

Calidad morfológica de la regeneración natural postincendio de *Pinus douglasiana* Martínez del Sur de Oaxaca

Morphological quality of natural post-fire regeneration of *Pinus douglasiana* Martínez from Southern Oaxaca

Rosario Aquino-López¹ ,
Ernesto Castañeda-Hidalgo^{2*} ,
Gerardo Rodríguez-Ortiz² ,
Gisela M. Santiago-Martínez² ,
Salvador Lozano-Trejo² 

¹Estudiante del Programa de Maestría en Ciencias en Productividad en Agroecosistemas. Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Ex Hacienda de Nazareno, Santa Cruz Xoxocotlán, CP. 71233. Oaxaca, México.

²Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Ex Hacienda de Nazareno, Santa Cruz Xoxocotlán, CP. 71233. Oaxaca, México.

*Autor de correspondencia: casta_h50@hotmail.com

Artículo científico

Recibido: 11 de mayo 2023

Aceptado: 04 de noviembre 2023

Como citar: Aquino-López R, Castañeda-Hidalgo E, Rodríguez-Ortiz G, Santiago-Martínez GM, Lozano-Trejo S (2023) Calidad morfológica de la regeneración natural postincendio de *Pinus douglasiana* Martínez del Sur de Oaxaca. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 10(3): e3781. DOI: 10.19136/era.a10n3.3781

RESUMEN. La regeneración natural de pino postincendio depende de diversos factores, como la calidad de planta a partir de la obtención de plantas con características morfológicas deseables que permitan mejores expectativas de sobrevivencia y crecimiento. El objetivo fue evaluar la calidad de la regeneración de *P. douglasiana* en áreas con diferente severidad de incendio. En el 2022 se realizó un muestreo destructivo a plantas de dos años para determinar la calidad de las plantas. El nivel de severidad y calidad morfológica se diferenciaron por medio de análisis de varianza y prueba de comparación de medias (Duncan, 0.05). Los resultados muestran diferencias significativas entre nivel de severidad de incendio ($p \leq 0.05$) para los índices de calidad altura, biomasa de hojas, raíz, biomasa aérea, biomasa total, relación altura y longitud de raíz. Para longitud de raíz, biomasa de tallo, relación biomasa aérea y biomasa de raíz e índice de Dickson no se encontraron significancias ($p > 0.05$). De acuerdo a la relación altura y longitud de raíz, índice de lignificación e índice de Dickson se presentó una buena calidad de planta en los tres niveles de severidad de incendio. Para la biomasa aérea, biomasa subterránea e índice de esbeltez, las plantas mostraron baja calidad. Se obtuvieron los cocientes más altos en diámetro (4.15 mm), altura (26.03 cm), área foliar (321.2 cm²) y biomasa total (5.84 g) para el área de severidad alto. Las áreas incendiadas son adecuadas para la regeneración natural y se mejora si se conjuntan con actividades silvícolas que perfeccionen su calidad a futuro.

Palabras clave: Biomasa, factores, índices morfológicos, pino-encino, severidad.

ABSTRACT. The natural regeneration of post-fire pine depends on various factors, such as plant quality from obtaining plants with desirable morphological characteristics that allow better expectations of survival and growth. The objective was to evaluate the quality of *P. douglasiana* regeneration in areas with different fire severity. In 2022, destructive sampling was carried out on two-year-old plants to determine the quality of the plants. The level of severity and morphological quality were differentiated through analysis of variance and means comparison test (Duncan, 0.05). The results show significant differences between the level of fire severity ($p \leq 0.05$) for the quality indices of height, leaf biomass, root, aerial biomass, total biomass, height ratio and root length. For root length, stem biomass, aboveground biomass and root biomass ratio and Dickson index, no significance was found ($p > 0.05$). According to the root height and length relationship, lignification index and Dickson index, good plant quality was presented at the three levels of fire severity. For aboveground biomass, underground biomass and slenderness index, the plants showed low quality. The highest ratios in diameter (4.15 mm), height (26.03 cm), leaf area (321.2 cm²) and total biomass (5.84 g) were obtained for the high severity area. The burned areas are suitable for natural regeneration and are improved if they are combined with forestry activities that improve their quality in the future.

Key words: Biomass, factors, morphological indices, pine-oak, severity.

INTRODUCCIÓN

En México, los incendios forestales son perturbaciones continuas a los cuales están expuestos los ecosistemas de clima templado año tras año (Flores-Rodríguez *et al.* 2021). Del 2015-2020 se contabilizaron en promedio 6 965 incendios que afectaron a 464 168.30 ha por año (CONAFOR 2021). Particularmente, el estado de Oaxaca es uno de los estados con mayor superficie forestal afectada por incendios, con un promedio de 153 incendios por año, afectando superficies significativas de bosque (CONAFOR 2021).

Posterior a un impacto drástico en los ecosistemas, la regeneración natural es el principal proceso para la restauración ecológica, el cual, a través del tiempo, se establece la composición y estructura de la cobertura vegetal (Fernández-Méndez *et al.* 2016). Pero, el impacto de un incendio puede generar efectos positivos o negativos sobre las características morfológicas y fisiológicas de la regeneración (Fernández-Méndez *et al.* 2016). Cuyas características influyen sobre la calidad de planta, factor que incide en la supervivencia, crecimiento y desarrollo de la regeneración (Muñoz 2017, Cortes-Cabrera *et al.* 2018).

En México, el estudio sobre la calidad de planta aun es incipiente, entre los trabajos sobresalientes sobre calidad están los de Duryea (1985) y el de Landis *et al.* (2010). Una de las primeras aportaciones en este tema es la de Prieto *et al.* (1999), pero no es hasta este siglo cuando este aspecto comenzó a ser más estudiada. Al respecto Rodríguez (2007) afirma que el control de calidad de planta se debe visualizar de dos maneras: la primera es para obtener ciertos estándares morfológicos, que indiquen su calidad; y la segunda, que está relacionada con la evaluación de calidad en campo, mismos que en México, han sido escasamente evaluados. La calidad de planta de *Pinus montezumae* Lamb. ya ha sido estudiada por Bautista *et al.* (2005) y Hernández *et al.* (2014). Sin embargo, no evaluaron las diversas condiciones de establecimiento en campo. Los factores estudiados por otros autores que limitan el éxito de establecimiento de los individuos radican

en la calidad de planta (Bautista *et al.* 2005, Robles *et al.* 2017, Prieto *et al.* 2018), la que se puede caracterizar, como los atributos morfo-fisiológicas de la planta que le permiten mejores oportunidades de supervivencia, crecimiento y desarrollo (Duryea, 1985). La evolución del concepto planta de calidad fue analizada por Grossnickle y MacDonald (2018), quienes señalan que el término se ha evolucionado desde el de brinzales deseables, que son identificados por su vigor y capacidad de crecimiento, al de brinzal objetivo, con características morfológicas y fisiológicas relacionables cuantitativamente con la supervivencia en el sitio (Landis 1990). Actualmente existen rangos de calidad para las características morfológicas para varias coníferas de México que permiten calificar la calidad de planta los cuales fueron propuestos por Sáenz *et al.* (2010) y modificados por Rueda *et al.* (2014).

La comunidad de Agua Blanca del municipio de Nejapa de Madero, Oaxaca tiene aprovechamiento maderable en 928.7 ha de pino-encino y en el año 2019 un rodal de 19.89 ha se incendió accidentalmente (STF 2020). Esto debido a la falta de implementación de estrategias enfocadas a reducir la gran cantidad de residuos sobre la superficie después del aprovechamiento, lo que junto con otros factores indujo al incendio con diferentes intensidades y severidades dentro del rodal, lo que ha generado que la regeneración natural de pino esté limitada en su capacidad para un buen crecimiento y desarrollo con buena calidad (Chávez-Pascual *et al.* 2017).

En el bosque de pino-encino de Agua Blanca, crece una de las especies con mayor importancia socio-económica en el mercado forestal *Pinus douglasiana* Martínez, que representa entre el 85 y el 90% de la materia prima utilizada en la industria maderera para fabricar diversos productos, debido a que su madera es blanda y fácil de aserrar (García-Barrios y González-Espinoza 2017). *P. douglasiana* Martínez, es una especie endémica que mide de 35 a 70 cm de diámetro, copa redondeada, se distribuye en temperaturas de 15 a 18 °C, con una altitud promedio de 2 000 m (García-Barrios y González-Espinoza 2017). Una característica específica de esta especie es la producción de conos serótinicos, particularidad de

desarrollo de los estróbilos largamente ovoides que implica la necesidad de altas temperaturas para abrir y distribuir sus semillas (Sánchez-Durán 2014).

Uno de los elementos importantes que interfieren en el establecimiento y éxito inicial de la regeneración de la especie *P. douglasiana* después de un incendio es la calidad morfológica (Sáenz-Reyes et al. 2014). Por lo tanto, caracterizar la regeneración natural después de una perturbación del bosque es fundamental para evaluar su resiliencia, específicamente sus expectativas de sobrevivencia, desarrollo y crecimiento (Norden 2014).

Para calificar una planta forestal desde el vértice de su calidad, se emplea una cadena de atributos morfológicos, los más utilizados para su determinación son la altura de la planta, diámetro al cuello de la raíz, peso seco total, peso fresco total, peso seco del tallo, peso seco de raíces y área foliar (Ramos-Huayapa y Lombardi-Indacochea 2020). Estos atributos permiten determinar los índices de calidad de planta como son el Índice de Esbeltez, la relación Peso aéreo/Peso seco raíz, el Índice de Dickson y el Índice de Lignificación (Escobar-Alonso y Rodríguez-Trejo 2019, Villalón-Mendoza et al. 2016). Las investigaciones relacionadas con la calidad de planta en el nuevo establecimiento de la cubierta vegetal por especies forestales post-incendio en el estado de Oaxaca es escasa (Sáenz et al. 2014). Por lo que es necesario realizar investigaciones que contribuyan al limitado conocimiento al respecto, que sirva como base, para proponer estrategias de restauración en la región. En este contexto se planteó la hipótesis, la calidad de planta de la regeneración natural de *P. douglasiana* es afectada dependiendo del nivel de severidad de incendio. Para validar la hipótesis, se plantea el objetivo de evaluar la calidad de planta post-incendio bajo tres niveles de severidad del fuego a partir de índices morfológicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción de área de estudio

La investigación se desarrolló en la localidad de Agua Blanca, Nejapa de Madero, distrito de San Carlos Yautepec, estado de Oaxaca. Se ubica a una

altitud media de 1 176 m, entre las coordenadas 16° 39' 25" LN y -95° 44' 28" LO (INEGI 2018). El clima es C(w2), catalogado como templado subhúmedo, temperatura media anual entre 12 y 18 °C; lluvias en verano con una precipitación media anual de 1 800 mm. En la comunidad habitan 401 personas, las cuales pertenecen a la etnia mixe. Posee una superficie total de 9 325 ha, una orografía montañosa y alberga diferentes estructuras vegetales conformadas por encino-pino, pino-encino, pastizales y selva baja caducifolia (Figura 1).

Selección de los sitios de muestreo

En el año 2022 se realizaron recorridos de campo con la finalidad de identificar áreas con distintos niveles de severidad de incendio (NSI) ocurrido hace dos años (2020) en una superficie de 19.89 ha. Los NSI se clasificaron de la siguiente manera (I) bajo, (II) medio y (III) alto, de acuerdo a la distribución de cuatro sitios establecidos de manera dirigida, para tomar una decisión más acertada de esta clasificación se determinó con base al nivel de combustión. La altura de quemado del arbolado adulto se midió con un flexómetro (Truper®, FH-8M) 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). El porcentaje de copa quemada, determinado con la delimitación estimada de forma visual del área de la copa con muerte regresiva, al que se le asignó un porcentaje. clasificando así el nivel bajo a un incendio de tipo superficial que afectó combustibles vivos y muertos como pastos, hojas, ramas, ramillas, arbustos y pequeños individuos de regeneración natural, troncos y humus. Este tipo de incendio se relacionó a factores abióticos que reflejaron poca combustión del material vegetal grueso, ubicándose en una exposición este, pendientes de 30 a 35% y altitud de 1 916 m. El nivel medio es donde el incendio no afectó la estructura total del bosque, se observa la marca del fuego en el fuste por debajo de la mitad de la altura del árbol. Esta área se caracterizó por presentarse en una exposición norte con mayor humedad y menos horas luz, pendientes de 45 a 50% a una altitud de 1 973 m, característi-

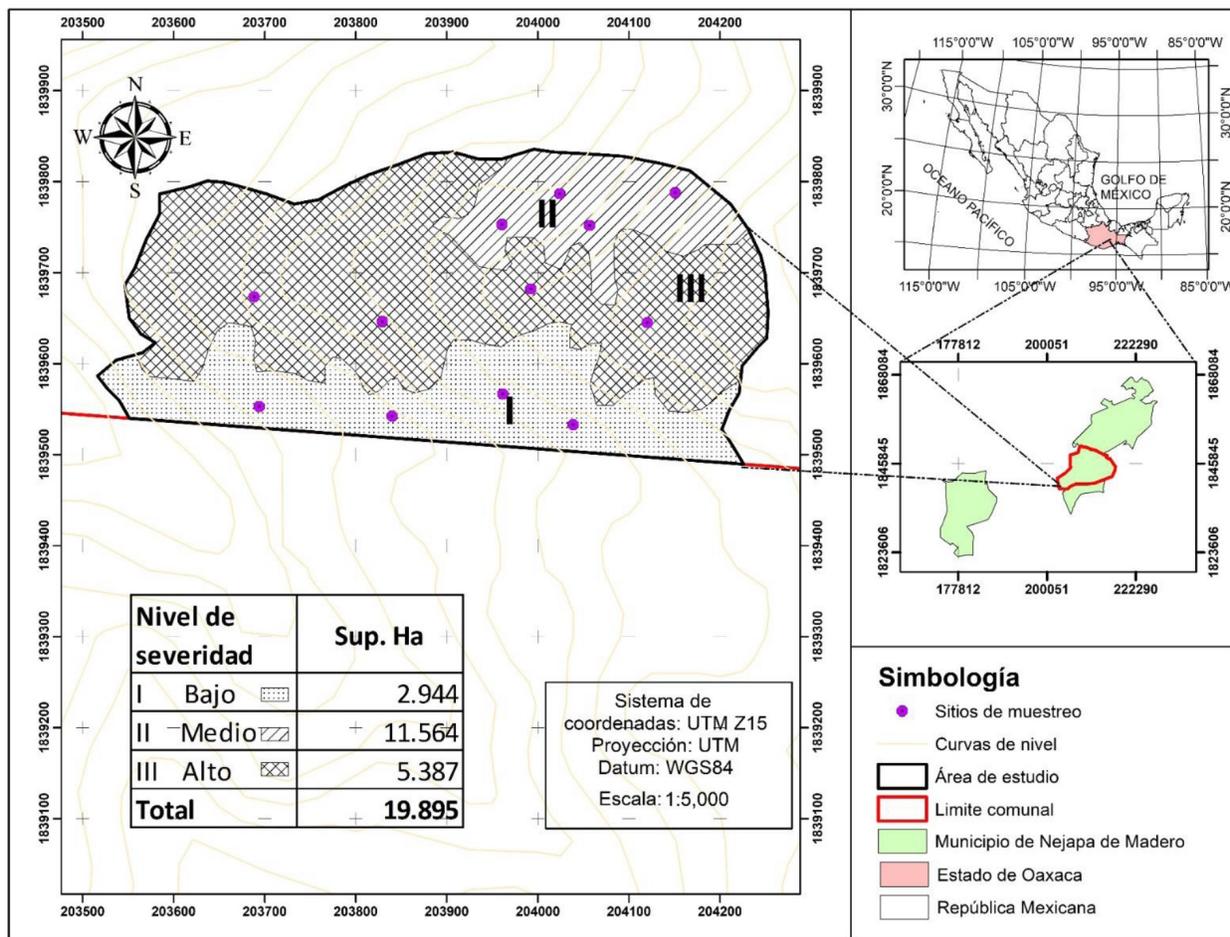


Figura 1. Localización del área de estudio y clasificación de niveles de severidad de incendio (NSI) en Agua Blanca, Nejoba de Madero, Oaxaca.

cas que inciden de manera directa al propiciar variaciones fisiológicas, de la vegetación, por ejemplo, que el combustible sea más húmedo y un poco más resistente a incendiarse.

En el nivel alto el escorchado superó la mitad de la altura total del árbol, y la copa presentó afectación parcial, con destrucción de la estructura y composición del bosque. Área ubicada en una exposición sur reflejando una mayor sequedad del área con más horas luz, pendientes de 48 a 55% y altitud de 1 970 m. Las pendientes están relacionadas con las características intrínsecas de la vegetación del área que las hacen más propensas a los incendios cuanto mayor sea el porcentaje ya que inciden a una mayor facilidad y rápida propagación del fuego, hacia las partes aéreas de la vegetación. Aunado a

lo anterior también se utilizaron imágenes satelitales las cuales fueron superpuestas al área de estudio con ayuda del software ArcGis 10.3. Además, se establecieron 12 sitios circulares de 400 m², considerando la compensación por pendientes según la metodología descrita por Chávez-Pascual *et al.* (2017). El tamaño de sitio fue considerado para medir el arbolado adulto y por ser un rodal incendiado con características topográficas indeseables, la regeneración se presenta muy irregular con poca densidad por lo tanto se requiere de sitios más grandes.

