



## Estructura y composición florística de un bosque de *Pinus-Quercus* en El Porvenir, Chiapas

## Structure and floristic composition of a *Pinus-Quercus* forest in El Porvenir, Chiapas State

Romeo de Jesús Barrios-Calderón<sup>1</sup>, Javier Ernesto Pérez Pérez<sup>2</sup>, Jony Ramiro Torres Velázquez<sup>3\*</sup>, Juan Francisco Aguirre-Cadena<sup>1</sup>

Fecha de recepción/Reception date: 13 de febrero de 2022

Fecha de aceptación/Acceptance date: 05 de agosto de 2022

<sup>1</sup>Grupo Colegiado de Investigación en Sistemas Agrícolas y Forestal, Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma de Chiapas, México.

<sup>2</sup>Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Facultad de Ingeniería, subsede Motozintla. México.

<sup>3</sup>Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui. México.

\*Autor para correspondencia; correo-e: [jtorres.velazquez@itvy.edu.mx](mailto:jtorres.velazquez@itvy.edu.mx)

\*Corresponding author; e-mail: [jtorres.velazquez@itvy.edu.mx](mailto:jtorres.velazquez@itvy.edu.mx)

### Resumen

Los bosques de *Pinus-Quercus* constituyen ecosistemas de gran importancia ecológica. La estructura y composición son indicadores de la biodiversidad en estas asociaciones forestales, en las cuales esos dos elementos son clave para su estabilidad y conservación. El objetivo del presente estudio fue caracterizar un bosque de *Pinus-Quercus* a través de los parámetros estructurales y de la composición de especies presentes en el estrato arbóreo en el municipio El Porvenir, Chiapas. Se establecieron seis sitios circulares de muestreo, con una superficie de 400 m<sup>2</sup> para evaluar el arbolado adulto y sus variables dasométricas (altura total, diámetro normal y cobertura). Los parámetros estructurales del bosque (densidad, dominancia, área basal y cobertura) se emplearon para calcular los índices de Valor de Importancia, valor forestal, complejidad de Holdrige y los índices de similitud. Los resultados mostraron la presencia de seis especies; *Pinus maximinoi* registró una altura media de 18.88±6.72 m ( $p<0.0001$ ,  $F=5.46$ ) superior a los otros taxones. Además, le correspondió el mayor diámetro normal (30.58±13.64 cm,  $p<0.0002$ ,  $F=5.18$ ), Valor de Importancia (161.07 %) y valor forestal (108.08 %). El índice de complejidad de Holdrige del bosque fue de 45.22 %. Los resultados obtenidos permitieron identificar las dimensiones, parámetros estructurales y dominancia de las especies; de ellas, *Pinus maximinoi* fue la de mayor valor.

**Palabras clave:** Arreglo forestal, bosque de pino-encino, coeficiente de Sørensen, complejidad de Holdrige, densidad de arbolado, valor forestal.

### Abstract

*Pinus-Quercus* forests are ecosystems of great ecological importance. Structure and composition are indicators of biodiversity in these forest associations, being two key elements for their stability and conservation. The objective of this study was to characterize a *Pinus-Quercus* forest based on the structural parameters and species composition present in the arboreal stratum in the municipality of El Porvenir, Chiapas. Six 400 m<sup>2</sup> circular sites were established to evaluate the adult trees and their dasometric variables (total height, normal diameter and cover). The structural parameters of the forest (density, dominance, basal area and cover) were used to calculate the indexes of Importance Value, forest value, Holdrige complexity index and similarity index. The results showed the presence of six species; *Pinus maximinoi* exhibited a mean height of 18.88±6.72 m

( $p < 0.0001$ ,  $F = 5.46$ ), which is greater than that of other species. In addition, it has the highest normal diameter ( $30.58 \pm 13.64$  cm,  $p < 0.0002$ ,  $F = 5.18$ ), Importance Value (161.07 %) and forest value (108.08 %). The Holdrige complexity index of the forest is 45.22 %. The results obtained made it possible to identify the dimensions, structural parameters, and dominance of the species, with *Pinus maximinoi* being the most valuable.

**Key words:** Forest arrangement, pine-oak forest, Sørensen's index, Holdrige complexity index, tree density, forest value index.

## Introducción

A nivel mundial los bosques constituyen uno de los mayores reservorios de diversidad biológica, cubren 31 % de la superficie terrestre que equivale aproximadamente a 39 millones de km<sup>2</sup> (FAO, 2015). Los recursos obtenidos de los bosques como madera, leña, carbón, material para construcción, productos no maderables (*i.e.* plantas medicinales) y algunos servicios ambientales: retención de suelo, captación de agua, biomasa, captura de carbono, hábitat y conservación de la biodiversidad (Calderón *et al.*, 2012; Saavedra y Perevochtchikova, 2017), son muy importantes para la población rural y urbana. Aunque los bosques representan una fuente de ingresos monetarios para la población local (Cortina-Villar *et al.*, 2012), la disponibilidad de recursos está determinada por la composición y estructura de su vegetación.

En México, se tienen 138 millones de hectáreas de superficie forestal (70 % del territorio nacional), y los bosques templados cubren aproximadamente 24 % de esa superficie (Conafor, 2012). Sin embargo, entre 2005 y 2010, las áreas forestales se redujeron paulatinamente a razón de 155 000 ha por año (INEGI, 2014). Estas alteraciones, que ocurren en los ecosistemas por causas antropogénicas, pueden prolongarse por tiempos determinados y ser irreversibles (Thom y Seidl, 2016); por ello, es imprescindible tener un amplio conocimiento de la estructura y distribución de las especies forestales presentes en los bosques (Méndez-Toribio *et al.*, 2014).

Los índices de estructura y diversidad contribuyen en la toma de decisiones respecto al manejo de los bosques, además permiten detectar procesos de sucesión natural y efectos antropogénicos (López-Hernández *et al.*, 2017), lo que a su vez facilita el establecimiento de rodales tipo para implementar estrategias de manejo (Wehenkel *et al.*, 2014) que consideren: i) posición o distribución espacial, ii) diversidad y mezcla de especies, y iii) arreglo de la diferenciación vertical y horizontal (Castellanos-Bolaños *et al.*, 2008).

Los parámetros estructurales son un indicador clave de la biodiversidad, la estabilidad ecológica y el desarrollo futuro de los rodales (Franklin *et al.*, 2002; López-Hernández *et al.*, 2017). Cuando el bosque tiene una composición muy simplificada, tienden a disminuir algunas funciones en el ecosistema; por el contrario, una alta complejidad aumenta su productividad, diversidad y persistencia (Castellanos-Bolaños *et al.*, 2008). El objetivo del presente estudio fue caracterizar un bosque de *Pinus-Quercus* para obtener información sobre los parámetros estructurales y la asociación de especies presentes en el estrato arbóreo en un predio del municipio El Porvenir, Chiapas.

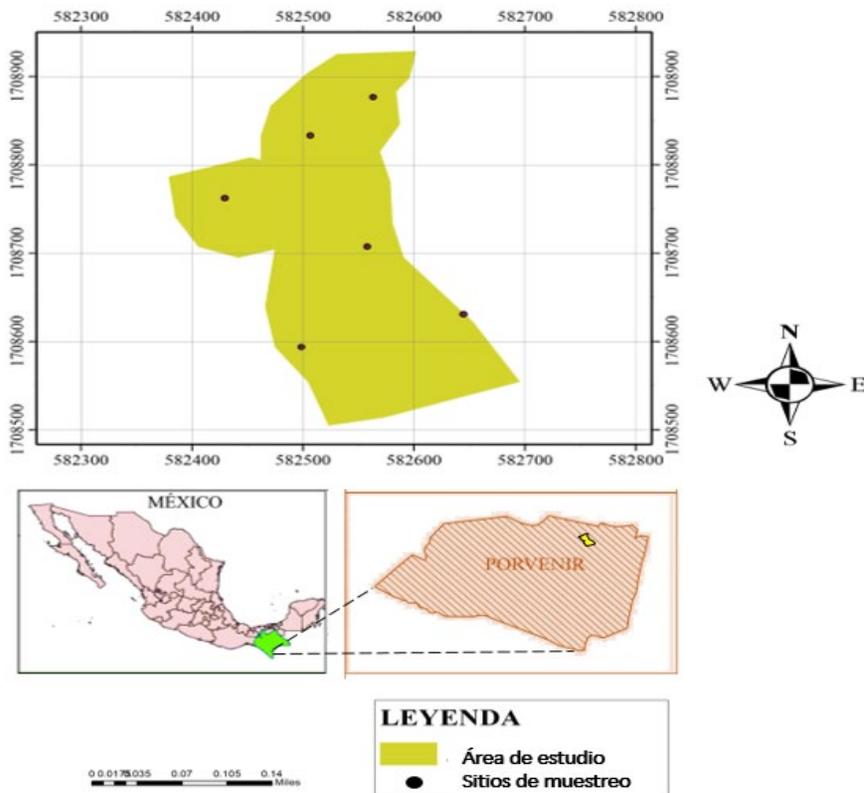
Las hipótesis que dirigieron la presente investigación fueron: i) No existen diferencias significativas en el valor medio de altura y diámetro normal del arbolado entre sitios y especies evaluados, ii) Se presenta al menos una especie dominante del género *Pinus* con un Índice de Valor de Importancia  $\geq 200$ , y iii) El porcentaje de afinidad de las especies arbóreas en los sitios evaluados es  $\geq 50\%$ , lo que indica que las especies presentes tienen una similitud de tipo media-alta.

## **Materiales y Métodos**

## Área de estudio

El municipio El Porvenir tiene una extensión de 82.52 km<sup>2</sup> (5.72 % de la superficie de la región Sierra Mariscal y 0.1 % de la superficie del estado de Chiapas, México), y se localiza a una altitud entre 1 200 y 3 100 m (Mejía y Kauffer, 2007). El clima es Am(w), templado húmedo con abundantes lluvias en verano, su temperatura es de 12 a 24 °C y la precipitación fluctúa entre 1 200 y 4 000 mm anuales (INEGI, 2014).

El estudio se realizó en un predio con una superficie de 4 ha de bosque de *Pinus-Quercus* denominado "parcela escolar Canadá" del ejido Malé, El Porvenir, Chiapas, ubicado en las coordenadas norte 1708786.84 y 1708554.43 y las coordenadas este 582378.81 y 582695.54, a una altitud promedio de 2 840 m (Figura 1).



**Figura 1. Localización del área de estudio y distribución de los sitios de muestreo.**

## **Diseño de muestreo**

Se establecieron seis sitios circulares distribuidos al azar, con una superficie de 400 m<sup>2</sup> (0.04 ha) para el inventario del arbolado (Figura 1). Esto equivale a una superficie inventariada de 0.24 ha. El número de sitios es el suficiente para alcanzar un error admisible de 10 %, el cual está dentro del intervalo establecido para sitios circulares (Aguirre *et al.*, 1997) con un nivel de confianza de 95 %:

$$E \% = t (s \% \div \sqrt{n}) \quad (1)$$

$$n = t^2 s \% \frac{s \%}{E \%^2} \quad (2)$$

Donde:

$n$  = Número de unidades de muestreo (tamaño de la muestra)

$t$  = Valor del nivel de confianza

$s$  % = Estimación del coeficiente de variación de la población

$E$  % = Error admisible

De acuerdo a lo establecido por Aguirre *et al.* (1997), el tamaño del sitio de muestreo se considera suficiente al tratarse de un bosque homogéneo con varianza baja, lo que permite obtener resultados significantes. En cada sitio se consideró un árbol como centro, a partir de este se establecieron cuatro cuerdas con radio de 11.29 m para obtener la superficie de 400 m<sup>2</sup>.

### **Estructura y composición de arbolado adulto**

Se realizó un inventario forestal en el bosque de *Pinus-Quercus* siguiendo los procedimientos de Villavicencio-Enríquez y Valdez-Hernández (2003). Se incluyó la vegetación leñosa con una copa diferenciada del tallo; de manera convencional se estableció el diámetro normal (*DN*) medido a 1.3 m del suelo. La estructura vertical (altura total del arbolado) se obtuvo con un hipsómetro marca Haglöf® modelo Vertex III. Se definieron siete clases de altura, la amplitud de cada una correspondió a 5 m. El límite inferior de la clase (altura mínima del arbolado) fue de 2 m y el límite superior (altura máxima) de >32 m.

La estructura horizontal fue representada por la densidad de arbolado (*D*), el diámetro normal (*DN*) y área basal (*AB*), principalmente. Se evaluó la densidad de árboles adultos en pie y tocones con un  $DN \geq 2.5$  cm (Villavicencio-Enríquez y Valdez-Hernández, 2003; Zarco-Espinoza *et al.*, 2010). El *DN* se midió utilizando una cinta diamétrica marca Richter® modelo 349-5-A de 5 m. Se definieron 12 clases diamétricas con amplitud de 5 cm entre cada clase. La clase máxima fue >58.5 cm de *DN*. Para la cobertura de dosel se midió el diámetro de copa empleando la fórmula para una elipse: *Diámetro de copa* =  $\pi$  (eje *a* × eje *b*); para ello, se obtuvieron dos mediciones (eje *a*: norte-sur y eje *b*: este-oeste) realizadas

con el hipsómetro marca Haglöf modelo Vertex III®. Se calculó el promedio de ambas mediciones. Se utilizaron las fórmulas aplicadas por Zarco-Espinosa *et al.* (2010), el área basal ( $AB$ ) se estimó con la fórmula:

$$AB = \pi 4 (DN)^2$$

Donde:

$$\pi = 3.1416$$

La cobertura relativa ( $CR$ ) se obtuvo aplicando la fórmula:

$$CR = \left( \frac{\text{Diámetro de copa de todas las especies}}{\text{Área muestreada}} \right) \times 100$$

Donde:

$CR$  = Cobertura relativa

## **Cálculo de índices**

Para dimensionar la composición estructural del arbolado en el bosque de *Pinus-Quercus*, se aplicaron dos índices utilizados por Zarco-Espinosa *et al.* (2010) que denotan la estratificación vertical y horizontal de las especies presentes en el bosque: 1) Índice de Valor de Importancia ( $IVI$ ), y 2) Índice de Valor Forestal ( $VF$ ).

También se determinaron otros índices que permitieron delimitar el nivel de complejidad y similitud de las especies presentes en cada sitio de estudio: 3) Índice de Complejidad de *Holdrige* (Holdrige *et al.*, 1971), y 4) Coeficiente de Afinidad de *Sørensen* (Sørensen, 1948).

## **Análisis estadísticos**

Los análisis estadísticos se realizaron con el *software JMP pro 14* (Statistical Analysis System, 2019). Los resultados se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) y comparación de medias por *Tukey* ( $p < 0.05$ ) entre las variables evaluadas en los sitios de estudio. Para contrastar el Coeficiente de Afinidad de *Sørensen* y corroborar el nivel de igualdad entre sitios respecto a las especies identificadas, se aplicaron los análisis de similitud de *Bray-Curtis* (1957) y afinidad de *Jaccard* con el *software Past* versión 3.2 (Hammer *et al.*, 2001).

## **Resultados y Discusión**

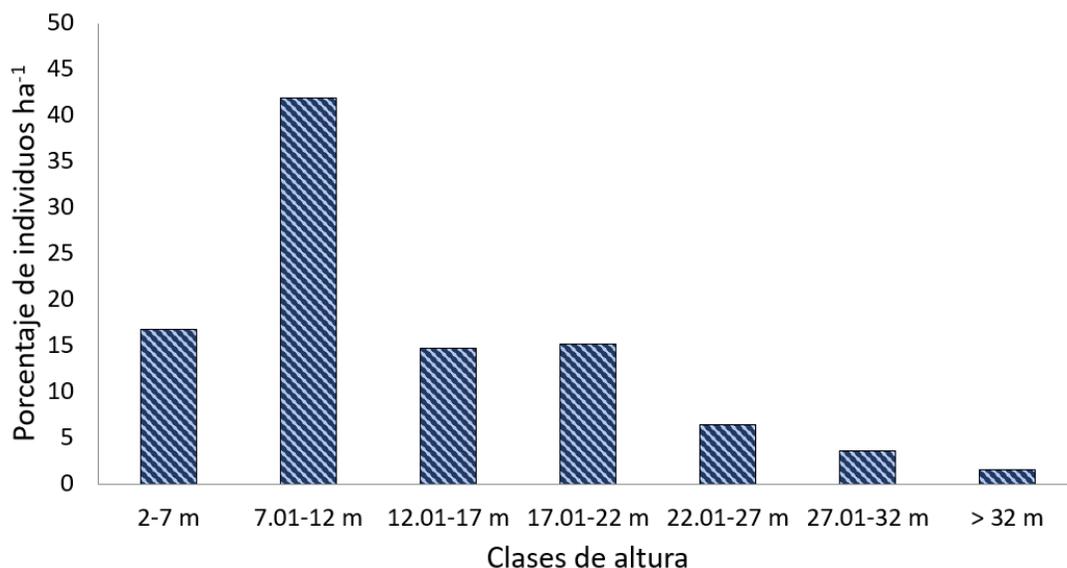
### **Composición florística y estructura**

El bosque de *Pinus-Quercus* está conformado por seis especies arbóreas. *Pinus maximinoi* H. E. Moore (con altura [*h*] promedio de 13.29 m y *DN* de 7.57 cm) y *Pinus ayacahuite* Ehrenb. ex Schltl. (*h* de 11.01 m y *DN* de 22.51 cm). El género

*Quercus* estuvo representado por dos taxones: *Quercus cortesii* Liebm. (con  $h$  promedio de 8.67 m y  $DN$  15.9 cm) y *Quercus corrugata* Hook ( $h$  de 11.1 m y  $DN$  de 21.5 cm). Otras especies asociadas fueron *Cupressus lindleyi* Klotzsch ex Endl. (con  $h$  media de 9.42 m y 26.28 cm de  $DN$ ) y *Prunus serotina* Ehrh ssp. *capuli* (Cav.) McVaugh (con  $h$  de 9.75 m y  $DN$  de 13.5 cm).

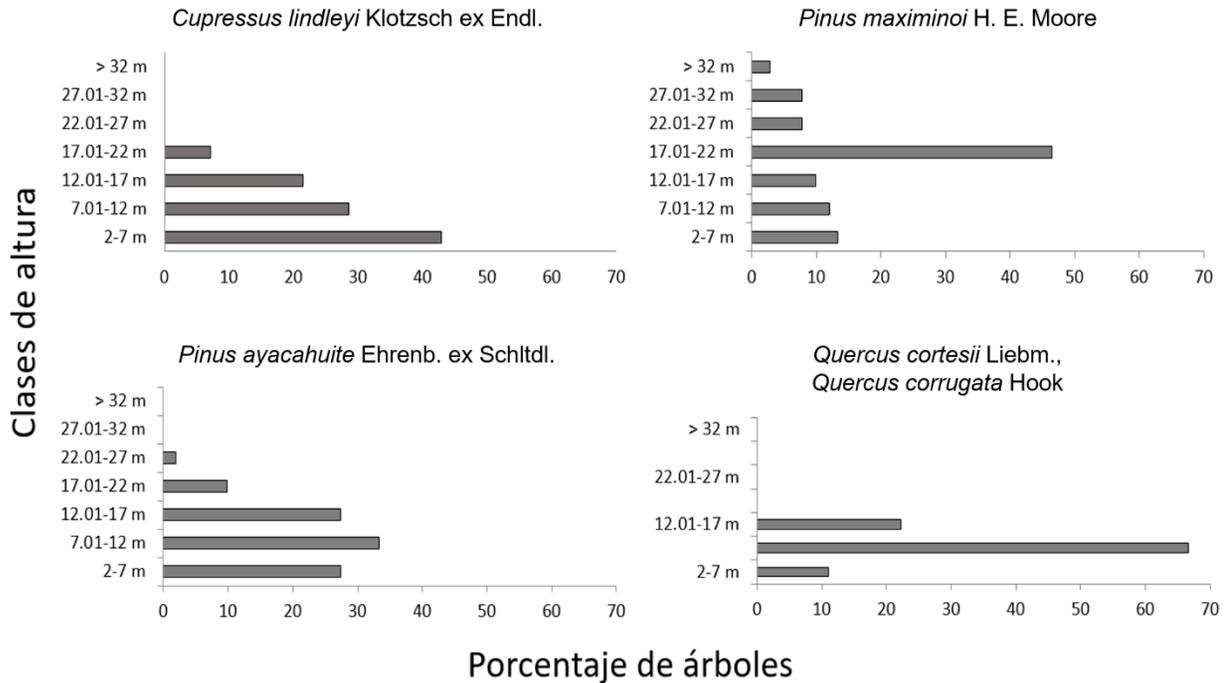
### Estructura vertical

La altura ( $h$ ) del arbolado registró un porcentaje mayor para la clase de 7.01 a 12 m de altura (41.83 %), similar a lo señalado en otros estudios (Castellanos-Bolaños *et al.*, 2010; García *et al.*, 2019) que se concentran en esta clase dominante del estrato vertical. El menor porcentaje perteneció a la clase >32 m. Las clases 2 a 7 m, 12.01 a 17 m y 17.01 a 22 m tuvieron porcentajes similares (16.73 %, 14.74 % y 15.14 %, respectivamente) (Figura 2).



**Figura 2.** Clases de altura del arbolado del bosque de *Pinus-Quercus* en El Porvenir, Chiapas.

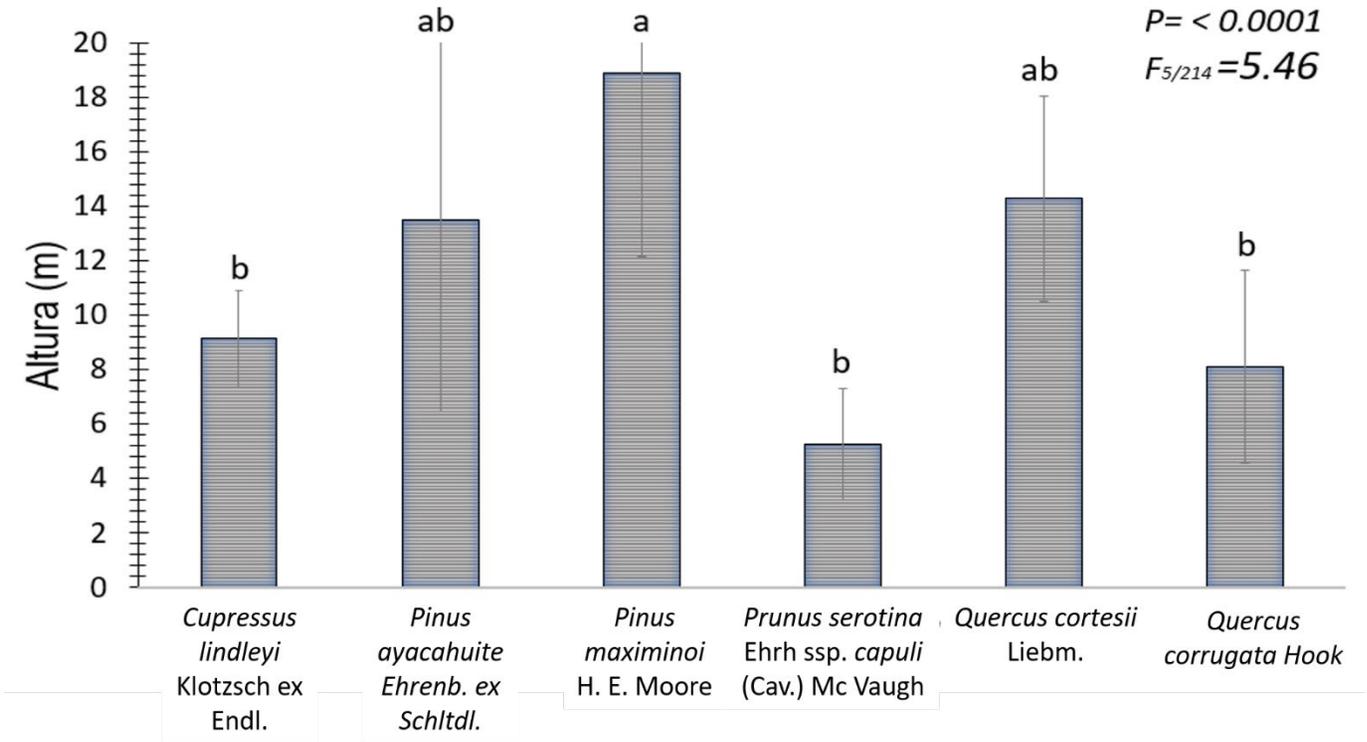
Los porcentajes correspondientes a las clases de altura para cada una de las especies analizadas indicaron que el mayor valor correspondió a *Cupressus lindleyi* en la clase de 2 a 7 m (42.86 %) y la menor proporción a la clase 17.01 a 22 m (7.14 %). Aunque *C. lindleyi* puede alcanzar alturas entre 10 y 30 m, incluso hasta 40 m (Raddi *et al.*, 2014), no se observaron árboles con alturas superiores a 22 m. *P. ayacahuite* tuvo el mayor porcentaje de individuos para la clase de altura de 7.01 a 12 m (33.33 %) y el porcentaje menor se registró en la clase 22.01 a 27 m (9.8 %); de tal forma que, a partir de 27.01 m de altura ya no hubo árboles (Figura 3). Esto difiere con lo citado por Ramírez-Martínez *et al.* (2018), quienes obtuvieron una media de 27.25 m de altura en un bosque de *Pinus ayacahuite* de Oaxaca, México, en donde señalan la presencia de árboles con más de 30 m. *Pinus maximinoi* presentó mayor proporción de individuos para la clase de altura de 17.01 a 22 m (46.48 %), la clase >32 m tuvo el porcentaje más bajo (2.82 %) y las clases 22.01 a 27 m y 27.01 a 32 m tuvieron porcentajes muy similares.



**Figura 3.** Clases de altura de las especies del bosque de *Pinus-Quercus*.

Los resultados aquí presentados son similares a los documentados para *P. maximinoi* en el estudio de Méndez *et al.* (2018), cuyos estratos dominantes se concentran en las clases de 15 a 22 m y 23 a 28 m de altura. El Instituto Nacional del Bosques (INAB) (Cano, 2017) cita en Guatemala un promedio de 17 a 19 m de altura, similar al registrado para *P. maximinoi* en El Porvenir donde alcanza hasta 35 m. *Quercus corrugata* y *Q. cortesii* registraron el mayor porcentaje de individuos (60.87 %) para la clase de altura de 7.01 a 12 m (Figura 3). Aunque estas especies llegan a alcanzar los 50 m de altura, la supresión que ejerce el género *Pinus* sobre *Quercus* limita su crecimiento óptimo (Hélaridot, 2021).

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) indicaron diferencias significativas en la altura promedio de los taxones, con un valor mayor para *P. maximinoi* ( $18.88 \pm 6.72$  m) respecto a *Prunus serotina* ( $5.25 \pm 2.06$  m), *Cupressus lindleyi* ( $9.12 \pm 1.77$  m) y *Q. corrugata* ( $8.1 \pm 3.55$  m) que presentaron las alturas menores (Figura 4).



**Figura 4.** Altura promedio  $\pm$  la desviación estándar de las especies arbóreas analizadas.

### Estructura horizontal

La clase diamétrica II fue la de mayor número de árboles ( $171 \text{ ind. ha}^{-1}$ ) y la clase XI ( $8 \text{ ind. ha}^{-1}$ ) presentó la menor cantidad (Cuadro 1A). El porcentaje de individuos en todas las clases diamétricas fue superior para *P. maximinoi*, excepto en las clases I y XII (Cuadro 1B). El área basal de todas las especies representó un total de  $65.01 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ , a la clase XII le correspondió la mayor contribución (Cuadro 1C).

**Cuadro 1.** Clases de diamétricas del arbolado, número (A), porcentajes (B) y área basal (C) representativos de cada especie en el bosque de *Pinus-Quercus*.

Especie	Clase (cm)												Total
	I 2.5- 7.5	II 7.6- 12.6	III 12.7- 17.7	IV 17.8- 22.8	V 22.9- 27.9	VI 28- 33	VII 33.1- 38.1	VIII 38.2- 43.2	IX 43.3- 48.3	X 48.4- 53.4	XI 53.5- 58.5	XII >58. 5	
A) Número de individuos/clase de <i>diamétrica</i>													
<i>Cupressus lindleyi</i> Klotzsch ex Endl.	1	7	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13
<i>Pinus ayacahuite</i> Ehrenb. ex Schtdl.	17	9	6	3	4	1	2	0	3	1	1	4	51
<i>Pinus maximinoi</i> H. E. Moore	6	22	17	16	19	7	6	8	3	4	1	19	128
<i>Quercus corrugata</i> Hook	6	2	6	2	1	1	1	1	0	0	0	0	20
<i>Quercus cortesii</i> Liebm.	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	3
<i>Prunus serotina</i> Ehrh ssp. <i>capuli</i> (Cav.) Mc Vaugh	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
Total (0.24 ha)	34	41	34	21	24	10	9	9	6	5	2	24	219
Total (1 ha)	142	171	142	88	100	42	38	38	25	21	8	100	913
B) Porcentaje de individuos/clase <i>diamétrica</i>													
<i>Cupressus lindleyi</i> Klotzsch ex Endl.	3	17	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Pinus ayacahuite</i> Ehrenb. ex Schtdl.	50	22	18	14	17	10	22	0	0	20	50	0	
<i>Pinus maximinoi</i> H. E. Moore	18	54	50	76	79	70	67	89	0	80	50	17	
<i>Quercus corrugata</i> Hook	18	5	18	10	4	10	11	11	0	0	0	79	
<i>Quercus cortesii</i> Liebm.	0	2	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	
<i>Prunus serotina</i> Ehrh ssp. <i>capuli</i> (Cav.) Mc Vaugh	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	0	100	100	100	
C) Total de individuos/porcentaje/área basal por cada clase de <i>diamétrica</i>													
Todas las especies	142	171	142	88	100	42	38	38	25	21	8	100	913
% Todas las especies	16	19	16	10	11	5	4	4	3	2	1	11	100
Área basal (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	0.07	0.83	1.69	1.98	2.24	2.69	4.86	5.11	9.67	10.04	8.05	20.11	65.01

El *DN* promedio de los sitios evaluados evidenció diferencias significativas con un valor más alto en el sitio 3 ( $66.26 \pm 6.76$  cm). A nivel de especie, el *DN* mostró diferencias significativas, cuyo valor máximo correspondió a *Pinus maximinoi* con *DN* de  $30.58 \pm 13.64$  cm (Cuadro 2), el cual se ubica dentro de los intervalos promedio de ocho especies de *Pinus* evaluadas por Corral *et al.* (2019). El taxón arbóreo con el *DN* menor fue *Prunus serotina* ( $3.79 \pm 1.08$ ), mientras que los *DN* de *P. ayacahuite*, *Q. corrugata* y *Q. cortesii* resultaron muy similares al de *P. maximinoi* (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Diámetro normal (*DN*) en sitios y especies  $\pm$  su desviación estándar (D. E.), ANOVA y comparación de medidas de Tukey ( $p < 0.05$ ).

Sitio	DN (cm) $\pm$ D.E.	Estadísticos	
		P	F <sub>5/214</sub>
1	26.27 $\pm$ 20.73b	<0.0001	9.03
2	24.21 $\pm$ 18.22b		
3	66.26 $\pm$ 6.76a		
4	31.43 $\pm$ 4.43b		
5	18.51 $\pm$ 2.84b		
6	22.91 $\pm$ 2.78b		
Especie	DN (cm) $\pm$ D.E.	Estadísticos	
		P	F <sub>5/214</sub>
<i>Cupressus lindleyi</i> Klotzsch ex Endl.	11.40 $\pm$ 2.8b	<0.0002	5.18
<i>Pinus ayacahuite</i> Ehrenb. ex Schltldl.	20.4 $\pm$ 9.84ab		
<i>Pinus maximinoi</i> H. E. Moore	30.58 $\pm$ 13.64a		
<i>Quercus corrugata</i> Hook	28.19 $\pm$ 22.88ab		
<i>Prunus serotina</i> Ehrh ssp. <i>capuli</i> (Cav.) Mc Vaugh	3.79 $\pm$ 1.08c		
<i>Quercus cortesii</i> Liebm.	15.67 $\pm$ 9.75b		

## Parámetros e índices estructurales

*Pinus maximinoi* registró la mayor densidad (533 ind. ha<sup>-1</sup>), área basal (50.34 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>), frecuencia y dominancia, lo que se reflejó en su Índice de Valor de Importancia (IVI=161.07) (Cuadro 3). Este índice es alto comparado al que presentó *P. maximinoi* en otros bosques de *Pinus-Quercus*, como el consignado por Méndez *et al.* (2018). Los valores correspondientes a los parámetros se muestran en el Cuadro 3.

**Cuadro 3. Parámetros estructurales en el bosque de Pinus-Quercus.**

<b>Especies</b>	<b>DA (Ind. ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>AB (m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>FA</b>	<b>DR</b>	<b>DoR</b>	<b>FR</b>	<b>IVI</b>
<i>Pinus maximinoi</i> H. E. Moore	533	50.34	100	58.64	77.43	25	161.07
<i>Pinus ayacahuite</i> Ehrenb. ex Schltl.	213	10.72	100	23.18	16.48	25	64.67
<i>Quercus corrugata</i> Hook	83	1.76	66.67	9.09	2.71	16.67	28.46
<i>Prunus serotina</i> Ehrh ssp. <i>capuli</i> (Cav.) Mc Vaugh	17	0.02	66.67	1.82	0.02	16.67	18.51
<i>Cupressus lindleyi</i> Klotzsch ex Endl.	54	0.47	33.33	5.91	0.72	8.33	14.96
<i>Quercus cortesii</i> Liebm.	13	1.71	33.33	1.36	2.63	8.33	12.33
Total	913	65.01		100	100	100	300

DA = Densidad absoluta; AB = Área basal; FA = Frecuencia absoluta; DR = Densidad relativa; DoR = Dominancia relativa; FR = Frecuencia relativa; IVI = Índice de Valor de Importancia.

Con relación a la densidad de arbolado (913 ind. ha<sup>-1</sup>) y el nivel bajo de fragmentación, el bosque de *Pinus-Quercus* evaluado es de tipo cerrado, con una densidad media superior a la citada por Santiago *et al.* (2012) en un bosque cerrado de *Pinus-Quercus* en Jalisco (650 ind. ha<sup>-1</sup>), y Méndez *et al.* (2018) quienes contabilizaron 254 ind. ha<sup>-1</sup> en otro bosque de *Pinus-Quercus* localizado en

Guerrero, México. Alanís-Rodríguez *et al.* (2011) obtuvieron 2 876 ind. ha<sup>-1</sup> en un bosque de *Pinus-Quercus*, cifra tres veces superior a la obtenida en El Porvenir. El área basal que aquí se documenta (65.01 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>) es muy inferior al citado (242 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>) por Santiago *et al.* (2012), sin embargo, en esta investigación los árboles presentaron mayores dimensiones diamétricas.

El Índice de Valor Forestal (*IVF*) superior correspondió a *P. maximinoi* (108.08 %). La segunda especie con mayor *IVF* fue *P. ayacahuite* (58.65 %); sin embargo, este valor es más alto al señalado por Graciano-Ávila *et al.* (2017) en un predio de Durango. El Índice de Complejidad de Holdrige (*ICH*) del bosque de *Pinus-Quercus* correspondió a 45.22 % (Cuadro 4), el cual es un valor normal para bosques templados debido a su homogeneidad característica y a la baja variabilidad en el tipo de especies. En el Cuadro 4 se muestran el *IVF*, *ICH* y los valores de *DN*, altura y cobertura de todas las especies.

**Cuadro 4. Índice de Valor Forestal (*IVF*) e Índice de complejidad de Holdrige (*ICH*) de las especies encontradas en el área de estudio.**

Especie	<i>DN</i> (cm)	<i>Alt</i> (m)	<i>Co</i> (m <sup>2</sup> )	<i>DN<sub>Ab</sub></i>	<i>DN<sub>R</sub></i>	<i>Alt<sub>Ab</sub></i>	<i>Alt<sub>R</sub></i>	<i>Co<sub>Ab</sub></i>	<i>Co<sub>R</sub></i>	<i>IVF</i>	<i>ICH</i>
<i>Pinus maximinoi</i> H. E. Moore	27.57	13.29	1 564.50	0.0028	21.64	0.0013	21.01	0.16	65.42	108.08	45.22
<i>Pinus ayacahuite</i> Ehrenb. ex Schltld.	22.51	11.01	563.55	0.0023	17.68	0.0011	17.41	0.06	23.57	58.65	
<i>Quercus corrugata</i> Hook	26.28	9.42	140.28	0.0026	20.64	0.0009	14.90	0.01	5.87	41.40	
<i>Prunus serotina</i> Ehrh ssp. <i>capuli</i> (Cav.) Mc Vaugh	21.50	11.10	113.20	0.0022	16.88	0.0011	17.55	0.01	4.73	39.17	
<i>Cupressus lindleyi</i> Klotzsch ex Endl.	13.60	9.75	5.11	0.0014	10.68	0.0010	15.42	0.00	0.21	26.31	
<i>Quercus cortesii</i> Liebm.	15.90	8.67	4.71	0.0016	12.49	0.0009	13.71	0.00	0.20	26.39	
Total	21.23	10.54	2 391.34	0.0127	100	0.0063	100	0.2391	100	300	

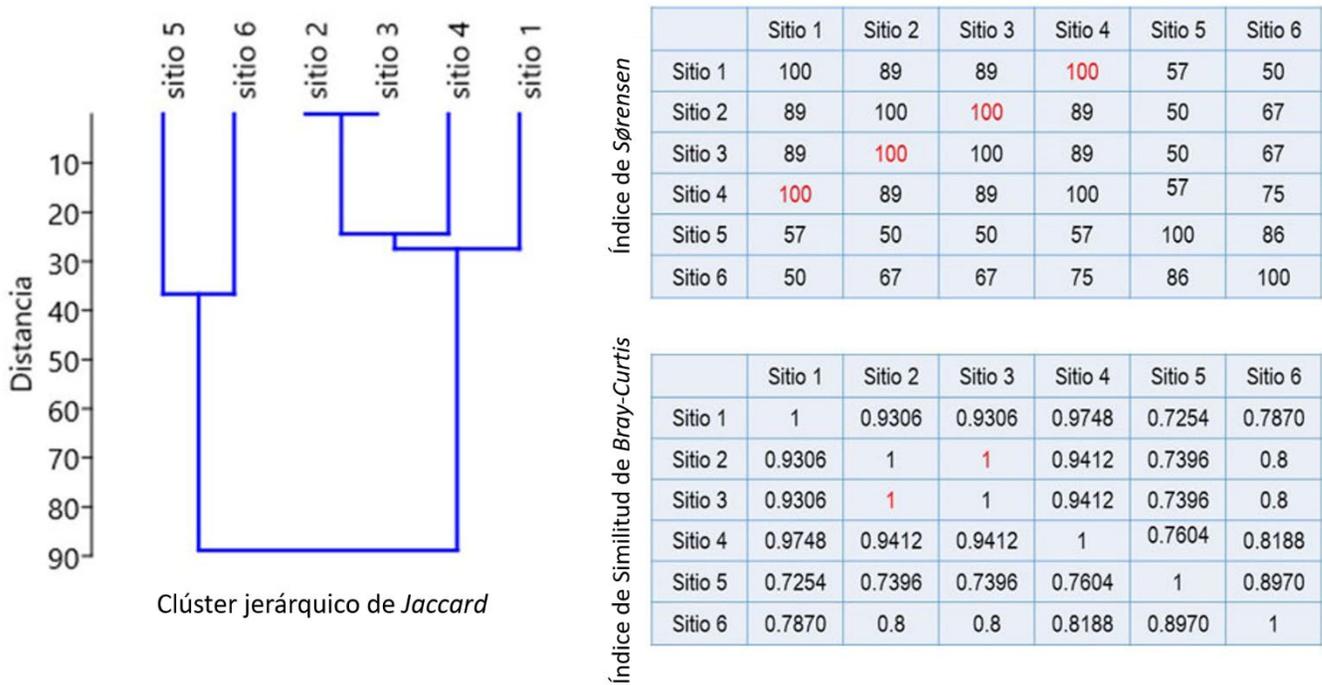
*DN* = Diámetro normal; *Alt* = Altura de arbolado; *Co* = Cobertura de dosel; *DN<sub>Ab</sub>* = Diámetro normal absoluto; *DN<sub>R</sub>* = Diámetro normal relativo; *Alt<sub>Ab</sub>* = Altura absoluta;

$Alt_R$  = Altura relativa;  $CO_{Ab}$  = Cobertura absoluta;  $CO_R$  = Cobertura relativa;  $IVF$  = Índice de Valor Forestal;  $IVI$  = Índice de Valor de Importancia.

## **Índices de complejidad y similitud**

### **Índices de *Sørensen* y *Bray-Curtis***

El Coeficiente de Afinidad de *Sørensen* ( $K$ ) definió sitios muy semejantes entre sí, con un promedio de afinidad de 74 % (mayor a 50 %). Otros estudios con un  $K < 50$  % muestran baja similitud de especies (Santana *et al.*, 2014), lo que equivale a bosques más heterogéneos. Los sitios con afinidad de 100 % fueron el sitio 1 con respecto al sitio 4 y el sitio 2 con respecto al sitio 3 debido a que tienen los mismos taxones dominantes. Sin embargo, al contrastar con el Índice de Similitud de *Bray-Curtis*, los sitios 2 y 3 fueron los únicos que mantuvieron dicho porcentaje. Esto se expresa gráficamente con el análisis clúster, en el cual los sitios 2 y 3 no mostraron distancia (Figura 5).



**Figura 5.** Índices de *Sørensen* (*K*), Similitud de *Bray-Curtis* y análisis clúster de *Jaccard* para los seis sitios en el bosque de *Pinus-Quercus*.

Este análisis evidenció claramente la definición de dos grupos: el primero a una distancia de 28 % (sitios 1, 2, 3 y 4) y el segundo a una distancia de 38 % (sitios 5 y 6).

## Conclusiones

De acuerdo con los promedios de altura total (estructura vertical) y *DN* (estructura horizontal), se rechaza la hipótesis (i) que establece la no significancia entre los valores medios de sitios y especies comparadas. Respecto al Valor de Importancia de las especies dominantes del género *Pinus*, ninguna presenta un  $IVI \geq 200$ , por lo

que se rechaza la segunda hipótesis planteada. Finalmente, el porcentaje promedio de afinidad de las especies arbóreas en los seis sitios es  $\geq 50\%$ , por lo tanto, se acepta la hipótesis (iii), la cual indica que las especies presentes tienen afinidad de tipo media-alta.

Los resultados permiten identificar la configuración de los parámetros estructurales y dominancia de las especies asociadas de los bosques de *Pinus-Quercus* en la región Sierra Mariscal del estado de Chiapas, México. *Pinus maximinoi* resulta ser la de mayor importancia en los sitios evaluados. Las dos especies del género *Quercus* presentan alto nivel de supresión con respecto a las del género *Pinus*. La comprensión de la dinámica real que tiene el bosque de *Pinus-Quercus* en la zona de estudio, da lugar a algunas interrogantes en cuanto al manejo integral y conservación del recurso requerido para mejorar los bienes y servicios que provee el ecosistema estudiado.

### **Agradecimientos**

A la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Chiapas por el apoyo logístico y de transporte a los sitios de estudio, además de las facilidades del uso de laboratorio forestal. Asimismo, también agradecer al Tecnológico Nacional de México (TecNM) por el financiamiento bajo el proyecto k3w1n7 (7703) aprobado para el programa de Investigación Científica 2020, y los servicios del Laboratorio de Ecología de Zonas Costeras (LEZCO).

### **Conflictos de intereses**

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

### **Contribución por autor**

Romeo de Jesús Barrios-Calderón, Javier Ernesto Pérez Pérez y Jony Ramiro Torres Velázquez: conceptualización y organización de la investigación, trabajo de campo, integración de bases de datos y redacción de artículo; Juan Francisco Aguirre-Cadena: redacción de artículo, integración de bases de datos y análisis estadísticos. Todos los autores participaron en la revisión general y correcciones finales del manuscrito.

### **Referencias**

Aguirre C., O. A., J. Jiménez P., E. J. Treviño G. y B. Meraz A. 1997. Evaluación de diversos tamaños de sitios de muestreo en inventarios forestales. *Madera y Bosques* 3(1):71-79. Doi: [10.21829/myb.1997.311380](https://doi.org/10.21829/myb.1997.311380).

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

Bray, J. R. and J. T. Curtis. 1957. An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. *Ecological Monographs* 27(4):326-349. Doi: [10.2307/1942268](https://doi.org/10.2307/1942268).

Calderón C., A., L. Soto P. y E. Estrada L. 2012. Entre la conservación del bosque y el crecimiento de la ciudad: las localidades rurales en el espacio periurbano del

Huitepec en San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México. *Estudios Demográficos y Urbanos* 27(3):739-787. Doi: [10.24201/edu.v27i3.1426](https://doi.org/10.24201/edu.v27i3.1426).

Cano M., E. E. 2017. Pino Candelillo (*Pinus maximinoi* H.E. Moore) Paquete Tecnológico Forestal. Informe Final. Instituto Nacional de Bosques (INAB) y Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Ciudad de Guatemala, Guatemala, C. A. 37 p.

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

Castellanos-Bolaños, J. F., E. J. Treviño-Garza, O. A. Aguirre-Calderón, J. Jiménez-Pérez y A. Velázquez-Martínez. 2010. Diversidad arbórea y estructura espacial de bosques de pino-encino en Ixtlán de Juárez, Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 1(2):39-52. Doi: [10.29298/rmcf.v1i2.636](https://doi.org/10.29298/rmcf.v1i2.636).

Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2012. Inventario Nacional Forestal y de Suelos. Informe 2004-2009. Comisión Nacional Forestal. Zapopan, Jal., México. 175 p. <https://old-snigf.cnf.gob.mx/wp-content/uploads/Resultados%20Hist%C3%B3ricos%20INFyS/2004-2009/Informes%20del%20INFyS/informe-infys-2004-2009.pdf>. (24 de agosto de 2021).

Corral R., S., A. M. Silva A. y G. Quiñonez B. 2019. Modelo generalizado no-lineal altura-diámetro con efectos mixtos para siete especies de *Pinus* en Durango, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 10(53):86-117. Doi: [10.29298/rmcf.v10i53.500](https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i53.500).

