

Analysis of the structure and diameter distribution in temperate forests under the perspective of the potential fire regime

Análisis de la estructura y distribuciones diamétricas en bosques templados bajo la perspectiva del régimen potencial de fuego

Ernesto A. Rubio-Camacho¹; Marco A. González-Tagle²; Eduardo Alanís-Rodríguez²; Álvaro A. Chávez-Durán¹; Oscar A. Aguirre-Calderón².

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Carretera libre Tepatitlán-Lagos de Moreno km 8. Apartado postal 56, C. P. 47600. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, MÉXICO.

²Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Carretera Monterrey-Cd. Victoria km 145. Apartado postal 41, C. P. 67700. Linares, Nuevo León, MÉXICO.

Correo-e: marco.gonzaleztag@uanl.edu.mx Tel. +52 (821) 212 4895 ext. 144 (*Autor para correspondencia)

Abstract

The ecological role of fires in ecosystems can be studied through the fire regime. The objective of the study was to evaluate the structure and species composition in an area with a potential regime of frequent and low severity fires under two frequency scenarios in Iturbide, Nuevo León. Two 1-hectare parcels were established with different fuel loads (P1 = smaller load, P2 = larger load); the diameter, size, and coverage of the smaller and larger species were recorded. The forest mensuration variables were analyzed in order to obtain knowledge of the species composition of the forest. In the larger woodland, the *Pinus* group dominates in both parcels; this species has higher density and coverage values in P1, unlike the *Quercus* group and Others group (broadleaved). In the smaller woodland, all groups showed higher coverage values in P1, indicating active regeneration in the area with a shorter fire absence period. The diameter distributions were adjusted to the Weibull distribution and reflected the fire regime. It is therefore advised to implement a program for the integral management of fires that encompasses the beneficial effects of the fires.

Keywords: Weibull distribution, succession dynamics, Northeastern Mexico, *Pinus pseudostrobus*.

Resumen

El papel ecológico del fuego en los ecosistemas puede estudiarse a través del régimen de incendios. El objetivo del estudio fue evaluar la estructura y composición de especies en un área con régimen potencial de incendios frecuentes y de baja severidad bajo dos escenarios de frecuencia en Iturbide, Nuevo León. Se establecieron dos parcelas de 1 ha con distinta carga de combustible (P1 = menor carga, P2 = mayor carga) y se registraron las especies, diámetro, altura y cobertura del arbolado mayor y menor. Las variables dasométricas se analizaron para obtener la composición actual del bosque. En el arbolado mayor, el grupo *Pinus* domina en ambas parcelas; esta especie tiene mayores valores de densidad y cobertura en la P1, caso contrario de los grupos *Quercus* y Otras (latifoliadas). En el arbolado menor, todos los grupos mostraron valores mayores de cobertura en P1, indicando regeneración activa en el área de menor periodo de ausencia de fuego. Las distribuciones diamétricas se ajustaron a la distribución Weibull y constituyen un reflejo del régimen de fuego en estos ecosistemas. Los resultados aportan conocimiento del régimen de incendios, por lo cual se recomienda la implementación de un programa de manejo integral del fuego que integre los efectos benéficos de los incendios.

Palabras clave: Distribución de Weibull, dinámica sucesional, noreste de México, *Pinus pseudostrobus*.

Introduction

Forest fires, although generally perceived as a serious threat to forests, constitute a factor that has played a role in the dynamics of several ecosystems on the planet (Rodríguez-Trejo, 1996; Whelan, 1995). This can be analyzed through the understanding of fire regimes (Jardel-Peláez, 2010), whose main attributes (frequency, severity and pattern) are directly related to the forest structure, the species composition, and the reproductive and protection strategies in case of a fire in different terrestrial ecosystems (Ávila-Flores et al., 2014; Rodríguez-Trejo, 2008; Rodríguez-Trejo & Fulé, 2003; Whelan, 1995).

Fire frequency, characterized by its recurrence interval, is one of the main attributes of a fire regime (Agee, 1993). Frequency changes could directly affect the severity and pattern of fires; that is to say, the longer the recurrence interval of a fire, the higher the accumulation of combustion material, therefore increasing the potential of more intense and severe fires (Swanson, Jones, Wallin, & Cissel, 1994). In addition, this tends to decrease the ecosystem's resilience to forest fires, altering the structure and species composition (Jardel-Peláez, Alvarado-Celestino, Morfín-Rios, Castillo-Navarro, & Flores-Garnica, 2009).

In several forest ecosystems, fires act as a regulating agent for species composition (Pyne, Andrews, & Laven, 1996; Rodríguez-Trejo, 1996). Depending on the intensity and severity, fires can wipe out certain species while facilitating the development of others, so that, in theory, the dominance of favored species by the fire shall be evident in certain fire regimes (Rodríguez-Trejo, 2008). Similarly, the suppression of forest fires in ecosystems that have adapted to fires can affect their structure and composition, allowing the shade tolerant species to dominate the ones that are not shade tolerant (Gilliam & Platt, 1999). In this sense, the characterization of the forest structure, species composition and fire ecology present a comprehensive picture of the species behavior in high or low forest fire frequency conditions.

This study was done in the juniper pine-oak forests of the Sierra Madre Oriental in Mexico. This type of forest, due to its bio-climatic and physical characteristics, has a potential fire regime of high frequency and low severity fires (0 - 35 years), and low natural severity, which facilitates the preservation of diversity in the structure and species composition (Jardel-Peláez et al., 2009; Rodríguez-Trejo, 2008). However, adjacent areas with different fuel loads are present, which indicates a difference in the absence period of fires (Sackett & Haase, 1996; Whelan, 1995). The study of the structure and species composition in the same ecosystem but in different fire incidence scenarios such as this one

Introducción

Los incendios forestales, aunque generalmente se perciben como una amenaza grave para los bosques, constituyen un factor que ha formado parte de la dinámica de muchos ecosistemas del planeta (Rodríguez-Trejo, 1996; Whelan, 1995). Esto se puede analizar a través del entendimiento del régimen de fuego (Jardel-Peláez, 2010), cuyos principales atributos (frecuencia, severidad y extensión) se relacionan directamente con la estructura del bosque, la composición de especies y sus estrategias reproductivas y de protección ante el fuego en distintos ecosistemas terrestres (Ávila-Flores et al., 2014; Rodríguez-Trejo, 2008; Rodríguez-Trejo & Fulé, 2003; Whelan, 1995).

La frecuencia de incendios, caracterizada por su intervalo de retorno, es uno de los principales atributos del régimen de fuego (Agee, 1993). Los cambios en la frecuencia pueden afectar directamente la severidad y extensión de los incendios; es decir, entre mayor sea el intervalo de retorno del fuego, mayor será la acumulación de material combustible, incrementando así el potencial de incendios extensos y severos (Swanson, Jones, Wallin, & Cissel, 1994). Además, esto tiende a disminuir la resiliencia de los ecosistemas ante los incendios forestales, alterando la estructura y composición de especies (Jardel-Peláez, Alvarado-Celestino, Morfín-Rios, Castillo-Navarro, & Flores-Garnica, 2009).

En muchos ecosistemas forestales, el fuego actúa como agente regulador de la composición de especies (Pyne, Andrews, & Laven, 1996; Rodríguez-Trejo, 1996). Dependiendo de la intensidad y severidad, los incendios pueden eliminar ciertas especies mientras que favorecen el desarrollo de otras, de tal manera que, en teoría, la dominancia de las especies favorecidas por el fuego debe ser evidente en determinado régimen de incendios (Rodríguez-Trejo, 2008). Asimismo, la supresión de incendios forestales en ecosistemas adaptados al fuego puede tener efectos sobre la estructura y composición, permitiendo que las especies tolerantes a la sombra dominen sobre las que no (Gilliam & Platt, 1999). En este sentido, la caracterización de la estructura del bosque, composición de especies y ecología del fuego brindan un panorama detallado sobre el comportamiento de las especies en condiciones de alta o baja frecuencia de incendios forestales.

El presente estudio se realizó en los bosques de pino-encino-*juniperus* de la Sierra Madre Oriental de México. Este tipo de bosques, por sus características bioclimáticas y físicas, poseen régimen potencial de incendios frecuentes (0 - 35 años) y de baja severidad de manera natural, que favorece el mantenimiento de la diversidad de estructuras y composición de especies (Jardel-Peláez et al., 2009; Rodríguez-Trejo, 2008). Sin embargo, en el

could bring forth new knowledge on the dynamics and relation sustained with forest fires.

Other studies that characterize the diversity of species and their vertical distribution have taken place in the same location as this study (Campus Ecológico Iturbide, Nuevo León) (Jiménez, Aguirre, & Kramer, 2001; Rubio-Camacho, González-Tagle, Jiménez-Pérez, Alanís-Rodríguez, & Ávila-Flores, 2014). Based on these references, the necessity arises to compare the diameter distributions by groups of species and their structural characteristics, including the smaller trees of less than 7.5 cm in diameter and a height of 1.30 m. The general objective of this work is to provide knowledge on the temperate forests in Northeastern Mexico, in the context of the potential fire regime. In order to achieve this objective, two adjacent areas with different fuel loads were selected: P1 (smaller load) and P2 (larger load), conditions that indicate a longer period of fire absence in P2. The specific objectives were: 1) Characterize the forest structure using the parameters of the stand (density, diameter, height and coverage); 2) Compare the structure between the studied adjacent areas; and, 3) Adjust the diameter distributions to a probability distribution function. The starting hypothesis considered that: 1) The actual regime (potential) of forest fires benefits the species that are adapted to fires, such as pine trees; 2) The presence of extended fire absence periods benefits the species tolerant to shade, such as broadleaved trees; and, 3) According to the potential fire regime, it is assumed that the diameter distributions are not adjusted to a normal distribution.

Materials and methods

The research work was carried out in the area of Campus Ecológico Iturbide, managed by the Universidad Autónoma de Nuevo León. The campus is located 15 km southeast of Iturbide in the state of Nuevo León, Mexico between the 24° 42' N and 99° 51' W coordinates and covers an approximate area of 1,035 ha with an elevation range between 1,200 and 1,890 m. The sampling area is located in the *juniper*-pine-oak forest region.

The sampling of the arboreal vegetation was done in two permanent parcels (P1 and P2), each one covering 1-hectare in size (Figure 1). These parcels were located in two adjacent areas with similar physiographic conditions; that is to say, the same exposition, altitude and slope, but with different fire histories. However, even though there are no historical records of the presence of fire in the areas, evidence of fire was found in P1, such as trees with charred bark and a smaller fuel load (visual estimation), mostly in the organic layer of the floor, completely opposing characteristics of those in P2. According to Agee (1993) and Whelan (1995), the evidence in P1 is the result of a shorter fire

área se perciben rodales que presentan cargas distintas de material combustible, lo cual indica diferencia en el periodo de ausencia del fuego (Sackett & Haase, 1996; Whelan, 1995). El estudio de la estructura y composición de especies en un mismo ecosistema, pero bajo distintos escenarios de incidencia de fuego como el presente, puede aportar conocimiento sobre la dinámica y relación con los incendios forestales.

En el área del presente estudio (Campus Ecológico Iturbide, Nuevo León) se han llevado a cabo estudios que caracterizan la diversidad de especies y su distribución vertical (Jiménez, Aguirre, & Kramer, 2001; Rubio-Camacho, González-Tagle, Jiménez-Pérez, Alanís-Rodríguez, & Ávila-Flores, 2014). A partir de estas referencias surge la necesidad de comparar las distribuciones diamétricas por grupos de especies y sus características estructurales, añadiendo el arbolado menor de 7.5 cm de diámetro a la altura de 1.30 m. En tal contexto, el objetivo general de este trabajo fue aportar conocimiento de los bosques templados del noreste de México, bajo la perspectiva del régimen potencial de fuego. Para ello se seleccionaron dos rodales con diferencias en las cargas de combustibles: P1 (menor carga) y P2 (mayor carga), condiciones que indican periodo mayor de ausencia de fuego en P2. Los objetivos específicos fueron: 1) Caracterizar la estructura del bosque mediante los parámetros del rodal (densidad, diámetro, altura y cobertura); 2) Comparar la estructura entre los rodales estudiados y; 3) Ajustar las distribuciones diamétricas a alguna función de distribución de la probabilidad. Las hipótesis de partida consideraron que: 1) El régimen actual (potencial) de incendios favorece a las especies que tienen adaptaciones al fuego, como los pinos; 2) La presencia de periodos amplios con ausencia del fuego favorece a las especies tolerantes a la sombra, como las latifoliadas; 3) De acuerdo con el régimen potencial de fuego, se asume que las distribuciones diamétricas no se ajustan a una distribución normal.

Materiales y métodos

El trabajo de investigación se llevó a cabo en el área del Campus Ecológico Iturbide, manejado por la Universidad Autónoma de Nuevo León. El campus se encuentra ubicado a 15 km al sureste de Iturbide en el estado de Nuevo León, México, entre las coordenadas 24° 42' N y 99° 51' W; cubre una superficie aproximada de 1,035 ha con rango altitudinal entre los 1,200 y 1,890 m. El área de muestreo está ubicada en la zona del bosque de pino-encino-*juniperus*.

El muestreo de la vegetación arbórea se hizo en dos parcelas permanentes (P1 y P2), con tamaño de 1 ha cada una (Figura 1). Estas parcelas se ubicaron en dos rodales con condiciones fisiográficas similares; es

recurrence interval; for the purposes of this study, it is therefore considered a valid comparing element between adjacent areas (smaller interval in P1 vs. longer interval in P2).

Sampling design

The permanent sampling parcels are 100 x 100 m. The parcels were oriented in relation to the slope and were established with a Vertex IV Hypsometer (®Haglöf Sweden AB) and a compass. Within each parcel, 20 x 20 squares (sub-parcels) were defined; there were 25 sub-parcels in total on each parcel. The sub-parcels were defined in order to facilitate field sampling.

In each sub-parcel, the largest woodland area was inventoried through the recording of the species of each specimen, the diameter at a height of 1.30 m ($d_{1.3} \geq 7.5$ cm) from the ground, total height (h) and diameter of the treetop (Benavides-Solorio, Rubio-Camacho, & Rueda-Sánchez, 2010; Rohman de la Vega, Ramírez-Maldonado, & Treviño-García, 1994; Olvera-Vargas, Moreno-Gómez, & Figueroa-Rangel, 1996). The smaller woodland area ($2.5 \leq x < 7.5$ cm) was measured in the center of each sub-parcel in circular nesting sites with a radius of 2 m, wherein the species, the diameter

decir, misma exposición, altitud y pendiente, pero con historial de incendios distinto. Sin embargo, aunque no se cuenta con registros históricos de la presencia del fuego en el área, en la P1 se encontraron evidencias de incendio tales como árboles con la corteza carbonizada y menor carga de combustibles (estimación visual), sobre todo en la capa orgánica del suelo, características totalmente opuestas en la P2. De acuerdo con Agee (1993) y Whelan (1995), las evidencias en la P1 son resultado de un intervalo de retorno de incendios más corto, por lo cual para fines del presente estudio se asume como un elemento válido de comparación entre rodales (intervalo menor en P1 vs intervalo mayor en P2).

Diseño del muestreo

Las parcelas permanentes de muestreo son de 100 x 100 m. Las parcelas se orientaron con respecto a la pendiente y se establecieron con un hipsómetro Vertex IV (®Haglöf Sweden AB) y una brújula. Dentro de cada parcela se delimitaron cuadros de 20 x 20 m (subparcelas); en total se tuvieron 25 subparcelas en cada parcela. Las subparcelas se delimitaron no con fines de análisis de la información sino para facilitar el muestreo de campo.

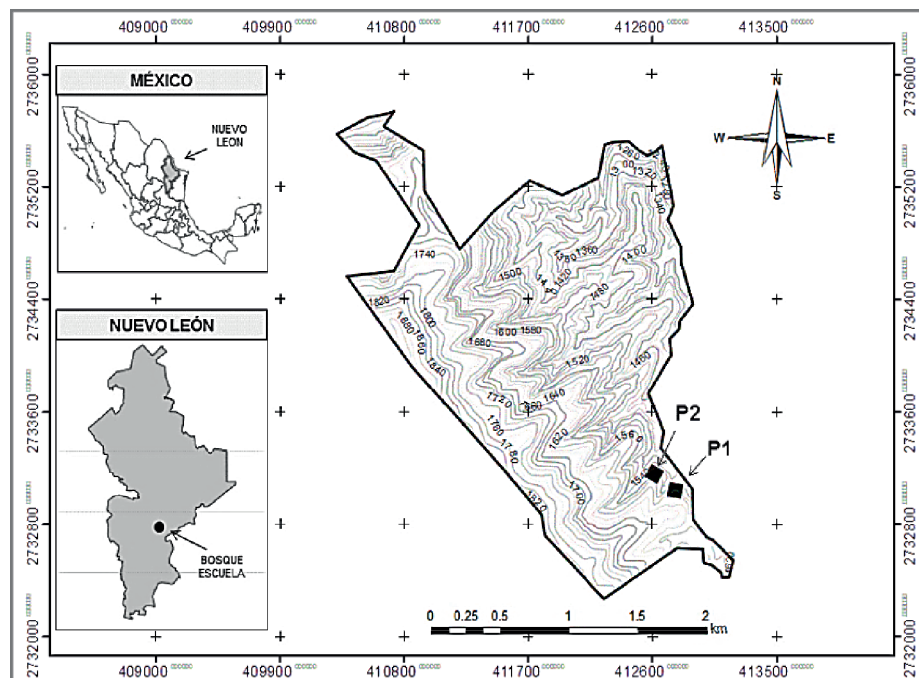


Figure 1. Location of the scientific station “Bosque escuela”, today called “Campus Ecológico, Iturbide” in Nuevo León. P = Parcel of 100 x 100 m. Source: Rubio-Camacho et al. (2014).

Figura 1. Ubicación de la estación científica “Bosque escuela”, actualmente llamada “Campus Ecológico, Iturbide” en Nuevo León. P = Parcela de 100 x 100 m. Fuente: Rubio-Camacho et al. (2014).

at 1.30 m ($d_{1.3}$) from the ground, the height, and the treetop diameter of each specimen were recorded (Brown, Oberheu, & Johnston, 1981).

Parameters of the adjacent area

The parameters of the adjacent area were determined based on the most important species reported in the study of Rubio-Camacho et al. (2014). According to the authors, the species with the highest ecological importance values were *Pinus pseudostrobus* Lindl., *Juniperus flaccida* Schltld. and *Quercus canbyi* Trel.; for this reason, the adjacent areas were characterized using groups. Four types in total were studied: *Pinus*, *Juniperus*, *Quercus* and the Others group that comprises the rest of the broadleaved species (Rubio-Camacho et al., 2014). Based on this classification, the following parameters of the adjacent area were determined: mean diameter (\bar{d}), density (N), basal area (G), mean height (\bar{h}) and canopy coverage (Cd) (Gadow, Sánchez, & Álvarez, 2007; Prodan, Peters, Cox, & Real, 1997).

Analysis of the information

The statistical and graphical analyses presented in this work were done through the free license software R v3.0.1 (R Development Core Team, 2011). The generated routines were created with the R-Studio v0.9 (RStudio, 2014) software.

Parameters of the adjacent area. The parameters of the adjacent area were compared among parcels, differentiating between the larger and the smaller woodland areas. In the case of the larger woodland area, the parameters of adjacent areas P1 and P2 were directly compared, not as pseudo-replicas, to prove the hypothesis that the fires have an influence on the structure of the vegetation. Regarding the diameters (\bar{d}) and heights (\bar{h}), and because the distribution of the information was not adjusted to the normal distribution, the non-parametric Mann-Whitney-Wilcoxon (Zar, 2010) test was used. The N and Cd were analyzed by comparing proportions with the “prop.test” function in R (Crawley, 2007). In the case of N, the total number of specimens was compared between parcels (N-P1 and N-P2) and groups (v. g. N-*Pinus*-P1 and N-*Pinus*-P2) (Gemma-Rutten, 2014); the coverage was also compared in a similar manner (Swamy & Terborgh, 2010).

In the case of the smaller woodland area, two nested sites with a radius of 2 m (25 per parcel) were considered. The information of each sub-parcel was extrapolated to hectares and in this manner, the means of the parameters of the adjacent areas of the smaller woodland were compared using the Mann-Whitney-Wilcoxon test (Zar, 2010).

Diameter distributions. The diameter distributions were adjusted to the Weibull probability distribution

En cada subparcela se inventarió el arbolado mayor mediante el registro de la especie de cada individuo, el diámetro a la altura de 1.30 m ($d_{1.3} \geq 7.5$ cm) a partir del suelo, altura total (h) y diámetro de copa (Benavides-Solorio, Rubio-Camacho, & Rueda-Sánchez, 2010; Rohman de la Vega, Ramírez-Maldonado, & Treviño-García, 1994; Olvera-Vargas, Moreno-Gómez, & Figueroa-Rangel, 1996). El arbolado menor ($2.5 \leq x < 7.5$ cm) se midió en el centro de cada subparcela en sitios anidados circulares con radio de 2 m, en los cuales se registraron la especie, el diámetro a los 1.30 m ($d_{1.3}$), la altura y el diámetro de copa de cada individuo (Brown, Oberheu, & Johnston, 1981).

Parámetros del rodal

Los parámetros del rodal se determinaron con base en las especies más importantes reportadas en el estudio de Rubio-Camacho et al. (2014). De acuerdo con los autores, las especies con los mayores valores de importancia ecológica fueron *Pinus pseudostrobus* Lindl., *Juniperus flaccida* Schltld. y *Quercus canbyi* Trel., por esta razón, los rodales se caracterizaron utilizando grupos. En total se estudiaron cuatro grupos: *Pinus*, *Juniperus*, *Quercus* y el grupo Otras que engloba el resto de las especies de latifoliadas (Rubio-Camacho et al., 2014). Con base en esta clasificación se determinaron los siguientes parámetros del rodal: diámetro medio (\bar{d}), densidad (N), área basal (G), altura media (\bar{h}) y cobertura del dosel (Cd) (Gadow, Sánchez, & Álvarez, 2007; Prodan, Peters, Cox, & Real, 1997).

Análisis de la información

Los análisis estadísticos y gráficos presentados en este trabajo se realizaron mediante el software de licencia libre R v3.0.1 (R Development Core Team, 2011); las rutinas generadas fueron creadas bajo el software R-Studio v0.9 (RStudio, 2014).

Parámetros del rodal. Los parámetros del rodal se compararon entre parcelas, diferenciando entre arbolado mayor y menor. En el caso del arbolado mayor, los parámetros de los rodales P1 y P2 se compararon directamente, no como pseudoréplicas, para probar la hipótesis de que los incendios tienen influencia en la estructura de la vegetación. Con respecto a los diámetros (\bar{d}) y alturas (\bar{h}), debido a que la distribución de los datos no se ajustó a la distribución normal, se utilizó la prueba no paramétrica Mann-Whitney-Wilcoxon (Zar, 2010). La N y Cd se analizaron mediante la comparación de proporciones con la función “prop.test” en R (Crawley, 2007). En el caso de la N, el número total de individuos se comparó entre parcelas (N-P1 y N-P2) y grupos (v. g. N-*Pinus*-P1 y N-*Pinus*-P2) (Gemma-Rutten, 2014); la cobertura también se comparó de manera similar (Swamy & Terborgh, 2010).

En el caso del arbolado menor se tomaron los sitios anidados de 2 m de radio (25 por parcela). La información

function (pdf) as described by Gadow et al. (2007) and Prodan et al. (1997). The diameter distributions were characterized through the grouping of trees in 5 cm classes, the smaller class of which corresponded to 7.5 cm. In this manner, the distribution of each group was analyzed (*Pinus*, *Quercus* and *Juniperus*) and was adjusted and modeled using the Weibull distribution.

Weibull probability distribution function (pdf). The Weibull probability distribution function (pdf) of two parameters (Weibull 2P) and its cumulative density function are given by models 1 and 2, respectively. Meanwhile the probability distribution function of three parameters (Weibull 3P) is given by model 3 and its corresponding probability distribution function by model 4 (Bailey & Dell, 1973).

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha\right] \quad (1)$$

$$f(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha\right] \quad (2)$$

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^{\alpha-1} \exp\left[-\left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^\alpha\right] \quad (3)$$

$$f(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^\alpha\right] \quad (4)$$

where:

$f(x)$ = Density probability function of the random variable

α , β , γ = Form, scale and position parameters, respectively.

The α , β , and γ parameters were estimated using the maximum likelihood method because the real distribution of the diameter classes of the parcels studies is known (Diéguez et al., 2009). The 2P model was calculated using the *fitdistrplus* library (Delignette-Muller, Dutang, Pouillot, & Denis, 2014), and for the 3P model, the method described by Robinson and Hamann (2010) was used. The maximum likelihood method was chosen because authors such as Nívar-Cháidez and Contrera-Aviña (2000) recommend it as one of the most efficient methods for the estimation of parameters of Weibull's pdf.

