



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN CIENCIAS FORESTALES

CAPACIDAD DE REBROTE POR INCENDIO Y CONCENTRACIONES FOLIARES DE NUTRIENTES EN BRINZALES DE *Juniperus deppeana* Steud.

PEDRO SINAI RIVERA TORRES

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

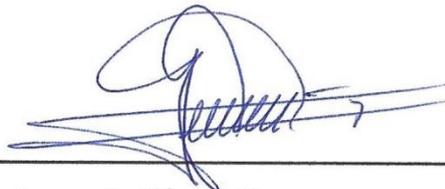
2020

La presente tesis titulada: **Capacidad de rebrote por incendio y concentraciones foliares de nutrientes en brinzales de *Juniperus deppeana* Steud.**, realizada por el alumno: **Pedro Sinai Rivera Torres** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS
CIENCIAS FORESTALES**

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



Dr. Armando Gómez Guerrero

ASESOR



Dr. Arnulfo Aldrete

ASESORA



Dra. Saraí Montes Recinas

Montecillo, Texcoco, Estado de México, junio de 2020

CAPACIDAD DE REBROTE POR INCENDIO Y CONCENTRACIONES FOLIARES DE NUTRIENTES EN BRINZALES DE *JUNIPERUS DEPPEANA* STEUD

Pedro Sinai Rivera Torres, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2020

RESUMEN

A través de un experimento de fertilización (N-P-K) en campo, se evaluó el crecimiento de brinzales de *Juniperus deppeana*, así como su capacidad de rebrote después de un incendio. Se aplicaron tres niveles de N y P y dos niveles de K, generando 18 tratamientos con seis repeticiones en un diseño completamente al azar. Seis meses después de establecido el experimento, mostró un efecto ($P < 0.06$) en el incremento del diámetro a la base del suelo (IDB) debido a la combinación de los tres nutrimentos. Adicionalmente, se comparó el incremento del IDB en planta de uno y dos años de edad. El efecto de la fertilización no fue significativo para el incremento en altura. Siete meses después de establecido el experimento se presentó un incendio que afectó la plantación. Se replanteó la propuesta de investigación inicial de fertilización y se desarrollaron nuevos objetivos para evaluar el efecto del incendio y fertilización a través de variables indicadoras como el contenido nutrimental del follaje y la capacidad de rebrote post-incendio de los árboles de *J. deppeana*. El 84% de los árboles con daño por incendio rebrotaron y la fertilización mostró un efecto marginal positivo ($P < 0.08$) en la calidad de rebrote. No hubo diferencias en el contenido nutrimental de los árboles fertilizados ni en el rebrote post-incendio entre brinzales de uno y dos años. Después de 15 meses en los árboles que no fueron afectados por el incendio, se encontró una diferencia estadística ($P < 0.0001$) en el incremento en el diámetro a la base en árboles de uno y dos años, (4.8 y 10.8 mm respectivamente); sin embargo no hubo diferencias en el incremento en altura.

Palabras clave: contenido nutrimental, fertilización, *Juniperus deppeana* Steud., reforestación, resistencia a incendio, táscate..

**POAT-FIRE REGROWTH CAPACITY AND FOLIAR CONCENTRATIONS OF
NUTRIENTS IN SEEDLING OF *Juniperus deppeana* STEUD.**

**Pedro Sinai Rivera Torres, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2020**

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 seedling was also evaluated. Three levels of N and P and two levels for of K were combined for a total of 18 treatments, using six plant as replicates. Additionally, the increase in the root collar diameter (RCD) 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 RCD. The highest levels of N matched to highest RCD. 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 nutrients 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 old more suitable for reforestation due to their higher growth rates.

Key words: nutrient content, fertilization, *Juniperus deppeana* Steud., reforestation, fire resistant species, táscate.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para el desarrollo de mis estudio de maestría.

Al Colegio de Postgraduados y al Programa Forestal por la oportunidad de seguir con mis estudios y preparación.

Al Proyecto CONACYT PN2015-01-218 “Estrategia de rehabilitación ecológica empleando biodiversidad nativa, en bosque templado afectado por actividad minera pétrea y agropecuaria” por la oportunidad y apoyo económico en el desarrollo de la investigación.

Al Dr. Armando Gómez Guerrero por todo el respaldo, consejo, orientación, apoyo y dedicación en el desarrollo de esta investigación y por permitirme ser su alumno desde un inicio.

Al Dr. Arnulfo Aldrete por sus valiosos aportes, consejos y comentarios para el desarrollo de esta investigación.

A la Dra. Saraí Montes Recinas, por la confianza, consejo y apoyo otorgado en el desarrollo de esta investigación.

A la empresa MICAS, a Denisse, Omar, Oscar y César por su ayuda en el trabajo de campo.

DEDICATORIA

A mis padres Marla y Pedro, por su amor y apoyo total a lo largo de toda mi vida.

A mi hermano Ángel por la alegría y compañía en todo momento.

A mis abuelos y tíos por todo el cariño y aliento, en especial a mi abuelo Luis por todo el apoyo y confianza que siempre ha tenido en mí.

A Denisse por su amor y compañía incondicional en estos años.

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
LISTA DE CUADROS	ix
LISTA DE FIGURAS	xi
I INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	3
1.1.1. General	3
1.1.2. Específicos	3
1.2 Hipótesis	4
II REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1. Generalidades del género <i>Juniperus</i>	5
2.2. Importancia ecológica del género <i>Juniperus</i>	5
2.3. <i>Juniperus deppeana</i>	7
2.3.1. Importancia ecológica de <i>Juniperus deppeana</i>	8
2.3.2. Agente restaurador	10
III MATERIALES Y MÉTODOS	12
3.1 Descripción del área de estudio.....	12
3.1.1. Ubicación del área de estudio.....	12
3.1.2. Clima	13
3.1.3. Fisiografía	14
3.2. Antecedentes	14
3.2.1. Establecimiento de la plantación	14
3.2.2. Material vegetativo.....	14
3.2.3. Análisis de suelo.....	16
3.2.4. Ensayo de fertilización preliminar	19
3.3. Efecto de la fertilización N-P-K en brinzales de <i>Juniperus deppeana</i>	21
3.3.1. Geoposicionamiento de los árboles.....	21
3.3.2. Análisis preliminar del follaje.....	22
3.3.3. Diseño experimental	23
3.3.4. Fertilización.....	24

3.3.5. Fuentes de fertilización	25
3.3.6. Evaluación del efecto de la fertilización antes del incendio	25
3.3.7. Análisis estadístico	26
3.4. Afectación de la plantación por incendio.....	27
3.4.1. Evaluación post-incendio de brinzales de <i>Juniperus deppeana</i>	27
3.5. Incremento en diámetro a la base del suelo, altura y supervivencia de brinzales de uno y dos años de <i>Juniperus deppeana</i>	28
3.5.1. Datos evaluados	28
3.5.2. Análisis estadístico	28
3.6. Efecto de la fertilización y de la edad en el rebrote y contenido nutrimental de <i>Juniperus deppeana</i> después del incendio	29
3.6.1. Efecto de la fertilización en el rebrote	29
3.6.2. Análisis y comparación nutrimental final del follaje	34
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
4.1. Análisis preliminares	40
4.1.1. Contenido nutrimental del follaje previo a la fertilización.	40
4.1.2. Afectación por incendio	41
4.2. Efecto de la fertilización	44
4.2.1. Diámetro basal y altura total en febrero 2019.	44
4.2.2. Incremento en el diámetro basal y altura total.	48
4.3 Incremento en diámetro a la base, altura y supervivencia de brinzales de <i>Juniperus deppeana</i> de uno y dos años de edad	59
4.3.1 Polígono no quemado (NQ)	59
4.3.2. Polígono quemado (Q)	62
4.4. Efecto de la fertilización y de la edad en el rebrote y contenido nutrimental foliar de brinzales <i>Juniperus deppeana</i> post-incendio	66
4.4.1. Rebrote de brinzales de <i>Juniperus deppeana</i> post-incendio.	66
4.4.2. Efecto de la fertilización en el rebrote	72
4.4.3. Análisis y comparación nutrimental final del follaje	73
V. CONCLUSIONES GENERALES	85
VI. LITERATURA CITADA	86

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Análisis del suelo superficial (0-20 cm) de la zona de estudio, reportados por el Proyecto CONACyT PN2015-01-218	18
Cuadro 2. Factores de variación del experimento.....	23
Cuadro 3. Tratamientos de fertilización aplicados.....	24
Cuadro 4. Relación de árboles propuestos para análisis foliar del rebrote.	35
Cuadro 5. Relación de brinzales seleccionados para análisis foliar en relación al incremento en diámetro.....	37
Cuadro 6. Relación de brinzales seleccionados para análisis foliar en grupo comparativo de edad.....	38
Cuadro 7. Contenido nutrimental del follaje de los individuos de <i>Juniperus deppeana</i> en la plantación antes de la fertilización.....	40
Cuadro 8. Análisis de varianza para el diámetro a la base del suelo en febrero 2019 por experimento de fertilización en <i>Juniperus deppeana</i>	45
Cuadro 9. Análisis de varianza para la altura total en febrero 2019 por experimento de fertilización en <i>Juniperus deppeana</i>	47
Cuadro 10. Análisis de varianza para el incremento del diámetro a la base por experimento de fertilización de <i>Juniperus deppeana</i>	49
Cuadro 11. Análisis de varianza para el incremento de altura total por experimento de fertilización de <i>Juniperus deppeana</i>	54
Cuadro 12. Incremento en diámetro a la base en brinzales de <i>Juniperus deppeana</i> no quemados (NQ) en dos intervalos de tiempo	60
Cuadro 13. Incremento en altura total de brinzales de <i>Juniperus deppeana</i> no quemados (NQ) en dos intervalos de tiempo	61
Cuadro 14. Incremento en diámetro a la base en brinzales quemados entre junio de 2018 y mayo de 2019.....	63
Cuadro 15. Primera evaluación de rebrote post-incendio de brinzales de <i>Juniperus deppeana</i>	66
Cuadro 16. Segunda evaluación de rebrote post-incendio de brinzales de <i>Juniperus deppeana</i>	68

Cuadro 17. Tercera evaluación de rebrote post-incendio de brinzales de Juniperus deppeana	69
Cuadro 18. Tercera evaluación de rebrote post-incendio de brinzales de Juniperus deppeana	71
Cuadro 19. Tabla de contingencia de doble entrada y p-valor para el efecto de la fertilización en el rebrote de brinzales de Juniperus deppeana.....	73
Cuadro 20. Contenido nutrimental foliar promedio de brinzales de Juniperus deppeana después de fertilización y post-incendio.	73
Cuadro 21. Contenido nutrimental promedio de brinzales de Juniperus deppeana después de fertilización y post-incendio.	74
Cuadro 22. Contenido nutrimental de rebrotes post-incendio de brinzales de Juniperus deppeana de uno y dos años.....	84

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de <i>Juniperus deppeana</i> Steud. y sus variables.	7
Figura 2. Detalles de corteza de <i>Juniperus deppeana</i> Steud.	8
Figura 3. Ubicación del área de estudio.	12
Figura 4. Climograma de la estación meteorológica 15210.	13
Figura 5. Delimitación de polígonos y distribución de brinzales en la zona de estudio.	15
Figura 6. Localización de los puntos de muestreo para el análisis de suelo.	17
Figura 7. Diagrama de actividades realizadas en la investigación.	20
Figura 8. a) Placa de INEGI V150286 localizada en campo. b) colocación de mojonera para banco de nivel y toma de coordenadas. c) levantamiento de los vértices de cada árbol.	22
Figura 9. Ejemplo de individuos del nivel 0 o de rebrote nulo.	31
Figura 10. Ejemplo de individuos del nivel 1 o de rebrote bajo.	32
Figura 11. Ejemplo de individuos del nivel 2 o de rebrote medio.	33
Figura 12. Ejemplo de individuos del nivel 3 o de rebrote alto.	34
Figura 13. Distribución espacial de la afectación por incendio en la plantación de <i>Juniperus deppeana</i>	42
Figura 14. a) Afectación del incendio en el polígono dos. b) efecto del camino como brecha cortafuego.	43
Figura 15. a) efecto moderado del incendio. b) efecto severo del incendio en <i>Juniperus deppeana</i>	44
Figura 16. Diámetro a la base promedio de <i>Juniperus deppeana</i> por tratamiento aplicado.	46
Figura 17. Altura total de <i>Juniperus deppeana</i> por tratamiento aplicado.	48
Figura 18. Incremento en diámetro a nivel del suelo de <i>Juniperus deppeana</i> por tratamiento aplicado.	50
Figura 19. Efecto de la dosis de N en el IDB en brinzales de <i>Juniperus deppeana</i> de dos años de edad.	51
Figura 20. Efecto de la dosis de Fósforo en el IDB en brinzales de <i>Juniperus</i> <i>deppeana</i> de dos años de edad.	52

Figura 21. Efecto de la dosis de K en el IDB en brinzales de <i>Juniperus deppeana</i> de dos años de edad.	53
Figura 22. Incremento en altura total de <i>Juniperus deppeana</i> por tratamiento aplicado.	55
Figura 23. Efecto de la dosis de N en el IA en brinzales de <i>Juniperus deppeana</i> de dos años de edad.	56
Figura 24. Efecto de la dosis de P en el IA en brinzales de <i>Juniperus deppeana</i> de dos años de edad.	57
Figura 25. Efecto de la dosis de K en el IA en brinzales de <i>Juniperus deppeana</i> de dos años de edad.	58
Figura 26. Supervivencia de brinzales de <i>Juniperus deppeana</i> no afectados por incendio.....	62
Figura 27. Incremento en diámetro a la base del suelo de brinzales de <i>Juniperus deppeana</i> en diferente tiempo.	65
Figura 28. Ubicación espacial de los niveles de rebrote en los brinzales de <i>Juniperus deppeana</i> en la primera evaluación.	67
Figura 29. Ubicación espacial de los niveles de rebrote en los brinzales de <i>Juniperus deppeana</i> en la segunda evaluación.....	68
Figura 30. Ubicación espacial de los niveles de rebrote en los brinzales de <i>Juniperus deppeana</i> en la tercera evaluación.	70
Figura 31. Ubicación espacial de los niveles de rebrote en los brinzales de <i>Juniperus deppeana</i> en la cuarta evaluación.....	71
Figura 32. Diferencia en el contenido foliar de N entre el testigo y 180-0-0.	75
Figura 33. Diferencia en el contenido foliar de P entre el testigo y 180-0-0.	76
Figura 34. Diferencia en el contenido foliar de S entre el testigo y 180-0-0.	77
Figura 35. Diferencia en el contenido foliar de N entre el testigo y 0-180-50.	78
Figura 36. Diferencia en el contenido foliar de P entre el testigo y 0-180-50.	79
Figura 37. Diferencia en el contenido foliar de S entre el testigo y 0-180-50.	80
Figura 38. Diferencia en el contenido foliar de N entre el testigo y 90-180-0.	81
Figura 39. Diferencia en el contenido foliar de S entre el testigo y 90-180-0.	82
Figura 40. Diferencia en el contenido foliar de N entre el testigo y 180-90-0.	83

I INTRODUCCIÓN

México cuenta con una gran diversidad de especies de coníferas y el género *Juniperus* es uno de los más diversos (Gernandt y Pérez-De La Rosa, 2014). En nuestro país, se han identificado alrededor de 20 de las 68 especies de *Juniperus* conocidas en el mundo, y a pesar de que sólo cubren el 15% de la superficie del país, sus áreas de distribución son de importancia ecológica (Adams, 2014). De las 20 especies, 10 son endémicas, y presentan una forma vegetal variada desde rastreras hasta árboles de más de 20 metros de altura (Gernandt y Pérez-De La Rosa 2014). Su distribución climática es variable, incluyendo, los de tipo semiárido (B), templado (C) y frío (E) y en la mayoría de los casos conforman comunidades que se sobreponen a condiciones adversas de fertilidad y profundidad de suelo así como de disponibilidad de agua (González-Elizondo *et al.*, 2012).

Juniperus deppeana es una especie originaria de Norteamérica, su distribución abarca Estados Unidos y México (Adams *et al.*, 2007). Aunque su crecimiento es muy lento, su importancia ecológica es relevante ya que representa un suministro de alimento (semillas) para especies endémicas como el conejo de monte (*Sylvilagus cunicularius*) (Lezama-Delgado *et al.*, 2016). *J. deppeana* tiene alto potencial como recuperador de terrenos erosionados y degradados física y químicamente ya que es una especie rústica que se puede establecer en suelos endurecidos (tepetate) y de baja fertilidad. Además, se ha observado que es una especie que puede crecer sobre depósitos de minas,

tolerando y acumulando algunos niveles de metales (V. Osuna-Vallejo *et al.*, 2017; Morton-Bermea *et al.*, 2014).

A pesar de la importancia ecológica de esta especie, existe poca información sobre el efecto de la fertilización en el crecimiento inicial. La fertilización química promueve la circulación de nutrientes en las plantaciones, aumentando la productividad de los árboles (Binkley, 1993). Tampoco existe información sobre sus concentraciones nutrimentales en follaje.

Conocer los niveles de supervivencia de la planta que se puede rescatar de los viveros, sería de gran utilidad para tener parámetros de referencia de su crecimiento en diámetro y altura inicial. Este trabajo se realizó para subsanar la falta de información sobre crecimiento inicial y supervivencia de *Juniperus deppeana*.

1.1 Objetivos

1.1.1. General

Evaluar la supervivencia, crecimiento, concentraciones nutrimentales en follaje y rebrote de una reforestación con *Juniperus deppeana*, posterior a la fertilización y daño por incendio.

1.1.2. Específicos

- Describir el crecimiento y estado nutrimental del follaje de una plantación de brinzales de *J. deppeana* con un año de establecida después de una fertilización de N-P-K.
- Comparar la supervivencia y el incremento en diámetro a la base del suelo y altura de brinzales de *J. deppeana* de uno y dos años de edad.
- Evaluar las concentraciones nutrimentales en el rebrote post-incendio y con antecedente de fertilización de brinzales de *J. deppeana* de uno y dos años de edad.

1.2 Hipótesis

H₀₁: El incremento del diámetro a la base del suelo, altura total y concentraciones de nutrientes en follaje no varían por las combinaciones de fertilización N-P-K en brinzales de dos años.

H₀₂: El porcentaje de supervivencia y de incremento en diámetro a la base del suelo y altura total no varían con la edad de la planta utilizada en la reforestación (uno y dos años de edad).

H₀₃: La concentración de nutrientes en el rebrote post-incendio en brinzales de dos años, no varía acorde con los antecedentes de fertilización.

II REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Generalidades del género *Juniperus*

Los individuos del género *Juniperus* comúnmente llamados enebros o sabinos, son árboles o arbustos de la familia Cupressaceae. Su distribución natural es en el hemisferio norte, a excepción de *Juniperus procera* que se encuentra en el hemisferio sur del continente africano (Florin, 1963). Adams (2014) distingue tres grandes centros de origen de este género, la región del mar Mediterráneo, el centro y oeste de Asia y el desierto del suroeste de Estados Unidos y norte de México.

Como estructuras femeninas presentan gábulas indehiscentes y todas las especies que se encuentran en México poseen hojas escamosas, opuestas y los individuos son dioicos (López y Mateo, 2003). Los conos masculinos miden aproximadamente 5 mm. Los conos femeninos tienen de tres a ocho escamas carnosas dispuestas en forma de roseta que al unirse forman un fruto de forma globosa y carnosa y tardan en madurar de dos a tres años (Gernandt y Pérez-De La Rosa, 2014; López y Mateo, 2003).

2.2. Importancia ecológica del género *Juniperus*

La semilla y fruto de consistencia carnosa de estas especies, sirve como alimento para especies frugívoras (Dimitri *et al.*, 2017), lo que además de ser importante ecológicamente, contribuye a su dispersión hacia nuevas zonas.

Las especies del género *Juniperus* tienen un papel importante dentro de la evolución de los bosques, ecológicamente en zonas del Mediterráneo, estas especies pueden considerarse como una etapa “pre-forestal” arbustiva para formar comunidades que presenta resistencia a la degradación y condiciones climáticas adversas (Montesinos-Torres & García-García, 2009). Además de poder colonizar lugares con condiciones edáficas y ambientales poco favorables, algunas especies pueden funcionar como hábitat para fauna lepidopterológica de zonas con altitudes extremas (Gómez de Aizpurua, 1995). Al favorecer la presencia y actividad de fauna, ayuda a la formación de suelo superficial (edafoturbación). Las comunidades de *Juniperus* frecuentemente están establecidas sobre suelos talpetatosos, donde confluye la frontera agrícola y forestal (Duwig et al., 2019).

Una característica importante para la supervivencia de las especies forestales es la concentración de nutrimentos en sus componentes vegetales. Montès *et al.*, (2002) estudiaron a *Juniperus thurifera*, una especie de la zona desértica de Marruecos, cuyos tejidos mostraron una mayor concentración de Ca que N y K en troncos/ramas, ramas secundarias y hojas, y una mayor concentración de K que N y Ca en los conos femeninos. Estos datos, indican una alta concentración de calcio en todos los tejidos (excepto en los órganos reproductivos). El estudio mostró que el almacenamiento de Ca y N fue significativamente mayor en troncos o ramas (71.2 kg ha^{-1} para calcio y 43.5 kg ha^{-1} para nitrógeno).

2.3. *Juniperus deppeana*

Juniperus deppeana es una de las especies del género con mayor distribución en México (Adams *et al.*, 2007). Se presenta en zonas de transición de pino-encino y oyamel, forma pequeños bosques y rodales naturales en estados como Coahuila, Nuevo León y Chiapas y especialmente en la Sierra Madre Occidental y en el Eje Neovolcánico Transversal (Figura 1). Esta especie se encuentra en un intervalo altitudinal de los 2,000 a 2,900 msnm (Díaz *et al.*, 2012; Rodríguez-Carrillo *et al.*, 2015). En el caso específico del Valle de México Rzedowski *et al.* (1964) describen que *J. deppeana* se establece tras perturbaciones por incendios forestales.

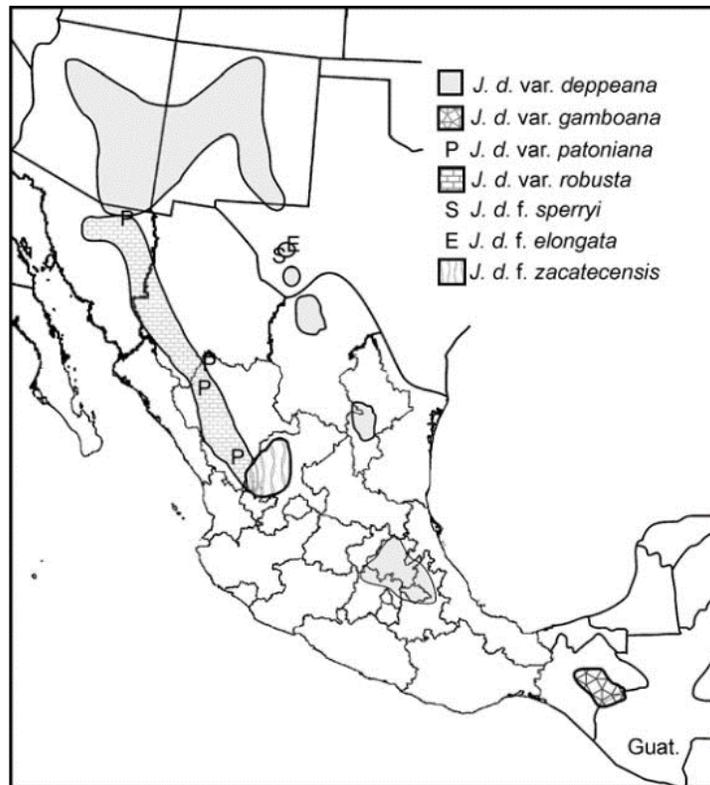


Figura 1. Distribución de *Juniperus deppeana* Steud. y sus variables. Tomado de (Adams *et al.*, 2007) Geographic Variation in *Juniperus deppeana*

Juniperus deppeana es un árbol perennifolio dioico, que puede presentar una altura de 3 hasta los 10 m y un diámetro normal de 20 a 50 cm. La especie presenta una corteza en forma laminar, dividida en placas cuadrangulares (Figura 2), de estructura fibrosa y gruesa (Adams and Schwarzbach 2006). Este tipo de corteza es una característica de esta especie y se asocia con su resistencia y tolerancia a los incendios (Rodríguez-Trejo, *et al.*, 2019).



