



DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i61.769>

Artículo

Nutrición inicial en una reforestación de *Juniperus deppeana* Steud. y su capacidad de rebrote posincendio
Initial nutrition and post-fire resprout of a *Juniperus deppeana* Steud. reforestation

Pedro Sinai Rivera Torres^{1*}, Armando Gómez Guerrero¹, Arnulfo Adrete¹
y Saraí Montes Recinas²

Abstract

Low growth rate forest species are rarely studied. The initial growth of *Juniperus deppeana* was evaluated through a field fertilization experiment (N-P-K). The post-fire regrowth capacity of the seedlings was also evaluated. There levels of N and P and two levels for of K were combined for a total of 18 treatments, using six plants as replicates. Additionally, the increase in the root collar diameter (IBD) was evaluated for one and two-year-old plants. Six months after fertilization, only the N-P-K interaction was statistically significant ($P < 0.06$) for IBD. The highest levels of N matched to highest IBD. After seven months of the establishment of the field experiment, a forest fire occurred, after which the regrowth capacity and the concentrations of macronutrients (N-P-K-Ca-Mg-S) were evaluated, taking into account the fertilization background. The main effects tested in the experiments were, fertilization, seedling age and fire damage. Most of the trees (84 %) resprouted after the fire. Plants with a legacy of fertilization had lower nutrients in plant tissue. Post-fire nutrient recovery of *J. deppeana* is determined by the redistribution of nutrients reserves in the soil and the plant. For slow growing species *J. deppeana*, plants aged two years are more suitable for reforestation due to their higher growth rates.

Key words: Nutrient content, initial growth, fertilization, *Juniperus deppeana* Steud., fire resistant species, Táscate.

Resumen

Las especies forestales de lento crecimiento son las menos estudiadas. Con un experimento de fertilización (N-P-K) se evaluó el caso de brinzales de *Juniperus deppeana* y su capacidad de rebrote posincendio. Se aplicaron tres niveles de N y P y dos de K para un total de 18 tratamientos con seis repeticiones. Adicionalmente, se comparó en plantas de uno y dos años de edad el incremento en diámetro a la base (IDB). Seis meses después de la fertilización solo la interacción N-P-K fue significativa ($P < 0.06$) para IDB. Los tratamientos con niveles más altos de N presentaron el mayor IDB. A los siete meses de establecido el experimento, se presentó un incendio, y a partir de ese momento se determinó la capacidad de rebrote y concentración de macronutrientes (N-P-K-Ca-Mg-S), para ello se consideró el antecedente de la fertilización. Los efectos evaluados en el experimento fueron la fertilización, edad de la planta y daño por incendio. El porcentaje de rebrote posterior al incendio fue de 84 %. Contrario a lo esperado, los rebrotes de brinzales con antecedentes de fertilización presentaron menor concentración de nutrientes. La recuperación de estos en los individuos de *J. deppeana* posincendio está determinada por la redistribución de las reservas de nutrientes en el suelo y la planta. Para especies de lento crecimiento, como *J. deppeana*, la planta de dos años de edad es más recomendable para el establecimiento en plantaciones, por sus mayores tasas de incremento.

Palabras clave: Contenido nutrimental, crecimiento inicial, fertilización, *Juniperus deppeana* Steud., resistencia al incendio, táscate.

Fecha de recepción/Reception date: 18 de mayo de 2020

Fecha de aceptación/Acceptance date: 21 de julio de 2020

¹Posgrado en Ciencias Forestales, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos. México.

²Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México.

*Autor por correspondencia, correo-e: rivera.pedro@colpos.mx

Introducción

En el mundo se conocen 68 especies del género *Juniperus* L. (Cupressaceae) (Adams, 2014); alrededor de 20 existen en México y de ellas, la mitad son endémicas. Sus hábitos son variados, desde rastrero hasta árboles de 20 m de altura (Gernandt y Pérez-de la Rosa, 2014). *Juniperus deppeana* Steud. es originaria de Estados Unidos de América y México (Adams *et al.*, 2007). Su importancia ecológica se evidencia de diferentes formas; por ejemplo, sus conos (gálbulas) son alimento de fauna silvestre, como del conejo endémico de monte (*Sylvilagus cunicularius* Waterhouse) (Lezama-Delgado *et al.*, 2016), el zorro gris (*Urocyon cinereoargenteus* Schreber) y el coyote (*Canis latrans* Say) (Rubalcava-Castillo *et al.*, 2020); mientras que su follaje es preferido por el venado bura (*Odocoileus hemionus* Rafinesque) (Schwartz *et al.*, 1980).

Juniperus deppeana se ha utilizado para restaurar zonas mineras, ya que es altamente resistente a la sequía y crece en suelos de baja fertilidad o con problemas por presencia de metales pesados, como los sustratos de desechos de minas (Osuna-Vallejo *et al.*, 2017; Osuna-Vallejo *et al.*, 2020). Es un taxon con gran capacidad de bioextracción de metales pesados: Hg (Osuna-Vallejo *et al.*, 2019), Cr, Cd, Cu, Hg, Ni y Pb (Mendoza-Hernández *et al.*, 2016); así como fracciones solubles de Mn y Zn de la solución del suelo (Morton-Bermea *et al.*, 2014). Estas cualidades, lo convierten en una alternativa para la restauración de suelos degradados física y químicamente, en los cuales es pertinente la fitorremediación.

Sin embargo, a pesar de que es una especie nativa de climas templados y secos de México, se desconocen aspectos básicos sobre el manejo y aprovechamiento de sus poblaciones naturales y reforestaciones; así como de, las técnicas para promover su crecimiento inicial. Además, existe poca información sobre las concentraciones nutrimentales en su follaje y del efecto de la fertilización en su crecimiento inicial.

