



## Evaluación del aprovechamiento forestal en la diversidad y estructura de un bosque templado en Durango

### Assessment of the forest harvesting effect on the diversity and structure of a temperate forest in the state of *Durango*

Edgar Silva-González<sup>1</sup>, Oscar Alberto Aguirre-Calderón<sup>1\*</sup>, Eduardo Alanís-Rodríguez<sup>1</sup>, Marco Aurelio González-Tagle<sup>1</sup>, Eduardo Javier Treviño-Garza<sup>1</sup>, José Javier Corral-Rivas<sup>2</sup>

#### Resumen

Se realizó un análisis para evaluar el efecto, en un periodo de 10 años, de la aplicación del Método Silvícola de Selección sobre la diversidad y estructura en un bosque templado de la Sierra de Durango, México. Se compararon doce Sitios Permanentes de Investigación Forestal y de Suelos (SPIFYS), los cuales fueron remedidos. El análisis comparativo se hizo mediante el índice de Diversidad de *Shannon-Wiener*; asimismo, se estimó el Índice de Valor de Importancia (IVI) mediante la densidad, el área basal y la frecuencia de las especies en los sitios de muestreo; también se calcularon tres índices de estructura para conocer la mezcla de especies, distribución espacial y dominancia del arbolado. El índice de *Shannon-Wiener* no evidenció cambios estadísticos significativos entre periodos de evaluación, cuando se aplicó la prueba de *t* de *Hutcheson*; el análisis mostró que los valores porcentuales relativos de abundancia, dominancia, frecuencia e Índice de Valor de Importancia se conservan. Los índices de estructura tampoco se modificaron significativamente en el intervalo de 10 años después de la extracción forestal, por lo que se determina que el tratamiento silvícola aplicado no modifica la diversidad ni los componentes de estructura del estrato arbóreo.

**Palabras Clave:** Distribución espacial, dominancia, estrato arbóreo, Índice de Valor de Importancia, mezcla de especies, tratamiento silvícola.

#### Abstract

An analysis was carried out to assess the effect, over a period of 10 years, of the application of the forestry selection method on diversity and structure in a temperate forest of the mountain range of the state of *Durango*, Mexico. Twelve Permanent Forest and Soil Research Sites (PFS and SRS) were compared and remeasured. The comparative analysis was performed using the Shannon-Wiener diversity index; the Importance Value index —estimated by density, basal area, and species frequency at the sampling sites—, and three structure indexes for determining the species mixture, spatial distribution, and dominance of woodland. The Shannon-Wiener index did not exhibit significant statistical changes between the assessment periods when the Hutcheson *t* test was applied; the analysis showed that relative percentage values of abundance, dominance, and frequency, and the significance value index remained the same; structure indexes were not significantly modified in the 10-year interval after forest extraction; therefore, it was concluded that the forestry treatment applied does not modify the diversity or structure components of the tree stratum.

**Key words:** Space distribution, dominance, tree stratum, Importance Value Index, mix of species, silvicultural treatment.

Fecha de recepción/Reception date: 8 de diciembre de 2021

Fecha de aceptación/Acceptance date: 4 de abril del 2022

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León, México.

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Juárez del Estado de Durango. México

\*Autor para correspondencia; correo-e: [oscar.aguirrecl@uanl.edu.mx](mailto:oscar.aguirrecl@uanl.edu.mx)

## **Introducción**

En el manejo sustentable de bosques mixtos, es primordial conservar la biodiversidad y mantener la composición florística con sus valores asociados y paisajísticos (Hernández-Salas *et al.*, 2013). La estructura de un ecosistema es un buen indicador de su biodiversidad, la cual es factible de afectarse por las prácticas silvícolas y los regímenes del manejo forestal que pudiesen modificar o deteriorar el hábitat (Del Río *et al.*, 2003; Corral-Rivas *et al.*, 2005; López-Hernández *et al.*, 2017). Estos cambios en la estructura y diversidad es posible que se generen por un aprovechamiento selectivo (Corral-Rivas *et al.*, 2005; Hernández-Salas *et al.*, 2013).

El efecto que tienen los tratamientos silvícolas sobre la diversidad de árboles está determinado por su intensidad, tipo y frecuencia; además de la etapa de sucesión del bosque (Duguid y Ashton, 2013; Ammer, 2019; Monárrez-González *et al.*, 2020). Por lo tanto, la conservación de la diversidad arbórea es una condición manipulable mediante el manejo forestal para mantener la productividad de esos ecosistemas (Zeller *et al.*, 2018).

La estructura, composición y diversidad son los atributos del bosque que más se modifican para alcanzar los objetivos del manejo forestal enfocados en la producción maderable (Castellanos-Bolaños *et al.*, 2008; Ramírez-Santiago *et al.*, 2019). Los índices de diversidad y estructura se utilizan para determinar el efecto de las prácticas silvícolas (Aguirre-Calderón *et al.*, 2003; Corral-Rivas *et al.*, 2005), medir diferencias en tiempo y espacio (Magurran, 2004), controlar cambios provocados por el manejo forestal, o para definir las prácticas que conduzcan al manejo forestal sustentable (Corral-Rivas *et al.*, 2005; Aguirre-Calderón *et al.*, 2008; Hernández-Salas *et al.*, 2013).

La evaluación de las masas forestales mediante indicadores de diversidad a partir de la abundancia, dominancia y frecuencia de especies describen sus relaciones en

una población (López-Hernández *et al.*, 2017; Alanís-Rodríguez *et al.*, 2020); sus valores relativos sirven para entender parte del funcionamiento de los ecosistemas, lo que aporta elementos de decisión para contribuir al buen manejo de los bosques (Castellanos-Bolaños *et al.*, 2008; Graciano-Ávila *et al.*, 2017).

Otra manera de caracterizar el estrato arbóreo es en función de tres componentes de diversidad estructural: el grado de mezcla, para ello se evalúa la manera en que árboles de diferentes especies se interrelacionan; la agregación, para lo cual se describe la distribución de los árboles sobre el terreno; y la diferenciación, que cuantifica la diferencia de tamaños de los individuos arbóreos entre sí (Gadow y Hui, 2002; Corral-Rivas *et al.*, 2005; Solís-Moreno *et al.*, 2006).

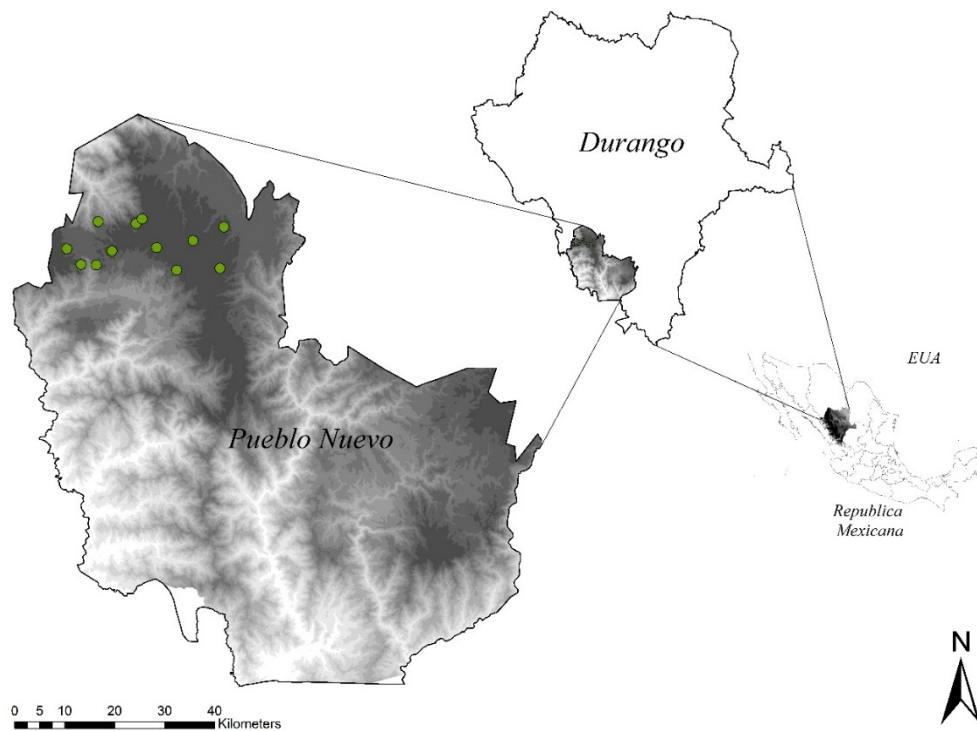
Desde el punto de vista técnico, la gestión forestal requiere de información sobre la diversidad y estructura, tanto en especies de valor comercial como de las que tienen valor ecológico para definir prácticas que conduzcan a un manejo forestal sustentable (López-Hernández *et al.*, 2017). El objetivo del presente estudio fue evaluar, en un periodo de 10 años, el efecto del aprovechamiento forestal con el Método de selección en la diversidad y estructura de un bosque templado ubicado al noroeste de México.

