and for the 12 sites; the significance level for the tests was $\alpha = 0.05$. All analyses were performed in IBM SPSS Statistics 25.

y dividiendo el valor entre tres (Alanís-Rodríguez et al., 2020), para cada especie arbórea (Cuadro 2).

Volumen

Para la mayoría de las especies registradas se determinó el volumen fustal mediante ecuaciones generadas por el Sistema Biométrico Forestal (SiBiFor) pertenecientes a la UMAFOR 1008 mediante la 'Biblioteca digital del sistema biométrico para la planeación del manejo forestal sustentable de los ecosistemas con potencial maderable en México', con base en la ecuación de Schumacher y Hall; solo para *Arbutus* spp. se utilizó la ecuación generada por Cruz-Cobos et al. (2016) (Cuadro 3).

Análisis estadístico

La distribución normal de los datos de cada parámetro ecológico (abundancia, dominancia y frecuencia), IVI y volumen fustal se verificó con la prueba de Shapiro-Wilk y la homogeneidad de varianzas con la prueba de Levene. Con base en el resultado de normalidad se hizo ANOVA de un factor (igualdad de medias) o, en su defecto, la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (igualdad de medianas), para determinar si existen

Table 3. Equations of the stem volume (V) for the species present in UMAFOR 1008 in the region of El Salto, Pueblo Nuevo, Durango.

Cuadro 3. Ecuaciones de volumen fustal (V) para las especies presentes en la UMAFOR 1008 de la región de El Salto, Pueblo Nuevo, Durango.

Species/Especie	Equation (EN)	Ecuación (ES)	Author/Autor
<i>Alnus firmifolia</i> Fernald	$V = 0.000139 * (DBH^{1.3542668}) * (H^{1.2736221})$	$V = 0.000139 * (Dn^{1.3542668}) * (H^{1.2736221})$	ITES-2016
<i>Alnus jorullensis</i> Kunth	$V = 0.0000862 * (DBH^{1.8865539}) * (H^{0.8017336})$	$V = 0.0000862 * (Dn^{1.8865539}) * (H^{0.8017336})$	ITES-2016
<i>Arbutus</i> spp.	$V = 0.0000116 * (DBH^{2.078374}) * (H^{0.501168})$	$V = 0.0000116 * (Dn^{2.078374}) * (H^{0.501168})$	Cruz-Cobos et al. (2016)
<i>Juniperus deppeana</i> Steud.	$V = 0.0000759 * (DBH^{1.9206334}) * (H^{0.803164})$	$V = 0.0000759 * (Dn^{1.9206334}) * (H^{0.803164})$	UJED-2016
<i>Pinus cooperi</i> C. E. Blanco	$V = 0.0000454 * (DBH^{2.0745395}) * (H^{0.8923251})$	$V = 0.0000454 * (Dn^{2.0745395}) * (H^{0.8923251})$	UJED-2016
<i>Pinus durangensis</i> Martínez	$V = 0.0000546 * (DBH^{1.9482123}) * (H^{0.9702588})$	$V = 0.0000546 * (Dn^{1.9482123}) * (H^{0.9702588})$	UJED-2016
<i>Pinus leiophylla</i> Schiede ex Schltdl & Cham.	$V = 0.0000372 * (DBH^{2.0194624}) * (H^{1.0269951})$	$V = 0.0000372 * (Dn^{2.0194624}) * (H^{1.0269951})$	UJED-2016
<i>Pinus strobiformis</i> Engelm.	$V = 0.0000607 * (DBH^{1.9179198}) * (H^{0.9319899})$	$V = 0.0000607 * (Dn^{1.9179198}) * (H^{0.9319899})$	UJED-2016
<i>Pinus teocote</i> Schiede ex Schltdl. & Cham.	$V = 0.0000676 * (DBH^{1.9076677}) * (H^{0.9455744})$	$V = 0.0000676 * (Dn^{1.9076677}) * (H^{0.9455744})$	UJED-2016
<i>Prunus serotina</i> Ehrh.	$V = 0.0000862 * (DBH^{1.8865539}) * (H^{0.8017336})$	$V = 0.0000862 * (Dn^{1.8865539}) * (H^{0.8017336})$	ITES-2016
<i>Quercus rugosa</i> Née	$V = 0.0000373 * (DBH^{2.0588513}) * (H^{0.9271271})$	$V = 0.0000373 * (Dn^{2.0588513}) * (H^{0.9271271})$	UJED-2016
<i>Quercus</i> spp.	$V = 0.0000626 * (DBH^{2.0409771}) * (H^{0.7503735})$	$V = 0.0000626 * (Dn^{2.0409771}) * (H^{0.7503735})$	UJED-2016
<i>Quercus sideroxyla</i> Bonpl.	$V = 0.0000456 * (DBH^{2.0193611}) * (H^{0.8856513})$	$V = 0.0000456 * (Dn^{2.0193611}) * (H^{0.8856513})$	UJED-2016

DBH: diameter at breast height; H: total height. The ITES (Instituto Tecnológico de El Salto) and UJED (Universidad Juárez del Estado de Durango) equations can be consulted and downloaded at <http://fcfposgrado.ujed.mx/sibifor/inicio/>

Dn: diámetro normal; H: altura total. Las ecuaciones de ITES (Instituto Tecnológico de El Salto) y UJED (Universidad Juárez del Estado de Durango) se pueden consultar y descargar en <http://fcfposgrado.ujed.mx/sibifor/inicio/>

Results

A total of 18 species belonging to six families and six genera were recorded for the three inventories. The families Pinaceae and Fagaceae and the genera *Pinus* and *Quercus* were the most representative with five species, followed by the family Ericaceae and the genus *Arbutus* with four species. *Prunus serotina* Ehrh. was the least representative species with one species (Table 4).

Diversity

The area with selection treatment showed higher values in Shannon's diversity index (H') for the three inventories (Figure 2). Hutcheson's test revealed significant statistical differences among treatments in the three evaluation periods: inventory 1 ($t = 2.87$, $t_{(\alpha = 0.05, 962)} = 1.98$); inventory 2 ($t = 3.73$, $t_{(\alpha = 0.05, 907)} = 1.98$) and inventory 3 ($t = 4.89$, $t_{(\alpha = 0.05, 1004)} = 1.98$).

Ecological indicators

Sites with selection treatment

Abundance in the six sites with selection treatment decreased from 454 ± 55.12 trees·ha⁻¹ in inventory 1 a

cambios estadísticos entre los inventarios para cada tratamiento y para los 12 sitios; el nivel de significancia para las pruebas fue $\alpha = 0.05$. Todos los análisis se desarrollaron en el programa IBM SPSS Statistics 25.

Resultados

Durante los tres inventarios se registraron 18 especies pertenecientes a seis familias y seis géneros. Las familias Pinaceae y Fagaceae y los géneros *Pinus* y *Quercus* fueron los de mayor representatividad con cinco especies, seguidas de la familia Ericaceae y el género *Arbutus* con cuatro especies. *Prunus serotina* Ehrh. fue la especie de menor representatividad con una especie (Cuadro 4).

Diversidad

El área con tratamiento de selección presentó valores más altos en el índice de diversidad de Shannon (H') en los tres inventarios (Figura 2). La prueba de Hutcheson reveló diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos en los tres periodos de evaluación: inventario 1 ($t = 2.87$, $t_{(\alpha = 0.05, 962)} = 1.98$); inventario 2 ($t = 3.73$, $t_{(\alpha = 0.05, 907)} = 1.98$) e inventario 3 ($t = 4.89$, $t_{(\alpha = 0.05, 1004)} = 1.98$).

Table 4. Species and families recorded in the 12 study sites of a temperate forest for three inventories conducted over a 10-year period in the region of El Salto, Pueblo Nuevo, Durango.

Cuadro 4. Especies y familias registradas en los 12 sitios de estudio de un bosque templado durante tres inventarios realizados en un periodo de 10 años en la región de El Salto, Pueblo Nuevo, Durango.

Species/Especie	Common name/Nombre común	Family/Familia
<i>Alnus firmifolia</i> Fernald	Aliso	Betulaceae
<i>Alnus jorullensis</i> Kunth	Aliso	Betulaceae
<i>Arbutus arizonica</i> (A. Gray) Sarg.	Madroño de Arizona	Ericaceae
<i>Arbutus bicolor</i> S. González, M. González & P. D. Sørensen	Madroño	Ericaceae
<i>Arbutus madrensis</i> S. González	Madroño roñoso	Ericaceae
<i>Arbutus tessellata</i> P. D. Sørensen	Madroño pegajoso	Ericaceae
<i>Juniperus deppeana</i> Steud.	Táscate	Cupressaceae
<i>Pinus cooperi</i> C. E. Blanco	Pino chino	Pinaceae
<i>Pinus durangensis</i> Martínez	Ocote	Pinaceae
<i>Pinus leiophylla</i> Schiede ex chltdl & Cham.	Pino prieto	Pinaceae
<i>Pinus strobiformis</i> Engelm.	Pino blanco	Pinaceae
<i>Pinus teocote</i> Schiede ex Schltdl. & Cham.	Pino colorado	Pinaceae
<i>Prunus serotina</i> Ehrh.	Capulín	Rosaceae
<i>Quercus rugosa</i> Née	Encino blanco	Fagaceae
<i>Quercus arizonica</i> Sarg.	Roble de Arizona	Fagaceae
<i>Quercus crassifolia</i> Bonpl.	Encino prieto	Fagaceae
<i>Quercus obtusata</i> Bonpl.	Encino roble	Fagaceae
<i>Quercus sideroxyla</i> Bonpl.	Encino colorado	Fagaceae

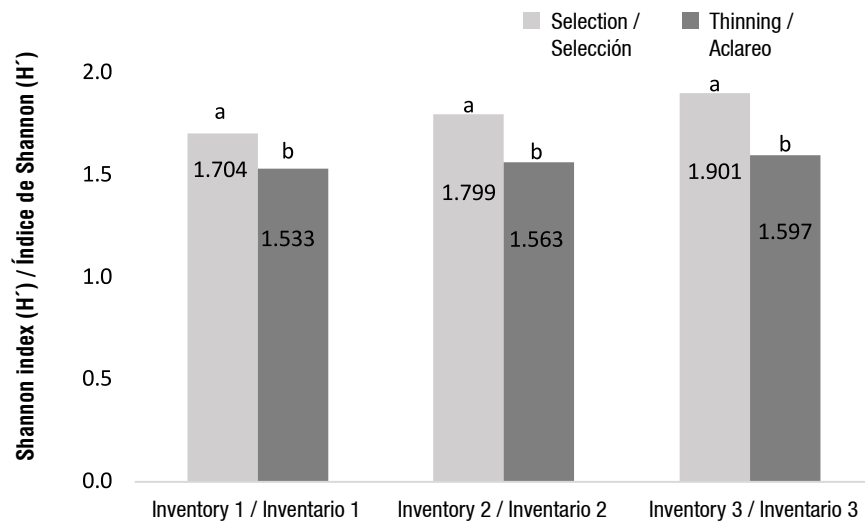


Figure 2. Shannon diversity index (H') of a temperate forest under selection and thinning treatments, for three inventories conducted over a 10-year period in the region of El Salto, Pueblo Nuevo, Durango. In each inventory, different letters indicate significant difference according to Hutcheson t-test ($P = 0.05$).

Figura 2. Índice de diversidad de Shannon (H') de un bosque templado bajo tratamientos de selección y aclareos, durante tres inventarios realizados en un periodo de 10 años en la región de El Salto, Pueblo Nuevo, Durango. En cada inventario, letras distintas indican diferencia significativa de acuerdo con la prueba t de Hutcheson ($P = 0.05$).

426.67 ± 47.7 in inventory 2 but increased to 465.33 ± 46.98 trees·ha⁻¹ for inventory 3; these changes were not statistically significant ($X^2 = 0.012$, gl = 2, $P = 0.99$). Figure 3A shows the behavior of the number of trees per diameter category in selection treatment, diameter categories in the three inventories show a normal trend in the data, characteristic of mature stands. In the first evaluation period there were 13 species, in the second period *P. serotina* was incorporated and finally in the third period there were 16 species with the incorporation of *Arbutus arizonica* (A. Gray) Sarg. and *Arbutus tessellata* P. D. Sørensen.

Basal area in inventory 1 recorded a total value of 24.1 ± 3.5 m²·ha⁻¹, decreased 0.77 m²·ha⁻¹ for inventory 2 and increased to 25.65 ± 3.24 m²·ha⁻¹ in inventory 3; statistically, these changes were not significant ($X^2 = 0.028$, gl = 2, $P = 0.98$). In the final period, basal area increased 6.4 % in relation to inventory 1.

The relative frequencies of each species in the three inventories were statistically equal ($F = 0.096$, gl = 2, $P = 0.91$). The genus *Pinus* had a relative frequency of 50 % in inventory 1 that decreased 11.22 % for inventory 3, while *Arbutus* increased 10.55 % in the same period and *Quercus* decreased 0.68 %.

According to the Kruskal-Wallis test, the IVI had no significant differences between inventories 1, 2 and 3 ($X^2 = 0.27$, gl = 2, $P = 0.87$). *Pinus durangensis* Martínez was the most representative species in the three

Indicadores ecológicos

Sitios con tratamiento de selección

La abundancia en los seis sitios con el tratamiento de selección disminuyó de 454 ± 55.12 árboles·ha⁻¹ en el inventario 1 a 426.67 ± 47.7 en el inventario 2, pero ascendió a 465.33 ± 46.98 árboles·ha⁻¹ para el inventario 3; dichos cambios no fueron estadísticamente significativos ($X^2 = 0.012$, gl = 2, $P = 0.99$). La Figura 3A presenta el comportamiento del número de árboles por categorías diamétricas en el tratamiento de selección, las categorías diamétricas en los tres inventarios muestran una tendencia normal de los datos, característica de rodales maduros. En el primer periodo de evaluación se registraron 13 especies, para el segundo periodo se incorporó *P. serotina* y, finalmente, en el tercer periodo hubo 16 especies con la incorporación de *Arbutus arizonica* (A. Gray) Sarg. y *Arbutus tessellata* P. D. Sørensen.

El área basal en el inventario 1 registró un valor total de 24.1 ± 3.5 m²·ha⁻¹, disminuyó 0.77 m²·ha⁻¹ para el inventario 2 y aumentó a 25.65 ± 3.24 m²·ha⁻¹ en el inventario 3; estadísticamente, estos cambios no fueron significativos ($X^2 = 0.028$, gl = 2, $P = 0.98$). En el periodo final, el área basal incrementó 6.4 % respecto al inventario 1.