With the information estimators, the frequencies of the diameter categories were calculated through the cumulative density function. The goodness of fit

de cada una de las subparcelas se extrapoló a hectárea y de esta manera las medianas de los parámetros del rodal del arbolado menor se compararon mediante la prueba Mann-Whitney-Wilcoxon (Zar, 2010).

Distribuciones diamétricas. Las distribuciones diamétricas se ajustaron a la función de distribución de probabilidad (fdp) de Weibull como lo describen Gadow et al. (2007) y Prodan et al. (1997). Las distribuciones diamétricas se caracterizaron mediante la agrupación de los árboles en clases de 5 cm, cuya clase menor correspondió a 7.5 cm. De este modo, se analizó la distribución de cada grupo (*Pinus*, *Quercus* y *Juniperus*) y se ajustó y modeló mediante la distribución de Weibull.

Función de distribución de probabilidad (fdp) de Weibull. La función de distribución de probabilidad (fdp) de dos parámetros (Weibull 2P) y su función de densidad acumulativa (fda) están dadas por los modelos 1 y 2, respectivamente. En tanto que la fdp de tres parámetros (Weibull 3P) está dada por el modelo 3 y su respectiva fda por el modelo 4 (Bailey & Dell, 1973).

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha\right] \quad (1)$$

$$f(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha\right] \quad (2)$$

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^{\alpha-1} \exp\left[-\left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^\alpha\right] \quad (3)$$

$$f(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^\alpha\right] \quad (4)$$

donde:

$f(x)$ = Función de densidad de probabilidad de la variable aleatoria

α , β , γ = Parámetros de forma, escala y posición, respectivamente.

Los parámetros α , β , y γ se estimaron por el método de máxima verosimilitud debido a que la distribución real de las clases diamétricas de las parcelas estudiadas se conoce (Diéguez et al., 2009). El modelo 2P se calculó utilizando la librería *fitdistrplus* (Delignette-Muller, Dutang, Pouillot, & Denis, 2014) y para el 3P se usó el método descrito por Robinson y Hamann (2010). El método de máxima verosimilitud se escogió debido a que autores como Nívar-Cháidez y Contreras-Aviña (2000) lo recomiendan como uno de los métodos más eficientes para la estimación de los parámetros de la fdp de Weibull.

was determined with the Kolmogorov-Smirnov test (K-S). The model with the best fit was chosen based on the error index known as relative discrepancy (RD), that evaluates the similarity between the frequencies observed and estimated, generated based on the cumulative density function. The results of the statistical analysis are shown to be between 1 and 0, where the values closer to 1 indicate that the distribution observed and the one calculated do not have anything in common, and the 0 value indicates that the distributions are identical (Gadow et al., 2007; Quezada & Trincado, 2002).

Results and discussion

Parameters of the stand (stand for larger trees)

In Table 1, the dasometric characteristics characteristics of the studied parcels can be observed. The groups were ordered according to their ecological importance (Rubio-Camacho et al., 2014); the first is the *Pinus* group, followed by *Quercus*, *Juniperus* and lastly the Others group.

The general comparison between parcels showed that P2 has a significantly ($P > 0.001$) higher number of trees (669) than P1 (561); the median diameter is statistically smaller ($P = 0.03$) in P1 than it is in P2, same as the height average ($P = 0.02$). The results reveal that P2 is a denser area; however, the trees have a larger dimension in diameter and height in P1 (Table 1). This is consistent with the study of Holden, Morgan, Rollins, and Kavanagh (2007) who found that the areas with frequent fires tend to be less dense, but have higher values when it comes to mensuration characteristics.

The groups also present significant differences, more notably in density and coverage. Regarding density, the number of specimens from the *Pinus* group is higher in P1 than in P2 ($P < 0.001$); *Quercus* presents a higher density in P2 than in P1 ($P < 0.001$), same as the Others group ($P = 0.003$). Regarding coverage, the *Pinus* group shows a larger area in P1 than in P2 ($P < 0.001$), meanwhile the *Quercus* group and the Others group also registered significant differences ($P < 0.001$) being larger in P2 than in P1 (Table 1). In addition, in the case of *Juniperus*, the density and coverage were statistically equal in the two parcels. The broadleaved trees have a stronger presence and coverage in P2. This could be the result of the absence of fire in longer periods of time in which the species that are adapted to fire and are intolerant to shade give way to the broadleaved trees (Oliver & Larson, 1996). *Pinus pseudostrabus* is intolerant to shade, resistant to superficial fires and regenerates its treetop in younger trees when it has been subjected to low severity fires; therefore, when there are long periods without fires, the species could

Con los estimadores de los datos se calcularon las frecuencias de las categorías diamétricas mediante las fda. La bondad de ajuste se determinó con la prueba de Kolmogorov-Smirnov (K-S). El modelo con mejor ajuste se eligió con base en el índice de error conocido como discrepancia relativa (DR), que evalúa la similitud entre las frecuencias observadas y las estimadas, generadas a partir de las fda. Los resultados del estadístico se muestran entre 1 y 0, donde los valores cercanos a 1 indican que las distribuciones observadas y calculadas no tienen nada en común y el valor 0 indica que las distribuciones son idénticas (Gadow et al., 2007; Quezada & Trincado, 2002).

Resultados y discusión

Parámetros del rodal (arbolado mayor)

En el Cuadro 1 se observan las características dasométricas de las parcelas estudiadas. Los grupos se ordenaron de acuerdo con su importancia ecológica (Rubio-Camacho et al., 2014); el primero es el grupo *Pinus*, seguido de *Quercus*, *Juniperus* y por último, el grupo Otras.

La comparación general entre parcelas demostró que la P2 tiene significativamente ($P > 0.001$) mayor número de árboles (669) que la P1 (561); el diámetro medio es estadísticamente mayor ($P = 0.03$) en la P1 que la P2, al igual que el promedio de altura ($P = 0.02$). Los resultados revelan que la P2 es un área más densa; sin embargo, los árboles presentan mayores dimensiones en diámetro y altura en la P1 (Cuadro 1). Esto concuerda con el estudio de Holden, Morgan, Rollins, y Kavanagh (2007), quienes encontraron que las áreas bajo incendios frecuentes tienden a ser menos densas, pero con mayores valores en cuanto a características dasométricas.

Los grupos también presentan diferencias significativas, sobre todo en densidad y cobertura. En cuanto a la densidad, el número de individuos del grupo *Pinus* es mayor en P1 que en P2 ($P < 0.001$); *Quercus* presenta mayor densidad en P2 que en P1 ($P < 0.001$), al igual que el grupo Otras ($P = 0.003$). Con respecto a la cobertura, el grupo *Pinus* muestra mayor área en P1 que en P2 ($P < 0.001$), mientras que el grupo *Quercus* y el grupo Otras también registraron diferencias significativas ($P < 0.001$) siendo mayor en P2 que en P1 (Cuadro 1). Por otra parte, en el caso de *Juniperus*, la densidad y cobertura fueron estadísticamente iguales en las dos parcelas. Las latifoliadas tienen mayor presencia y cobertura en la P2, pudiendo ser el resultado de la ausencia del fuego en periodos más largos en los que las especies adaptadas al fuego e intolerantes a la sombra van cediendo el paso a las latifoliadas (Oliver & Larson, 1996). *Pinus pseudostrabus* es intolerante a la sombra, resistente a los incendios superficiales y con regeneración de copa en árboles menores cuando han sido sometidos a incendios

Table 1. Parameters of the stand for larger trees of parcels P1 (smaller fuel load) and P2 (larger fuel load) in the study area (Iturbide, Nuevo León, Mexico).**Cuadro 1. Parámetros del rodal del arbolado mayor en las parcelas P1 (menor carga de combustible) y P2 (mayor carga de combustible) del área de estudio (Iturbide, Nuevo León, México).**

Group/ Grupo	Larger trees (P1)/Arbolado mayor (P1)							Larger trees (P2)/Arbolado mayor (P2)						
	Density (N·ha ⁻¹) Densidad (N·ha ⁻¹)	$\bar{d}_{1.3}$ (cm)	M	\bar{h} (m)	M	G (m ² ·ha ⁻¹)	Cb (m ²)	Density (N·ha ⁻¹) Densidad (N·ha ⁻¹)	$\bar{d}_{1.3}$ (cm)	M	\bar{h} (m)	M	G (m ² ·ha ⁻¹)	Cb (m ²)
<i>Pinus</i>	242	24.1	22.9	12.1	12.0	12.23	7,395	221	25.5	25.0	12.6	12.4	11.72	5,751
<i>Quercus</i>	148	17.7	15.2	6.9	6.6	3.84	3,692	236	16.6	16.0	7.3	7.2	5.75	4,642
<i>Juniperus</i>	116	15.5	12.9	7.6	7.4	2.68	2,054	109	13.5	11.0	7.5	7.1	2.31	1,511
Others/ Otras	55	13.0	11.8	5.0	4.7	0.76	590	103	10.2	9.7	4.3	4.1	0.91	637

Where: N = Number of trees; $\bar{d}_{1.3}$ = Average diameter up to the chest area (1.30 m); M = median; \bar{h} = total average height; G = Basal Area; Cb = Coverage or average treetop area

Donde: N = Número de árboles; $\bar{d}_{1.3}$ = Diámetro promedio a la altura del pecho (1.30 m); M = mediana; \bar{h} = Altura total promedio; G = Área basal; Cb = Cobertura o área de copa promedio.

present problems in their development and settlement (Jardel-Peláez, 1991; Rodríguez-Trejo & Fulé, 2003).

