

# Does the severity of a forest fire modify the composition, diversity and structure of temperate forests in Jalisco?

## ¿La severidad de un incendio forestal modifica la composición, diversidad y estructura de los bosques templados de Jalisco?

Daniel A. Cadena-Zamudio<sup>1</sup>; José G. Flores-Garnica<sup>2</sup>; Mónica E. Lomelí-Zavala<sup>2</sup>; Ana G. Flores-Rodríguez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ecología A. C. Red de Biología Evolutiva. Carretera antigua a Coatepec 351. C. P. 91073. El Haya, Xalapa, Veracruz, México.

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Av. Biodiversidad 2470. C. P. 44660. Tepatlán de Morelos, Jalisco, México.

<sup>3</sup>Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Camino Ramón Padilla Sánchez núm. 2100. C. P. 45200. Nextipac, Zapopan, Jalisco.

\*Corresponding author: flores.german@inifap.gob.mx; tel.: +52 331 169 4533.

### Abstract

**Introduction:** Forest fires are natural disturbances that influence structure, dynamics, performance, composition and diversity of species.

**Objective:** To compare composition, structure and diversity of temperate forest vegetation affected by different levels of severity of a forest fire in Jalisco.

**Materials and methods:** Composition, horizontal structure, importance value index (IVI), diameter class, diversity indexes of Shannon, Simpson, Margalef richness and Bray-Curtis similarity were evaluated in three regions (Bosque La Primavera and Sierra de Tapalpa and Sierra de Quila) of temperate forest with three levels of severity (no fire, moderate and extreme).

**Results:** Twelve species from six families were recorded. Pinaceae and Fagaceae were the most dominant. Dominance ranged from 0.2 to 50 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> in moderate and extreme severity sites. *Pinus devoniana* recorded the highest IVI (71 %) in Sierra de Tapalpa. The highest number of trees was recorded in diameter class ≤30 cm. Diversity and richness indices showed significant differences ( $P < 0.05$ ) for Sierra de Tapalpa and Sierra de Quila and among fire levels; the highest indices were recorded in sites of moderate severity. Tree composition similarity between regions was low (<33 %).

**Conclusions:** Moderate severity of forest fire favored composition, structure and diversity of vegetation in temperate forests of Jalisco, indicating that the level of severity influences resilience of forest ecosystem communities.

### Resumen

**Introducción:** Los incendios forestales son perturbaciones naturales que influyen en la estructura, dinámica, funcionamiento, composición y diversidad de especies.

**Objetivo:** Comparar la composición, estructura y diversidad de la vegetación de bosques templados afectados por diferentes niveles de severidad de un incendio forestal en Jalisco.

**Materiales y métodos:** La composición, estructura horizontal, índice de valor de importancia (IVI), clases diamétricas, índices de diversidad de Shannon, Simpson, riqueza Margalef y similitud de Bray-Curtis se evaluaron en tres regiones (bosque La Primavera y sierras de Tapalpa y Quila) de bosque templado con tres niveles de severidad (sin incendio, moderada y extrema).

**Resultados:** Se registraron 12 especies de seis familias, siendo Pinaceae y Fagaceae las de mayor representatividad. La dominancia osciló entre 0.2 a 50 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> en sitios de severidad moderada y extrema. *Pinus devoniana* registró el mayor IVI (71 %) en sierra de Tapalpa. La mayor cantidad de individuos se registró en las clases diamétricas ≤30 cm. Los índices de diversidad y riqueza mostraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en las sierras de Tapalpa y Quila y entre los niveles del incendio; los índices más altos se registraron en sitios de severidad moderada. La similitud de la composición arbórea entre regiones fue baja (<33 %).

**Conclusiones:** La severidad moderada del incendio forestal favoreció la composición, estructura y diversidad de la vegetación de los bosques templados de Jalisco, lo que sugiere que el nivel de severidad influye en la capacidad de resiliencia de las comunidades de los ecosistemas forestales.

**Keywords:** fire; *Pinus devoniana*; *Quercus*; diversity indices; vegetation structure.

**Palabras clave:** fuego; *Pinus devoniana*; *Quercus*; índices de diversidad; estructura de vegetación.

## Introduction

Temperate forests are one of the most important ecosystems in the world and represent 15 % of the land surface (Del-Val & Sáenz, 2017). In Mexico, these forests are mainly located in the Sierra Madre Occidental and cover 17.4 % (34 million hectares) of the surface (Monárrez-González, Pérez-Verdín, López-González, Márquez-Linares, & González, 2018). These ecosystems are considered megadiverse for harboring 50 % (50) and 33 % (200) of the species of *Pinus* L. and *Quercus* L., respectively (Challenger & Dirzo, 2009). In Mexico, despite the great importance of temperate forests, factors such as fires have reduced the area and, consequently, their populations (Comisión Nacional Forestal [CONAFOR], 2020).

Forest fires are natural disturbances that occur in many ecosystems (He, Lamont, & Pausas, 2019). Fire is a key factor in temperate forests that restarts the cycle of ecological succession (Sugihara, Van-Wagtendonk, Fites-Kaufman, Shaffer, & Thode, 2006). However, such relationship is determined by the level of severity and frequency (Neris et al., 2016); for example, low severity fires generate no significant changes in the forest, while moderate severities modify nutrient availability as well as soil physicochemical properties that promote species abundance, influencing structure and composition (Pourreza, Hosseini, Sinegani, Matinizadeh, & Alavai, 2014). In a similar way, moderate severity increases species diversity, because it increases niche complementarity by reducing niche competition (Heydari, Moradzadeh, Omidipour, Mezbani, & Pothier, 2020). On the other hand, in extreme severities there is high mortality of individuals with negative effects on the tree, shrub and herbaceous stratum (Lloret, 2004). This variation in severity has complicated the identification of a single pattern of response in the population dynamics (composition, structure and diversity) of species in temperate forests (Quintero-Gradilla, Jardel-Peláez, Cuevas-Guzmán, García-Oliva, & Martínez-Yrizar, 2019).

One way to understand the relationship between forest fires, both with the elements that integrate temperate forests and their functioning, is based on specific metrics and indicators (Alanís-Rodríguez, Mora, & Marroquín de la Fuente, 2020). Diversity indices (richness and abundance) allow understanding interrelationships of species within a forest, as well as the succession processes caused by fires; in addition, they provide scientific validity for the establishment of conservation criteria (Rivas, Calderón, & Pérez, 2008). Also, the structure (vertical and horizontal) of forests is an indicator that includes density and size distribution of trees, as well as frequency, abundance and dominance, and provides relevant information

## Introducción

Los bosques templados son uno de los ecosistemas más importantes en el mundo y representan 15 % de la superficie terrestre (Del-Val & Sáenz, 2017). En México, estos bosques se localizan principalmente en la Sierra Madre Occidental y ocupan 17.4 % (34 millones de hectáreas) de la superficie (Monárrez-González, Pérez-Verdín, López-González, Márquez-Linares, & González, 2018). Estos ecosistemas son considerados megadiversos por albergar 50 % (50) y 33 % (200) de las especies descritas de *Pinus* L. y *Quercus* L., respectivamente (Challenger & Dirzo, 2009). En México, a pesar de la gran importancia de los bosques templados, factores como los incendios han reducido la superficie y, por consiguiente, sus poblaciones (Comisión Nacional Forestal [CONAFOR], 2020).

Los incendios forestales son perturbaciones naturales que se producen en un gran número de ecosistemas (He, Lamont, & Pausas, 2019). En los bosques templados, el fuego es un factor clave que reinicia el ciclo de sucesión ecológica (Sugihara, Van-Wagtendonk, Fites-Kaufman, Shaffer, & Thode, 2006). No obstante, dicha relación está determinada por el nivel de severidad y frecuencia (Neris et al., 2016); por ejemplo, los incendios de baja severidad no generan cambios significativos en el bosque, mientras que las severidades moderadas modifican la disponibilidad de nutrientes, así como las propiedades fisicoquímicas del suelo que promueven la abundancia de las especies, influyendo en la estructura y composición (Pourreza, Hosseini, Sinegani, Matinizadeh, & Alavai, 2014). De igual forma, la severidad moderada incrementa la diversidad de las especies, debido a que aumenta la complementariedad de nichos reduciendo la competencia de estas (Heydari, Moradzadeh, Omidipour, Mezbani, & Pothier, 2020). En cambio, en las severidades extremas hay alta mortandad de individuos con efectos negativos en el estrato arbóreo, arbustivo y herbáceo (Lloret, 2004). Esta variación en la severidad ha dificultado la identificación de un patrón único de respuesta en la dinámica poblacional (composición, estructura y diversidad) de las especies en los bosques templados (Quintero-Gradilla, Jardel-Peláez, Cuevas-Guzmán, García-Oliva, & Martínez-Yrizar, 2019).

Una forma de comprender la relación de los incendios forestales, tanto con los elementos que integran a los bosques templados como con su funcionamiento, es a partir de métricas e indicadores específicos (Alanís-Rodríguez, Mora, & Marroquín de la Fuente, 2020). Los índices de diversidad (riqueza y abundancia) permiten entender las interrelaciones de las especies dentro de un bosque, así como los procesos de sucesión provocados por los incendios; además, proporcionan validez científica para el establecimiento de criterios

for management and functioning of the ecosystem (Louman, 2001).

In this regard, knowing the responses of temperate forests according to fire severity, through criteria and metrics that evaluate the maintenance of diversity and conservation of floristic composition, will allow generating knowledge that contributes to their conservation and management (Rodríguez-Trejo & Fulé, 2003; Wehenkel, Corral-Rivas, & Gadow, 2014). Therefore, the objective of this research was to analyze and compare composition, structure, and diversity of temperate forest vegetation affected by different levels of fire severity in the northeastern state of Jalisco, Mexico. It is hypothesized that moderate fire severity will favor composition, structure and diversity of temperate forest vegetation.