Las frecuencias relativas de cada especie en los tres inventarios resultaron estadísticamente iguales ($F =$

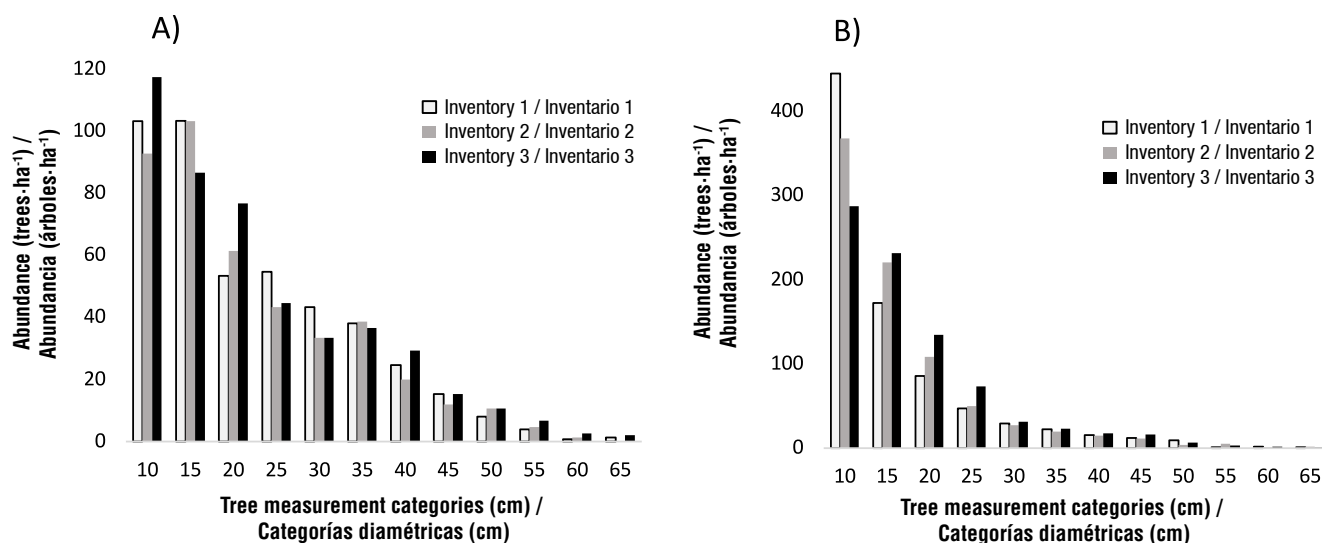


Figure 3. Number of trees per tree measurement categories in a temperate forest with areas intervened by the selection method (A) and thinning (B), during three inventories over a period of 10 years in the region of El Salto, Pueblo Nuevo, Durango.

Figura 3. Número de árboles por categorías diamétricas en un bosque templado con áreas intervenidas mediante el método de selección (A) y aclareos (B), durante tres inventarios en un periodo de 10 años en la región de El Salto, Pueblo Nuevo, Durango.

evaluation periods with 35.98 % that decreased 3.38 % for inventory 3, followed by *Q. sideroxylla* with IVI of 17.8 % in the first period that increased to 18.5 % for inventory 3, and *P. cooperi* that increased 0.04 % in the 10-year interval (Table 5).

Sites with thinning treatments

Abundance in the six sites with thinning treatment showed no statistically significant changes in the three evaluation periods ($X^2 = 0.14$, $gl = 2$, $P = 0.93$). A total of 857.33 ± 115.86 trees·ha⁻¹ was recorded in inventory 1, which was reduced to 833.33 ± 104.98 trees·ha⁻¹ for inventory 3. Thirteen species were recorded in inventory 1 and 15 species were recorded in inventories 2 and 3 by the addition of *Alnus jorullensis* Kunth and *Quercus rugosa* Née. Figure 3B shows the number of trees per diameter category in the three inventories, most of them are in the lower categories with a trend of inverted J-shaped data, characteristic of young stands.

Basal area of inventory 1 was 24.4 ± 3.01 m²·ha⁻¹ which decreased to 23.23 ± 2.95 m²·ha⁻¹ for inventory 2 and, finally increased to 26.69 ± 3.42 m²·ha⁻¹. According to the Kruskal-Wallis nonparametric test, these changes were not significant ($X^2 = 0.32$, $gl = 2$, $P = 0.85$). *Pinus* had a relative dominance of 79.82 ± 18.94 % in inventory 1 that increased to 81.94 ± 18.99 % for inventory 3; statistically no significant changes were recorded ($X^2 = 0.06$, $gl = 2$, $P = 0.97$). *Quercus* reduced its relative

0.096, $gl = 2$, $P = 0.91$). El género *Pinus* tuvo frecuencia relativa de 50 % en el inventario 1 que se redujo 11.22 % para el inventario 3, mientras que *Arbutus* incrementó 10.55 % en el mismo periodo y *Quercus* se redujo 0.68 %.

De acuerdo con la prueba de Kruskal-Wallis, el IVI no tuvo diferencias significativas entre los inventarios 1, 2 y 3 ($X^2 = 0.27$, $gl = 2$, $P = 0.87$). *Pinus durangensis* Martínez fue la especie de mayor representatividad en los tres periodos de evaluación con 35.98 % que se redujo 3.38 % para el inventario 3, seguido de *Q. sideroxylla* con IVI de 17.8 % en el primer periodo que aumentó a 18.5 % para el inventario 3, y *P. cooperi* que aumentó 0.04 % en el intervalo de 10 años (Cuadro 5).

Sitios con tratamientos de aclareo

La abundancia en los seis sitios con tratamiento de aclareos no mostró cambios estadísticos significativos en los tres periodos de evaluación ($X^2 = 0.14$, $gl = 2$, $P = 0.93$). En el inventario 1 se registró un total de 857.33 ± 115.86 árboles·ha⁻¹ el cual se redujo a 833.33 ± 104.98 árboles·ha⁻¹ para el inventario 3. En el inventario 1 se registraron 13 especies y en los inventarios 2 y 3 se registraron 15 especies mediante la incorporación de *Alnus jorullensis* Kunth y *Quercus rugosa* Née. La Figura 3B presenta el número de árboles por categoría diamétrica en los tres inventarios, la mayoría se encuentra en las categorías inferiores con una tendencia de los datos en forma de J invertida, característica de rodales jóvenes.

Table 5. Ecological parameters and importance value index (IVI) in a temperate forest under selection method for three inventories conducted over a 10-year period in the region of El Salto, Pueblo Nuevo, Durango.

Cuadro 5. Parámetros ecológicos e índice de valor de importancia (IVI) en un bosque templado bajo el método de selección durante tres inventarios realizados en un periodo de 10 años en la región de El Salto, Pueblo Nuevo, Durango.

Species / Especie	Abundance (trees-ha ⁻¹) / Abundancia (árboles-ha ⁻¹)	RA (%) / AR (%)	Basal Area (m ² .ha ⁻¹) / Área basal (m ² .ha ⁻¹)	RD (%) / DR (%)	Frequency / Frecuencia	RF (%) / FR (%)	IVI (%)
Selection inventory 1 / Selección inventario 1							
<i>Pinus durangensis</i>	192.0	42.29	12.38	51.37	6	14.29	35.98
<i>Quercus sideroxyla</i>	88.6	19.53	4.72	19.59	6	14.29	17.80
<i>Pinus cooperi</i>	73.3	16.15	3.62	15.02	5	11.90	14.36
<i>Pinus strobiformis</i>	34.6	7.64	1.02	4.23	4	9.52	7.13
<i>Juniperus deppeana</i>	27.3	6.02	0.47	1.96	5	11.90	6.63
<i>Pinus teocote</i>	6.6	1.47	0.23	0.95	4	9.52	3.98
<i>Arbutus bicolor</i>	9.3	2.06	0.32	1.34	3	7.14	3.51
<i>Quercus crassifolia</i>	4.6	1.03	1.08	4.48	1	2.38	2.63
<i>Pinus leiophylla</i>	7.3	1.62	0.14	0.60	2	4.76	2.33
<i>Alnus jorullensis</i>	6.6	1.47	0.05	0.22	2	4.76	2.10
<i>Arbutus madrensis</i>	2.0	0.44	0.03	0.14	2	4.76	1.78
<i>Quercus rugosa</i>	0.6	0.15	0.02	0.07	1	2.38	0.86
<i>Alnus firmifolia</i>	0.6	0.15	0.01	0.02	1	2.38	0.85
Total (±SD/±DE)	454.0 ± 55.12	100	24.1 ± 3.5	100	42 ± 4.8	100	100 ± 9.97
Selection inventory 2 / Selección inventario 2							
<i>Pinus durangensis</i>	165.3	38.75	11.39	48.84	6	14.63	34.07
<i>Quercus sideroxyla</i>	100.0	23.44	5.32	22.81	6	14.63	20.29
<i>Pinus cooperi</i>	58.6	13.75	2.84	12.17	5	12.2	12.71
<i>Pinus strobiformis</i>	31.3	7.34	1.01	4.32	3	7.32	6.33
<i>Juniperus deppeana</i>	24.0	5.63	0.49	2.10	4	9.76	5.83
<i>Pinus teocote</i>	6.6	1.56	0.27	1.16	4	9.76	4.16
<i>Arbutus bicolor</i>	10.0	2.34	0.37	1.57	3	7.32	3.74
<i>Quercus crassifolia</i>	6.6	1.56	1.29	5.51	1	2.44	3.17
<i>Alnus jorullensis</i>	6.6	1.56	0.10	0.41	2	4.88	2.28
<i>Alnus firmifolia</i>	6.6	1.56	0.06	0.28	2	4.88	2.24
<i>Arbutus madrensis</i>	2.6	0.63	0.04	0.19	2	4.88	1.90
<i>Pinus leiophylla</i>	6.6	1.56	0.13	0.55	1	2.44	1.52
<i>Quercus rugosa</i>	0.6	0.16	0.02	0.08	1	2.44	0.89
<i>Prunus serotina</i>	0.6	0.16	0.003	0.01	1	2.44	0.87
Total (±SD/±DE)	426.67 ± 47.7	100	23.33 ± 3.17	100	41 ± 4.4	100	100 ± 9.42
Selection inventory 3 / Selección inventario 3							
<i>Pinus durangensis</i>	170.6	36.68	12.51	48.78	6	12.24	32.6
<i>Quercus sideroxyla</i>	108.0	23.21	5.18	20.18	6	12.24	18.5
<i>Pinus cooperi</i>	54.0	11.60	3.21	12.52	5	10.2	11.4
<i>Pinus strobiformis</i>	38.6	8.31	1.42	5.52	3	6.12	6.7
<i>Juniperus deppeana</i>	28.0	6.02	0.59	2.31	4	8.16	5.5
<i>Arbutus bicolor</i>	12.0	2.58	0.42	1.66	4	8.16	4.1
<i>Pinus teocote</i>	8.0	1.72	0.37	1.45	4	8.16	3.8
<i>Quercus crassifolia</i>	6.6	1.43	1.32	5.15	2	4.08	3.6
<i>Alnus firmifolia</i>	16.6	3.58	0.2	0.79	3	6.12	3.5
<i>Arbutus madrensis</i>	3.3	0.72	0.06	0.22	3	6.12	2.4
<i>Arbutus tessellata</i>	2.6	0.57	0.02	0.08	3	6.12	2.3
<i>Alnus jorullensis</i>	6.6	1.43	0.14	0.56	2	4.08	2.0
<i>Pinus leiophylla</i>	8.0	1.72	0.17	0.66	1	2.04	1.5
<i>Quercus rugosa</i>	0.6	0.14	0.02	0.08	1	2.04	0.8
<i>Prunus serotina</i>	0.6	0.14	0.01	0.02	1	2.04	0.7
<i>Arbutus arizonica</i>	0.6	0.14	0.004	0.02	1	2.04	0.7
Total (±SD/±DE)	465.33 ± 46.98	100	25.65 ± 3.24	100	49 ± 3.5	100	100 ± 8.41

RA: relative abundance; RD = relative dominance; RF relative frequency. ±SD: standard deviation.

AR: abundancia relativa; DR = dominancia relativa; FR = frecuencia relativa. ±DE: desviación estándar.

Table 6. Parameters, ecological indicators and importance value index (IVI) in a temperate forest under the thinning method in three inventories conducted over a 10-year period in the region of El Salto, Pueblo Nuevo, Durango.

Cuadro 6. Parámetros, indicadores ecológicos e índice de valor de importancia (IVI) en un bosque templado bajo el método de aclareos en tres inventarios realizados durante un periodo de 10 años en la región de El Salto, Pueblo Nuevo, Durango.

Species/ Especie	Abundance (trees·ha ⁻¹)/ Abundancia (árboles·ha ⁻¹)	RA (%)/ AR (%)	BA (m ² ·ha ⁻¹)/ AB (m ² ·ha ⁻¹)	RD (%)/ DR (%)	Frequency/ Frecuencia	RF (%)/ FR (%)	IVI (%)
Thinning inventory 1 /Aclareo inventario 1							
<i>Pinus cooperi</i>	361.3	42.15	8.93	39.86	5	13.51	31.84
<i>Pinus durangensis</i>	271.3	31.65	7.44	33.21	5	13.51	26.13
<i>Quercus sideroxyla</i>	106.0	12.36	3.36	15.02	5	13.51	13.63
<i>Juniperus deppeana</i>	18.0	2.10	0.39	1.76	6	16.22	6.69
<i>Pinus strobiformis</i>	28.6	3.34	0.66	2.96	5	13.51	6.61
<i>Pinus leiophylla</i>	22.6	2.64	0.60	2.67	2	5.41	3.57
<i>Pinus teocote</i>	12.0	1.40	0.25	1.12	2	5.41	2.64
<i>Arbutus bicolor</i>	1.33	0.16	0.14	0.64	2	5.41	2.07
<i>Pinus arizonica</i>	12.0	1.40	0.24	1.06	1	2.70	1.72
<i>Arbutus arizonica</i>	11.3	1.32	0.24	1.06	1	2.70	1.70
<i>Arbutus tessellata</i>	11.3	1.32	0.11	0.47	1	2.70	1.50
<i>Quercus obtusata</i>	0.6	0.08	0.02	0.10	1	2.70	0.96
<i>Arbutus madrensis</i>	0.6	0.08	0.01	0.06	1	2.70	0.95
Total (±SD/±DE)	857.3 ± 11.8	100	22.40 ± 3.01	100	37.0 ± 1.9	100	100 ± 10.15
Thinning inventory 2 /Aclareo inventario 2							
<i>Pinus cooperi</i>	364.6	43.24	9.53	40.98	5	12.82	32.35
<i>Pinus durangensis</i>	256.0	30.36	7.44	32.00	5	12.82	25.06
<i>Quercus sideroxyla</i>	96.0	11.38	3.13	13.47	5	12.82	12.56
<i>Pinus strobiformis</i>	30.0	3.56	1.01	4.33	5	12.82	6.90
<i>Juniperus deppeana</i>	22.0	2.61	0.49	2.09	6	15.38	6.69
<i>Pinus leiophylla</i>	23.3	2.77	0.66	2.85	2	5.13	3.58
<i>Pinus teocote</i>	12.6	1.50	0.30	1.30	2	5.13	2.64
<i>Arbutus madrensis</i>	1.3	0.16	0.02	0.08	2	5.13	1.79
<i>Quercus arizonica</i>	12.0	1.42	0.28	1.19	1	2.56	1.73
<i>Arbutus tessellata</i>	11.3	1.34	0.12	0.53	1	2.56	1.48
<i>Arbutus arizonica</i>	7.3	0.87	0.18	0.77	1	2.56	1.40
<i>Arbutus bicolor</i>	4.6	0.55	0.06	0.25	1	2.56	1.12
<i>Quercus obtusata</i>	0.6	0.08	0.02	0.11	1	2.56	0.92
<i>Quercus rugosa</i>	0.6	0.08	0.01	0.02	1	2.56	0.89
<i>Alnus jorullensis</i>	0.6	0.08	0.01	0.02	1	2.56	0.89
Total (±SD/±DE)	843.33 ± 108.82	100	23.25 ± 2.95	100	39.0 ± 1.96	100	100.0 ± 9.83
Thinning inventory 3 /Aclareo inventario 3							
<i>Pinus cooperi</i>	361.3	43.36	11.49	43.04	5	12.5	32.97
<i>Pinus durangensis</i>	241.3	28.96	8.01	30	5	12.5	23.82
<i>Quercus sideroxyla</i>	94.6	11.36	3.47	12.99	5	12.5	12.28
<i>Pinus strobiformis</i>	32.6	3.92	1.31	4.92	5	12.5	7.11
<i>Juniperus deppeana</i>	24.6	2.96	0.58	2.16	6	15.0	6.71
<i>Pinus leiophylla</i>	23.3	2.80	0.66	2.49	2	5.0	3.43
<i>Pinus teocote</i>	15.3	1.84	0.40	1.50	2	5.0	2.78
<i>Arbutus tessellata</i>	12.0	1.44	0.14	0.54	2	5.0	2.33
<i>Arbutus madrensis</i>	1.33	0.16	0.03	0.10	2	5.0	1.75
<i>Quercus arizonica</i>	12.0	1.44	0.31	1.15	1	2.5	1.70
<i>Arbutus arizonica</i>	7.3	0.88	0.18	0.67	1	2.5	1.35
<i>Arbutus bicolor</i>	5.3	0.64	0.08	0.30	1	2.5	1.15
<i>Quercus obtusata</i>	0.6	0.08	0.03	0.10	1	2.5	0.89
<i>Quercus rugosa</i>	0.6	0.08	0.01	0.02	1	2.5	0.87
<i>Alnus jorullensis</i>	0.6	0.08	0.01	0.02	1	2.5	0.87
Total (±SD/±DE)	833.33 ± 104.98	100	26.69 ± 3.42	100	40 ± 1.91	100	100 ± 9.32

RA: relative abundance; BA = basal area, RD = relative dominance; RF = relative frequency. ±SD: standard deviation.

