

ARTÍCULOS

Análisis de la regeneración y piso forestal dos años después en rodal incendiado del sur de México

Analysis of the regeneration and forest floor in a fired stand at southern Mexico

Rosario Aquino-López ^a , Ernesto Castañeda-Hidalgo ^{b*} , Gerardo Rodríguez-Ortiz ^b , Gisela M. Santiago-Martínez ^b , Ángel Bustamante-González ^c , Salvador Lozano-Trejo ^b 

^a Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, Programa de Maestría en Ciencias en Productividad en Agroecosistemas. Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México.

Autor de correspondencia: ^b Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México, casta_h50@hotmail.com

^c Colegio de Posgraduados, Campus Puebla, Puebla, Puebla, México.

SUMMARY

Temperate pine-oak forests provide multiple ecosystem goods and services; however, they are exposed to a great diversity of natural disturbances, such as forest fires. The objective of this study was to determine the post-fire effect on the residual structure, regeneration and forest floor. In the year 2021, 12 sites were established using selected sampling in three areas with different fire severity conditions (high, medium and low). The tree and forest floor dasometric inventory was carried out to determine and differentiate its biomass stored by NSI, the coordinates (X, Y) of natural regeneration were recorded to determine its spatial distribution. The severity levels were differentiated using the generalized linear model and comparison of means (Duncan, 0.05). Aboveground biomass accumulation (humus and litter, and soil specific gravity) did not show significant differences ($P > 0.05$) between severity levels (978.26 t ha⁻¹). Sites with high levels of severity have a greater accumulation of necromass (287.91 t ha⁻¹), which makes it difficult to establish natural regeneration. The best-preserved residual tree structure of the burned stand was found in sites with medium severity level since they accumulate biomass amounts of 134.3 t ha⁻¹. In the same sense, these sites with medium severity contain the highest regeneration density (1,237 plants ha⁻¹), which is reduced by up to 79 % in sites with high severity. The distribution of regeneration corresponds to an aggregate pattern across the three levels. The forest presents contiguous positive and negative post-fire changes.

Keywords: Agua Blanca, aboveground biomass, spatial distribution, pine-oak, fire severity.

RESUMEN

Los bosques templados de pino-encino brindan múltiples bienes y servicios ecosistémicos; sin embargo, están expuestos a una gran diversidad de perturbaciones naturales, como los incendios forestales. El objetivo fue determinar el efecto post-incendio sobre la estructura residual, regeneración natural y piso forestal. En el año 2021 se establecieron 12 sitios de forma dirigida en tres áreas con diferente condición de severidad de incendio (alto, medio y bajo). Se realizó el inventario dasométrico arbóreo y del piso forestal para determinar y diferenciar su biomasa almacenada por NSI, se registró las coordenadas (X, Y) de la regeneración natural para determinar su distribución espacial. Los niveles de severidad se diferenciaron mediante el modelo lineal generalizado y comparación de medias (Duncan, 0,05). La acumulación de biomasa superficial (humus y hojarasca) y gravedad específica del suelo no presentaron diferencias significativas ($P > 0,05$) entre los niveles de severidad (978,26 t ha⁻¹). Sitios con niveles altos en severidad se caracterizan por presentar mayor acumulación de biomasa en el material muerto superficial (287,91 t ha⁻¹), lo cual dificulta el establecimiento de la regeneración natural. La estructura arbórea residual del rodal incendiado mejor conservada se encontró en sitios con nivel de severidad medio, ya que acumulan montos de biomasa de 134,3 t ha⁻¹. En el mismo sentido, estos sitios con severidad media contienen la mayor densidad de regeneración (1.237 plantas ha⁻¹), misma que se reduce hasta en un 79 % en sitios con severidad alta. La distribución de la regeneración corresponde a un patrón agregado en los tres niveles. El bosque presenta cambios contiguos positivos y negativos post-incendio.

Palabras clave: Agua Blanca, distribución espacial, pino-encino, severidad.

INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales son una perturbación a nivel mundial que afecta la composición y estructura de un bosque (Promis *et al.* 2019). Este fenómeno es un factor al que están expuestos los ecosistemas año tras año (Flores *et al.* 2021). En las últimas décadas se ha documentado un incremento en la contingencia de los incendios a nivel nacional (Promis *et al.* 2019); y estos son considerados uno de los principales elementos de degradación de los ecosistemas nativos, aminorando la provisión de los servicios ecosistémicos (Rosales-Rodríguez *et al.* 2018, Flores-Garnica 2021). Específicamente para el estado de Oaxaca, el impacto ha sido cada vez mayor, con un promedio de 163 incendios forestales al año, que afectan 37.236 ha de vegetación arbórea y sus recursos asociados (CONAFOR 2022)

Todos los incendios que se suscitan son diferentes, por lo que los ecosistemas tienen diferentes respuestas ante este impacto (Flores-Rodríguez *et al.* 2021). La severidad de un incendio es definida como el nivel de alteración de un sitio que se relaciona con la intensidad del fuego y su permanencia en dicha área (Juárez-Martínez y Rodríguez-Trejo 2003). Un incendio de alta severidad sobre un bosque se relaciona con porcentajes inferiores de regeneración. Los efectos sobre el piso forestal influyen en el renuevo creando una heterogeneidad en la densidad y en los patrones de distribución por la competitividad por espacio y nutrientes del suelo, que a futuro crea consecuencias importantes para el desarrollo y ordenación de la nueva masa forestal (Villegas-Jiménez *et al.* 2013, Ávila-Flores *et al.* 2014, Rubio-Camacho *et al.* 2017). Asimismo, la cantidad de material leñoso grueso caído sobre la superficie, exposición, pendientes y condiciones climáticas que modifican los depósitos de biomasa en el piso forestal después de un incendio, pueden ser indicadores para conocer el grado de vulnerabilidad y riesgo de nuevos incendios con mayor severidad (Hernández-García *et al.* 2016, Chávez-Pascual *et al.* 2017).

Los incendios de baja severidad de tipo superficial y de media severidad son los que no afectan la estructura total del bosque y en campo se puede observar las marcas del fuego en el fuste por debajo de la mitad de la altura del árbol, estos niveles de severidad en ocasiones son benéficos para el ecosistema, de acuerdo al nivel de combustión de los materiales orgánicos; algunas especies se favorecen por los espacios abiertos por donde penetra la luz solar y esto favorece el crecimiento de ejemplares que son intolerantes a la sombra como la mayoría del género *Pinus* (Juárez-Martínez y Rodríguez-Trejo 2004). Otro beneficio de las áreas quemadas de estos grados es que reservan mayores cantidades de nutrientes, ya que las cenizas contienen diversos cationes básicos; así mismo, el color oscuro de los sitios quemados interfiere sobre la temperatura del suelo volviéndola más cálida y benéfica para el renuevo (Stavi 2019). En especies como *Pinus douglasiana* Martínez el fuego suscita la apertura de sus estróbilos serófitos, para dispersar sus semillas y en la mayoría de

especies del género *Quercus* se promueve su capacidad de rebrotamiento; sin embargo, existen evidencias de que los incendios forestales promueven una deseable regeneración natural, particularmente en los bosques de coníferas, donde se ha documentado que en los sitios quemados se presenta con mayor densidad que en los sitios no quemados (Flores-Garnica *et al.* 2021).