## Materials and Methods

### Study area

The study included the forest regions Bosque La Primavera, Sierra de Quila and Sierra de Tapalpa of Jalisco, Mexico (Table 1), characterized as temperate forests with sub-humid climate and summer rainfall (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2020). The regions differ in slope, elevation and exposure, but have similar type of soil (euric regosol) and coniferous vegetation, with high fire occurrence (Huerta & Ibarra, 2014).

Previous studies in these regions indicate that the frequency of forest fires has increased in recent years, mainly in Bosque La Primavera and Sierra de Tapalpa with 165 fires-year<sup>-1</sup> and, to a lesser extent, in Sierra de Quila with 10 fires-year<sup>-1</sup> (Flores-Garnica, Flores-Rodríguez, Lomelí-Zavala, Ruíz-Guzmán, & García-Bernal, 2019). A heterogeneous mosaic of patches with levels of wildfire severity has been generated due to the high frequency of fires, and topographic, climatic,

de conservación (Rivas, Calderón, & Pérez, 2008). También, la estructura (vertical y horizontal) de los bosques es un indicador que incluye la densidad y distribución de tamaños de los árboles, así como su frecuencia, abundancia y dominancia, y proporcionan información relevante para el manejo y funcionamiento del ecosistema (Graciano-Ávila et al., 2020; Solís et al., 2006). Por último, la composición describe el número de especies, géneros y familias dentro de un bosque y aporta información para la planificación, manejo y conservación de cualquier ecosistema (Louman, 2001).

En este sentido, conocer las respuestas de los bosques templados en función de la severidad de los incendios, a través de criterios y métricas que evalúen el mantenimiento de la diversidad y conservación de la composición florística, permitirá generar conocimiento que contribuya a su conservación y manejo (Rodríguez-Trejo & Fulé, 2003; Wehenkel, Corral-Rivas, & Gadow, 2014). Por tanto, el objetivo de esta investigación fue analizar y comparar la composición, estructura y diversidad de la vegetación de bosques templados afectados por diferentes niveles de severidad de un incendio en el noreste del estado de Jalisco, México. Se parte de la hipótesis de que la severidad moderada del incendio favorecerá la composición, estructura y diversidad de la vegetación de los bosques templados.

## Materiales y métodos

### Localización del área de estudio

El estudio incluyó las regiones forestales bosque La Primavera, sierras de Quila y Tapalpa de Jalisco, México (Cuadro 1), caracterizadas por ser bosques templados de clima subhúmedo con lluvias en verano (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2020). Las regiones se diferencian por su pendiente, altitud y exposición, pero son similares en tipo de suelo (regosol éurico) y vegetación de coníferas, con alta ocurrencia de incendios (Huerta & Ibarra, 2014).

**Table 1. Physiographic and climatic description of the three study forest regions in Jalisco, Mexico.**

**Cuadro 1. Descripción fisiográfica y climática de las tres regiones forestales de estudio en Jalisco, México.**

Regions/ Regiones	Latitude (N)/ Latitud (N)	Longitude (O)/ Longitud (O)	Elevation(m)/ Altitud (m)	MAT (°C)/ TMA (°C)	AAP (m)/ PMA (m)	Exposure/ Exposición	Vegetation/ Vegetación
Bosque La Primavera	20° 36' 30.4"	103° 35' 57.8"	1 744-2 274	20.6	1 000	Northeast/ Noreste	Oak-pine/ Encino-pino
Sierra de Tapalpa	19° 36' 49"	103° 54' 00"	2 157-2 899	12-18	882	Northeast/ Noreste	Pine-oak/ Pino-encino
Sierra de Quila	20° 18' 08.5"	104° 01' 35.7"	1 348-2 539	16.7	883.1	Southeast/ Sureste	Oak/Encino

MAT = Mean annual temperature, AAP = average annual precipitation.

TMA = temperatura media anual, PMA = precipitación media anual.

and vegetation variation. Sites with low severity show very little burn damage; those with moderate severity have burned trees in the tree stratum and small fractions of crowns or understory; and in sites with extreme severity, the tree, shrub and herbaceous stratum are completely burned (Lloret, 2004). Based on these severity levels, sites with extreme fire and moderate fire were selected in the three study regions, and intact sites that had not been damaged by fire in recent decades were used as control.

### Experimental design

The study was based on a factorial experimental design composed of two factors: (a) regions (Bosque La Primavera and Sierra de Quila and Sierra de Tapalpa) and (b) severity levels (no fire, moderate fire and extreme fire); the combination of these gave a total of nine treatments. Within each of the severities per region, three sites were randomly selected, which were considered as replicates, resulting in 27 sampling sites. The sampling unit was circular (400 m<sup>2</sup>), where all individuals larger than 7.5 cm diameter at breast height (at 1.3 m above ground level) were evaluated. The following data were recorded: taxonomic identity (genus, species and common name), basal area and total height using a diameter tape (Forestry Suppliers Inc. 283d) and a laser hypsometer (Forestry Pro Nikon 8381), respectively.

### Data recording and analysis

Each region was characterized by its composition, horizontal structure, diameter class, diversity and similarity of tree species. Composition was obtained by collecting botanical material from the field of all tree species in sampling sites. Identification was done by taxonomic keys, while the validity of scientific names was corroborated on The Plant List (2013) platform. The horizontal structure of the species was described by abundance, defined as the number of trees; dominance according to the basal area; and frequency was determined by presence at sampling sites (Alanís-Rodríguez et al., 2020). The data obtained were used to calculate the importance value index (IVI), which acquires percentage values.

Abundance was calculated according to the number of trees using the following formulas:

$$A_i = \frac{N_i}{S}$$

$$AR_i = \left( \frac{A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \right) \times 100$$

Estudios previos en las regiones indican que la frecuencia de incendios forestales ha incrementado en los últimos años, principalmente en el bosque La Primavera y sierra de Tapalpa con 165 incendios-año<sup>-1</sup> y, en menor medida, en sierra de Quila con 10 incendios-año<sup>-1</sup> (Flores-Garnica, Flores-Rodríguez, Lomelí-Zavala, Ruíz-Guzmán, & García-Bernal, 2019). Debido a la frecuencia alta de incendios, así como a la variación topográfica, climática y vegetal, se ha generado un mosaico heterogéneo de parches con niveles de severidad de los incendios forestales. Los sitios con severidad baja presentan muy pocos daños por quemaduras; los de severidad moderada tienen árboles chamuscados en el estrato arbóreo y pequeñas fracciones de copas o sotobosque; y en los sitios con severidad extrema, el estrato arbóreo, arbustivo y herbáceo se encuentran totalmente carbonizados (Lloret, 2004). Considerando estos niveles de severidad, en las tres regiones de estudio se seleccionaron sitios con incendio extremo e incendio moderado, así como sitios intactos no dañados por incendios en las últimas décadas como control.

### Diseño experimental

El estudio se basó en un diseño experimental factorial compuesto por dos factores: (a) regiones (bosque La Primavera y sierras de Quila y Tapalpa) y (b) niveles de severidad (sin incendio, incendio moderado e incendio extremo); la combinación de estos dio un total de nueve tratamientos. Dentro de cada una de las severidades por región se eligieron aleatoriamente tres sitios, los cuales se consideraron como repeticiones, lo que dio como resultado 27 sitios de muestreo. La unidad de muestreo fue circular (400 m<sup>2</sup>), donde se evaluaron todos los individuos mayores de 7.5 cm de diámetro normal (a 1.3 m sobre el nivel del suelo). Los datos registrados fueron los siguientes: identidad taxonómica (género, especie y nombre común), área basal y altura total mediante cinta diamétrica (Forestry Suppliers Inc. 283d) y un hipsómetro láser (Forestry Pro Nikon 8381), respectivamente.

### Registro y análisis de datos

Cada región se caracterizó a través de su composición, estructura horizontal, clases diamétricas, diversidad y similitud de las especies arbóreas. La composición se obtuvo mediante la recolecta de material botánico del campo de todas las especies arbóreas en los sitios de muestreo. La identificación se hizo por medio de claves taxonómicas, mientras que la validez de los nombres científicos se corroboró en la plataforma The Plant List (2013). La estructura horizontal de las especies se describió mediante la abundancia, definida como el número de árboles; la dominancia en función del área basal; y la frecuencia se determinó por la presencia en

where,

$A_i$  = absolute abundance (individuals·ha<sup>-1</sup>)

$AR_i$  = relative abundance of species  $i$  in relation to total abundance (%)

$N_i$  = number of individuals of species  $i$

$S$  = sampling area (ha).

Relative dominance was calculated according to the basal area with the following formulas:

$$D_i = \frac{Ab_i}{S}$$

$$DR_i = \left( \frac{D_i}{\sum_{i=1}^n D_i} \right) \times 100$$

where,

$D_i$  = absolute dominance (m<sup>2</sup>·ha<sup>-1</sup>)

$DR_i$  = relative dominance of species  $i$  in relation to dominance (%)

$Ab_i$  = basal area of species  $i$  (m<sup>2</sup>)

$S$  = area (ha).

Relative frequency was obtained with the following formulas:

$$F_i = \frac{f_i}{NS}$$

$$FR_i = \left( \frac{F_i}{\sum_{i=1}^n F_i} \right) \times 100$$

where,

$F_i$  = absolute frequency

$FR_i$  = relative frequency of species  $i$  in relation to the sum of frequencies (%)

$f_i$  = number of sites where species  $i$  is present

$NS$  = total number of sampling sites.