AR: abundancia relativa; AB = área basal, DR = dominancia relativa; FR = frecuencia relativa. ±DE: desviación estándar.

dominance by 1.91 % between the three evaluation periods, but without statistically significant changes ($X^2 = 0.37$, $gl = 2$, $P = 0.83$).

Relative frequencies also showed no statistically significant changes among the three inventories ($X^2 = 0.16$, $gl = 2$, $P = 0.92$). *Pinus* ($X^2 = 3.47$, $gl = 2$, $P = 0.18$) and *Quercus* ($X^2 = 3.97$, $gl = 2$, $P = 0.14$) showed no significant statistical changes during the study period; *Pinus* had the highest values in the three evaluation periods 51.35 ± 4.44 %, 48.72 ± 4.21 % and 47.5 ± 4.11 %, followed by *Quercus* with 18.92 ± 6.24 %, 20.51 ± 5.13 % and 20.0 ± 5.0 %.

According to IVI, there were no significant statistical changes between inventories 1, 2 and 3 ($X^2 = 0.42$, $gl = 2$, $P = 0.81$); *P. cooperi* was the species with the highest IVI percentage in the three inventories, followed by *P. durangensis* and *Q. sideroxylla* (Table 6).

Individually, the sites showed no statistically significant changes ($P < 0.05$) in tree measurement variables during the three inventories (Table 7). Over the 10-year period, sites 1, 2, 6 and 8 increased in density (Figure 4A). The basal area of sites 6 and 12 decreased $0.38 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ and $0.25 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$, respectively, over the same period (Figure 4B). Finally, for the stem volume, site 6 decreased $6.14 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, while site 8 decreased $19.91 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (Figure 4C).

El área basal en el inventario 1 fue $24.4 \pm 3.01 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ que se redujo a $23.23 \pm 2.95 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ para el inventario 2 y, finalmente, incrementó a $26.69 \pm 3.42 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$. De acuerdo con la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, estos cambios no fueron significativos ($X^2 = 0.32$, $gl = 2$, $P = 0.85$). El género *Pinus* tuvo dominancia relativa de 79.82 ± 18.94 % en el inventario 1 que incrementó a 81.94 ± 18.99 % para el inventario 3; estadísticamente no se registraron cambios significativos ($X^2 = 0.06$, $gl = 2$, $P = 0.97$). *Quercus* redujo 1.91 % su dominancia relativa entre los tres periodos de evaluación, pero sin registrar cambios estadísticos significativos ($X^2 = 0.37$, $gl = 2$, $P = 0.83$).

Las frecuencias relativas tampoco presentaron cambios estadísticos significativos entre los tres inventarios ($X^2 = 0.16$, $gl = 2$, $P = 0.92$). Los géneros *Pinus* ($X^2 = 3.47$, $gl = 2$, $P = 0.18$) y *Quercus* ($X^2 = 3.97$, $gl = 2$, $P = 0.14$) no presentaron cambios estadísticos significativos durante el periodo de estudio; *Pinus* obtuvo los valores más altos en los tres periodos de evaluación 51.35 ± 4.44 %, 48.72 ± 4.21 % y 47.5 ± 4.11 %, seguido de *Quercus* con 18.92 ± 6.24 %, 20.51 ± 5.13 % y 20.0 ± 5.0 %.

De acuerdo con el IVI no se presentaron cambios estadísticos significativos entre los inventarios 1, 2 y 3 ($X^2 = 0.42$, $gl = 2$, $P = 0.81$); *P. cooperi* fue la especie con mayor porcentaje de IVI en los tres inventarios, seguido de *P. durangensis* y *Q. sideroxylla* (Cuadro 6).

Table 7. Tree measurement variables of sites sampled in a temperate forest during three inventories (Inv) over a period of 10 years in the region of El Salto, Pueblo Nuevo, Durango.

Cuadro 7. Variables dasométricas de los sitios muestreados en un bosque templado durante tres inventarios (Inv) en un periodo de 10 años en la región de El Salto, Pueblo Nuevo, Durango.

Site/ Sitio	Density (trees·ha ⁻¹)/ Densidad (árboles·ha ⁻¹)				Basal area (m ² ·ha ⁻¹)/ Área basal (m ² ·ha ⁻¹)				Stem volume (m ³ ·ha ⁻¹)/ Volumen fustal (m ³ ·ha ⁻¹)			
	Inv1	Inv2	Inv3	P (<0.05)	Inv1	Inv2	Inv3	P (<0.05)	Inv1	Inv2	Inv3	P (<0.05)
Selection/Selección												
1	636	668	764	0.97 K-W	21.13	18.36	22.01	0.92 K-W	173.61	147.27	182.16	0.92 K-W
2	228	192	260	0.60 K-W	21.23	21.21	23.66	0.65 K-W	200.29	212.43	239.87	0.71 K-W
3	296	264	276	0.48 K-W	25.22	24.65	28.05	0.70 K-W	321.23	328.21	374.7	0.72 K-W
4	764	660	656	0.74 F	30.41	27.06	31.58	0.95 F	323.76	292.02	356.83	0.88 F
5	432	384	420	0.94 F	22.49	22.16	24.87	0.85 F	191.20	194.26	215.85	0.87 K-W
6	368	392	416	0.96 K-W	24.12	26.52	23.74	0.96 K-W	244.01	293.31	237.87	0.98 K-W
Thinning/Aclareo												
7	1080	1072	1068	0.97 K-W	17.45	25.62	31.25	0.74 K-W	95.68	177.58	250.89	0.74 K-W
8	372	628	672	0.93 K-W	20.41	23.08	25.86	0.76 K-W	233.21	260.46	301.89	0.86 K-W
9	960	872	868	0.67 K-W	22.08	16.85	23.54	0.82 K-W	210.49	119.64	190.58	0.69 K-W
10	1112	1116	976	0.98 K-W	26.12	29.87	29.21	0.93 K-W	264.96	323.98	321.38	0.93 K-W
11	952	844	888	0.93 K-W	17.54	17.02	19.74	0.80 K-W	76.70	78.03	93.85	0.87 K-W
12	668	528	528	0.97 K-W	30.8	27.05	30.55	0.87 K-W	295.16	273.71	308.37	0.83 K-W

F: ANOVA; K-W: Kruskal-Wallis non-parametric test.