Actualmente en México son limitados los estudios relacionados sobre los ecosistemas resultantes post-incendio y los procesos ecológicos para su recuperación, presentándose escasa información sobre los individuos que sobreviven y que con el tiempo influyen en la producción de semilla para la regeneración y restauración del área (Razo-Zárate *et al.* 2013, Muñoz 2017, Flores-Garnica 2021). Lo anterior, incrementa la importancia de evaluar la biomasa en el piso forestal, ya que al generar dicha información contribuye al conocimiento de procesos sobresalientes como la productividad del bosque, y la regeneración natural que implica un análisis de su patrón de distribución espacial a fin de conocer la condición real del medio ecológico, su capacidad de resiliencia y sucesión después de un incendio en un área determinada (Rodríguez-Ortiz *et al.* 2019).

La comunidad de Agua Blanca del municipio de Nejapa de Madero, Oaxaca, México, no ha sido la excepción ante la presencia de un incendio en su bosque, esta comunidad tiene aprovechamiento maderable en 928,7 ha de pino-encino y en el año 2019 un rodal de 19,89 ha se incendió accidentalmente por una ruptura de la línea de transmisión eléctrica federal (STF 2020). Aunado a este accidente la falta de manejo y ejecución de actividades enfocadas al mantenimiento de brechas y la gran cantidad de residuos sobre la superficie después de los aprovechamientos maderables fueron, lo que junto con otros factores indujeron el incendio con diferentes intensidades y severidades dentro del rodal, siendo el desperdicio el principal indicador de las condiciones de vulnerabilidad y de riesgo de sufrir nuevos incendios. Conocer las peculiaridades del efecto del incendio sobre el bosque de Agua Blanca, aportará de forma apropiada en la toma de decisiones para el manejo del ecosistema resultante post-incendio y contribuir en su restauración y recuperación que son parte de los recursos naturales y medio de sustento de vida de la comunidad, la cual posee un manejo forestal comunitario.

El objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto del incendio dos años después sobre la estructura residual arbórea, regeneración natural y condiciones del piso forestal en la comunidad de Agua Blanca, Nejapa de Madero, Oaxaca, México.

MÉTODOS

Área de estudio. El estudio se realizó en un rodal incendiado de pino-encino de la comunidad de Agua Blanca, Nejapa de Madero, San Carlos Yautepec, Oaxaca, México. Esta localidad posee una superficie total de 9.325 ha, se caracteriza por albergar un bosque templado con diferentes

estructuras vegetales de pino-encino, encino-pino, selva baja caducifolia y pastizal inducido. El área se ubica a una altitud media de 2.160 m s.n.m., en las coordenadas geográficas 16° 39' 25" N y -95° 44' 28" O (figura 1). El clima es C(w2), catalogado como templado subhúmedo, con una temperatura promedio de 12 a 18 °C, lluvias en verano en un rango de 200 a 1.800 mm al año (STF 2020).

Sitios de muestreo. En 2021 se identificó y se ubicó un rodal incendiado en 2019. La evaluación de la estructura residual arbórea, regeneración natural y condiciones del piso forestal se determinó en tres diferentes niveles de severidad de incendio (NSI). La selección de la condición de severidad de los mismos se determinó mediante recorridos de campo, densidad residual y la observación directa del estado de la vegetación y con ayuda del software ArcGis 10.3 y fotografías satelitales se sobrepuso el área de estudio para corroborar el paso del fuego. De ello, se generaron tres polígonos con diferente nivel de severidad (I bajo, II medio y III alto). El nivel bajo corresponde a un incendio de tipo superficial que afectó combustibles vivos y muertos como pastos, hojas, ramas, ramillas, arbustos o pequeños árboles de regeneración natural, troncos y humus. En el incendio de nivel medio no se afectó la estructura total

del bosque, y se observa la marca del fuego en el fuste por debajo de la mitad de la altura del árbol. En el nivel alto, el escorchado superó la mitad de la altura total del árbol y la copa presentó afectación parcial.

Para la generación de la base de datos se establecieron 12 sitios circulares de 400 m², tomando en cuenta la compensación por pendiente acorde a la metodología reportada por Chávez-Pascual *et al.* (2017). Se distribuyeron cuatro sitios de manera dirigida por cada nivel de severidad.

Inventario dasométrico arbóreo y muestreo del piso forestal. En cada sitio se tomaron datos dasométricos del arbolado adulto, se midió el diámetro normal (DN, cm) con una cinta diamétrica (Hartmann®, 283D) de la especie única en el área *P. douglasiana* Martínez, diámetro de copa (DC, m) con una cinta métrica (Truper® TP50ME) y altura total (AT, cm) con un clinómetro (Haglöf®, EC II D-HS115). Posteriormente, se extrajeron de tres a cuatro muestras (virutas) de la especie con un taladro Pressler (Haglöf®, Sweden). Consecutivamente, se utilizó una cinta métrica (Truper® TP50ME) y un GPS (*global positioning system*) (Garmin GPSMAP 64sx) para registrar las coordenadas planares de cada individuo (X, Y) de la regeneración natural pino-encino.

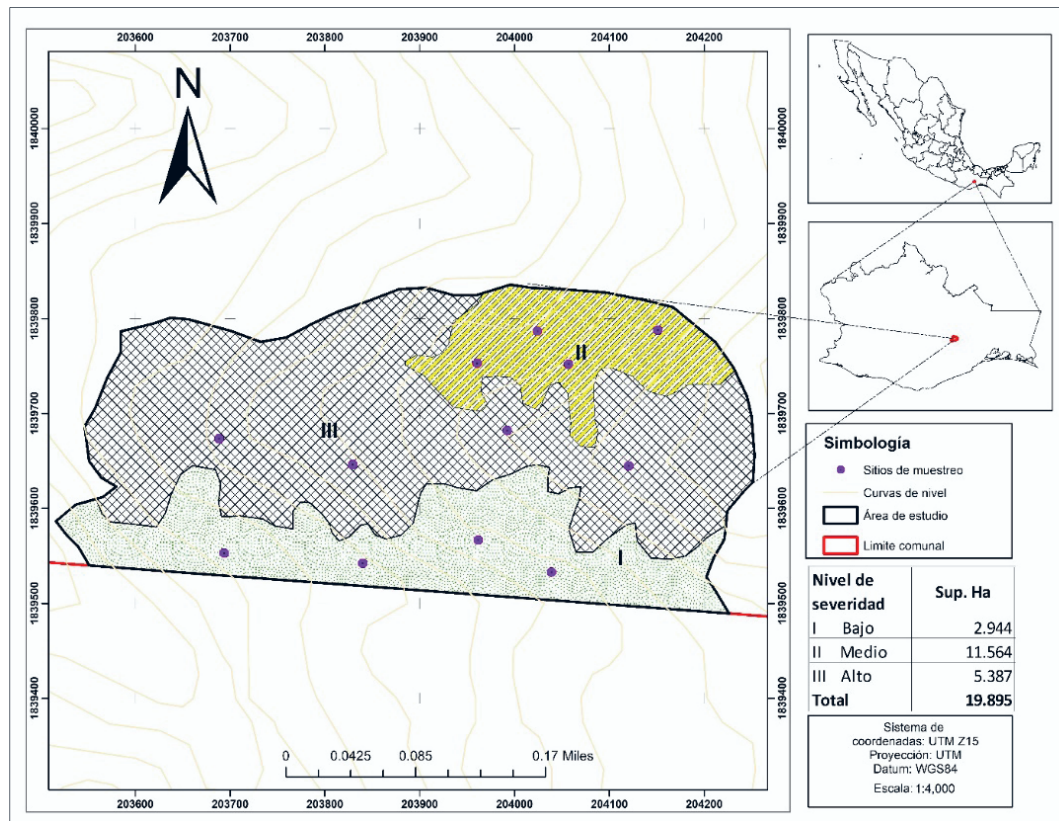


Figura 1. Localización del área de estudio y sitios de muestreo en los diferentes niveles de severidad de incendio en Agua Blanca, Nejapa de Madero, Oaxaca México.