Cortina-Villar, S., H. Plascencia-Vargas, R. Vaca, G. Schroth, Y. Zepeda, L. Soto-Pinto and J. Nahed-Toral. 2012. Resolving the conflict between ecosystem protection and land use in Protected Areas of the Sierra Madre de Chiapas, Mexico. *Environmental Management* 49(3):649-662. Doi: [10.1007/s00267-011-9799-9](https://doi.org/10.1007/s00267-011-9799-9).

Food and Agriculture Organization (FAO). 2015. Global Forest Resources Assessment 2015 Desk reference. <http://www.fao.org/3/a-i4808e.pdf>. (19 de noviembre de 2021).

Franklin, J. F., T. A. Spies, R. Van Pelt, A. B. Carey, ... and J. Chen. 2002. Disturbances and structural development of natural forest ecosystems with silvicultural implications, using Douglas-fir forest as an example. *Forest Ecology and Management* 155:399-423. Doi: [10.1016/S0378-1127\(01\)00575-8](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00575-8).

García G., S. A., R. Narváez F., J. M. Olivas G. y J. Hernández S. 2019. Diversidad y estructura vertical del bosque de pino-encino en Guadalupe y Calvo, Chihuahua. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 10(53):41-63. Doi: [10.29298/rmcf.v10i53.173](https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i53.173).

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

Hammer, O., D. A. T. Harper and P. D. Ryan. 2001. Past: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Paleontología Electrónica* 4(1):1-9. [https://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/past.pdf](https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/past.pdf). (1 de marzo de 2021).

Hélaridot, J. 2021. *Oaks of the World. Quercus corrugata*. [http://oaks.of.the.world.free.fr/quercus\\_corrugata.htm](http://oaks.of.the.world.free.fr/quercus_corrugata.htm). (2 de marzo de 2021).

Holdridge, L. R., W. Grenke, W. H. Hatheway, T. Liang and J. A. Tosi Jr. 1971. *Forest environments in tropical life zones: a pilot study*. Pergamon Press. Oxford, OX, UK. 747 p.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2014. *Uso de suelo y vegetación. Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie VI, escala 1: 250 000. I. México*. <https://www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/>. (2 de marzo de 2022).

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

Mejía G., L. y E. F. Kauffer M. 2007. Entre el enfoque de ingeniería y la descentralización: desilusiones y expectativas frente a la política de agua potable en El Porvenir, Chiapas (1972-2007). In: CEMESCA. Anuario del Centro de Estudios Superiores de México y Centro América. Centro de Estudios Superiores de México y Centroamérica CESMECA. San Cristóbal de las Casas, Chis., México. pp. 341-374.

Méndez O., C., C. A. Mora D., E. Alanís R., J. Jiménez P., O. A. Aguirre C., E. J. Treviño G. and M. A. Pequeño L. 2018. Phytodiversity and structure of a pine-oak forest in the *Sierra Madre del Sur, México*. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9(50):36-53. Doi: [10.29298/rmcf.v9i50.236](https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i50.236).

Méndez-Toribio, M., J. Martínez-Cruz, J. Cortés-Flores, F. J. Rendón-Sandoval y G. Ibarra-Manríquez. 2014. Composición, estructura y diversidad de la comunidad arbórea del bosque tropical caducifolio en Tziritzícuaró, Depresión del Balsas, Michoacán, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85:1117-1128. Doi: [10.7550/rmb.4345](https://doi.org/10.7550/rmb.4345).

Raddi, P., G. Della R. and R. Danti. 2014. *Cupressus lindleyi*. In: Roloff, A. and P. Schütt (Edit.). *Enzyklopädie der Holzgewächse: Handbuch und Atlas der Dendrologie*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. Weinheim, BW, Germany. pp. 1-16.

Ramírez-Martínez, A., W. Santiago-García, G. Quiñónez-Barraza, F. Ruiz-Aquino y P. Antúnez. 2018. Modelación del perfil fustal y volumen total para *Pinus ayacahuite* Ehren. *Madera y Bosques* 24(2):e2421496. Doi: [10.21829/myb.2018.2421496](https://doi.org/10.21829/myb.2018.2421496).

Saavedra D., Z. M. y M. Perevochtchikova. 2017. Evaluación ambiental integrada de áreas inscritas en el programa federal de Pago por Servicios Ambientales

Hidrológicos. Caso de estudio: Ajusco, México. Investigaciones Geográficas (93):76-94. Doi: [10.14350/rig.56437](https://doi.org/10.14350/rig.56437).

Santana, G., M. Mendoza, V. Salinas, D. Pérez-Salicrup, Y. Martínez e I. Aburto. 2014. Análisis preliminar de la diversidad y estructura arbórea-arbustiva del bosque mesófilo en el Sistema Volcánico Transversal de Michoacán, México. Revista Mexicana de Biodiversidad 85(4):1104-1116. Doi: [10.7550/rmb.41519](https://doi.org/10.7550/rmb.41519).

Santiago P., A. L., R. Villavicencio G., J. J. Godínez H., J. M. Chávez A. y S. L. Toledo G. 2012. Tamaño de fragmentos forestales en el bosque de pino-encino, Sierra de Quila, Jalisco. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 3(14):23-38. Doi: [10.29298/rmcf.v3i14.472](https://doi.org/10.29298/rmcf.v3i14.472).

Sørensen, T. 1948. A method of establishing groups of equal amplitudes in plant sociology based on similarity of species content, and its application to analyses of the vegetation on Danish Commons. Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskab, Biologiske Skrifter. Copenhagen, CPH, Denmark. 46 p.

Statistical Analysis System (SAS Institute Inc.). 2019. JMP 14 Statistical discovery from SAS. Cary, NC, USA. [https://www.jmp.com/es\\_mx/software/data-analysis-software.html](https://www.jmp.com/es_mx/software/data-analysis-software.html). (2 de marzo de 2021).

Thom, D. and R. Seidl. 2016. Natural disturbance impacts on ecosystem services and biodiversity in temperate and boreal forests. Biological Reviews 91(3):760-781. Doi: [10.1111/brv.12193](https://doi.org/10.1111/brv.12193).

Villavicencio-Enríquez, L. y J. I. Valdez-Hernández. 2003. Análisis de la estructura arbórea del sistema agroforestal rusticano de café en San Miguel, Veracruz, México. Agrociencia 37(4):413-423. <https://www.agrociencia-colpos.mx/index.php/agrociencia/article/view/270/270>. (2 de marzo de 2021).

Wehenkel, C., J. J. Corral-Rivas and K. v. Gadow. 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](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.05.056).

Zarco-Espinosa, V. M., J. I. Valdez-Hernández, G. Ángeles-Pérez y O. Castillo-Acosta. 2010. Estructura y diversidad de la vegetación arbórea del parque estatal Agua blanca, Macuspana, Tabasco. *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo* 26(1):1-17. Doi: [10.19136/era.a26n1.179](https://doi.org/10.19136/era.a26n1.179).



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