Selección de las plantas

El estudio se realizó con plantas de dos años de edad provenientes de la regeneración natural

post-incendio de *P. douglasiana* de tres NSI. Se realizó un muestreo no probabilístico de forma dirigida, tomando criterios únicos de los individuos y porque la población fue variable y consiguientemente la muestra es pequeña. Se seleccionaron 4 plantas por cada sitio de muestreo, esta intensidad se definió de acuerdo a los individuos disponibles en el sitio, obteniendo así 48 individuos para su posterior análisis.

Indicadores de calidad de planta

Las variables consideradas para la evaluación de las plantas fueron altura (A, cm), la longitud del tallo (LT, cm) y la longitud de la raíz (LR, cm); estas medidas se obtuvieron con el uso de una regla graduada, el diámetro del cuello de la raíz (DCR, mm), se realizó con un vernier digital (*Powerbuilt-647740M* con precisión ± 0.2 , mm). El método destructivo para las 48 muestras de *P. douglasiana* consistió en separar las partes vegetativas de la planta; tallo, acículas y raíces. Las acículas de las 48 plantas se escanearon en una impresora marca EPSON L380[®], las imágenes se procesaron en el programa ImageJ[®] para obtener el área foliar (AF, cm²). Se determinó el peso húmedo (PH, g), con el uso de una balanza analítica marca Shimadzu, modelo ATY224 con precisión de ± 0.1 mg; posteriormente las partes vegetativas de la planta (acículas, tallo, raíz) se introdujeron en bolsas de papel estraza rotuladas con información de su identificación. Las muestras se deshidrataron durante cuatro días en una estufa de secado marca *Memmert*, modelo 100-800 a temperatura de 75 °C hasta obtener peso constante. Para luego pesar las muestras en una balanza digital para obtener peso seco (PS, g) y posteriormente obtener la biomasa de cada parte vegetativa, para la biomasa total (BTOT) se consideró la partición de la biomasa de hojas (BH), biomasa de raíz (BR) y biomasa aérea (BA).

Con los valores de las variables se determinaron los índices de calidad de planta: Índice de robustez (IE), relaciona la altura (cm) y el diámetro del cuello de la raíz (DCR, mm) de la planta; valores menores de 6 indican alta calidad, de 6-8 media calidad y mayores de 8 baja calidad (Villalón-

Mendoza et al. 2016). Índice de calidad de Dickson (ICD), reúne varios atributos morfológicos en un solo resultado, representando plantas de alta calidad con valores mayores o iguales a 0.50, calidad media de 0.49-0.5 y una baja calidad para valores menores de 0.2 (Cobas et al. 2020). Este parámetro es el mejor índice para indicar plantas de buena calidad en campo, expresa el equilibrio de la distribución de la biomasa y la robustez y evalúa mejor las diferencias morfológicas entre plantas de una muestra (Sáenz et al. 2014).

La relación altura y longitud de la raíz (A/LR), predice el éxito de las plantas en campo, se considera que debe haber equilibrio y proporción entre la parte aérea y el sistema radicular de las plantas; valores menores de 2 representan alta calidad para este índice, entre 2.1-2.5 como de media calidad y valores mayores de 2.5 baja calidad (Sáenz Reyes et al. 2014, Muñoz et al. 2015). Relación biomasa seca aérea con biomasa seca raíz (BA/BR); esta proporción se caracteriza por reflejar el desarrollo de la planta y calidad; para ello, los valores deben ser 1.5-2 para calificar a una planta de alta calidad, valores 2.1-2.5 media calidad y mayores de 2.5 calidad baja (Vicente-Arbona et al. 2019). El índice de lignificación (IL %), es la relación del peso seco total entre el peso húmedo total de la planta, el cual determina el porcentaje de lignificación; los valores altos (35-40%) representan más resistencia a daños físicos (Ramos-Huapaya y Lombardi-Indacochea 2020).

Con las variables evaluadas, se calificó la calidad de la planta en los diferentes niveles de severidad de incendio mediante la comparación con valores citados en estudios de coníferas (Vicente-Arbona et al. 2019). A cada parámetro morfológico evaluado se le definió un intervalo y un nivel de calidad de planta (Tabla 1).

Análisis de datos

Se realizó un análisis estadístico con el programa Statistical Analysis System[®] constatando que los datos cumplieran con los supuestos de normalidad y homocedasticidad, mediante la prueba de Shapiro-Wilk y Bartlett ($\alpha > 0.05$), algunas variables se transformaron a logaritmo natural. Los

Tabla 1. Intervalos para determinar la calidad de planta en especies forestales.

Característica	Índice	Fórmula	Calidad y rango		
			*Alta	**Media	***Baja
Morfológica	Altura (A)		15-25	10-14.9	<10
	Diámetro (D)		≥ 4	2.5-3.9	<2.5
	Índice de esbeltez (IE)	$IR = \frac{Altura (cm)}{Diámetro\ al\ cuello\ de\ la\ raíz (mm)}$	<6	6-8	>8
	Relación altura/longitud de raíz (A/LR)	$RA/LR = \frac{Altura (cm)}{Longitud\ de\ Raíz (cm)}$	<2	2.1-2.5	>2.5
	Relación biomasa aérea/biomasa raíz (R BA/BR)	$RBA/BR = \frac{Peso\ seco\ aereo (g)}{Peso\ seco\ radical (g)}$	1.5-2	2.1-2.5	>2.5
	Índice de Calidad de Dickson (ICD)	$IR = \frac{Altura (cm)}{Diámetro\ al\ cuello\ de\ la\ raíz (mm)}$	>0.5	0.49-0.5	<0.2

*Calidad alta: plantas que presentan ausencia absoluta de características indeseables. **Calidad media: plantas que presentan en menor proporción características indeseables, se aceptan hasta tres valores de calidad media y una de calidad baja. ***Calidad baja: plantas que registran más valores de calidad media y baja, son individuos que no garantiza su supervivencia en campo.

niveles de severidad de incendios e índices de calidad se diferenciaron mediante el modelo lineal generalizado (PROC GLM) y prueba de medias (Duncan). Además, se realizó un análisis Clúster para agrupar la calidad de planta, características físicas del área y sus relaciones entre los niveles de severidad.

RESULTADOS

Índices de calidad de planta

El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre el NSI ($p \leq 0.05$) en: Altura, biomasa de hojas (BH), biomasa de raíz (BR), biomasa aérea (BA), biomasa total (BTOT), relación (A/LR) e Índice de esbeltez (IE) (Tabla 2). No se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) en las variables DCR, LR, BT, relación BA/BR, ICD y AF. Las variables que generaron mayor coeficiente de variación y mostrando alta heterogeneidad (>30%) fueron BA, BH, BR y BTOT. Por otra parte, las variables BH, BR, BTOT mostraron los mayores promedios en el NSI alto (Tabla 3). De acuerdo a los intervalos para calificar la calidad de una planta forestal, las plantas del NSI alto son de alta calidad y de media calidad las plantas provenientes del NSI medio y bajo. De manera general, las plantas que obtuvieron mayor BTOT fueron provenientes del NSI alto (5.84 g planta⁻¹). La parte que más captura biomasa en el NSI alto con un promedio de (3.41 g planta⁻¹) son las hojas, seguido del tallo y raíz.

Los valores de BA fueron de 2.28 clasificado como bajo, mientras que en la clasificación alta fue 4.92 g planta⁻¹ en el NSI. La producción de BR fue de 0.39 g planta⁻¹ clasificado como bajo, hasta 0.87 g planta⁻¹ con un nivel alto de severidad de incendios (Tabla 3). Se observa variabilidad en la biomasa aérea y de raíz.

En cuanto a la variable A, los valores fueron de 17.3 cm en el nivel medio, hasta 26.66 cm en los niveles altos y bajos de severidad de incendios. Mientras que el DCR mostró un comportamiento constante con un promedio de 3.13 mm (Tabla 3). También, el ICD mostró un valor promedio de 6.66 entre los NSI, lo que clasifica a las plantas con calidad alta. Por otra parte, la LR mostró un promedio en los tres NSI de 16.24 cm, sin diferencias estadísticamente significativas. Las plantas procedentes del nivel alto de severidad de incendios mostraron valores más dominantes de biomasa radical BR con valor de 0.87 (Tabla 3).