Location of the study area and sampling sites at different levels of fire severity in Agua Blanca, Nejapa de Madero, Oaxaca México.

Por cada sitio, mediante el uso de una brújula (60 mm Dc45-5d Ecom) se instalaron subsitios de 1 y 9 m² en la posición noroeste (NE) y suroeste (SE); estos fueron establecidos con rafia y enumerados acorde con el sentido de las manecillas del reloj. Para los subsitios de 1 m², el muestreo consistió en el levantamiento de todo el material superficial por compartimento (hojarasca y humus), a la cual se obtuvo su peso fresco (PF g) en campo con una báscula de precisión (Dhaus, CS 5000, 5000 ± 2 g). Para la obtención de las muestras de necromasa se utilizaron los subsitios de 9 m²; se obtuvo su PF con una báscula romana de 100 kg (Pretul®, 21.255); la necromasa en rollo disponible se cubió con la fórmula de Smalian (Romahn de la Vega y Ramírez 2010). Finalmente, para la obtención de las muestras de suelo, se introdujo un tubo de PVC® de 30 cm de longitud y 4 cm de diámetro sobre el suelo para obtener el volumen del cilindro (VV, cm³). De todas las muestras de los compartimentos, cuando estos eran bastos se formó una submuestra, se obtuvo su PF y se guardaron en bolsas de papel estraza con su respectiva identificación.

Análisis de laboratorio. Las muestras se evaluaron en el laboratorio de Agroecosistemas del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Las virutas se pesaron en una báscula analítica (Shimadzu®, aty224, ± 1mg) para determinar su peso verde (PV, g); el volumen verde (VV, cm³) se determinó con ayuda de un vernier digital y aplicando la fórmula de Newton (Romahn de la Vega y Ramírez 2010). Posteriormente se introdujeron a una estufa de secado (Memmert®, 100-800) a 105 °C, hasta obtener su peso seco (PS, g). Enseguida se obtuvo la gravedad específica, $GE = PS / VV$ (kg cm⁻³). Finalmente, se obtuvo el volumen total árbol con corteza (VTAcc, m³) del arbolado residual con el sistema biométrico forestal (Vargas-Larreta *et al.* 2017). La determinación de la biomasa arbórea se realizó utilizando su GE (kg m⁻³) por el volumen.

Las muestras de necromasa, humus y hojarasca se ingresaron a una estufa de secado (Memmert modelo UFP800DW) a una temperatura de 105 °C y 75 °C hasta alcanzar un peso constante; a estas muestras se les obtuvo su peso seco (PS, g). Para obtener los almacenamientos de biomasa en humus, hojarasca y necromasa primero se calculó el factor de conversión (FC) peso seco sobre el peso fresco (PS/PF), $FC = PS / PV$. Posteriormente se calculó el peso de la biomasa (B) de cada compartimento: $B = FC \times PFT$ (del total de la muestra). Para el análisis de suelo, las muestras representativas de suelo se ingresaron en la estufa de secado a 50 °C, para calcular gravedad específica (GE, kg m³) $GE = (PS / VV) \times 1.000$.

Análisis de datos. Se realizó a través del programa *Statistical Analysis System* 9.4. Se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas (Shapiro-Wilk y Bartlett, $\alpha = 0,05$); se diferenciaron los niveles de severidad de incendio mediante modelo lineal generalizado (PROC GLM) y prueba de medias (Duncan, 0,05). Para

el caso del humus se utilizó una prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis ($\alpha = 0,05$) a través de rangos para disminuir el CV y obtener la diferenciación.

El patrón de distribución espacial de la regeneración natural se determinó mediante el índice K(t) de Ripley (Ripley 1977). Después el valor de K(t) se transformó a L(t) a través de la raíz cuadrada de la función propuesta por Besag y Diggle (1977), la cual proporciona la interpretación gráfica del índice. K(t) y L(t) se estimaron con un nivel de significancia $P \leq 0,01$ mediante simulaciones de Monte Carlo (Besag y Diggle 1977) con el software TOOL-BOX® (Fisher 2000). Para determinar el patrón de distribución se tomó en cuenta el valor de L(t) = 0 indica que el patrón espacial con radio t es aleatoria. Valores de L(t) > 0 indican una distribución agrupada, y valores de L(t) < 0 indican una distribución regular.

RESULTADOS

Biomasa superficial y arbórea. Los NSI no se diferenciaron ($P > 0,05$) en GE del suelo y biomasa total superficial (tabla 1). Los niveles de severidad de incendio presentaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) en la biomasa almacenada en el compartimento necromasa y humus.

No se detectaron diferencias estadísticas ($P > 0,05$) en el compartimento hojarasca a pesar que la media por NSI es diferente mostró inflación de varianza (CV = 36 %) como consecuencia de la gran heterogeneidad de los residuos post-incendio (tabla 1).

En el NSI bajo se generó el valor más alto en biomasa total arbórea (134,3 t ha⁻¹), el cual fue estadísticamente distinto al NSI alto (45,4 t ha⁻¹) (tabla 2). En este caso se obtuvo que el arbolado residual ubicado en sitios con NSI bajo y con menor altitud y en exposición este, acumuló más biomasa, en comparación al arbolado residual ubicado en las áreas de NSI medio y alto en exposición norte y suroeste a mayor altitud.

Sitios con NSI alto se caracterizan por tener los mayores contenidos de necromasa (287,91 t ha⁻¹), humus (1.127,8 t ha⁻¹) y biomasa total superficial; el cual presentó una mayor quema de biomasa aérea (tabla 2).

Estructura residual de los árboles adultos. El DN, AT y AC se diferenciaron ($P < 0,01$) entre los NSI presentándose árboles con mayor DN y AT en el NSI bajo, el cual se caracteriza por presentar una estructura diamétrica de tres pisos irregulares, con una inclinación descendiente hacia las clases mayores, específicamente desde la octava clase diamétrica (45-50 m) (figura 2A); el NSI medio (figura 2B) conserva una estructura arbórea regular que se compone de diferentes categorías de edad, donde la categoría diamétrica con mayor densidad fue de 20-25 cm, misma que redujo en árboles jóvenes y adultos. Los sitios con NSI alto (figura 2C) tienden a mostrar una estructura diamétrica irregular o “J” invertida, esto indica que existe una disminución en la densidad de los árboles, en relación al aumento del diámetro, presentando las clases diamétricas

10-15 y 15-20 cm el mayor número de árboles promedio (116 individuos ha⁻¹). Los árboles residuales representativos en todos los NSI se concentran en categorías diamétricas entre 10-30 cm, con densidades de 375- 458 ha⁻¹ con rango de variación de 36 a 50 años de edad.

