

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL



Efectos de Quema Prescrita en Propiedades del Suelo en Plantación de
Pinus cembroides Zucc., Buenavista, Saltillo, Coahuila.

Por:

AARÓN SANDOVAL MARTÍNEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

Efectos de Quema Prescrita en Propiedades del Suelo en Plantación de
Pinus cembroides Zucc., Buenavista, Saltillo, Coahuila

Por:

AARÓN SANDOVAL MARTÍNEZ

TESIS

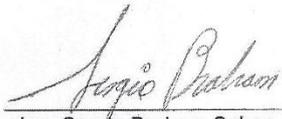
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

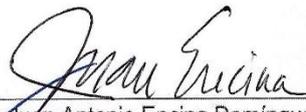
Aprobado por el Comité de Asesoría:



M.C. Andrés Najera Díaz
Asesor Principal



Ing. Sergio Braham Sabag
Coasesor



Dr. Juan Antonio Encina Domínguez
Coasesor



Dr. Gabriel Gallegos Morales
Coordinador de la División de Agronomía



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2019

AGRADECIMIENTO

A mi Virgen de Guadalupe por hacer realidad mis sueños y que poco a poco voy logrando mis metas, por darme la paciencia, la dicha de haber obtenido un logro más en la vida.

A mi “Alma Terra Mater” por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente en las ciencias forestales.

Al M.C. Andrés Nájera Díaz, por apoyarme en la realización de este proyecto, por el tiempo dedicado a las asesorías, por sus consejos y su disciplina, muchas gracias.

Al Dr. Juan Antonio Encina Domínguez, por su apoyo en la colaboración como coasesor en la realización de este proyecto.

Al Ing. Sergio Braham Sabag por la colaboración como coasesor del presente estudio

Al Ing. Antonio Ilizaliturri Verastegui, por su colaboración en la realización de las pruebas de fosforo y potasio del presente proyecto.

A la Q. F. B. María del Carmen Julia García por apoyar con el análisis del Nitrógeno.

A los profesores del departamento forestal por haber contribuido en mi formación académica, por sus consejos y enseñanzas, en especial al Dr. Jorge Méndez, M. C. José Aniceto Díaz y M.C. Andrés Nájera Díaz.

A mis amigos, Miguel Ángel, José de Jesús, Emir Eduardo, Heriberto, Juan Manuel, Cristian Aguirre, amigos y compañeros desde el CECFOR N° 1, y que seguimos en el mismo camino, gracias por apoyarme en tareas, exámenes, recolección de datos para el presente proyecto, por los consejos, las experiencias y anécdotas que quedaron, gracias mis amigos.

DEDICATORIA

Con mucho cariño dedicado principalmente a mis padres por todo su apoyo y esfuerzo para darme una mejor preparación profesional, acompañándome en cada una de las etapas de mi vida y logros tanto personales como académicos, por ser ejemplo de honestidad, persistencia, dedicación y ante todo el respeto.

A mi madre, Amada Martínez, por sus valiosos consejos, sus regaños y sacrificios constante para que yo pudiera salir adelante, poder tener una mejor preparación profesional, sobre todo le agradezco por su amor incondicional, siendo para mí un gran ejemplo a seguir, por eso y más gracias Mamá.

A mi padre, Aarón Sandoval, quien, gracias a él, su sacrificio de trabajo constante día con día, para apoyarme y así poder terminar mis estudios, por su confianza, tolerancia, y ser ejemplo de honestidad y respeto, gracias Padre.

A mis hermanos, Paloma Ariadna, José Obed, Guillermo, