# Respuesta del crecimiento de *Pinus pseudostrobus* (Lindl.) ante los incendios forestales

Fátima del Carmen Acevedo-Benitez[1], Marco Aurelio González-Tagle[1*], Israel Yerena-Yamallel[1], Wibke Himmelsbach[1], Julián Cerano-Paredes[2]

[1]Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León.
[2] Centro Nacional de Investigación Disciplinaria. Relación Agua, suelo Planta, Atmósfera. INIFAP

Artículo recibido 29 de mayo del 2025 y aceptado el 9 de julio del 2025

*Growth response of Pinus pseudostrobus (Lindl.) to forest fires*

**Abstract**

Temperate forests in Mexico play a key role in climate change mitigation and biodiversity conservation. However, these forests are exposed to disturbances such as forest fires, which modify the structure and affect the growth of species, as well as the resilience capacity, therefore, the objectives of the study based on the Increase in Basal Area (IBA) were: 1) Determine the radial increment before, during and after the fires. 2) To determine the resilience capacity of *Pinus pseudostrobus* (Lindl.), as well as resistance and recovery after severe fires. Potosi Hill is located in the municipality of Galeana, Nuevo León, Mexico, and has been the subject of studies about fire ecology due to recorded events. Through a direct selection of samples with fire scars, growth cores were extracted with a Pressler drill. After dating them using dendrochronological techniques, the Ring Width Index (RWI) and the IBA were correlated to evaluate changes in pre-fire, *in-situ*, and post-fire growth, to determine the growth response of *P. pseudostrobus* to forest fires. The results indicate an adverse change in the IBA following the fires, with no recovery observed over a 4-year period. The resilience capacity of *P. pseudostrobus* is considered medium-low, as it was not possible to recover the conditions before the most severe fires. Therefore, it is concluded that the more the fire frequency intervals are reduced, the lower the growth capacity and recovery will be. It is recommended to include the resilience index in management plans to anticipate changes that may occur in the ecosystem.

*Key words:* Growth, resistance, recovery, dendrochronology, fire ecology.

**Resumen**

Los bosques templados en México, juegan un papel clave en la mitigación del cambio climático y la conservación de la biodiversidad, sin embargo estos bosques estan expuestos a disturbios como incendios forestales, que modifican la estructura y afectan el crecimiento de las especies, así como la capacidad de resiliencia, por ello, los objetivos de estudio fueron: 1) Determinar el incremento radial antes, durante y después de los incendios. 2) Determinar la capacidad de resiliencia de *Pinus pseudostrobus* (Lindl.), a través de la resistencia y la recuperación después de incendios severos. El cerro El Potosí, ubicado en el municipio de Galeana, Nuevo León, México, ha sido objeto de estudios acerca de la ecología del fuego por los eventos registrados. Por medio de una selección directa sobre individuos marcados con cicatrices de incendio, se extrajeron núcleos de crecimiento con un taladro de Pressler para después fecharlos y datarlos con técnicas dendrocronológicas; se correlacionó el índice de ancho de anillo (IAA), y el incremento en área basal (IAB), para evaluar los cambios en el crecimiento previo, *in-situ* y post-incendio para conocer la respuesta del crecimiento de *P. pseudostrobus* ante los incendios forestales. Los resultados afirman que existió un cambio negativo en el IAB después de los incendios y no existe una recuperación en un período de 4 años. La capacidad de crecimiento de *P. pseudostrobus*, se considera media-baja, ya que no fue posible recuperar las

*Autor de correspondencia
Email: marco.gonzaleztg@uanl.edu.mx
ISSN 2594-0384 (Electrónica)

condiciones previas a los incendios más severos. Por tanto, se concluye que entre más se reduzcan los intervalos de frecuencia de incendio, la capacidad de crecimeinto y recuperación será mas baja. Se recomienda incluir los índices de resiliencia en los planes de manejo, con el fin de anticipar los cambios que se puedan presentar en el ecosistema.

*Palabras claves:* Crecimiento, resistencia, recuperación, dendrocronología, ecología del fuego.

## Introducción

Los bosques templados en México juegan un papel clave, no solo para la diversidad biológica, si no para la mitigación del cambio climático (CONAFOR, 2020; Quintero-Gradilla *et al.*, 2019).

Los bosques de México poseen aproximadamente el 40% de los pinos del mundo (Gernandt y Pérez-De La Rosa, 2014), sin embargo, éstos bosques comúnmente se encuentran vulnerables a incendios forestales; el año 2020 un total de 378,928 ha fueron afectadas por 5,913 incendios a lo largo del país (CONAFOR, 2020).

Según la intensidad de los incendios, pueden modificar la estructura y composición del ecosistema, sin embargo también juegan un papel importante en la dinámica, sobre todo en los ecosistemas influenciados por el fuego (Díaz-Hernández *et al*., 2021), donde existen especies que pueden o no adaptarse a estos eventos en un proceso vital para la sucesión ecológica y mantenimiento de la estabilidad interior de los mismos Rubio-Camacho *et al*., 2017).

Cuando los disturbios se presentan de manera extrema, pueden rebasar el umbral de tolerancia y causar mortalidad total, pero si existe sobrevivencia, existe también la capacidad de recuperar las condiciones previas, a lo que comúnmente se llama resiliencia (Lloret, 2012). El término resiliencia introducido por Holling (1973), emerge en el proceso continuo de adaptación a los cambios abruptos que sufre el ecosistema (Folke, 2016), en dos de sus componentes: resistencia y recuperación (Bhaskar *et al.*, 2018).

La capacidad de resiliencia de un ecosistema tiene grandes implicaciones en el manejo de los ecosistemas forestales, ya que se puede integrar el conocimiento biológico en las políticas a corto, mediano y largo plazo, así como anticipar y conocer la respuesta del ecosistema a los disturbios (Cuevas-Reyes, 2010).

Este estudio se llevó a cabo en el cerro el potosí, decretado como área natural protegida en el año 2000. El cerro presenta una rara y distintiva vegetación, elementos de flora endémicos y variedad de fauna (Castillón *et al.*, 2015; Salinas-Rodríguez, 2018); cuyos elementos requieren labores de restauración y conservación (Gobierno Constitucional del estado de Nuevo León, 2002).