Condiciones de la regeneración natural pino-encino. Los sitios con NSI medio y alto contienen las mayores densidades de regeneración natural (1.112 plántulas ha⁻¹) en

promedio; en contraparte, el NSI bajo solo presenta 256 plántulas ha⁻¹ de *P. douglasiana* (tabla 2); el rango de altura está entre 15,6 y 31,7 cm en los tres NSI. El incendio suscitó la emergencia de encinos y su capacidad de rebrotes, en los resultados se obtiene para el NSI bajo, medio y alto densidades respectivas de: 937, 400 y 200 entre rebrotes y plántulas ha⁻¹ de *Quercus* spp.

Los resultados de la función de Ripley muestran que en todos los NSI existe una asociación pino y encino, con pa-

Tabla 1. Resumen del análisis de varianza del efecto del nivel de severidad de incendio sobre la biomasa del piso forestal.
Summary of the analysis of variance of the effect of the fire severity level on the forest floor biomass.

Variable	Nivel de severidad de incendio			
	GL error	\sqrt{CME}	Cuadrado medio (CME)	CV (%)
Área de copa (m ² ha ⁻¹) ^t	21	0,06	0,004**	4,9
Diámetro normal (cm)	21	6,32	40,02**	24,0
Altura total (m)	21	2,06	4,25**	13,5
Humus (t ha ⁻¹) [§]	21	637,38	47,86*	55,34
Hojarasca (t ha ⁻¹)	21	4,12	17,03 ^{ns}	36,6
Necromasa (t ha ⁻¹) ^t	21	0,39	0,15*	16,5
Biomasa total arbórea (t ha ⁻¹) ^t	21	41,63	1.733,29*	45,0
Biomasa total superficial (t ha ⁻¹)	21	0,28	0,08 ^{ns}	9,8
Densidad (regeneración natural ha ⁻¹)	21	0,15	0,02**	11,0
Gravedad específica del suelo (kg m ³)	21	0,07	0,004 ^{ns}	2,4

GL = grados de libertad. ** = altamente significativo ($P \leq 0,01$), * = significativo ($P \leq 0,05$), ns = no significativo ($P > 0,05$), ^t = variable transformada $\ln_{10} \sqrt{x+10}$. [§]Se indican los valores en rangos de la prueba de Kruskal-Wallis ($\alpha = 0,05$).

Tabla 2. Efecto de la severidad de incendio sobre la biomasa del piso forestal, arbolado residual y regeneración natural.
Effect of fire severity on the biomass of the forest floor, residual trees and natural regeneration.

Variable	Nivel de severidad de incendio					
	I)	Bajo	II)	Medio	III)	Alto
Área de copa (m ² ha ⁻¹) ^t	467 ± 41,5b		908,3 ± 113, 8a		815,8 ± 92,3a	
Diámetro normal (cm)	33,9 ± 3,8a		25,17 ± 0,5b		19,80 ± 0,2b	
Altura total (m)	17,3 ± 0, 8a		15,7 ± 0,8a		12,76 ± 0,3b	
Humus (t ha ⁻¹) [§]	516 (12,25) ± 146(12.25)b		422,8(9,6) ± 179(9.62)b		1.127,8(15,6) ± 314(15.62)a	
Hojarasca (t ha ⁻¹)	11,3 ± 0,7a		12,5 ± 2,1a		9,23 ± 1,1a	
Necromasa (t ha ⁻¹) ^t	61,5 ± 5,9b		200.9 ± 48,7ab		287,91 ± 103,7a	
Densidad (regeneración ha ⁻¹)	256 ± 37,4b		1.237 ± 384,4a		987,5 ± 188,2a	
Biomasa total (t ha ⁻¹) ^t	590.8(9,5) ± 144(71)b		793(11,3) ± 167,8(167)ab		1.425(16.62) ± 357(357)b	
Biomasa total arbórea (t ha ⁻¹) ^t	134,3 ± 31,1a		97,2 ± 12,7ab		45,4 ± 13b	
GE del suelo (g cm ³)	787,8 ± 40,4a		747,52 ± 46,8a		816,12 ± 45,9a	

Letras distintas en la misma fila representan diferencias significativas (Duncan 0,05). La media incluye ± error estándar. ^t = variable transformada $\ln_{10} \sqrt{x+10}$. [§]Se indican los valores en rangos de la prueba de Kruskal-Wallis y (valores reales).

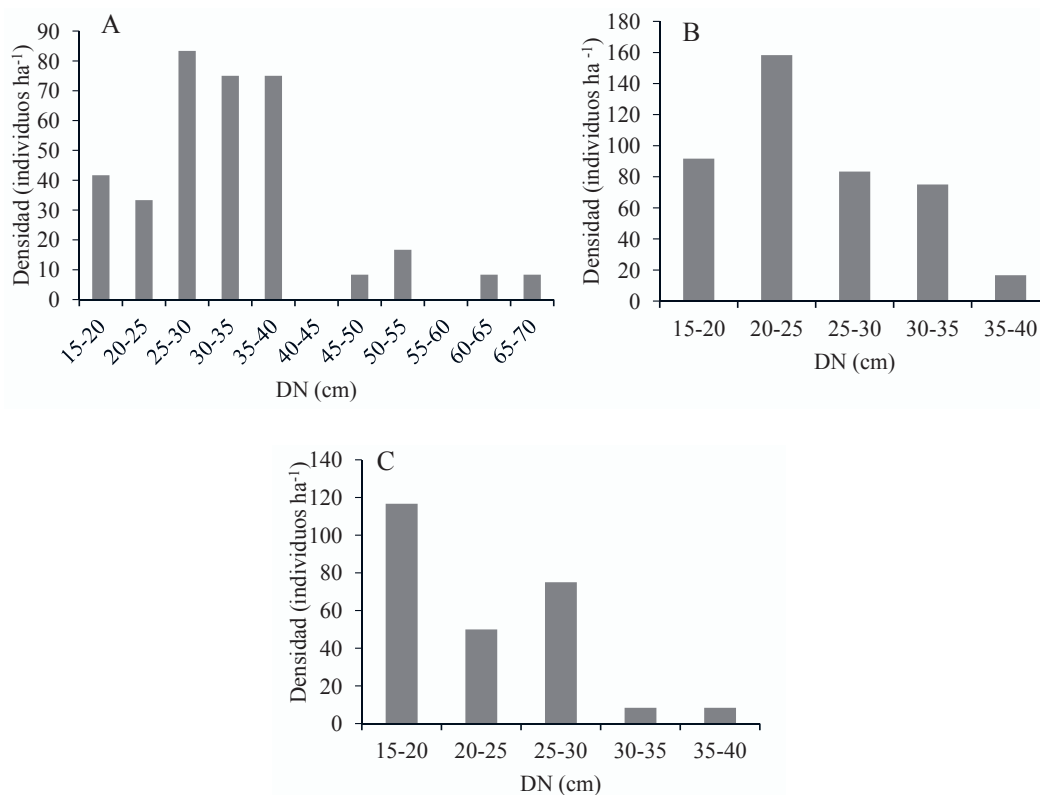


Figura 2. Densidad de árboles por categoría diamétrica de *Pinus douglasiana* después del incendio. Nivel de severidad del incendio A) = bajo B) = medio C) = alto.

Tree density by diameter category of *Pinus douglasiana* after the fire. Fire severity level A) = low B) = medium C) = high.

trón de distribución agregado con distancias entre 0 y 10 m, donde el índice de distribución espacial $L(t)$ se manifestó constante fuera de los límites de confianza (figura 3). En el NSI bajo (figura 3A) alcanza una tendencia de agrupamiento con mayor densidad del género *Quercus* spp.