## **Materiales y Métodos**

### **Área de estudio y localización de los sitios**

El estudio se llevó a cabo en el municipio Pueblo Nuevo, ubicado en la región de El Salto, la cual se encuentra en la parte suroeste del estado de Durango, México, y dentro de la Sierra Madre Occidental (Figura 1). Geográficamente, se localiza entre los paralelos 23°42'34.48" y 23°49'28.18" de latitud norte, y los meridianos

105°30'11.83" y 105°40'6.56" de longitud oeste. Tiene una altura sobre el nivel del mar de 2 500 a 2 900 m. Los tipos de suelo presentes son Litosol, Cambisol y Regosol con textura predominantemente de gruesa a media. El tipo de roca dominante es la ígnea extrusiva ácida (INEGI, 2015). En esta zona prevalecen climas de tipo (A)C(w<sub>2</sub>), C(w<sub>2</sub>), C(E)(M) y C(E)(w<sub>2</sub>), con precipitación media anual de 945.3 mm y temperatura promedio de 11.5 °C (Inegi, 2017).



**Figura1.** Ubicación del área de estudio y localización de los sitios Permanentes de Investigación Forestal y de Suelos bajo el tratamiento silvícola de selección.

La vegetación de la región está compuesta por bosques mezclados de especies de *Pinus*, *Quercus*, *Juniperus*, *Arbutus* y *Alnus* (Luján-Soto *et al.*, 2015; Colín *et al.*, 2018).

## Obtención de información dasométrica

Los datos provienen de 12 Sitios Permanentes de Investigación Forestal y de Suelos (SPIFyS), los cuales se establecieron con base en Corral-Rivas *et al.* (2009 y 2013): tres en 2007 y nueve en 2008 (primer inventario), y fueron remedidos 10 años después (segundo inventario) en los años 2017 y 2018, respectivamente. Los sitios evaluados tienen evidencia de manejo forestal mediante el Método de Selección, cuya intervención silvícola se realizó en diferentes anualidades: en cuatro sitios el tratamiento se aplicó un año después de su establecimiento, en un sitio a los tres años, en otro a los seis, en uno más a los siete, y en los tres restantes a los cinco años posteriores a su establecimiento.

Para cada sitio, se registró la siguiente información dasométrica: número de árboles, especie, diámetro normal (>7.5 cm), el cual se midió con cinta diamétrica 122450 *Ben Meadows*<sup>®</sup>, altura total (m), obtenida mediante un clinómetro *Suunto*<sup>®</sup> Pm5/360pc, azimut y distancia de cada uno de los individuos al centro del sitio, cuya superficie fue de 50 x 50 m (2 500 m<sup>2</sup>).

## Diversidad

Para estimar la diversidad de especies se utilizó el índice de *Shannon-Wiener* ( $H'$ ) (Shannon, 1948):

$$H' = -\sum p_i (\ln p_i) \quad (1)$$

Donde:

$p_i$  = Proporción de los individuos de la especie  $i$ , se obtiene mediante la relación  $(n_i/N)$

$n_i$  = Número de individuos de la especie  $i$

$N$  = Número total de individuos

$\ln$  = Logaritmo natural

Para determinar si existían diferencias significativas en la diversidad de especies entre los periodos de evaluación (primer y segundo inventario), se realizó una prueba de  $t$  de *Student* modificada por *Hutcheson* (Magurran, 1988), dada por la Ecuación 2 y con los grados de libertad ( $gl$ ) estimados mediante la Ecuación 3 (Hutcheson, 1970). Diversos autores utilizan esta prueba para comparaciones entre periodos de evaluación de bosques templados bajo manejo (Moreno, 2001; Solís-Moreno *et al.*, 2006; Corral-Rivas *et al.*, 2005; Alanís-Rodríguez *et al.*, 2010).

$$\hat{t} = \frac{H'_1 - H'_2}{\sqrt{\frac{VarH'_1 + VarH'_2}{2}}} \quad (2)$$

$$gl = \frac{(VarH'_1 + VarH'_2)^2}{\left[\frac{(VarH'_1)^2}{N_1}\right] + \left[\frac{(VarH'_2)^2}{N_2}\right]} \quad (3)$$

Donde:

$H'_1$  = Índice de *Shannon-Wiener* del primer inventario

$H'_2$  = Índice de *Shannon-Wiener* del segundo inventario

$VarH'_1$  = Varianza obtenida en el primer inventario

$VarH'_2$  = Varianza obtenida en el segundo inventario

$N_1$  = Número total de individuos en el primer inventario

$N_2$  = Número total de individuos en el segundo inventario

La estimación de las varianzas del primer y segundo inventario respectivamente, se llevó a cabo con la ecuación 4.

$$VarH'_{(1;2)} = \frac{\sum p_i (\ln p_i)^2 - (\sum p_i \ln p_i)^2}{N} - \frac{S-1}{2N^2} \quad (4)$$

Donde:

$p_i$  = Proporción de los individuos de la especie  $i$ , se obtiene mediante la relación  $(n_i/N)$

$n_i$  = Número de individuos de la especie  $i$

$N$  = Número total de individuos

$\ln$  = Logaritmo natural

$S$  = Número de especies

## Indicadores ecológicos

Para cada especie arbórea se determinaron los valores relativos de abundancia ( $AR$ ), de acuerdo con el número de árboles; dominancia ( $DR$ ), en función del área basal; frecuencia ( $FR$ ), con base en la presencia de las especies en los sitios. También se estimó el Índice de Valor de Importancia ( $IVI$ ) con el promedio de los

indicadores ecológicos previos en valores porcentuales de 0 a 100 para cada periodo de evaluación (Magurran, 2004; Alanís-Rodríguez *et al.*, 2020).

El análisis estadístico de los indicadores ecológicos (abundancia y dominancia) se hizo con la distribución normal de la densidad y del área basal en cada periodo de medición. Se utilizó una prueba de comparación de medias *t* de *Student* para muestras dependientes, o en su defecto, la prueba no paramétrica de Rangos de *Wilcoxon* que compara el rango medio de dos muestras relacionadas y determina si existen diferencias entre ellas (Quispe-Andía *et al.*, 2019).

## **Composición de la estructura**

La estructura de los sitios se caracterizó mediante tres metodologías: mezcla de especies, distribución espacial y diferencia de tamaños. El fundamento para el cálculo de estos índices consistió en utilizar como unidad de muestreo al grupo estructural, correspondiente a un conjunto de cinco árboles, de los cuales uno sirve de referencia e incluye los cuatro árboles vecinos más cercanos con los que convive (Pommerening, 2002; Kint *et al.*, 2003; Castellanos-Bolaños *et al.*, 2008 y 2010).