Para la relación A/LR las plantas provenientes de los tres NSI, se calificaron de alta calidad con promedio de 0.23, 0.16 y 0.21 cm mm⁻¹ para el nivel bajo, medio y alto, respectivamente. La relación BA/BS arrojaron un promedio de 6.28 g para los tres NSI, los valores registrados califican a las plantas como de baja calidad ya que los resultados están fuera del intervalo para este índice. Lo que expresa que la biomasa para la mayoría de plantas es desproporcional entre la parte aérea y la raíz.

Respecto al IE calificó a las plantas con calidad baja para plantas provenientes de la severidad baja y

Tabla 2. Análisis de varianza del efecto del fuego por nivel de severidad de incendio sobre la regeneración natural.

Variable	Nivel de severidad de incendio (NSI)			
	GL error	\sqrt{CME}	Cuadrados medios	CV (%)
Diámetro al cuello (DCR; mm)	41	0.2	0.04 ^{ns}	35.79
Altura (A; cm)	41	0.15	0.02**	10.06
Longitud de raíz (LR; cm)	41	0.08	0.007 ^{ns}	18.12
Biomasa de tallo (BT; g)	41	0.46	0.21 ^{ns}	91
Biomasa de hojas (BH; g)	41	0.46	0.21*	84
Biomasa de raíz (BR; g)	41	0.46	0.21*	97
Biomasa aérea (BA; g)	41	0.45	0.20*	83
Biomasa total (BTOT; g)	41	0.45	0.20*	83
Índice de esbeltez (IE)	41	0.11	0.01*	22.98
Relación AL/LR	41	0.62	0.38*	25.58
Relación BA/BR	41	0.72	0.005 ^{ns}	17.29
Índice de Dickson (ICD)	41	0.07	0.004 ^{ns}	16.47
Índice de lignificación (IL)	41	0.03	0.0009*	3.7
Área foliar (AF; cm ²)	41	0.32	0.1 ^{ns}	15.04

GL = Grados de libertad. CV = Coeficiente de variación. CMC = Cuadrado medio del error. ** = Altamente significativo ($p \leq 0.01$). * = Significativo ($p \leq 0.05$). ns = No significativo ($p > 0.05$).

Tabla 3. Efecto de la severidad de incendio sobre los índices de calidad morfológica.

Variable	Nivel de severidad de incendio (NSI)		
	Bajo	Medio	Alto
Diámetro (D; mm)	2.6 ± 0.40 a	2.65 ± 0.30 a	4.15 ± 0.70 a
Altura (A; cm)	27.34 ± 2.53 a	17.23 ± 1.05 b	26.03 ± 2.33 a
Longitud de raíz (LR; cm)	15.1 ± 1.63 a	16.56 ± 1.24 a	17.06 ± 2.48 a
Biomasa de tallo (BT; g)	0.86 ± 0.24 ab	0.70 ± 0.11 b	1.50 ± 0.32 a
Biomasa de hojas (BH; g)	1.42 ± 0.46 b	1.61 ± 0.29 b	3.41 ± 0.62 a
Biomasa de raíz (BR; g)	0.39 ± 0.15 b	0.42 ± 0.06 b	0.87 ± 0.19 a
Biomasa aérea (BA; g)	2.28 ± 0.69 b	2.32 ± 0.40 b	4.92 ± 0.90 a
Biomasa total (BTOT; g)	2.70 ± 0.86 b	2.75 ± 0.46 b	5.84 ± 1.07 a
Relación BA/BR	7.16 ± 0.91 a	5.36 ± 0.31 a	6.34 ± 0.68 a
índice de Dickson (ICD)	7.36 ± 0.89 a	5.63 ± 0.35 a	6.99 ± 0.72 a

Letras distintas en la misma fila representan diferencias significativas (Duncan 0.05). La media se incluye ± error estándar (n = 44 número de muestras).

alta, y una calidad media para plantas del nivel medio, con valor promedio de 7.45 cm (Figura 2). Resultados mayores del índice indica que el tallo de la planta es más elongado y delgado con diámetros menores. Para el IL se obtuvieron valores de 39.54% de lignificación en las plantas provenientes de la severidad alta, en el nivel medio y bajo presentaron valores de 44.3 y 45.06%, respectivamente (Figura 2). Los resultados se encuentran dentro del rango en porcentaje de lignina para coníferas, lo que contribuye a incrementar el crecimiento en altura. El AF mostró el mayor promedio (321.2 cm²) en el NSI alto, seguido del nivel medio (148.43 cm²) y finalmente el nivel bajo (140.63 cm²).

Se observa a una distancia euclídea promedio de 420.86 entre los dos grandes grupos. En la unidad

de muestreo A6 dominan plantas con calidad diferenciada de las demás UM; el resto de sitios se separó a una distancia media de 186.5 entre conglomerados, de tal forma que los sitios con NSI medio (cuadro rojo) se asocian con las plantas con calificaciones similares en calidad alta, determinadas por el IL y IE, con sitios ubicados en exposición norte en un 58% de pendiente. Por otro lado, las áreas con NSI medio (Cuadro verde) se asocian con plantas calificadas de baja calidad, determinadas por menor AF y mayor IE a una distancia media de 81.68 (Figura 2).

El análisis clúster a partir del método de distancia entre grupos permitió la clasificación de la especie *P. douglasiana*, a partir de la composición de variables empleadas en la determinación de la calidad y las variables cualitativas del sitio como; pen-

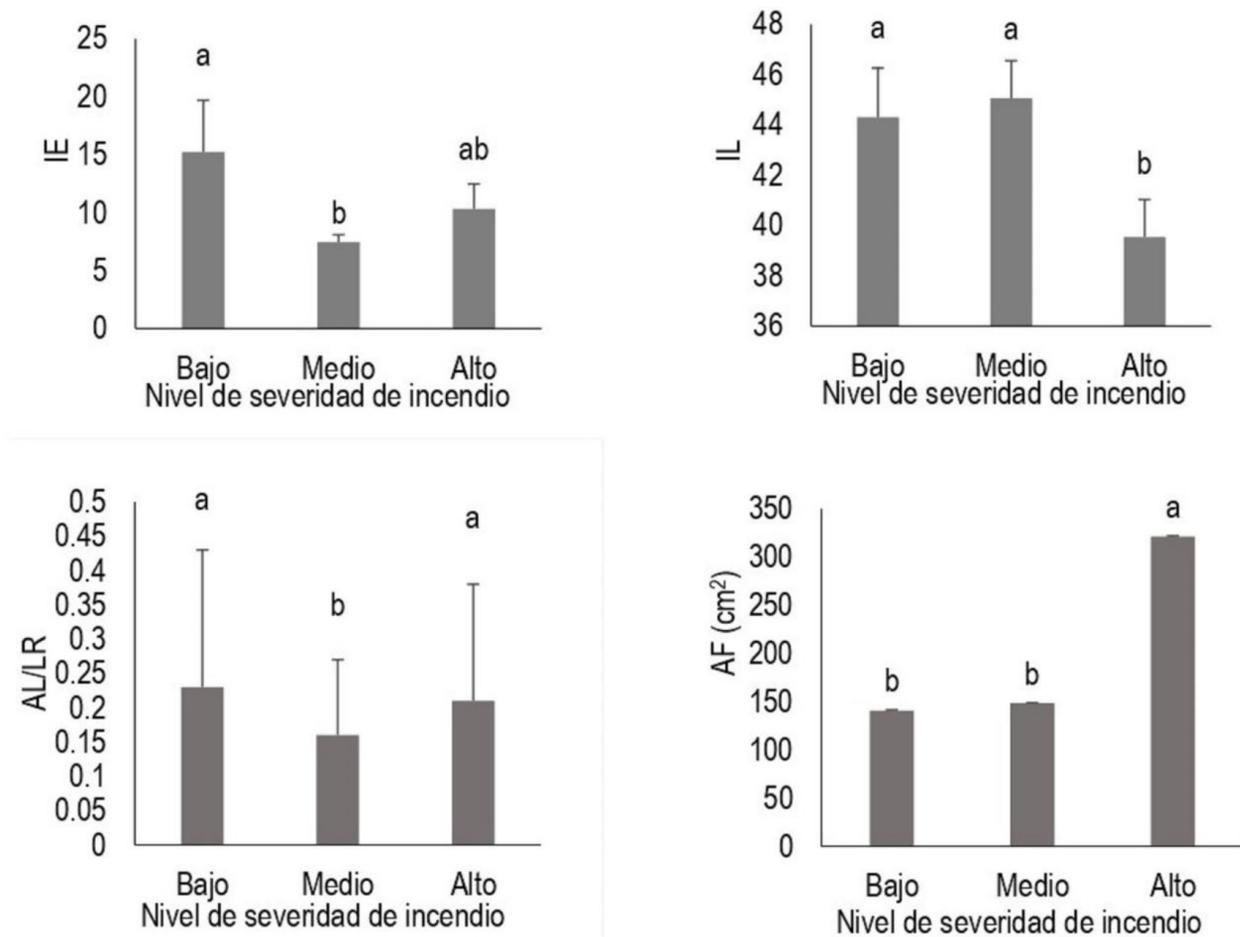


Figura 2. Efecto del nivel de severidad de incendio sobre los índices morfológicos de la regeneración. Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas (Duncan 0.05). Las líneas verticales sobre las barras indican el error estándar.

diente, exposición y altitud (Figura 3). Se obtuvieron tres grupos en función de la calidad morfológica y factores ambientales. El primer grupo (rectángulo rojo) se conformó por plantas de mejor calidad determinadas por el IL y IE en una exposición norte y noreste y un 58% de pendiente. Esto puede ser atribuido a que en esta exposición hay menor cantidad de radiación solar lo largo del año, por lo tanto, tienden a ser más húmedas en contraposición a la exposición sur que tiende a ser más seco.