La fertilización química promueve la circulación de nutrientes en las plantaciones y aumenta la productividad de los árboles (Binkley, 1993). También, es importante

conocer la concentración de nutrientes en *Juniperus deppeana*, ya que algunas investigaciones sugieren el uso potencial de sus extractos en medicina y en las industrias de cosméticos y alimentos (Lascurain *et al.*, 2018).

Para subsanar la falta de información sobre el incremento tanto en diámetro basal, como en altura y el efecto de la fertilización química en *J. deppeana* durante las primeras etapas de desarrollo, este trabajo tuvo por objetivos determinar el efecto de la fertilización en campo con N-P-K; así como, la capacidad de los brinzales de rebrotar después de un incendio forestal. Adicionalmente, se analizó el crecimiento de los brinzales que se establecieron en una reforestación con uno y dos años de edad. Las hipótesis fueron: 1) los brinzales de *J. deppeana* responden a niveles crecientes de fertilización N-P-K, con efectos simples y combinados; 2) en campo, los árboles de dos años de edad muestran una mayor supervivencia y crecimiento que los árboles de un año; y 3) después de un incendio, los individuos con antecedentes de fertilización rebrotan más rápido que los no fertilizados.

Materiales y Métodos

La investigación se realizó dentro de una plantación de *Juniperus deppeana*, en el predio Los Linderos, localizado en el municipio Tepetlaoxtoc, Estado de México; cuyas coordenadas son 19°33'08" N y 98°43'02" O, y una altitud de 2 900 m. La temperatura y precipitación media anual es de 12.7 °C y 550 mm, respectivamente; con lluvias más concentradas en el mes de septiembre (IMTA, 2013). La plantación se estableció el 21 de julio de 2017 sobre obras de conservación de suelos de terrazas de base ancha, que anteriormente se emplearon para la producción de cereales y forrajes. Se plantaron 614 individuos de un año de edad y 499 individuos de dos años de edad. La plantación se realizó en marco real, en dos polígonos con una superficie conjunta de 0.6 ha (Figura 1).

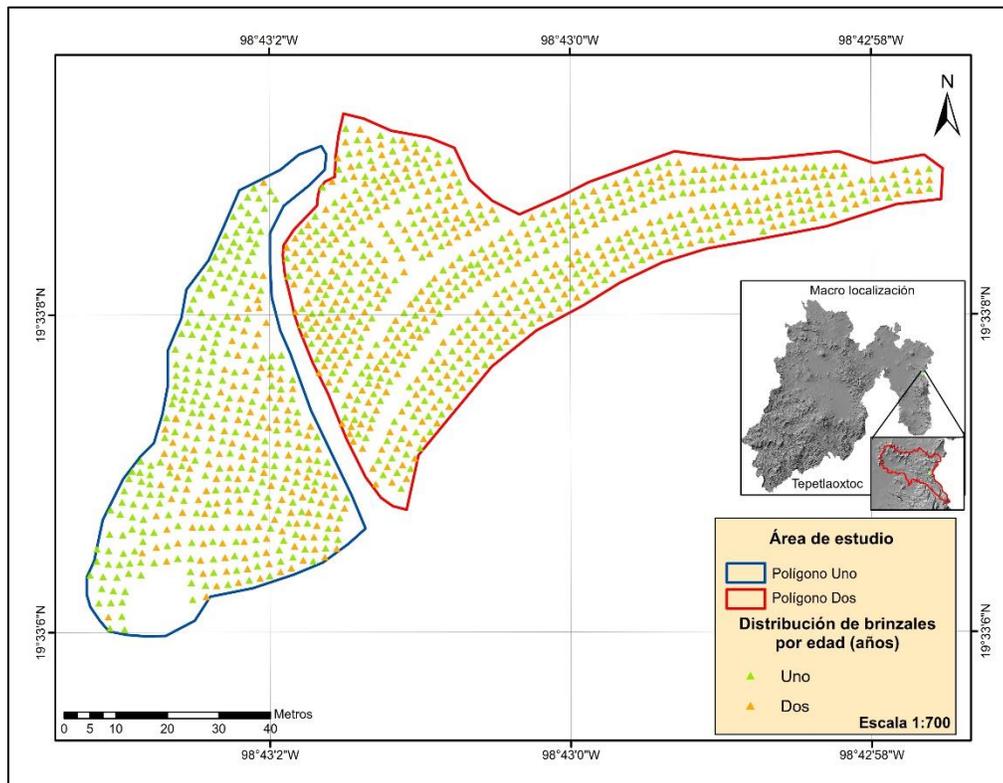


Figura 1. Ubicación geográfica y distribución espacial de los brinzales de *Juniperus deppeana* Steud., dentro de la plantación evaluada.

Experimento de fertilización

Para la fertilización se planteó un diseño experimental factorial de $3 \times 3 \times 2$, para los factores N-P-K, respectivamente. Cada combinación de tratamientos (Cuadro 1) tuvo seis repeticiones, en las que el árbol fue la unidad experimental. Las dosis de N fueron 0, 1.13 y 2.26 g árbol⁻¹; para P de 0, 1.13 y 2.26 g árbol⁻¹; y para K de 0 y 0.63 g árbol⁻¹. Los fertilizantes utilizados fueron: Sulfato de Amonio (20.5-0-0), Súper Fosfato de Calcio Triple (0-46-0) y Sulfato de Potasio (0-0-51), todos aplicados en forma granulada; y se seleccionaron con base en su fórmula, para que fuera posible llegar a las combinaciones planteadas en el experimento. Las dosis de fertilización se determinaron en función de los siguientes criterios: el análisis preliminar de 10 muestras compuestas de follaje del experimento; y de lo citado en la literatura (Miller *et al.*, 1991).