El grado de mezcla de las especies arbóreas se describió en función del índice de Mezcla de *Gadow* (*Mi*) que evalúa la diversidad de especies de la vecindad de un árbol de referencia *i*, se define como la proporción de los *n* vecinos que no pertenecen a la misma especie. Su valor varía entre 0 y 1; valores cercanos a cero indican que los taxones analizados tienden a agruparse y que no se mezclan con el resto; por el contrario, valores cercanos a uno señalan una preferencia a mezclarse entre ellos.



Para cuantificar la distribución espacial del arbolado, se utilizó el Índice de Uniformidad de Ángulos ( $Wi$ ), el cual se basa en la medición de ángulos entre dos árboles vecinos al árbol de referencia  $i$  y su comparación con el ángulo estándar  $\alpha$ ; de tal manera que si se consideran cuatro vecinos al árbol de referencia,  $Wi$  puede tomar valores de 0 hasta 1, donde un valor cercano a cero representa condiciones de regularidad, valores cercanos a 0.5 implican una tendencia a la aleatoriedad, y aquellos cercanos a uno significan condiciones de agrupamiento de especies.

En el presente estudio se utilizó un ángulo estándar de  $72^\circ$  para la estimación de  $Wi$ , debido a que en las simulaciones de Gadow y Hui (2002) se definió a este valor como el ángulo estándar óptimo, con un promedio de  $Wi = 0.5$  para una distribución aleatoria.

La variación existente entre el tamaño de los árboles se cuantificó con el Índice de Dominancia ( $Ui$ ) (Aguirre-Calderón *et al.*, 2003), el cual se define con la proporción de los cuatro vecinos que son diferentes en diámetro al árbol de referencia. Al igual que el resto de los índices de estructura empleados, los valores varían de 0 a 1:  $Ui = 0$ , si los cuatro vecinos son más grandes que el árbol de referencia  $i$  (suprimido);  $Ui = 0.25$ , si tres de los vecinos son más grandes que el árbol de referencia  $i$  (intermedio);  $Ui = 0.50$ , si dos de los vecinos son más grandes que el árbol de referencia  $i$  (codominante);  $Ui = 0.75$ , si uno de los vecinos es más grande que el árbol de referencia  $i$  (dominante); y  $Ui = 1$ , si ninguno de los vecinos es más grande que el árbol de referencia  $i$  (muy dominante). Los cinco valores de  $Ui$  corresponden con las clases sociales desarrolladas por Kraft (1884). En el Cuadro 1 se presentan las fórmulas de los índices de estructura utilizados.

**Cuadro 1.** Índices de estructura utilizados en ambos periodos de medición para el análisis de las parcelas bajo manejo en los bosques templados de Durango, México.

Índice	Fórmula	Significado
--------	---------	-------------

---

Mezcla de <i>Gadow</i>	$M_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 m_j$	$m_j = 0$ cuando el árbol vecino $j$ pertenece a la misma especie que $i$ ; 1 en caso contrario.
Uniformidad de ángulos	$W_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 w_j$	$w_j = 1$ cuando el ángulo $\alpha$ es más pequeño que $72^\circ$ ; 0 en caso contrario.
Dominancia	$U_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 u_j$	$u_j = 1$ cuando el árbol es más pequeño en diámetro que el árbol de referencia $i$ , 0 en caso contrario.

---

El análisis estadístico de los índices de estructura se realizó mediante una prueba de comparación de medias *t* de *Student* con el promedio de los valores obtenidos en cada periodo de evaluación (primer y segundo inventario) (Silva-González *et al.*, 2021). Una vez obtenida la normalidad de los datos para cada índice, se utilizó una comparación para determinar si existen diferencias significativas entre periodos de evaluación, con un nivel de confianza de 95 %. Los procedimientos estadísticos se efectuaron con el paquete estadístico *IBM SPSS Statistics 25 (Statistical Package for the Social Sciences)*.

### **Eliminación del efecto de borde**

La estimación de los índices de estructura se hizo con el programa estadístico *SAS* (Statistical Analysis System Institute, 2009). El cálculo de los índices analizados en este trabajo siempre estará sesgado a aquellos árboles cercanos a los bordes de

los sitios, la razón es que esos individuos son problemáticos, porque sus vecinos potenciales pueden ubicarse fuera del área de interés. Para eliminar el efecto de borde y obtener información insesgada de las variables estructurales, se implementó el Método de corrección de borde del  $n$  vecino más cercano (en inglés: *nearest neighbour edge correction method*) propuesto por Pommerening y Stoyan (2006). A través de la reducción del número de árboles de referencia y con la evaluación de si todos los  $n$  vecinos más cercanos al árbol  $i$  se localizan dentro de los sitios de observación, se eliminaron los individuos que se encuentran muy cerca a los bordes del sitio de investigación.

Los cuatro vecinos más cercanos a un árbol de referencia se enumeraron en orden ascendente según su distancia, por lo que se ignoraron todos los árboles de referencia, cuya distancia media al cuarto árbol fue más grande que la distancia al borde más cercano.

## Resultados

Se registraron 23 especies arbóreas pertenecientes a seis familias y ocho géneros. La familia Pinaceae fue la mejor representada con nueve especies (Cuadro 2). En el primer inventario se obtuvo un total de 21 taxones, y no hubo registros de *Pseudotsuga menziesii* var. *glauca* (Beissn.) Franco ni de *Prunus serotina* Ehrh.; en cambio, en la remediación se identificaron 20 especies, con la ausencia de *Abies durangensis* Martínez, *Juniperus durangensis* Martínez y *Pinus engelmannii* Carrière.

**Cuadro 2.** Especies registradas en ambos inventarios de las parcelas bajo manejo pertenecientes a los 12 SPFyS estudiados en Durango.

<b>Familia</b>	<b>Nombre Científico</b>	<b>Nombre común</b>
Pinaceae	<i>Abies durangensis</i> Martínez	Pino Mexicano
Betulaceae	<i>Alnus firmifolia</i> Fernald	Aliso
Betulaceae	<i>Alnus jorullensis</i> Kunth	Aliso
Ericaceae	<i>Arbutus arizonica</i> (A. Gray) Sarg.	Madroño liso
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>Arbutus xalapensis</i> Kunth	Madroño
Cupressaceae	<i>Juniperus deppeana</i> Steud.	Táscate
Cupressaceae	<i>Juniperus durangensis</i> Martínez	Táscate
Pinaceae	<i>Pinus cooperi</i> C. E. Blanco	Pino chino
Pinaceae	<i>Pinus durangensis</i> Martínez	Ocote
Pinaceae	<i>Pinus engelmannii</i> Carrière	Pino real
Pinaceae	<i>Pinus herrerae</i> Martínez	Ocote
Pinaceae	<i>Pinus leiophylla</i> Schiede ex Schldl. & Cham.	Pino prieto
Pinaceae	<i>Pinus strobiformis</i> Engelm.	Pino blanco
Pinaceae	<i>Pinus teocote</i> Schied. ex Schldl. & Cham.	Pino colorado
Rosaceae	<i>Prunus serotina</i> Ehrh.	Capulín
Pinaceae	<i>Pseudotsuga menziesii</i> var. <i>glauca</i> (Beissn.) Franco	Pinabete
Fagaceae	<i>Quercus crassifolia</i> Bonpl.	Encino prieto
Fagaceae	<i>Quercus obtusata</i> Bonpl.	Encino roble
Fagaceae	<i>Quercus rugosa</i> Née	Encino blanco
Fagaceae	<i>Quercus sideroxyla</i> Bonpl.	Encino colorado

## Diversidad

De acuerdo a los resultados del Índice de *Shannon-Wiener* en el primer y segundo inventario ( $H'_1 = 1.86$  y  $H'_2 = 1.94$ , respectivamente), no se presentaron diferencias estadísticas significativas al aplicar la prueba *t* de *Hutcheson*  $\alpha = 5\%$  ( $t = 0.026$ ).