Figura 2. Detalles de corteza de *Juniperus deppeana* Steud. Tomado de Adams & Schwarzbach (2006) Intraspecific adjustments in *Juniperus deppeana* (cupressaceae)

2.3.1. Importancia ecológica de *Juniperus deppeana*

Las gálbulas de *Juniperus deppeana* sirven como alimento para mamíferos medianos y pequeños. Siendo, las gálbulas de mayor tamaño, las más dañadas por insectos

(Martínez *et al.*, 2016), y las restantes son aprovechadas por los mamíferos. Lezama-Delgado *et al.*, (2016), estudiaron la dispersión de semillas de *J. deppeana* a través de los desechos de un conejo endémico en Tlaxcala (*Sylvilagus cunicularius* Waterhouse). Las semillas se escarificaron al pasar por el tracto digestivo del conejo. Aumenta el porcentaje de germinación y su establecimiento en suelo desnudo, por la adición de nutrientes, materia orgánica y humedad de la excreta del conejo. No se observaron semillas en las excretas de las aves, ni en las heces de otros animales, indicando que los conejos son los principales dispersores de estas semillas en la zona. El periodo de retención intestinal de las semillas dentro de los conejo es entre 20 a 30 horas (Cosyns *et al.*, 2005), lo cual supone suficiente tiempo para la dispersión de semillas de *J. deppeana* a distancias importantes de los árboles productores de semillas. La dispersión de semillas no solo se da por herbívoros pequeños, en Aguascalientes algunos carnívoros como el zorro gris (*Urocyon cinereoargenteus* Schreber) y el coyote (*Canis latrans* Say) ingieren ocasionalmente los “frutos” de *J. deppeana* (Rubalcava-Castillo *et al.* 2020).

No solo las gálbulas y las semillas sirven de alimento para los animales, otros mamíferos medianos como el venado bura (*Odocoileus hemionus* Rafinesque) muestran una preferencia por el follaje de *J. deppeana*, esto debido a su contenido de aceites volátiles (Schwartz *et al.*, 1980). Esta relación planta-mamífero es de importancia ecológica, ya que la desaparición de fauna pondría en riesgo el avance de la colonización de *J. deppeana*.

2.3.2. Agente restaurador

Todas las especies del género *Juniperus*, se pueden utilizar en procesos de restauración de terrenos degradados. Dada su alta tolerancia a suelos compactados, pedregosos, pobres en nutrientes y alcalinos, así como, por su alta resistencia a la sequía y al fuego. Adicionalmente su madera es de notable dureza y resistencia a las termitas (Vázquez-Yanes *et al.*, 2002).

Se ha demostrado que *Juniperus deppeana* puede ser utilizado como agente Fito-remediador en zonas mineras. Debido a que en tierras procedentes de jales mineros del estado de Michoacán, esta especie exhibió la mayor supervivencia y crecimiento, en comparación con otras coníferas (Osuna-Vallejo *et al.*, 2017; Osuna-Vallejo *et al.*, 2020). La capacidad de bio-extracción de *J. deppeana* de metales pesados se observó cuando se cuantificó el contenido de mercurio de la vegetación circundante de una mina de oro y plata en Tlalpujahuá, Michoacán (Osuna-Vallejo *et al.*, 2019). Además, *J. deppeana* tiene una gran capacidad de acumulación de metales pesados tóxicos (Cr, Cd, Cu, Hg, Ni y Pb) en sus hojas (Mendoza-Hernández *et al.*, 2016) siendo una alternativa para la bioextracción de esos metales en suelos contaminados por actividades antropológicas.

En otra investigación relacionada al tema de minas, Morton-Bermea *et al.* (2014) evaluaron la eficiencia de la acumulación de metales pesados en especies silvestres nativas que crecen en suelos contaminados de Taxco, México; en los resultados se observó que *J. deppeana* fue una de cuatro especies probadas con capacidad de acumulación de metales pesados, especialmente en la acumulación de Mn y de Zn presente en fracciones solubles en el suelo.

En resumen, la revisión realizada muestra que la relevancia de *Juniperus deppeana* es de tipo ecológica por su relación con poblaciones de mamíferos pequeños, su permanencia ante los incendios y su potencial para la bio-remediación.

III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área de estudio

3.1.1. Ubicación del área de estudio

La plantación bajo estudio se conforma de dos polígonos con una superficie total de 6,023 m² dentro del predio denominado Los Linderos, en el municipio de Tepetlaoxtoc en el oriente del Estado de México (Figura 3). Sus coordenadas geográficas son 19°33'07.86" N y 98°43'01.58" O y tiene una altitud media de 2,902 m. La plantación se encuentra establecida sobre obras de conservación de suelos, terrazas de base ancha ya que anteriormente la zona estaba destinada para la producción agrícola de cereales y forrajes.

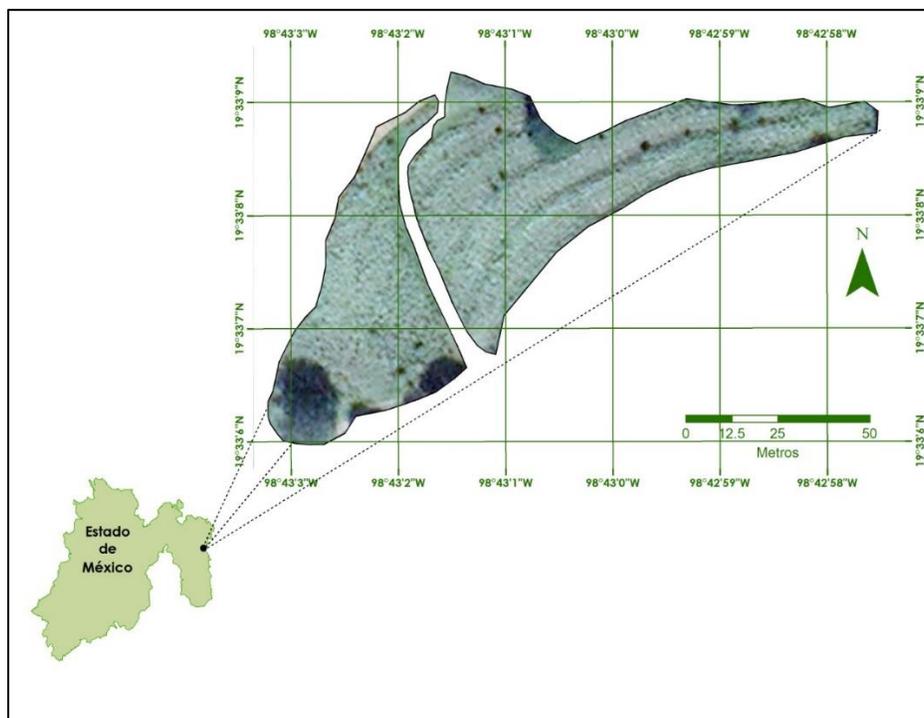


Figura 3. Ubicación del área de estudio.

3.1.2. Clima

El clima del área de estudio es templado subhúmedo con humedad media y cociente Precipitación/Temperatura (P/T) entre 43.2 y 55.0. La estación climatológica más cercana es la número 15210 “San Juan Totolapan” (IMTA, 2013). Los datos de esta estación muestran una temperatura media anual de 12.7°C, siendo el mes de mayo más caluroso y enero el más frío. La precipitación promedio anual es de 549.2 mm, presenta una temporada de lluvias marcada entre los meses de mayo y octubre. Septiembre es el mes que registra la mayor precipitación y diciembre el de menor (Figura 4).

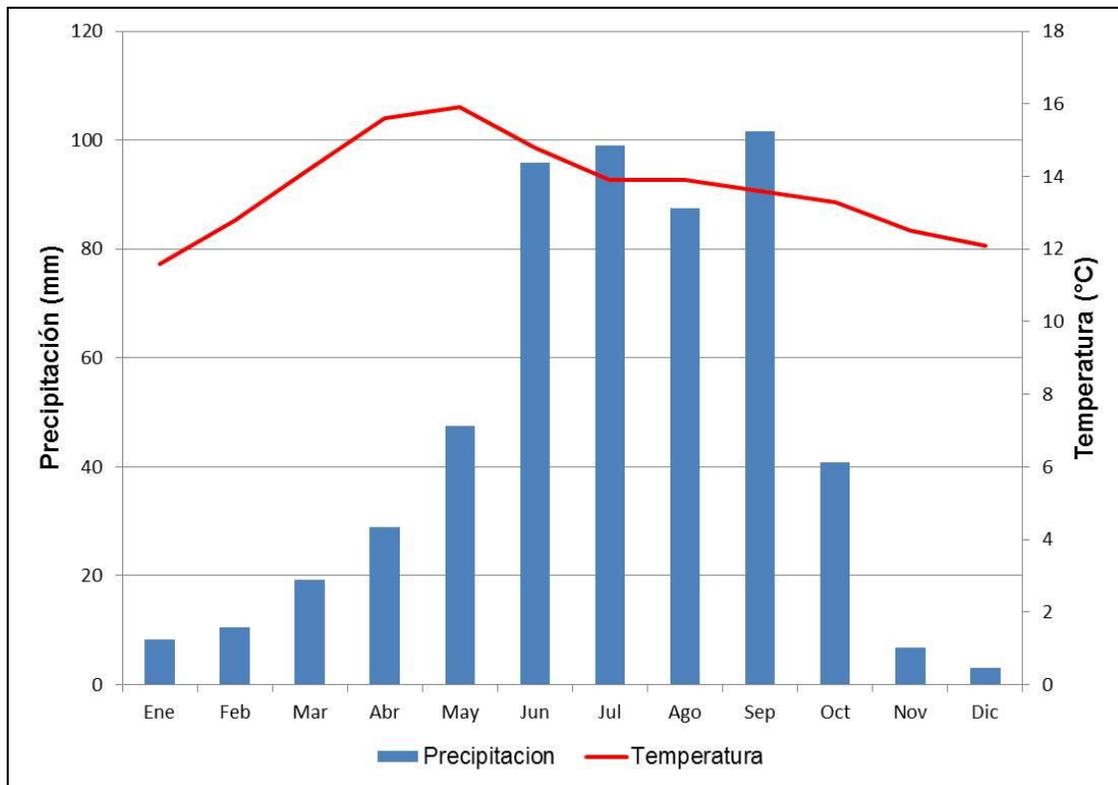


Figura 4. Climograma de la estación meteorológica 15210.

3.1.3. Fisiografía

De acuerdo al INEGI (2009) la zona de estudios se encuentra dentro de la subprovincia fisiográfica Lagos y Volcanes de Anáhuac que corresponde a la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico. Mientas que la principal topoforma presente es el lomerío caracterizado por una repetición de colinas redondas o lomas alargadas, con cumbres a alturas variables, separadas por valles aluviales.

3.2. Antecedentes

3.2.1. Establecimiento de la plantación

La reforestación se estableció el 21 de Julio de 2017 como parte del proyecto CONACyT PN2015-01-218 “Estrategia de rehabilitación ecológica empleando biodiversidad nativa, en bosque templado afectado por actividad minera pétreo y agropecuaria”, en una superficie total de 0.6 ha. Los brinzales se plantaron en cepa común de 40x40x40 cm, bajo la distribución de Marco Real, con un espaciamiento entre individuos de 2 m, siguiendo la orientación de terrazas a nivel.

3.2.2. Material vegetativo

La especie establecida fue *Juniperus deppeana* Steud., el germoplasma se recolectó de un rodal natural ubicado en la población de San Antonio Matlahuacales municipio de Chignahuapan, Puebla. El sitio de recolecta se encuentra dominado por *J. deppeana* asociada con especies de *Quercus laurina* y *Quercus rugosa*.

El germoplasma recibió tratamiento en el Vivero Forestal Militar de Atlangatepec, en el estado de Tlaxcala. Se plantaron 499 brinzales de dos años y 614 brinzales de un año de edad. Los individuos se distribuyeron en dos polígonos (uno y dos) como se observa en la Figura 5.

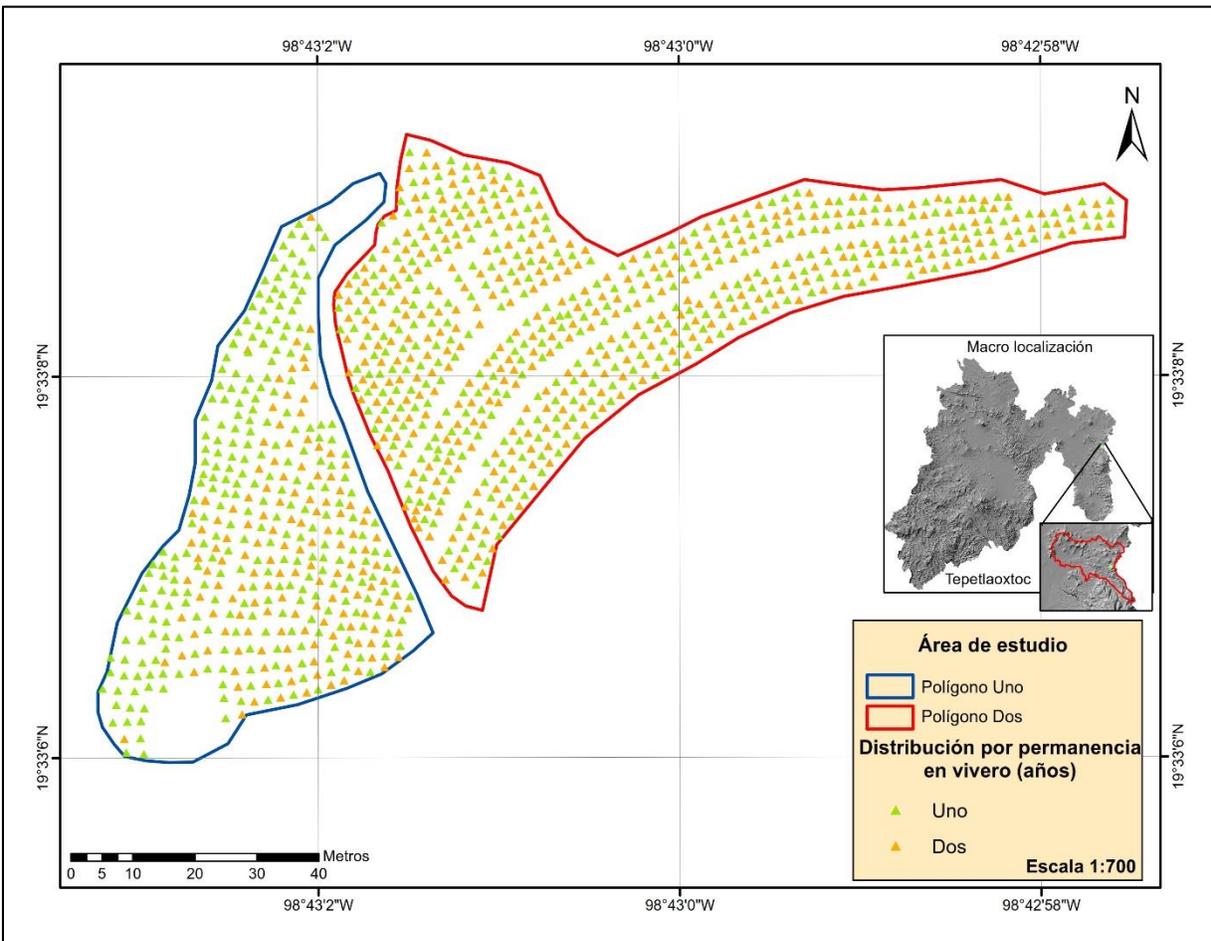


Figura 5. Delimitación de polígonos y distribución de brinzales en la zona de estudio.

3.2.3. Análisis de suelo

Antes del establecimiento de la plantación, dentro del proyecto de CONACyT PN2015-01-218 “Estrategia de rehabilitación ecológica empleando biodiversidad nativa, en bosque templado afectado por actividad minera pétreo y agropecuaria” se realizaron muestreos y análisis de suelo en los polígonos del área de estudio. Se tomaron muestras de suelo dentro de las zonas potenciales para reforestación (Figura 6) de cada una de las terrazas, al final se obtuvieron un total de 13 muestras compuestas.

La toma de muestras, la preparación y los análisis de laboratorio fueron realizados por el Laboratorio de suelos de la Facultad de Planeación Urbana y Regional (UAEM) y por el Laboratorio de artrópodos de ambientes extremos (UMDI-Juriquilla, UNAM), conforme a la NOM-021-SEMARNAT-2000. Las pruebas realizadas fueron: Color del suelo en húmedo y en seco, Textura, Densidad Aparente, Humedad a Capacidad de Campo (HCC) y Punto de Marchitez Permanente (HPMP), pH en H₂O y KCl, Materia Orgánica y Carbono Activo (Cuadro 1).

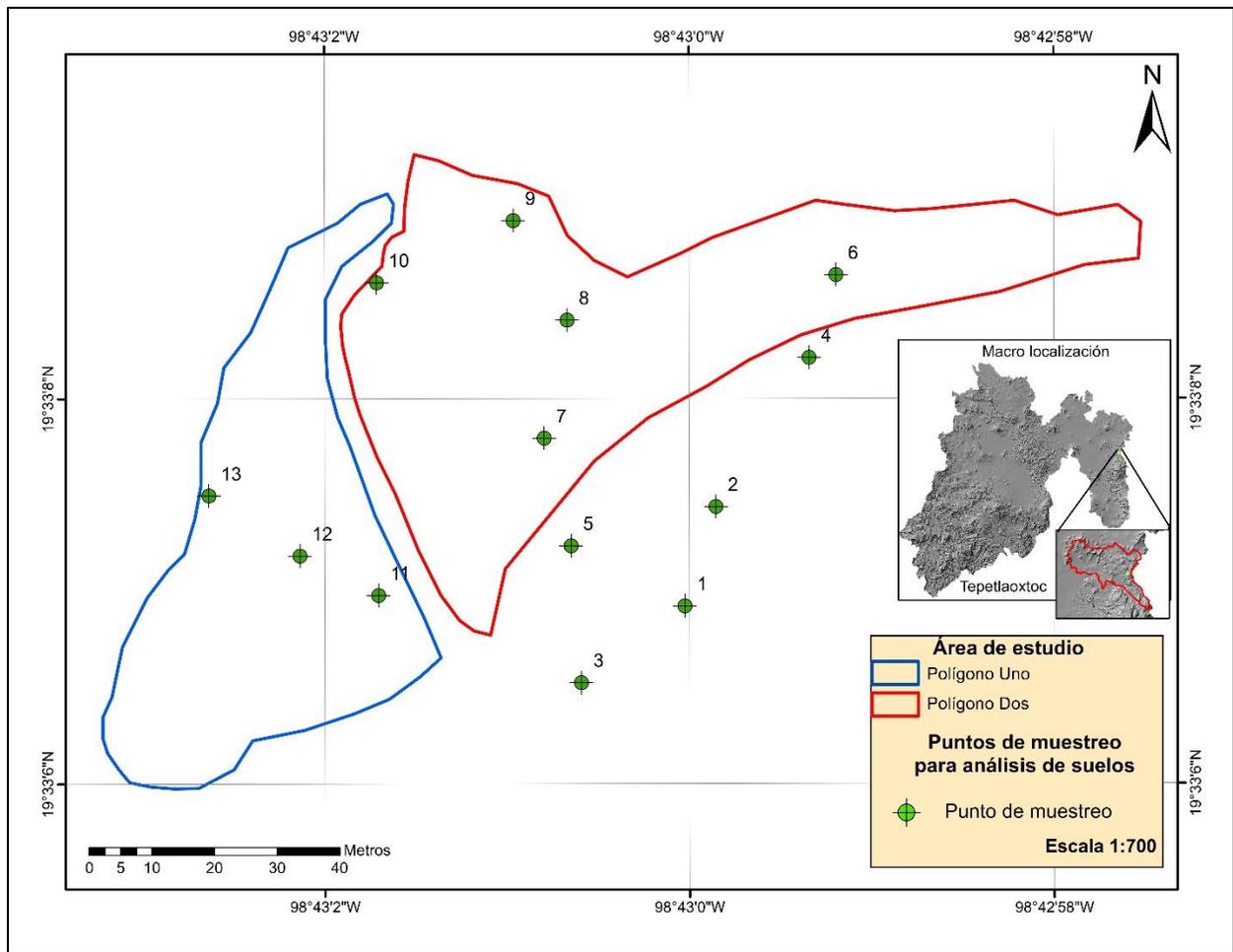


Figura 6. Localización de los puntos de muestreo para el análisis de suelo.

Cuadro 1. Análisis del suelo superficial (0-20 cm) de la zona de estudio, reportados por el Proyecto CONACyT PN2015-01-218

No.	Color		Arc.	Lim. %	Are.	Text	Humedad %		pH		Da g/cm ³	MO	CA
	Seco	Húm.					CC	PMP	H ₂ O	KCl			
1	10YR 4/4	7.5YR 2.5/3	13	1	86	AC	73	40	6.42	5.1	1.1	3.17	477.16
2	10YR 4/4	7.5YR 2.5/3	13	1	86	AC	81	44	6.58	5.4	0.99	4.93	573.45
3	10YR 4/4	7.5YR 2.5/2	26	8	66	CA	84	45	6.41	5.1	1.01	4.38	694.06
4	10YR 4/4	7.5YR 2.5/3	26	8	66	CA	75	41	6.52	5.2	0.99	3.59	549.92
5	10YR 4/3	7.5YR 2.5/3	14	10	76	CA	71	39	6.34	4.9	1.00	4.22	735.24
6	10YR 4/4	7.5YR 2.5/3	14	10	76	CA	68	37	6.40	6.1	1.00	3.90	578.75
7	10YR 4/4	7.5YR 2.5/3	14	10	76	CA	73	40	6.18	5.2	1.03	3.60	635.03
8	10YR 4/4	7.5YR 2.5/3	14	10	58	CA	75	41	6.21	5.08	0.96	4.50	629.54
9	10YR 4/3	7.5YR 2.5/2	26	16	58	CRA	72	39	6.56	5.27	0.93	3.71	279.48
10	10YR 4/3	7.5YR 2.5/2	26	16	58	CRA	77	42	7.10	5.46	0.93	4.72	742.11
11	10YR 4/3	7.5YR 2.5/2	26	16	58	CRA	74	40	6.40	5.37	0.90	5.05	799.77
12	10YR 4/4	7.5YR 2.5/3	26	16	58	CRA	80	44	6.40	5.35	0.90	5.03	646.01
13	10YR 4/3	7.5YR 2.5/2	26	16	58	CRA	82	45	7.30	5.28	0.85	5.44	666.60

Arc: Arcilla; Lim: Limo; Are: Arena Ac: Arenoso-Franco; CA: Franco arenoso; CRA: Franco arcillo arenoso

CC: Humedad a Capacidad de Campo. PMP: Humedad a Punto de Marchitez Permanente. Densidad Aparente. MO: Materia Orgánica. CA: Carbono Activo

3.2.4. Ensayo de fertilización preliminar

Después del establecimiento de la plantación, se realizó un ensayo de fertilización. En este ensayo se aplicó un fertilizante de liberación controlada en brinzales seleccionados de manera aleatoria en ambos polígonos. Las variables que se emplearon para la comparación de las dos poblaciones fueron diámetro a la base y altura. Los resultados indicaron que hubo diferencia estadística en el diámetro a la base del suelo entre brinzales de un año y brinzales con aplicación de fertilizante de liberación controlada.

Con este antecedente y considerando el lento crecimiento de *Juniperus deppeana*, se tomó la decisión de realizar un nuevo ensayo de fertilización sobre los individuos de dos años. El nuevo ensayo se realizó con fertilizantes comerciales agrícolas de “efecto inmediato”.

Durante el desarrollo de la investigación, a los siete meses de establecido el experimento se presentó un incendio en las zonas circundantes, que afectó principalmente el polígono dos, donde se quemaron los árboles plantados ya que el pastizal sirvió como combustible. Debido a este evento, la propuesta inicial de investigación concentrada principalmente en el efecto de la fertilización, se replanteó para evaluar el efecto en el rebrote de los brinzales (Figura 7). El efecto del incendio y la fertilización, se evaluó con el contenido nutrimental del follaje y en la capacidad de rebrote post-incendio de los individuos de *Juniperus deppeana* vivos.

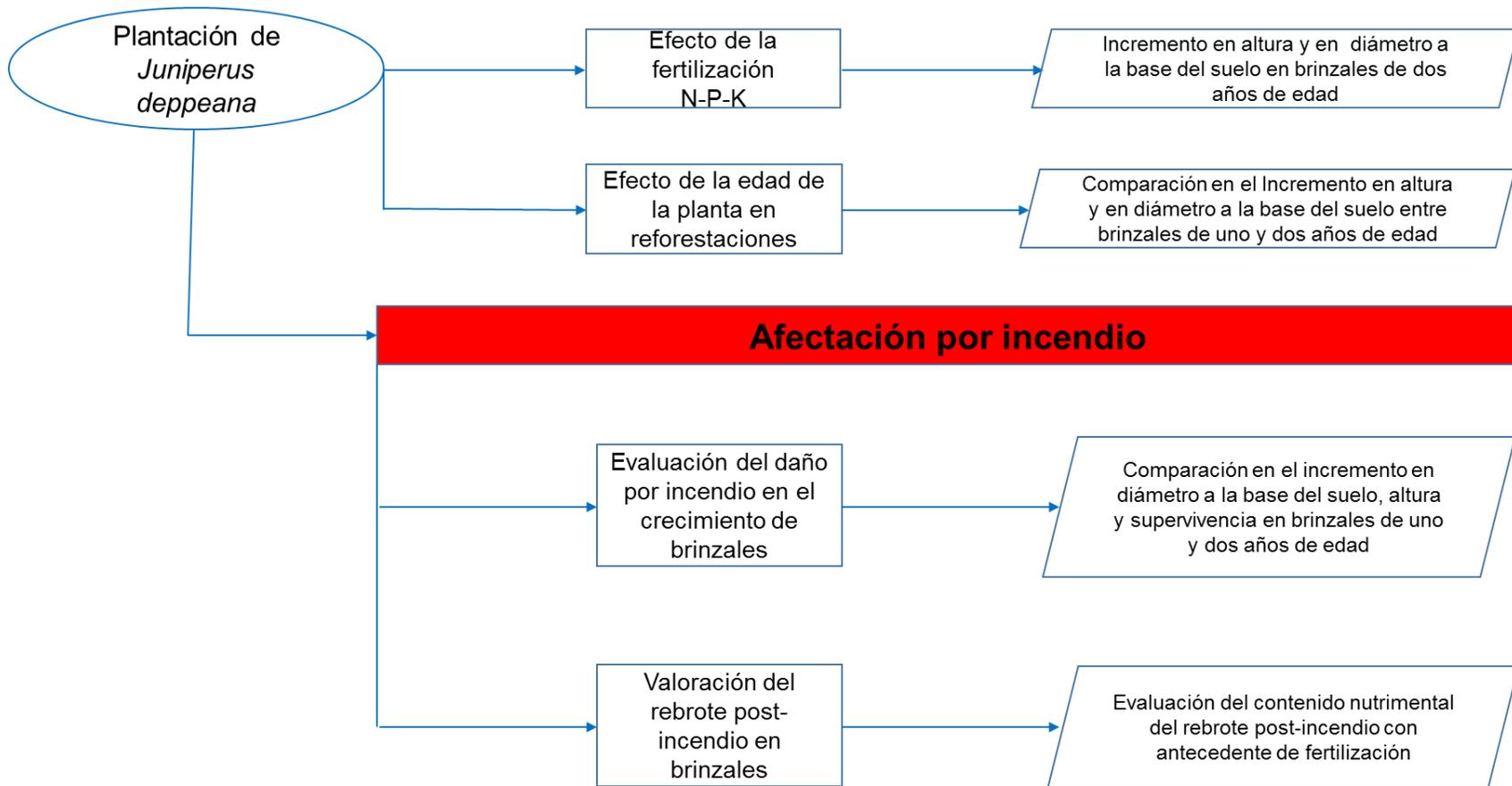


Figura 7. Diagrama de actividades realizadas en la investigación.

3.3. Efecto de la fertilización N-P-K en brinzales de *Juniperus deppeana*

3.3.1. Geoposicionamiento de los árboles

Para obtener la configuración de la superficie, y la ubicación de cada árbol individual, se realizó un levantamiento topográfico de toda la zona de plantación.

Dentro del área de geodesia de la página oficial de INEGI, se obtuvo el listado de los puntos de la red pasiva nacional que incluyen los bancos de nivel y vértices de geoposicionamiento horizontal. Se identificó a solo 1.2 km la placa número V150286 en Texcoco, Estado de México con coordenadas latitud: 19°33'33.6412" N, longitud: 98°42'30.03623" W, altura ortométrica NAVD29: 2,864.3030 m. Se localizó la placa en campo con ayuda de un GPS de mano Garmin eTrex 20x (Figura 8a). Sobre la placa se estableció una base con la colocación de un Geo-Posicionador Satelital RTK de alta precisión (con bulbos de error menores a 30 mm), modelo Sokkia GRX2. A partir de esta base se estableció un banco de nivel dentro del área de la plantación como base para iniciar el levantamiento topográfico, se colocó una mojonera de concreto como referencia e identificación del vértice del banco de nivel (Figura 8b).

El punto obtenido con el GPS RTK se ingresó a una estación total Sokkia 30RK montada en un tripie sobre la mojonera dentro de la plantación. Con la estación se comenzó a levantar cada uno de los vértices de todos los árboles plantados con la ayuda de prismas sencillos con soporte ensamblados sobre bastones (Figura 8c). Al final se obtuvieron las coordenadas geográficas, altura sobre el nivel del mar de todos los árboles, la composición y la topografía de las terrazas que comprende toda la superficie de la plantación.

a)



b)



c)



Figura 8. a) Placa de INEGI V150286 localizada en campo. b) colocación de mojonera para banco de nivel y toma de coordenadas. c) levantamiento de los vértices de cada árbol.

3.3.2. Análisis preliminar del follaje

Para el análisis nutrimental de los brinzales, se recolectaron muestras compuestas de follaje maduro, de una coloración similar a la del follaje desarrollado y diferente a la de los brotes nuevos. Se tomaron muestras compuestas de cada dos brinzales,

recolectando el follaje del tercio superior de la copa y de ramas con exposición directa al sol. El follaje se secó en una estufa eléctrica a una temperatura constante de 70°C durante 72 horas. En total se recolectaron 10 muestras compuestas de 20 árboles dentro de la plantación. También se recolectó una muestra simple de un árbol de la misma especie establecido de manera natural en el área cercana que sirvió como referencia. Las muestras se analizaron en el laboratorio Salvador A. Blanco del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo a partir de las cuales se determinaron los macronutrientes N, P, K, Ca, Mg y S.

3.3.3. Diseño experimental

Para la realización de esta investigación, se realizó un experimento con un diseño experimental completamente al azar con un arreglo factorial de 3x3x2 y un total de 18 tratamientos (Cuadro 3).

Los factores involucrados fueron N, P y K. Para el N y P se aplicaron tres niveles y para el K se aplicaron dos niveles (Cuadro 2).

Cuadro 2. Factores de variación del experimento.

Factores	Niveles (Kg ha ⁻¹)		
	1	2	3
Nitrógeno	0	90	180
Fósforo	0	90	180
Potasio	0	50	

A cada tratamiento se le realizaron seis repeticiones resultando 108 unidades experimentales finales, cada árbol se tomó como la unidad experimental.

Cuadro 3. Tratamientos de fertilización aplicados.

Número de tratamiento	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
	Kg ha ⁻¹		
T1	0	0	0
T2	0	0	50
T3	0	90	0
T4	0	90	50
T5	0	180	0
T6	0	180	50
T7	90	0	0
T8	90	0	50
T9	90	90	0
T10	90	90	50
T11	90	180	0
T12	90	180	50
T13	180	0	0
T14	180	0	50
T15	180	90	0
T16	180	90	50
T17	180	180	0
T18	180	180	50

3.3.4. Fertilización

El cálculo de las dosis de fertilización, se realizó tomando en cuenta el resultado y la interpretación del análisis nutrimental preliminar del follaje de los brinzales dentro de la

plantación y con base en la literatura (Miller *et al.*, 1991). La aplicación de los tratamientos a los brinzales dentro de la plantación fue completamente al azar.

La fertilización se realizó en una sola aplicación de forma manual, el día 31 de agosto de 2018. Se excavó a una profundidad aproximada de 5 cm en el área circundante bajo la zona de goteo. A los brinzales seleccionados se aplicó el fertilizante lo más uniforme posible alrededor de toda la zona de goteo. Después se cubrió con el suelo excavado para evitar pérdida de nutrimentos.

3.3.5. Fuentes de fertilización

Los fertilizantes se seleccionaron con base en su fórmula, de tal forma que fuera posible llegar a las combinaciones planteadas en el experimento. Los fertilizantes seleccionados 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.

3.3.6. Evaluación del efecto de la fertilización antes del incendio

Las variables de respuesta a la fertilización fueron el incremento del diámetro a la base del suelo (IDB) e incremento en altura total (IA). Se realizaron dos evaluaciones, la primera el seis de junio de 2018 y la segunda el 15 de febrero de 2019.

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 midió con un Vernier digital Steren, con una precisión de 0.1 mm.

3.3.7. Análisis estadístico

Con los datos obtenidos se estimó el crecimiento de los brinzales (IDB e IA) y se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con el software estadístico R (R Core Team, 2018) para una comparación de medias. Con un nivel de significancia de al menos 0.1% por tratarse de un experimento en campo (Hurlbert, 1984). El modelo estadístico empleado para analizar estas variables fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + N_i + F_j + P_k + N_iF_j + N_iP_k + F_jP_k + N_iF_jP_k + e_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Observación tomada de la i-ésima dosis de nitrógeno, j-ésima dosis de fósforo y k-ésima dosis de potasio.

μ = Efecto de la media general.

N_i = Efecto de la i-ésima dosis de N.

F_j = Efecto de la j-ésima dosis de P.

P_k = Efecto de la k-ésima dosis de K.

N_iF_j = Efecto de la interacción de la i-ésima dosis de N y la j-ésima dosis de P.

N_iP_k = Efecto de la interacción de la i-ésima dosis de N y la k-ésima dosis K.

FjPk = Efecto de la interacción de la j-ésima dosis de P y la k-ésima dosis de K.

NiFjPk = Efecto de la interacción de la i-ésima dosis de N, la j-ésima dosis de P y la k-ésima dosis de K.

3.4. Afectación de la plantación por incendio

En la primera semana de marzo de 2019 se presentó un incendio en la zona de estudio y en las áreas cercanas. El incendio ocasionó daños severos en los brinzales del polígono dos. Sin embargo, llamó la atención que el 84% de los árboles tuvieron la capacidad de rebrotar. Las mediciones previas al incendio si permitieron un análisis en la respuesta inicial al IDB e IA, mientras que las mediciones posteriores al incendio estuvieron condicionadas a los tratamientos conservados. Se pudo obtener nueva información relacionada con el rebrote, supervivencia y el contenido nutrimental de los individuos de *Juniperus deppeana* que resistieron el incendio.

3.4.1. Evaluación post-incendio de brinzales de *Juniperus deppeana*

La primera evaluación del daño por incendio se realizó el 10 de abril de 2019 cuando se visitó por primera vez la plantación después del incendio. Se evaluaron a todos los individuos del polígono dos en una clasificación de daño moderado o daño muy severo dependiendo del estado del follaje, ramas y/o tallo

3.5. Incremento en diámetro a la base del suelo, altura y supervivencia de brinzales de uno y dos años de *Juniperus deppeana*

3.5.1. Datos evaluados

Para determinar la variación en el crecimiento entre las plantas de uno y dos años de edad, se evaluó la supervivencia, la altura total y el diámetro a la base del suelo. Se realizaron tres mediciones, la base fueron los datos obtenidos el seis de junio de 2018 (tiempo uno). La segunda medición se realizó del 27 al 29 de mayo de 2019 (tiempo dos). La tercera toma de datos fue realizada del 17 al 20 de septiembre de 2019 (tiempo tres).

En la segunda y tercera medición solo se tomaron valores de la supervivencia y en el diámetro a la base del suelo en los brinzales del polígono dos. Esto debido al efecto del incendio en la altura de los brinzales. Dada la afectación de la plantación por el incendio, la población de brinzales plantados se dividió en dos grupos: quemado (Q) y no quemado (NQ). A los brinzales del polígono uno que no presentó afectación por el incendio, se les denominó como no quemados (NQ). Los árboles del polígono dos se nombraron como quemados (Q). Se compararon su IDB e IA y supervivencia.

3.5.2. Análisis estadístico

Con los datos obtenidos de diámetro a la base y altura total, se estimó la media y la mediana del incremento los árboles. Debido a que los datos no presentaban una distribución normal, se aplicó la prueba estadística no paramétrica de Mann Whitney. Al contar con tres fechas en la toma de datos, la prueba estadística se aplicó en dos

intervalos de tiempo diferentes. El primero con el crecimiento periódico ocurrido entre el tiempo uno y dos. El segundo periodo con el crecimiento registrado entre el tiempo uno y el tiempo tres. En ambos periodos se obtuvo el IA e IDB.

3.6. Efecto de la fertilización y de la edad en el rebrote y contenido nutrimental de *Juniperus deppeana* después del incendio

3.6.1. Efecto de la fertilización en el rebrote

Evaluación del rebrote

Con la afectación no planeada por el incendio, se logró aprovechar el incidente para la obtención de información para la investigación sobre el rebrote en los meses siguientes al incendio.

Toma de datos.

La evaluación del rebrote de los individuos del polígono dos se realizó a través de una clasificación categórica de cuatro niveles cualitativos. Se consideraron todos los rebrotes de la base o copa y se especificó la localización del rebrote en cada árbol. Fueron considerados y documentados todos los brinzales del polígono dos, sin importar la edad o tratamiento de fertilización.

En total se realizaron cuatro evaluaciones de rebrote. La primera evaluación se presentó el 31 de mayo de 2019, la segunda el 7 de agosto de 2019, la tercera el 20 de septiembre y la cuarta evaluación el 14 de noviembre de 2019.

Análisis estadístico

El efecto de la fertilización en el rebrote se estimó a partir de la relación de árboles fertilizados que fueron afectados por el incendio, con los árboles de dos años no fertilizados, y afectados por incendio.

La relación se estimó a partir de un análisis de tabla de contingencia de dos grupos cualitativos independientes (fertilización) y una variable respuesta cualitativa >2 categorías (nivel de rebrote), obteniendo el test no paramétrico de Chi cuadrada con la ayuda del software estadístico R (R Core Team, 2018).

Categorización de niveles de rebrote.

Nivel cero o de rebrote nulo. Los árboles de este nivel no presentaron ningún rebrote (Figura 9), también se incluyeron los individuos que no presentaron follaje o que fueron totalmente destruidos por el incendio.

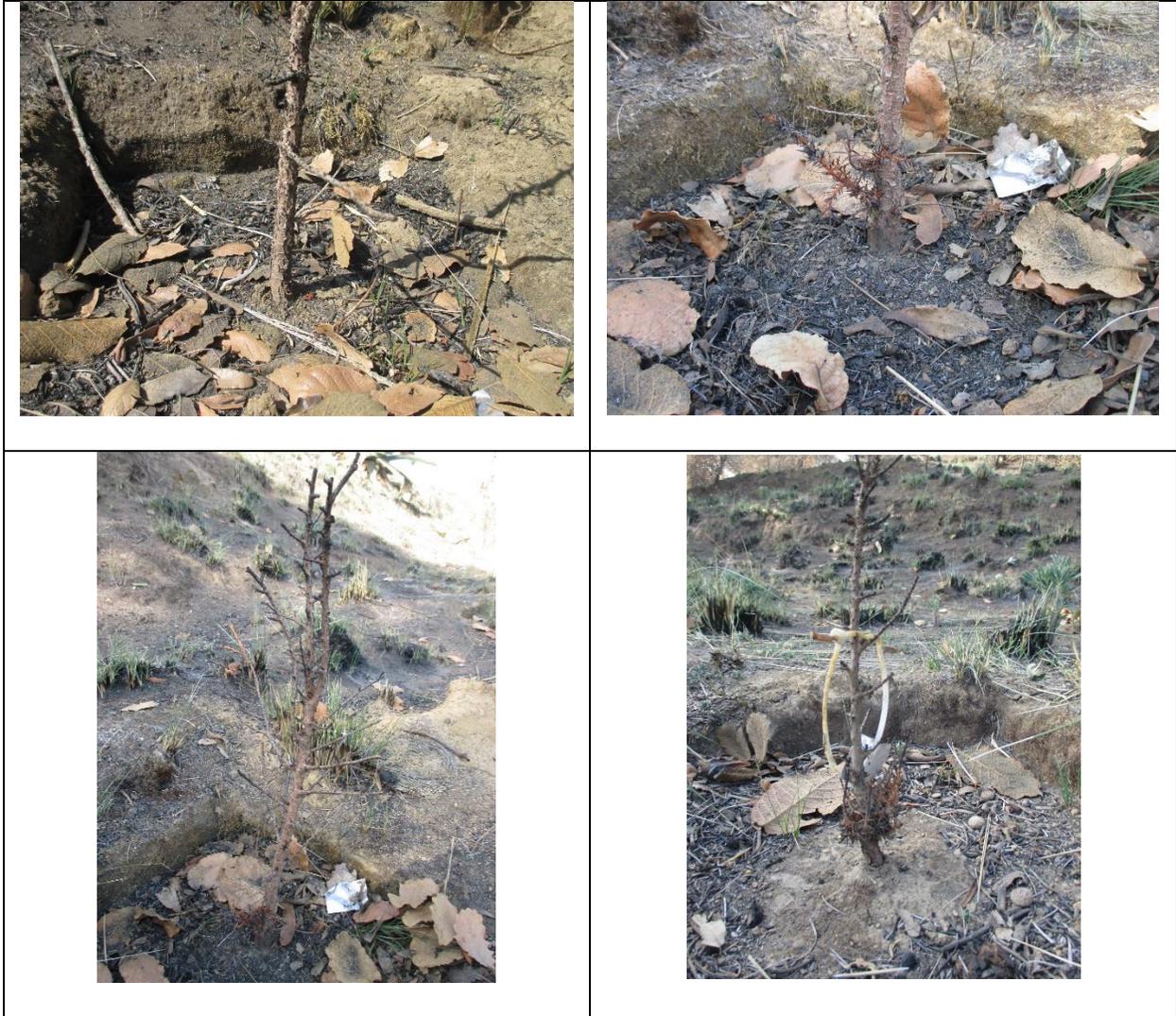


Figura 9. Ejemplo de individuos del nivel 0 o de rebrote nulo.

Nivel uno o rebrote bajo. En este nivel se presentaron individuos con un número de rebrotes en la base o en la corona bajos, de uno a seis aproximadamente (Figura 10).

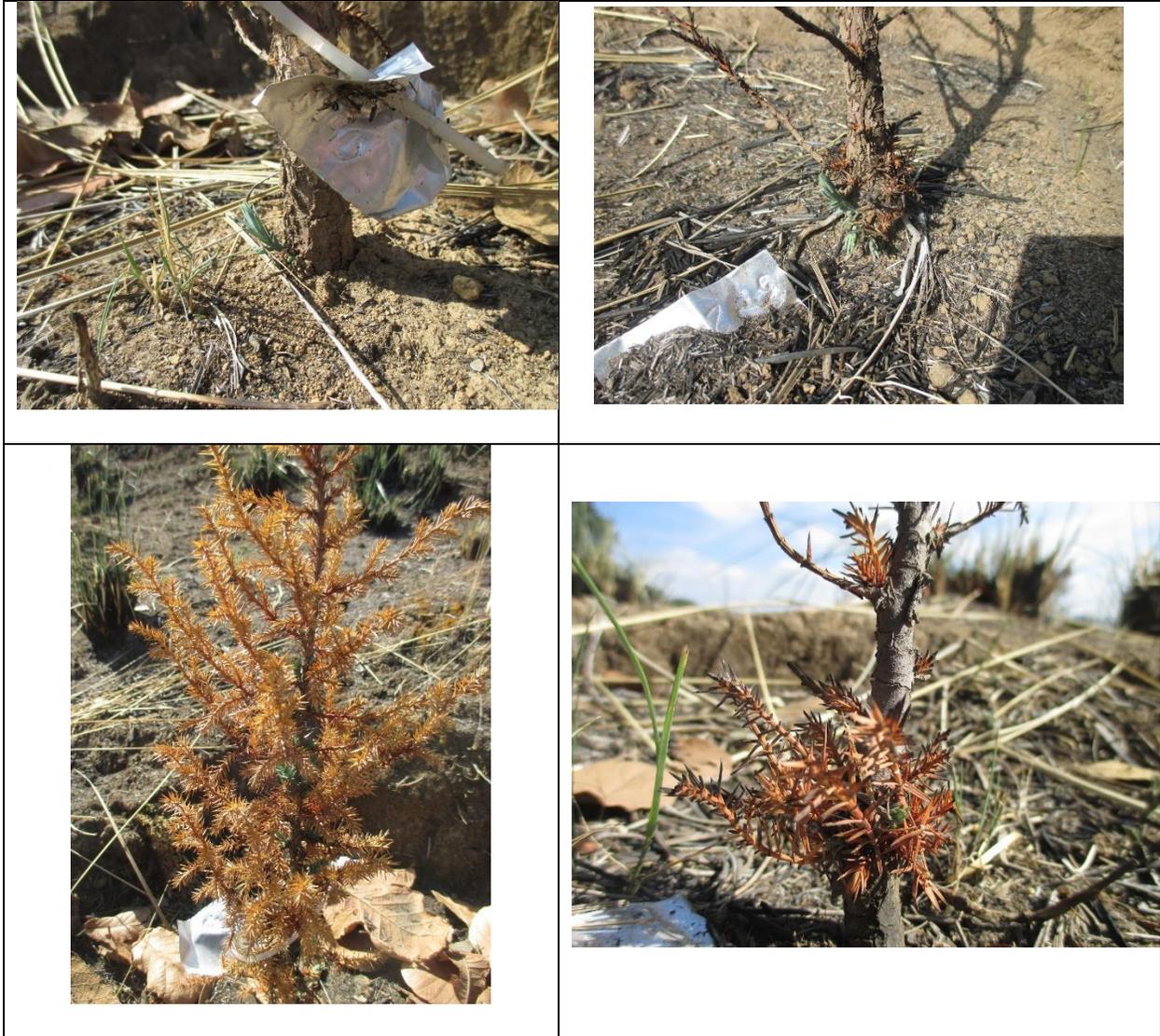


Figura 10. Ejemplo de individuos del nivel 1 o de rebrote bajo.

Nivel dos o rebrote medio. En esta categoría fueron incluidos los árboles que presentaron un número de rebrotes medio, de siete a 15 aproximadamente (Figura 11).



Figura 11. Ejemplo de individuos del nivel 2 o de rebrote medio.

Nivel tres o rebrote alto. Esta fue la clasificación de rebrote mayor. Los individuos dentro de este nivel fueron los que obtuvieron más de 15 rebrotes (Figura 12).



Figura 12. Ejemplo de individuos del nivel 3 o de rebrote alto.

3.6.2. Análisis y comparación nutrimental final del follaje

Con la ocurrencia del disturbio, se realizaron comparaciones del contenido nutrimental por grupo. Con base a los factores de fertilización, edad y el incendio se establecieron tres grupos de comparación.

Primer grupo de evaluación. Rebrote después del incendio en individuos fertilizados.

En este análisis se identificó si la fertilización tuvo efecto directo en el contenido nutrimental del follaje. Se seleccionaron los individuos a los cuales se les aplicó un tratamiento de fertilización, además, que presentaron un daño extremo en la evaluación del incendio inicial y que al final de la última evaluación de rebrote presentan la categoría más alta (tres).

El factor de análisis fue el rebrote después del incendio, clasificando los árboles seleccionados en base al tratamiento de fertilización aplicado. Se obtuvieron muestras a las cuales solo se aplicó un tipo de fertilizante (N-P-K) y la combinación de los tres para su comparación con los testigos. Se realizaron cuatro repeticiones de cada tratamiento (Cuadro 4) para obtener un total de 20 muestras foliares.

Cuadro 4. Relación de árboles propuestos para análisis foliar del rebrote.

Clave del árbol	Tratamiento aplicado
5-149	0-0-50
6-156	0-0-50
7-081	0-0-50
8-009	0-0-50
6-051	0-90-0
6-075	0-90-0
6-125	0-90-0
7-106	0-90-0
5-118	90-0-0
6-131	90-0-0

Clave del árbol	Tratamiento aplicado
6-180	90-0-0
6-192	90-0-0
6-073	180-90-50
6-099	180-90-50
6-118	180-90-50
7-043	180-90-50
5-082	0-0-0
5-234	0-0-0
6-036	0-0-0
7-096	0-0-0

Segundo grupo de evaluación. Incremento en diámetro a la base del suelo

En este grupo se evaluó si el IDB está relacionado con el contenido nutrimental del rebrote en *Juniperus deppeana*. Se evaluaron individuos de los tres tratamientos de fertilización que presentaron el mayor y los dos tratamientos de menor IDB, reflejados en la toma de datos final. Se realizó una comparación entre ellos y el tratamiento testigo. Los dos tratamientos que presentaron incremento mayor en diámetro fueron 180-0-0 y 180-90-0. Los dos tratamientos que reflejaron un incremento menor fueron 90-0-50 y 0-180-50. Se realizaron cinco repeticiones por tratamiento obteniendo un total de 25 muestras foliares (Cuadro 5).

Cuadro 5. Relación de brinzales seleccionados para análisis foliar en relación al incremento en diámetro

Clave del árbol	Tratamiento aplicado
5-072	180-0-0
5-222	180-0-0
6-188	180-0-0
7-013	180-0-0
7-062	180-0-0
5-048	180-90-0
5-088	180-90-0
7-085	180-90-0
8-055	180-90-0
L18-005	180-90-0
6-012	90-180-0
6-108	90-180-0
8-011	90-180-0
8-038	90-180-0
L04-006	90-180-0
6-041	0-180-50
6-081	0-180-50
6-129	0-180-50
6-148	0-180-50
7-021	0-180-50
5-084	0-0-0
5-151	0-0-0
5-168	0-0-0
5-184	0-0-0
7-139	0-0-0

Tercer grupo. Individuos quemados (Q) de un año y dos años

Esta comparación se realizó para saber si el contenido nutrimental del rebrote de *Juniperus deppeana* cambia con la edad. En este factor, el contraste se desarrolló entre planta de diferente edad, además de incluir el IDB.

Se evaluaron individuos del polígono dos. La selección de brinzales fue dirigida para evitar tomar la misma muestra más de una vez con los dos grupos anteriores. Todos los individuos presentaron una clasificación muy severa de daño por el incendio. Presentaron la categoría más alta de rebrote en la última evaluación (tres). Se tomaron cinco repeticiones por bloque de edad, dando un total de 10 muestras foliares.

Los 10 individuos seleccionados, mostraron mayor incremento en diámetro en un año en planta de uno y dos de edad. Es importante mencionar que los árboles de dos años no presentaron tratamiento de fertilización.