Cuadro 1. Tratamientos aplicados en el ensayo de fertilización en brinzales de *Juniperus deppeana* Steud.

Tratamiento	Nitrógeno (g árbol⁻¹)	Fósforo (g árbol⁻¹)	Potasio (g árbol⁻¹)
1	0.00	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.63
3	0.00	1.13	0.00
4	0.00	1.13	0.63
5	0.00	2.26	0.00
6	0.00	2.26	0.63
7	1.13	0.00	0.00
8	1.13	0.00	0.63
9	1.13	1.13	0.00
10	1.13	1.13	0.63
11	1.13	2.26	0.00
12	1.13	2.26	0.63
13	2.26	0.00	0.00
14	2.26	0.00	0.63
15	2.26	1.13	0.00
16	2.26	1.13	0.63
17	2.26	2.26	0.00
18	2.26	2.26	0.63

El fertilizante se aplicó, en forma manual, el 31 de agosto de 2018. Para lo cual, se removió el suelo superficial (5 cm) bajo la zona de goteo, se esparció el producto y se cubrió con el suelo removido.

Las variables de respuesta a la fertilización fueron: el incremento del diámetro a la base del suelo (IDB) y el incremento en altura (IA). Dada la lentitud de crecimiento de la especie estudiada, los aumentos son variables de respuesta apropiadas, principalmente, porque minimizan el efecto de las diferencias iniciales en diámetros y alturas de un brinjal a otro.

El IA e IDB se obtuvieron de las diferencias entre la medición inicial y final de cada brinjal. Se realizaron dos evaluaciones: la primera, el 6 de junio de 2018 y la segunda, el 15 de febrero de 2019 (seis meses después de la aplicación de los tratamientos). La altura se midió desde la superficie del suelo hasta la punta del brote principal, con un estadal telescópico de aluminio de 2 m, graduado en cm y con precisión en mm. El diámetro a la base del suelo se obtuvo con un calibrador Vernier digital *Steren*, con una precisión de 0.1 milímetros.

Los datos se analizaron mediante una prueba de ANOVA, con el *software* estadístico R (R Core Team, 2018), para distinguir las diferencias en el crecimiento (IDB e IA); con un nivel de significancia de al menos 0.1 %, por tratarse de un experimento en campo (Hurlbert, 1984). El modelo estadístico empleado fue el siguiente:

$$Y_i = \mu + \alpha_i + e_i$$

Donde:

Y_i = Variable respuesta

μ = Media general de los datos

α_i = Diferencia de la media del i -ésimo tratamiento

e_i = Error

Daño por incendio

A los siete meses de establecido el experimento de fertilización, se presentó un incendio que afectó principalmente a los árboles del polígono dos. Por lo anterior, se tuvo la oportunidad de evaluar el efecto de la fertilización sobre la supervivencia, el rebrote y el contenido nutrimental de los brinzales afectados por el fuego. La evaluación del rebrote se hizo a través de una clasificación en cuatro categorías cualitativas de rebrote: nulo (0 rebrotes), bajo (1-6 rebrotes), medio (7-15 rebrotes) y alto (>15 rebrotes). En el análisis se consideraron todos los rebrotes en la base o en la copa de los brinzales. En total se efectuaron cuatro evaluaciones del rebrote: 31 de mayo de 2019, 7 de agosto de 2019, 20 de setiembre de 2019 y 14 de noviembre de 2019.

Contenido nutrimental del rebrote

Después del incendio, se llevaron a cabo comparaciones entre los tratamientos; para ello, se incluyeron los brinzales que presentaron daños por el fuego. En este grupo, se evaluó la capacidad de rebrote y la concentración de macronutrientes N-P-K-Ca-Mg-S en el tejido del rebrote. Se realizaron las siguientes comparaciones:

Por edad del brinzal. Contenido nutrimental del rebrote entre brinzales de uno y dos años de edad.

Capacidad de rebrote en brinzales fertilizados. Capacidad de rebrote y contenido nutrimental del rebrote de acuerdo al antecedente de la fertilización y al IDB previo al incendio.

Las muestras vegetales del rebrote por incendio se recolectaron el 22 de noviembre de 2019. El tejido del rebrote, se obtuvo procurando incluir componentes desarrollados que permitieran la recolecta de al menos 50 g de materia seca, para efectuar el análisis químico. Las muestras se enviaron al laboratorio Salvador A. Blanco del Colegio de Postgraduados para la determinación de concentraciones de N,

P, K, Ca, Mg y S. La concentración de N se determinó en el tejido vegetal seco y molido, mediante el método *Semimicro-Kjeldahl* (Bremmer, 1965). Las concentraciones de P, K, Ca, Mg y S se determinaron en el extracto resultante de la digestión con $\text{HNO}_3:\text{HClO}_4$ (2:1, v:v) de tejido vegetal seco y molido, con un espectrofotómetro de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES 725 Series, *Agilent*), de acuerdo a lo descrito por Alcántara y Sandoval (1999). Con los datos del contenido nutrimental del follaje, se hizo la comparación de medias con una prueba de *t* de *Student*, con un nivel de significancia de 0.05 %.