Diversos disturbios de incendio han tenido lugar en este importante ecosistema desde baja hasta alta intensidad; se ha registrado el efecto de la severidad del fuego en las características de la estructura por Ávila-Flores *et al*. (2014), y se ha comprobado que, a pesar de la intensidad del último incendio en 1998, la composición de especies no ha sido afectada. El efecto de los incendios sobre la regeneración estudiado por Cortés-Cabrera *et al*. (2018), muestra que a mayor altitud, menor regeneración. Y la reconstrucción del historial de incendios donde se identificaron los eventos que tuvieron mayor severidad y extensión (Acevedo-Benítez, datos no publicados). Por tanto, se destaca el seguimiento en la investigación, con el fin de contribuir en la creación de estrategias de restauración integrando la resiliencia como un atributo del ecosistema para sobrellevar disturbios ambientales.

Por lo anterior, se ha planteado como hipótesis que, el Incremento en área basal (IAB), se ve afectado negativamente después de un incendio y que a mayor cantidad de eventos de incendio, la capacidad de resiliencia será menor. Por tanto, los objetivos que se fijaron fueron: 1) Determinar el incremento radial antes, durante y después de los eventos de incendio. 2) Determinar la capacidad de resiliencia de la especie de *Pinus psedostrobus*, así como la resistencia y la recuperación después de incendios severos.

## Materiales y métodos

*Área de estudio*

El Cerro El Potosí, se localiza al sur del estado de Nuevo León, México, a 15 km al oeste del municipio de Galeana, tiene una altitud que varía de 2,000 a 3,700 msnm. Se localiza entre los 24° 50’ 60” y 24° 53’ 16” de latitud extrema norte y los 100° 16’ 9” y 100° 15’ 12” de longitud oeste. El clima dominante en el área es templado subhúmedo con lluvias en verano, con una precipitación media de 400 mm y temperatura promedio de 14ºC.

Su vegetación es muy diversa y varía a lo largo de su distribución altitudinal, en la parte baja se encuentran áreas de cultivo, pastizales, y praderas abiertas, en la parte media matorrales que incluyen matorral xerófilo y matorral de coníferas y en la parte alta bosques de coníferas y latifoliadas. Este último corresponde al área de muestreo y en él se desarrollan especies de *Pinus hartwegii* (Lindl.), en asociación con *Pinus ayacahuite* (Ehren), en los 2850 y 2930 msnm; *Pinus pseudostrobus* (Lindl.), y masas endémicas de *Pinus culminicola* (Andresen y Beaman), que se presentan desde los 2930 a los 3000 m.s.n.m.; especies de *Quercus* spp. y *Populus* spp. así como *Pseudotsuga menziesii* (MIRB.) Franco, y *Abies vejari* Martínez, en las exposiciones norte y oriente (García-Arevalo y Gonzalez-Elizondo, 1991; García-A *et al.*,1999).

*Trabajo de campo*

Se seleccionó un área incendiada dentro de la zona boscosa del cerro, ubicada entre los 2,900 y 3,600 msnm con una pendiente de 28-38% y con árboles que presentaran cicatrices de incendio, misma que cubrió una superficie de 25 has (Figura 1).

Mediante un muestreo selectivo, se consideraron árboles longevos y con potencial dendrocronológico. Se extrajeron 40 núcleos de crecimiento a una altura de 1.3 metros de forma perpendicular a la pendiente, para esto se empleó un taladro de pressler marca Haglöf Sweden de 5.15 mm de diámetro, procurando obtener el centro de cada individuo. Las muestras fueron protegidas e identificadas en popotes de plástico biodegradable para facilitar su transporte.

*Preparación de las muestras en laboratorio*

Una vez en el laboratorio, las muestras fueron montadas y adheridas sobre molduras de madera con las traqueidas en posición perpendicular a los anillos de crecimiento. Después fueron pulidas con lijas de grano progresivo de 30 a 1,200 para resaltar las estructuras y permitir la visualización de los anillos de crecimiento.

Cada uno de los incrementos fue datado con técnicas dendrocronológicas tradicionales (Stokes y Smiley, 1968). La medición del anillo total se realizó mediante un sistema Velmex con precisión de 0.001 mm, conectado al software Measure J2X

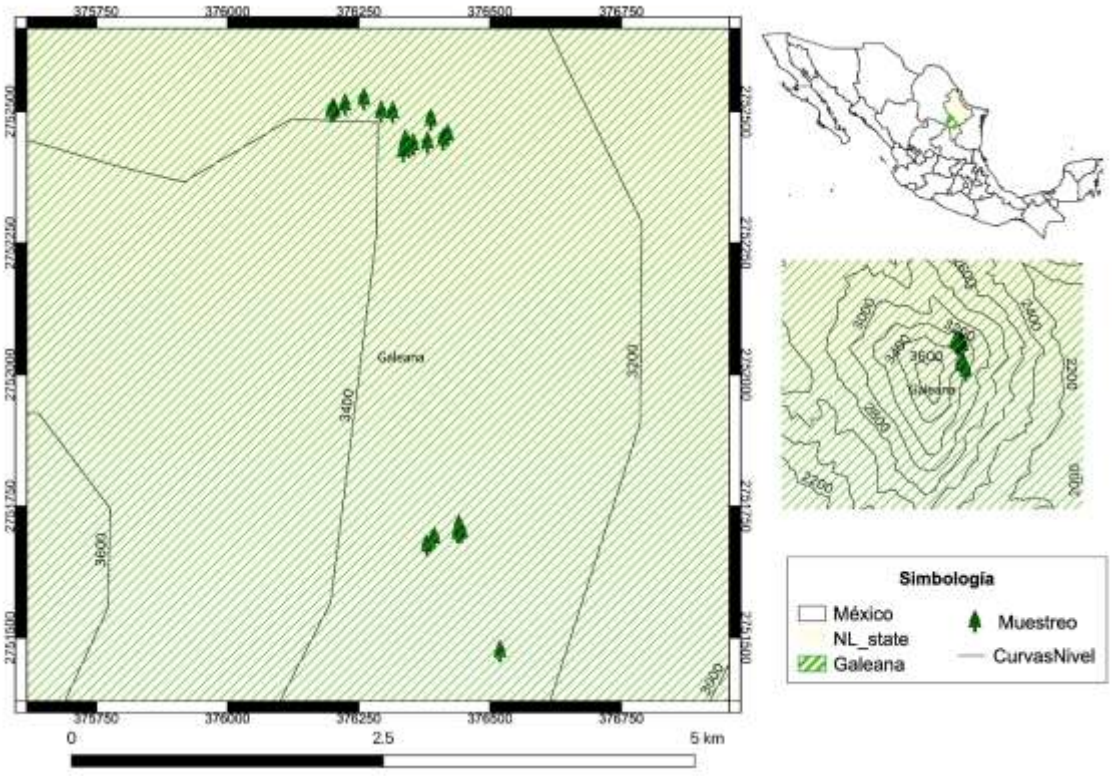



**Figura 1. Área de estudio localizada en el cerro El Potosí, Nuevo León, México.**

(Voortech.com, 2014), la calidad del fechado fue verificado con el programa COFECHA (Holmes, 1983).

*Antecedentes de los eventos de incendio en el cerro El Potosí*

Previo a este estudio, se realizó la reconstrucción del historial de incendios en el cerro El Potosí, donde fue posible identificar 21 eventos de incendio en 251 años de historia, reconstruidos por medio de técnicas dendrocronológicas. De esto, fue posible identificar los eventos de fuego que tuvieron una mayor extensión y severidad en el área, ya que se presentaron en los dos sitios destinados al muestreo, en la mayoría de los árboles marcados con cicatrices de incendio.

Los incendios identificados, fueron los correspondientes a los años de 1952, 1978 y 1998, y a pesar de no haber encontrado relación significativa entre los eventos de incendio y las condiciones climáticas ($p>0.05$), éstos si se presentaron bajo condiciones de sequía y sequía extrema para el caso del incendio de 1998 (Acevedo-Benítez, datos no publicados).

*Análisis de datos*

La matriz generada a partir de la medición del ancho de anillo de cada individuo se analizó por medio del paquete *dplR* (Bunn, 2008), en el software R (R Core Team, 2020).

El índice de ancho de anillo (IAA), se transformó a incremento en área basal (IAB), por ser una caracterización mas representativa de los cambios en el crecimiento de la especie de manera independiente a la edad del árbol (Gheorghe-Sidor *et al*., 2019; Marqués *et al*., 2016), para ello se empleó la fórmula propuesta por Biondi y Qeadan (2008).

$$BAI=\pi(r_t^2-r_{t-1}^2)$$

Donde: *r* es el radio del fuste en cm y *t* es el año de formación del anillo de crecimiento.

Se realizó una correlación entre la serie de IAA e IAB con el fin de sustentar estadísticamente la correlación significativa ($p < 0.05$), entre las series (Castruita-Esparza *et al*., 2016).

*Diferencias en el crecimiento antes, durante y después de los incendios*

Con base en el historial de incendios, se analizaron los crecimientos que se tuvieron previo (4 años anteriores), durante (año del incendio) y posterior (4 años posteriores), para observar adecuadamente el desarrollo de la especie, de acuerdo a la metodología propuesta por Van der Maaten-Theunissen *et al*. (2015). El crecimiento de *P. pseudostrobus* se estimó al calcular las medias de los años anteriores, posteriores y los mismos de los eventos de incendio (Rodríguez-Horcajo, 2016). Se realizó un ANOVA seguido de la prueba de Tukey con el fin de comprobar si las diferencias entre los crecimientos son estadísticamente significativas.

*Respuesta de los componentes de Resiliencia a los eventos de incendio*

Si bien, las especies del género *Pinus* muestran una gran resistencia y amplia recuperación a los incendios forestales (Cerano-Paredes *et al*., 2020), éstos eventos, representan un factor de estrés que afecta el crecimiento.

Para determinar la capacidad de resiliencia de *P. pseudostrobus* se calcularon los índices propuestos por Lloret, Keeling y Sala (2011), con base en la resistencia y la recuperación frente a los eventos de disturbio o alteración que se presenten, en este caso eventos de fuego.

$$Rt=Dist/Distprev$$
$$Rc=Distpost/Dist$$
$$Rs=Distpost/Distprev$$

Donde: *Rt* es la resistencia, cuantifica la diferencia entre el daño causado por el disturbio (*Dist*), en el año marcado y el período antes del daño del disturbio (*Distprev*); $Rt = \geq 1$, significa que existe resistencia completa, $Rt < 1$, menor resistencia al disturbio.

*Rc* es la recuperación en la que se cuantifica el daño después del disturbio (*Distpost*), entre el año marcado con el evento de disturbio (*Dist*); $Rc = 1$, indica un bajo crecimiento del árbol después de la perturbación, $Rc < 1$, muestra una mayor caída en el crecimiento y $Rc > 1$, supone una recuperación en el crecimiento tras el disturbio.

*Rs* es la resiliencia en la que se denota la diferencia entre el daño previo y posterior al evento de disturbio; $Rs \geq 1$, significa una recuperación completa o, incluso, aumento del crecimiento radial tras el período de estrés y $Rs < 1$, indica una disminución del crecimiento y una baja resiliencia.

Estos indicadores cuantifican la respuesta en varias escalas espaciales basados en el crecimiento del sistema (Gazol *et al*., 2017; Pretzsch, Schütze y Uhl, 2013), el análisis de los componentes de resiliencia se calculó mediante el paquete *pointRes*, siguiendo la metodología propuesta por Van der Maaten-Theunissen *et al*. (2015).

## Resultados

*Parámetros dendrocronológicos*

En el muestreo se colectaron 40 núcleos de crecimiento procedentes de 16 árboles de *Pinus pseudostrobus* de las cuales se utilizaron 35, ya que presentaron mejores intercorrelaciones entre series, alcanzando la referencia propuesta por Holmes (1983), (r=0.328, p<0.01). Los parámetros dendrocronológicos y los rangos propuestos por Constante-García *et al*. (2009), se muestran en la tabla 1.

*Cambios en el crecimiento de los eventos de incendio*

La correlación existente entre el IAA y el IAB fue significativa (r = 0.57, 95% IC [0.43, 0.69], t(107) = 7.22, p < .001). Por lo tanto, el IAB es confiable en el análisis de cambio en el crecimiento de la especie. El análisis en el IAB mostró las caídas del crecimiento durante los años en que se presentaron los eventos de incendio (Figura 2).

Después de los incendios, hubo una clara disminución del IAB de *P. pseudostrubus* (Figura 2), el período que mayor afección tuvo, fue el consiguiente al incendio de 1998, ya que el IAB

**Tabla 1. Parámetros dendrocronológicos de *Pinus pseudostrobus* en el cerro El Potosí.**

| | *Pinus pseudostrobus* | Rangos |
|---|---|---|
| Criterios | Valores | |
| Número de series (# árboles) | 35(16) | * |
| Intercorrelación entre series | 0.52 | 0.4-0.9 |
| Desviación estándar | 0.17 | Varia con especie y sitio |
| Sensibilidad media | 0.36 | 0.15-0.68 |
| Autocorrelación de 1er orden | 0.52 | 0.3-0.8 |
| Segmentos con problemas | 2 | * |
| Relación señal-ruido | 19.23 | 1.0-20.0 |
| Periodo EPS>0.85 | 1921-2019 | * |

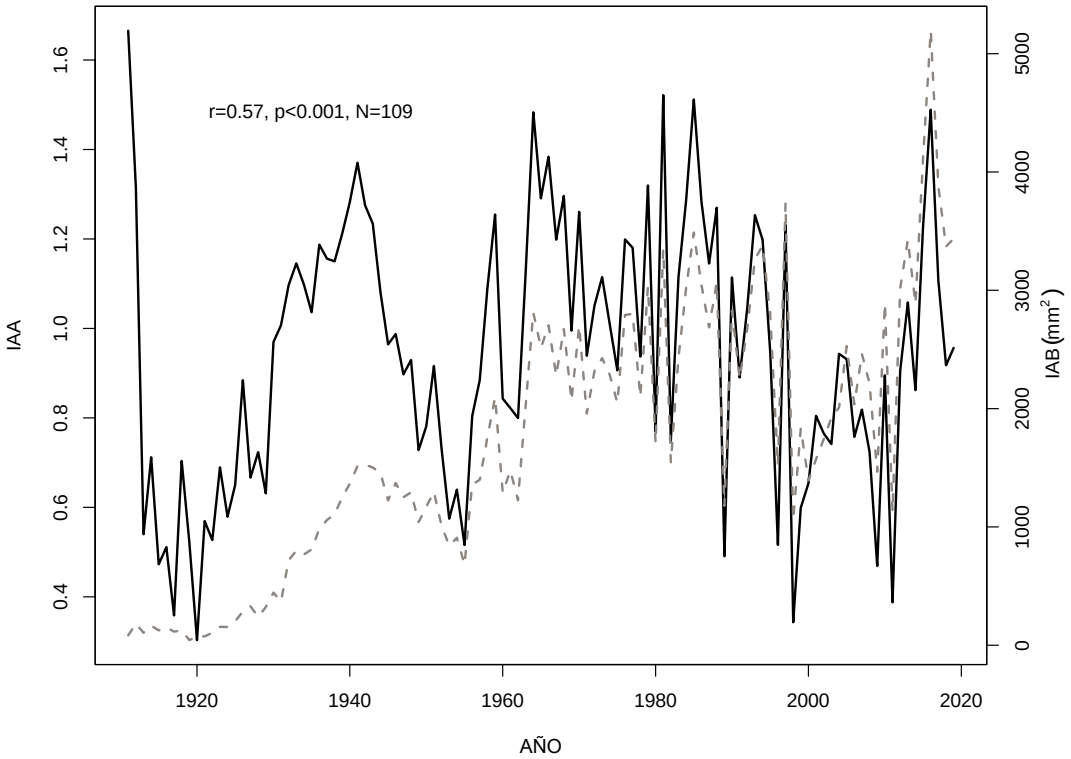



**Figura 2. Correlación entre el IAA y el IAB para 109 años de reconstrucción.**

disminuyó en un 60% en comparación a las condiciones que se presentaron previo al evento de incendio, por otro lado para el evento de 1952 el crecimiento se vió afectado en un 55%, respecto a las condiciones previas al incendio (Figura 3). La mayor estabilidad se presentó después del incendio de 1978, en este período se muestra que, aún que el crecimiento disminuyó, fue el evento que menor afección tuvo.

Las comparaciones de los crecimientos entre los eventos de fuego fueron estadísticamente significativas ($P<0.05$), a excepción de los crecimientos entre los incendios de 1978 y 1998 previas y post-incendio. Las condiciones de crecimiento durante el incendio de 1952 y 1998 se comportan de manera similar (Tabla 2).

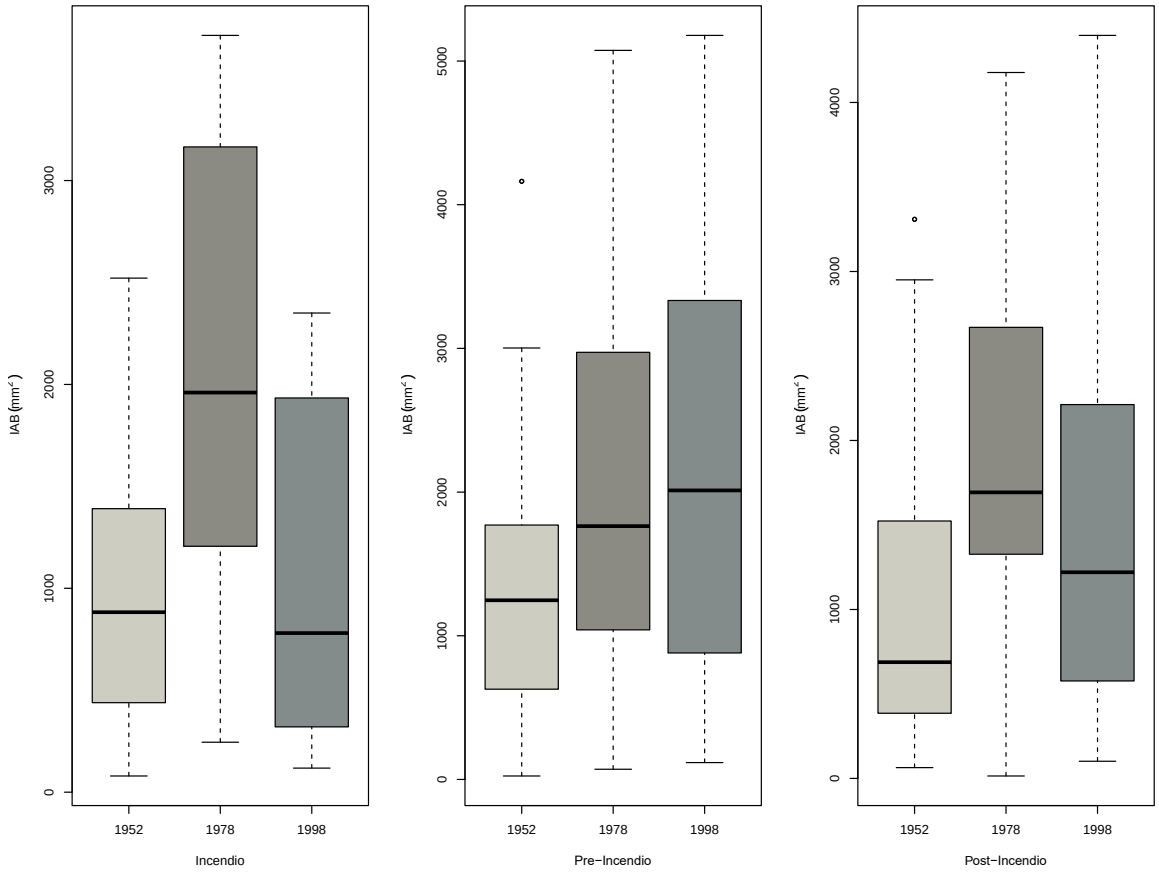



**Figura 3. Diferencias en el crecimiento antes, durante y después de los incendios de 1952, 1978 y 1998. El IAB se expresa en mm$^2$.**

**Tabla 2. Crecimiento mínimo, medio y máximo de *P. pseudostrobus* a 1.3 m de altura.**

| Incendio | Crecimiento | Previo (mm$^2$) | Incendio (mm$^2$) | Posterior (mm$^2$) |
|---|---|---|---|---|
| 1952 | Mínimo | 24.08 | 79.22 | 64.20 |
| | Medio | 1246.66 | 882.53 | 688.24 |
| | Máximo | 3002.58 | 2521.38 | 2950.22 |
| 1978 | Mínimo | 71.41 | 244.59 | 14.63 |
| | Medio | 1763.38 | 1960.16 | 1692.54 |
| | Máximo | 5074.12 | 3711.70 | 4177.78 |
| 1998 | Mínimo | 116.96 | 117.56 | 101.83 |
| | Medio | 2011.45 | 780.02 | 1220.09 |
| | Máximo | 5178.17 | 2350.36 | 4396.76 |
| P<0.001 | | | | |
| 1952-1978 | | 0.0000026 | 0.0001958 | 0.0000000 |
| 1998-1952 | | 0.0000001 | 0.9828997 | 0.0007437 |
| 1998-1978 | | 0.8267092 | 0.0001831 | 0.0082264 |

*Respuesta a los índices de resiliencia frente a los incendios*

Los índices de resiliencia mostraron una mayor resistencia en los eventos de 1952 y 1978, más no representa una resistencia completa, después del incendio de 1998 el indicador muestra una baja resistencia, aunque la especie mostró una buena capacidad de recuperación en comparación a la recuperación que se tuvo después del incendio de 1952 y de 1978 (Tabla 3). No existieron diferencias significativas (Figura 4), incluso la resistencia fue mayor para el evento de 1978 (0.81 y 0.83 respectivamente), respecto al evento de 1998 (0.34), la resistencia mostró una disminución

**Tabla 3. Respuesta de los Índices de resiliencia a los incendios en el cerro El Potosí.**

| Índices de resiliencia | 1952 | 1978 | 1998 |
|---|---|---|---|
| Resistencia | | | |
| Mínimo | 0.460 | 0.16 | 0.050 |
| Medio | 0.81 | 0.83 | 0.34 |
| Máximo | 1.15 | 1.44 | 0.60 |
| Recuperación | | | |
| Mínimo | 0.50 | 0.69 | 0.79 |
| Medio | 0.900 | 1.34 | 1.99 |
| Máximo | 1.310 | 1.69 | 6.64 |
| Resiliencia | | | |
| Mínimo | 0.50 | 0.250 | 0.290 |
| Medio | 0.75 | 0.920 | 0.610 |
| Máximo | 1.19 | 1.790 | 1.620 |

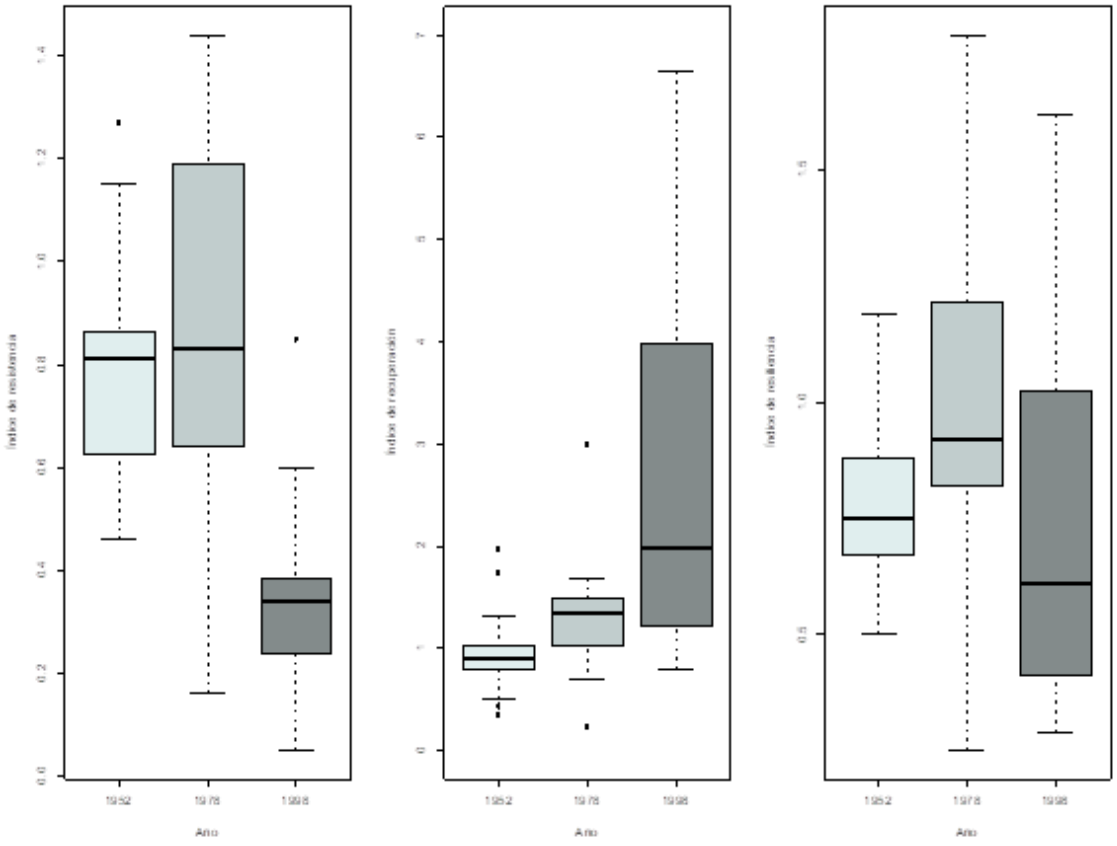



**Figura 4. Respuesta a los componentes de resiliencia de *P. pseudostrobus* después de los incendios de 1952, 1978 y 1998.**

estadísticamente significativa respecto a las condiciones previas ($p<0.001$) en comparación a los eventos anteriores.

La recuperación después del evento más severo en 1998 (1.99), en el corto tiempo fue superior a los eventos ocurridos en 1952 y 1978 (0.9 y 1.34 respectivamente), mostrando diferencias estadísticamente signficativas ($p<0.001$).

La capacidad de resiliencia a los disturbios de incendio no mostró diferencias significativas entre los incendios de mayor severidad en el área, y en ninguno de los tres eventos se presentó una capacidad de resiliencia completa, es decir que en ningún caso fue posible recuperar las condiciones previas éstos eventos de incendio. La menor capacidad de resiliencia se presentó en el evento de 1998.

## Discusión

*Cambios en el crecimiento previo, insitu y post incendio*

El presente estudio reveló los cambios en el creimiento de tres de los incendios de mayor severidad en el área, así como la respuesta a los componentes de resiliencia.

Los cambios en el crecimiento con base en el IAA y el IAB han sido muy útiles, ya que es posible determinar la evolución del ecosistema en el tiempo.

Las correlaciones entre el IAA e IAB son estadísticamente significativas, es decir que existe una confiabilidad para identificar la disminución del crecimiento en el año en que ocurre la perturbación, como se ha relacionado en los bosques de jocotitlán en el edo. de México (Núñez-García *et al*., 2021), pero también en los bosques de la Sierra Madre Occidental en el estado de Chihuahua (Castruita-Esparza *et al*., 2016). A pesar de que no existe una referencia exacta de la senescencia biológica de la especie, se han tenido registros con más de 185 años datados por Carlón et al. (2016), en bosques del estado de Michoacán, por lo que los 108 años, están aún lejos de su senescencia biológica.

El crecimiento después de un incendio de gran intensidad también responde a la precipitación durante la estación de crecimiento, ya que representa del 65 al 85% incremento en el crecimiento anual como lo demuestran Zeng *et al*. (2020), y aunque después de estos incendios se tuvo un incremento en la precipitación (Villanueva-Díaz *et al*., 2018), el IAB no se recuperó en el corto tiempo. En contraparte, en otro estudio en San Pedro Mártir en el edo. de Baja California, Murphy *et al*. (2021), han demostrado que, a pesar de los eventos de incendio e incluso seguido por eventos de sequía, no mostraron diferencias significativas, por lo que el fuego es escencial en este ecosistema.

*Respuesta a los indices de resiliencia*

La recuperación que mostró *P. pseudostrobus* (>1), durante eventos de incendio de gran magnitud, afirma lo analizado por Rodríguez-Trejo (2008), ya que en estos ecosistemas de pino-encino, el fuego contribuye a mantener la diversidad del ecosistema.

La protección física que brinda la corteza gruesa de esta especie, la hace menos susceptible a la mortalidad en eventos de incendio, gracias a esta característica, mostró un alto índice de valor de importancia post-incendio en el parque ecológico Chipinque en el edo. de Nuevo León (Alanís-Rodríguez *et al*., 2011). Otras especies como *P. ponderosa* (Douglas ex C.Lawson), *P. ocarpa* (Schiede ex Schltd), y *P. montezumae* (Lamb.), reaccionan de manera positiva ante los eventos de incendio (Díaz-Hernández *et al*., 2021; Rodríguez-Trejo *et al*., 2019). En contraparte el análisis de la especie de *P. hartwegii* en el cerro El Potosí, no mostró recuperación post- incendio, como lo hizo *P. pseudostrobus* a los 3400-3600 msnm, altitud en la que se llevó a cabo el estudio (Cortés-Cabrera *et al*., 2018).

Los disturbios como incendios, sequía extrema o huracanes son parte de la dinámica de los ecosistemas y muchas especies muestran una alta capacidad de resiliencia en su facilidad de rebrote (Lawes, Keith y Bradstock, 2016). Según Hart *et al*. (2019), las diferencias entre la composición previo y post-incendio son mayores cuando el intervalo de frecuencia es corto, a diferencia de un intervalo largo, por tanto la capacidad de resiliencia se ve afectada. En el área, la frecuencia media de incendios es de 9.2 años (Acevedo-Benítez, datos no publicados), y la capacidad de resiliencia es considerada media-baja, por tanto, con base en lo descrito por los autores se puede afirmar y concluir que la capacidad de resiliencia será menor si la frecuencia de incendios aumenta, incluso a pesar de la protección natural que muestra *P. pseudostrobus*.

*Implicaciones en el manejo forestal*

La resiliencia dentro del manejo forestal, se centra en la protección que representa *P. pseudostrobus* en el ecosistema, debido a que los efectos de los incendios entre otros; reducen la infiltración de agua, afectan la estructura forestal e incrementan la erosión (Ávila-Flores *et al*., 2014; Cuevas-Reyes, 2010). Los componentes de resiliencia como la recuperación en consiguiente asegura la

recuperación de los individuos tras el incendio, por ejemplo la recuperación del follaje post-incendio, gracias a la protección de las yemas terminales (Alanís-Rodríguez *et al*., 2011; Lawes *et al*., 2016). Además de que manetener una buena resiliencia en el ecosistema asegura la diversidad y el buen estado de un bosque.

## Conclusiones

El manejo de los recursos naturales conlleva a una serie de estrategias para lograr una sostenibilidad a largo plazo. Un punto importante se centra en el manejo del fuego, la implementación de políticas no sólo se debe enfocar en la supresión de los incendios, si no en la comprensión del rol ecológico que tiene el fuego en el ecosistema. Comprender y analizar los regímenes de fuego en el tiempo, así como las causas que determinan la extensión y severidad, permite buscar soluciones y basar el manejo forestal en mantener una relación entre las perturbaciones y la estabilidad del ecosistema. La especie en estudio presenta buena interacción con el fuego, fue posible verificar que la capacidad de resiliencia ha bajado, tomando en cuenta el último evento de incendio, por tanto, se recomienda incluir la capacidad de resiliencia en el manejo de los recursos naturales, con el fin de restaurar y aumentar la diversidad biológica. Los efectos en el crecimiento después de un evento de incendio, también se relacionan con el tamaño, la severidad y gravedad de las perturbaciones, así como la relación con la variación de las condiciones climáticas. Se destacan las técnicas dendrocronológicas para cuantificar los indicadores biológicos de las especies y su interacción con el ecosistema y los eventos de disturbio.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al CONAHCyT por el financiamiento al primer autor en el programa de Becas Nacionales (Num. de Becario: 705253), para el desarrollo de estudios del Doctorado en Ciencias con especialidad en el Manejo de Recursos Naturales (001415), y de igual manera a la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Se agradece al Laboratorio de Dendrocronología del INIFAP CENID-RASPA y al Laboratorio de Dendrocronología de la FCF-UANL por las facilidades para el procesamiento de las muestras.

## Referencias

Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Valdecantos-Dema, A., Pando-Moreno, M., Aguirre-Calderón, O., Treviño-Garza, E. J. 2011. Caracterización De Regeneración Leñosa Post-Incendio De Un Ecosistema Templado Del Parque Ecológico Chipinque, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, *XVII*(1), 31–39. https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.05.032

Ávila-Flores, D. Y., González-Tagle, M. A., Jiménez-Pérez, J., Aguirre-Calderón, O. A., Treviño-Garza, E., Vargas-Larreta, B., Rodríguez, E. A. 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. https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2013.01.005

Bhaskar, R., Arreola, F., Mora, F., Martinez-Yrizar, A., Martinez-Ramos, M., Balvanera, P. 2018. Response diversity and resilience to extreme events in tropical dry secondary forests. *Forest Ecology and Management*, *426*(September 2017), 61–71. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.09.028

Biondi, F., Qeadan, F. 2008. A theory-driven approach to tree-ring standardization: Defining the biological trend from expected basal area increment. *Tree-Ring Research*, *64*(2), 81–96. https://doi.org/10.3959/2008-6.1

Bunn, A.G. 2008. A dendrochronology program library in R (dplR). *Dendrochronologia*, *26*(2), 115–124. https://doi.org/10.1016/j.dendro.2008.01.002

Carlón-Allende, T., Mendoza, M.E., Pérez-Salicrup, D.R., Villanueva-Díaz, J., Lara, A. 2016. Climatic responses of Pinus pseudostrobus and Abies religiosa in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve, Central Mexico. *Dendrochronologia*, *38*, 103–116. https://doi.org/10.1016/j.dendro.2016.04.002

Castillón, E.E., Arévalo, J.R., Villarreal-Quintanilla, J.Á., Rodríguez, M.M.S., Encina-Domínguez, J.A., Rodríguez, H.G., Cantú-Ayala, C.M. 2015. Classification and ordination of main plant communities along an altitudinal gradient in the arid and temperate climates of northeastern Mexico. *Science of Nature*, *102*(9). https://doi.org/10.1007/s00114-015-1306-3

Castruita-Esparza, L.U., Correa-Díaz, A., Gómez-Guerrero, A., Villanueva-Díaz, J., Ramírez-Guzmán, M.E., Velázquez-Martínez, A., Ángeles-Pérez, G. 2016. Series de incremento del área basal en árboles dominantes de Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco muestran periodicidad de acuerdo con patrones climáticos globales. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, *22*(3), 379–397. https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2015.10.048

Cerano-Paredes, J., Iniguez, J.M., Villanueva-Díaz, J., Cervantes-Martínez, R., Cambrón-Sandoval, V. H., Estrada-Arellano, J. R., Cardoza-Martínez, G.F. 2020. Using Tree-Rings to Reconstruct Fire History Information from Forested Areas. *Journal of Visualized Experiments : JoVE*, (164), 1–27. https://doi.org/10.3791/61698

CONAFOR. 2020. *Reporte semanal Nacional de incendios forestales*. *Coordinación General de Conservación y Restauración*. Zapopan, Jalisco, México. Retrieved from https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/604834/Cierre_de_la_Temporada_2020.PDF

Constante-García, V., Villanueva-Diaz, J., Cerano-Paredes, J., Estrada-Ávalos, J. 2009. *Medición y calidad de fechado en anillos de árboles*.

Cortés-Cabrera, H.E., Jurado, E., Pompa-García, M., Aguirre-Calderón, O.A., Pando-Moreno, M., González-Tagle, M.A. 2018. Efecto de los incendios y la elevación en la

regeneración de Pinus hartwegii Lindl. en el noreste de México. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, *24*(2), 197–205. https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2017.09.057

Cuevas-Reyes, P. 2010. Importancia de la resiliencia biológica como posible indicador del estado de conservación de los ecosistemas : implicaciones en los planes de manejo y conservación de la biodiversidad. *Biologicas*, *12*(1), 1–7.

Díaz-Hernández, D., Rodríguez-Laguna, R., Rodríguez-Trejo, D.A., Acevedo-Sandoval, A., Maycotte-Morales, C. 2021. Pinus montezumae regeneration dynamics after a forest fire and a prescribed burn. *Botanical Sciences*, *99*(1), 58–66. https://doi.org/10.17129/BOTSCI.2634

Folke, C. 2016. Resilience (Republished). *Ecology and Society*, *21*(4). https://doi.org/10.5751/ES-09088-210444

García-Arevalo, A., Gonzalez-Elizondo, S. 1991. Flora y vegetación de la cima del cerro Potosí, Nuevo León, México. *Acta Botanica Mexicana*, (13), 53. https://doi.org/10.21829/abm13.1991.608

García A, M.A., Treviño-Garza, E.J., Cantú-Ayala, C.M., González-Saldivar, F.N. 1999. *Zonificación ecológica del cerro "El Potosí", Galeana, Nuevo León, México.* Retrieved from http://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n38/n38a4.pdf

Gazol, A., Camarero, J.J., Anderegg, W.R.L., Vicente-Serrano, S.M. 2017. Impacts of droughts on the growth resilience of Northern Hemisphere forests. *Global Ecology and Biogeography*, *26*(2), 166–176. https://doi.org/10.1111/geb.12526

Gernandt, D.S., Pérez-De La Rosa, J.A. 2014. Biodiversity of Pinophyta (conifers) in Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, *85*(SUPL.), 126–133. https://doi.org/10.7550/rmb.32195

Gheorghe-Sidor, C., Camarero, J.J., Popa, I., Badea, O., Apostol, N., Vlad, R. 2019. Forest vulnerability to extreme climatic events in Romanian Scots pine forests. *Science of the Total Environment*, *678*, 721–727. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.021

Gobierno Constitucional del estado de Nuevo León. (2002). Declaratoria de veintitres areas naturales protegidas con el caracter de zonas sujetas a conservación ecológica del estado de Nuevo León. *Periodico Oficial*, *Tomo 137*(141, 24 de Noviembre), 9–90. Retrieved from https://www.nl.gob.mx/sites/default/files/d_areas.pdf

Hart, S.J., Henkelman, J., McLoughlin, P.D., Nielsen, S.E., Truchon-Savard, A., Johnstone, J.F. 2019. Examining forest resilience to changing fire frequency in a fire-prone region of boreal forest. *Global Change Biology*, *25*(3), 869–884. https://doi.org/10.1111/gcb.14550

Holling, C.S. 1973. Resilience and Stability of Ecological Systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, *4*(1), 1–23. https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245

Holmes, R.L. 1983. *Analysis of tree rings and fire scars to establish fire history*. *Tree-Ring Bulletin* (Vol. 43). Retrieved from http://hdl.handle.net/10150/261223

Lawes, M.J., Keith, D.A., Bradstock, R.A. 2016. Advances in understanding the influence of fire on the ecology and evolution of plants: a tribute to Peter J. Clarke. *Plant Ecology*, *217*(6), 597–605. https://doi.org/10.1007/s11258-016-0625-6

Lloret, F. 2012. Vulnerabilidad y resiliencia de ecosistemas forestales frente a episodios extremos de sequía. *Ecosistemas*, *21*(3), 85–90. https://doi.org/10.7818/ecos.2012.21-3.11

Lloret, F., Keeling, E.G., Sala, A. 2011. Components of tree resilience: Effects of successive low-growth episodes in old ponderosa pine forests. *Oikos*, *120*(12), 1909–1920. https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2011.19372.x

Marqués, L., Camarero, J.J., Gazol, A., Zavala, M.A. 2016. Drought impacts on tree growth of two pine species along an altitudinal gradient and their use as early-warning signals of potential shifts in tree species distributions. *Forest Ecology and Management*, *381*, 157–167. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.09.021

Murphy, J.S., York, R., Rivera-Huerta, H., Stephens, S.L. 2021. Characteristics and metrics of resilient forests in the Sierra de San Pedro Martír, Mexico. *Forest Ecology and Management*, *482*(September 2020), 118864. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118864

Núñez-García, A., Gómez-Guerrero, A., Terrazas-Salgado, T.M., Vargas-Hernández, J.J., Villanueva-Díaz, J. 2021. Analysis of basal area increment of Pinus hartwegii Lindl. At different elevations and aspects on Jocotitlán Mountain, State of Mexico. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, *27*(1), 73–88. https://doi.org/10.5154/R.RCHSCFA.2019.10.074

Pretzsch, H., Schütze, G., Uhl, E. 2013. Resistance of European tree species to drought stress in mixed versus pure forests: Evidence of stress release by inter-specific facilitation. *Plant Biology*, *15*(3), 483–495. https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2012.00670.x

Quintero-Gradilla, S.D., Jardel-Peláez, E.J., Cuevas-Guzmán, R., García-Oliva, F., Martínez-Yrizar, A. 2019. Cambio postincendio en la estructura y composición del estrato arbóreo y carga de combustibles en un bosque de Pinus douglasiana de México. *Madera y Bosques*, *25*(3), 1–14. https://doi.org/10.21829/myb.2019.2531888

R Core Team. 2020. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. Retrieved from http://www.r-project.org

Rodríguez-Trejo, D. A., Martínez-Muñoz, P., & Martínez-Lara, P. J. (2019). Efectos del fuego en el arbolado de un bosque tropical de pino y en el de una selva baja caducifolia en Villaflores, Chiapas. *Ciência Florestal*, *29*(3), 1033. https://doi.org/10.5902/1980509833952

Rodríguez-Horcajo, R. 2016. *Efectos de la sequía en el crecimiento y la capacidad de resiliencia en tres especies de pinos que cohexisten en un bosque mediterráneo*. Universidad de Alcalá.

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. https://doi.org/10.1579/0044-7447-37.7.548

Rubio-Camacho, E.A., González-Tagle, M.A., Himmelsbach, W., Ávila-Flores, D.Y., Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J. 2017. Patrones de distribución espacial del arbolado en un bosque mixto de pino-encino del noreste de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, *88*(1), 113–121. https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.01.015

Salinas-Rodríguez, M.M. 2018. La Sierra Madre Oriental como reservorio de diversidad vegetal. *Revista Ciencia UANL*, *21*(88), 46–51. https://doi.org/10.29105/cienciauanl88.21-4

Stokes, M.A., Smiley, T.L. 1968. *Introduction to tree-ring dating*. University of Chicago.

Van der Maaten-Theunissen, M., Van der Maaten, E., Bouriaud, O. 2015. Technical note pointRes: An R package to analyze pointer years and components of resilience. *Dendrochronologia*, *35*, 34–38. https://doi.org/10.1016/j.dendro.2015.05.006

Villanueva-Díaz, J., Selem-Vázquez, L., Ávalos-Estrada, J., Sifuentes-Martínez, A. R., Cerano-Paredes, J., Canizales-Velázquez, P.A., Reyes-Camarillo, F. del R. 2018. Comportamiento hidroclimático de coníferas en el Cerro El Potosí, Nuevo León, México. *Revista Mexicana de Ciencias*

*Forestales*, *9*(49), 165–187. https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i49.128

Voortech.com. 2014. Measure J2X measurement software.

Zeng, X., Wei, C., Liu, X., Zhang, L. 2020. Qinghai spruce (Picea crassifolia) and Chinese pine (Pinus tabuliformis) show high vulnerability and similar resilience to early-growing-season drought in the Helan Mountains, China. *Ecological Indicators*, *110*(October 2019), 105871. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105871