Cuadro 6. Relación de brinzales seleccionados para análisis foliar en grupo comparativo de edad.

Clave del árbol	Edad (años)**
6-028	1
6-115	1
6-135	1
7-080	1
7-129	1
5-108	2
5-120	2
5-129	2
5-252	2

Clave del árbol	Edad (años)**
6-001	2

*El incremento en diámetro en un año. **Edad al momento de plantarlos.

Muestras de follaje de rebrote

Las muestras de rebrote se colectaron el 22 de noviembre de 2019. Para cada muestra se seleccionó el follaje de rebrote disponible en la base o en la copa del brinjal o del tercio superior, cuando fuera posible. Las muestras se etiquetaron por número de árbol y se separaron por grupo de evaluación. El follaje se secó a una temperatura constante de 72°C en una estufa eléctrica por 72 horas. Las muestras se enviaron al laboratorio Salvador A. Blanco del Colegio de Postgraduados, en el Campus Montecillo para la determinación de los elementos N, P, K, Ca, Mg y S. La concentración de N se determinó en el tejido vegetal seco y molido usando 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 HNO₃:HClO₄ (2:1, v:v) de tejido vegetal seco y molido, usando un espectrofotómetro de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES 725 Series, Agilent), de acuerdo a lo descrito por Alcántara y Sandoval (1999).

Análisis estadístico

Con los datos obtenidos se estimó la comparación de medias a través de una prueba de t de Student del contenido nutrimental del follaje. Todos los análisis estadísticos se procesaron en el software estadístico R (R Core Team, 2018).

IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis preliminares

4.1.1. Contenido nutrimental del follaje previo a la fertilización.

En el análisis preliminar del follaje (Cuadro 7) mostró que el promedio de niveles de N, P, Ca y S de los brinzales de la plantación son menores que el contenido nutrimental del árbol adulto nativo de la zona. El Mg muestra valores casi similares en los dos casos. El porcentaje medio de K mostró un valor mayor en la plantación que comparado con el árbol adulto. Sin embargo, la concentración de K en el follaje del árbol adulto fue de aproximadamente 56% de la concentración de nitrógeno, que es un valor esperado en especies forestales (Binkley, 1993). En la plantación, la concentración de K es alta si se considera que es superior al 100% de la concentración de nitrógeno. Estos valores relacionados al K pueden sugerir en primera instancia suficiente abastecimiento de K para el crecimiento de *Juniperus deppeana*, en el área de estudio.

Cuadro 7. Contenido nutrimental del follaje de los individuos de *Juniperus deppeana* en la plantación antes de la fertilización.

Muestra compuesta	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	S %
5-114,5-112	0.88	0.24	1.06	1.28	0.41	0.13
5-196,5-159	1.26	0.42	1.32	1.58	0.56	0.18
5-208,5-120	0.88	0.30	1.27	1.82	0.50	0.14
6-137,6-184	0.88	0.23	1.33	1.75	0.48	0.14
7-013,7-014	0.81	0.25	1.15	1.17	0.58	0.15
7-081,7-083	0.84	0.23	1.00	1.33	0.34	0.12

Muestra compuesta	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	S %
L18-7,L18-5	0.84	0.18	0.74	1.25	0.44	0.12
8-047,8-045	0.84	0.22	0.95	1.71	0.39	0.13
8-053,8-062	1.09	0.30	1.33	1.39	0.46	0.17
L17-12,L18-11	0.95	0.26	0.81	1.77	0.55	0.18
Promedio	0.92	0.26	1.10	1.51	0.47	0.15
Árbol adulto nativo	1.575	0.31	0.88	1.99	0.46	0.31

El valor promedio del S también es menor en la plantación y se esperaba que la fertilización con sulfato de amonio y sulfato de potasio incrementaran estos valores.

4.1.2. Afectación por incendio

El incendio afectó a todos los brinzales del polígono dos. En la Figura 13 se observa la distribución de los brinzales que sufrieron un daño moderado o un daño severo y en la Figura 14^a se muestra una imagen tomada pocos días después del incendio. Se aprecia que la mayor afectación se registró en la zona oriente y a mayor altura del polígono. Con esta referencia y la observación en campo se estimó que el incendio se originó en el oriente y en la parte alta de la montaña y tuvo una trayectoria hacia el poniente y a la parte más baja. También se observa en la Figura 13 que los brinzales con menor daño se encuentran en el desnivel de la terraza. Este desnivel debió haber amortiguado físicamente la afectación del incendio. Los individuos del polígono uno no presentaron ninguna afectación debido a que el camino principal que separa ambos polígonos, sirvió como brecha cortafuego (Figura 14b). A partir del modelo generado por Rodríguez-Trejo

et al., (2019) y con los datos tomados del diámetro basal de los árboles afectados, se puede estimar que el fuego alcanzó una altura promedio de 2 metros. El principal combustible fue el zacate o pasto que se encontraba dentro de la plantación.

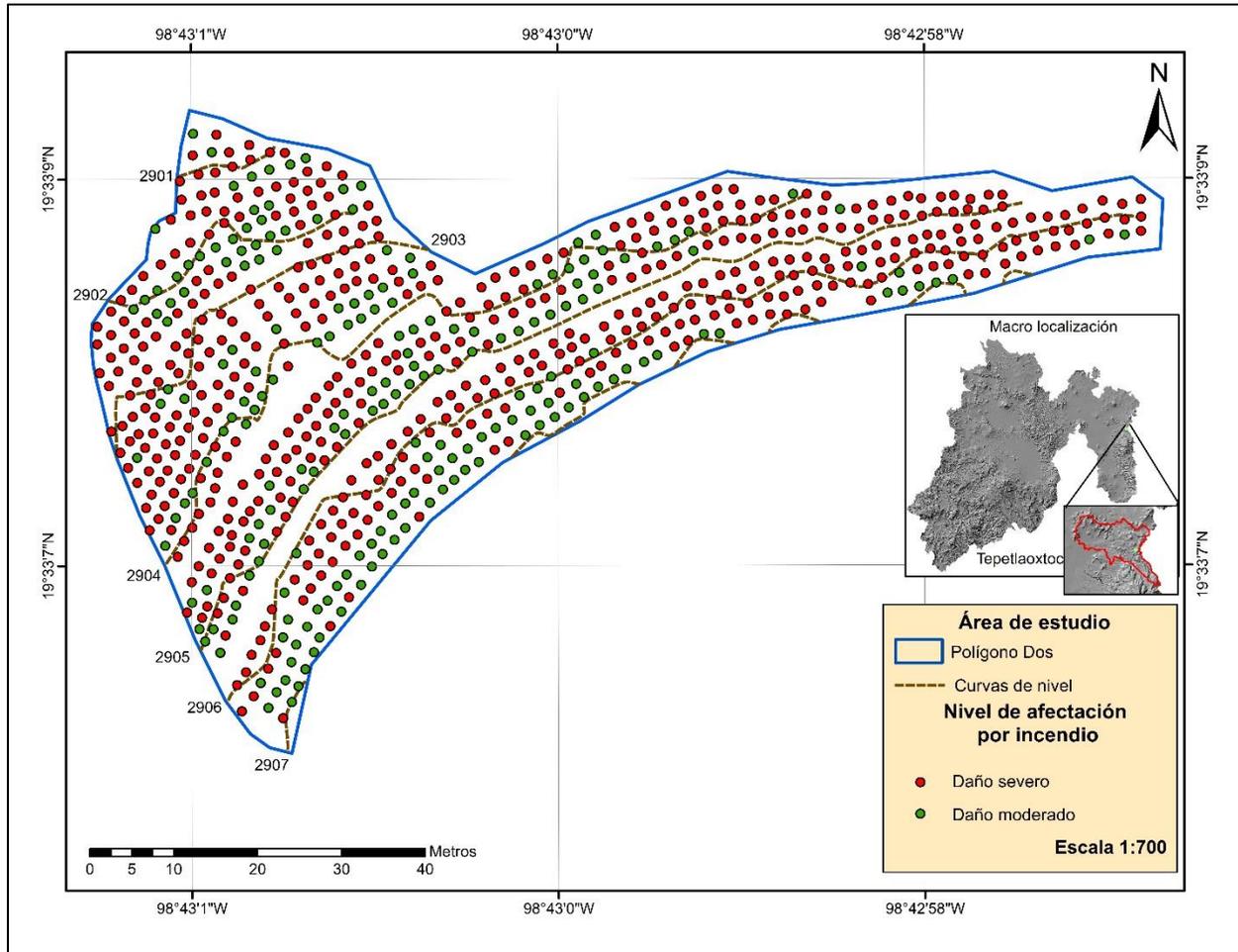


Figura 13. Distribución espacial de la afectación por incendio en la plantación de *Juniperus deppeana*.

a)

b)



Figura 14. a) Afectación del incendio en el polígono dos. b) efecto del camino como brecha cortafuego.

El incendio impactó a un total de 708 brinzales en el polígono dos. De éstos, 203 árboles mostraron daño moderado. Estos árboles presentaban cicatrices de fuego en el follaje, tallo o ramas (Figura 15a). El fuego ocasionó daños severos a 505 árboles, el 71%. Los árboles de esta clasificación presentaron un daño total al follaje. En algunos casos el daño fue tan grande que solo quedó en pie el tallo (Figura 15b) y en casos extremos se consumió la totalidad el árbol.

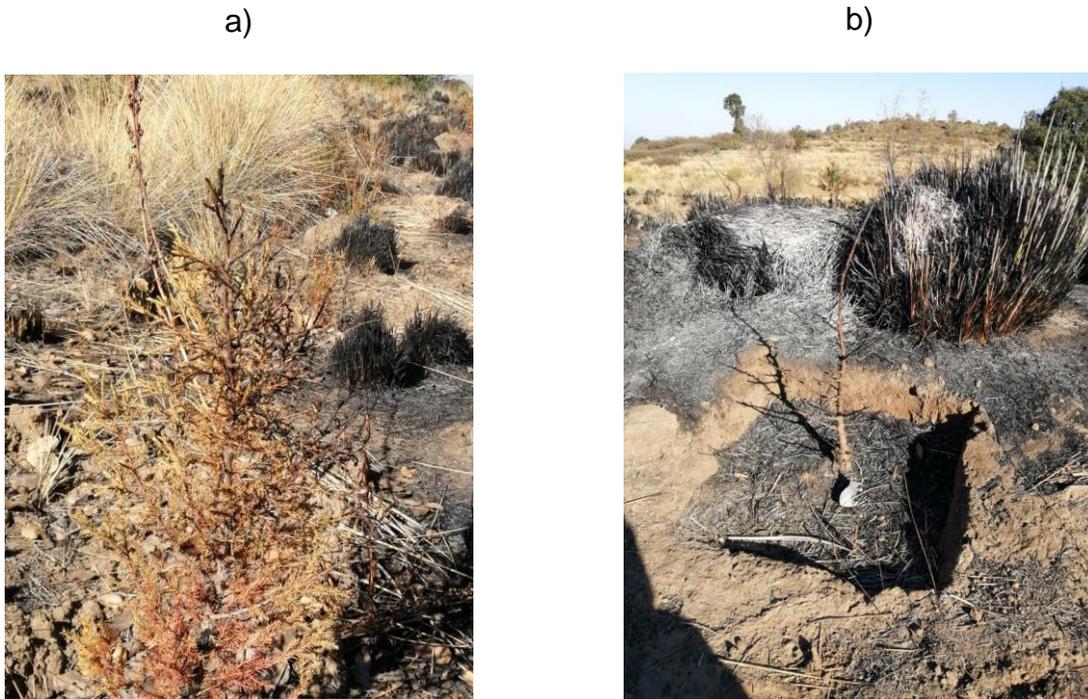


Figura 15. a) efecto moderado del incendio. b) efecto severo del incendio en *Juniperus deppeana*

4.2. Efecto de la fertilización

4.2.1. Diámetro basal y altura total en febrero 2019.

Diámetro a la base

El resultado del análisis de varianza (ANOVA) no mostró diferencias significativas entre las medias de los tratamientos para los datos de diámetro a la base del suelo tomado en febrero de 2019 (Cuadro 8).

Cuadro 8. Análisis de varianza para el diámetro a la base del suelo en febrero 2019 por experimento de fertilización en *Juniperus deppeana*.

Tratamiento	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Valor de F	Pr > F
Nitrógeno	2	21.98	0.7870	0.46
Fósforo	2	8.99	0.3217	0.73
Potasio	1	8.96	0.6413	0.43
Nitrógeno*Fósforo	4	35.78	0.6404	0.64
Nitrógeno*Potasio	2	35.36	1.2658	0.29
Fósforo*Potasio	2	39.86	1.4269	0.25
Nitrógeno*Fósforo*Potasio	4	48.19	0.8627	0.49
Residuales	90	1,256.89		
Total	107	1,456.01		

A pesar de que no se presentaron resultados estadísticamente significativos de la fertilización en el diámetro a la base del suelo, en la Figura 16 se observa que, al ordenar los datos de mayor a menor diámetro, los tratamientos 90-90-50 y 90-180-50 se posicionaron en los primeros lugares. Lo que tienen en común ambos tratamientos es su asociación a las dosis más altas empleadas en este experimento.

Los tratamientos 180-0-50 y 90-90-0, que no presentan P o K se ubican jerárquicamente debajo del diámetro que corresponde al tratamiento testigo 0-0-0. Aunque no se puede demostrar estadísticamente la superioridad de un tratamiento, los resultados sugieren la realización de otras pruebas con niveles más altos de N y P, sobre todo considerando que la sinergia positiva de ambos elementos es alta en la nutrición de plantas.

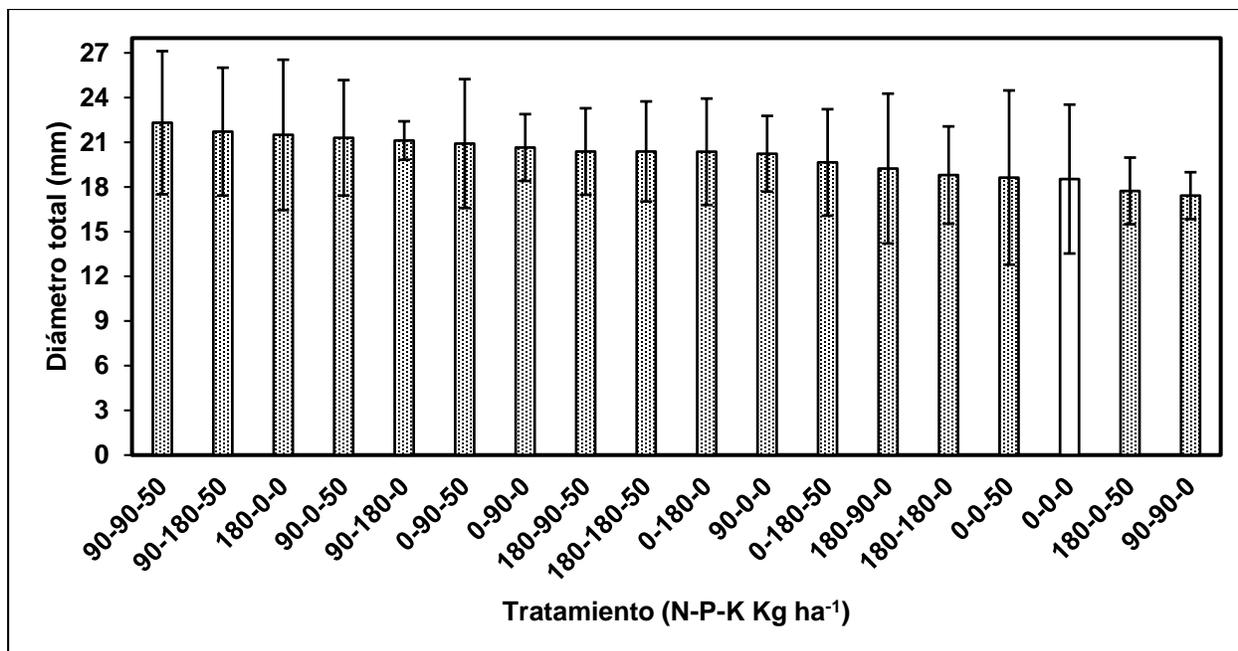


Figura 16. Diámetro a la base promedio de *Juniperus deppeana* por tratamiento aplicado. La barra en blanco corresponde al testigo. Las líneas indican la desviación estándar.

Altura total

Con relación a la altura total medida en febrero de 2019, el análisis de ANOVA muestra que existe un efecto significativo por la fertilización de K y N ($P < 0.1$) (Cuadro 9). Esto sugiere que el K es un nutriente relevante para el desarrollo en altura de brinzales de *Juniperus deppeana*. Sin embargo, este resultado no es consistente al ordenar de mayor a menos los tratamientos.

Cuadro 9. Análisis de varianza para la altura total en febrero 2019 por experimento de fertilización en *Juniperus deppeana*.

Tratamiento	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Valor de F	Pr > F
Nitrógeno	2	625.0	2.5124	0.09
Fósforo	2	109.1	0.4388	0.65
Potasio	1	603.5	4.8520	0.03*
Nitrógeno*Fósforo	4	563.6	1.1327	0.35
Nitrógeno*Potasio	2	91.1	0.3662	0.70
Fósforo*Potasio	2	35.4	0.1424	0.87
Nitrógeno*Fósforo*Potasio	4	107.4	0.2159	0.93
Residuales	90	11,194.3		
Total	107	13,329.4		

En la Figura 17 se observa que en el tratamiento 90-0-0 tuvo una altura total mayor. El tratamiento testigo 0-0-0 se colocó justo en el centro de la gráfica. Esto puede indicar que la aplicación de nutrientes, de manera individual o en combinación y la dosis aplicada, puede tener un efecto positivo o negativo en la altura total de *Juniperus deppeana* en la plantación. La altura promedio menor se presentó en el tratamiento 0-0-50, lo que tampoco concuerda con el efecto significativo del K en el Cuadro 9.

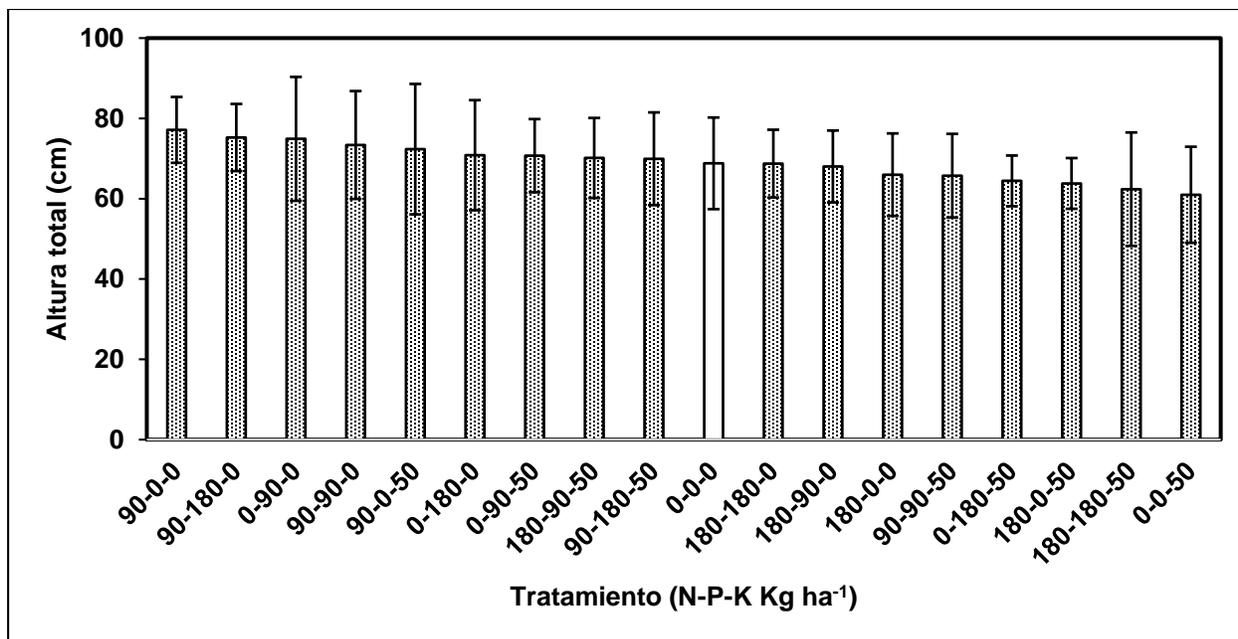


Figura 17. Altura total de *Juniperus deppeana* por tratamiento aplicado. La barra blanca corresponde al testigo. Las líneas indican a la desviación estándar.

4.2.2. Incremento en el diámetro basal y altura total.

Incremento de diámetro basal.

El análisis de varianza (ANOVA) para el IDB entre junio de 2018 y febrero de 2019 no mostró efectos significativos por la aplicación de nutrientes de manera individual (Cuadro 10). En el caso de la combinación N*P*K mostró una diferencia estadística $Pr < 0.06$.

Cuadro 10. Análisis de varianza para el incremento del diámetro a la base por experimento de fertilización de *Juniperus deppeana*.

Tratamiento	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Valor de F	Pr > F
Nitrógeno	2	58.46	1.5606	0.22
Fósforo	2	9.16	0.2447	0.78
Potasio	1	14.35	0.7663	0.38
Nitrógeno*Fósforo	4	117.45	1.5678	0.19
Nitrógeno*Potasio	2	14.21	0.3793	0.69
Fósforo*Potasio	2	11.26	0.3006	0.74
Nitrógeno*Fósforo*Potasio	4	174.45	2.3287	0.06
Residuales	90	1,685.55		
Total	107	2,084.89		

Los dos tratamientos que mostraron mayor IDB (Figura 18) tienen en común la dosis más alta de N (180 kg ha^{-1}). En ambos casos no se aplicó K, los tres tratamientos con menor incremento fueron el testigo y los que incluían aplicación de 50 Kg ha^{-1} .

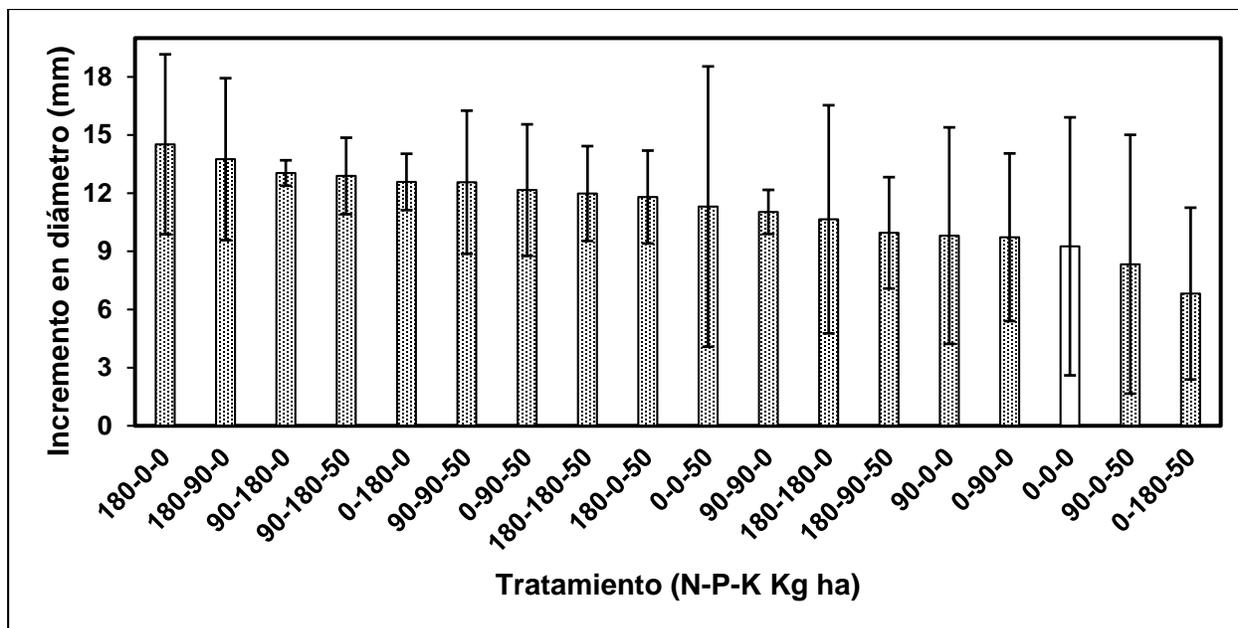


Figura 18. Incremento en diámetro a nivel del suelo de *Juniperus deppeana* por tratamiento aplicado. La barra blanca corresponde al testigo. La línea indica la desviación estándar.

Efecto del Nitrógeno. Fósforo y Potasio

La dosis de 180 kg ha⁻¹ se asoció con mayor IDB (Figura 19). A pesar de no mostrar una diferencia estadística entre las dosis de N, se observa una tendencia de aumento en el IDB con el aumento en la dosis de fertilización. Esto es un indicativo de que el N aplicado en mayores dosis resulta beneficioso en el IDB brinzales de *Juniperus deppeana*.