Incremento en diámetro, altura y supervivencia

Se realizaron tres mediciones: en junio de 2018, mayo de 2019 y septiembre de 2019. Se consideraron dos grupos: árboles afectados por incendio (AI) y árboles no afectados (NA). Se estimó la media y la mediana del IDB e IA. Dado que los datos no presentaron una distribución normal, se empleó la prueba de U de *Mann Whitney* (Mann y Whitney, 1947) para la comparación entre grupos.

Resultados y Discusión

Efecto de la fertilización en brinzales de *Juniperus deppeana*

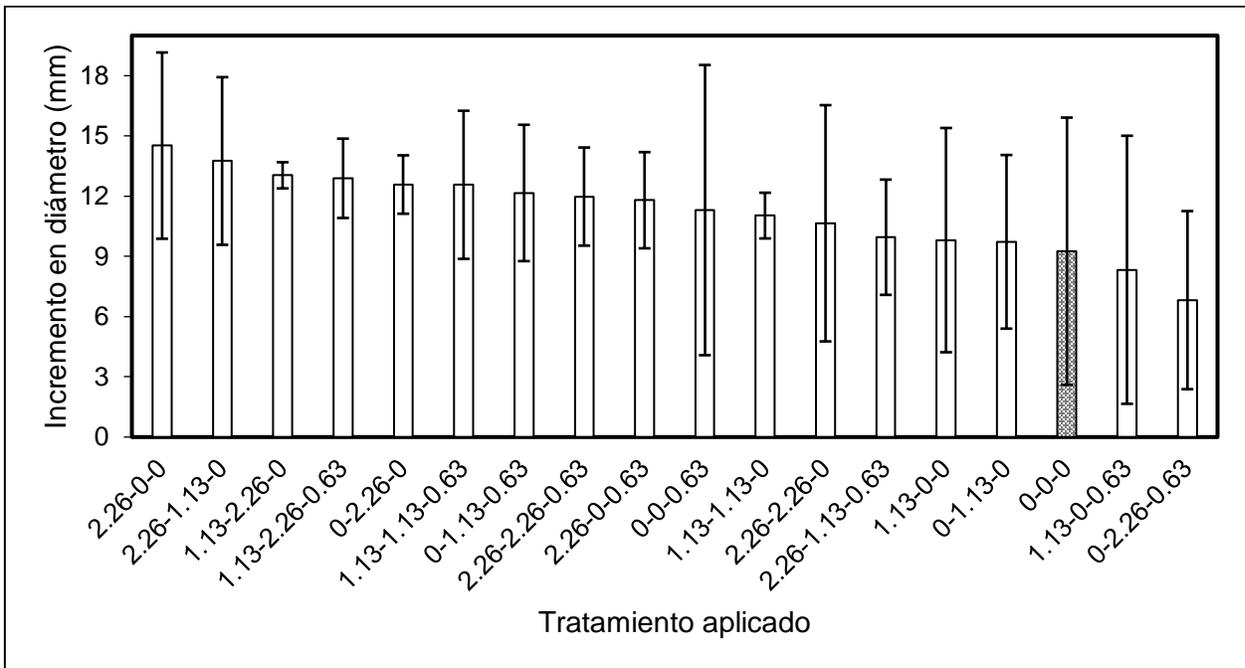
Incremento en el diámetro a la base

El análisis de varianza para el IDB calculado con datos de junio de 2018 y febrero de 2019, mostró efectos significativos ($P < 0.06$) por la fertilización para la interacción N-P-K (Cuadro 2).

Cuadro 2. Análisis de varianza para el incremento del diámetro a la base en el experimento de fertilización en brinzales de *Juniperus deppeana* Steud.

Tratamiento	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F
N	2	58.46	29.33	1.5606	0.21
P	2	9.16	4.58	0.2447	0.78
K	1	14.35	14.35	0.7663	0.38
N*P	4	117.45	29.35	1.5678	0.19
N*K	2	14.21	7.11	0.3793	0.69
P*K	2	11.26	5.63	0.3006	0.74
N*P*K	4	174.45	43.61	2.3287	0.06
Residuales	90	1 685.55	18.73		
Total	107	2 084.89			

Los dos tratamientos que registraron mayor IDB (tratamientos 13 y 15) tuvieron en común la dosis más alta de N ($2.26 \text{ g N árbol}^{-1}$) y la ausencia de K (Figura 2). Los tres tratamientos con menor IDB correspondieron al testigo y los dos que incluyeron aplicación de $0.63 \text{ g K árbol}^{-1}$ (tratamientos 6 y 8). Aunque no se tiene una explicación completa de las razones de este resultado, la adición de K no fue favorable y tuvo efectos negativos en el IDB. Esto es similar al registrado por Balám-Che *et al.*, (2015) cuando aplicaron $15 \text{ g K árbol}^{-1}$ en una plantación de teca de un año de edad. Una posibilidad es que el K del fertilizante compita, temporalmente, por espacios en la zona de intercambio del suelo; por ejemplo, con formas asimilables de N (NH_4^+), y por ello su efecto sea negativo, sobre todo si el K no es deficiente en el suelo.



La barra oscura indica el testigo. Los números bajo la barra indican las cantidades de NPK aplicados en gramos árbol⁻¹ respectivamente. Las líneas sobre la barra corresponden a la desviación estándar.

Figura 2. Incremento en diámetro a la base en brinzales de *Juniperus deppeana* Steud. por tratamiento aplicado.

Lázaro-Dzul *et al.* (2012) registran tanto el impacto positivo y dominante de N, así como la respuesta negativa a la adición de K, cuando aplican diferentes dosis de N (0, 138, 185 kg ha⁻¹) y K (0, 123, 164 kg ha⁻¹) en plantaciones jóvenes de *Pinus patula*. Schiede ex Schltdl. & Cham. A diferencia de lo que se observa en especies de rápido crecimiento; en las cuales, la ganancia en K parece ser estimulada con la adición de micronutrientes, como el B (Rodríguez-Juárez, *et al.*, 2014).

Incremento en la altura

La fertilización produjo diferencias en el IA con significancia estadística ($P=0.1$), en particular para los tratamientos con aplicación de P (Cuadro 3). Al compararlo con el IDB, la varianza del IA fue tres veces más alta.

Cuadro 3. Análisis de varianza para el incremento en altura en el experimento de fertilización en brinzales de *Juniperus deppeana* Steud.

Tratamiento	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F
N	2	89.8	44.90	0.6775	0.51
P	2	361.4	180.70	2.7270	0.07
K	1	2.3	2.30	0.0349	0.85
N*P	4	128.1	32.03	0.4833	0.75
N*K	2	74.7	37.35	0.5634	0.57
P*K	2	199.3	99.65	1.5042	0.23
N*P*K	4	512.4	128.10	1.9335	0.1
Residuales	90	5 963.0	66.26		
Total	107	7 331.0			

La alta variación del IA es un reflejo de factores ajenos al experimento: ataque de insectos en los brotes y daño por herbivoría de fauna silvestre al ápice superior. Por otro lado, las bajas tasas de crecimiento en altura influyeron en la falta de contundencia estadística del efecto de fertilización en *Juniperus deppeana*. Osuna-Vallejo *et al.* (2020) estimaron tasas anuales de crecimiento en altura de 11 cm año⁻¹ en brinzales de esta especie; sin embargo,

cuando el suelo presenta residuos de cosecha o material orgánico superficial, las tasas de crecimiento en altura se duplican (Wood *et al.*, 2012).

Crecimiento de brinzales de diferente edad

El incremento en diámetro fue mayor en los brinzales NA de dos años de edad ($P < 0.0001$). Los valores medios fueron de 2.9 y 7.8 mm año⁻¹, para brinzales de uno y dos años de edad, respectivamente. Después de 476 días, esta diferencia se mantuvo estadísticamente significativa ($P < 0.0001$), con valores de 4.8 mm año⁻¹ (brinzales de un año) y de 10.8 mm año⁻¹ (brinzales de dos años) (Cuadro 4).

Cuadro 4. Incremento en diámetro a la base en brinzales de *Juniperus deppeana* Steud. no afectados por incendio.

Incremento del diámetro a la base del suelo en un año			
Edad de los brinzales	Media (mm)	Mediana (intervalo intercuartílico) mm	P-valor
Un año	2.83	2.77 (1.55-3.82)	<0.0001
Dos años	7.79	8.26 (4.54-10.90)	
Incremento del diámetro a la base del suelo en 476 días			
Edad de los brinzales	Media (mm)	Mediana (intervalo intercuartílico) mm	P-valor
Un año	3.60	3.60 (2.01-4.80)	<0.0001
Dos años	8.23	8.23 (5.2-10.6)	

Los brinzales de dos años de edad evidenciaron ventaja en su crecimiento en diámetro, pero la supervivencia en ambos grupos fue similar con valores superiores a 98 %, lo que refleja que *Juniperus deppeana* es una especie rústica y su porcentaje de supervivencia es mayor al promedio de taxones como *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. (46 %), *P. hartwegii* Lindl. (48.8 %) y *P. leiophylla* Schiede ex Schlttdl. & Cham. (>70 %), las que se utilizan en México para fines de reforestación (Burney *et al.*, 2015; Escobar-Alonso y Rodríguez, 2019). Osuna-Vallejo *et al.* (2020) indican una supervivencia de 98 % para *J. deppeana*; dato similar al registrado en este estudio. El IA no presentó diferencia estadística entre las dos edades de brinzales ($P=0.63$).

Brinzales afectados por el incendio

En el diámetro de los brinzales AI, se observó una distribución muy similar a la de árboles no afectados. El incendio dañó en diferentes grados las ramas y follaje, pero debido a que cada brinzal tenía un cajete de aproximadamente 60 cm de diámetro, el fuego no afectó considerablemente la actividad del cambium a nivel de suelo; por lo tanto, la mayoría de los árboles rebrotaron. El IDB de brinzales de dos años fue superior al de los de un año (Cuadro 5).



Cuadro 5. Incremento en diámetro a la base en brinzales de *Juniperus deppeana* Steud. parcialmente afectados por incendio.

Incremento del diámetro a la base del suelo en un año			
Edad de los brinzales	Media (mm)	Mediana (rango intercuartilico) mm	P-valor
Un año	3.52	3.34 (1.64-4.69)	<0.0001
Dos años	7.75	8.29 (4.54-10.9)	
Incremento del diámetro a la base del suelo en 476 días			
Edad de los brinzales	Media (mm)	Mediana (Rango intercuartilico) mm	P-valor
Un año	2.46	2.46 (1.07-3.74)	<0.0001
Dos años	5.56	5.67 (2.96-8.36)	

A pesar de presentar daños por incendio, los brinzales mantuvieron su crecimiento en diámetro, al menos a nivel de la base del suelo. Se observó que después de un año, el IDB de brinzales del grupo AI superó al grupo NA (3.52 vs 2.83 mm, respectivamente). Es probable que los brinzales AI, por tener menos follaje como estrategia de recuperación, concentren sus reservas disponibles para el crecimiento en IDB.

Las diferencias en el IDB entre brinzales de uno y dos años de edad se relacionan con la ventaja de un sistema radicular más grande y desarrollado. Los brinzales de dos años tuvieron tiempo de acondicionamiento y oportunidad de desarrollar mayor masa foliar que los brinzales de un año. La altura y el IA, no mostraron diferencias entre brinzales de uno y dos años. Las diferencias en IA de planta en ambas edades desaparecieron en el primer año.

Efecto del incendio y rebrote

Después de cuatro evaluaciones de rebrote, durante los ocho meses posteriores al incendio, se determinó que 84 % de los individuos rebrotaron, lo cual denotó su resistencia al fuego. Este resultado concuerda con Rodríguez-Trejo *et al.* (2019), quienes confirman esa característica. Wood *et al.* (2012) señalan que el máximo rebrote de *J. deppeana* después de una quema controlada es de 50 %, lo cual indica que el porcentaje de rebrote observado en el presente estudio fue elevado. La distribución en la cuarta evaluación para los rebrotes bajo, medio y alto fue de 6 % (44), 13 % (91) y 65 % (457), respectivamente.

Contenido nutrimental del follaje

Los tratamientos con mayor IDB y que superaron al testigo fueron: 2.26-0-0, 1.13-2.26-0 y 2.26-1.13-0 g N-P-K árbol⁻¹. En los tres, se evidencia la aplicación de N.

El análisis estadístico indicó que las concentraciones de N, P y K fueron mayores en los rebrotes del testigo que en los correspondientes al tratamiento 2.26-0-0 (Cuadro 6). Aunque, el fertilizante base fue sulfato de amonio, una fuente de S, el contenido de S fue mayor en el rebrote del testigo. Sin embargo, es importante mencionar que las concentraciones del rebrote por si mismas están afectadas por un proceso de dilución; es decir, una cantidad igual de un elemento se distribuye en una mayor cantidad de biomasa y en diferentes niveles de los componentes del árbol (Montès *et al.*, 2002; Ávila-Angulo *et al.* 2020).



Cuadro 6. Diferencia estadística en el contenido nutrimental entre el testigo y el tratamiento 2.26-0-0.

Nutrimento		Tratamiento	
		0-0-0	2.26-0-0
Nitrógeno	Media	1.428 %	1.008 %
	P-valor*	0.006	
Fósforo	Media	0.154 %	0.11 %
	P-valor*	0.007	
Azufre	Media	0.094 %	0.073 %
	P-valor*	0.0206	

*P-valor prueba *t Student*

Hubo diferencias estadísticas entre el testigo y el tratamiento 0-2.26-0.63 en concentraciones de N-P-S con valores superiores en el testigo (Cuadro 7). El tratamiento 0-2.26-0.63 mostró el IDB promedio más bajo de todos. Dado que en este tratamiento se aplicó la dosis de P más alto y que el fertilizante contenía S (sulfato de potasio), se esperaba que el contenido nutrimental foliar superara al del testigo.



Cuadro 7. Diferencias estadísticas en el contenido nutrimental entre el testigo y el tratamiento 0-0.26-0.63.

Nutrimento		Tratamiento	
		0-0-0	0-2.26-0.63
Nitrógeno	Media	1.428 %	0.980 %
	P-valor*		0.003
Fósforo	Media	0.154 %	0.109 %
	P-valor*		0.022
Azufre	Media	0.0944 %	0.0729 %
	P-valor*		0.027

*P-valor prueba *t Student*

El testigo registró mayor contenido nutrimental foliar de N y S, que el tratamiento 1.13-2.26-0 (Cuadro 8).

Cuadro 8. Diferencia estadística en el contenido nutrimental entre el testigo y el tratamiento 1.13-2.26-0.

Nutrimento		Tratamiento	
		0-0-0	1.13-2.26-0
Nitrógeno	Media	1.428 %	0.952 %
	P-valor*		0.0004
Azufre	Media	0.094 %	0.071 %
	P-valor*		0.014

P-valor prueba *t Student*

El tratamiento 1.13-2.26-0 fue estadísticamente diferente, con respecto al testigo en el contenido de N del rebrote (Cuadro 9). En el tratamiento se suministró la dosis más alta de P, aunque tampoco se reflejó en el rebrote.

Cuadro 9. Diferencia estadística en el contenido nutrimental entre el testigo y el tratamiento 1.13-2.26-0

Nutriente		Tratamiento	
		0-0-0	1.13-2.26-0
Nitrógeno	Media	1.43 %	1.02 %
	P-valor*	0.004	

*P-valor test de *t Student*

La mayor concentración de nutrientes en el tejido de rebrote de los brinzales testigo, con respecto a los fertilizados, se debe a que la fertilización promovió una translocación superior de nutrientes en la biomasa aérea de los brinzales fertilizados. En especial del N, el cual es un elemento que se pierde durante los incendios forestales (Binkley, 1993). Además es un nutriente esencial en las proteínas, promueve el desarrollo de hojas y tallos y produce un desarrollo rápido en las fases iniciales de crecimiento (Binkley, 1993). Asimismo, el N proporcionado con la fertilización, pudo modificar la actividad biológica en el suelo, posiblemente, generó su inmovilización, lo que limitó su aprovechamiento para el incremento en masa y follaje; por esta razón, su contenido foliar es menor que en el testigo.

Referente al daño por incendio, aunque en el largo plazo, el fuego no afecta a los reservorios de nutrientes en el suelo, sí incide de manera importante en el corto plazo sobre la biomasa microbiana del suelo, particularmente las formas asimilables de N (Fultz *et al.*, 2016). Por lo anterior, las menores concentraciones de nutrientes son un reflejo combinado de su redistribución dentro de la planta y de su disponibilidad en el suelo.

La edad del brinzal no presentó diferencias en el contenido nutrimental de los rebrotes postincendio. Sin embargo, el mayor IDB de los brinzales de dos años de edad, que implica mayor biomasa, indica que para especies de lento crecimiento, como *J. deppeana*, la planta de dos años supera de mejor manera los incendios a nivel del piso, por sus mayores tasas de crecimiento.

Conclusiones

La fertilización combinada de N-P-K con los niveles más altos de N (2.26 g árbol⁻¹) tienen un efecto significativo en el incremento del diámetro a la base ($P < 0.06$). Los árboles de *Juniperus deppeana* de dos años de edad presentan el mayor IDB, comparados con los árboles de un año de edad. Este resultado es consistente, a pesar de los efectos negativos derivados del disturbio por incendio.

Los brinzales de *Juniperus deppeana* presentan una gran capacidad de rebrote postincendio, principalmente en la zona del cuello de la raíz. Esta cualidad se observa tanto en brinzales testigos, como en los fertilizados. La edad de la planta no registra diferencias estadísticas en el contenido nutrimental de rebrotes, pero sí en IDB. Para el caso de *J. deppeana*, especie de lento crecimiento, se debería considerar llevar a campo planta de dos años, ya que presenta probabilidades de éxito ante la posible presencia de incendios forestales.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), por la beca otorgada para el estudio de Maestría en Ciencias y por el financiamiento al proyecto CPN2015-1-218 para el establecimiento de la plantación.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Pedro Sinai Rivera Torres: redacción del manuscrito, colecta y análisis de datos de campo; Armando Gómez Guerrero: planeamiento y dirección de la investigación, redacción del manuscrito; Arnulfo Aldrete: redacción del manuscrito, asesoría y seguimiento en la investigación; Saraí Montes Recinas: consecución de recursos económicos, establecimiento de plantación y redacción del manuscrito.

Referencias

Adams, R. P. 2014. *Junipers of the World: The genus Juniperus*. 4th Edition. Trafford Publishing Co. Bloomington, IN, USA. 415 p.

Adams, R. P., A. E. Schwarzbach, S. Nguyen, and J. A. Morris. 2007. Geographic Variation in *Juniperus deppeana*. *Phytologia* 89(2): 132–150.

https://www.researchgate.net/publication/253652550_GEOGRAPHIC_VARIATION_IN_JUNIPERUS_DEPPEANA (12 de febrero de 2020).

Alcántara, G. G. y V. M. Sandoval. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Guía de muestreo, preparación, análisis e interpretación. Publicación especial No. 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C. Chapingo, Edo. de Méx., México. 156 p.

Ávila-Angulo, M. L., A. Gómez-Guerrero, A. Aldrete, J. J. Vargas-Hernández, M. A. López-López and J. Hernández-Ruiz. 2020. Does fertilization hardening improve the morphometric and physiological characteristics of *Pinus rudis* Endl. seedlings? *Revistas Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 26 (1): 141–153. Doi:10.5154/r.rchscfa.2019.04.031.

Balám-Che, M., A. Gómez-Guerrero, J. J. Vargas-Hernández, A. Aldrete and J. J. Obrador-Olán. 2015. Fertilización inicial de plantaciones comerciales de Teca (*Tectona grandis* Linn F.) en el sureste de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38 (2): 205–212. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802015000200011 (12 de febrero de 2020).

Binkley, D. 1993. *Nutrición Forestal*. Primera ed. Grupo Noriega Editores. México, D.F., México. 340 p.

Bremner, J. M. 1965. Total nitrogen. In: *Methods of soil analysis. Part 2. Agronomy 9*. In: Black C. A. (ed.). American Society of Agronomy. Madison, WI, USA. pp. 1149-1178.

Burney, O., A. Aldrete, R. Alvarez R., J. A. Prieto R., J. R. Sánchez V. and J. G. Mexal. 2015. Mexico—Addressing Challenges to Reforestation. *Journal of Forestry* 113 (4): 404–413. Doi:10.5849/jof.14-007.

Escobar-Alonso, S. and D. A. Rodríguez T. 2019. Estado del arte en la investigación sobre calidad de planta del género *Pinus* en México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 10 (55): 4–38. Doi:10.29298/rmcf.v10i55.558.

Fultz, L. M., J. Moore K., J. Dathe, M. Davinic, G. Perry, D. Wester, D. W. Schwilk, and S. Rideout H. 2016. Forest wildfire and grassland prescribed fire effects on soil biogeochemical processes and microbial communities: Two case studies in the semi-arid Southwest. *Applied Soil Ecology* 99 (2016): 118–128. Doi:10.1016/j.apsoil.2015.10.023.

Gernandt, D. S. and J. A. Pérez-de la Rosa. 2014. Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85. Doi:10.7550/rmb.32195.

Hurlbert, S. H. 1984. Pseudoreplication and the Design of Ecological Field Experiments. *Ecological Monographs* 54 (2): 187–211. Doi:10.2307/1942661.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). 2013. Disco compacto (CD) con Software y Base de Datos Nacionales: Extractor Rápido de Información Climatológica-ERIC (III). Jiutepec, Mor., México.

Lascurain R., M., J. A. Guerrero-Analco, J. L. Monribot-Villanueva, A. L. Kiel-Martínez, S. Avendaño-Reyes, J. P. Díaz A., I. Bonilla-Landa, R. Dávalos-Sotelo, J. L. Olivares-Romero and G. Angeles. 2018. Anatomical and chemical characteristics of leaves and branches of *Juniperus deppeana* var. *deppeana* (Cupressaceae): A potential source of raw materials for the perfume and sweet candies industries. *Industrial Crops and Products* 113 (2018): 50–54.
Doi:10.1016/j.indcrop.2017.12.046.

Lázaro-Dzul, M. O., J. Velázquez-Mendoza, J. J. Vargas-Hernández, A. Gómez-Guerrero, M. E. Álvarez-Sánchez and M. A. López- López. 2012. Fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio en un latizal de *Pinus patula* Schl. et Cham. *Revistas Chapingo Seria Ciencias Forestales y del Ambiente* 18(1): 33–42.
Doi:10.5154/r.rchscfa.2011.01.001.

Lezama-Delgado, E., P. Sainos-Psredes, J. López-Portillo, G. Angeles, J. Golubov and A. J. Martínez. 2016. Association of *Juniperus deppeana* (Cupressaceae: Pinales) seeds with Mexican cottontail rabbit (*Sylvilagus cunicularius*; Leporidae: Lagomorpha) latrines. *Journal of Natural History* 50 (39–40): 2547–2555.
Doi:10.1080/00222933.2016.1200685.

Mann, H. B. and D. R. Whitney. 1947. On a Test of Whether one of Two Random Variables is Stochastically Larger than the Other. *The Annals of Mathematical Statistics* 18 (1): 50–60. Doi:10.1214/aoms/1177730491.

Mendoza-Hernández, J. C., J. Arriola-Morles, G. Pérez-Osorio, Á. Silveti-Loeza, M. Vega-Hernández, A. L. Portillo-Zapotitla, O. Jaramillo-Hernández and R. Morales-Juárez. 2016. Análisis de metales pesados en parque estatal 'Flor del Bosque'. *Ra Ximhai* 12(4): 43–55. Doi:10.35197/rx.12.01.e1.2016.03.jm.

- Miller, P. M., L. E. Eddleman, and J. M. Miller. 1991. The response of juvenile and small adult western juniper (*Juniperus occidentalis*) to nitrate and ammonium fertilization. *Canadian Journal of Botany* 69 (11): 2344–2352. Doi:10.1139/b91-295.
- Montès, N., V. Bertaudière M., W. Badri, E. H. Zaoui, and T. Gauquelin. 2002. Biomass and nutrient content of a semi-arid mountain ecosystem: The *Juniperus thurifera* L. woodland of Azzaden Valley (Morocco). *Forest Ecology and Management* 166(1–3): 35–43. Doi:10.1016/S0378-1127(01)00660-0.
- Morton-Bermea, O., J. M. Gómez-Bernal, M. A. Armienta, R. Lozano, E. Hernández-Álvarez, F. Romero, and J. Castro-Larragoita. 2014. Metal accumulation by plant species growing on a mine contaminated site in Mexico. *Environmental Earth Sciences* 71 (12): 5207–5213. Doi:10.1007/s12665-013-2923-9.
- Osuna-Vallejo, V., R. A. Lindig-Cisneros, A. Blanco-García, J. Cruz-de León, N. M. Sánchez-Vargas and C. Sáenz-Romero. 2020. Ensayo de especies y procedencias para restauración ecológica de residuos mineros en Tlalpujahuá, Michoacán, México. *Agrociencia* 54: 101–114. <http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2020/ene-feb/art-8.pdf> (2 de abril de 2020).
- Osuna-Vallejo, V., C. Sáenz-Romero, L. Escalera-Vázquez, E. de la Barrera and R. Lindig-Cisneros. 2019. Total Mercury in Plant Tissue from a Mining Landscape in Western Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 102 (1): 19–24. Doi:10.1007/s00128-018-2488-0.
- Osuna-Vallejo, V., C. Sáenz-Romero, J. Villegas and R. Lindig-Cisneros. 2017. Species and provenance trial conducted for selection of conifers to be used in the restoration of mine dumps. *Ecological Engineering* 105: 15–20. Doi:10.1016/j.ecoleng.2017.04.065.
- R Core Team. 2018. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>. (14 de febrero de 2019).

Rodríguez-Juárez, M. I., A. Velázquez-Martínez, A. Gómez-Guerrero, A. Aldret, and M. Domínguez- Domínguez. 2014. Fertilización con Boro en plantaciones de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake en Tabasco. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 20(2): 204–213. Doi:10.5154/r.rchscfa.2013.09.038.

Rodríguez-Trejo, D. A., J. G. Pausas, and A. G. Miranda-Moreno. 2019. Plant responses to fire in a Mexican arid shrubland. Fire Ecology 15(1).
Doi:10.1186/s42408-019-0029-9.

Rubalcava-Castillo, F. A., J. Sosa-Ramírez, J. J. Luna-Ruíz, A. G. Valdivia-Flores, V. Díaz-Núñez, and L. I. Íñiguez-Dávalos. 2020. Endozoochorous dispersal of forest seeds by carnivorous mammals in Sierra Fría, Aguascalientes, Mexico. Ecology and Evolution 10(6): 2991-3003. Doi:10.1002/ece3.6113.

Schwartz, C. C., W. L. Regelin, and J. G. Nagy. 1980. Deer Preference for Juniper Forage and Volatile Oil Treated Foods. The Journal of Wildlife Management 44 (1): 114–120. Doi:10.2307/3808357.

Wood, M. K., R. Scanlon, and D. S. Cram. 2012. Occurrence of Sprouts and Seedlings of Pinyon Pines, Alligator Junipers, and Gray Oaks Following Harvest of Fuelwood and Prescribed Burning. The Southwestern Naturalist 57 (1): 51–57.
Doi:10.1894/0038-4909-57.1.51.



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