DISCUSIÓN

El diámetro del cuello de la raíz (DCR) es la característica de calidad más importante, que permite predecir la supervivencia de la planta en campo y definir la robustez del tallo, por lo que se asocia con el vigor y la supervivencia. El DCR de las plantas provenientes de los tres NSI no mostraron diferencias significativas y de acuerdo a la prueba de medias Duncan el mayor diámetro de 4.15 mm fue para plantas del nivel alto (Tabla 3). Al respecto, Murillo y Sánchez (2004) destacan un valor promedio de 4 cm en plantas de dos años de edad en vivero, considerando este criterio límite para su establecimiento en campo, valor bastante bueno al igual que el encontrado en este estudio para los individuos ya estableci-

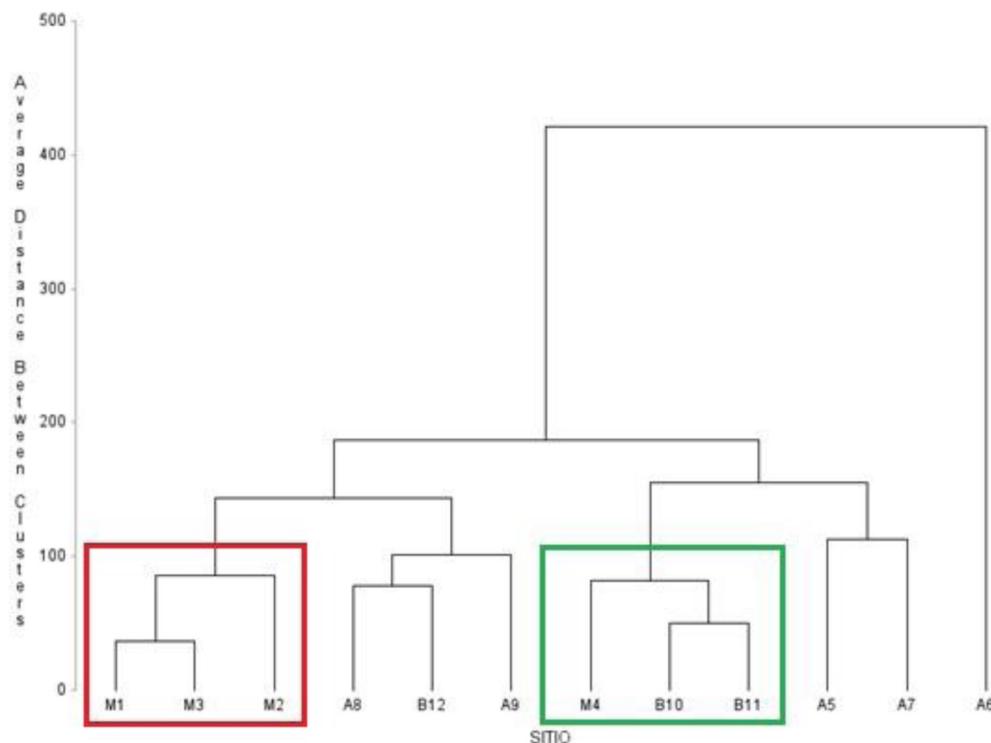


Figura 3. Formación de grupos de unidades de muestreo (S) (Cuadrados de colores) con calidad de planta, en respuesta a los niveles de severidad de incendio (NSI). S = sitio (UM), B: NSI bajo M: NSI medio A: NSI alto.

dos con valores superiores a 3 cm valor considerado en muchos trabajos como predictor de resistencia mecánica y de la capacidad de resistir temperaturas extremas en el suelo. Mientras que Rueda-Sánchez *et al.* (2012) reportan para plantas de siete meses de edad de clima templado, promedios de DCR de 2.4 mm, discerniendo así que el valor de este índice aumenta a medida que crece el individuo. Por su parte, Sáenz *et al.* (2014) obtuvieron promedios de 3.6 mm en *P. greggii* y 7.1 mm en *P. michoacana* en plantas de vivero pero de menor edad. Vicente-Arbona *et al.* (2019) encontraron un intervalo de DCR de la especie *P. greggii* de 4 a 6 mm; mientras que Villegas-Jiménez *et al.* (2013) a los 5.5 meses reportaron un diámetro de 2.49 mm en *P. pseudostrobu*, especies diferentes, pero del mismo género *Pinus*. El DCR de especies del género *Pinus* incide en la supervivencia de las plantas en los primeros meses de establecimiento, ya que está principalmente relacionada con la provisión de carbohidratos no estruc-

turales y con el desarrollo de las raíces (Luna 2019). Por otra parte, Prieto *et al.* (2009), afirman que las plantas con diámetros mayores a 5 mm son los más robustos y resistentes frente a daños mecánicos valor por arriba de lo encontrado en el estudio, sin manejo y sin aplicación de fertilizantes o compuestos orgánicos utilizados en vivero, constatando así que la planta establecida en campo no necesita aplicación de algún elemento que promueva su rápido crecimiento pero si la ejecución de actividades complementarias que incidan en su desarrollo y crecimiento de este indicador. En cuanto a Muñoz *et al.* (2015) ratifican que plantas mayores de 4 mm de DCR son las más resistentes a doblarse por vientos o lluvias. De acuerdo a lo anterior, las plantas evaluadas respecto a su DCR las de nivel bajo y medio no califican en este valor de referencia para este índice, por lo tanto, indica que están vulnerables a doblamiento por viento e incapaces de sostener tallos muy elongados. Esto puede deberse a las condiciones en las que se encuentran

las plantas en el sitio, al estar agrupadas compitiendo por luz limitándose a crecer en diámetro y priorizando crecer en altura con deficiencia de humedad. En este aspecto la altura de la planta es un buen predictor de sus dimensiones futuras en campo; aunque no lo es para la supervivencia. Se considera un indicador insuficiente, y es conveniente relacionarlo con otros criterios para que refleje su utilidad real.

Los valores que se obtuvieron para la variable altura (A) de planta fueron superiores al valor obtenido por Castellanos-Acuña *et al.* (2013) en plantas de siete meses de edad cultivado en vivero con altura de 8.8 cm considerando valores mayores como los de este estudio como buenos predictores de un rápido crecimiento en la especie con capacidad de crecer en suelos perturbados y de baja humedad. Este valor difiere a lo reportado por Rodríguez-Ortiz *et al.* (2020), donde obtuvieron alturas de 25.1 cm en *P. pseudostrobus* y *P. Oaxacacana* considerando esta altura como predictor de buena altura a futuro, pero no de sobrevivencia y ventajoso en la competitividad con la herbácea. Mientras que Rueda-Sánchez *et al.* (2012) obtuvieron promedios de 2.4 mm de diámetro y 13.7 cm de altura para *P. pseudostrobus*. Sáenz-Romero *et al.* (2010) reportaron un promedio de 22.3 cm de altura y 4.3 mm de diámetro. Mientras que Villegas-Jiménez *et al.* (2016) reportan en vivero plantas con una altura de 16.6 cm y un diámetro de 2.49 mm con una edad de mayor a cinco meses. En tanto que Grossnickle (2012), considera que atributos morfológicos como la altura, permite definir la estructura más óptima de la planta, de acuerdo a la especie. Asimismo, Ureta-Leones *et al.* (2018) deducen que la altura es una característica importante cuando se presentan condiciones adversas en el área y que una altura suficiente es oportuna en situaciones de competitividad. De acuerdo a lo anterior, Reyes-Reyes *et al.* (2018) señalan que plántulas con mayor A y menor DCR son los más vulnerables a sufrir daños mecánicos, no obstante, las plantas achaparradas son más susceptible a ser pisoteadas por animales, además corren el riesgo de ser afectadas por plagas y enfermedades; por lo que se recomienda que las plantas tengan un buen tamaño que le permita competir con la nueva vegetación herbácea y arbustivos. En

los resultados obtenidos se encontró que las plantas con mayor altura se encuentran en el nivel medio en exposición norte y alto en exposición sureste. Tal desarrollo de altura puede ser atribuido a que en el NSI alto existe una mayor apertura del dosel lo que permite mayor entrada de horas luz favoreciendo un rápido crecimiento en altura. A diferencia de las plantas ubicadas en el NSI bajo que se encuentran restringidas en su crecimiento, por la competitividad con vegetación herbácea y arbustiva y por poseer intolerancia a la sombra, característica del género *Pinus*.

Con respecto a la biomasa de raíz BR, es una característica que se relaciona positivamente con el crecimiento y supervivencia de la regeneración (Córdoba-Rodríguez *et al.* 2010). Como resultados, en la LR se obtuvo que fue mayor en plantas del NSI alto (17.06 cm), al igual que su BR (0.87 g) en relación a los otros niveles, y esto puede ser debido a la mayor cantidad de humus y nutrientes disponibles por una mayor incineración de la vegetación y como consecuencia permite un mejor crecimiento de las raíces. Cuyo crecimiento le permite llegar a horizontes más profundos del suelo para absorber agua y nutrientes. Como lo afirman, Buamscha *et al.* (2012) que las plantas tratan de desarrollar una raíz pivotante y profunda para absorber la mayor cantidad de agua cuando se encuentra en situaciones de mayor sequedad, dato aplicable a las condiciones de sitio de este estudio con carencia de humedad en áreas de exposición sur. Mientras que de Fonseca (2017), reporta que la BR representa entre el 10 y 40% de la BTOT de una planta. El índice de esbeltez IE es un indicador de resistencia de la planta, lo que indica que las plantas con diámetros muy delgados no tendrán la capacidad de sostener un tallo elongado lo cual lo hace más propenso a doblarse. En un estudio realizado por Rueda-Sánchez *et al.* (2014) encontraron valores para el índice de esbeltez IE de 1.6 para *P. devoniana* a los siete meses de edad y hasta 10.4 para *P. greggii* de nueve meses por Sáenz *et al.* (2014). Sin embargo, Robles-Villanueva *et al.* (2017) obtuvieron valores de 4.7 en este índice en la especie *P. montezumae* establecida en campo a los dos años de edad.

De acuerdo con Escobar-Alonso y Rodríguez-Trejo (2019) el IE cuanto menor sea el valor, indicará una planta baja y gruesa, lo que la convierte apta a niveles desfavorables a varios factores ambientales como a la deficiencia hídrica. Por lo tanto, la planta mejor apta para resistir las condiciones adversas tomando en cuenta las variables que relaciona este índice en el estudio realizado, son las que están establecidas en el área del NSI medio calificadas como de media calidad con un índice de esbeltez adecuado (Figura 2). Por lo tanto, las plantas del NSI bajo y alto tienden a tener bajas expectativas de sobrevivencia, menor crecimiento que es obstaculizada por la densidad residual del arbolado adulto en el nivel bajo y mayor desecación por el aire en el NSI alto por la mayor pérdida de cobertura vegetal, dejando en vulnerabilidad a factores ambientales a la regeneración. Se debe tomar en cuenta que una planta alta no siempre es robusta por lo que se utiliza de manera más eficaz el diámetro para predecir su supervivencia por lo que es mejor la determinación de este índice. Mientras que Buamscha *et al.* (2012) indican que cuanto más elongado es el tallo de una planta, menor relación positiva es la A/LR. Fisiológicamente, una buena relación raíz/tallo puede tener mejor oportunidad de absorción y distribución de agua, por lo que la planta tendrá menor exigencia del vital líquido y un crecimiento más rápido (Close *et al.* 2010). En relación a los resultados obtenidos, las plantas procedentes de los tres NSI, por la índice relación A/LR se consideraron como de alta calidad, y esto puede ser atribuido a sus ajustes en la relación fuente-demanda de agua.

Respecto a la relación BA/BR las plantas fueron calificadas de baja calidad, con valores obtenidos muy por encima de los rangos establecidos para esta relación indica la desproporcionalidad y la existencia de raíces insuficientes, este parámetro es muy importante ya que entre menor sea su valor de esta relación la planta tendrá más vigor. Al respecto, Córdoba-Rodríguez *et al.* (2011) enfatizan que la relación BA/BR con valores altos es común cuando las plantas se encuentran en estrés hídrico, por lo que mantienen un equilibrio entre la hidratación por agua y la transpiración del follaje. Sobre lo mismo, Robles-

Villanueva *et al.* (2017) encontraron valores máximos de 3 en plantas de dos años de edad. Mientras que Aguilera-Rodríguez *et al.* (2016), reportaron valores de 3.1 a 4.6 en plantas establecidas en campo, las cuales se consideraron de baja calidad. En tanto que Hernández-Ramos *et al.* (2017), mencionan que una planta de buena calidad presenta coeficientes bajos en esta relación (<2.5). Por lo que, en este estudio se observa una desproporción entre la biomasa aérea y la biomasa de raíz, donde las plantas presentaron mayor biomasa aérea y por lo tanto, la raíz se ve limitada en suministrar los nutrientes suficientes del suelo hacia la parte aérea de la planta. También la desproporción entre la biomasa aérea y de raíz puede atribuirse a factores bióticos y abióticos que afectan la sobrevivencia de la planta.

Respecto al índice de calidad de Dickson ICD, las plantas provenientes de los tres NSI presentaron calidad alta. Sin embargo, Falcón-Oconor *et al.* (2021) reporta que un incremento en este índice se relaciona con una planta de calidad alta. Por otra parte, Paucar-Bernaola *et al.* (2015) obtuvieron un valor de 5.03 en el ICD para *P. douglasiana* a los seis meses de edad, indican que fue el mejor índice de calidad para la misma especie estudiada. Mientras que en coníferas se reporta que este índice diferencia positivamente en el potencial de supervivencia de plántulas de diferentes tamaños y edades (Luna 2019). En tanto que con *P. greggii* y *P. pseudostrobus* se reporta califica de media calidad, y calidad alta para *P. michoacana* (Sáenz *et al.* 2014). Mientras que para *P. devoniana*, reporta valores de 1.2, por lo que los valores en este índice depende de la especie y tamaño (Sáenz *et al.* 2014).

El índice de calidad de Dickson ICD facilita comparar la calidad de las plantas de diferentes tamaños encontradas en el área quemada debido a que relaciona varias variables e indica la proporcionalidad de las plantas en cuanto a su peso y tamaño, encontrando en este estudio valores superiores a las de referencia. De acuerdo con Ureta-Leones *et al.* (2018), lo deseable es que las plantas alcancen los máximos valores con este índice, lo cual involucra que, por un lado, la planta sea robusta con buen crecimiento y que al mismo tiempo

las fracciones aéreas y radicales estén equilibradas e identificar plantas de menor calidad y con menos expectativas de sobrevivencia ante escenarios futuros.

Para el índice de lignificación IL, Ureta-Leones *et al.* (2018) resaltan que entre mayor sea el porcentaje de humedad, las plantas tienden a tener mayores posibilidades de aclimatarse a factores ambientales limitantes. Al respecto, no se encontraron resultados de investigación sobre el porcentaje de lignificación para regeneración después de un incendio para realizar una comparación. Pero Ávila-Flores *et al.* (2014) reportan para *P. engelmannii* valores de 24.30, 25.03 y 26.63%, al evaluar la reducción en la disponibilidad de humedad como preconditionamiento; mientras que para *P. leiophylla* se reportan valores de 30.91%, al considerar sustratos y tasas de adición de nutrientes (Buendía-Velázquez *et al.* 2017). Determinar la humedad de una planta es poco preciso por la variabilidad de herramientas, metodologías, tiempo y costos que se le apuesta, pero en las coníferas los valores óptimos de lignina están entre 25 y 30%. Los resultados obtenidos en el NSI indican que las plantas son buena calidad, lo que estimula el buen desarrollo de yemas apicales, crecimiento y follaje suculento con mejor soporte ante el estrés hídrico y más resistentes a factores ambientales (Figura 2). Los contenidos de lignina pueden deberse también al gran contenido de necromasa sobre el suelo, lo que coadyuva a retener una mayor cantidad de humedad. También puede deberse a la exposición N y NE en el que se encuentran dichos sitios, ya que reciben menor cantidad de radiación solar directa, por lo tanto, son áreas más húmedas. También la acumulación de lignina encontrado puede formar parte de la defensividad de las plantas contra plagas y enfermedades, los cuales son valores a los encontrados en estudios de plantas en viveros antes ya mencionados.

Por otro lado, el rápido crecimiento de la AF está directamente relacionada con la calidad ya que expresa el área fotosintética y procesos fisiológicos. Otro factor de las plantas con mayor AF es su genética. Ya que estas plantas provienen de progenitores con rasgos o características indeseables, y, por lo tanto, las plantas evaluadas presentaron ramifica-

ciones y bifurcaciones, lo que aumenta su expansión foliar, resultando en una desproporcionalidad en la relación BA/BS, calificándolas como de baja calidad. Las diferencias estadísticas en el área foliar AF de las plantas puede atribuirse a la mayor apertura de espacios desprovistos de vegetación, lo que permite mayor entrada de luz, de modo que las plantas del nivel alto realizan mayor fotosíntesis, desarrollando más área foliar. También es importante considerar que la especie *P. douglasiana* es intolerante a la sombra y necesita suficiente luz en las etapas juveniles para poder desarrollarse de forma adecuada (Rubio-Camacho *et al.* 2017). Al respecto, Rodríguez-Ortiz *et al.* (2012) reportan que el vigor de una planta se puede evaluar a través de su follaje, que representa de 4 a 6% de la biomasa total del árbol, siendo el AF la parte vegetativa más importante para los procesos fisiológicos. Mientras que Rodríguez-Ortiz *et al.* (2020), reportan valores de 384.7, 368.6, 371.2 y 387.3 cm² para la especie de *P. pseudostrobus* var. *oaxacana*. En tanto que Rodríguez-Ortiz *et al.* (2011), menciona que el AF es un factor que se debe tomar en cuenta en la productividad futuro del bosque, ya que a nivel ecosistema el AF regula la intercepción de luz, el almacenamiento de carbono y la transpiración.

Los resultados del análisis clúster corroboran que los indicadores de calidad morfológica y factores cualitativos del sitio determinan la clasificación de grupos homogéneos. Mientras que los índices de calidad tienen una gran importancia y al ser evaluadas pueden describir fácilmente la calidad de una planta y pueden servir como indicadores para mejorar y contribuir en mejorar la calidad en próximos años.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos para los índices de BA/BS y IE muestran una variabilidad calificando a la mayoría de plantas como de baja calidad, en contraposición con el ICD, DCR, AL/LR, AF e IL; cuyos valores calificaron a las plantas de media y alta calidad en los tres niveles de severidad de incendio. Se demostró la hipótesis planteada, la calidad de planta

de la regeneración natural de *P. douglasiana* se ve afectada dependiendo del nivel de severidad de incendio y de los índices calificados.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia, Humanidades y Tecnología (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. CVU 1153828. Se agradece al Tecnológico Nacional de México (TecNM) por el financiamiento otorgado para el desarrollo del proyecto de investigación "Regeneración natural post-incendio de bosques de pino-encino, caso Nejapa de Madero, Oaxaca. Clave: 15324.22-P; en el marco de la Convocatoria para Proyectos de Desarrollo Tecnológico e Innovación para Estudiantes 2022.

LITERATURA CITADA

- Aguilera-Rodríguez M, Aldrete A, Martínez-Trinidad T, Ordáz-Chaparro VM (2016) Producción de *Pinus montezumae* Lamb. con diferentes sustratos y fertilizantes de liberación controlada. *Agrociencia* 50: 107-118.
- Ávila-Flores IJ, Prieto-Ruíz JA, Hernández-Díaz JC, Whehenkel CA, Javier Corral-Rivas J (2014) Preconditioning *Pinus engelmannii* Carr. Seedlings by irrigation deficit in nursery. *Ciencias Forestales y del el Ambiente* 20: 237-245.
- Bautista ZNV, Cetina AM, Vera CG, Cervantes MCT (2005) Evaluación de la calidad de brinzales de *Pinus montezumae* Lamb. producidos en el vivero San Luis Tlaxialtemalco, Distrito Federal. *Ra Ximhai* 1: 167-176.
- Bautista ZNV, Cetina AM, Vera CG, Cervantes MCT (2005) Evaluación de la calidad de brinzales de *Pinus montezumae* Lamb., producidos en el San Luis Tlaxialtemalco, Distrito Federal. *Ra Ximhai. Revista De Sociedad, Cultura, Desarrollo* 1: 167-176.
- Buamscha MG, Contardi LT, Kasten DR, Enricci JA, Escobar R, Gonda HE, Jacobos DF, Landis TD, Luna T, Mexal JG, Wilkinson KM (2012) Producción de plantas en viveros forestales. 1a Edición. Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. Argentina. 195p.
- Buendía-Velázquez MV, López-López MÁ, Cetina-Alcalá VM, Diakite L (2017) Substrates and nutrient addition rates affect morphology and physiology of *Pinus leiophylla* seedlings in the nursery stage. *Biogeosciences and Forestry* 10: 115-120.
- Castellanos-Acuña D, Sáenz-Romero C, Lindig-Cisneros RA, Sánchez-Vargas NM, Lobbit P, Montero-Castro JC (2013) Variación altitudinal entre especies y procedencias de *Pinus pseudostrobus*, *P. devoniana* y *P. leiophylla*. Ensayo en vivero. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 19: 399-411.
- Chávez-Pascual EY, Rodríguez-Ortiz G, Enríquez-Del Valle JR, Velasco-Velasco VA, Gómez-Cárdenas M (2017) Compartimentos de biomasa aérea en rodales de *Pinus oaxacana* bajo tratamientos silvícolas. *Madera y Bosques* 23: 147-161.
- Close DC, Paterson S, Corkrey R, McArthur C (2010) Influences of seedling size, container type and mammal browsing on the establishment of *Eucalyptus globulus* in plantation forestry. *New Forests* 39: 105-115.
- Cobas LM, Sotolongo SR, Almora RY (2020) Comportamiento de los parámetros morfológicos de calidad de la planta de *Lysiloma sabicú* Benth. En vivero sobre sustratos orgánicos. *Revista Cubana de Ciencias Forestales* 8: 550-561.

- CONAFOR (2022) Cierre estadístico 2021. Coordinación General de Conservación y Restauración Gerencia de Manejo del Fuego. Comisión Nacional Forestal. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/691111/Cierre_de_la_Temporada_2021.pdf. Fecha de consulta: 10 de marzo del 2023.
- Córdoba-Rodríguez D, Vargas-Hernández J, López-Upton J, Muñoz-Orozco A (2010) Crecimiento de la raíz en plantas jóvenes de *Pinus pinceana* Gordon en respuesta a la humedad del suelo. *Agrociencia* 45: 493-506.
- Cortés-Cabrera HE, Jurado E, Pompa-García M, Aguirre-Calderón OA, Pando-Moreno M, González-Tagle MA (2018) Efecto del fuego y la elevación en la regeneración de *Pinus hartwegii* Lindl. en el noreste de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 24: 197-205.
- Duryea ML (1985) Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests. Oregon State University. Corvallis, OR USA. 143p.
- Escobar-Alonso S, Rodríguez-Trejo DA (2019) Estado del arte en la investigación sobre calidad de planta del género *Pinus* en México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 10(55): DOI: 10.29298/rmcf.v10i55.558.
- Falcón-Oconor E, Cobas-López M, Bonilla-Vichot M, Rodríguez-Leyva O, Romero-Castillo CV, Rodríguez-Leyva E (2021) Calidad de plántulas de *Swietenia mahagoni* L. Jacq. producida en sustratos inoculados con hongo micorrízico arbuscular. *Ciencias Ambientales* 55: 311-225.
- Fernández-Méndez F, Velasco-Salcedo V, Guerrero-Contecha J, Galvis M, Viana-Neri A (2016) Recuperación ecológica de áreas afectadas por un incendio forestal en la microcuenca Tintales (Boyacá, Colombia). *Colombia Forestal* 19: 19-36.
- Flores-Rodríguez AG, Flores-Garnica JG, González-Eguiarte DR, Gallegos-Rodríguez A, Zarazúa-Villaseñor P, Mena-Munguía S, Lomelí-Zavala ME, Ruíz-Guzmán E (2021) Pine and oak natural regeneration under different levels of forest fire disturbance. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 12(65). DOI: 10.29298/rmcf.v12i65.776.
- Fonseca W (2017) Revisión de métodos para el monitoreo de biomasa y carbono vegetal en ecosistemas forestales tropicales. *Revista de Ciencias Ambientales*. 51(2): 91. DOI: 10.15359/rca.51-2.5.
- García-Barrios L, González-Espinosa M (2017) Investigación ecológica participativa como apoyo de procesos de manejo y restauración forestal, agroforestal y silvopastoril en territorios campesinos. Experiencias recientes y retos en la sierra Madre de Chiapas, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 88: 129-140.
- Grossnickle SC (2012) Why seedlings survive: Influence of plant attributes. *New Forests* 43: 711-738.
- Grossnickle SC, MacDonald J (2018) Seedling Quality: History, Application, and Plant Attributes. *Forests* 9: 283. DOI: 10.3390/f9050283.
- Hernández ZL, Aldrete AVM, Ordaz Ch, López UJ, López LMA (2014) Crecimiento de *Pinus montezumae* Lamb. en vivero influenciado por diferentes mezclas de sustratos. *Agrociencia* 48: 627-637
- Hernández-Ramos J, De Los Santos-Posadas HM, René Valdez-Lazalde J, Carlos Tamarit-Urias J, Ángeles-Pérez G, Hernández-Ramos A, Peduzzi A, Carrero O, Responsable A (2017) Biomasa aérea y factores de expansión en plantaciones forestales comerciales de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. *Agrociencia* 51: 921-938.
- INEGI (2018) México en cifras. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. https://www.inegi.org.mx/app/areas_geograficas/collapse-Resumen. Fecha de consulta: 11 de marzo del 2023.
- Landis TD, Dumpofse RK, Haase DL (2010) Seedling processing, storage and outplanting. The container tree nursery manual. USDA Forest Service. Agriculture Handbook 674. Vol. 7. Washington, DC, USA. 199p.