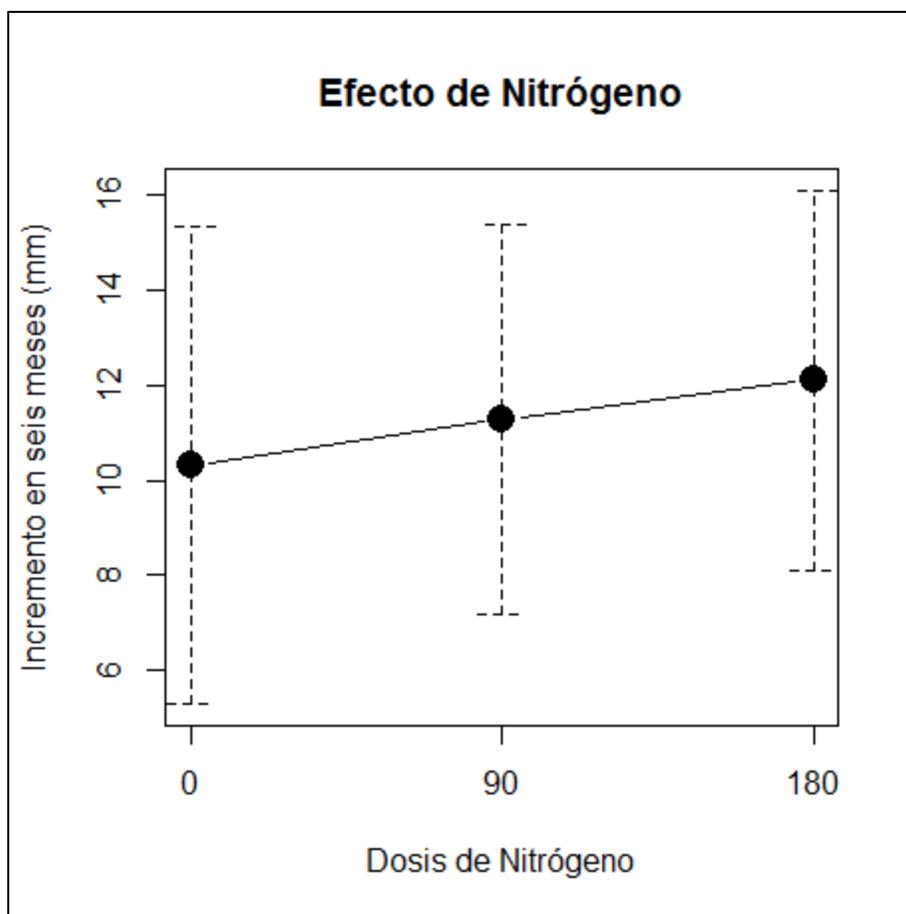


Figura 19. Efecto de la dosis de N en el IDB en brinzales de *Juniperus deppeana* de dos años de edad. La barra de error indica la desviación estándar. Los números bajo las barras indican las cantidades de N aplicado Kg ha⁻¹.

A diferencia del N, el P no presentó un efecto positivo lineal. La dosis de 90 kg ha⁻¹ produjo un mayor IDB. La dosis de 180 kg ha⁻¹ muestra una media mayor que la del testigo 0 kg ha⁻¹ pero menor a la anterior. La Figura 20 muestra que a pesar de la diferencia entre medias, las 3 dosis cuentan con individuos con IDB mayor a los 12 mm, por lo cual no existe una diferencia estadística entre dosis de fertilización.

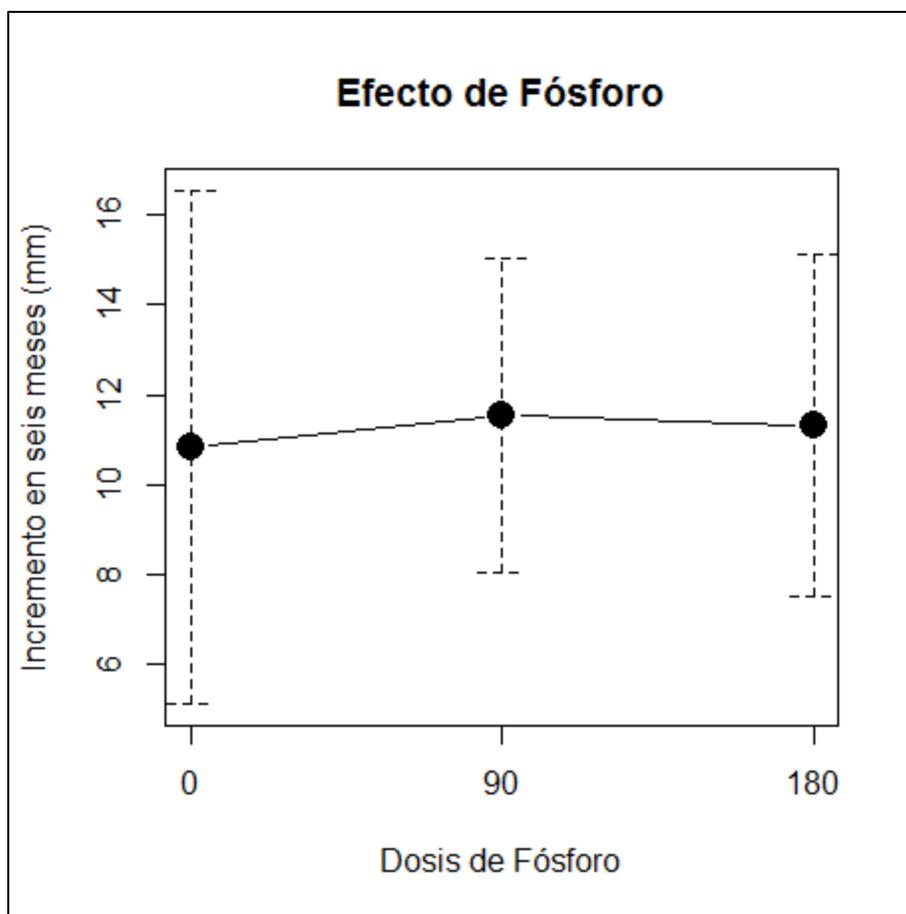


Figura 20. Efecto de la dosis de Fósforo en el IDB en brinzales de *Juniperus deppeana* de dos años de edad. La barra de error indica la desviación estándar. Los números bajo las barras indican las cantidades de P aplicado (Kg ha⁻¹).

La fertilización con K no mostró efecto positivo en el IDB (Figura 21), contrariamente, la dosis de 50 kg K ha⁻¹ resultó en efecto negativo. Con estos valores y con el resultado del análisis foliar preliminar (Cuadro 7), se deduce que la fertilización con K no fue positiva ni necesaria su aplicación a los brinzales de *Juniperus deppeana* de la plantación. Aunque no se tiene una explicación completa de este resultado, la adición de K produjo efecto negativo similares al registrado por Balám-Che *et al.* (2015) en una plantación de

Teca. Sin embargo, al tener sola una dosis de fertilización para K, no es preciso dar una conclusión acertada si el IDB es menor al incrementar la dosis de K.

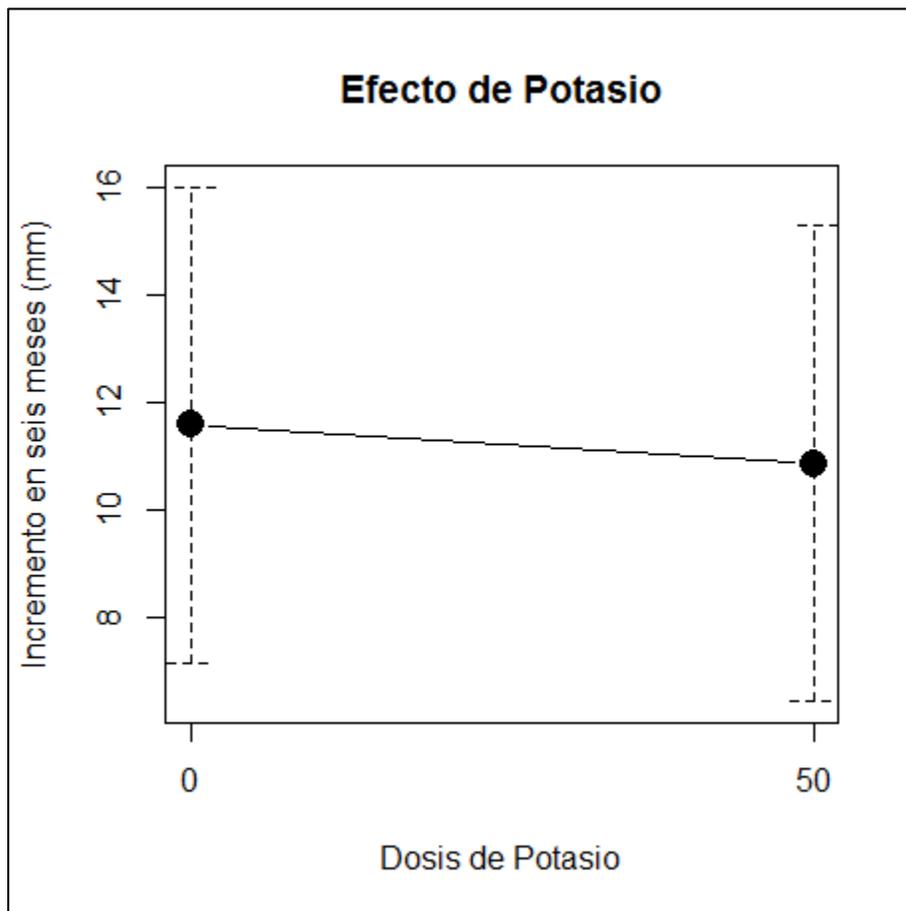


Figura 21. Efecto de la dosis de K en el IDB en brinzales de *Juniperus deppeana* de dos años de edad. Las barras de error indican la desviación estándar. Los números bajo las barras indican las cantidades de K aplicado (Kg ha⁻¹).

Incremento en altura total

El IA no presentó diferencias significativas en la interacción de los nutrientes. Sin embargo de los efectos simples, el P presentó una diferencia estadística ($Pr < 0.07$) (Cuadro 11). Este podría ser un indicativo de que el P es un nutriente determinante en

el IDB en los brinzales de la plantación. Los resultados sugieren que en suelos volcánicos como el del área de estudio, el P es un elemento importante para las especies forestales.

Cuadro 11. Análisis de varianza para el incremento de altura total por experimento de fertilización de *Juniperus deppeana*.

Tratamiento	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Valor de F	Pr > F
Nitrógeno	2	89.8	0.6775	0.51
Fósforo	2	361.4	2.7270	0.07*
Potasio	1	2.3	0.0349	0.85
Nitrógeno*Fósforo	4	128.1	0.4833	0.75
Nitrógeno*Potasio	2	74.7	0.5634	0.57
Fósforo*Potasio	2	199.3	1.5042	0.23
Nitrógeno*Fósforo*Potasio	4	512.4	1.9335	0.11
Residuales	90	5,963.0		
Total	107	7,331.0		

El IA de los brinzales fue muy variable, el tratamiento 180-180-0 registró el incremento mayor. En la Figura 22, no se presenta el testigo y los tratamientos 90-90-50 y 90-0-50, porque que la varianza fue tan alta que sus medias abarcan la parte negativa de la escala. Esto de ninguna manera significa que corresponde a datos negativos en crecimiento, refleja un efecto negativo en la plantación de estos tratamientos.

Sin embargo, se deben de considerar factores externos que influyeron en el incremento de la altura. La alta variación del IA es un reflejo de factores ajenos al experimento, por ataques de insectos en los brotes, por ramoneo o corte del ápice superior de fauna silvestre. En la plantación se encontraron rastros directos de como excrementos de

conejos o liebres. Los árboles al ser individuos jóvenes, producen follaje “fresco” en el ápice final, el cual es aprovechado como alimento por estos mamíferos. También las zonas colindantes a la plantación son dedicadas a la ganadería, ocasionando daños en los individuos.

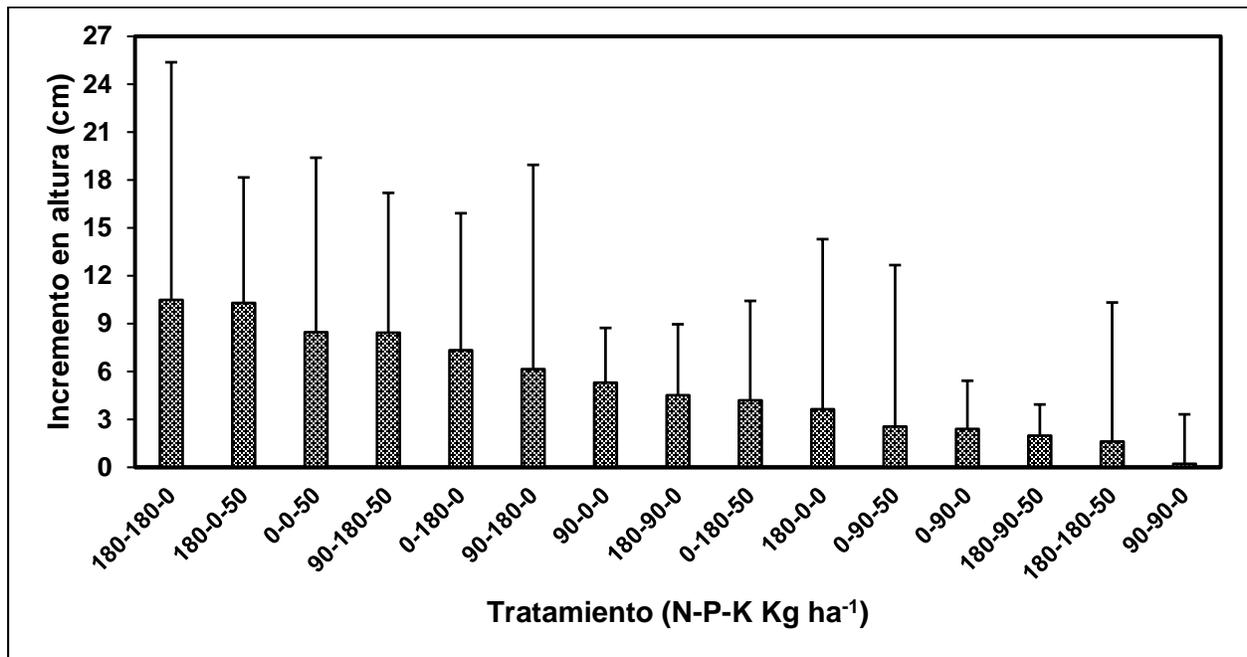


Figura 22. Incremento en altura total de *Juniperus deppeana* por tratamiento aplicado. Las líneas sobre las barras corresponden a la desviación estándar.

Efecto del N, P y K

Las dosis de N y P mostraron un efecto similar en el IA (Figura 23, Figura 24). La dosis de 90 kg ha⁻¹ provocó un incremento menor que la dosis de 0 kg ha⁻¹. Lo anterior es un indicativo de que la fertilización con N y P resulta negativa en la altura. Sin embargo, al aumentar la dosis el incremento en altura fue un poco mayor.

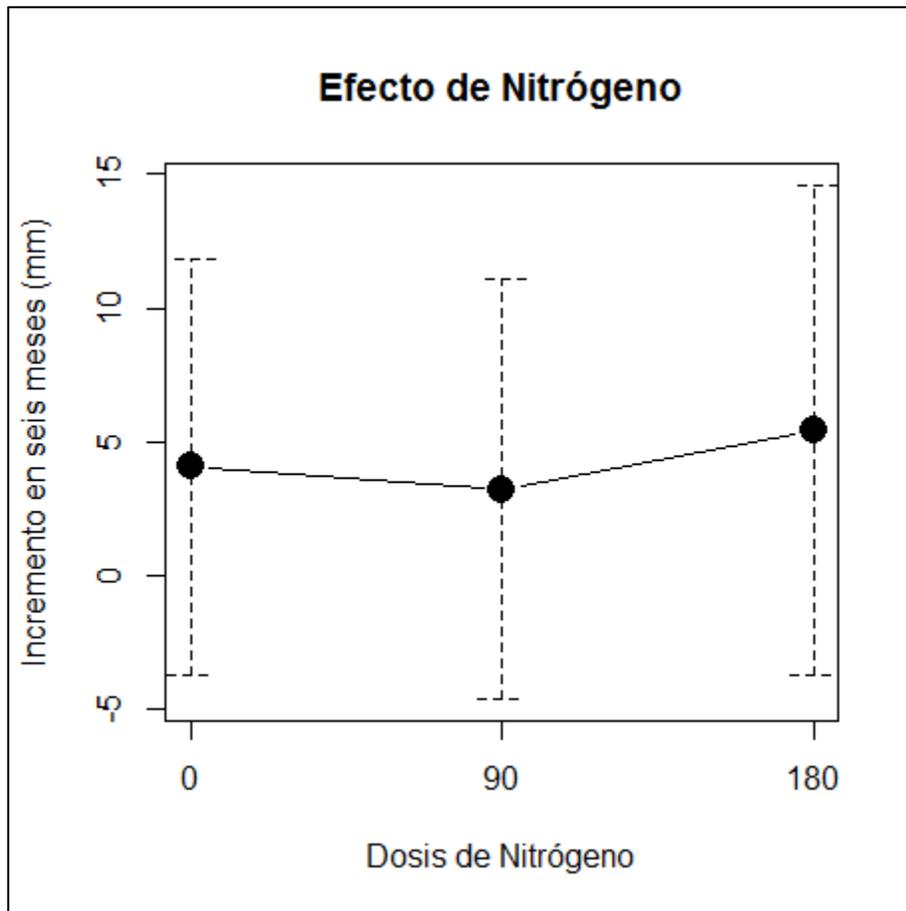


Figura 23. Efecto de la dosis de N en el IA en brinzales de *Juniperus deppeana* de dos años de edad. La barra de error indica la desviación estándar. Los números bajo la barra indican la cantidad de N aplicada en Kg ha⁻¹

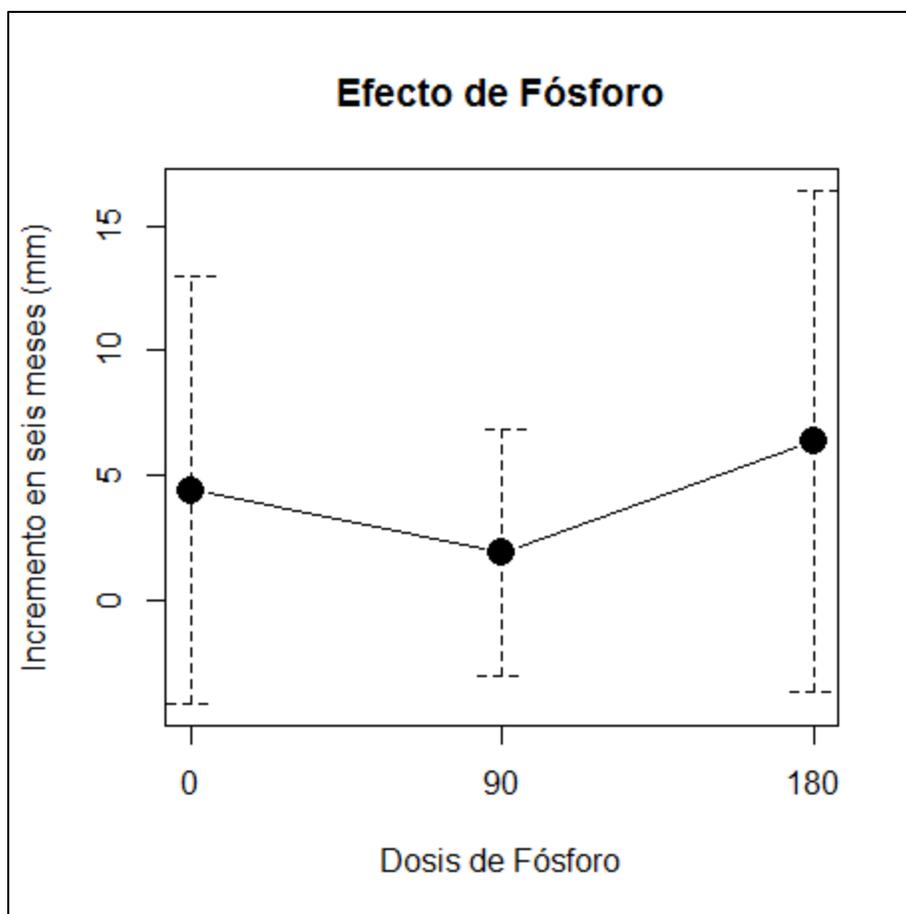


Figura 24. Efecto de la dosis de P en el IA en brinzales de *Juniperus deppeana* de dos años de edad. La barra de error indica la desviación estándar. Los números bajo la barra indican la cantidad de P aplicada en Kg ha⁻¹.

En el caso del K, prácticamente el efecto fue similar de la dosis de 50 kg ha⁻¹ y el testigo (Figura 25). Se produce el mismo fenómeno que en el IDB. La aplicación de K no indicó ningún beneficio para los brinzales de *Juniperus deppeana* de la plantación.

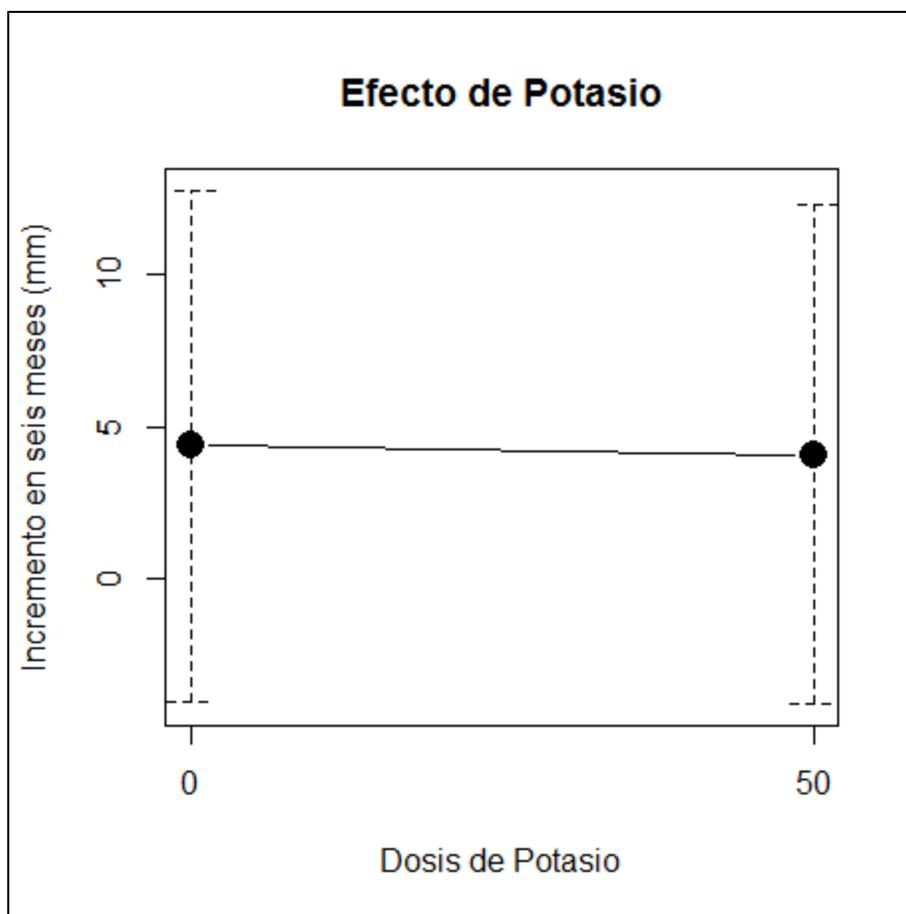


Figura 25. Efecto de la dosis de K en el IA en brinzales de *Juniperus deppeana* de dos años de edad. La barra de erros indica la desviación estándar. Los números bajo la barra indican la cantidad de K aplicada en Kg ha⁻¹.

En general, la fertilización con N-P-K no reflejó un efecto positivo en el IA de *Juniperus deppeana*. Este resultado está relacionado y condicionado directamente por el intervalo de tiempo de seis meses entre la toma de datos inicial y la toma final. Al ser un intervalo de tiempo corto, no se puede determinar el efecto total en el incremento de diámetro a la base del suelo y altura total. El tiempo entre mediciones se debió al incendio que se presentó en la zona de estudio y a la afectación directa que generó en los árboles de *J. deppeana* que se habían fertilizado.

Otro factor determinante fue el tipo de fertilizante aplicado, ya que se ha observado en trabajos que los fertilizantes de liberación prolongada, en especies *Pinus*, producen incrementos en diámetro y altura mayores en comparación con fertilizantes tradicionales de uso agrícola e hidrosolubles como los utilizados en este ensayo (Reyes-Millalon *et al.*, 2018).

4.3 Incremento en diámetro a la base, altura y supervivencia de brinzales de *Juniperus deppeana* de uno y dos años de edad

4.3.1 Polígono no quemado (NQ)

Incremento del diámetro a la base

El primer IDB se estimó entre la primera medición (junio de 2018) y la segunda medición (mayo 2019) pasando un total de un año. En este periodo existió una diferencia estadística significativa en los individuos del polígono uno ($P < 0.0001$). El IDB fue mayor en los brinzales de dos años de edad. Su media fue de 7.79 mm y en los brinzales de un año de edad fue de 2.83 mm en este periodo. (Cuadro 12).

El IDB final se registró entre la primera medición (junio 2018) y la última medición (septiembre 2019) abarcando un intervalo de 476 días transcurridos. La media del grupo de un año de edad fue de 4.79 mm y del grupo de dos años de edad fue de 10.83 mm (Cuadro 12). Al igual que en el primer periodo, existe una diferencia estadística muy grande entre los dos grupos favoreciendo a los brinzales de dos años ($P < 0.0001$).

Cuadro 12. Incremento en diámetro a la base en brinzales de *Juniperus deppeana* no quemados (NQ) en dos intervalos de tiempo

Grupo de Árboles por edad	Incremento en Diámetro a la base		
	Media (mm)	Mediana (Rango Intercultilico) mm	P-valor*
Un año (después de un año)	2.83	2.77 (1.55-3.82)	<0.0001
Dos años (después de un año)	7.79	8.26 (4.54-10.91)	
Un año (después de 476 días)	4.79	4.7 (2.8-6.4)	<0.0001
Dos años (después de 476 días)	10.83	11.38 (6.8-14.0)	

*P-valor test Mann Whitney

Las diferencias entre ambos periodos indican que los brinzales con dos años de edad presentan un IDB mayor a los brinzales de solo un año de edad.

Incremento en altura total

En el periodo de un año la diferencia entre grupos fue de solo 1.35 cm. Después de 476 días la diferencia fue de solo 0.9 cm (Cuadro 13). El incremento en altura no mostró diferencias estadísticas entre las dos edades de brinzales ($P < 0.29$; $P < 0.63$). Sin embargo, los brinzales de dos años de edad registraron un IA mayor que los brinzales de un año en ambos periodos.

Cuadro 13. Incremento en altura total de brinzales de *Juniperus deppeana* no quemados (NQ) en dos intervalos de tiempo

Grupo de Árboles por edad	Incremento en Altura Total		
	Media (cm)	Mediana (Rango Intercultilico)	P-valor*
Un año (después de un año)	5.39	4.5 (1-9)	0.29
Dos años (después de un año)	6.74	7 (2.6-11.5)	
Un año (después de 476 días)	10.5	10.2 (4.0-16.2)	0.63
Dos años (después de 476 días)	11.4	11 (4-15.9)	

*P-valor test Mann Whitney

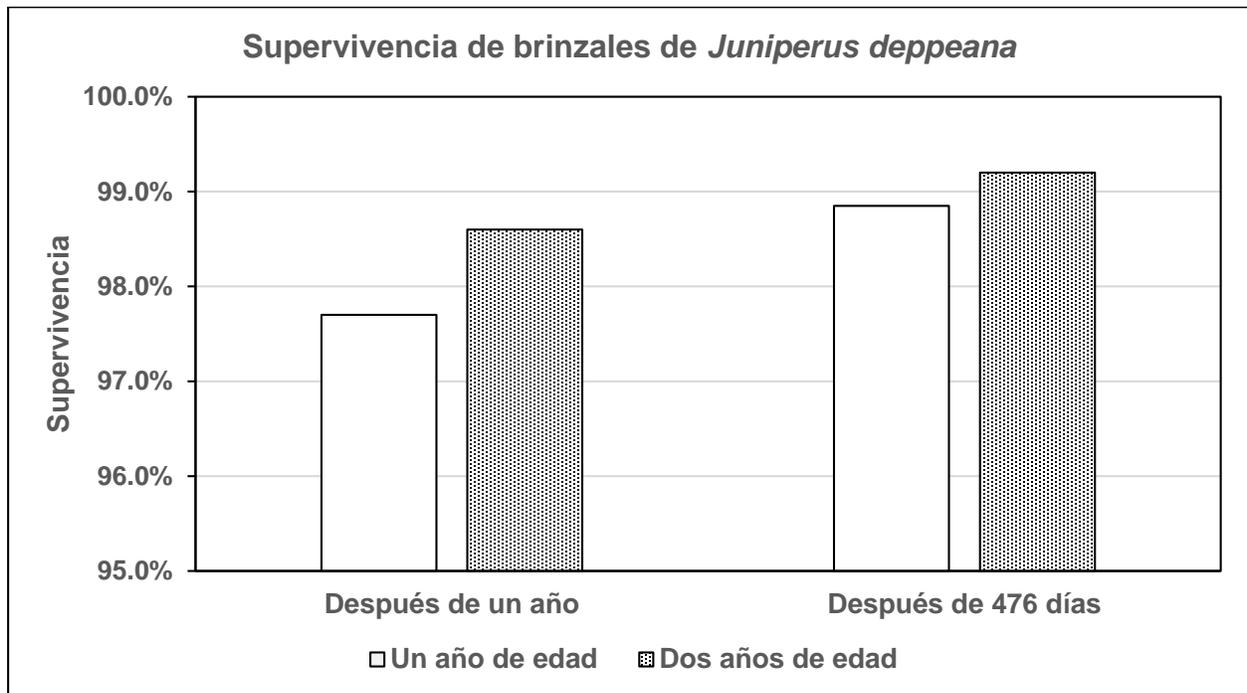
Estos valores indican que la edad de los brinzales no influyen directamente en el IA en campo de *Juniperus deppeana*.

Supervivencia

A pesar de que se plantaron más individuos de dos años en este polígono (262) que de un año (143), los porcentajes de supervivencia en brinzales no quemados (NQ), no muestran diferencia entre los dos grupos de edad (Figura 26). Independientemente de la edad del brinzal, se obtuvo una supervivencia mayor al 98% en ambos grupos después de 476 días. El porcentaje de supervivencia es mayor al promedio del género *Pinus*

utilizado en México para fines de reforestación (Escobar-Alonso and Rodríguez-Trejo 2019), indicando la capacidad de establecimiento y lo rustico de los árboles de *Juniperus deppeana*.

Figura 26. Supervivencia de brinzales de *Juniperus deppeana* no afectados por incendio



4.3.2. Polígono quemado (Q)

En el polígono dos los valores de altura y la supervivencia se vieron afectado por el incendio. A pesar de este disturbio, se observó que los valores de IDB no fueron afectados negativamente.

Incremento del diámetro a la base

El IDB de los brinzales afectados por el incendio presentó una distribución muy similar a la de brinzales no afectados. Después de un año, se presentó una diferencia estadística ($P < 0.0001$) superior en los árboles de dos años de edad (Cuadro 14). La diferencia estadística en el IDB se mantuvo después de 476 días ($P < 0.0001$). La media final del grupo de dos años de edad fue de 7.32 mm y de brinzales de un año fue de 3.24 mm.

Cuadro 14. Incremento en diámetro a la base en brinzales quemados entre junio de 2018 y mayo de 2019

Grupo de Árboles	Incremento en Diámetro a la base		
	Media (mm)	Mediana (Rango Intercultilico) mm	P-valor*
Un año (después de un año)	3.52	3.34 (1.69-4.96)	<0.0001
Dos años (después de un año)	7.75	8.29 (4.54-10.89)	
Un año (después de 476 días)	3.24	3.24 (1.41-4.92)	<0.0001
Dos años (después de 476 días)	7.32	7.46 (3.9-10.97)	

*P-valor test Mann Whitney

Los resultados indican que, a pesar de haber sufrido daños por incendio, los brinzales posiblemente mantuvieron un crecimiento en diámetro, bajo o se rehidrataron después de superar el estrés por incendio, al menos a nivel de la base del suelo. Llama la atención que el IDB de individuos afectados por incendio haya sido superior que brinzales no

afectados por incendio (3.52 vs 2.83 mm) en el primer año (Figura 27). Es probable que los brinzales afectados por incendio, al tener menos follaje, como estrategia de recuperación hayan concentrado sus reservas disponibles en el tallo a nivel del suelo o bien que se resultó de una rehidratación estimulada por efecto del incendio.

Estas diferencias en diámetro a la base de brinzales de uno y dos años de edad, tanto en individuos quemados (Q) o no quemados (NQ), está relacionado con la ventaja directa de mayor biomasa con la edad. Los árboles de dos años tienen un sistema radicular mayor y más desarrollado. Pasaron un tiempo mayor de acondicionamiento en vivero y el área foliar también es mayor que los árboles de un año. Esta ventaja que proporciona la edad se vio reflejada en la capacidad de adaptación a la zona de estudio con mejores condiciones fisiológicas. También se debe de considerar que a cada brinzales se le hizo un cajete de aproximadamente 60 cm de diámetro, el fuego no afectó considerablemente la actividad del cambium a nivel de suelo, por lo que la mayoría de brinzales pudieron rebrotar.

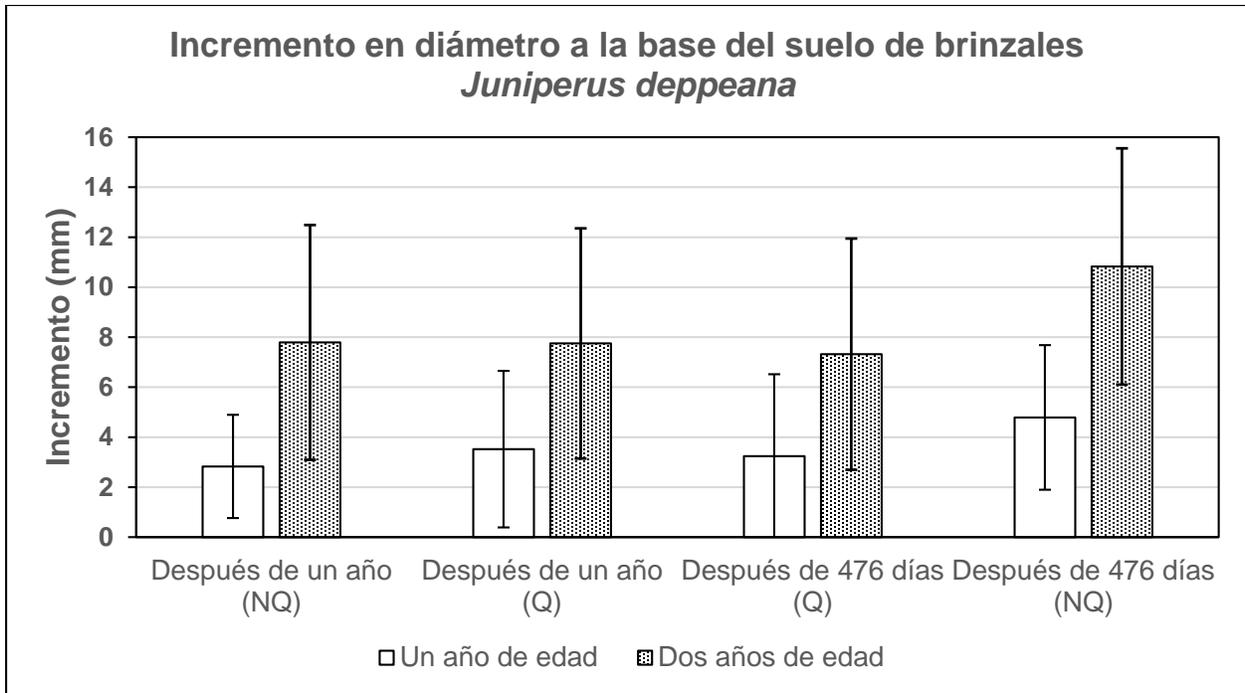


Figura 27. Incremento en diámetro a la base del suelo de brinzales de *Juniperus deppeana* en diferente tiempo. Las líneas indican la desviación estándar.

Incremento en altura total

El análisis en IA para este polígono, no puede reflejar realmente el efecto de edad. Los valores registrados mostraron valores negativos por la destrucción. Ocasionando que la prueba estadística no muestre valores lógicos o reales.

4.4. Efecto de la fertilización y de la edad en el rebrote y contenido nutrimental foliar de brinzales *Juniperus deppeana* post-incendio

4.4.1. Rebrote de brinzales de *Juniperus deppeana* post-incendio.

Primera evaluación de rebrote.

En el Cuadro 15 se observa la comparación del nivel de rebrote. En el rebrote nulo fueron 86 brinzales de un año y 68 de dos años de edad. En el nivel de rebrote alto se contabilizaron 84 brinzales de uno año y 137 de dos años. En la Figura 28 se observa que en la parte oriente del polígono dos se encuentran los brinzales con un nivel de rebrote bajo o nulo. Los niveles más altos de rebrote se ubican en la parte occidente y cerca del bordo de desnivel que delimita las terrazas.

Cuadro 15. Primera evaluación de rebrote post-incendio de brinzales de *Juniperus deppeana*

Nivel de rebrote	Número de individuos	Porcentaje
Rebrote nulo	154	21%
Rebrote bajo	131	19%
Rebrote medio	202	29%
Rebrote alto	221	31%
Total	708	100%

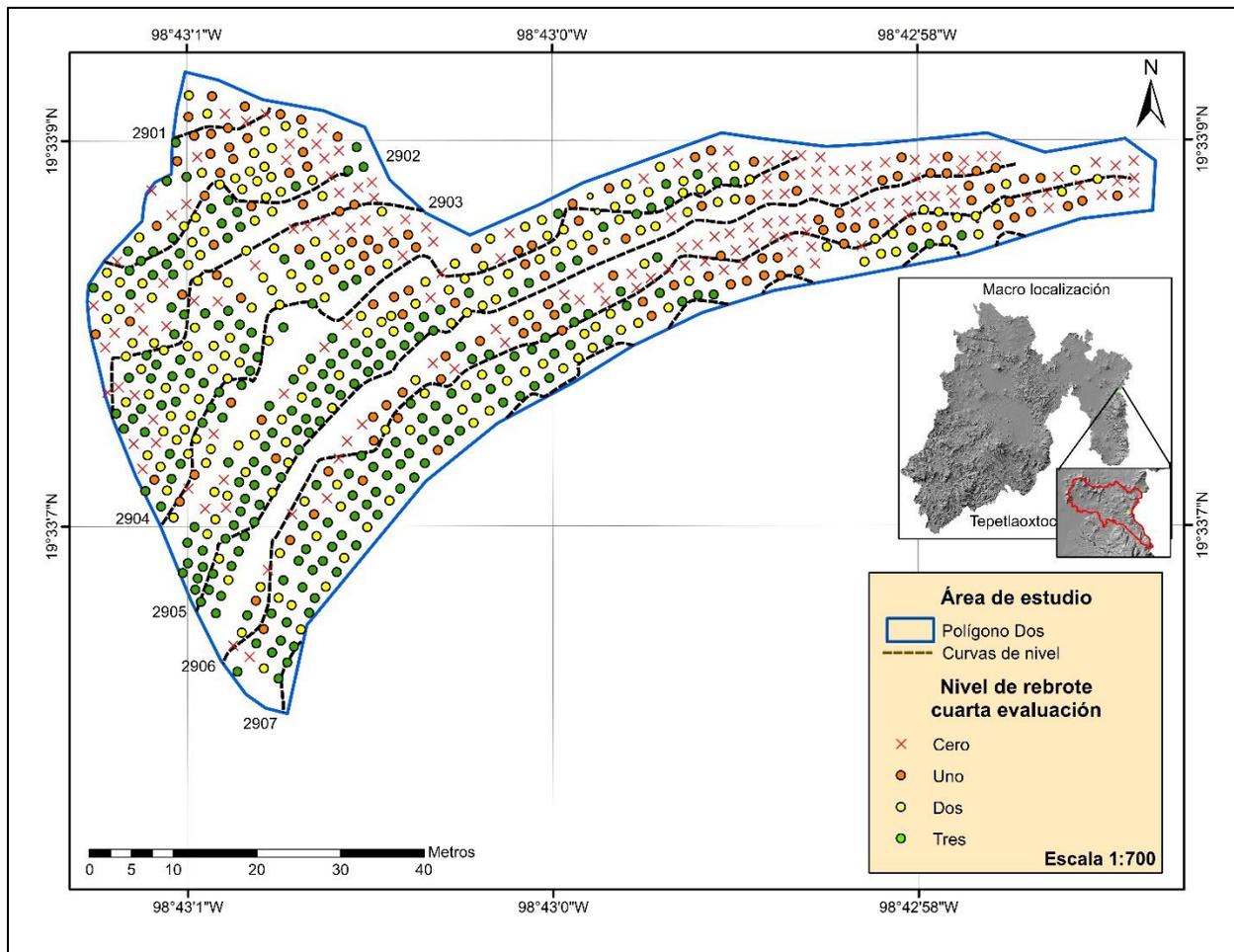


Figura 28. Ubicación espacial de los niveles de rebrote en los brinzales de *Juniperus deppeana* en la primera evaluación.

Segunda evaluación de rebrote

En la segunda evaluación se registró un aumento en el número de brinzales con rebrote (Cuadro 16). Los 348 brinzales con un nivel de rebrote mayor se localizaron en la parte occidente, principalmente en la terraza con mayor altura (Figura 29). La zona oriente sigue representando los mayores daños y menor rebrote.

Cuadro 16. Segunda evaluación de rebrote post-incendio de brinzales de *Juniperus deppeana*

Nivel de rebrote	Número de individuos	Porcentaje
Rebrote nulo	129	18%
Rebrote bajo	87	12%
Rebrote medio	144	20%
Rebrote alto	348	50%
Total	708	100%

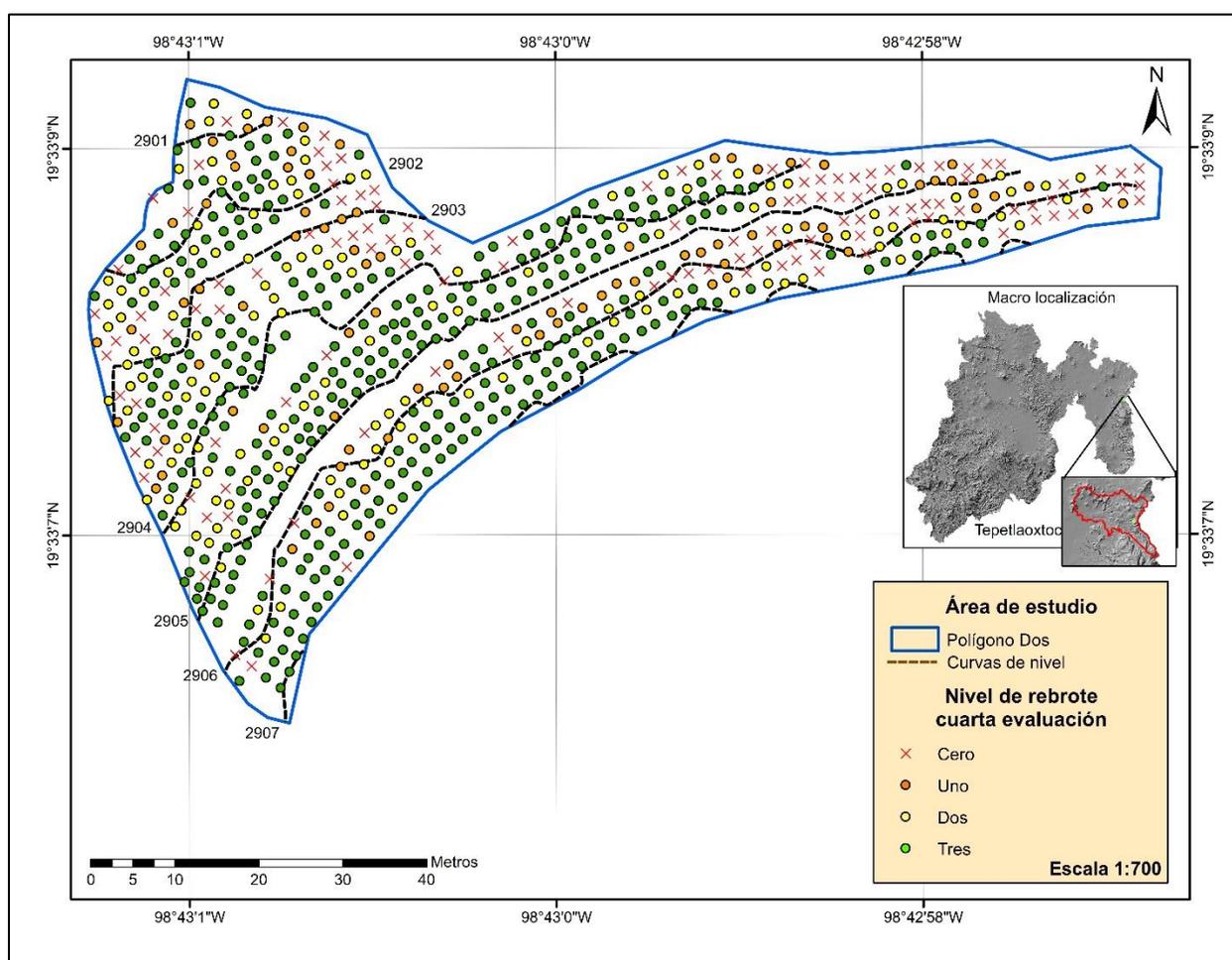


Figura 29. Ubicación espacial de los niveles de rebrote en los brinzales de *Juniperus deppeana* en la segunda evaluación.

Tercera evaluación de rebrote

En la tercera evaluación se presenta un aumento importante en el número de brinzales con un rebrote alto en la categoría tres (Cuadro 17). Se contabilizaron más del doble que se registró en la primera evaluación. En el nivel dos se presentaron una disminución de individuos. Este patrón puede considerarse lógico, porque en esta evaluación se estaba concluyendo con la temporada de lluvias y los brinzales registrados anteriormente en la categoría dos siguieron generando rebrotes desplazándose a la categoría tres. Los individuos que no presentaron ningún tipo de rebrote siguen ubicándose principalmente en la parte oriente de cada terraza (Figura 30).

Cuadro 17. Tercera evaluación de rebrote post-incendio de brinzales de *Juniperus deppeana*

Nivel de rebrote	Número de individuos	Porcentaje
Rebrote nulo	119	17%
Rebrote bajo	53	8%
Rebrote medio	67	9%
Rebrote alto	469	66%
Total	708	100

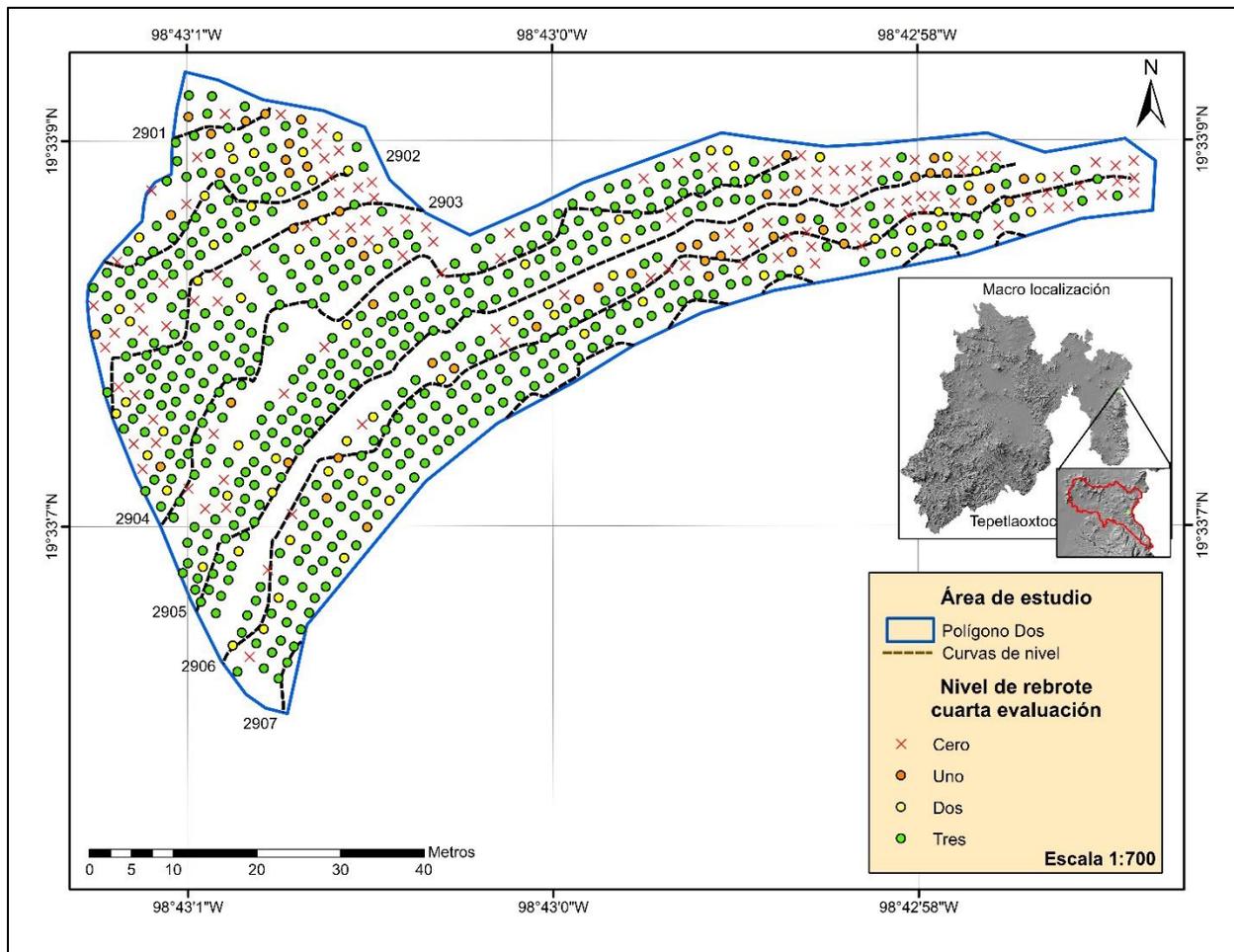


Figura 30. Ubicación espacial de los niveles de rebrote en los brinzales de *Juniperus deppeana* en la tercera evaluación.