El NSI medio (figura 3B), los valores estimados de $L(t)$ son positivos y se encuentran de igual manera por encima del límite superior de confianza; respectivamente esta área ostentó mayor densidad y distribución de pino (1.237 árboles ha⁻¹). Finalmente, el NSI alto (figura 3C) mostró el mismo comportamiento, pero con la menor densidad del género *Quercus* sp.

DISCUSIÓN

Biomasa superficial. De acuerdo con Aguilar-Arias *et al.* (2012) en los bosques de pino-encino la biomasa de hojarasca es en promedio de 1,70 a 20,10 t ha⁻¹. En la presente investigación la biomasa de este compartimento mostró una variación de 9,23 a 12,5 t ha⁻¹. Ruiz-Corzo *et al.* (2022) obtuvieron un promedio similar en la carga de hojarasca de 12,67 t ha⁻¹ en un bosque de *P. oocarpa* Schiede *ex* Schltdl. después de un incendio en el mismo año. En la opinión de López-López *et al.* (2013) la diferencia del almacenamiento de hojarasca está asociado con

la densidad de árboles en el sitio. De acuerdo a lo anterior, las variaciones en los almacenamientos de hojarasca pueden ser debido a la densidad de árboles, herbáceas y arbustos en cada sitio y aunque la especie *Pinus douglasiana* está adaptado al fuego, al presentarse un incendio de nivel medio y alta severidad, sufre daños en el tronco y copa, causando desecación de acículas y ramas, lo que provoca el desprendimiento de hojarasca que se incrementa con el tiempo y genera una mayor acumulación sobre el suelo.

Asimismo, puede ser que el AC contribuyó a la independencia en el almacenamiento de este componente entre los NSI al haber un promedio de 862 m² entre el nivel medio y alto, el NSI bajo obtuvo menor AC (467 m²), pero presentó mayor densidad de árboles a lo que compensó el almacenamiento de hojarasca sobre el piso forestal.

Ahora bien, los sitios con NSI alto acumularon 1.127,8 t ha⁻¹ de humus, que corresponde entre 54,15 y 62,49 % más en relación a los otros niveles. Chávez-Pascual *et al.* (2017) reportaron valores por debajo de los encontrados en este estudio (17,73 t ha⁻¹) en áreas bajo tratamientos silvícolas sin incendio en rodales de *P. oaxacana* Mirov en la Sierra Norte de Oaxaca, México. Gómez-Díaz *et al.* (2012) encontraron diferencias estadísticas significativas de 7,0 a 21,7 t ha⁻¹ de la capa de humus en tres condiciones topográficas de un bosque tropical. Los resultados

encontrados en este estudio pueden ser atribuidos al grado de combustión de la materia orgánica y a la heterogeneidad de la intensidad del incendio. De manera general la materia orgánica carbonizada después de un incendio puede favorecer en un 30 - 40 % al carbono secuestrado en el suelo a largo plazo (Rosero y Osorio 2013).

Para los contenidos de necromasa en los diferentes NSI se encontró un rango de variación entre 61,57 y 287,91 t ha⁻¹, con mayor almacenamiento en el NSI alto. Resultados

superiores a los estimados por Galicia *et al.* (2015), una variación de 63 a 177 t ha⁻¹ de biomasa para un NSI equivalente para este compartimento en un bosque templado de la Sierra Norte, de Oaxaca, México, con aprovechamiento histórico. Es evidente que el factor que reguló la magnitud de necromasa acumulada en cada sitio son los niveles de severidad del incendio luego de dos años posterior debido a la paulatina caída de ramas y árboles dañados lo que incrementó el monto almacenado en el NSI alto.

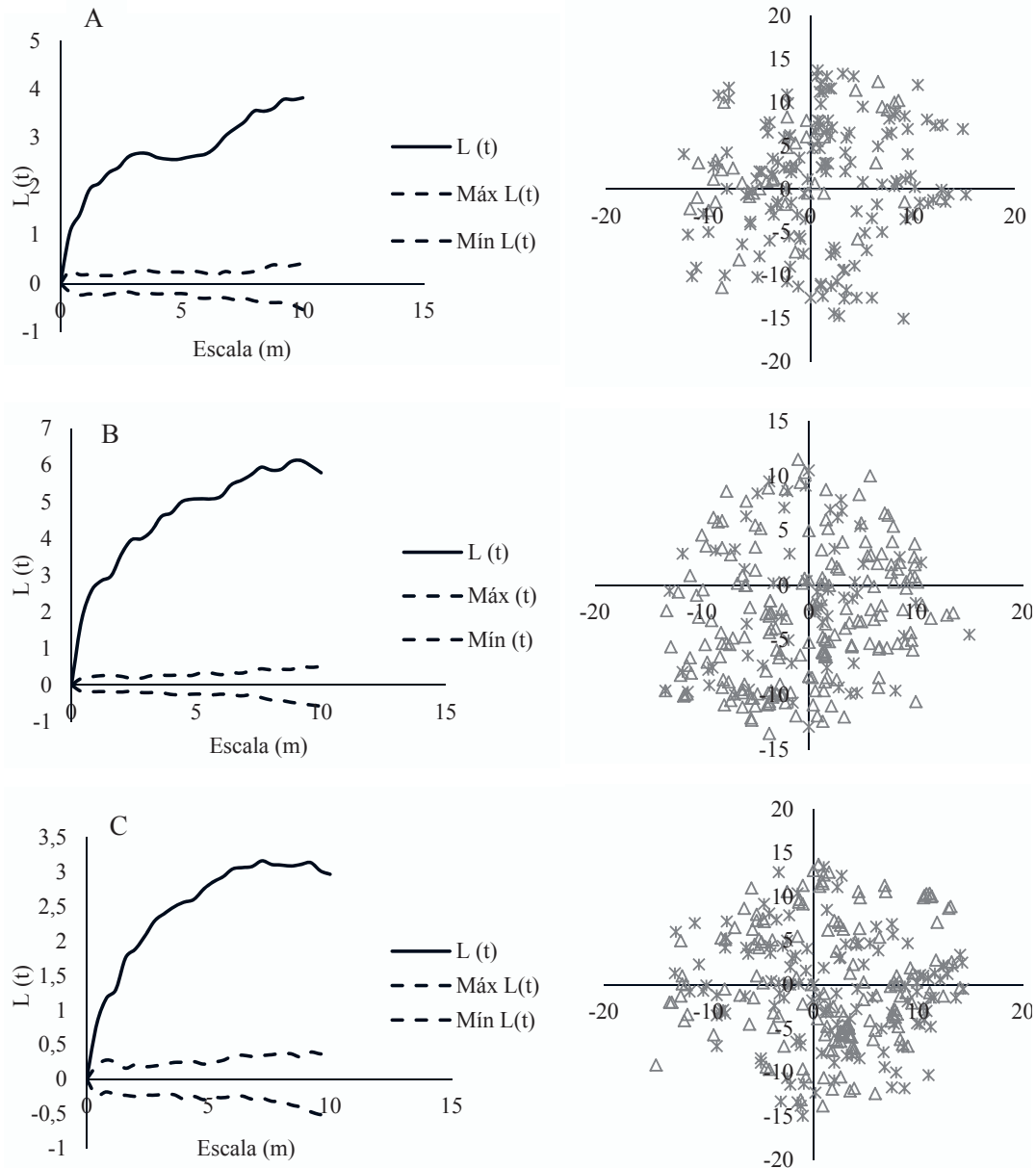


Figura 3. Índice de distribución espacial $L(t)$ de la regeneración natural. Nivel de severidad de incendio A) = bajo B) = medio C) = alto. Las líneas sólidas representan los valores de $L(t)$, y las líneas discontinuas el intervalo de confianza al 99 %. Del lado derecho se muestra la distribución espacial de la regeneración **Quercus* spp. Δ *Pinus douglasiana*.

Spatial distribution index $L(t)$ of natural regeneration. Fire severity level A) = low B) = medium C) = high. The solid lines represent $L(t)$ values and the dashed lines the 99 % - confidence interval. On the right side is shown the spatial distribution of regeneration **Quercus* spp. Δ *Pinus douglasiana*.

La GE del suelo en las tres áreas de severidad no mostraron diferencias significativas ($P > 0,05$); con un promedio de 783,81 kg m⁻³.

Estructura residual de los árboles adultos. El DN y AT se diferenciaron ($P < 0,01$) entre los niveles de severidad presentándose árboles con mayor dimensión (33,9 cm y 19,3 m) en el NSI bajo con la mayor densidad de 408 árboles ha⁻¹ y biomasa arbórea de 134.3 kg árbol⁻¹. Al respecto, Razo-Zárate *et al.* (2013) reportaron clases diamétricas de 35, 45 y 60 cm con un número de individuos ha⁻¹ de 4, 3 y 2 árboles en especies de *Abies religiosa* después de un incendio de nivel bajo de tipo superficial.

De acuerdo con Sáenz-Ceja y Pérez-Salicrup (2018), la composición y estructura arbórea depende de la magnitud de un incendio. Desde la posición de Martínez-Garza *et al.* (2022), los incendios poco severos no perjudican el suelo ni el arbolado adulto. De acuerdo a lo anterior, en este estudio se ratifica que la condición del área de NSI bajo mantuvo su estructura irregular preincendio, con individuos de diferentes clases, no mostró una afectación destructiva del arbolado adulto por ser un incendio de tipo superficial, además de que los árboles maduros son más resistentes al fuego. Sin embargo, esta área presentó menor densidad de regeneración de pino y esto puede deberse a que los conos aéreos no fueron alcanzados por una temperatura deseable que les permitiera abrir y dispersar sus semillas; así mismo, la rápida regeneración de herbáceas y acumulación de hojarasca, al ser el área con mayor arbolado residual, no permite que las pocas semillas dispersadas paulatinamente por los árboles lleguen al suelo mineral.

El área del NSI medio presentó una estructura en forma de campana, con diámetros entre 10 y 40 cm. lo que indica que el fuego solo consumió una parte del arbolado, con la mayoría de individuos residuales que sobrevivieron al incendio. Esto puede justificarse debido a que la especie *P. douglasiana* Martínez tiene una adaptabilidad al fuego, característico de especies pirófilos, lo que solo promovió la apertura de conos serótinos beneficiando a la regeneración. Quintero-Gradilla (2018) menciona que los bosques de *P. douglasiana* Martínez están adaptados a los incendios de baja y media severidad que les permite resistir y recuperarse del daño ocasionado. De manera general, la densidad de árboles en los diferentes NSI puede estar relacionado con sus adaptaciones como es la corteza gruesa, siempre y cuando la yema terminal y el cambium por debajo de su corteza no sufran quemaduras y pueden sobrevivir hasta con el 10 % de su follaje total previo al incendio.

Quintero-Gradilla *et al.* (2019) y Martínez-Garza (2022) indican que los incendios de severidad alta causan una destrucción del 70 al 100 % de árboles adultos. Lo que coincide con lo reportado en este estudio en el NSI alto, donde hubo mortalidad en la mayoría del arbolado adulto; sumado a esto, la aminoración paulatina debido a la llegada de descortezadores que debilitan los árboles afectados; estas acciones aumentan el combustible sobre el piso

forestal y convierten el rodal en una estructura irregular presentando más individuos en las clases diamétricas de menor tamaño, teniendo así solo algunos individuos en las clases de mayor tamaño, pero en menor densidad arbórea (281 árboles ha⁻¹).

Distribución espacial y condiciones de la regeneración natural. La densidad promedio de la regeneración presente para el NSI medio y alto fue de 1.112 individuos ha⁻¹. En este estudio se expone que la severidad de incendio influye sobre la densidad de la regeneración, se encontró que el incendio al haber pasado de un nivel bajo a un nivel de incendio alto la regeneración se promueve en un promedio de 434,37 %. Esto puede relacionarse con la disminución considerable de la capa de hojarasca y fermentación acumulada en el suelo postincendio en estos niveles de severidad, lo que permitió que las plantas emergentes lograran crecer y fijarse al suelo. Aunado a ello, este incremento de la densidad de la regeneración en el nivel medio y alto se puede atribuir simplemente a la liberación de las semillas; debido a que las altas temperaturas deshidratan los tejidos de los conos y favorecen su liberación; a diferencia del área que presentó severidad baja, donde el establecimiento de la regeneración ocurre de manera continua y en menor densidad (figura 3A). Esto se debe a la escasa semilla que logra llegar al suelo mineral por la rápida reincorporación de la hojarasca al suelo, lo que impide su llegada al suelo y una mínima germinación. La densidad y cobertura arbórea también se contempla como un inductor importante de la latencia en las semillas (Deb y Sundriyal 2013).

La distribución espacial de la regeneración natural para los tres NSI es agrupada en una asociación entre pino y encino. Desde el punto de vista de Elías *et al.* (2011), la distribución espacial por especie se atribuye en gran parte por los regímenes de perturbaciones y las respuestas de regeneración de cada especie. Maciel-Nájera *et al.* (2020) estudiaron patrones de distribución en áreas con regeneración de pino-encino en la Sierra Madre Occidental, donde sus resultados arrojaron patrones espaciales diferentes del establecimiento de la regeneración en rodales irregulares de pino-encino. En la opinión de Kubota 2006 y Plateros-Gastélum *et al.* (2018), los índices de distribución espacial agregados son generalmente los más comunes, resultado de la apertura de claros en el dosel lo que acelera el rebrote de especies. Norden (2014) alude que los factores edáficos tienen mayor influencia que la luz sobre la distribución espacial, así como, la disponibilidad de fósforo, nitrógeno y pH que influyen en los procesos fisiológicos de la planta para su desarrollo y sobrevivencia. Hernández *et al.* (2018), señalan que factores como la temperatura, humedad relativa, propiedades del suelo, exposición y pendiente pueden explicar el tipo agregación entre especies. De acuerdo con lo anterior, la distribución agrupada en los tres NSI puede estar relacionada también al patrón de propagación del fuego que fue homogéneo, principalmente en

el nivel alto, creando apertura del dosel y con ello la formación de grupos de individuos en el rodal.

Asimismo, en el presente estudio, se da a conocer que el incendio suscitó la emergencia de encinos en los tres NSI. En los resultados para los tres NSI se reporta una densidad de 200 a 937 rebrotes y plántulas ha⁻¹ coexistiendo del 57,3 al 78,7% más en el NSI bajo respecto a los otros niveles de severidad. Leverkus *et al.* (2014) reportan valores de 447 rebrotes ha⁻¹ de *Quercus* spp. en una parcela de 18 ha post-incendio. Se ha documentado que los incendios en los bosques mixtos promueven la presencia y dominancia de especies de *Quercus* spp., esto justifica la capacidad de rebrotamiento de la mayor parte del género *Quercus*, misma que es estimulada frente a los impactos del incremento de la temperatura del suelo. Se observó también que en su mayoría la regeneración fue por rebrotes y poca reincorporación de plántulas por semilla. Con base en los resultados de la investigación y de literatura consultada se puede argumentar que el género *Quercus* también está adaptado al fuego de baja y media severidad, con presencia de rebrotes en la base del tronco y en el tallo. En este caso, en el nivel alto como respuesta al daño total de la parte aérea se promovió la emisión de rebrotes únicamente en la base del tronco.

Por otro lado, se observó una limitada regeneración de encinos por bellotas, posiblemente porque pierden su viabilidad al deshidratarse, lo que significa que el fuego provoca condiciones más cálidas y secas del área, lo que aumenta la mortalidad de bellotas debido a la desecación provocada por el aumento de la temperatura. Sin embargo, Zavala-Chávez (2000), opina que la regeneración por rebrotes no logra una continuidad posterior, ya que después del incendio se presenta condiciones más secas y con el tiempo se restablecen las condiciones más húmedas; ya que al madurar el bosque de pino y cerrarse el dosel por otras especies el encino presenta problemas en la incorporación, disminuyendo la densidad que se tiene inicialmente.

CONCLUSIONES

El incendio ocurrido dos años atrás (año 2021) en el rodal de *Pinus douglasiana* de la comunidad de Agua Blanca, Oaxaca, México, modificó los montos de biomasa en los compartimentos de necromasa, humus y en la biomasa total arbórea; de igual manera, la estructura diamétrica residual se presenta irregular en sitios con nivel de severidad de incendio (NSI) alto.

La densidad de la regeneración se ve influenciada por el grado de severidad del incendio, en sitios con NSI medio se promueve una exuberante regeneración de pino, lo que evidencia la adaptación al fuego de severidad medio por parte de la especie estudiada. En sitios con NSI baja existe una abundante densidad de rebrotes de encinos, por lo cual es recomendable monitorear tanto su frecuencia como la supervivencia y adecuada densidad con el transcurso de los años.

FINANCIAMIENTO

Investigación realizada con el apoyo del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el financiamiento otorgado al primer autor para estudiar en el programa de Maestría en Ciencias en Productividad en Agroecosistemas del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca y al Tecnológico Nacional de México (TecNM) por el financiamiento otorgado para el desarrollo del proyecto de investigación “Análisis de la regeneración y piso forestal dos años después en rodal incendiado del sur de México”. Clave: 15324.22-P; en el marco de la Convocatoria para Proyectos de Desarrollo Tecnológico e Innovación para Estudiantes 2022.

AGRADECIMIENTOS

A la comunidad de Agua Blanca, Nejapa de Madero, Oaxaca, por permitir y colaborar en la presente investigación realizada en su bosque. Al Ing. Narciso López Lázaro por brindar las facilidades y acompañamiento técnico en campo, y a las autoridades y personas que compartieron sus conocimientos.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

Rosario Aquino-López: análisis de datos y elaboración del manuscrito; Ernesto Castañeda-Hidalgo: coordinación de las revisiones; Gerardo Rodríguez-Ortiz: análisis estadístico y revisión del manuscrito; Gisela M. Santiago Martínez: revisión del manuscrito; Ángel-Bustamante González; revisión del manuscrito; Salvador Lozano-Trejo: revisión del manuscrito.

REFERENCIAS

- Aguilar-Arias H, E Ortiz-Malavassi, B Vilchez-Alvarado, RL Chazdon. 2012. Biomasa sobre el suelo y carbono orgánico en el suelo en cuatro estadios de sucesión de bosques en la Península de Osa, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú* 22(9): 22-31. DOI: <https://doi.org/10.18845/rfmk.v9i22.360>
- Ávila-Flores II, JA Prieto-Ruiz, JC Hernández-Díaz, CA Whenhkel, J Corral-Rivas. 2014. Preconditioning *Pinus engelmannii* Carr. Seedlings by irrigation deficit in nursery. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente* 20(3): 237-245. DOI: <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2014.02.004>
- Besag J, PJ Diggle. 1977. Simple Monte Carlo tests for spatial pattern. *Journal of the Royal Statistical Society* 26(3): 327-333. DOI: <https://doi.org/10.2307/2346974>
- Chávez-Pascual EY, G Rodríguez-Ortiz, JR Enríquez-Del Valle, VA Velasco-Velasco, M Gómez-Cárdenas. 2017. Compartimentos de biomasa aérea en rodales de *Pinus oaxacana* bajo tratamientos silvícolas. *Madera y Bosques* 23(3): 147-161. DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2331627>
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal, MX). 2022. Reporte semanal nacional de incendios forestales. 22 p. Consultado 20 ene. 2023. Disponible en <https://www.gob.mx/cms/>

[uploads/attachment/file/789692/Cierre_de_la_Temporada_2022.pdf](https://www.redalyc.org/attachment/file/789692/Cierre_de_la_Temporada_2022.pdf)