The importance value index (IVI) was estimated as:

$$IVI = \sum_{i=1}^n \left( \frac{AR_i, DR_i, FR_i}{3} \right)$$

where,

$AR_i$  = relative abundance of species  $i$  in relation to total abundance

$DR_i$  = relative dominance of species  $i$  in relation to total dominance

$FR_i$  = relative frequency of species  $i$  in relation to total frequency.

Histograms of diametric distributions were created according to the number of trees recorded for the three study regions; equations and R<sup>2</sup> were calculated for each graph. The analyses were performed using the

los sitios de muestreo (Alanís-Rodríguez et al., 2020). Los datos obtenidos se utilizaron para el cálculo del índice de valor de importancia (IVI), el cual adquiere valores porcentuales.

La abundancia se calculó de acuerdo con el número de árboles mediante las fórmulas:

$$A_i = \frac{N_i}{S}$$

$$AR_i = \left( \frac{A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \right) \times 100$$

donde,

$A_i$  = abundancia absoluta (individuos·ha<sup>-1</sup>)

$AR_i$  = abundancia relativa de la especie  $i$  respecto a la abundancia total (%)

$N_i$  = número de individuos de la especie  $i$

$S$  = superficie de muestreo (ha).

La dominancia relativa se calculó en función del área basal con las fórmulas siguientes:

$$D_i = \frac{Ab_i}{S}$$

$$DR_i = \left( \frac{D_i}{\sum_{i=1}^n D_i} \right) \times 100$$

donde,

$D_i$  = dominancia absoluta (m<sup>2</sup>·ha<sup>-1</sup>)

$DR_i$  = dominancia relativa de la especie  $i$  respecto a la dominancia (%)

$Ab_i$  = área basal de la especie  $i$  (m<sup>2</sup>)

$S$  = superficie (ha).

La frecuencia relativa se obtuvo con las fórmulas siguientes:

$$F_i = \frac{f_i}{NS}$$

$$FR_i = \left( \frac{F_i}{\sum_{i=1}^n F_i} \right) \times 100$$

donde,

$F_i$  = frecuencia absoluta

$FR_i$  = frecuencia relativa de la especie  $i$  respecto a la suma de las frecuencias (%)

$f_i$  = número de sitios en el que está presente la especie  $i$

$NS$  = número total de sitios de muestreo.

El índice de valor de importancia (IVI) se estimó como:

$$IVI = \sum_{i=1}^n \left( \frac{AR_i, DR_i, FR_i}{3} \right) \text{ k jm}$$



statistical program PAST version 3.2 (Hammer, Harper, & Ryan, 2001).

Diversity and richness indices were determined using the Shannon's index ( $H'$ ), which estimates habitat heterogeneity by number of species present and relative abundance; Margalef's species richness ( $Dmg$ ), which evaluates the biodiversity of a community based on numerical distribution of individuals, combining the number of species and number of individuals; and Simpson's diversity ( $D$ ), which determines whether the community is composed of very abundant species (Magurran, 2004). These indices were calculated using the following equations:

$$H' = \sum_{i=1}^S P_i * \ln(P_i)$$

$$DMg = \frac{(S - 1)}{\ln(N)}$$

$$D = \sum P_i^2$$

where,

$S$  = number of species present

$P_i$  = number of individuals of species  $i$

$N$  = total number of individuals

$P_i$  = proportion of species  $i$  in the community ( $ni/N$ )

$ni$  = number of individuals of species  $i$

To determine statistically significant differences among treatments, a two-factor analysis of variance (ANOVA) was performed between fire severity levels and study regions. Data were checked for compliance with normality assumptions using the Shapiro-Wilk test. Significant differences were corroborated with the Tukey tests ( $\alpha = 0.05$ ) using GraphPad Prism (2019) version 8.2.1.

The similarity in the composition of the three regions was determined based on the abundance of tree species using a Bray-Curtis (1957) dendrogram, which reflects the percentage of similarity or dissimilarity of the regions. The analyses were performed using PAST version 3.2 (Hammer et al., 2001).

## Results and Discussion

### Composition

A total of 573 trees belonging to 12 species distributed in six families were recorded, which are shown in Table 2. According to Table 3, the Pinaceae and Fagaceae families were the most represented (86.2 %) of the tree composition in the three regions, while the remaining 13.7 % corresponded to the species *Arctostaphylos pungens* Kunth, *Bursera penicillata* (Sessé & Moc. ex DC.)

donde,

$AR_i$  = abundancia relativa de la especie  $i$  con respecto a la abundancia total

$DR_i$  = dominancia relativa de la especie  $i$  con respecto a la dominancia total

$FR_i$  = frecuencia relativa de la especie  $i$  con respecto a la frecuencia total.

Se crearon histogramas de las distribuciones diamétricas en función del número de árboles registrados para las tres regiones de estudio; para cada gráfico se calcularon las ecuaciones y su  $R^2$ . Los análisis se realizaron en el programa estadístico PAST versión 3.2 (Hammer, Harper, & Ryan, 2001).

Los índices de diversidad y riqueza se determinaron a través del índice de Shannon ( $H'$ ), que estima la heterogeneidad del hábitat mediante el número de especies presentes y su abundancia relativa; la riqueza de especies de Margalef ( $Dmg$ ), que evalúa la biodiversidad de una comunidad con base en la distribución numérica de los individuos, combinando el número de especie y número de individuos; y diversidad de Simpson ( $D$ ) que determina si la comunidad está compuesta por especies muy abundantes (Magurran, 2004). Dichos índices se calcularon mediante las ecuaciones siguientes:

$$H' = \sum_{i=1}^S P_i * \ln(P_i)$$

$$DMg = \frac{(S - 1)}{\ln(N)}$$

$$D = \sum P_i^2$$

donde,

$S$  = número de especies presentes

$P_i$  = número de individuos de la especie  $i$

$N$  = número total de individuos

$P_i$  = proporción de especies  $i$  de la comunidad ( $ni/N$ )

$ni$  = número de individuos de las especies  $i$

Para determinar diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de dos factores entre los niveles de severidad del incendio y las regiones de estudio. Se constató que los datos cumplieran los supuestos de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Las diferencias significativas se corroboraron con pruebas de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) en el programa GraphPad Prism (2019) versión 8.2.1.

Finalmente, la similitud en la composición de las tres regiones se determinó con base en la abundancia de las especies arbóreas mediante un dendrograma de Bray-Curtis (1957), el cual refleja el porcentaje de similitud o disimilitud de las regiones. Los análisis se realizaron

Engl., *Crataegus mexicana* Moc. & Sessé ex DC. and *Fraxinus uhdei* (Wenz.) Lingelsh. The tree composition of the three study regions corresponds to temperate forests typical of mountainous areas of Mexico (De León, García, Andrade, & Ruíz, 2013; Graciano-Ávila et al., 2020). The highest number of individuals in the fire regions/levels belong to the genera *Pinus* and *Quercus* in the sites with moderate and extreme fire (54 to 89 individuals). This coincides with Juárez-Martínez and Rodríguez-Trejo (2003), who mention that burned areas show greater natural regeneration than non-fired areas, because fire causes the death of trees and, consequently, facilitate the opening of the canopy and favors the establishment of pioneer species. Authors such as Graciano-Ávila et al. (2017) point out that the abundance of *Pinus* and *Quercus* is due to their wide distribution in mountain ranges, but also to their high diversity, as they are genera, which host most of the species of their respective families (*Pinus* 50 and *Quercus* 161). Although the abundance of these genera is mainly due to climatic affinity, it may also be due to irregular forest management, which leads to conglomeration of small groups of species at the local level, due to the extraction of other species of greater economic value (López-Hernández et al., 2017).

### Horizontal structure

Tables 4, 5 and 6 include the structural parameters of species in the three study forest regions. The Pinaceae family had the highest abundance of individuals regardless of fire severity levels. This agrees with

en el programa estadístico PAST versión 3.2 (Hammer et al., 2001).

## Resultados y discusión

### Composición

Se registraron 573 árboles pertenecientes a 12 especies distribuidas en seis familias, las cuales se indican en el Cuadro 2. De acuerdo con el Cuadro 3, las familias Pinaceae y Fagaceae fueron las más representadas (86.2 %) de la composición arbórea en las tres regiones, mientras que 13.7 % restante correspondió a las especies *Arctostaphylos pungens* Kunth, *Bursera penicillata* (Sessé & Moc. ex DC.) Engl., *Crataegus mexicana* Moc. & Sessé ex DC. y *Fraxinus uhdei* (Wenz.) Lingelsh. La composición arbórea de las tres regiones de estudio corresponde a bosques templados típicos de zonas montañosas de México (De León, García, Andrade, & Ruíz, 2013; Graciano-Ávila et al., 2020). El mayor número de individuos de las regiones/niveles del incendio pertenecen a los géneros *Pinus* y *Quercus* en los sitios con incendio moderado y extremo (54 a 89 individuos). Lo anterior coincide con Juárez-Martínez y Rodríguez-Trejo (2003), quienes mencionan que las áreas incendiadas presentan mayor regeneración natural que las no incendiadas, debido a que el fuego causa la muerte de los árboles y, en consecuencia, favorece la apertura del dosel y propicia el establecimiento de especies pioneras. Autores como Graciano-Ávila et al. (2017) señalan que la abundancia de *Pinus* y *Quercus* se debe a su amplia distribución en las cadenas montañosas, pero también a su alta diversidad,

**Table 2. Tree species recorded in Bosque La Primavera and Sierra de Quila and Sierra de Tapalpa in the northeast of Jalisco.**

**Cuadro 2. Especies arbóreas registradas en el bosque La Primavera y sierras de Quila y Tapalpa en el noreste de Jalisco.**

Species/Especies	Common name/Nombre común	Family/Familia
<i>Arctostaphylos pungens</i> Kunth	Pointleaf manzanita/Pingüica	Ericaceae
<i>Bursera penicillata</i> (Sessé & Moc. ex DC.) Engl.	Mexican lavender/Palo prieto	Burseraceae
<i>Crataegus mexicana</i> Moc. & Sessé ex DC.	Mexican hawthorn/Tejocote	Rosaceae
<i>Fraxinus uhdei</i> (Wenz.) Lingelsh.	Tropical ash/Fresno	Oleaceae
<i>Pinus douglasiana</i> Martínez	Douglas pine/Pino canis	Pinaceae
<i>Pinus lumholtzii</i> B. L. Rob. & Fernald	Sad pine/Pino triste	Pinaceae
<i>Pinus devoniana</i> Lindl.	Michoacan pine/Pino lacio	Pinaceae
<i>Pinus oocarpa</i> Scheide	Egg-cone pine/Pino avellano	Pinaceae
<i>Quercus castanea</i> Née	Oak/Roble	Fagaceae
<i>Quercus magnoliifolia</i> Née	Mexican oak/Encino laurel	Fagaceae
<i>Quercus obtusata</i> Bonpl.	Oak/Roble	Fagaceae
<i>Quercus resinosa</i> Liebm.	Oak/Roble	Fagaceae

**Table 3. Number of individuals of tree species recorded per region and severity of forest fire (NF = no fire, MF = moderate fire, EF = extreme fire) in temperate forests of Jalisco.**

**Cuadro 3. Número de individuos de las especies arbóreas registradas por región y severidad del incendio forestal (SI = sin incendio, IM = incendio moderado, IE = incendio extremo) en bosques templados de Jalisco.**

Species / Especies	Bosque La Primavera			Sierra de Quila			Sierra de Tapalpa			Total	(%)
	NF/SI	MF/IM	EF/IE	NF/SI	MF/IM	EF/IE	NF/SI	MF/IM	EF/IE		
<i>Arctostaphylos pungens</i>	-	-	-		2	-	-	-	-	2	0.35
<i>Bursera penicillata</i>	-	-	-	4	-	3	-	-	8	15	2.62
<i>Crataegus mexicana</i>	-	-	-	-	-	3	16	14	19	52	9.8
<i>Fraxinus uhdei</i>	-	-	-	-	-	1	9	-	-	10	1.75
<i>Pinus douglasiana</i>	21	36	10	12	23	1	-	-	-	103	17.9
<i>Pinus lumholtzii</i>	-	-	-	9	-	11	-	-	-	20	3.49
<i>Pinus devoniana</i>	-	-	-	12	4	8	26	46	59	155	27.5
<i>Pinus oocarpa</i>	-	-	16	-	-	-	-	-	-	17	2.97
<i>Quercus castanea</i>	-	-	-	-	-	-	10	14	2	26	4.54
<i>Quercus magnoliifolia</i>	39	17	17	-	-	-	5	2	1	81	14.1
<i>Quercus obtusata</i>	-	11	2	7	12	20	-	-	-	51	8.90
<i>Quercus resinosa</i>	-	-	9	8	24	-	-	-	-	41	7.16
Total	60	64	54	52	65	47	66	76	89	573	100

**Table 4. Structural parameters of species (*Quercus* and *Pinus*) exposed to different fire severity in Bosque La Primavera, Jalisco, Mexico.**

**Cuadro 4. Parámetros estructurales de las especies expuestas (géneros *Quercus* y *Pinus*) a distinta severidad de incendio en el bosque La Primavera, Jalisco, México.**

Species / Especies	No. trees / Núm. individuos	Ra (%) / Ar (%)	Rf (%) / Fr (%)	Rd (%) / Dr (%)	IVI (%)
No fire / Sin incendio					
<i>Q. magnoliifolia</i>	39	6.5	52.14	66.75	61.30
<i>P. douglasiana</i>	21	3.5	47.86	33.25	38.70
Total	60	100	100	100	100
Moderate / Moderado					
<i>P. douglasiana</i>	21	29.58	43.79	53.90	42.42
<i>Q. magnoliifolia</i>	39	54.93	47.71	23.47	42.04
<i>Q. obtusata</i>	11	15.49	8.50	22.63	15.54
Total	71	100	100	100	100
Extreme / Extremo					
<i>Q. magnoliifolia</i>	17	31.48	41.01	51.09	41.19
<i>P. douglasiana</i>	10	18.52	37.64	13.67	23.27
<i>P. oocarpa</i>	16	29.63	8.99	27.20	21.94
<i>Q. resinosa</i>	9	16.67	5.06	4.20	8.64
<i>Q. obtusata</i>	2	3.70	7.30	3.85	4.95
Total	54	100	100	100	100

Ra = relative abundance; Rf = relative frequency (%); Rd = relative dominance (%); IVI: importance value index.

Ar = abundancia relativa; Fr = frecuencia relativa (%); Dr = dominancia relativa (%); IVI: índice de valor de importancia.



**Table 5. Structural parameters of species exposed to different fire severity in temperate forests of the Sierra de Quila, Jalisco, Mexico.****Cuadro 5. Parámetros estructurales de las especies expuestas a distinta severidad de incendio en bosques templados de la sierra de Quila, Jalisco, México.**

Species / Especies	No. trees / Núm. individuos	Ra (%) / Ar (%)	Rf (%) / Fr (%)	Rd (%) / Dr (%)	IVI (%)
No fire / Sin incendio					
<i>Pinus devoniana</i>	12	22.22	15.09	47.23	28.18
<i>Pinus douglasiana</i>	12	22.22	22.64	27.68	24.18
<i>Quercus obtusata</i>	8	14.81	25.16	10.24	16.74
<i>Pinus lumholtzii</i>	9	16.67	12.58	13.43	14.23
<i>Quercus resinosa</i>	9	16.67	20.13	0.68	12.49
Total	54	100	100	100	100
Moderate / Moderado					
<i>Pinus douglasiana</i>	23	35.94	26.87	49.33	37.38
<i>Quercus obtusata</i>	12	18.75	29.85	25.38	24.66
<i>Quercus resinosa</i>	23	35.94	23.88	11.87	23.90
<i>Pinus devoniana</i>	4	6.25	17.91	12.42	12.19
<i>Bursera penicillata</i>	4	7.41	4.40	0.73	4.18
<i>Arctostaphylos pungens</i>	2	3.13	1.49	1.00	1.87
Total	64	100	100	100	100
Extreme / Extremo					
<i>Quercus obtusata</i>	20	42.55	26.67	30.68	33.30
<i>Pinus devoniana</i>	8	17.02	16.00	44.81	25.94
<i>Pinus lumholtzii</i>	11	23.40	13.33	16.95	17.90
<i>Pinus douglasiana</i>	1	2.13	24.00	5.54	10.56
<i>Fraxinus uhdei</i>	1	2.13	13.33	0.83	5.43
<i>Bursera penicillata</i>	3	6.38	4.67	0.58	3.88
<i>Crataegus mexicana</i>	3	6.38	2.00	0.61	3.00
Total	47	100	100	100	100

Ra = relative abundance; Rf = relative frequency (%); Rd = relative dominance (%); IVI: importance value index.

Ar = abundancia relativa; Fr = frecuencia relativa (%); Dr = dominancia relativa (%); IVI: índice de valor de importancia.

**Table 6. Structural parameters of species exposed to different fire severity in the Sierra de Tapalpa, Jalisco, Mexico.****Cuadro 6. Parámetros estructurales de las especies expuestas a distinta severidad de incendio en la sierra de Tapalpa, Jalisco, México.**

Species / Especies	No. trees / Núm. individuos	Ra (%) / Ar (%)	Rf (%) / Fr (%)	Rd (%) / Dr (%)	IVI (%)
No fire / Sin incendio					
<i>Pinus devoniana</i>	26	39.39	58.74	92.12	63.42
<i>Crataegus mexicana</i>	16	24.24	21.97	3.31	16.51
<i>Quercus castanea</i>	10	15.15	11.66	2.00	9.61
<i>Fraxinus uhdei</i>	9	13.64	4.04	0.42	6.03
<i>Quercus magnoliifolia</i>	5	7.58	3.59	2.15	4.44
Total	66	100	100	100	100
Moderate / Moderado					
<i>Pinus devoniana</i>	46	60.53	61.21	88.48	70.07
<i>Crataegus mexicana</i>	14	18.42	22.90	3.45	14.92
<i>Quercus obtusata</i>	14	18.42	12.15	8.05	12.87
<i>Quercus magnoliifolia</i>	2	2.63	3.74	0.02	2.13
Total	76	100	100	100	100
Extreme / Extremo					
<i>Pinus devoniana</i>	59	66.29	59.01	88.22	71.17
<i>Crataegus mexicana</i>	19	21.35	22.07	3.88	15.77
<i>Bursera penicillata</i>	8	8.99	3.60	6.20	6.26
<i>Quercus castanea</i>	2	2.25	11.71	1.09	5.02
<i>Quercus magnoliifolia</i>	1	1.12	3.60	0.61	1.78
Total	89	100	100	100	100

Ra = relative abundance; Rf = relative frequency (%); Rd = relative dominance (%); IVI: importance value index.

Ar = abundancia relativa; Fr = frecuencia relativa (%); Dr = dominancia relativa (%); IVI: índice de valor de importancia.

that reported by Hernández-Salas et al. (2018), who found higher abundance of species of the genus *Pinus* in temperate forests of Chihuahua. In Bosque La Primavera, only the Fagaceae and Pinaceae families were present; specially *Q. magnoliifolia* (39 individuals, 65 %) and *P. douglasiana* (39 individuals, 54.93 %) were the most abundant. In Sierra de Quila, *Q. obtusata* was the most abundant with 42.5 %, while in Sierra de Tapalpa, *P. devoniana* was the most abundant (66.2 %).