Parameters of the stand (smaller trees)

In the smaller trees are those, those trees and shrubs with a diameter between 2.5 and 7.49 cm, measured at 1.30 m from the ground ($d_{1.3}$), are considered. Based on the general comparison between parcels, the density and coverage values are significantly higher ($P < 0.001$) in P1 (Density: P1 = 3,200 N·ha⁻¹ and P2 = 2,400 N·ha⁻¹; Coverage: P1 = 4,068 m² and P2 = 2,614 m²). The diameter and general height did not show any significant differences.

According to Table 2, the *Pinus* and *Quercus* groups registered a higher density in P1 ($P < 0.001$). The density of the Others group was significantly higher in P2, whereas the density of the *Juniperus* group was similar in both parcels. The *Pinus* and *Quercus* groups have higher values in P1 than in P2, which could be the result of their fire history, due to the fact that fires provide an opening of the canopy which helps in the regeneration of the broadleaved trees (Gilliam & Platt, 1999; Oliver & Larson, 1996). In addition, this analysis highlights the case of the *Pinus* group, which indicates that the regeneration of *P. pseudostrubus* decreases in scenarios where there is an absence of

de baja severidad; por tanto, al presentar periodos largos libres de incendios, la especie podría presentar problemas para su desarrollo y establecimiento (Jardel-Peláez, 1991; Rodríguez-Trejo & Fulé, 2003).

Parámetros del rodal (arbolado menor)

En el arbolado menor se consideraron aquellos árboles y arbustos con diámetro entre 2.5 y 7.49 cm, medido a los 1.30 m a partir del suelo ($d_{1.3}$). Con base en la comparación general entre parcelas, la densidad y cobertura son mayores significativamente ($P < 0.001$) en la P1 (Densidad: P1 = 3,200 N·ha⁻¹ y P2 = 2,400 N·ha⁻¹; Cobertura: P1 = 4,068 m² y P2 = 2,614 m²). El diámetro y altura general no mostraron diferencias significativas.

De acuerdo con el Cuadro 2, los grupos *Pinus* y *Quercus* registraron mayor densidad en P1 ($P < 0.001$). La densidad del grupo. Otras fue significativamente mayor en P2, mientras que la densidad del grupo *Juniperus* fue similar en ambas parcelas. Los grupos *Pinus* y *Quercus* tienen mayores valores en P1 que en P2, lo cual podría ser el resultado del historial de fuego, ya que los incendios proporcionan apertura del dosel favoreciendo la regeneración del arbolado (Gilliam & Platt, 1999; Oliver & Larson, 1996). Además, en este análisis se destaca el caso del grupo *Pinus*, lo cual soporta que la regeneración de los *P. pseudostrubus*

Table 2. Parameters stand of smaller trees in parcels P1 (smaller fuel load) and P2 (larger fuel load) in the study area (Iturbide, Nuevo León, Mexico).**Cuadro 2. Parámetros del rodal del arbolado menor en las parcelas P1 (menor carga de combustible) y P2 (mayor carga de combustible) del área de estudio (Iturbide, Nuevo León, México).**

Group/ Grupo	Smaller woodland area (P1)/Arbolado menor (P1)							Smaller woodland area (P2)/Arbolado menor (P2)						
	Density (N·ha ⁻¹)/ Densidad (N·ha ⁻¹)	$\bar{d}_{1.3}$ (cm)	M	\bar{h} (m)	M	G (m ² ·ha ⁻¹)	Cb (m ²)	Density (N·ha ⁻¹)/ Densidad (N·ha ⁻¹)	$\bar{d}_{1.3}$ (cm)	M	\bar{h} (m)	M	G (m ² ·ha ⁻¹)	Cb (m ²)
<i>Pinus</i>	608	3.3	3.0	2.9	2.6	0.55	399	64	4.4	4.4	3.7	3.7	0.11	52
<i>Quercus</i>	864	3.0	3.0	2.3	2.3	0.61	900	576	3.8	3.8	3.0	2.9	0.72	382
<i>Juniperus</i>	288	4.3	3.8	3.9	4.0	0.44	482	224	5.4	5.8	4.2	4.3	0.36	266
Others/ Otras	1,440	3.4	3.3	2.4	2.2	1.40	2,287	1,536	3.5	3.4	2.8	2.7	1.64	1,914

Where: N = Number of trees; $\bar{d}_{1.3}$ = Average diameter up to the chest area (1.30 m); M = median; \bar{h} = Total average height; G = Basal area; Cb = Coverage or average treetop area.

Donde: N = Número de árboles; $\bar{d}_{1.3}$ = Diámetro promedio a la altura del pecho (1.30 m); M = mediana; \bar{h} = Altura total promedio; G = Área basal; Cb = Cobertura o área de copa promedio.

fire, such as is the case of *P. palustris* Mill., which was demonstrated in a similar study conducted by Gilliam and Platt (1999).

Diameter distributions and Weibull PDF models

Parameter estimation. The estimated parameters per parcel and per group are shown in Table 1. It is necessary to point out that predictions and validation of the parameters were not done in this work because the entirety tree density is known.

Goodness of fit. Tables 3 and 4 show the goodness of fit of the two and three parameter models (2P and 3P). For the 2P models, the null hypothesis (H_0) that indicates that the data follows a specific distribution- in this case the Weibull distribution- was accepted in five of the eight occasions, and for the 3P models, it was accepted in seven of the eight tests. According to the RD test, the model with the best fit was *Juniperus*-P2 of 3P. Similarly, it was observed that the best models for the *Quercus*, *Juniperus* and PQJ (*Pinus-Quercus-Juniperus*) groups were the 3P ones, whereas it was the 2P for the *Pinus* group.

Diameter classes per parcel. In Figure 2 it can be observed that both parcels present a distribution similar to the inverted J, typical of irregular mixed forests, where the larger categories decrease in number (Prodan et al., 1997). This irregular distribution with an approximation to the inverted J coincides with the one shown by Nívar-

disminuye en escenarios de ausencia de fuego, como el caso de *P. palustris* Mill. demostrado en un estudio similar de Gilliam y Platt (1999).

Distribuciones diamétricas y modelos de la FDP de Weibull

Estimación de los parámetros. Los parámetros, estimados por parcela y por grupo se presentan en el Cuadro 1. Es necesario puntualizar que en este trabajo no se realizó la predicción y validación de los parámetros debido a que se conoce la totalidad del arbolado.

Bondad de ajuste. Los Cuadros 3 y 4 presentan la bondad de ajuste de los modelos de dos y tres parámetros (2P y 3P). Para los modelos de 2P, la hipótesis nula (H_0) indica que los datos siguen una distribución específica en este caso, la distribución Weibull se aceptó en cinco ocasiones, y para los modelos 3P se aceptó en siete de las ocho pruebas. De acuerdo con la prueba de DR, el modelo con los mejores ajustes es el *Juniperus*-P2 de 3P. De igual manera, se observa que los mejores modelos para los grupos de *Quercus*, *Juniperus* y PQJ (*Pinus-Quercus-Juniperus*) fueron los de 3P, mientras que para el grupo *Pinus* fueron los de 2P.