### Indicadores ecológicos

La densidad total de individuos mostró un incremento de 9.67 árboles  $ha^{-1}$ , pero sin diferencias significativas ( $p = 0.268$ ). El género más abundante fue *Pinus* con 381.33 árboles  $ha^{-1}$ , lo que representó 68.14 % de abundancia relativa (*AR*) en el primer inventario; valor que decreció para el segundo muestreo a 355.33 árboles  $ha^{-1}$  y 62.41 % de *AR*. *Quercus* spp. presentó un incremento de 20 árboles  $ha^{-1}$ , que correspondió a 3.17 % de *AR*; *Arbutus* incrementó 4.67 árboles  $ha^{-1}$  (0.75 % de *AR*); *Juniperus* y *Alnus* aumentaron su densidad con 2.33 y 8 árboles  $ha^{-1}$ , y que respectivamente correspondieron a 0.34 y 1.34 % de *AR* (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Indicadores ecológicos de las especies arbóreas registradas en el primer y segundo inventario de las parcelas bajo manejo pertenecientes a los SPFYs en Durango.

Especie	Abundancia		Dominancia		Frecuencia		IVI (%)
	Árboles $ha^{-1}$	AR (%)	AB ( $m^2 ha^{-1}$ )	DR (%)	Fabs	FR (%)	
Primer inventario							
<i>Pinus durangensis</i> Martínez	258.00	46.10	13.09	51.18	12.00	13.48	36.92
<i>Quercus sideroxylla</i> Bonpl.	102.00	18.23	4.79	18.72	12.00	13.48	16.81
<i>Pinus cooperi</i> C. E. Blanco	56.33	10.07	2.70	10.57	9.00	10.11	10.25

<i>Pinus strobiformis</i> Engelm.	26.00	4.65	0.83	3.25	8.00	8.99	5.63
<i>Juniperus deppeana</i> Steud.	21.33	3.81	0.47	1.84	7.00	7.87	4.51
<i>Pinus teocote</i> Schiede ex Schltdl. & Cham.	20.67	3.69	0.47	1.84	8.00	8.99	4.84
<i>Alnus firmifolia</i> Fernald	15.00	2.68	0.21	0.81	2.00	2.25	1.91
<i>Arbutus bicolor</i> S. González, M. González & P. D. Sørensen	12.00	2.14	0.33	1.30	5.00	5.62	3.02
<i>Pinus herrerae</i> Martínez	10.00	1.79	0.64	2.52	1.00	1.12	1.81
<i>Pinus leiophylla</i> Schiede ex Schltdl. & Cham.	10.00	1.79	0.66	2.59	3.00	3.37	2.58
<i>Quercus crassifolia</i> Bonpl.	9.00	1.61	0.81	3.17	3.00	3.37	2.72
<i>Arbutus madrensis</i> S. González	6.33	1.13	0.13	0.52	5.00	5.62	2.42
<i>Alnus jorullensis</i> Kunth	5.00	0.89	0.08	0.30	4.00	4.49	1.90
<i>Quercus obtusata</i> Bonpl.	2.00	0.36	0.15	0.59	2.00	2.25	1.06
<i>Arbutus arizonica</i> (A. Gray) Sarg.	1.67	0.30	0.12	0.46	1.00	1.12	0.63
<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth	1.67	0.30	0.04	0.17	2.00	2.25	0.90
<i>Arbutus tessellata</i> P. D. Sørensen	1.00	0.18	0.01	0.04	1.00	1.12	0.45
<i>Quercus rugosa</i> Née	0.67	0.12	0.01	0.05	1.00	1.12	0.43
<i>Abies durangensis</i> Martínez	0.33	0.06	0.02	0.07	1.00	1.12	0.42
<i>Juniperus durangensis</i> Martínez	0.33	0.06	0.01	0.01	1.00	1.12	0.40
<i>Pinus engelmannii</i> Carrière	0.33	0.06	0.01	0.02	1.00	1.12	0.40
Total	559.67	100	25.58	100	89	100	100

Segundo inventario

<i>Pinus durangensis</i> Martínez	235.33	41.33	12.82	47.43	12.0 0	12.1 2	33.6 6
<i>Quercus sideroxylla</i> Bonpl.	121.33	21.31	5.59	20.70	12.0 0	12.1 2	18.0 4
<i>Pinus cooperi</i> C. E. Blanco	46.67	8.20	2.59	9.57	9.00	9.09	8.95
<i>Pinus strobiformis</i> Engelm.	28.67	5.04	1.01	3.73	7.00	7.07	5.28
<i>Pinus teocote</i> Schiede. ex Schltdl. & Cham.	28.00	4.92	0.72	2.66	8.00	8.08	5.22
<i>Juniperus deppeana</i> Steud.	24.00	4.22	0.61	2.27	8.00	8.08	4.85
<i>Alnus firmifolia</i> Fernald	22.33	3.92	0.36	1.33	4.00	4.04	3.1
<i>Arbutus bicolor</i> S. González, M. González & P. D. Sørensen	14.67	2.58	0.42	1.55	5.00	5.05	3.06
<i>Quercus crassifolia</i> Bonpl.	9.33	1.64	0.98	3.62	4.00	4.04	3.1
<i>Pinus leiophylla</i> Schiede ex Schltdl. & Cham.	9.00	1.58	0.65	2.39	2.00	2.02	2.00
<i>Pinus herrerae</i> Martínez	7.67	1.35	0.56	2.07	2.00	2.02	1.81
<i>Arbutus madrensis</i> S. González	7.67	1.35	0.19	0.69	6.00	6.06	2.70

<i>Alnus jorullensis</i> Kunth	5.67	1.00	0.13	0.47	4.00	4.04	1.84
<i>Arbutus tessellata</i> P. D. Sørensen	2.33	0.41	0.02	0.09	4.00	4.04	1.51
<i>Quercus obtusata</i> Bonpl.	2.00	0.35	0.19	0.71	2.00	2.02	1.03
<i>Arbutus arizonica</i> (A. Gray) Sarg.	1.33	0.23	0.11	0.41	2.00	2.02	0.89
<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth	1.33	0.23	0.06	0.21	3.00	3.03	1.16
<i>Quercus rugosa</i> Née	1.00	0.18	0.02	0.06	2.00	2.02	0.75
<i>Pseudotsuga menziesii</i> var. <i>glauca</i> (Beissn.) Franco	0.67	0.12	0.01	0.02	1.00	1.01	0.38
<i>Prunus serotina</i> Ehrh.	0.33	0.06	0.01	0.01	1.00	1.01	0.36
Total	569.33	100	27.02	100	98	100	100

*AR* = Abundancia relativa; *AB* = Área basal; *DR* = Dominancia relativa; *Fabs* = Frecuencia absoluta; *FR* = Frecuencia relativa; *IVI* = Índice de valor de importancia.

La dominancia representada con el área basal (*AB*) evidenció un incremento de 1.44 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>, sin diferencias estadísticas significativas ( $p = 0.73$ ) entre periodos de evaluación. A nivel de género, *Pinus* presentó los valores más altos de área basal, 18.41 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> en el primer muestreo y 18.34 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> en el segundo, con un decremento de 0.08 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> que corresponde a -4.11 % de dominancia relativa (*DR*); *Quercus* aumentó 1.02 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> (2.56 % de *DR*); *Arbutus* y *Juniperus* registraron un incremento de 0.17 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> y 0.14 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>, con una *DR* de 0.48 % y 0.42 %, respectivamente.

*Pinus durangensis* Martínez y *Quercus sideroxyla* Bonpl. estuvieron presentes en todos los sitios en ambos inventarios, y sus frecuencias relativas (*FR*) más altas correspondieron a 13.48 % en el primer inventario y 12.12 % en el segundo. *Abies durangensis*, *Juniperus durangensis* y *Pinus engelmannii* se registraron en el primer inventario, con 1.12 % de *FR* para cada una, pero fueron desplazadas en la siguiente medición; en contraste, para el segundo inventario se incorporaron *Pseudotsuga menziesii* y *Prunus serotina*, que representaron 1.01 % de *FR*. De manera general, *Pinus* presentó un decremento en su frecuencia relativa de 6.79 %, *Quercus* de 0.02 % y *Juniperus* de 0.91 %; los géneros *Arbutus* y *Alnus*

aumentaron sus valores de *FR* en 4.47 y 1.34 %, respectivamente. Este comportamiento se debe al tratamiento silvícola aplicado, el cual está dirigido específicamente a taxones de *Pinus*.

El *IVI* más alto en ambas mediciones correspondió a *P. durangensis*, seguido de *Q. sideroxylla* y *Pinus cooperi* C. E. Blanco. *Pinus* presentó un *IVI* de 62.43 % en el primer inventario, el cual fue menor al *IVI* del segundo (56.89 %), con un decremento de 5.54 %; el *IVI* del género *Juniperus* disminuyó 0.5 %; mientras que *Quercus* y *Arbutus* registraron un incremento de 1.6 %, y *Alnus* de 1.12 % (Cuadro 3).

## Composición de la estructura

En el Cuadro 4 se resume el número de individuos registrados en los dos inventarios por sitio, además de los valores para cada uno de los índices utilizados (mezcla de especies, uniformidad de ángulos y dominancia) y el promedio para cada uno de ellos. El sitio 6 presentó los valores más bajos de mezcla de especies en ambos muestreos ( $Mi_1 = 0.173$ ,  $Mi_2 = 0.311$ ); por el contrario, en los sitios 4 y 11 se registraron los valores más altos. La prueba estadística *t* de *Student* realizada para comparar las medias entre periodos de evaluación evidenció la inexistencia de diferencias significativas, lo cual indicó que el Método de selección aplicado en los sitios no modificó la mezcla de especies existentes ( $p = 0.081$ ).

**Cuadro 4.** Número de individuos registrados y valores de los índices estructurales en ambos periodos de evaluación para los 12 SPFyS evaluados en Durango.



<b>Sitio</b>	<b>N<sub>1</sub></b>	<b>N<sub>2</sub></b>	<b>Mi<sub>1</sub></b>	<b>Mi<sub>2</sub></b>	<b>Wi<sub>1</sub></b>	<b>Wi<sub>2</sub></b>	<b>Ui<sub>1</sub></b>	<b>Ui<sub>2</sub></b>
1	159	191	0.563	0.543	0.541	0.546	0.484	0.525
2	249	234	0.536	0.529	0.535	0.510	0.513	0.517
3	57	65	0.547	0.652	0.537	0.524	0.499	0.513
4	170	185	0.724	0.706	0.524	0.526	0.514	0.505
5	79	74	0.597	0.587	0.527	0.553	0.534	0.566
6	74	69	0.173	0.311	0.518	0.519	0.503	0.500
7	191	164	0.627	0.628	0.524	0.528	0.514	0.516
8	143	140	0.334	0.327	0.551	0.555	0.521	0.522
9	199	151	0.524	0.567	0.522	0.514	0.505	0.513
10	158	223	0.676	0.700	0.546	0.535	0.493	0.523
11	108	105	0.712	0.724	0.559	0.548	0.531	0.532
12	92	104	0.453	0.561	0.490	0.518	0.534	0.526
		Media	0.539	0.570	0.531	0.531	0.512	0.521

$N_1$  = Número de individuos en el primer inventario;  $N_2$  = Número de individuos en el segundo inventario;  $Mi$  = Índice de mezcla de especies;  $Wi$  = Índice de distribución espacial;  $Ui$  = Índice de dominancia.

El análisis de distribución espacial mostró diversos cambios entre pares de sitios; sin embargo, no hay diferencias estadísticas significativas ( $p = 0.971$ ), por lo que la distribución de especies se mantuvo. La mayoría de las parcelas tuvo una distribución aleatoria con tendencia a la formación de grupos. Gadow y Hui (2002) señalan que valores menores a 0.475 sugieren una distribución regular y los superiores a 0.517 una distribución aleatoria con tendencia a la formación de grupos, lo que coincide con lo observado para la mayoría de los sitios del presente estudio, así como para el promedio por periodos de evaluación ( $Wi = 0.531$ ).

El índice de dominancia no reflejó cambios en las dimensiones de los diámetros del arbolado, de acuerdo a los valores de  $p = 0.073$ , sin diferencias significativas entre periodos de evaluación; los promedios obtenidos  $Ui_1 = 0.512$  y  $Ui_2 = 0.521$ , para el

primer y segundo inventario, respectivamente, indican que los sitios tienen arbolado de distintas dimensiones, por lo que cualquier árbol seleccionado puede tener dos vecinos con diámetro mayor y dos con diámetro menor, característica de los bosques irregulares bajo manejo del estado de Durango (Soto-Cervantes *et al.*, 2021).

## **Discusión**

### **Diversidad**

Los valores promedios registrados de acuerdo al índice de *Shannon-Wiener* ( $H'_1 = 1.86$  y  $H'_2 = 1.94$ ) son mayores a los citados por Hernández-Salas *et al.* (2013), en un bosque templado frío con prácticas silvícolas mediante el Método de selección en el ejido El Largo y Anexos, municipio Madera, Chihuahua, México, en tres evaluaciones realizadas en los años 1986 ( $H'_1 = 0.400$ ), 1996 ( $H'_2 = 0.401$ ) y 2006 ( $H'_3 = 0.347$ ); y lo documentado por Solís-Moreno *et al.* (2006) para un bosque templado en Tepehuanes, Durango, quienes consignan un valor de  $H' = 1.21$ . Lo mismo ocurre con otros estudios similares; así Ramírez-Santiago *et al.* (2019) obtuvieron un valor de  $H' = 1.25$ , cuando se aplicó el Método de selección en grupos en un bosque templado de la Sierra de Oaxaca; Vásquez-Cortez *et al.* (2018) registraron un  $H' = 1.14$  para un área intervenida con matarrasa en Ixtlán de Juárez, Oaxaca; Návar-Cháidez y González-Elizondo (2009) citan un  $H' = 0.55$  en un área con remoción de 100 % del área basal, intervenida 15 años antes de la evaluación del arbolado, en el municipio San Dimas, Durango.

La diferencia de los valores del índice de *Shannon-Wiener* obtenidos en este estudio con respecto a los resultados de diversos autores, se debe a una mayor diversidad de especies registradas y a las proporciones de cada una de ellas.

La prueba *t* de *Hutcheson* reveló que estadísticamente no existen cambios significativos en la diversidad de especies entre periodos de evaluación, lo cual indica que a pesar de la aplicación del Método de selección no ocurren grandes modificaciones. Esto difiere con los registros de Hernández-Salas *et al.* (2013), quienes señalan que la diversidad arbórea registrada en 2006 es diferente a la determinada 10 y 20 años antes, con una mayor diversidad en los años 1986 y 1996; lo anterior responde al número de árboles  $\text{ha}^{-1}$  y a la *AR* de cada especie en los periodos de evaluación; en los SPFYs evaluados en Durango, se obtuvo una diferencia de diez individuos en el periodo de diez años, mientras que Hernández-Salas *et al.* (2013) registraron valores más altos.

## Indicadores ecológicos

La densidad total de individuos no presentó cambios significativos en el periodo de 10 años, se registró un incremento de 9 árboles  $\text{ha}^{-1}$ ; Hernández-Salas *et al.* (2013) citan una reducción de individuos, 179.35 árboles  $\text{ha}^{-1}$  de 1996 a 2006 y 45 árboles  $\text{ha}^{-1}$  de 1986 a 1996, pero sin diferencias estadísticas significativas ( $F = 2.865$ ,  $gl = 2$ ,  $P = 0.060$ ).

El área basal total aumentó de 25.58 a 27.02  $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ ; Hernández-Salas *et al.* (2013) documentan incrementos de área basal de 4.12  $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$  del periodo de 1986 a 1996, y un decremento de 1.54  $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$  en el periodo de 1996 a 2006; en ambos

estudios, el género *Pinus* presentó los valores más altos de área basal (*AB*) y dominancia relativa (*DR*).

En la presente investigación, *P. durangensis* tuvo los valores más altos en *DR*: 51.18 % y 47.43 % para la primera y segunda medición, respectivamente; mientras que Hernández-Salas *et al.* (2013) registraron a *P. arizonica* Engelm. con valores de 67.02 %, 68.36 % y 68.61 % de *DR* en sus tres evaluaciones.

El género *Quercus* aumentó sus valores de *DR* de 22.52 % a 25.05 %; esto se debe a que en el tratamiento de selección los individuos de *Pinus* se aprovechan, principalmente, por ser los de mayor valor comercial; Hernández-Salas *et al.* (2013) consignaron una reducción de la *DR* en *Quercus* spp. de 15.1 % en 1986 a 5.4 % en 2006, la cual se explica por las intervenciones silvícolas aplicadas que favorecen el desarrollo de otros géneros, en particular *Pinus* por ser el género dominante en la región. Ramírez-Santiago *et al.* (2019) registraron un incremento en el *AB* de 5.95 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> para un área intervenida mediante el Método de selección en grupos durante un periodo de evaluación de 5 años; además de un decremento de 4.43 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> en un área intervenida con el Método de árboles padre en el mismo lapso.

La especie ecológica más importante fue *P. durangensis*, con un *IVI* de 33.66 % después de la intervención silvícola; esta especie ha sido señalada como la de mayor valor ecológico por Hernández-Salas *et al.* (2013) y Graciano-Ávila *et al.* (2017). A nivel de género, *Pinus* presentó un *IVI* de 56.89 %, valor menor a los documentados por Alanís-Rodríguez *et al.* (2011), Hernández-Salas *et al.* (2013) y López-Hernández *et al.* (2017), quienes citan valores superiores a 80 % en bosques de Nuevo León, Chihuahua y Puebla, respectivamente. Rendón-Pérez *et al.* (2021), en un análisis de tres asociaciones arbóreas dominadas por *Pinus montezumae* Lamb., *Pinus pseudostrobus* Lindl. y *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham., operadas bajo el Método de Desarrollo Silvícola obtuvieron los siguientes valores de *IVI*: 67.5, 45.8 y 62.2 %, respectivamente.

## Composición de la estructura

El valor promedio de  $Mi$  después de la intervención silvícola fue de 0.57, lo cual indica que, con mayor frecuencia, de cada cuatro vecinos al árbol de referencia, dos son de la misma especie y dos difieren. Castellanos-Bolaños *et al.* (2008) señalan un  $Mi = 0.69$  para una condición de fustal viejo en Ixtlán de Juárez en Oaxaca; es decir, en promedio de los cuatro vecinos más cercanos al árbol de referencia, tres pertenecen a diferente especie; Castellanos-Bolaños *et al.* (2010) obtuvieron un  $Mi = 0.346$  para un promedio de cinco sitios circulares de 500 m<sup>2</sup>, en una comunidad de *Pinus rudis* Endl. Lo anterior indica que la mayoría de los árboles tienen uno o dos vecinos de diferente especie. En el estudio que aquí se documenta, el sitio seis presentó un valor similar ( $Mi = 0.311$ ), y se asume que hay una clara dominancia de *P. durangensis*.

Solís-Moreno *et al.* (2006) registraron valores de  $Mi = 0.30$  y  $Mi = 0.44$  para parcelas intervenidas mediante aclareos y cortas selectivas, respectivamente; valores menores al promedio obtenido en este estudio:  $Mi = 0.539$  en el primer inventario y  $Mi = 0.57$  en el segundo inventario. La abundancia de especies es más heterogénea en sitios con tratamiento de aclareos, ya que favorecen el crecimiento de especies de mayor valor comercial (Solís-Moreno *et al.*, 2006). Silva-González *et al.* (2021) citan valores promedios de  $Mi = 0.51$  para 10 sitios evaluados en un periodo de 5 años bajo manejo de aclareos en la Sierra de Durango.

De acuerdo con los valores promedios de  $Wi = 0.531$  en ambas mediciones, la distribución espacial en los SPFyS estudiados resultó ser aleatoria, pero con tendencia a la formación de grupos; Solís-Moreno *et al.* (2006) citan una distribución espacial en agregados con valores de  $Wi = 0.57$ ; Castellanos-Bolaños *et al.* (2008) documentan una distribución aleatoria ( $Wi = 0.54$ ) en una parcela con condición fustal

medio. Aguirre-Calderón *et al.* (2003) registran distribuciones aleatorias ( $W_i = 0.50$ ,  $0.52$  y  $0.5$ ) en tres parcelas excluidas de manejo forestal para bosques de coníferas en Durango; Pommerening (2002) consigna una distribución aleatoria ( $W_i = 0.57$ ) para plantaciones adultas dominadas por *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. y *Fagus sylvatica* L. en el estado federal alemán de *Renania-Palatinado*. Distribuciones al azar son más comunes en áreas sin manejo intensivo (Aguirre-Calderón *et al.*, 2003; Corral-Rivas *et al.*, 2005; Solís-Moreno *et al.*, 2006); mientras que las distribuciones regulares con frecuencia son producto de tratamientos como aclareos, ya que su objetivo es eliminar la competencia y proporcionar el mismo espacio de crecimiento a las especies restantes. Esto no ocurrió en la presente investigación, porque se extrajeron individuos que dejan espacio al renuevo, por lo que la estructura espacial tiende a ser ocupada por nuevos individuos.

El índice de dominancia presentó valores promedios cercanos a 0.5, lo que indica que la vegetación es heterogénea, y dos de los árboles más cercanos al árbol de referencia son más grandes y dos más pequeños; estos valores son característicos de bosques manejados mediante métodos de selección, en los que se pueden encontrar individuos de distintas categorías diamétricas. Solís-Moreno *et al.* (2006) registran valores de  $U_i = 0.44$  en una parcela intervenida mediante el Método de selección; Castellanos-Bolaños *et al.* (2008) señalan para latizal valores de  $U_i = 0.52$ ; fustal joven, de  $0.56$ ; fustal medio,  $0.70$ ; y fustal viejo de  $0.83$ . Esto se debe a que conforme la masa arbórea se desarrolla, también lo hace la dominancia de alguna especie, hasta que la condición de fustal viejo es el taxón dominante, y tres de sus vecinos más cercanos son más delgados que el árbol de referencia.

## Conclusiones

Con el método de Manejo de Selección, la comunidad forestal evaluada no presenta cambios estadísticamente significativos en los índices de diversidad y estructura en un periodo de inventario de 10 años; tampoco hay pérdidas importantes o cambios en la vegetación analizada. El aprovechamiento forestal a través del Método de Selección mantiene la diversidad y mezcla de especies arbóreas. El arreglo espacial definido como aleatorio con tendencia a la formación de grupos y la diferencia de tamaños en el diámetro de los árboles se conserva. Por lo tanto, el tratamiento silvícola forestal aplicado mantiene los atributos del bosque.

Es importante la realización continua de evaluaciones, monitoreo del bosque y el análisis del impacto que genera el manejo forestal para obtener información sobre los resultados de las actividades silvícolas en el mediano y largo plazo, ya que, en general, los estudios sobre el efecto del manejo forestal en los ecosistemas se llevan a cabo en periodos cortos, sin tener evidencia de sus efectos en lapsos más prolongados.

### **Agradecimientos**

Se agradece a Conacyt por el apoyo financiero otorgado al primer autor (Edgar Silva-González) para estudiar en el programa de Doctorado en la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

### **Conflicto de intereses**

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

### **Contribución por autor**

Oscar Alberto Aguirre-Calderón: revisión del manuscrito y corrección del análisis de datos; Edgar Silva-González: elaboración del manuscrito; Eduardo Alanís-Rodríguez: redacción y revisión del manuscrito, coordinación de análisis de datos; Eduardo Javier Treviño-Garza y José Javier Corral-Rivas: revisión del manuscrito, análisis de datos y revisión de la bibliografía.

## Referencias

Aguirre-Calderón, O. A., G. Hui, K. V. Gadow and J. Jiménez-Pérez. 2003. An analysis of spatial forest structure using neighbourhood-based variables. *Forest Ecology and Management* 183(1):137-145. Doi: [10.1016/S0378-1127\(03\)00102-6](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(03)00102-6).

Aguirre-Calderón, O. A., J. J. Corral-Rivas, B. Vargas-Larreta y J. Jiménez-Pérez. 2008. Evaluación de modelos de diversidad-abundancia del estrato arbóreo en un bosque de niebla. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31(3):281-289. Doi: [10.35196/rfm.2008.3.281](https://doi.org/10.35196/rfm.2008.3.281).

Alanís-Rodríguez, E., A. Mora-Olivo y J. S. Marroquín-de la Fuente. 2020. Muestreo ecológico de la vegetación. Editorial Universitaria de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, N. L., México. 259 p.

Alanís-Rodríguez, E., J. Jiménez-Pérez, A. Valdecantos-Dema, M. Pando-Moreno, O. A. Aguirre-Calderón y E. J. Treviño-Garza. 2011. Caracterización de la regeneración leñosa post-incendio de un ecosistema templado del parque ecológico Chipinque, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17(1):31-39. Doi: [10.5154/r.rchscfa.2010.05.032](https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.05.032).

Alanís-Rodríguez, E., J. Jiménez-Pérez, M. Pando-Moreno, O. A. Aguirre-Calderón, E. J. Treviño-Garza y P. C. García-Galindo. 2010. Efecto de la restauración ecológica



post-incendio en la diversidad arbórea del Parque Ecológico Chipinque, México. *Madera y Bosques* 16(4):39-54. Doi: [10.21829/myb.2010.1641159](https://doi.org/10.21829/myb.2010.1641159).

Ammer, C. 2019. Diversity and forest productivity in a changing climate. *New phytologist* 221(1), 50–66. Doi: [10.1111/nph.15263](https://doi.org/10.1111/nph.15263).

Castellanos-Bolaños, J. F., E. J. Treviño-Garza, O. A. Aguirre-Calderón, J. Jiménez-Pérez, M. Musalem-Santiago y R. López-Aguillón. 2008. Estructura de bosques de pino pátula bajo manejo en Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México. *Madera y Bosques* 14(2):51-63. Doi: [10.21829/myb.2008.1421212](https://doi.org/10.21829/myb.2008.1421212).

Castellanos-Bolaños, J. F., E. J. Treviño-Garza, O. A. Aguirre-Calderón, J. Jiménez-Pérez y A. Velázquez-Martínez. 2010. Diversidad arbórea y estructura espacial de bosques de pino-encino en Ixtlán de Juárez, Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 1(2):39-52. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63438955004> (24 de febrero de 2022).

Colín, J. G., O. A. Aguirre-Calderón, J. J. Corral-Rivas, E. Viveros-Guerrero, S. Corral-Rivas y F. Crecente-Campo. 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. Doi: [10.29298/rmcf.v9i45.145](https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i45.145).

Corral-Rivas, J. J., O. A. Aguirre-Calderón, J. Jiménez-Pérez and S. Corral-Rivas. 2005. An analysis of the forest utilization effect on the structural diversity in «El Cielo» cloud forest, Tamaulipas, Mexico. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 14(2):217-228. Doi: [10.5424/srf/2005142-00885](https://doi.org/10.5424/srf/2005142-00885).

Corral-Rivas, J. J., B. Vargas-Larreta, C. Wehenkel, O. A. Aguirre-Calderón, J. G. Álvarez-González y A. Rojo-Alboreca. 2009. Guía para el establecimiento de sitios de investigación forestal y de suelos en bosques del Estado de Durango. Ed. Universidad Juárez del Estado de Durango. Durango, Dgo., México. 60 p. <https://www.researchgate.net/publication/305640430> Guía para el establecimient

o de sitios de investigación forestal y de suelos en bosques del Estado de Durango (24 de febrero de 2022).

Corral-Rivas, J. J., B. Vargas-Larreta, C. Wehenkel, O. A. Aguirre-Calderón y F. Crecente-Campo. 2013. Guía para el establecimiento, seguimiento y evaluación de sitios permanentes de monitoreo en paisajes productivos forestales. Editorial Comisión Nacional Forestal (Conafor) y Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt). Durango, Dgo., México. 93 p. [http://forestales.ujed.mx/monafor/archivos/descargas/guias\\_manuales/Guia\\_para\\_el\\_Establecimiento\\_Seguimiento\\_y\\_Evaluaci%C3%B3n\\_de\\_Sitios\\_Permanetes\\_de\\_Monitoreo.pdf](http://forestales.ujed.mx/monafor/archivos/descargas/guias_manuales/Guia_para_el_Establecimiento_Seguimiento_y_Evaluaci%C3%B3n_de_Sitios_Permanetes_de_Monitoreo.pdf) (27 de octubre de 2020).

Del Río, M., F. Montes, I. Cañellas y G. Montero. 2003. Revisión: Índices de diversidad estructural en masas forestales. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 12(1):159–176. Doi: [10.5424/795](https://doi.org/10.5424/795).

Duguid, M. C. and M. S. Ashton. 2013. A meta-analysis of the effect of forest management for timber on understory plant species diversity in temperate forests. *Forest Ecology and Management* 303:81-90. Doi: [10.1016/j.foreco.2013.04.009](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.04.009).

Gadow, K. V. and G. Hui. 2002. Characterising forest spatial structure and diversity. In: Bjoerk, L. (Ed). *Proceedings IUFRO Int. workshop "Sustainable forestry in temperate regions"*. University of Lund. Lund, Sweden. Pp. 20-30.

Graciano-Ávila, G., E. Alanís-Rodríguez, O. A. Aguirre-Calderón, M. A. González-Tagle, E. J. Treviño-Garza y A. Mora-Olivo. 2017. Caracterización estructural del arbolado en un ejido forestal del noroeste de México. *Madera y Bosques* 23(3):137-146. Doi: [10.21829/myb.2017.2331480](https://doi.org/10.21829/myb.2017.2331480).