- Luna CV (2019) Evaluación de sustratos y concentraciones de fertilizantes sobre el crecimiento de pino tadea (*Pinus taeda* L.) en vivero. *Agronómica del Noroeste Argentino* 39: 19-29.
- Muñoz FHJ, Sáenz RJT, Coria-Avalos VM, García MJDJ, Hernández RJ, Manzanilla QGE (2015) Calidad de planta en el vivero forestal La Dieta, Municipio Zitácuaro, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6: 72-89.
- Muñoz J (2017) Natural regeneration: A review of the ecological aspects in the tropical mountain forest of southern Ecuador. *Revista Latitud Cero* 7: 130-143.
- Murillo O, Sánchez S (2004) Desarrollo de un método para controlar la calidad de producción de plátulas en viveros forestales: estudio de caso con ciprés (*Cupressus lusitánica*). *Agronomía Cosarricense* 28: 95-106.
- Norden N (2014) Del porqué la regeneración natural es tan importante para la coexistencia de especies en los bosques tropicales. *Colombia Forestal* 17: 247-261.
- Paucar-Bernaola RM, Zamora-Natera JF, Vargas-Radillo J, Cetina-Alcalá VM, Rodríguez-Macías R, Salcedo-Pérez E (2015) Plant quality of two pine species at nursery stage in a double-transplanting system. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 7: 74-93.
- Prieto RJÁ, Duarte SA, Goche TJR, González OMM, Pulgarín GMÁ (2018) Supervivencia y crecimiento de dos especies forestales, con base en la morfología inicial al plantarse. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9: 151-168.
- Prieto RJA, García RJL, Mejía BJM, Huchin AS, Aguilar VJL (2009) Producción de plántula del género *Pinus* en vivero del clima templado frío. *Publicación Especial N° 28. Campo Experimental Valle del Guadiana, INIFAP-SAGARPA. México.* 48p.
- Prieto RJA, Vera CG, Bermúdez EM (1999) Factores que influyen en la calidad de brinzales y criterios para su evaluación en vivero. *Folleto Técnico 12. INIFAP. México.* 23 p.
- Ramos-Huapaya AE, Lombardi-Indacochea IR (2020) Calidad de plantas en un vivero de tecnología intermedia en Huánuco: Estudio de caso con "*Eucalipto urograndis*". *Revista Forestal del Perú* 35: 132-145.
- Reyes-Reyes J, Pimienta-de la Torre D de J, Rodríguez-Morales JA, Fuentes-Pérez MA, Palomeque-Figueroa E (2018) Calidad de planta de *Gmelina arborea* Roxb. producida con diferentes mezclas de sustratos en vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9: 111-130.
- Robles VF, Rodríguez TDA, Villanueva MA (2017) Calidad de planta y supervivencia en reforestación de *Pinus montezumae* Lamb. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 8: 55-76.
- Robles-Villanueva F, Rodríguez-Trejo DA, Villanueva-Morales A (2017) Calidad de planta y supervivencia en reforestación de *Pinus montezumae* Lamb. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 8: 55-76.
- Rodríguez TDA (2007) *Indicadores de calidad de planta forestal.* Mundi Prensa. México. 156p.
- Rodríguez-Ortiz G, David Aragón-Peralta, R, Enríquez-Del Valle JR, Hernández-Hernández A, Santiago-García W, Campos-Angeles GV (2020) Plant quality of selected progenies of *Pinus pseudostrabus* Lindl. var. *oaxacana* from southern México. *Revista Madera y Bosques* 45: 96-101.
- Rodríguez-Ortiz G, De los Santos-Posadas HM, González-Hernández AA, Gómez-Guerrero A, Fierros-González AM (2012) Above-ground and needle biomass models on a fast-growing pine plantation in Oaxaca. *Madera y Bosques* 18: 25-41.
- Rodríguez-Ortiz G, González-Hernández VA, Aldrete A, De Los Santos-Posadas H, Gómez-Guerrero A, Fierros-González AM (2011) Modelos para estimar crecimiento y eficiencia de crecimiento en plantaciones de *Pinus patula* en respuesta al aclareo. *Revista Fitotecnia Mexicana* 34: 205-212.

- Rubio-Camacho EA, González-Tagle MA, Himmelsbach W, Ávila-Flores DY, Alaníz-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: 113-121.
- Rueda SA, Benavides SJ de D, Sáenz RJT, Muñoz FHJ, Prieto RJA, Orozco GG (2014) Calidad de planta producida en los viveros forestales de Nayarit. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5: 58-73.
- Rueda-Sánchez A, de Dios J, Solorio B, Prieto-Ruiz JÁ, Trinidad-Sáenz Reyes J, Orozco-Gutiérrez G, Castañeda AM (2012) Calidad de planta producida en los viveros forestales de Jalisco quality of plants produced in forest nurseries in Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 3: 69-82.
- Sáenz RM, Trinidad J, Flores M, Jesús H, Miguel Ángel C, Sánchez R, Ramos H (2014) Calidad de planta de tres especies de pino en el vivero "Morelia", estado de Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5: 98-111.
- Sáenz-Romero JT, Muñoz FHJ, Villaseñor RF, Prieto RJA, Rueda SA (2010) Calidad de planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán. Folleto Técnico. SAGARPA-INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Uruapan. México. 50p.
- Sánchez-Durán M, Gallegos-Rodríguez A, González-Cueva GA, Castañeda-González JC, Cabrera-Orozco RG (2014) Efecto del fuego en la regeneración de *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5: 126-143.
- STF (2020) Programa de manejo nivel avanzado. Servicios Técnicos Forestales Agua Blanca, Nejapa de Madero, Oaxaca. 266p.
- Ureta-Leones DA, García-Quintana Y, Arteaga-Crespo Y, Morales-Moreno A, Lazo Pérez Y, Jalca I (2018) Método de clasificación a partir del diagnóstico de calidad morfológica en vivero para la selección de especies forestales promisorias en programas de restauración. *Revista Amazónica y Ciencia y Tecnología* 7: 142-150.
- Vicente-Arbona JC, Carrasco-Hernández V, Rodríguez-Trejo DA, Villanueva-Morales A (2019) Seedling quality of *Pinus greggii* produced in sawdust-based growing media. *Madera y Bosques* 25(2): DOI: 10.21829/myb.2019.2521784.
- Villalón-Mendoza H, Ramos-Reyes JC, Vega-López JA, Marino B, Muños-Palomino MA, Garza-Ocañas F (2016) Nursery Oak seedlings quality variables for *Quercus canby* Trel. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 12: 46-52.
- Villegas-Jiménez DE, Rodríguez-Ortiz G, Chávez-Servia JJ, Enríquez-del-Valle JR, Cruz-Carrillo JJ (2016) Variación del crecimiento en vivero entre procedencias de *Pinus pseudostrobus* Lindl. *Gayana Botanica* 73: 113-123.
- Villegas-Jiménez DE, Rodríguez-Ortiz G, Velasco-Velasco VA, Ruiz-Luna J, Carrillo-Rodríguez JC, Ramírez-Sánchez SE (2013) Aboveground biomass allocation of *Pinus greggii* provenances planted in southern México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36: 421-427.