Clases diamétricas por parcela. En la Figura 2 se observa que las dos parcelas presentan una distribución parecida a la J invertida, típica de bosques mixtos-irregulares, donde las categorías mayores van decreciendo en número (Prodan et al., 1997). Esta distribución irregular

Table 3. Diameter distribution and goodness of fit of the Weibull function models for parcel P1 (smaller fuel load).
Cuadro 3. Distribución diamétrica y bondad de ajuste de los modelos de la función Weibull para la parcela P1 (menor carga de combustible).

P1	Parameters/ Parámetros	α	β	γ	K-S	$\alpha = 0.05$	RD/ DR	Hypothesis/ Hipótesis
PQJ	2P	2.243	22.546	-	0.082	0.060	0.15	H _A
	3P	1.238	13.256	7.466	0.054		0.10	H ₀
<i>Pinus</i>	2P	2.421	26.436	-	0.066	0.087	0.15	H ₀
	3P	1.500	18.036	6.995	0.096		0.18	H _A
<i>Quercus</i>	2P	2.651	19.134	-	0.101	0.110	0.16	H ₀
	3P	1.356	9.664	8.136	0.041		0.06	H ₀
<i>Juniperus</i>	2P	2.228	18.294	-	0.128	0.128	0.20	H ₀
	3P	0.952	8.303	7.500	0.074		0.04	H ₀

PQJ = Group comprised by *Pinus*, *Quercus* and *Juniperus*; α , β , γ = Parameters of shape, scale and position, respectively; K-S = Value of the Kolmogorov-Smirnov test; RD = Relative discrepancy index. Null hypothesis (H₀): The data is adjusted to the Weibull distribution.

PQJ = Grupo compuesto por *Pinus*, *Quercus* y *Juniperus*; α , β , γ = Parámetros de forma, escala y posición, respectivamente; K-S = Valor de la prueba de Kolmogorov-Smirnov; DR = Índice de discrepancia relativa. Hipótesis nula (H₀): Los datos se ajustan a la distribución de Weibull.

Table 4. Diameter distribution and goodness of fit of the Weibull function models for parcel P2 (larger fuel load).
Cuadro 4. Distribución diamétrica y bondad de ajuste de los modelos de la función Weibull para la parcela P2 (mayor carga de combustible).

P2	Parameters/ Parámetros	α	β	γ	K-S	$\alpha = 0.05$	RD/ DR	Hypothesis/ Hipótesis
PQJ	2P	2.278	21.648	-	0.855	0.057	0.13	H _A
	3P	1.242	12.437	7.467	0.044		0.08	H ₀
<i>Pinus</i>	2P	2.795	27.218	-	0.060	0.091	0.11	H ₀
	3P	2.333	23.285	3.573	0.073		0.13	H ₀
<i>Quercus</i>	2P	2.949	18.608	-	0.078	0.088	0.11	H ₀
	3P	1.570	9.919	7.715	0.055		0.08	H ₀
<i>Juniperus</i>	2P	1.831	15.961	-	0.222	0.130	0.33	H _A
	3P	0.796	5.367	7.500	0.087		0.09	H ₀

PQJ = Group comprised by *Pinus*, *Quercus* and *Juniperus*; α , β , γ = Parameters of shape, scale and position, respectively; K-S = Value of the Kolmogorov-Smirnov test; RD = Relative discrepancy index. Null hypothesis (H₀): The data is adjusted to the Weibull distribution.

PQJ = Grupo compuesto por *Pinus*, *Quercus* y *Juniperus*; α , β , γ = Parámetros de forma, escala y posición, respectivamente; K-S = Valor de la prueba de Kolmogorov-Smirnov; DR = Índice de discrepancia relativa. Hipótesis nula (H₀): Los datos se ajustan a la distribución de Weibull.

Cháidez (2010) in his study in the state of Nuevo León, including similar parameters. For both parcels, the 3P Weibull distribution is the one with the best fit.

Classes for the *Pinus* group. The distribution of diameter classes of *Pinus*-P1 graphically presents a slight tendency to bimodality, even though it adjusts well to that of Weibull of 2P (Table 3). For *Pinus* P2, the best fit was with Weibull 2P (Table 4). In both groups it can be observed that the probability of finding more trees with 40 cm diameter categories is lower than 6 % (Figure 2). Comparing both parcels, P1 has diameter distributions that show a slight tendency to lower classes, which indicates a higher recruitment in this parcel. These results are consistent with other studies, where the recruitment of intolerant species to the shade can be observed in areas with frequent fires (Gilliam & Platt, 1999).

Classes for the *Quercus* group. The groups formed by *Quercus* present a very similar distribution in the P1 and P2 parcels. The best fit for this group in both parcels was found in model 3P, through which a low probability of finding trees (< 10 %) from the diameter categories of ≥ 25 cm was observed, whereas there was a higher probability (< 30 %) of finding trees in the diameter categories of 10 and 15 cm (Figure 2).

Classes for the *Juniperus* group. The *Juniperus* groups in P1 and P2 present the majority of their diameter classes in the smaller categories. The probabilities of finding trees in the categories of ≥ 20 cm are fewer than 15 % in P1 and fewer than 10 % in P2 (Figure 2). The probabilities were calculated with Weibull 3P for both parcels.

These results particularly coincide with those shown by Nívar-Cháidez (2010), who documented that the majority in the forests of the state of Nuevo León are in early-intermediate succession stages. The *Pinus* groups, followed by *Quercus* and *Juniperus*, had the most presence in Weibull distribution, showing that they have a mix of species in different development stages. This shows that the aforementioned forests have been exposed to natural or anthropogenic disturbances, and that those disturbances have affected *Juniperus* and *Quercus* more than *Pinus*.

The parameters of the diameter distributions reflect a small change toward the larger diameter categories in P1. These changes are consistent with other studies, where the areas with frequent fires present less trees but with larger dimensions (Holden et al., 2007). However, in both adjacent areas the diameter categories leaned towards the smaller and intermediate diameter categories, which reflects the success in the establishment of regeneration in favorable environmental conditions and in the variable effects

con aproximación a la J invertida coincide con la mostrada por Nívar-Cháidez (2010) en su estudio en el estado de Nuevo León, incluso los parámetros son similares. Para ambas parcelas, la distribución Weibull 3P es la de mejor ajuste.

Clases para el grupo *Pinus*. De manera particular, la distribución de las clases diamétricas de *Pinus*-P1 presenta gráficamente ligera tendencia a la bimodalidad, aunque se ajusta de manera aceptable a la Weibull de 2P (Cuadro 3). Para *Pinus*-P2, el mejor ajuste fue con la Weibull 2P (Cuadro 4). En ambos grupos se observa que la probabilidad de encontrar árboles con categorías diamétricas 40 cm es menor de 6 % (Figura 2). Comparando ambas parcelas, la P1 tiene distribuciones diamétricas que muestran ligera tendencia a las clases menores, lo que indica mayor reclutamiento en esta parcela. Estos resultados son consistentes con otros estudios, donde se observa el reclutamiento de especies intolerantes a la sombra en áreas con incendios frecuentes (Gilliam & Platt, 1999).

Clases para el grupo *Quercus*. Los grupos formados por *Quercus* presentan una distribución muy similar en las parcelas P1 y P2. El mejor ajuste para este grupo en ambas parcelas fue con el modelo de 3P, mediante el cual se observa baja probabilidad (< 10 %) de encontrar árboles a partir de las categorías diamétricas ≥ 25 cm, mientras que hay mayor probabilidad (> 30 %) de encontrar árboles en las categorías diamétricas de 10 y 15 cm (Figura 2).

Clases para el grupo *Juniperus*. Los grupos de *Juniperus* en P1 y P2 presentan la mayoría de sus clases diamétricas en las categorías menores. Las probabilidades de encontrar arbolado en las categorías ≥ 20 cm son menores de 15 % en la P1 y menores de 10 % en la P2 (Figura 2). Las probabilidades se calcularon con la Weibull 3P para ambas parcelas.

Estos resultados de manera particular también coinciden con los mostrados por Nívar-Cháidez (2010), quien documenta que la mayoría de los bosques del estado de Nuevo León se encuentran en etapas tempranas-intermedias de la sucesión. Los grupos *Pinus*, seguidos de *Quercus* y *Juniperus* tuvieron mayor presencia a lo largo de la distribución de Weibull, mostrando que tienen una mezcla de especies en diferentes etapas de su desarrollo. Esto demuestra por un lado que dichos bosques han estado expuestos a perturbaciones naturales o antropogénicas y, por otro lado, que dichas perturbaciones han afectado más a los *Juniperus* y a los *Quercus* que a los propios *Pinus*.