F: ANOVA; K-W: prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

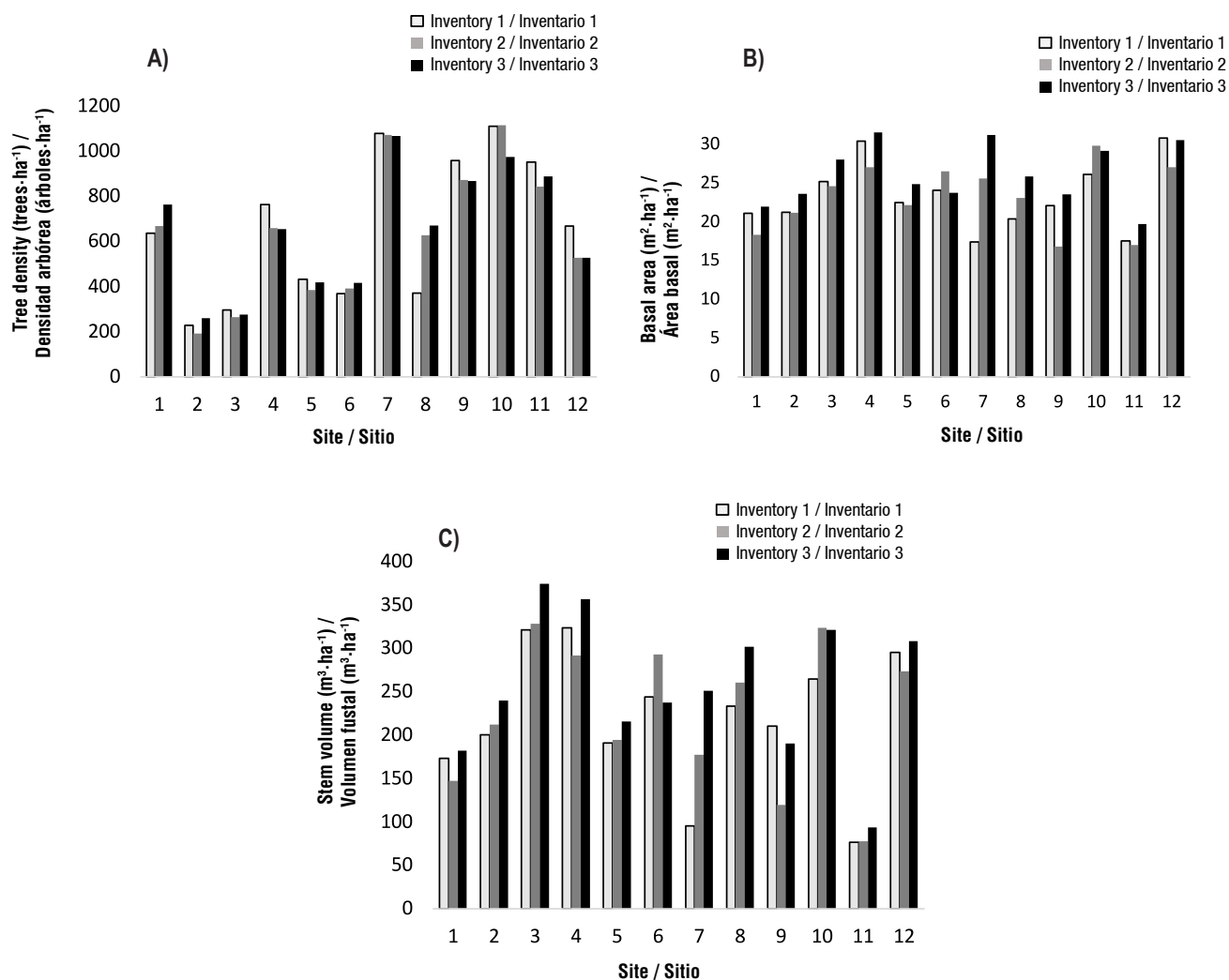


Figure 4. Tree density (A), basal area (B) and stem volume (C) of 12 sites sampled from a temperate forest for three inventories over a 10-year period in the region of El Salto, Pueblo Nuevo, Durango.

Figura 4. Densidad arbórea (A), área basal (B) y volumen fustal (C) de 12 sitios muestreados de un bosque templado durante tres inventarios en un periodo de 10 años en la región de El Salto, Pueblo Nuevo, Durango.

Discussion

Diversity

Species diversity assessed by the Shannon index between treatments for each inventory differed consistently, with higher values in the selection treatment. The application of the selection treatment directed at species of the genus *Pinus*, being of greater commercial value, promotes greater equity of the proportion of species within the stands; in contrast, applying a thinning treatment preserves the dominance of some species, because the cuts are directed at undesirable species. Solís-Moreno et al. (2006) recorded values of $H' = 0.72$ and $H' = 1.21$ in two plots with thinning and selection methods, respectively, which are lower than those reported in this study. Hernández-Salas et al. (2013) reported values of $H'_1 = 0.400$, $H'_2 =$

De manera individual, los sitios no presentaron cambios estadísticamente significativos ($P < 0.05$) en las variables dasométricas durante los tres inventarios (Cuadro 7). En el periodo de 10 años, los sitios 1, 2, 6 y 8 aumentaron la densidad (Figura 4A). El área basal de los sitios 6 y 12 disminuyó $0.38 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ y $0.25 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$, respectivamente, en el mismo periodo (Figura 4B). Finalmente, para el volumen fustal, el sitio 6 disminuyó $6.14 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, mientras que el sitio 8 decreció $19.91 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (Figura 4C).

Discusión

Diversidad

La diversidad de especies evaluada mediante el índice de Shannon entre tratamientos para cada inventario difiere de manera constante, con valores más altos en el

0.401 and $H'_3 = 0.347$ in areas with regular management during three evaluation periods (1986, 1996 and 2006) in temperate forests of Chihuahua. The difference between the values recorded by other authors and those obtained in this study is determined by the proportion of species recorded.

Ecological indicators

Abundance in each treatment showed no statistically significant changes in the three evaluation periods. López-Hernández et al. (2017) in central Mexico. A database was obtained from 45 permanent forestry research sites located in the Central and Pico de Orizaba forestry region, belonging to the Forest Management Unit, Umafor 2105. Dasometric information was recorded, including total height (m) and Graciano et al. (2017) mention that high species abundance and low frequency are characteristic of ecosystems with heterogeneous structure, generated by irregular forest management, which would result in areas operated using SDM. Most natural forests are made up of trees of various age classes, and their distribution and size is not uniform (Gadow et al., 2007). On the other hand, a high percentage of forests are formed by strata where tree dominances of shapes, sizes and species mix are distinguished, and whose distribution and size depend, among other things, on the growth rate and shade tolerance (López-Hernández et al., 2017); this is a structural characteristic of areas operated with MMOBI, which would consequently generate a regular forest.

Basal area changes between evaluation periods were not statistically different for each treatment; however, the area managed by thinning showed a greater increase in the 10-year period. This increase is due to the opening of the canopy and the elimination of competition, giving rise to a mostly accelerated growth of the remaining trees in the lower diameter categories.

Pinus and *Quercus* were the most frequent for both treatments. These genera have been reported with the highest relative frequency values in studies of temperate forests in Mexico (Graciano-Ávila et al., 2020; López-Hernández et al., 2017; Monarrez-Gonzalez et al., 2020; Rendón-Pérez et al., 2021; Santiago-Ramírez et al., 2019; Silva-García et al., 2021).

P. durangensis, *Q. sideroxylla* and *P. cooperi* were the species of greatest ecological value. Several authors have reported at least one of these as the most representative for the state of Durango (Delgado-Zamora et al., 2016; Graciano-Ávila et al., 2020; Guevara-Fisher et al., 2021; Monarrez-Gonzalez et al., 2020; Silva-García et al., 2021).

Site 6, logged seven years after inventory 1, had a decrease in basal area and stem volume, but not in the

tratamiento de selección. La aplicación del tratamiento de selección dirigido a especies del género *Pinus*, por ser de mayor valor comercial, promueve mayor equitatividad de la proporción de especies dentro de los rodales; en contraste, la aplicación del tratamiento de aclareos mantiene la dominancia de algunas especies, ya que las cortas van dirigidas a especies no deseadas. Solís-Moreno et al. (2006) registraron valores de $H' = 0.72$ y $H' = 1.21$ en dos parcelas con los métodos de aclareos y selección, respectivamente, los cuales son inferiores a los reportados en este trabajo. Hernández-Salas et al. (2013) reportaron valores de $H'_1 = 0.400$, $H'_2 = 0.401$ y $H'_3 = 0.347$ en áreas con manejo regular durante tres periodos de evaluación (1986, 1996 y 2006) en bosques templados de Chihuahua. La diferencia de los valores registrados por otros autores con los obtenidos en este estudio se determina por la proporción de las especies registradas.