Hernández-Salas, J., O. A. Aguirre-Calderón, E. Alanís-Rodríguez, J. Jiménez-Pérez E. J. Treviño-Garza, M. A. González-Tagle, C. Luján-Álvarez, J. M. Olivas-García y L. A. Domínguez-Pereda. 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.

Hutcheson, K. 1970. A test for comparing diversities based on the Shannon formula. *Journal of Theoretical Biology*, 29(1):151-154. Doi: 10.1016/0022-5193(70)90124-4.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 2015. Carta topográfica. Escala 1:50,000 F13A18. El Salto, Durango, México. [https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/geografia/imagen\\_cartografica/1\\_50\\_000/889463824817\\_geo.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/geografia/imagen_cartografica/1_50_000/889463824817_geo.pdf).

(16 de abril del 2022).

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2017. Anuario estadístico y geográfico de Durango 2017. Aguascalientes, Aguascalientes, México. [https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva\\_estruc/anuarios\\_2017/702825092115.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2017/702825092115.pdf) (16 de Abril de 2022).

Kint, V., M. V. Meirvenne, L. Nachtergale, G. Geudens and N. Lust. 2003. Spatial methods for quantifying forest stand structure development: A comparison between nearest-neighbour indices and variogram analysis. *Forest Science* 49(1):36-49. Doi: [10.1093/forestscience/49.1.36](https://doi.org/10.1093/forestscience/49.1.36).

Kraft, G. 1884. Beiträge zur lehre von den durchforstungen, schlagstellungen und lichtungshieben. Verlag Keind-worth. Hannover, Alemania. 147 p.

López-Hernández, J. A., O. A. Aguirre-Calderón, E. Alanís-Rodríguez, J. C. Monárrez-González, M. A. González-Tagle y J. Jiménez-Pérez. 2017. Composición y diversidad de especies forestales en bosques templados de Puebla, México. *Madera y Bosques* 23(1):39-51. Doi: 10.21829/myb.2017.2311518.

Luján-Soto, J. E., J. J. Corral-Rivas, O. A. Aguirre-Calderón and K. Gadov. 2015. Grouping forest tree species on the Sierra Madre Occidental, Mexico. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung* 186(3-4):63-71. <https://www.researchgate.net/publication/275640880> (24 de febrero de 2022).

Magurran, A. E. 1988. Ecological diversity and its measurement. Editorial Princeton University Press. Princeton, New Jersey, EE.UU. 200 p.

Magurran, A. E. 2004. Measuring biological diversity. Editorial Blackwell Publishing. Oxford, United Kingdom. 261 p.  
<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=CxRSEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=Magurran,+A.+E.+2004.+Measuring+biological+diversity.+Blackwell+Publishing.+Oxford,+UK.+256+p.&ots=sNX4OTZsIP&sig=8f2EOqQjqwGiWNJAVbuXohgvVtg#v=onepage&q&f=false> (24 de Febrero de 2022).

Monárrez-González, J. C., M. S. González-Elizondo, M. A. Márquez-Linares, P. J. Gutiérrez-Yurrita and G. Pérez-Verdín. 2020. Effect of forest management on tree diversity in temperate ecosystem forests in northern Mexico. PLOS ONE 15(5):e0233292. Doi: 10.1371/journal.pone.0233292.

Moreno, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad (Vol. 1). Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CyTED), ORCYT/UNESCO y Sociedad Entomológica Aragonesa (SEA). Zaragoza, España. 87 p.  
[https://www.researchgate.net/publication/304346666\\_Metodos\\_para\\_medir\\_la\\_biodiversidad](https://www.researchgate.net/publication/304346666_Metodos_para_medir_la_biodiversidad) (04 de marzo de 2022).

Návar-Cháidez, J. J. y S. González-Elizondo. 2009. Diversidad, estructura y productividad de bosques templados de Durango, México. Polibotánica (27):71-87.  
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-27682009000100005&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-27682009000100005&lng=es&tlng=es). (02 de Marzo de 2022).

Pommerening, A. 2002. Approaches to quantifying forest structures. Forestry 75(3):305-324. Doi: 10.1093/forestry/75.3.305.

Pommerening, A. and D. Stoyan. 2006. Edge-correction needs in estimating indices of spatial forest structure. Canadian Journal of Forest Research 36(7):1723-1739. Doi: 10.1139/x06-060.

Quispe-Andía, A., K. M. Calla-Vasquez, J. S. Yangali-Vicente, J. L. Rodríguez-López e I. I. Pumacayo-Palomino. 2019. Estadística no paramétrica aplicada a la investigación científica con software SPSS, MINITAB Y EXCEL. Editorial EIDEC, Vol. 1. Colombia. 80 p. <https://www.editorialeidec.com/wp-content/uploads/2020/01/Estad%C3%ADstica-no-param%C3%A9trica-aplicada.pdf>. (01 de marzo de 2022).

Ramírez-Santiago, R., G. Ángeles-Pérez, P. Hernández-de La Rosa, V. M. Cetina-Alcalá, O. Plascencia-Escalante y R. Clark-Tapia. 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):e2531818. Doi: [10.21829/myb.2019.2531818](https://doi.org/10.21829/myb.2019.2531818).

Rendón-Pérez, M. A., P. Hernández-de la Rosa, A. Velázquez-Martínez, J. L. Alcántara-Carbajal y V. J. Reyes-Hernández. 2021. Composición, diversidad y estructura de un bosque manejado del centro de México. *Madera y Bosques* 27(1):e2712127. Doi: [10.21829/myb.2021.2712127](https://doi.org/10.21829/myb.2021.2712127).

Shannon, C. E. 1948. A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal* 27(3):379-423. Doi: [10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x](https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x).

Statistical Analysis System Institute (SAS). 2009. SAS/STAT® 9.1. User's Guide. SAS Institute Inc. Cary, N. C., USA. 5136 p.

Silva-González, E., O. A. Aguirre-Calderón, E. J. Treviño-Garza, E. Alanís-Rodríguez y J. J. Corral-Rivas. 2021. Efecto de tratamientos silvícolas en la diversidad y estructura forestal en bosques templados bajo manejo en Durango, México. *Madera y Bosques* 27(2):e2722082. Doi: [10.21829/myb.2021.2722082](https://doi.org/10.21829/myb.2021.2722082).

Solís-Moreno, R., O. A. Aguirre-Calderón, E. J. Treviño-Garza, J. Jiménez-Pérez, E. Jurado-Ybarra y J. J. Corral-Rivas. 2006. Efecto de dos tratamientos silvícolas en la estructura de ecosistemas forestales en Durango, México. *Madera y Bosques* 12(2): 49-64. Doi: [10.21829/myb.2006.1221242](https://doi.org/10.21829/myb.2006.1221242).

Soto-Cervantes, J. A., J. R. Padilla-Martínez, P. A. Domínguez-Calleros, A. Carrillo-Parra, R. Rodríguez-Laguna, M. Pompa-García, E. García-Montiel y J. J. Corral-Rivas. 2021. Efecto de cuatro tratamientos silvícolas en la producción maderable en un Bosque de Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 12(67):56-20. Doi: 10.29298/rmcf.v12i67.991.

Vásquez-Cortez, V. F., R. Clark-Tapia, F. Manzano-Méndez, G. González-Adame y V. Aguirre-Hidalgo. 2018. Estructura, composición y diversidad arbórea y arbustiva en tres condiciones de manejo forestal de Ixtlán de Juárez, Oaxaca. *Madera y Bosques* 24(3):e2431649. Doi: 10.21829/myb.2018.2431649.

Zeller, L., J. Liang and H. Pretzsch. 2018. Tree species richness enhances stand productivity while stand structure can have opposite effects, based on forest inventory data from Germany and the United States of America. *Forest Ecosystem* 5(4). Doi: 10.1186/s40663-017-0127-6.



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional)*, que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.