Los parámetros de las distribuciones diamétricas reflejan un pequeño cambio hacia las categorías diamétricas mayores en la P1. Estos cambios son consistentes con otros estudios, donde áreas con incendios frecuentes presentan menos árboles pero

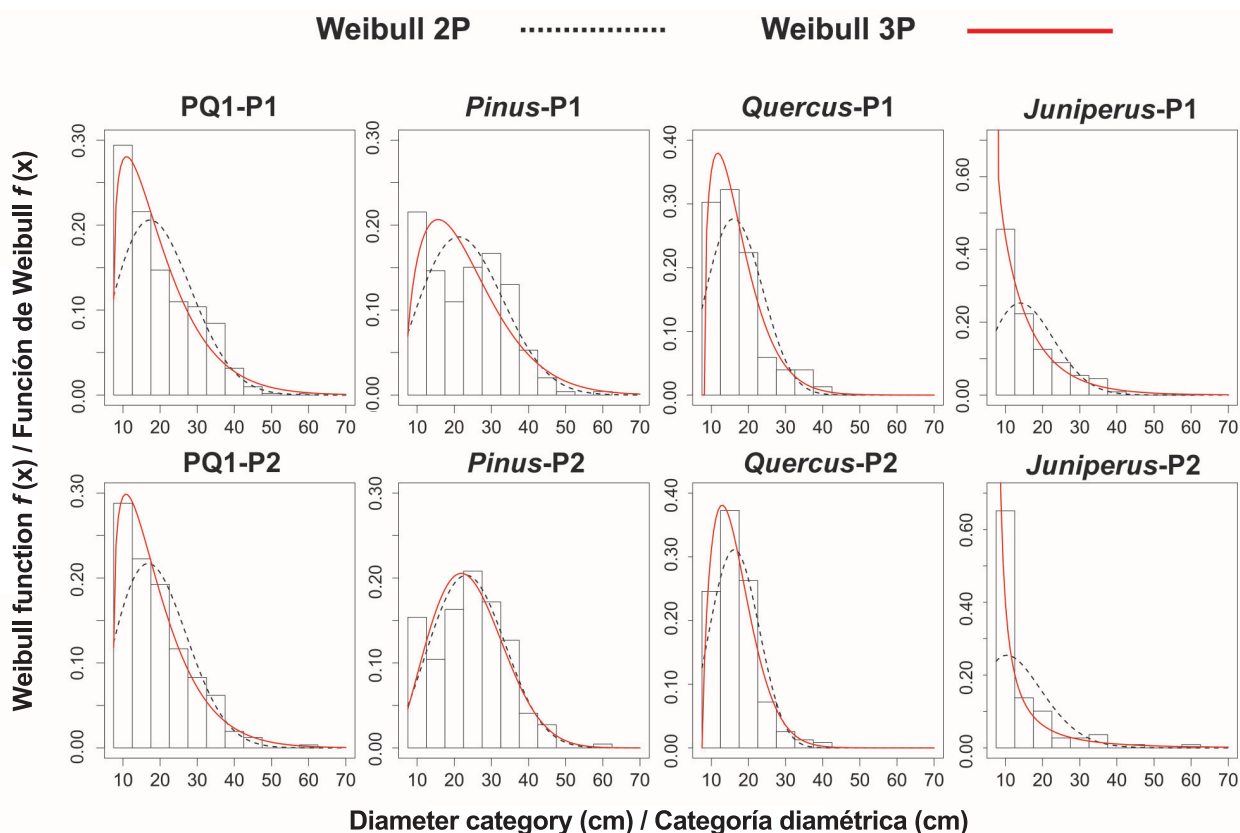


Figure 2. Adjustment of the Weibull function of two and three parameters per parcel and group. Where $f(x)$ Weibull function; PQJ = Group comprised by *Pinus*, *Quercus* and *Juniperus*.

Figura 2. Ajuste de la función Weibull de dos y tres parámetros por parcela y grupo. Donde $f(x)$ función de Weibull; PQJ = Grupo compuesto por *Pinus*, *Quercus* y *Juniperus*.

of thinning due to frequent fires (Holden et al., 2007; Savage, Brown & Feddema, 1996).

Conclusions

According to the results obtained, it can be concluded that the forest structure is a reflection of the incidence of fires. In both parcels, the *Pinus* group (resistant to fires and intolerant to shade) presented higher values in the parameters of the adjacent areas. However, in the area with the most prolonged period without a fire (P2), the broadleaved trees presented significantly larger structural dimensions. In stead of decrease in trees, should be: the smaller diametric categories. The diameter distributions in the shape of an inverted J adjust to Weibull's pdf and tolerate the presence of low severity fires that eliminate the percentage of trees leaving only the most resistant, which explains the dominance of the *Pinus* group in the larger diameter categories. In later studies, it is recommended to characterize the spatial distribution of the trees with the fire ecology of the species in order to detect competition/association. It is also recommended to implement a fire management program, where the

con mayores dimensiones (Holden et al., 2007). Sin embargo, en ambos rodales las categorías diamétricas se inclinan hacia las categorías diamétricas menores e intermedias, lo cual es un reflejo del éxito en el establecimiento de la regeneración en condiciones ambientales favorables y de los efectos variables de aclareo por parte de incendios frecuentes (Holden et al., 2007; Savage, Brown, & Feddema, 1996).

Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos se puede concluir que la estructura del bosque es un reflejo de la incidencia de incendios. En ambas parcelas, el grupo *Pinus* (resistente a los incendios e intolerante a la sombra) presentó valores mayores en los parámetros del rodal. Sin embargo, en el área con mayor tiempo en ausencia del fuego (P2), las latifoliadas presentaron significativamente mayores dimensiones estructurales. En cuanto al arbolado menor, los *Pinus* tienen mayores valores en P1 que P2, por lo cual se concluye que se ven favorecidos por la apertura de claros a causa de los incendios. Las distribuciones diamétricas en forma de J invertida se ajustan a la fdp Weibull y soportan la

knowledge of the natural regime of forest fires is included and objectives pertaining to the development of the ecosystem are established.

Acknowledgements

We thank CONACYT for the scholarship that was granted to us (329047) and to the UANL (PAICYT CA1080-11) for the support and facilities provided during the execution of the research work. In the same manner, we thank INIFAP (2011-007) for the support during the development of the study. Finally, we thank the personnel that collaborated in the collection of information on the field, with special mention to Magnolia Mendívil.

End of English version

References / Referencias

- Agee, J. K. (1993). *Fire ecology of pacific northwest forests*. Washington D. C., USA: Island Press.
- Ávila-Flores, D. Y., González-Tagle, M. A., Jiménez-Pérez, J., Aguirre-Calderón, O. A., Treviño-Garza, E. J., Vargas-Larreta, B., & Alanís-Rodríguez, E. (2014). Efecto de la severidad del fuego en las características de la estructura forestal en rodales de coníferas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 20(1), 33–45. doi:10.5154/r.rchscfa.2013.01.005
- Bailey, R. L., & Dell, T. R. (1973). Quantifying diameter distributions with the Weibull function. *Forest Science*, 19(2), 97–104.
- Benavides-Solorio, J. D., Rubio-Camacho, E. A., & Rueda-Sánchez, A. (2010). *Manual para toma de datos de plantaciones forestales*. Guadalajara, Jalisco, México: INIFAP. Obtenido de <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/handle/123456789/3688>
- Brown, J. K., Oberheu, R. D., & Johnston, C. M. (1981). *Handbook for inventorying surface fuels and biomass in the Interior West*. USA: USDA-Forest Service- Intermountain Forest and Range Experiment Station. Obtenido de http://www.fs.fed.us/rm/pubs_int/int_gtr129.pdf
- Crawley, M. J. (2007). *The R Book*. England: John Wiley & Sons Ltd. Obtenido de http://www.kharms.biology.lsu.edu/CrawleyMJ_TheRBook.pdf
- Delignette-Muller, M. L., Dutang, C., Pouillot, R., & Denis, J. B. (2014). Fitdistrplus: Help to fit of a parametric distribution to non-censored or censored data. Obtenido de <http://cran.r-project.org/web/packages/fitdistrplus/index.html>
- Diéguez, A. U., Rojo, A. A., Castedo-Dorado, F., Álvarez, G. J. G., Barrio-Anta, M., Crecente-Campo, J. M., ... Sánchez, R. F. (2009). *Herramientas selvícolas para la gestión forestal sostenible en Galicia*. Lugo, España: Dirección Xeral de Montes-Consellería do Medio Rural-Xunta de Galicia. Obtenido de http://www.medioruralemex.xunta.es/fileadmin/archivos/publicacions/herramientas_selvícolas.pdf

presencia de incendios de baja severidad que eliminan porcentaje del arbolado dejando a los más resistentes, lo que explica la dominancia del grupo *Pinus* en las categorías diamétricas mayores. En estudios posteriores se recomienda caracterizar la distribución espacial del arbolado junto con la ecología del fuego de las especies para detectar competencia/asociación. También se recomienda implementar un programa de manejo del fuego, donde se integren los conocimientos del régimen natural de incendios forestales y se establezcan objetivos acordes con el desarrollo del ecosistema.

Agradecimientos

Se extiende el agradecimiento al CONACYT por la beca otorgada (329047) y a la UANL (PAICYT CA1080-11) por el apoyo y las facilidades brindadas durante la realización del trabajo de investigación. Asimismo, se agradece al INIFAP (2011-007) por el apoyo durante la realización del estudio. Finalmente se agradece al personal que colaboró en la toma de datos en campo, especialmente a Magnolia Mendívil.

Fin de la versión en español

- Gadow, K., Sánchez, O. S., & Álvarez, G. J. G. (2007). *Estructura y crecimiento del bosque*. España: Unidad de Gestión Forestal Sostenible. Obtenido de http://www.iww.forst.uni-goettingen.de/doc/kgadow/lit/kvgestructura_y_crecimiento_del_bosque.pdf
- Gemma-Rutten, A. E. (2014). Forest structure and composition of previously selectively logged and non-logged montane forests at Mt. Kilimanjaro. *Forest Ecology and Management*, 337. doi: 10.1016/j.foreco.2014.10.036
- Gilliam, F. S., & Platt, W. J. (1999). Effects of long-term fire exclusion on tree species composition and stand structure in an old-growth *Pinus palustris* (Longleaf pine) forest. *Plant Ecology*, 140(1), 15–26. doi: 10.1023/A:1009776020438
- Holden, Z. A., Morgan, P., Rollins, M. G., & Kavanagh, K. (2007). Effects of multiple wildland fires on ponderosa pine stand structure in two southwestern wilderness areas, USA. *Fire Ecology*, 3, 18–33. Obtenido de <http://naldc.nal.usda.gov/naldc/download.xhtml?id=21802&content=PDF>
- Jardel-Peláez, E. J. (1991). Perturbaciones naturales y antropogénicas y su influencia en la dinámica sucesional de los bosques de Las Joyas, Sierra de Manantlán, Jalisco. *Tiempos de Ciencia*, 22, 9–26.
- Jardel-Peláez, E. J. (2010). *Planificación del manejo del fuego*. México: Universidad de Guadalajara-Centro Universitario de la Costa Sur-Fundación Manantlán para la Biodiversidad de Occidente A.C.-Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible A.C.- Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza A. C. Obtenido de http://148.202.114.23/derns/wp-content/files_flutter/1315429622Jardel2010PlanifManejoFuego.pdf

- Jardel-Peláez, E. J., Alvarado-Celestino, E., Morfín-Ríos, J. E., Castillo-Navarro, F., & Flores-Garnica, J. G. (2009). Regímenes de fuego en ecosistemas forestales de México. In J. G. Flores-Garnica (Ed.), *Impacto ambiental de incendios forestales* (1a ed., pp. 73–100). México: Mundi-Prensa.
- Jiménez, P. J., Aguirre, C. O., & Kramer, H. (2001). Análisis de la estructura horizontal y vertical en un ecosistema multicohortal de pino-encino en el norte de México. *Investigaciones Agrarias: Sistema y Recursos Forestales*, 10(2), 355–366. Obtenido de <http://www.inia.es/IASPF/2001/vol10-2/jimen.PDF>
- Návar-Cháidez, J. (2010). Los bosques templados del estado de Nuevo León: El manejo sustentable para bienes y servicios ambientales. *Madera y Bosques*, 16(1), 51–69. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v16n1/v16n1a4.pdf>
- Návar-Cháidez, J., & Contreras-Aviña, J. (2000). Ajuste de la distribución weibull a las estructuras diamétricas de rodales irregulares de pino en Durango, México. *Agrociencia*, 34(3), 353. Obtenido de <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=30234312>
- Oliver, C. D., & Larson, B. C. (1996). *Forest stand dynamics*. New York, USA: Wiley.
- Olvera-Vargas, M., Moreno-Gómez, S., & Figueroa-Rangel, B. (1996). *Sitios permanentes para la investigación silvícola: Manual para su establecimiento*. México: Universidad de Guadalajara.
- Prodan, M., Peters, R., Cox, F., & Real, P. (1997). *Mensura forestal*. San José, Costa Rica: GTZ/IICA-Agroamerica.
- Pyne, S. J., Andrews, P. L., & Laven, R. D. (1996). *Introduction to wildland fire* (2nd ed.). New York, USA: Wiley.
- Quezada, P. R., & Trincado, V. G. (2002). Uso de métodos de proyección de tablas de rodal para plantaciones forestales. *Bosque*, 23(1), 115–124. Obtenido de <http://mingaonline.uach.cl/pdf/bosque/v23n1/art11.pdf>
- R Development Core Team, R. (2011). R: A language and environment for statistical computing (R. D. C. Team, Ed.), *R foundation for statistical computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. doi: 10.1007/978-3-540-74686-7
- Robinson, A. P., & Hamann, J. D. (2010). *Forest analytics with R: An introduction*. New York, USA: Springer.
- Rodríguez-Trejo, D. A. (1996). *Incendios forestales*. México: Mundi-Prensa.
- Rodríguez-Trejo, D. A. (2008). Fire regimes, fire ecology, and fire management in Mexico. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 37(7), 548–556. doi:10.1579/0044-7447-37.7.548
- 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
- Rohman de la Vega, C. F., Ramírez-Maldonado, H., & Treviño-García, J. L. (1994). *Dendrometría*. México: Universidad Autónoma Chapingo.
- RStudio. (2014). RStudio: Integrated development environment for R. Obtenido de <https://www.rstudio.com/>
- Rubio-Camacho, E. A., González-Tagle, M. A., Jiménez-Pérez, J., Alanís-Rodríguez, E., & Ávila-Flores, D. Y. (2014). Diversidad y distribución vertical de especies mediante el índice de Pretzsch. *Ciencia UANL*, 65, 34–41. Obtenido de <http://cienciauanl.uanl.mx/wp-content/uploads/2014/02/Diversidad-y-distribucion-vertical-de-especies.pdf>
- Sackett, S. S., & Haase, S. M. (1996). Fuel loadings in southwestern ecosystems of the United States. In P. F. Ffolliott, L. F. DeBano, M. B. Baker Jr., G. J. Gottfried, G. Solis-Garza, C. B. Edminster, ... R. H. Hamre (Eds.), *Effects of fire on Madrean Province ecosystems: A symposium proceedings* (pp. 187–192). Fort Collins, CO, USA: USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. Obtenido de http://www.fs.fed.us/psw/publications/haase/psw_1996_haase001_sackett.pdf
- Savage, M., Brown, P. M., & Feddema, J. (1996). The role of climate in a pine forest regeneration pulse in the southwestern United States. *Écoscience*, 3(3), 310–318. Obtenido de <http://www.jstor.org/stable/42900650>
- Swamy, V., & Terborgh, J. W. (2010). Distance-responsive natural enemies strongly influence seedling establishment patterns of multiple species in an Amazonian rain forest. *Journal of Ecology*, 98(5), 1096–1107. doi: 10.1111/j.1365-2745.2010.01686.x
- Swanson, F. J., Jones, J. A., Wallin, D. O., & Cissel, J. H. (1994). Natural variability implications for ecosystem management. In M. E. Jensen, & P. S. Bourgeron (Eds.), *Ecosystem management: principles and applications* (vol. 2, pp. 80–94). Portland, OR, USA: USDA Forest Service. Obtenido de https://www.for.gov.bc.ca/hfd/efp/uneven_aged/toc/sec03_03.pdf
- Whelan, R. J. (1995). *The ecology of fire*. UK: Cambridge University Press.
- Zar, J. H. (2010). *Biostatistical analysis* (5th ed.). New Jersey, USA: Prentice Hall.