Cuarta evaluación de rebrote

Después de transcurridos ocho meses del incendio y terminada la época de lluvias. Prácticamente se deduce que los brinzales registrados (Cuadro 18) sin rebrote en esta evaluación están muertos. Los brinzales de las dos categorías de mayor rebrote superaron los efectos negativos generados por el incendio y se ubicaron en la parte media y occidental del polígono (Figura 31).

Cuadro 18. Tercera evaluación de rebrote post-incendio de brinzales de *Juniperus deppeana*

Nivel de rebrote	Número de individuos	Porcentaje
Rebrote nulo	116	16%
Rebrote bajo	44	6%
Rebrote medio	91	13%
Rebrote alto	457	65%
Total	708	100%

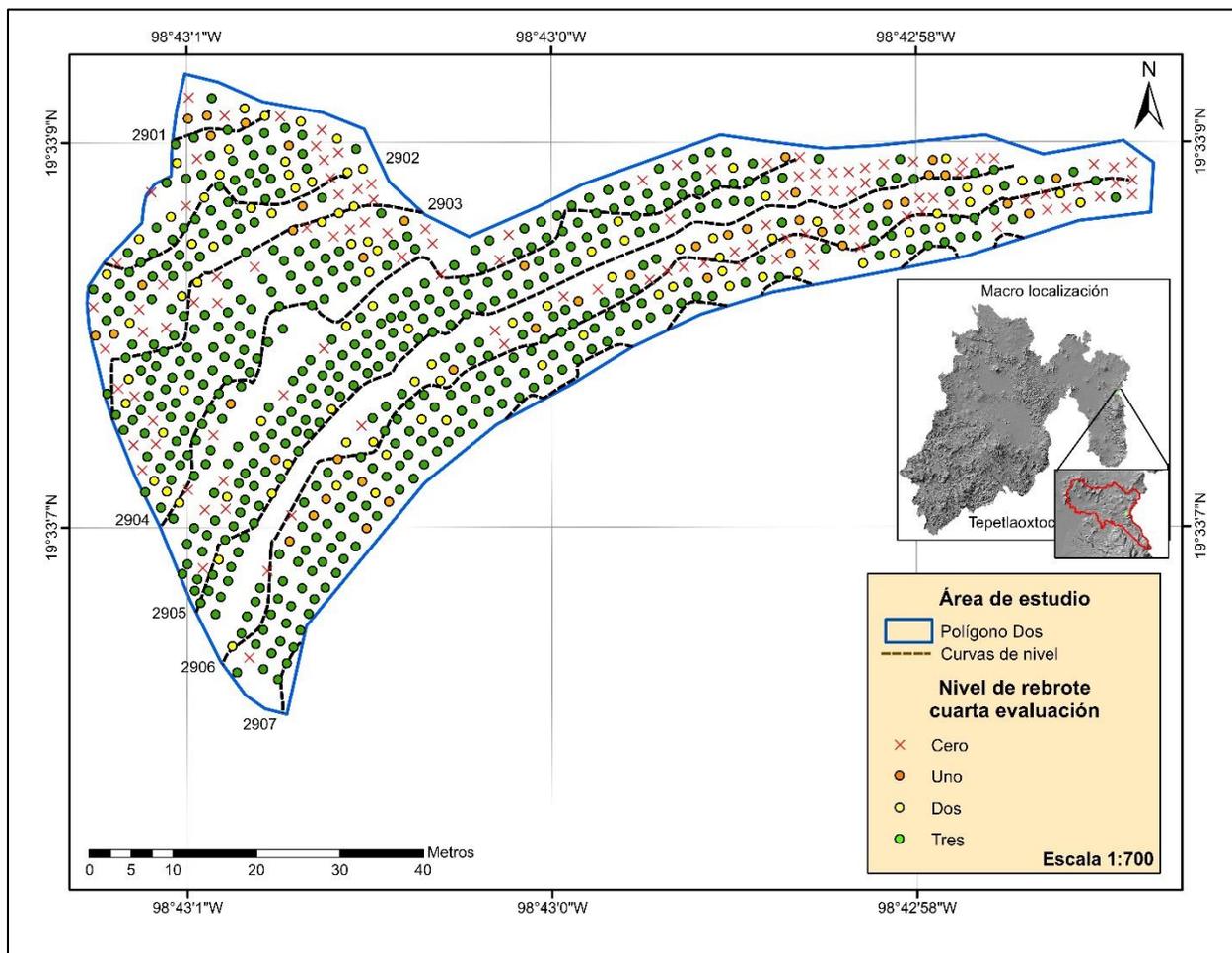


Figura 31. Ubicación espacial de los niveles de rebrote en los brinzales de *Juniperus deppeana* en la cuarta evaluación.

El 84% de todos los brinzales del polígono dos presentaron algún tipo de rebrote. Al final de la evaluación, los brinzales con rebrote se registraron en todas las zonas del polígono (Figura 31) demostrando de nuevo lo rustico y la gran capacidad de adaptabilidad de esta especie ante un incendio. Además, en esta última evaluación se registró que la mayoría de los brinzales presentaron principalmente rebrote en el tallo y en el cuello de la raíz. Este resultado concuerda con Rodríguez-Trejo *et al.* (2019), refiriéndose a que esta es una característica de *Juniperus deppeana* que le otorga una gran resistencia o tolerancia al fuego.

4.4.2. Efecto de la fertilización en el rebrote

La cuarta evaluación de rebrote permitió determinar el efecto de la fertilización en el rebrote. En el Cuadro 19 se muestra la Tabla de contingencia de doble entrada y el p-valor de Chi cuadrada. Existe una diferencia estadística con un $P < 0.8$. En este resultado se debe de considerar la diferencia de individuos entre los dos grupos que se consideraron para el análisis estadístico.

A pesar de esta diferencia, tanto en el grupo de brinzales fertilizados o no fertilizados la mayoría presentó algún tipo de rebrote y principalmente los individuos se ubicaban en el nivel más alto de rebrote. Este resultado sugieren que *Juniperus deppeana* es una especie con gran capacidad de rebrotar y garantizar su supervivencia después de sufrir daños por un incendio.

Cuadro 19. Tabla de contingencia de doble entrada y p-valor para el efecto de la fertilización en el rebrote de brinzales de *Juniperus deppeana*.

Fertilizado	Nivel de rebrote				Total (%)
	Nulo (%)	Bajo (%)	Medio (%)	Alto (%)	
Si	4 (5%)	2 (2%)	8 (9%)	72 (84%)	86 (100%)
No	35 (13%)	14 (5%)	29 (11%)	193 (71%)	271 (100%)
Total	39	16	37	265	357

p-valor Chi Cuadrada= **0.08**

4.4.3. Análisis y comparación nutrimental final del follaje

Primer grupo de evaluación. Rebrote después del incendio en individuos fertilizados.

Los resultados del primer grupo de comparación nutrimental se presentan en el Cuadro 20. En la comparación de medias de todos los tratamientos no se encontró una diferencia estadística. Esto es un indicativo de que la aplicación de fertilizantes agrícolas N-P-K, por separado o en combinación, no muestra una diferencia en el contenido nutrimental de rebrotes post-incendio en *Juniperus deppeana* con los testigos.

Cuadro 20. Contenido nutrimental foliar promedio de brinzales de *Juniperus deppeana* después de fertilización y post-incendio.

Tratamiento	N, %	P, %	K, %	Ca, &	Mg, %	S, %
0-0-50	1.02	0.12	0.58	0.77	0.14	0.16
0-90-0	1.23	0.14	0.68	0.61	0.12	0.08
90-0-0	1.06	0.11	0.60	0.74	0.15	0.07
180-90-50	1.13	0.13	0.57	0.66	0.15	0.08
0-0-0	1.10	0.12	0.60	0.56	0.14	0.08

Segundo grupo de evaluación. Con base en el incremento en diámetro

El contenido nutrimental de este grupo se especifica en el Cuadro 21. Las pruebas estadísticas de este grupo mostraron que solo existe diferencia estadística entre todos los tratamientos analizados (180-0-0, 0-180-50, 90-180-0 y 180-90-0) con el testigo (0-0-0). El análisis no presentó diferencia en las medias entre ninguno de los tratamientos.

Cuadro 21. Contenido nutrimental promedio de brinzales de *Juniperus deppeana* después de fertilización y post-incendio.

Tratamiento	N, %	P, %	K, %	Ca, %	Mg, %	S, %
180-0-0	1.01	0.11	0.57	0.67	0.11	0.07
0-180-50	0.98	0.11	0.50	0.67	0.17	0.07
90-180-0	0.95	0.12	0.53	0.64	0.15	0.07
180-90-0	1.02	0.13	0.54	0.70	0.17	0.08
0-0-0	1.43	0.15	0.60	0.69	0.11	0.09

Análisis de Prueba t entre tratamientos 0-0-0 y 180-0-0.

El tratamiento 180-0-0 mostró el mayor IDB promedio. La prueba t en esta comparación mostró diferencias estadísticas en los valores de N, P y S.

Para este caso, el contenido de N en las hojas fue mayor en el testigo (1.4%) que en el tratamiento (1.01%) (Figura 32). La diferencia mostró una diferencia estadística $P < 0.006$.

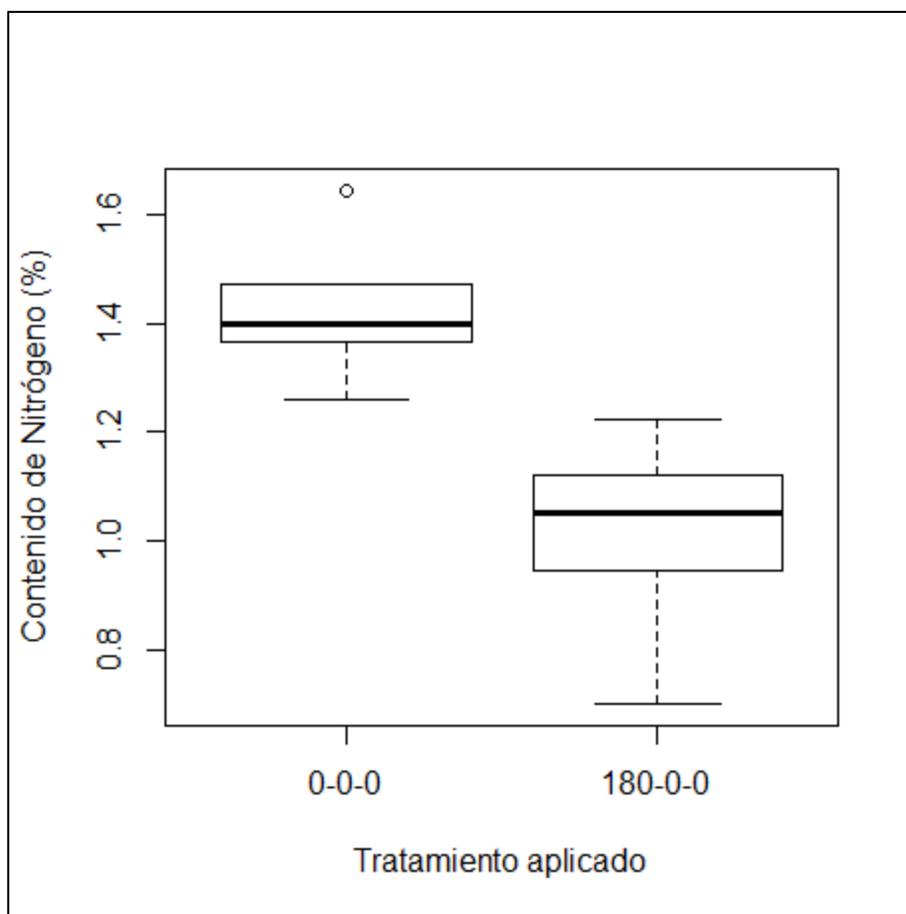


Figura 32. Diferencia en el contenido foliar de N entre el testigo y 180-0-0. Las barras indican la desviación estándar. Los números bajo la barra es la dosis aplicada de N-P-K (Kg ha⁻¹).

A pesar de que el tratamiento no aplicó ninguna fuente de P, la diferencia entre las medias fue significativa $P < 0.008$ (Figura 33). El contenido en el testigo (0.15%) fue mayor que el tratamiento 180-0-0 (0.11%).

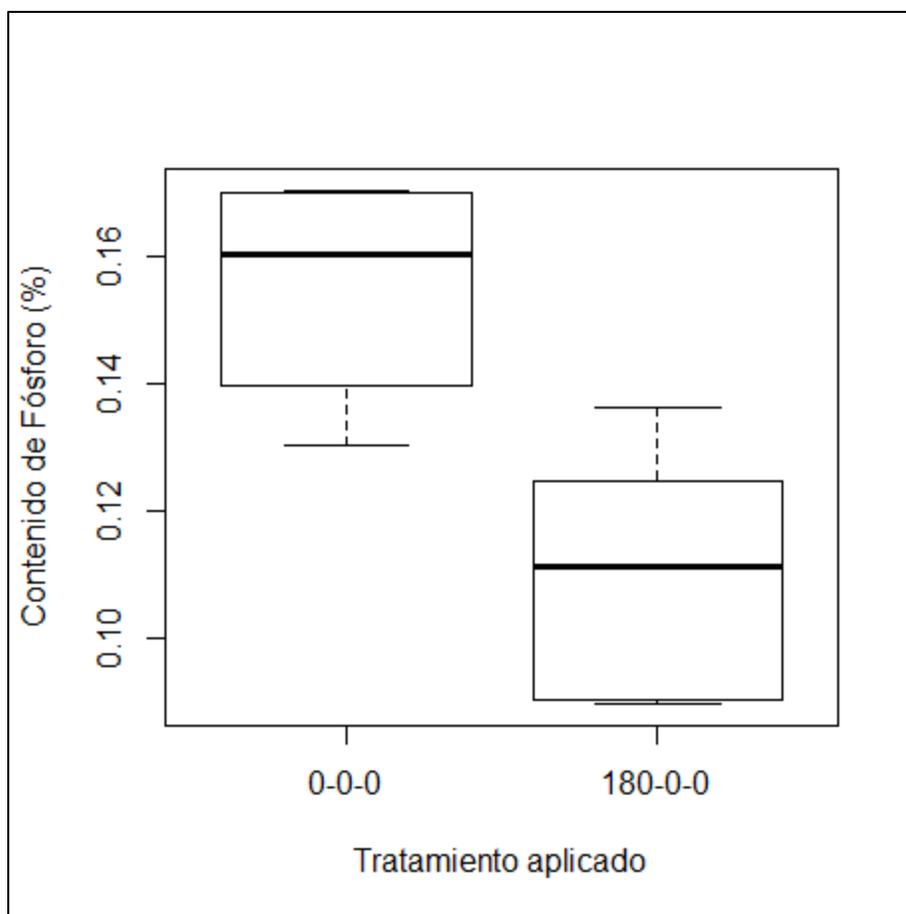


Figura 33. Diferencia en el contenido foliar de P entre el testigo y 180-0-0. Las barras indican la desviación estándar. Los números bajo la barra es la dosis aplicada de N-P-K (Kg ha⁻¹).

En el S se mostró una diferencia estadística $P < 0.02$. El contenido foliar fue mayor en el testigo (0.09%) que en el tratamiento (0.07%) (Figura 34). A pesar de que en el tratamiento se aplicó S por la fuente de fertilización (sulfato de potasio) no fue mayor su contenido.

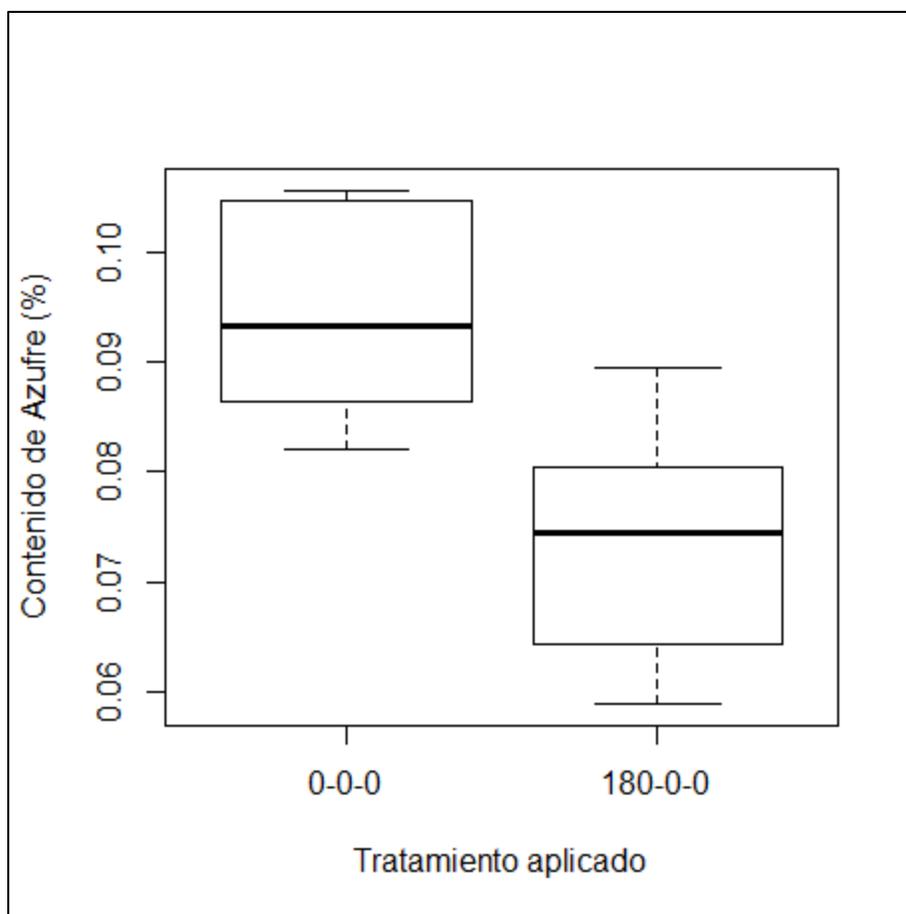


Figura 34. Diferencia en el contenido foliar de S entre el testigo y 180-0-0. Las barras indican la desviación estándar. Los números bajo la barra es la dosis aplicada de N-P-K (Kg ha⁻¹).

A pesar de que el tratamiento 180-0-0 generó un IDB promedio mayor (14.52 mm) que el tratamiento testigo (9.26 mm), no se reflejó esta diferencia en la concentración de nutrientes en el rebrote.

Análisis de Prueba t entre tratamientos 0-0-0 y 0-180-50.

Al igual que en la comparación anterior, la prueba t mostró diferencias estadísticas en los valores de N, P y S. En este caso, el tratamiento 0-180-50 mostró el IDB promedio más bajo de todos los tratamientos.

A pesar de que no se aplicó un fertilizante con una fuente de N, fue un nutrimento con una diferencia significativa $P < 0.003$ entre las medias del testigo (1.43%) y el tratamiento 0-180-50 (0.98%).

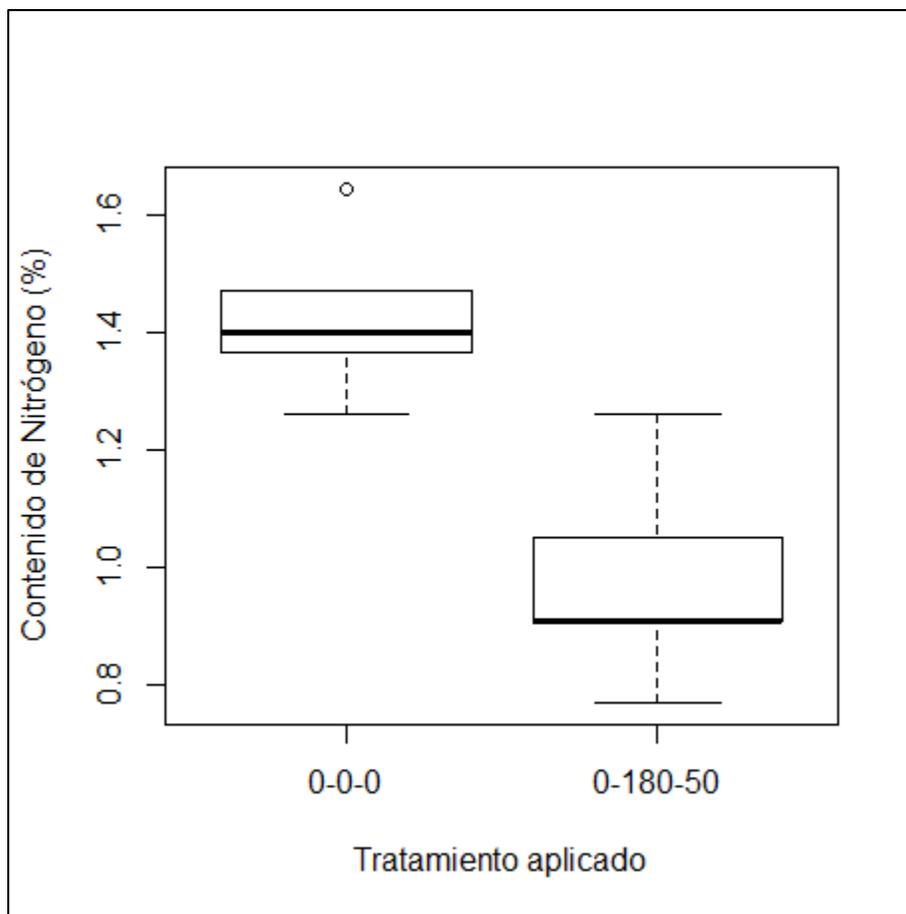


Figura 35. Diferencia en el contenido foliar de N entre el testigo y 0-180-50. Las barras indican la desviación estándar. Los números bajo la barra es la dosis aplicada de N-P-K (Kg ha⁻¹).

El P también mostró una diferencia estadística $P < 0.02$ en las medias, fue mayor en el testigo (0.16%) que en el tratamiento (0.11%). Al haberse aplicado 180 kg ha^{-1} de P el resultado esperado era que el tratamiento reflejara un mayor contenido foliar que el testigo.

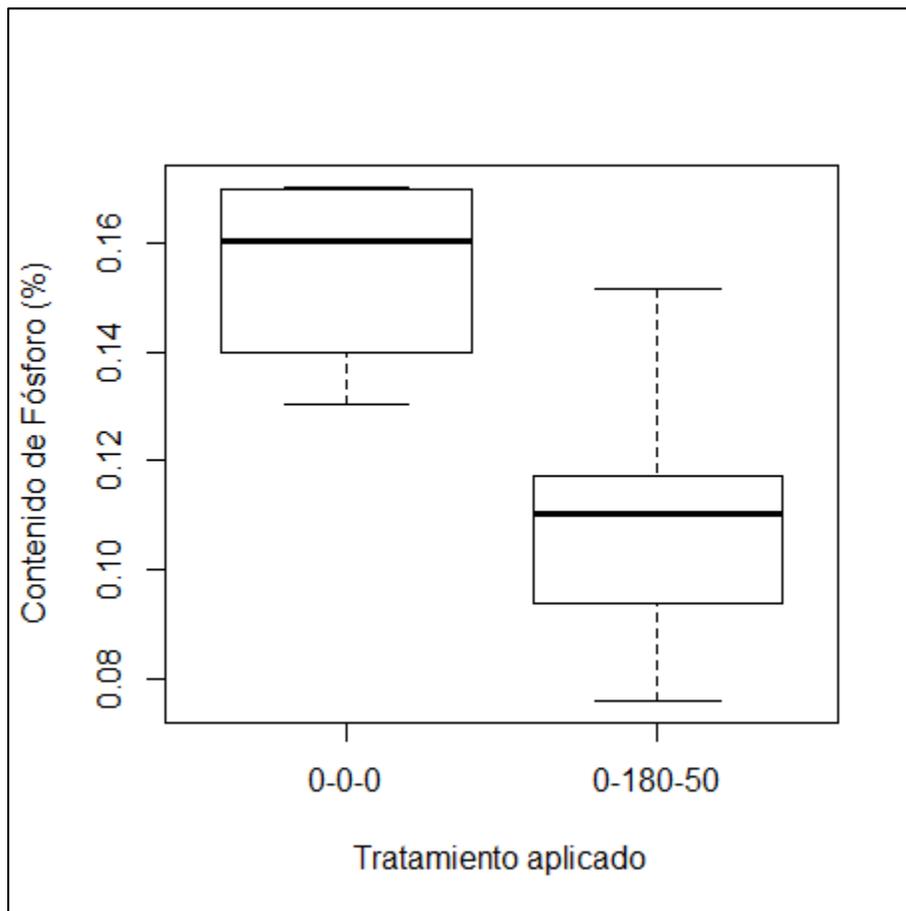


Figura 36. Diferencia en el contenido foliar de P entre el testigo y 0-180-50. Las barras indican la desviación estándar. Los números bajo la barra es la dosis aplicada de N-P-K (Kg ha^{-1}).