In moderate severity sites, the most dominant species were *P. douglasiana* (49.3 to 53.9 %) and *P. devoniana* (88.4 %), while *Q. magnoliifolia* (51.1 %) and *P. devoniana* (88.2 %) were dominant in extreme severity sites (Tables 4, 5 and 6). The dominance values ranged from 0.2 to 50 m<sup>2</sup>·ha<sup>-1</sup> in sites of moderate and extreme severity; this is the result of recurrent forest fires that have led to changes in growth, but also in slope and orientation, as well as in the topofoms (valleys and hills) where they develop (Martínez-Antúnez et al., 2013).

ya que son géneros que albergan la mayor parte de las especies de sus respectivas familias (*Pinus* 50 y *Quercus* 161). Si bien la abundancia de dichos géneros se debe principalmente a su afinidad climática, también puede deberse al manejo irregular de los bosques, lo cual origina la conglomeración de pequeños grupos de especies a nivel local, debido a la extracción de otras de mayor valor económico (López-Hernández et al., 2017).

### Estructura horizontal

Los Cuadros 4, 5 y 6 contienen los parámetros estructurales de las especies en las tres regiones forestales de estudio. La familia Pinaceae tuvo la mayor abundancia de individuos sin importar los niveles de severidad del incendio. Esto concuerda con lo reportado por Hernández-Salas et al. (2018), quienes encontraron mayor abundancia de especies del género *Pinus* en los bosques templados de Chihuahua. En el bosque La Primavera, únicamente las familias Fagaceae y Pinaceae

Authors such as Guzmán (2009) mention that an IVI greater than 50 % represents the ecological dominance of a taxon. In this study, IVI values in La Primavera and Quila were less than 50 %, which would indicate greater species competition for resources and less dominance of post-fire taxa; however, Sierra de Tapalpa had the highest IVI values for the Pinaceae family, with *P. devoniana* (60 to 70 %) being dominant in sites with and no fire. Despite the high IVI of this species, the value was lower than that reported (80 %) by Alanís-Rodríguez et al. (2011) in sites affected by fire involving pine species.

### Diameter class

Figure 1 shows that diameter class distribution had an inverted J trend, i.e., more individuals in smaller diameter class. The Bosque La Primavera recorded a greater number of individuals in 20 cm ( $n = 59$ ) and 30 cm ( $n = 56$ ) diameter class in moderate fire severities. In the case of Sierra de Quila, the areas with moderate and extreme severity had a greater number of individuals ( $n = 21$  and  $22$ ), only in the 20 cm diameter class. In contrast, in the Sierra de Tapalpa, the 10 cm diameter class had the highest number of individuals ( $n = 40$ ) in the extreme fire severity level. In general, the dominance of individuals in regrowth or juveniles with diameters of 10 to 30 cm was greater in sites with moderate and extreme severity, which agrees with Rodríguez, Mata, Moya, and Guzmán (2003) and Quintero-Gradilla et al. (2019) for temperate forests affected by fire in the Sierra de Monterrey and Sierra de Manantlán, Jalisco. The results indicate that the post-fire forests are growing with active regeneration, since more than 50 % of the individuals were grouped in three diameter classes, which would guarantee the survival of the ecosystem by having a reserve of young trees (Manzanilla-Quijada et al., 2020).

### Diversity and richness indices

The specific richness in this study was 12 species, a lower result than that reported by Mora-Donjuán et al. (2013), who recorded 20 species in post-fire forests. Unlike the above-mentioned study, the present study evaluated contrasting fire severities, so species mortality increases according to a higher severity (Neris et al., 2016).

ANOVA indicated that the model was significant; however, the Tukey's test results showed that seven of the nine possible interactions were not statistically different ( $F = 165.4$ ,  $P > 0.05$ ). Severity level and region are analyzed separately in Figure 2. Diversity and richness indices were significantly different among severity levels ( $F = 106.6$ ,  $P \leq 0.001$ ) (Figure 2A). Shannon diversity was higher ( $F = 106.6$ ,  $P \leq 0.001$ ) for

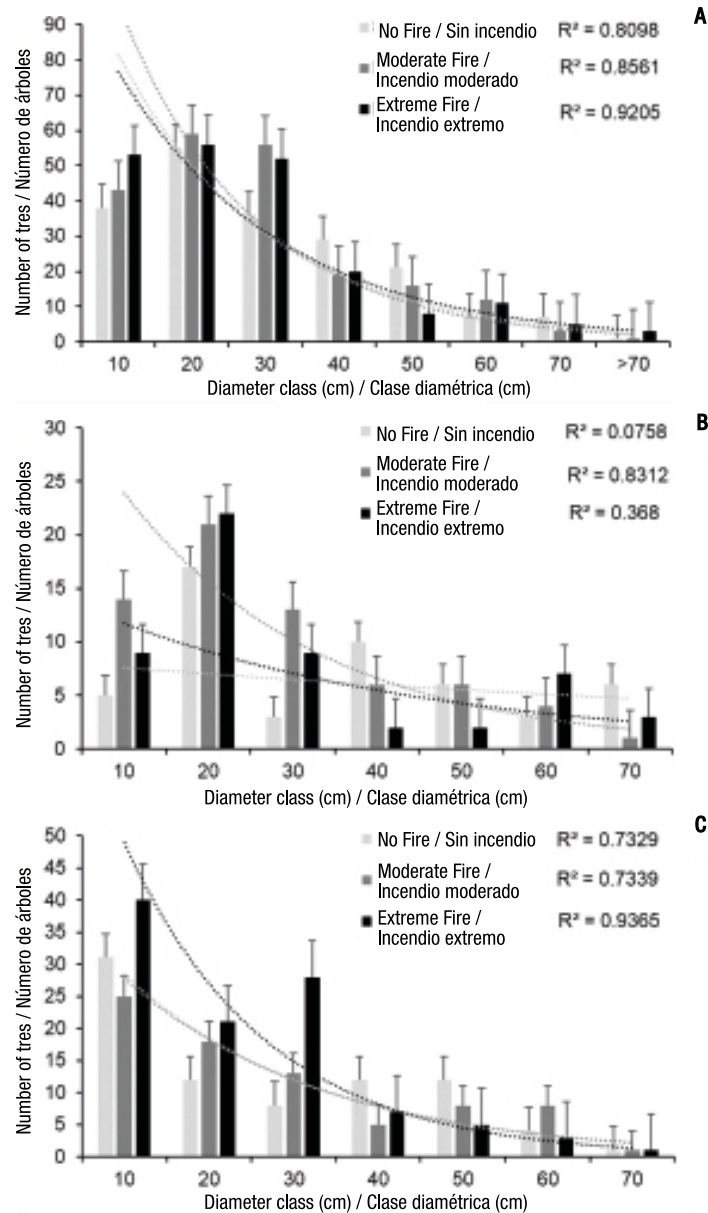
estuvieron presentes; en particular *Q. magnoliifolia* (39 individuos, 65 %) y *P. douglasiana* (39 individuos, 54.93 %) fueron las de mayor abundancia. En la sierra de Quila, *Q. obtusata* fue la más abundante con 42.5 %, mientras que en Tapalpa fue *P. devoniana* (66.2 %).

En los sitios de severidad moderada, las especies con mayor dominancia fueron *P. douglasiana* (49.3 a 53.9 %) y *P. devoniana* (88.4 %), mientras que *Q. magnoliifolia* (51.1 %) y *P. devoniana* (88.2 %) fueron las dominantes en los sitios con severidad extrema (Cuadros 4, 5 y 6). Los valores de dominancia oscilaron entre 0.2 a 50  $\text{m}^2\cdot\text{ha}^{-1}$  en sitios de severidad moderada y extrema; lo anterior es producto de los incendios forestales recurrentes que han generado cambios con respecto al crecimiento, pero también a la pendiente y orientación, así como de las topoformas (valles y cerros) donde se desarrollan (Martínez-Antúnez et al., 2013).

Autores como Guzmán (2009) mencionan que un IVI mayor de 50 % representa la dominancia ecológica de un taxón. En este estudio, los valores de IVI en La Primavera y Quila fueron menores de 50 %, lo que indicaría mayor competencia de las especies por recursos y menor dominancia de taxones posincendio; sin embargo, en la sierra de Tapalpa se registraron los valores más altos de IVI para la familia Pinaceae, siendo *P. devoniana* (60 a 70 %) dominante en sitios sin incendio y con incendio. A pesar del IVI alto de esta especie, el valor fue inferior del reportado (80 %) por Alanís-Rodríguez et al. (2011) en sitios afectados por incendios en especies de pino.

### Clases diamétricas

La Figura 1 muestra que la distribución de las clases diamétricas tuvo una tendencia de J invertida; es decir, mayor cantidad de individuos en clases diamétricas menores. El bosque La Primavera registró mayor número de individuos en clases de 20 cm ( $n = 59$ ) y 30 cm ( $n = 56$ ) de diámetro en las severidades moderadas del incendio. En la sierra de Quila, las áreas con severidad moderada y extrema tuvieron mayor número de individuos ( $n = 21$  y  $22$ ), únicamente en la clase 20 cm de diámetro. En cambio, en la sierra de Tapalpa, la clase de 10 cm de diámetro tuvo el mayor número de individuos ( $n = 40$ ) en el nivel de severidad extrema del incendio. En general, la dominancia de individuos en renuevo o juveniles con diámetros de 10 a 30 cm fue mayor en sitios con severidad moderada y extrema, lo que concuerda con Rodríguez, Mata, Moya, y Guzmán (2003) y Quintero-Gradilla et al. (2019) para bosques templados afectados por incendio en la sierra de Monterrey y sierra de Manantlán, Jalisco. Los resultados indican que los bosques posincendio están en crecimiento con regeneración activa, ya que más de 50 % de los individuos se agruparon en tres clases diamétricas, lo que garantizaría la supervivencia del



**Figure 1.** Diameter class of tree species recorded in the study regions (Bosque La Primavera [A], Sierra de Quila [B] and Sierra de Tapalpa [C]) with three levels of forest fire severity (no fire, moderate and extreme). Bars indicate the mean  $\pm$  standard error of three replicates (sites). Dotted lines show the trend of an inverted J; that is, more individuals in smaller diameter class.

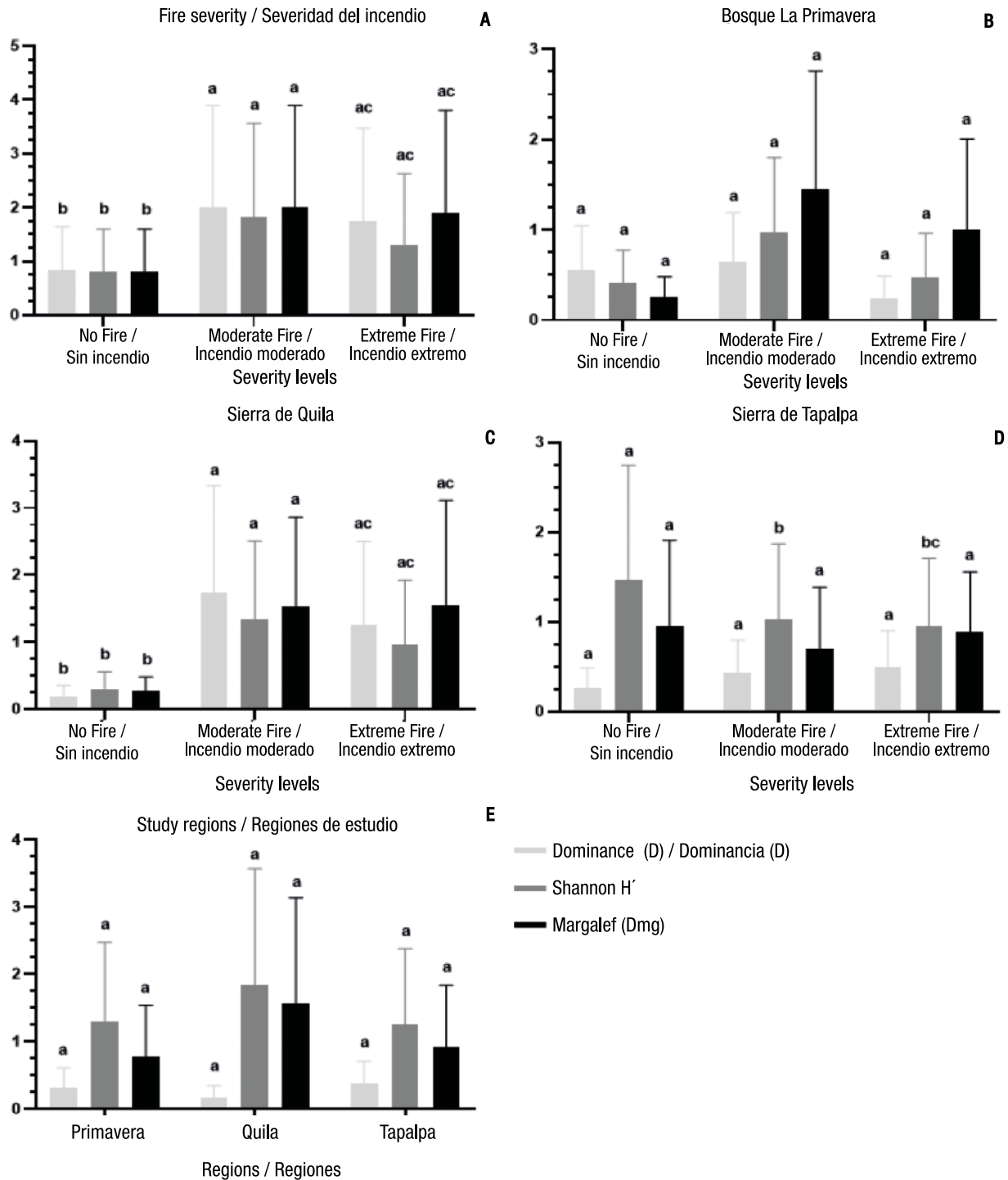
**Figura 1.** Clases diamétricas de las especies arbóreas registradas en las regiones de estudio (bosque la Primavera [A], sierra de Quila [B] y sierra de Tapalpa [C]) con tres niveles de severidad del incendio forestal (sin incendio, moderado y extremo). Las barras indican el promedio  $\pm$  error estándar de tres repeticiones (sitios). Las líneas punteadas muestran la tendencia de una J invertida; es decir, mayor cantidad de individuos en clases diamétricas menores.

the site with moderate level ( $H' = 1.83 \pm 1.73$ ). Diversity was higher than that reported by Alanís et al. (2008) and García-García, Alanís-Rodríguez, Aguirre-Calderón, Treviño-Garza, and Graciano-Ávila (2020) with values of  $H' = 1.6$  and  $H' = 0.64$  to  $1.6$ , respectively, in post-fire sites. Margalef's richness index was also significantly different ( $F = 2.08$ ,  $P \leq 0.001$ ) with a  $D_{Mg} = 2.01 \pm 1.88$  for moderate sites; however, it is lower than the  $D_{Mg} = 3.16$  value reported by Graciano-Ávila, Alanís-Rodríguez,

ecosistema al contar con reserva de individuos jóvenes (Manzanilla-Quijada et al., 2020).

#### Índices de diversidad y riqueza

La riqueza específica en este estudio fue de 12 especies, un resultado menor que el reportado por Mora-Donjuán et al. (2013), quienes registraron 20 especies en bosques posincendio. Cabe mencionar que, a diferencia



**Figure 2. Diversity and richness indices per forest fire severity (A); fire severity levels in Bosque La Primavera (B), Sierra de Quila (C), Sierra de Tapalpa (D); and in the study regions (E). In each index, different letters denote means ( $\pm$  standard error) significantly different according to the Tukey's test ( $P < 0.05$ ) among severity level or among regions.**

**Figura 2. Índices de diversidad y riqueza por severidades del incendio forestal (A); niveles de severidad del incendio en bosque La Primavera (B), Sierra de Quila (C), Sierra de Tapalpa (D); y en las regiones de estudio (E). En cada índice, las letras distintas denotan medias ( $\pm$  error estándar) significativamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey ( $P < 0.05$ ) entre el nivel de severidad o entre regiones.**



Aguirre-Calderón, Rubio-Camacho, and González-Tagle (2018). Regarding the Simpson's index, the  $D$  value =  $2.02 \pm 1.88$  for the site with moderate severity ( $F = 2.08$ ,  $P \leq 0.001$ ) was higher than that reported by Quintero-Gradilla et al. (2019) in their study on post-fire stand chronosequence of 8, 28, and 60 years with values of  $D = 0.09$ .

When analyzing fire levels of evaluated regions, differences were found in diversity and richness indices in Sierra de Quila ( $F = 33.26$ ,  $P \leq 0.001$ ; Figure 2C) and in Sierra de Tapalpa ( $F = 9.97$ ,  $P \leq 0.02$ ; Figure 2D), but not in Bosque La Primavera ( $P \geq 0.05$ ) (Figure 2B). The increase in diversity and richness in sites with moderate fires is related to the intermediate disturbance hypothesis, where there are favorable conditions for species and their biotic interactions (competition), which promotes greater diversity, due to the generation of ecological niches that avoid the competitive exclusion of species (Huston, 2014). In addition, physicochemical properties of the soil, understory vegetation and canopy cover are not substantially modified for moderate fire severities, which favors the survival and development of species (Cadena-Zamudio, Flores-Garnica, Flores-Rodríguez, & Lomelí-Zavala, 2020).

Finally, diversity indices between study regions (Figure 2E) were similar ( $P \geq 0.05$ ). Shannon's diversity indices  $H' = 1.82 \pm 1.72$  and Margalef richness  $D_{Mg} = 1.57 \pm 1.45$  in Sierra de Quila were higher than those reported by Buendía et al. (2019) of  $H' = 0.83$  to  $1.78$  and Hernández-Salas et al. (2013) with  $D_{Mg} = 0.90$  to  $1.04$  for temperate forest in Mexico.

### Similarity coefficient

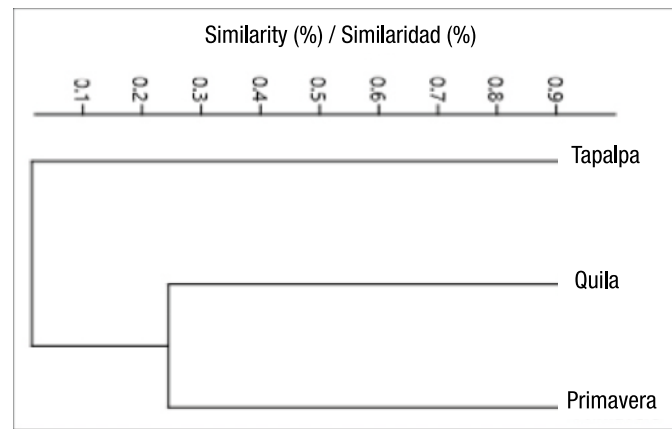
The grouping analysis (Bray-Curtis similarity coefficient) showed the formation of an isolated entity and a well-defined group (Figure 3). The first corresponded to Sierra de Tapalpa with 17 %; on the other hand, the group formed by Bosque La Primavera and Sierra de Quila had 33 % similarity, sharing the species *Q. obtusata*, *Q. resinosa* and *P. douglasiana*, which corresponds to an oak-pine plant community. The results of this study agree with Domínguez-Gómez et al. (2018), who found similarity greater than 30 % in their evaluation sites. The similarity of Bosque La Primavera and Sierra de Quila are influenced by the number of individuals of taxa with higher composition, mainly in sites with moderate and extreme fire (Table 3), but also by physiographic characteristics such as altitudinal affinity (1 500 to 2 000 m) (Santiago-Pérez, Ayón, Rosas-Espinoza, Rodríguez, & Toledo, 2014). The low similarity of the Tapalpa region may be due to the characteristics of the area such as altitude, presence of hills and slopes (Table 1).

del estudio mencionado, el presente evaluó severidades contrastantes del incendio, por lo que la mortalidad de las especies aumenta en función de mayor severidad (Neris et al., 2016).

El ANOVA indicó que el modelo fue significativo; sin embargo, los resultados de la prueba de Tukey evidenciaron que siete de las nueve interacciones posibles no fueron estadísticamente diferentes ( $F = 165.4$ ,  $P > 0.05$ ). En este sentido, los factores nivel de severidad y región se analizan por separado en la Figura 2. Al respecto, los índices de diversidad y riqueza fueron significativamente diferentes entre los niveles de severidad ( $F = 106.6$ ,  $P \leq 0.001$ ) (Figura 2A). La diversidad de Shannon fue mayor ( $F = 106.6$ ,  $P \leq 0.001$ ) en el sitio con nivel moderado ( $H' = 1.83 \pm 1.73$ ). La diversidad fue más alta que la reportada por Alanís et al. (2008) y García-García, Alanís-Rodríguez, Aguirre-Calderón, Treviño-Garza, y Graciano-Ávila (2020) con valores de  $H' = 1.6$  y  $H' = 0.64$  a  $1.6$ , respectivamente, en sitios posincendio. El índice de riqueza de Margalef también fue diferente significativamente ( $F = 2.08$ ,  $P \leq 0.001$ ) con un valor  $D_{Mg} = 2.01 \pm 1.88$  en sitios moderados; sin embargo, es menor que el valor  $D_{Mg} = 3.16$  reportado por Graciano-Ávila, Alanís-Rodríguez, Aguirre-Calderón, Rubio-Camacho, y González-Tagle (2018). En cuanto al índice de Simpson, el valor  $D = 2.02 \pm 1.88$  en el sitio con severidad moderada ( $F = 2.08$ ,  $P \leq 0.001$ ) fue superior que el reportado por Quintero-Gradilla et al. (2019) en su estudio sobre cronosecuencia de rodales posincendio de 8, 28 y 60 años con valores de  $D = 0.09$ .

Al analizar los niveles del incendio de las regiones evaluadas se encontraron diferencias en los índices de diversidad y riqueza en la sierra de Quila ( $F = 33.26$ ,  $P \leq 0.001$ ; Figura 2C) y en la sierra de Tapalpa ( $F = 9.97$ ,  $P \leq 0.02$ ; Figura 2D), pero no en el bosque La Primavera ( $P \geq 0.05$ ) (Figura 2B). El aumento de la diversidad y riqueza en sitios con incendios moderados está relacionado con la hipótesis del disturbio intermedio, donde existen condiciones favorables para las especies y sus interacciones bióticas (competencia), lo que promueve mayor diversidad, debido a que se generan nichos ecológicos que evitan la exclusión competitiva de las especies (Huston, 2014). Aunado a lo anterior, en las severidades moderadas de los incendios no se modifican sustancialmente las propiedades fisicoquímicas del suelo, la vegetación del sotobosque y cobertura del dosel, lo que favorece la supervivencia y desarrollo de las especies (Cadena-Zamudio, Flores-Garnica, Flores-Rodríguez, & Lomelí-Zavala, 2020).

Finalmente, los índices de diversidad entre las regiones de estudio (Figura 2E) fueron similares ( $P \geq 0.05$ ). Los índices de diversidad de Shannon  $H' = 1.82 \pm 1.72$  y



**Figure 3. Bray-Curtis similarity coefficient of three forest regions in Jalisco, Mexico.**  
**Figura 3. Coeficiente de similitud de Bray-Curtis de tres regiones forestales de Jalisco, México.**

## Conclusions

Moderate severity of forest fire favored composition, structure and diversity of vegetation in temperate forests of Jalisco. The study regions are heterogeneous in structure, with active regeneration and high species diversity and richness in moderate severity compared to non-fire sites. This indicates that level of severity is a determining factor in the resilience capacity of forest ecosystem communities, mainly when it is moderate. Therefore, the evaluation of characteristics such as structure, composition and diversity of temperate forests according to forest fire severity will allow understanding changes in forest dynamics to make better conservation decisions in these ecosystems.

## Acknowledgments

This research was funded by project 1-1.6-14573934545-F-M.2.1 of Dr. José German Flores Garnica. The authors thank the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) for giving us all the facilities to carry out this study. We also thank the people of the Flora and Fauna Protection Area (APFF) of La Primavera, APFF of Sierra de Quila and APFF of Sierra de Tapalpa.

*End of English version*

## References / Referencias

Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Valdecantos-Dema, A., Pando-Moreno, M., Aguirre-Calderón, O., & Treviño-Garza, E. J. (2011). Caracterización de 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

riqueza de Margalef  $D_{Mg} = 1.57 \pm 1.45$  en la sierra de Quila fueron superiores que los reportados por Buendía et al. (2019) de  $H' = 0.83$  a 1.78 y Hernández-Salas et al. (2013) con  $D_{Mg} = 0.90$  a 1.04 para bosques templados de México.

## Coeficiente de similitud

El análisis de agrupamiento (coeficiente de similitud de Bray-Curtis) mostró la formación de una entidad aislada y un conjunto bien definido (Figura 3). La primera correspondió a la sierra de Tapalpa con 17%; en cambio, el grupo formado por el bosque La Primavera y sierra de Quila tuvo 33% de similitud compartiendo las especies *Q. obtusata*, *Q. resinosa* y *P. douglasiana*, lo que corresponde a una comunidad vegetal de encino-pino. Los resultados de este estudio concuerdan con Domínguez-Gómez et al. (2018), quienes encontraron similitud mayor de 30% en sus sitios de evaluación. La similitud de las regiones del bosque La Primavera y sierra de Quila están influenciadas por el número de individuos de los taxones con mayor composición, principalmente en sitios con incendio moderado y extremo (Cuadro 3), pero también por características fisiográficas como la afinidad altitudinal (1 500 a 2 000 m) (Santiago-Pérez, Ayón, Rosas-Espinoza, Rodríguez, & Toledo, 2014). La baja similitud de la región de Tapalpa puede deberse a las características de la zona como la altitud, presencia de laderas y pendientes (Cuadro 1).

## Conclusiones

La severidad moderada del incendio forestal favoreció la composición, estructura y diversidad de la vegetación de los bosques templados de Jalisco. Las regiones de estudio son heterogéneas en su estructura, con una regeneración activa y alta diversidad y riqueza de especies en severidades moderadas en comparación con los sitios sin incendio. Esto indica que el nivel de

- Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Espinoza-Vizcarra, D., Jurado-Ybarra, E., Aguirre-Calderón, O. A., & González-Tagle, M. A. (2008). Evaluación del estrato arbóreo en un área restaurada post-incendio en el Parque Ecológico Chipinque, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 14(2), 113–118. Retrieved from <https://revistas.chapingo.mx/forestales/?section=articles&subsec=issues&numero=38&articulo=498>
- Alanís-Rodríguez, E., Mora, O. A., & Marroquín de la Fuente, J. (2020). *Muestreo ecológico de la vegetación* (1.ª ed.). Nuevo León, México: Tendencias.
- Bray, J. R., & Curtis, J. T. (1957). An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographs*, 27(4), 325–349. doi: 10.2307/1942268
- Buendía-Rodríguez, E., Treviño-Garza, E. J., Alanís-Rodríguez, E., Aguirre-Calderón, O. A., González-Tagle, M. A., & Pompa-García, M. (2019). Estructura de un ecosistema forestal y su relación con el contenido de carbono en el noreste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10(54), 4–25. doi: 10.29298/rmcf.v10i54.149
- Cadena-Zamudio, D. A., Flores-Garnica, J. G., Flores-Rodríguez, A. G., Lomelí-Zavala, M. E. (2020). Efecto de incendios en la vegetación de sotobosque y propiedades químicas de suelo de bosques templados. *Agroproductividad*, 13(4), 65–72. doi: 10.32854/agrop.vi.1684
- Challenger, A., & Dirzo, R. (2009). Factores de cambio y estado de la biodiversidad. In CONABIO (Ed.), *Capital natural de México. Estado de conservación y tendencias de cambio* (vol. II, pp. 37–73). México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2020). Normales climatológicas por estado. Retrieved November 25, 2020 from <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=jal>
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2020). Reporte semanal de incendios. Retrieved July 20, 2020, from <https://www.gob.mx/conafor/es/documentos/reportesemanal-de-incendios>
- De León, M. G. D., García, A. A., Andrade, S. H., & Ruíz, A. M. (2013). Distribución de la vegetación a través de un transecto sobre la Sierra Madre Occidental de Durango, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 9(1), 30–40. Retrieved from <http://revista.itson.edu.mx/index.php/rlrn/article/view/209>
- Del-Val, E., & Sáenz-Romero, C. (2017). Insectos descortezadores (Coleoptera: Curculionidae) y cambio climático: problemática actual y perspectivas en los bosques templados. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 20(2), 53–60. doi: 10.1016/j.recqb.2017.04.006
- Domínguez-Gómez, T. G., Hernández-González, B. N., González-Rodríguez, H., Cantú-Silva, I., Alanís-Rodríguez, E., & Alvarado, M. D. S. (2018). Estructura y composición de la vegetación en cuatro sitios de la severidad es un factor determinante en la capacidad de resiliencia de las comunidades de los ecosistemas forestales, principalmente cuando es moderada. Por tanto, la evaluación de características como la estructura, composición y diversidad de los bosques templados en función de la severidad de los incendios forestales permitirá entender los cambios en la dinámica forestal para tomar mejores decisiones de conservación en estos ecosistemas.
- ### Agradecimientos
- La presente investigación fue financiada por el proyecto 1-1.6-14573934545-F-M.2.1 del Dr. José German Flores Garnica. Agradecemos al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) por darnos todas las facilidades para realizar el presente trabajo, así como al personal del Área de Protección de Flora y Fauna (APFF) La Primavera, del APFF Sierra de Quila y APFF Sierra Tapalpa.
- ### Fin de la versión en español
- 
- Sierra Madre Occidental. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(50), 9–34. doi: 10.29298/rmcf.v9i50.227
- Flores-Garnica, J. G., Flores-Rodríguez, A. G., Lomelí-Zavala, M. E., Ruíz-Guzmán, E., & García-Bernal, J. A. (2019). Caracterización de la regeneración en áreas impactadas por incendios forestales del estado de Jalisco. Tepatitlán, Jalisco, México: Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco (CIRPAC).
- García-García, S. A., Alanís-Rodríguez, E., Aguirre-Calderón, O. A., Treviño-Garza, E. J., & Graciano-Ávila, G. (2020). Regeneración y estructura vertical de un bosque de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco en Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(58), 92–111. doi: 10.29298/rmcf.v11i58.665
- Graciano-Ávila, G., Alanís-Rodríguez, E., Aguirre-Calderón, Ó. A., González-Tagle, M. A., Treviño-Garza, E. J., & Mora-Olivo, A. (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
- 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 vegetación arbórea en un bosque templado de Durango, México. *Acta Botánica Mexicana*, 127, e1522. doi: 10.21829/abm127.2020.1522
- Graciano-Ávila, G., Alanís-Rodríguez, E., Aguirre-Calderón, Ó. A., Rubio-Camacho, E. A., & González-Tagle, M. A. (2018). Estructura y diversidad postincendio en un área del matorral espinoso tamaulipeco. *Polibotánica*, 45, 89–100. doi: 10.18387/polibotanica.45.7