- Deb P, RC Sundriyal. 2013. Seed germination in lowland tropical rainforest trees: interspecies, canopy and fruit type variations. *Research Journal of Forestry* 7(1): 1-15. DOI: <https://doi.org/10.3923/rjf.2013.1.15>
- Elias RB, E Dias, F Pereira. 2011. Disturbance, regeneration and the spatial pattern of tree species in Azorean Mountain forests. *Community Ecology* 12(1): 23-30. DOI: <http://www.jstor.org/stable/24113710>
- Fisher M. 2000. Software available for sophisticated spatial statistics. University of the South Pacific. Suva, Fiji.
- Flores-Garnica JG. 2021. Antecedentes y perspectivas de la investigación en incendios forestales en el INIFAP. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* (Especial-1): 91-119. DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12iEspecial-1.981>
- Flores-Rodríguez AG, JG Flores Garnica, DR González-Eguiar-te, A Gallegos-Rodríguez, P Zarazúa-Villaseñor, S Mena-Munguía, ME Lomeli-Zavala, E Ruíz-Guzmán. 2021. Regeneración natural de pino y encino bajo diferentes niveles de perturbación por incendios forestales. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 12(65): 3-25. DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i65.776>
- Galicia L, V Saynes, J Campo. 2015. Biomasa aérea, biomasa subterránea y necromasa en una cronosecuencia de bosques templados con aprovechamiento forestal. *Botanical Sciences* 93(3): 473-484. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.66>
- Gómez-Díaz JD, AI Monterroso-Rivas, JA Tinoco-Rueda, JD Etchevers-Barra. 2012. Almacenes de carbono en el piso forestal de dos tipos de bosque. *Terra Latinoamericana* 30(2): 177-187.
- Hernández FJ, CB Navarro, R Peña, A Nájera. 2018. Patrón de distribución espacial de las especies arbóreas de la región de El Salto, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9(47): 169-186. DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i47.161>
- Juárez-Martínez A, DA Rodríguez-Trejo. 2003. Efecto de los incendios forestales en la regeneración de *Pinus oocarpa* var. ochoterenae. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 9(2): 125-130. Consultado 14 ene. 2023. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/629/62913142003.pdf>
- Kubota Y. 2006. Spatial pattern and regeneration dynamics in a temperate *Abies-Tsuga* forest in southwestern Japan. *Journal of Forest Research* 11(3): 191-201. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10310-006-0205-z>
- Leverkus AB, J Castro, BJM Rey. 2014. Regeneración post-incendio de la encina en pinares de repoblación mediterráneos. *Revista Científica de Ecología y Medio Ambiente* 23(2): 48-54. Consultado 14 ene. 2023. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/540/54031601007.pdf>
- López-López JD, J Méndez-González, JA Nájera-Luna, J Cerano-Paredes, JD Flores-Flores, JA Nájera-Castro. 2013. Producción de hojarasca en *Pinus halapensis* Mill. y *Pinus cembroides* Zucc. y su relación con algunos factores climáticos. *Agrociencia* 47(5): 497-510. Consultado 20 mar. 2023. Disponible en https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952013000500007
- Maciel-Nájera JF, J Hernández-Velasco, MS González-Elizondo, JC Hernández-Díaz, CA López-Sánchez, P Antúnez, CE Bailón-Soto, C Wehenkel. 2020. Unexpected spatial patterns of natural regeneration in typical uneven-aged mixed pine-oak forests in the Sierra Madre Occidental, Mexico. *Global Ecology and Conservation* 23: e01074. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01074>
- Martínez-Garza C, K León-Carvajal, I Juan-Baeza, M Hernández-Hernández. 2022. La regeneración del bosque después de un incendio. *Inventio* 18(44): 1-11. DOI: <https://doi.org/10.30973/inventio/2022.18.44/9>
- Muñoz J. 2017. Natural regeneration: A review of the ecological aspects in the tropical mountain forest of southern Ecuador. *Bosques Latiud Cero* 7(2): 130-143. Consultado 25 feb. 2023. Disponible en <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/326/294>
- Norden N. 2014. De porqué la regeneración natural es tan importante para la coexistencia de especies en los bosques tropicales. *Colombia Forestal* 17(2): 247-261. DOI: <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2014.2.a08>
- Plateros-Gastélum PA, VJ Reyes-Hernández, A Velázquez-Martínez, P Hernández de La Rosa, GV Campos-Ángeles. 2018. Disponibilidad de luz bajo dosel en rodales de *Abies religiosa*. *Madera y Bosques* 24(3): e2431711. DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2431711>
- Promis Á, S Olivares, S Acuña, G Cruz. 2019. Respuesta temprana de la regeneración de plantas leñosas después del incendio forestal denominado “Las Máquinas” en la Región del Maule, Chile. *Gayana Botánica* 76(2): 257-262. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-66432019000200257>
- Quintero-Gradilla SD, EJ Jardel-Peláez, R Cuevas-Guzmán, F García-Oliva, A Martínez-Yrizar. 2019. Cambio postincendio en la estructura y composición del estrato arbóreo y carga de combustibles en un bosque de *Pinus douglasiana* de México. *Madera y Bosques* 25(3): e2531888. DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2531888>
- Razo-Zárate R, AJ Gordillo-Martínez, R Rodríguez-Laguna, CC Maycotte-Morales, OA Acevedo-Sandoval. 2013. Estimación de biomasa y carbono almacenado en árboles de oyamel afectados por el fuego en el Parque Nacional ‘El Chico’, Hidalgo, México. *Madera y Bosques* 19(2): 73-86. Consultado 4 feb. 2023. Disponible en https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S140504712013000200005
- Ripley BD. 1977. Modelling spatial patterns. *Journal of the Royal Statistical Society Series B* 39(2): 172-212.
- Rodríguez-Ortiz G, JA García-Aguilar, JC Leyva-López, C Ruiz-Díaz, JR Enríquez-Del Valle, W Santiago-García. 2019. Structural biomass and by compartments of *Pinus Pátula* regeneration in clearcutting sites. *Madera y Bosques* 25(1): e2511713. DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2511713>
- Romahn De la Vega CF, H Ramírez. 2010. Dendrometría. Universidad Autónoma de Chapingo. DF, México. 312 p. Consultado 24 feb. 2023. Disponible en <http://dicifo.chapingo.mx/pdf/publicaciones/dendrometría.pdf>
- Rosales-Rodríguez JA, EA Esquivel-Segura, MA Acevedo-Tapia, M González-Ortega, E Cartes-Rodríguez. 2018. Situación pre y post-incendio, de un ecosistema del tipo forestal Roble-Hualo, Región del Maule, Chile. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú* 16(38): 55-68. DOI: <https://doi.org/10.18845/rfmk.v16i38.3997>
- Rosero J, I Osorio. 2013. Efectos de los incendios forestales en las propiedades del suelo. Estado del arte. *Cuaderno Activa* (5): 59-67. Consultado 25 ene. 2023. Disponible en

- <https://ojs.tdea.edu.co/index.php/cuadernoactiva/article/view/130/115>
- Rubio-Camacho EA, MA González-Tagle, W Himmelsbach, DY Ávila-Flores, E Alanís-Rodríguez, J Jiménez-Pérez. 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.01.015>
- Ruiz-Corzo R, D Aryal, A Venegas-Sandoval, D Jerez-Ramírez, K Fernández-Zúñiga, S López-Cruz, JC López-Hernández, B Peña-Álvarez, CA Velázquez-Sanabria. 2022. Dinámica temporal de combustibles forestales y efecto del incendio en Cerro Nambiyugua, Chiapas, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 9(2): e3253. DOI: <https://doi.org/10.19136/era.a9n2.3253>
- Sáenz-Ceja JE, DR Pérez-Salicrup. 2019. The role of fire in the regeneration of conifer forests. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 25(1): 123-139. DOI: <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchscfa.2018.06.054>
- STF (Servicios Técnicos Forestales). 2020. Programa de manejo nivel avanzado. Agua Blanca, Nejapa de Madero, Oaxaca. 312 p.
- Stavi, I. 2019. Wildfires in grasslands and shrublands: A review of impacts on vegetation, soil, hydrology, and geomorphology. *Water* 11(5): 1042. DOI: <https://doi.org/10.3390/w11051042>
- Vargas-Larreta B, JJ Corral-Rivas, OA Aguirre-Calderón, JO López-Martínez, HM De los Santos-Posadas, FJ Zamudio-Sánchez, EJ Treviño-Garza, M Martínez-Salvador, CG Aguirre-Calderón. 2017. SiBiFor; Sistema biométrico forestal para el manejo de los bosques de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente* 23(3): 437-455. DOI: <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2017.06.040>
- Villegas-Jiménez DE, G Rodríguez-Ortiz, VA Velasco-Velasco, J Ruiz-Luna, JC Carrillo-Rodríguez, SE Ramírez-Sánchez. 2013. Partición de biomasa aérea en procedencias de *Pinus greggii* plantadas en el sur de México. *Revista fitotecnica mexicana* 36(4): 421-427. Consultado 25 ene. 2023. Disponible en https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802013000400008
- Zavala-Chávez F. 2000. El fuego y la presencia de encinos. *Ciencia Ergo Sum* 7(3): 268-276. DOI: Consultado 18 ene. 2023. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/104/10401909.pdf>

Recibido: 08.07.23
Aceptado: 01.10.23