Indicadores ecológicos

La abundancia en cada tratamiento no mostró cambios estadísticos significativos en los tres periodos de evaluación. López-Hernández et al. (2017) in central Mexico. A database was obtained from 45 permanent forestry research sites located in the Central and Pico de Orizaba forestry region, belonging to the Forest Management Unit, Umafor 2105. Dasometric information was recorded, including total height (m) and Graciano et al. (2017) mencionan que una abundancia alta de especies y una frecuencia baja son características de ecosistemas con estructura heterogénea, generada por el manejo de bosques irregulares, lo que daría como resultado las áreas operadas mediante MDS. La mayoría de los bosques naturales se constituyen por árboles de varias clases de edad, además de que su distribución y tamaño no es uniforme (Gadow et al., 2007). Por otra parte, un porcentaje alto de bosques está formado por estratos donde se distinguen dominancias de árboles de formas, tamaños y mezcla de especies, y cuya distribución y tamaño dependen, entre otras cosas, del ritmo de crecimiento y de su tolerancia a la sombra (López-Hernández et al., 2017); esta es una característica estructural de áreas operadas con MMOBI, lo que consecuentemente generaría un bosque regular.

Los cambios de área basal entre periodos de evaluación no difieren estadísticamente para cada tratamiento; sin embargo, la superficie manejada mediante aclareos muestra incremento mayor en el periodo de 10 años. Este incremento se debe a la apertura del dosel y a la eliminación de la competencia, dando origen a un crecimiento mayormente acelerado de los árboles restantes en las categorías diamétricas menores.

Los géneros *Pinus* y *Quercus* fueron los de mayor frecuencia para ambos tratamientos. Estos géneros han sido reportados con los valores más altos de frecuencia

number of trees, while site 9, logged one year after inventory 1, had a decrease in the number of trees and stem volume, but an increase in basal area. In a temperate forest under management in Chihuahua, Mexico, Hernández-Salas et al. (2018) evaluated the growth dynamics of 46 circular plots of 0.1 ha, established in 1986, to be logged one year after to be logged one year after planting and remeasured in 1996 and 2006, before a new silvicultural intervention. These authors mention that the abundance, basal area and volume of trees, prior to cutting (in the first inventory), are affected when they are remeasured (second and third inventory) due to logging or recruitment of individuals (regeneration); therefore, the differences between evaluations are not necessarily increases, as they sometimes decrease, so that it is not possible to determine the net yield of the tree stand. In the present study, for the 12 sites evaluated, the number of trees sometimes did not recover, but the basal area or volume of the forest stand was recovered, regardless of the year of cutting and silvicultural treatment applied; therefore, there is high productivity in the recovery of the tree stand by means of basal area or volume of the forests under harvest in the state of Durango.

Conclusions

The diversity of species in plant communities, managed by the MMOBI (Mexican Method of Irregular Forest Management) silvicultural method, is higher than SDM (Silvicultural Development Method). This difference is recurrently maintained despite the application of silvicultural treatments of selection (MMOBI) and thinning (SDM). Number of trees, basal area, frequency and volume of forest cover do not differ between evaluation periods (inventories), so the structure of the forest is not affected at the time of being intervened. Forest assessments and monitoring are important to continue analyzing the impact of forest management, whether negative through changes in tree diversity and structure or positive by conserving forest attributes. Collecting periodic information on forest dynamics will help forest managers in their decision making and to analyze the response of ecosystems when forest management is applied.

Acknowledgments

The authors thank the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) for the funding granted to the first author to attend the doctoral program in the Faculty of Forestry Sciences at Universidad Autónoma de Nuevo León.

End of English version

relativa en estudios de bosques templados en México (Graciano-Ávila et al., 2020; López-Hernández et al., 2017; Monarrez-Gonzalez et al., 2020; Rendón-Pérez et al., 2021; Santiago-Ramírez et al., 2019; Silva-García et al., 2021)

Las especies *P. durangensis*, *Q. sideroxylla* y *P. cooperi* fueron las especies de mayor valor ecológico. Diversos autores han reportado al menos una de estas como la de mayor representatividad para el estado de Durango (Delgado-Zamora et al., 2016; Graciano-Ávila et al., 2020; Guevara-Fisher et al., 2021; Monarrez-Gonzalez et al., 2020; Silva-García et al., 2021).

El sitio 6, intervenido siete años después del inventario 1, disminuyó en área basal y volumen fustal, pero no en el número de árboles, mientras que el sitio 9 intervenido un año después del inventario 1, tuvo decremento en el número de árboles y volumen fustal, pero aumentó su área basal. En un bosque templado bajo manejo en Chihuahua, México, Hernández-Salas et al. (2018) evaluaron la dinámica de crecimiento de 46 parcelas circulares de 0.1 ha, establecidas en 1986, para ser intervenidas un año después de su instalación y ser remedidas en 1996 y 2006, antes de una nueva intervención silvícola. Estos autores mencionan que la abundancia, área basal y volumen fustal, previos a la corta (en el primer inventario), se ven afectados en las remediciones (segundo y tercer inventario) debido al aprovechamiento forestal o al reclutamiento de individuos (regeneración); por tanto, las diferencias entre evaluaciones no son necesariamente incrementos, ya que en ocasiones disminuyen, de tal modo que no es posible determinar el rendimiento neto de la masa arbórea. En el presente estudio, para los 12 sitios evaluados, el número de árboles algunas veces no se recuperó, pero sí el área basal o volumen fustal, independientemente del año de corta y tratamiento silvícola aplicado; por tanto, existe productividad alta en la recuperación de la masa arbolada mediante al área basal o volumen fustal de los bosques bajo aprovechamiento del estado de Durango.

Conclusiones

La diversidad de especies en las comunidades vegetales, operadas mediante el método silvícola de MMOBI (Método Mexicano de Ordenación de Bosques Irregulares) es mayor que en MDS (Método de Desarrollo Silvícola). Esta diferencia se mantiene recurrentemente a pesar de la aplicación de los tratamientos silvícolas de selección (MMOBI) y aclareos (MDS). El número de árboles, área basal, frecuencia y volumen fustal no difieren entre periodos de evaluación (inventarios), por lo que la estructura del bosque no es afectada al momento de ser intervenida. Las evaluaciones y el monitoreo del bosque son importantes para seguir analizando el impacto de la