- GraphPad Prism (2019). Prism versión 8.2.1 para Windows. La Jolla California, USA: Author.
- Guzmán, L. M. A. (2009). Distribución, sistemática, y algunos aspectos ecológicos del mezquite *Prosopis* spp. (L.) en el estado de Nuevo León, México. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México.
- Hammer, Ø., Harper, D. A., & Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaentologia Electronica*, 4(1), 9. Retrieved from [https://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/past.pdf](https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/past.pdf)
- He, T., Lamont, B. B., & Pausas, J. G. (2019). Fire as a key driver of Earth's biodiversity. *Biological Reviews*, 94(6), 1983–2010. doi: 10.1111/brv.12544
- Hernández-Salas, J., Aguirre-Calderón, Ó. A., Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Treviño-Garza, E. J., González-Tagle, M. A., ... Domínguez-Pereda, A. (2013). Efecto del manejo forestal en la diversidad y composición arbórea de un bosque templado del noroeste de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 19(2), 189–200. doi: 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., ... Domínguez-Pereda, L. A. (2018). Dinámica del crecimiento de un bosque templado bajo manejo en el noroeste de México. *Madera y Bosques*, 24(2). doi: 10.21829/myb.2018.2421767
- Heydari, M., Moradzadeh, H., Omidipour, R., Mezbani, A., & Pothier, D. (2020). Spatio-temporal changes in the understory heterogeneity, diversity, and composition after fires of different severities in a semiarid oak (*Quercus brantii* Lindl.) forest. *Land Degradation & Development*, 31(8), 1039–1049. doi: 10.1002/ldr.3518
- Huerta, M. F. M., & Ibarra, J. L. M. (2014). Incendios en el bosque La Primavera (Jalisco, México): Un acercamiento a sus posibles causas y consecuencias. *Ciencia UAT*, 9(1), 23–32. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/cuat/v9n1/2007-7858-cuat-9-01-00023.pdf>
- Huston, M. A. (2014). Disturbance, productivity, and species diversity: empiricism vs. logic in ecological theory. *Ecology*, 95(9), 2382–2396. doi: 10.1890/13-1397.1
- Juárez-Martínez, A., & Rodríguez-Trejo, D. A. (2003). Efecto de los incendios forestales en la regeneración de *Pinus oocarpa* var. *ochoterenae*. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 9(2), 125–130. Retrieved from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62913142003>
- Lloret, F. (2004). Régimen de incendios y regeneración. Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. In F. Valladares (Ed.), *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante* (pp. 101–126). Madrid, España: Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S. A.
- López-Hernández, J. A., Aguirre-Calderón, Ó. A., Alanís-Rodríguez, E., Monarrez-Gonzalez, 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. doi: 10.21829/myb.2017.2311518
- Louman, B. (2001). *Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central* (vol. 46). Costa Rica: CATIE.
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring biological diversity. The commonness and rarity of species*. Oxford, UK: Blackwell Science Ltd.
- Manzanilla-Quijada, G. E., Mata-Balderas, J. M., Treviño-Garza, E. J., Aguirre-Calderón, Ó. A., Alanís-Rodríguez, E., & Yerena-Yamallel, J. I. (2020). Diversidad, estructura y composición florística de bosques templados del sur de Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(61), 94–123. doi: 10.29298/rmcf.v11i61.703
- Martínez-Antúnez, P., Wehenkel, C., Hernández-Díaz, J. C., González-Elizondo, M., Corral-Rivas, J. J., & Pinedo-Álvarez, A. (2013). Effect of climate and physiography on the density of trees and shrubs species in Northwest Mexico. *Polish Journal of Ecology*, 61(2), 283–295. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/249963406\\_Effect\\_of\\_climate\\_and\\_physiography\\_on\\_the\\_density\\_of\\_tree\\_and\\_shrub\\_species\\_in\\_Northwest\\_Mexico](https://www.researchgate.net/publication/249963406_Effect_of_climate_and_physiography_on_the_density_of_tree_and_shrub_species_in_Northwest_Mexico)
- Monárrez-González, J. C., Pérez-Verdín, G., López-González, C., Márquez-Linares, M. A., & González, E. M. D. S. (2018). Efecto del manejo forestal sobre algunos servicios ecosistémicos en los bosques templados de México. *Madera y Bosques*, 24(2). doi: 10.21829/myb.2018.2421569
- Mora-Donjuán, C. A., Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., González-Tagle, M. A., Yerena-Yamallel, J. I., & Cuellar-Rodríguez, L. G. (2013). Estructura, composición florística y diversidad del matorral espinoso tamaulipeco, México. *Ecología Aplicada*, 12(1), 29–34. Retrieved from [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1726-22162013000100004](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162013000100004)
- Neris, J., Santamarta, J. C., Doerr, S. H., Prieto, F., Agulló-Pérez, J., & García-Villegas, P. (2016). Post-fire soil hydrology, water erosion and restoration strategies in Andosols: a review of evidence from the Canary Islands (Spain). *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 9(4), 583. doi: 10.3832/ifer1605-008
- Pourreza, M., Hosseini, S. M., Sinigani, A. A. S., Matinizadeh, M., & Alavai, S. J. (2014). Herbaceous species diversity in relation to fire severity in Zagros oak forests, Iran. *Journal of Forestry Research*, 25(1), 113–120. doi: 10.1007/s11676-014-0436-3
- Quintero-Gradilla, S. D., Jardel-Peláez, E. J., Cuevas-Guzmán, R., García-Oliva, F., & Martínez-Yrizar, A. (2019). Cambio postincendio en la estructura y composición del estrato arbóreo y carga de combustibles en un bosque de *Pinus douglasiana* de México. *Madera y Bosques*, 25(3), e2531888. doi: 10.21829/myb.2019.2531888
- Rivas, J. C., Calderón, O. A., & Pérez, J. J. (2008). Un análisis del efecto del aprovechamiento forestal sobre la diversidad estructural en el bosque mesófilo de

- montaña «El Cielo», Tamaulipas, México. *Forest Systems*, 14(2), 217-228. doi: 10.5424/SRF/2005142-00885
- Rodríguez, E. V. S., Mata, L. L., Moya, E. G., & Guzmán, R. C. (2003). Estructura, composición florística y diversidad de especies leñosas de un bosque mesófilo de montaña en la Sierra de Manantlán, Jalisco. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 73, 17-34. Retrieved from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57707302>
- Rodríguez-Trejo, D. A., & Fulé, P. Z. (2003). Fire ecology of Mexican pines and a fire management proposal. *International Journal of Wildland Fire*, 12(1), 23-37. doi: 10.1071/WF02040
- Santiago-Pérez, A. L., Ayón, E. A., Rosas-Espinoza, V. C., Rodríguez, Z. F. A., & Toledo, G. S. L. (2014). Estructura del bosque templado de galería en la sierra de Quila, Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(24), 144-159. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v5n24/v5n24a12.pdf>
- Solís-Moreno, R., Aguirre-Calderón, Ó. 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. doi: 10.21829/myb.2006.1221242
- Sugihara, N. G., Van-Wagtendonk, J. W., Fites-Kaufman, J., Shaffer, K. E., & Thode, A. E. (2006). *Fire in California's ecosystems*. USA: University of California Press.
- The Plant List. (2013). The Plant List version 1.1. Retrieved September 1, 2020, from <http://www.theplantlist.org/>
- Wehenkel, C., Corral-Rivas, J. J., & Gadov, K. V. (2014). Quantifying differences between ecosystems with particular reference to selection forests in Durango/Mexico. *Forest Ecology and Management*, 316, 117-124. doi: 10.1016/j.foreco.2013.05.056