En la Figura 37 se observa que el contenido de S foliar también fue mayor en el testigo (0.09%) que en el tratamiento aplicado (0.07%). La diferencia estadística fue $P < 0.03$, a pesar de que se aplicó S en el tratamiento, no se vio reflejado en el contenido nutrimental.

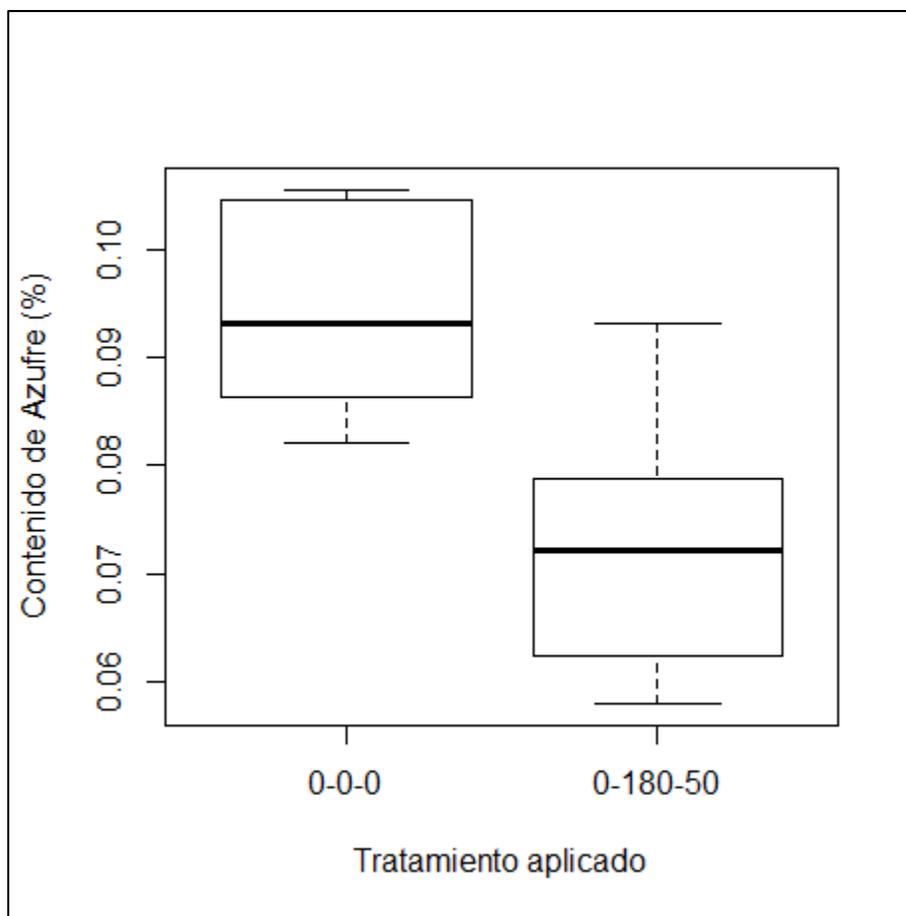


Figura 37. Diferencia en el contenido foliar de S entre el testigo y 0-180-50. Las barras indican la desviación estándar. Los números bajo la barra es la dosis aplicada de N-P-K (Kg ha^{-1}).

Prueba t comparación entre tratamientos 0-0-0 y 90-180-0.

En este análisis solo se presentó diferencia en el promedio de N y S (Figura 38, Figura 39). El tratamiento 90-180-0 fue el tercero con el mayor IDB de todos. El N vuelve a presentar una media mayor en el testigo (1.42%) que en el tratamiento aplicado (0.85%). La diferencia estadística es $P < 0.0005$. En el S el testigo tuvo una media de 0.09% y el tratamiento 0.07, mostrando una $P < 0.01$.

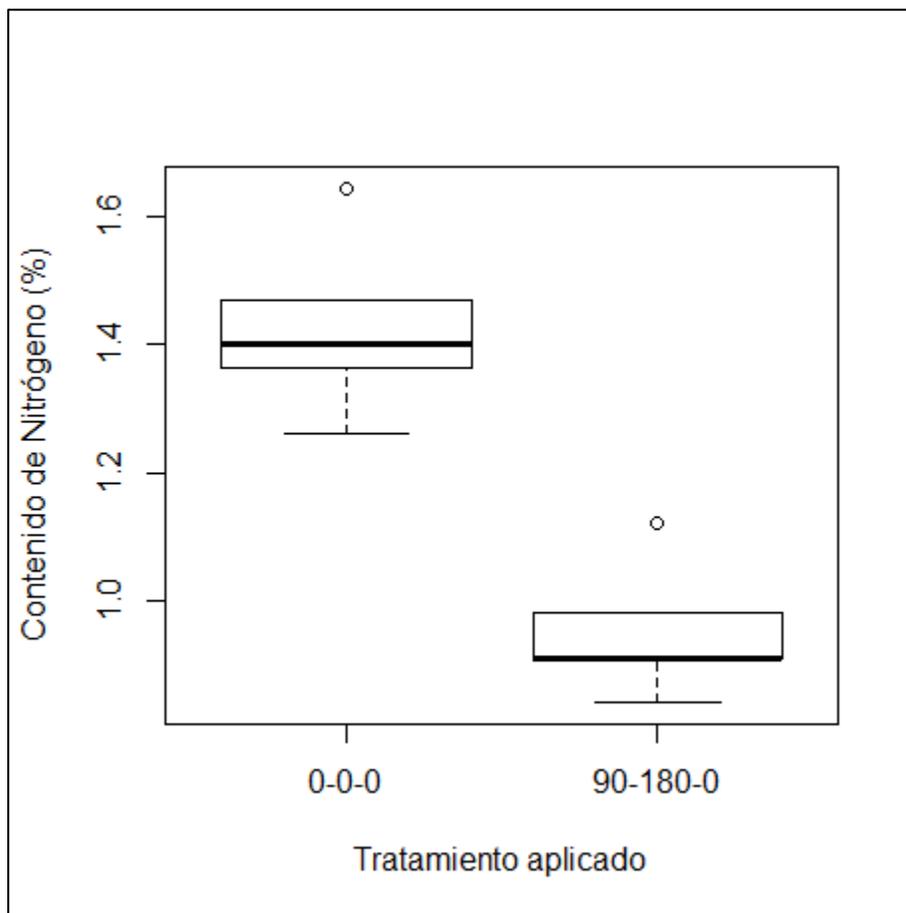


Figura 38. Diferencia en el contenido foliar de N entre el testigo y 90-180-0. Las barras indican la desviación estándar. Los números bajo la barra es la dosis aplicada de N-P-K (Kg ha^{-1}).

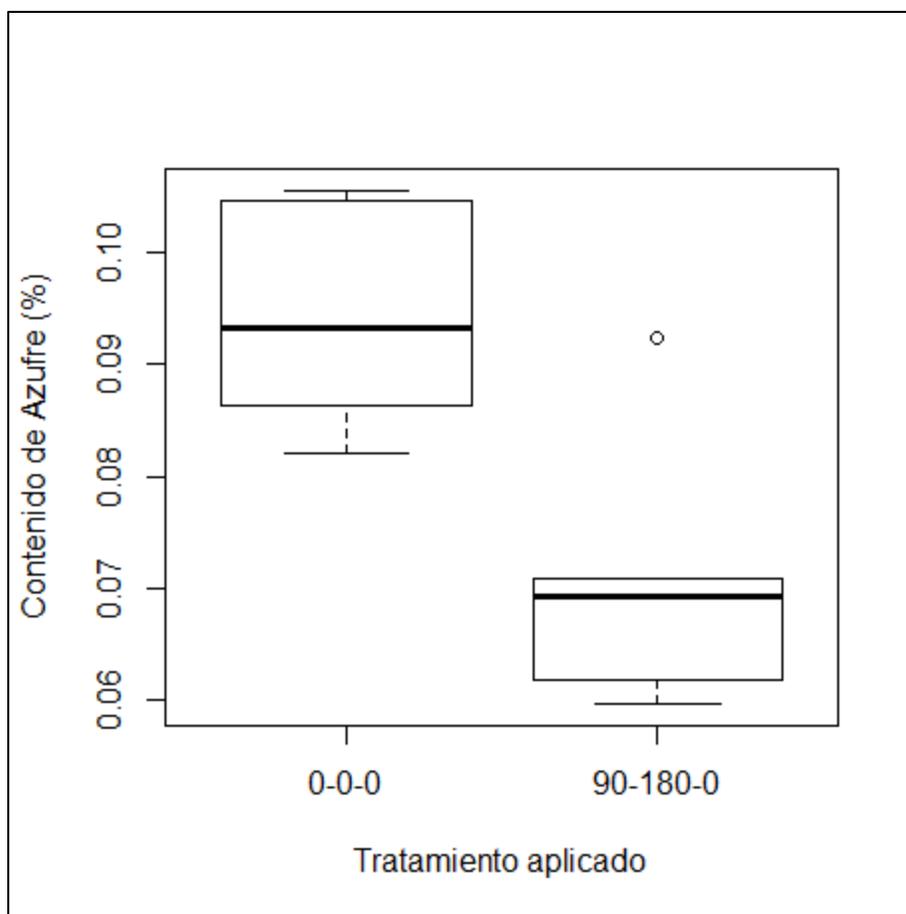


Figura 39. Diferencia en el contenido foliar de S entre el testigo y 90-180-0. Las barras indican la desviación estándar. Los números bajo la barra es la dosis aplicada de N-P-K (Kg ha⁻¹).

En el tratamiento se aplicó la mayor dosis de P pero no existió una diferencia significativa en ese nutriente.

Comparación entre los tratamientos 0-0-0 y 180-90-0.

En esta comparación solo existió una diferencia estadística ($P < 0.004$) en el N (Figura 40). Como en los anteriores casos, el contenido de N en el testigo (1.4%) fue mayor que en el tratamiento 180-90-0 (1.02%) a pesar de haber aplicado 90 kg ha⁻¹.

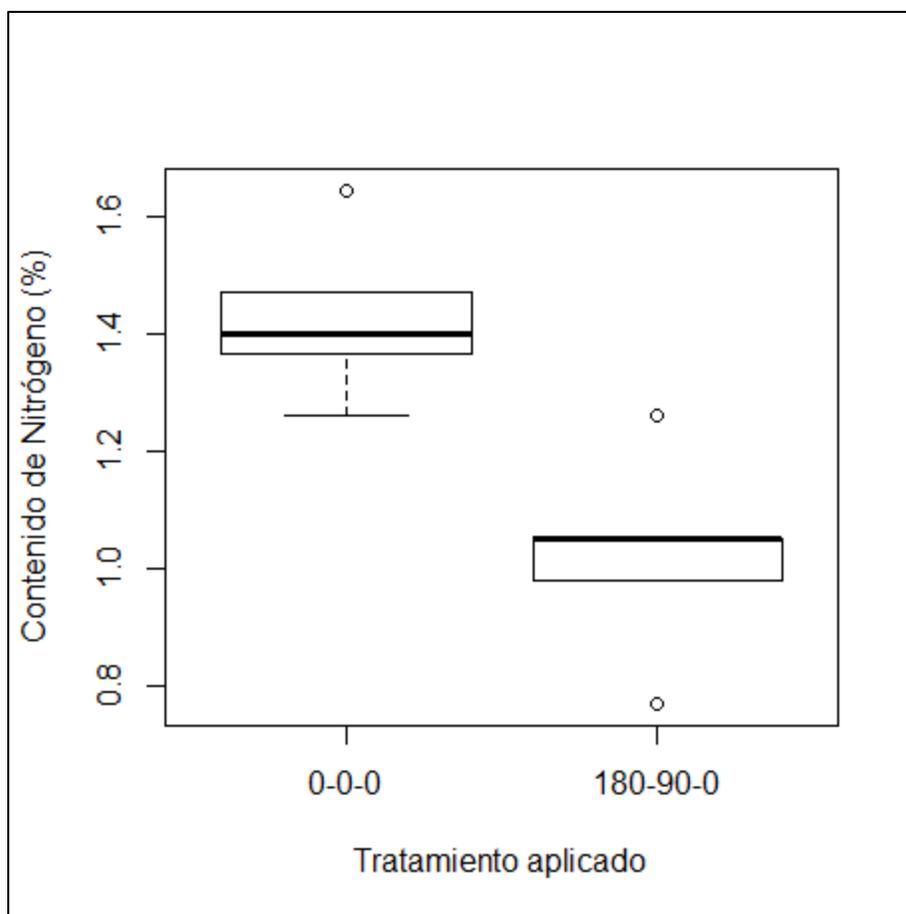


Figura 40. Diferencia en el contenido foliar de N entre el testigo y 180-90-0. Las barras indican la desviación estándar. Los números bajo la barra es la dosis aplicada de N-P-K (Kg ha⁻¹).

El N fue el único nutrimento consistente con respecto al mayor incremento en altura. El N es un nutrimento esencial en las proteínas, promueve el desarrollo de hojas y tallos y produce un desarrollo rápido en las fases iniciales de crecimiento (Binkley, 1993). En este contexto, los resultados posiblemente podrían explicarse porque el N proporcionado por la fertilización, promovió actividad biológica en el suelo y posiblemente inmovilización, limitando su aprovechamiento para el incremento en masa y follaje. Por esta razón, su contenido foliar es menor que en el testigo. Cuando no se adicionó N pero si P, también se estimuló la absorción de N foliar, lo que se muestra en el tratamiento 0-

180-50 kg ha⁻¹, que aunque tuvo bajo incremento en diámetro, el N nativo del suelo pudo haberse incrementado por la presencia y sinergia con P.

También es importante mencionar que las concentraciones del rebrote por sí misma, están afectadas por un proceso de dilución, es decir, una misma cantidad de un elemento se distribuye en una mayor cantidad de biomasa y en diferentes niveles en los componentes del árbol (Ávila-Angulo *et al.*, 2020; Montès *et al.*, 2002).

El IDB promovido por la fertilización implica que también debió haber un cambio en la biomasa aérea de los brinzales fertilizados. Las relaciones alométricas realizadas por Flores-Medina *et al.* (2018) para *Juniperus deppeana* indican cambios exponenciales en biomasa con los incrementos en diámetro.

Tercer grupo. Individuos de 1 año contra 2 años quemados.

En este grupo de comparación, los valores medios del contenido nutrimental (Cuadro 22) no presentaron diferencia entre los brinzales de un año con los de dos años de edad. Sin embargo, dada la mayor talla de los árboles de dos años, para especies de lento crecimiento como *Juniperus deppeana* la planta de dos años es más recomendable por sus tasas de crecimiento mayores y la capacidad de librar incendios a nivel de piso.

Cuadro 22. Contenido nutrimental de rebrotes post-incendio de brinzales de *Juniperus deppeana* de uno y dos años.

Edad al momento de la plantación	N, %	P, %	K, %	Ca, %	Mg, %	S, %
2	1.03	0.11	0.55	0.62	0.15	0.07
1	0.92	0.11	0.57	0.66	0.11	0.07

V. CONCLUSIONES GENERALES

La fertilización combinada N-P-K con los niveles más altos de N (180 kg ha^{-1}), no mostró un efecto significativo en el incremento de altura total, pero si en el incremento en diámetro a la base ($P < 0.06$).

El K mostró resultados inconsistentes y las dosis de 50 kg ha^{-1} , indicó un efecto negativo en el crecimiento de brinzales de *Juniperus deppeana* de la plantación.

Los brinzales de *Juniperus deppeana* con dos años de edad, demuestran un mayor incremento en diámetro a la base del suelo que los brinzales de un año de permanencia. Este resultado fue consistente a pesar de los efectos negativos ocasionados por el incendio.

El incremento en altura total no muestra diferencias estadísticas entre individuos de uno y dos años de edad. La altura no parece ser una prioridad de crecimiento de brinzales de *Juniperus deppeana*.

El 84% de los brinzales de *Juniperus deppeana* presentaron una gran capacidad de rebrote post-incendio. Esta cualidad se presentó tanto en individuos fertilizados como no fertilizados.

El porcentaje de N en el follaje es menor en los brinzales fertilizados que en los testigos. La edad y la fertilización, no presentan diferencias estadísticas en el contenido nutrimental de los rebrotes post-incendio de *Juniperus deppeana*.

VI. LITERATURA CITADA

- Adams, R. P., 2014. *Junipers of the World: The Genus Juniperus*. 4th Edi. Trafford Publishing Co. Bloomington, IN, USA. 415 p.
- Adams, R. P., and A. E. Schwarzbach. 2006. Intraspecific Adjustments in *Juniperus Deppeana* (Cupressaceae). *Phytologia* 88 (3): 227–232.
- Adams, R. P., A. E. Schwarzbach, S. Nguyen, and J. A. Morris. 2007. Geographic Variation in *Juniperus Deppeana*. *Phytologia* 89 (2): 132–150.
- Alcántara, G. G., and V. M. Sandoval. 1999. Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Guía de Muestreo, Preparación, Análisis e Interpretación. Publicación especial No. 10 de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C. Chapingo, Estado de México, México. 156 p.
- Ávila A., M. L., A. Gómez G., A. Aldrete, J. J. Vargas H., M. Á. López L., and J. Hernández R. 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. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2019.04.031>.
- Balám C., M., A. Gómez G., J. J. Vargas H., A. Aldrete, and J. J. Obrador O. 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.
- Binkley, D. 1993. *Nutrición Forestal*. Primera ed. Grupo Noriega Editores. Distrito Federal, México. 340 p.
- Bremner, J. M. 1965. Total Nitrogen. In: *Methods of Soil Analysis*. Part 2. Agronomy 9. Black C. A. (ed.). American Society of Agronomy. Madison, WI, USA. 1149-1178.
- Cosyns, E., A. Del Porte, L. Lens, and M. Hoffmann. 2005. Germination Success of Temperate Grassland Species after Passage through Ungulate and Rabbit Guts. *JOURNAL OF ECOLOGY* 93: 353–61. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2005.00982.x>.
- Díaz, V., J. Sosa R., and D. R. Pérez S. 2012. Distribución y Abundancia de Las Especies Arbóreas y Arbustivas En La Sierra Fría, Aguascalientes, México. *Polibotánica* 34: 99–126. <http://www.scielo.org.mx/pdf/polib/n34/n34a4.pdf>.
- Dimitri, L. A., W. S. Longland, and S. B. Vander W. 2017. Cone and Seed Traits of Two *Juniperus* Species Influence Roles of Frugivores and Scatter-Hoarding Rodents as Seed Dispersal Agents. *Acta Oecologica* 85: 93–103.

<https://doi.org/10.1016/j.actao.2017.09.012>.

- Duwig, C., B. Prado, A.-J. Tinetti, P. Delmas, N. Dal Ferro, J. P. Vandervaere, H. Denis, P. Charrier, A. Gastelum S., and F. Morari. 2019. Impacts of Land Use on Hydrodynamic Properties and Pore Architecture of Volcanic Soils from the Mexican Highlands. *Soil Research* 57 (6): 629–641. <https://doi.org/10.1071/SR18271>.
- Escobar A., 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. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i55.558>.
- Flores M., F., D. J. Vega N., J. J. Corral R., J. G. Álvarez G., A. D. Ruiz G., C. A. López S., and A. Carrillo P. 2018. Desarrollo de Ecuaciones Alométricas de Biomasa Para La Regeneración de Cuatro Especies En Durango, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9 (46): 157–185. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i46.119>.
- Florin, R. 1963. The Distribution of Conifer and Taxad Genera in Time and Space. *Acta Horti Bergiani* 20 (4): 121–312.
- Gernandt, D. S., and J. A. Pérez D. 2014. Biodiversidad de Pinophyta (Coníferas) En México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85. <https://doi.org/10.7550/rmb.32195>.
- Gómez d., C. 1995. Fauna Lepidopterológica de Los Principales Árboles Del Género *Juniperus*, Representados Por Las Especies *Communis L.*, *Ssp. Nana (WILLD.)*, *Oxycedrus L.*, *Thurifera L.*, y *Sabina L.*, de La Familia Cupresaceae. *Boletín de Sanidad Vegetal. Plagas* 21 (4): 527–538.
- González E., M. S., M. González E., J. A. Tena F., L. Ruacho G., and I. L. López E. 2012. Vegetación de La Sierra Madre Occidental, México: Una Síntesis. *Acta Botanica Mexicana* 100: 351–403.
- Hurlbert, S. H. 1984. Pseudoreplication and the Design of Ecological Field Experiments. *Ecological Monographs* 54 (2): 187–211. <https://doi.org/10.2307/1942661>.
- Intituto 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, Morelos, México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2009. Prontuario de Información Geográfica Municipal de Los Estados Unidos Mexicanos; TEPETLAOXTOC, MÉXICO. Aguascalientes, Aguascalientes, México. http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/15/15093.pdf.
- Lezama D., E., P. Sainos P., J. López P., 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. <https://doi.org/10.1080/00222933.2016.1200685>.

- López, G., and J. Mateo. 2003. *Catálogo de Árboles y Arbustos. Primera Parte. Coniferales*. 1ra ed. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Tulancingo, Hidalgo, México. 121 p.
- Martínez, A. J., P. Sainos, E. Lezama D., and G. Angeles Á. 2016. El Tamaño Sí Importa: Los Frutos Grandes de *Juniperus deppeana* Steud. (Sabino) Son Más Susceptibles a Depredación Por Insectos. *Madera y Bosques* 13 (2): 65-81. <https://doi.org/10.21829/myb.2007.1321229>.
- Mendoza H., J. C., J. Arriola M., G. Pérez O., Á. Silveti L., M. Vega H., A. L. Portillo Z., O. Jaramillo H., and R. Morales J. 2016. Análisis de Metales Pesados En Parque Estatal 'Flor Del Bosque. *Ra Ximhai* 12 (4): 43–55. <https://doi.org/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. <https://doi.org/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. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00660-0](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00660-0).
- Montesinos T., D., and D. García G. 2009. Matorrales Arborescentes de Juniperus Spp. In *Bases Ecológicas Preliminares Para La Conservación de Los Tipos de Hábitat de Interés Comunitario En España*, Primera Ed, 52. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones. Madrid, España. 52 p.
- Morton B., O., J. M. Gómez B., M. A. Armienta, R. Lozano, E. Hernández Á., F. Romero, and J. Castro L. 2014. Metal Accumulation by Plant Species Growing on a Mine Contaminated Site in Mexico. *Environmental Earth Sciences* 71 (12): 5207–5213. <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2923-9>.
- Osuna V., V., R. A. Lindig C., A. Blanco G., J. Cruz d., N. M. Sánchez V., and C. Sáenz R. 2020. Ensayo de Especies y Procedencias Para Restauración Ecológica de Residuos Mineros En Tlalpujahuá, Michoacán, México. *Agrociencia* 54: 101–114.
- Osuna V., V., C. Sáenz R., J. Villegas, and R. Lindig C. 2017. Species and Provenance Trial Conducted for Selection of Conifers to Be Used in the Restoration of Mine Dumps. *Ecological Engineering* 105: 15–20. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.04.065>.
- Osuna V., V., C. Sáenz R., L. Escalera V., E. de la Barrera, and R. Lindig C. 2019. Total Mercury in Plant Tissue from a Mining Landscape in Western Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 102 (1): 19–24. <https://doi.org/10.1007/s00128-018-2488-0>.

- R Core Team. 2018. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>.
- Reyes M., J., V. Gerding, and O. Thiers E. 2012. Fertilizantes de Liberación Controlada Aplicados Al Establecimiento de *Pinus radiata* d. Don En Chile. Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente 18 (3): 313–328. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2011.08.060>.
- Rodríguez C., A., F. Cruz C., B. Vargas L., and F. J. Hernández. 2015. Compatible Dominant Height - Site Index Model for Juniper (*Juniperus deppeana* Steud.). Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente 21 (1): 97–107. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2014.09.041>.
- Rodríguez T., D. A., J. G. Pausas, and A. G. Miranda M. 2019. Plant Responses to Fire in a Mexican Arid Shrubland. Fire Ecology 15 (1). <https://doi.org/10.1186/s42408-019-0029-9>.
- Rubalcava C., F. A., J. Sosa R., J. J. Luna R., A. G. Valdivia F., V. Díaz N., and L. I. Iñiguez D. 2020. Endozoochorous Dispersal of Forest Seeds by Carnivorous Mammals in Sierra Fría, Aguascalientes, Mexico. Ecology and Evolution, no. January: ece3.6113. <https://doi.org/10.1002/ece3.6113>.
- Rzedowski, J., G. Guzmán, A. Hernández, and R. Muñoz. 1964. Cartografía de La Vegetación de La Parte Norte Del Valle de México. Anales de La Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, México 13: 31–57.
- 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. <https://doi.org/10.2307/3808357>.
- Vázquez C., I., J. A. Prieto R., M. A. López L., C. Wehenkel, P. A. Domínguez C., and F. E. Muñoz S. 2018. Crecimiento y Supervivencia de Una Plantación de *Pinus greggii* Engelm. Ex Parl. Var. Greggii Bajo Diferentes Tratamientos de Fertilización. Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente 24 (2): 251–264. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2017.05.036>.
- Vázquez Y., C., A. I. Batis M., M. I. Alcocer S., M. Gual D., and C. Sánchez D. 2002. Árboles y Arbustos Nativos Potencialmente Valiosos Para La Restauración Ecológica y La Reforestación. Reporte técnico del proyecto J084 CONABIO- Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.