Referencias / Referencias

- Aguirre-Calderón, O. A. (2015). Manejo forestal en el siglo XXI. *Madera y Bosques*, 21, 17–28. <https://doi.org/10.21829/myb.2015.210423>
- Alanís-Rodríguez, E., Mora-Olivo, A., & Marroquín-de la Fuente, J. S. (2020). *Muestreo ecológico de la vegetación*. Editorial Universitaria de la Universidad Autónoma de Nuevo León. <https://www.researchgate.net/publication/343137042>
- Castellanos-Bolaños, J. F., Treviño-Garza, E. J., Aguirre-Calderón, O. A., Jiménez-Pérez, J., Musalem-Santiago, M., & López-Aguillón, R. (2008). Estructura de bosques de pino pátula bajo manejo en Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México. *Madera y Bosques*, 14(2), 51–63. <https://doi.org/10.21829/myb.2008.1421212>
- Colín, J. G., Aguirre-Calderón, O. A., Corral-Rivas, J. J., Viveros-Guerrero, E., Corral-Rivas, S., & Crecente-Campo, F. (2018). Influencia de la competencia en el crecimiento diamétrico de *Pinus durangensis* Martínez en Durango, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(45), 94–121. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i45.145>
- Corral-Rivas, J. J., Aguirre-Calderón, O. A., Jiménez-Pérez, J., & Corral-Rivas, 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: Sistemas y Recursos Forestales*, 14(2), 217–228. <https://doi.org/10.5424/srfj2005142-00885>
- Corral-Rivas, J. J., Vargas Larreta, B., Wehenkel, C., Aguirre-Calderón, O. A., Álvarez-González, J. G., & Rojo-Alboreca, A. (2009). *Guía para el establecimiento de sitios de investigación forestal y de suelos en bosques del estado de Durango*. Editorial de la Universidad Juárez Del Estado de Durango. <https://www.researchgate.net/publication/305640430%0AGuía>
- Corral-Rivas, J. J., Vargas-Larreta, B., Wehenkel, C., Aguirre-Calderón, O. A., & Crecente-Campo, F. (2013). *Guía para el establecimiento, seguimiento y evaluación de sitios permanentes de monitoreo en paisajes productivos forestales*. http://forestales.ujed.mx/monafor/archivos/descargas/guias_manuales/Guía_para_el_Establecimiento_Seguimiento_y_Evaluación_de_Sitios_Permanetes_de_Monitoreo.pdf
- Cruz-Cobos, F., Mendiá-Santana, R., Jiménez-Flores, A. A., Nájera-Luna, J. A., & Cruz-García, F. (2016). Ecuaciones de volumen para *Arbutus* spp. (madroño) en la región de Pueblo Nuevo, Durango. *Investigación y Ciencia*, 24(68), 41–47. <https://www.redalyc.org/pdf/674/67448742006.pdf>
- Delgado-Zamora, D. A., Heynes-Silerio, S. A., Mares-Quiñones, M. D., Piedra-Leandro, N. L., Retana-Rentería, F. I., Rodríguez-Corral, K., Villanueva-Hernández, A. I., González-Elizondo, M. S., & Raicho-González, L. (2016). Diversidad y estructura arbórea de dos rodales en Pueblo Nuevo, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(33), 94–107. <https://pdfs.semanticscholar.org/f78cf319cc8662c94ffa14b661b06e822f170f4c.pdf>
- Gadow, K. V., Sánchez-Orois, S., & Álvarez-González, J. G. (2007). Estructura y crecimiento del bosque. Universidad de Gottingen. http://www.iww.forst.uni-goettingen.de/doc/kgadow/lit/kvgestructura_y_crecimiento_del_bosque.pdf
- Graciano-Ávila, G., Alanís-Rodríguez, E., Aguirre-Calderón, O. A., González-Tagle, M. A., Treviño-Garza, E. J., Mora-Olivo, A., & Corral-Rivas, J. J. (2020). Cambios estructurales de la gestión forestal, ya sea negativo mediante cambios en la diversidad y estructura arbórea o positivo conservando los atributos del bosque. La obtención de información periódica de la dinámica del bosque ayudará en la toma de decisiones de los manejadores del bosque y en el análisis de respuesta de los ecosistemas ante la aplicación del manejo forestal.
- Agradecimientos**
- Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo financiero otorgado al primer autor, para estudiar en el programa de doctorado de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Fin de la versión en español**
- vegetación arbórea en un bosque templado de Durango, México. *Acta Botánica Mexicana*, 127. <https://doi.org/10.21829/ABM127.2020.1522>
- Graciano, Á. G., Aguirre-Calderón, Ó. A., Alanís-Rodríguez, E., & Lujan-Soto, J. E. (2017). Composición, estructura y diversidad de especies arbóreas en un bosque templado del Noroeste de México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4(12), 535–542. <https://doi.org/10.19136/ERA.A4N12.1114>
- Guevara-Fisher, Y. Y., Cruz-Cobos, F., Hernández, F. J., Nájera-Luna, J. A., Cruz-García, F., & Quiñonez-Barraza, G. (2021). Efecto de la corta de matarrasa en la diversidad de la regeneración arbórea en Durango, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(63), 28–47. <https://doi.org/10.29298/RMCFV12I63.709>
- Hernández-Salas, J., Aguirre-Calderón, O. A., Alanís-Rodríguez, E., Jiménez Pérez, J., Treviño-Garza, E. J., González-Tagle, M. A., Luján-Álvarez, C., Olivas-García, J. M., & 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(3), 189–199. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.08.052>
- Hernández-Salas, J., Aguirre-Calderón, Ó. A., Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Treviño-Garza, E. J., González-Tagle, M. A., Luján-Álvarez, C., Olivas-García, J. M., & Domínguez-Pereda, L. A. (2018). Dinámica del crecimiento de un bosque templado bajo manejo en el noroeste de México. *Madera y Bosques*, 24(2). <https://doi.org/10.21829/MYB.2018.2421767>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2009). *Cartas temáticas del estado de Durango*. Author.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2015). *Carta topográfica. Escala 1:50,000 F13-A18. El Salto, Durango, Mexico*. Author.
- López-Hernández, J. A., Aguirre-Calderón, O. A., Alanís-Rodríguez, E., Monárrez-González, J. C., González-Tagle, M. A., & Jiménez-Pérez, J. (2017). Composición y diversidad de especies forestales en bosques templados de Puebla, México. *Madera y Bosques*, 23(1), 39–51. <https://doi.org/10.21829/MYB.2017.2311518>
- Lujan-Soto, J. E., Corral-Rivas, J. J., Aguirre-calderón, O. A., & Gadow, K. V. (2015). Grouping forest tree species on the Sierra

- Madre Occidental, Mexico. *Allgemeine Forst d Jagdzeitung*, 3(4). https://www.researchgate.net/profile/Jose-Javier-Corral-Rivas/publication/275640880_Grouping_Forest_Tree_Species_on_the_Sierra_Madre_Occidental_Mexico/links/562e465f08ae04c2aeb5bfdf/Grouping-Forest-Tree-Species-on-the-Sierra-Madre-Occidental-Mexico.pdf
- Monarrez-Gonzalez, J. C., Gonzalez-Elizondo, M. S., Marquez-Linares, M. A., Gutierrez-Yurritai, P. J., & Perez-Verdin, G. (2020). Effect of forest management on tree diversity in temperate ecosystem forests in northern Mexico. *PLoS ONE*, 15(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233292>
- Rendón-Pérez, M. A., Hernández-de la Rosa, P., Velázquez-Martínez, A., Alcántara-Carbajal, J. L., & Reyes-Hernández, V. J. (2021). Composición, diversidad y estructura de un bosque manejado del centro de México. *Madera y Bosques*, 27(1). <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2712127>
- Santiago-Ramírez, R., Pérez-Ángeles, G., Hernández-De la Rosa, P., Cetina-Alcalá, V. M., Plascencia-Escalante, O., & Clark-Tapia, R. (2019). Efectos del aprovechamiento forestal en la estructura, diversidad y dinámica de rodales mixtos en la Sierra Juárez de Oaxaca, México. *Madera y Bosques*, 25(3). <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2531818>
- Shannon, C. E., & Weaver, W. (1949). *The theory of mathematical communication*. The University of Illinois Press. https://pure.mpg.de/rest/items/item_2383164_3/component/file_2383163/content
- Silva-García, J. E., Aguirre-Calderón, O. A., Alanís-Rodríguez, E., Jurado-Ybarra, E., Jiménez-Pérez, J., & Vargas-Larreta, B. (2021). Estructura y diversidad de especies arbóreas en un bosque templado del noroeste de México. *Polibotánica*, 52(26), 89–102. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.52.7>
- Solís-Moreno, R., Aguirre-Calderón, O. A., Treviño-Garza, E. J., Jiménez-Pérez, J., Jurado-Ybarra, 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. <https://doi.org/10.21829/myb.2006.1221242>
- Soto-Cervantes, J. A., Padilla-Martínez, J. R., Domínguez-Calleros, P.-A., Carrillo-Parra, A., Rodríguez-Laguna, R., Pompa García, M., García-Montiel, E., & Corral-Rivas, J. J. (2021). Efecto de cuatro tratamientos silvícolas en la producción maderable en un bosque de Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(67), 56–80. <https://doi.org/10.29298/RMCF.V12I67.991>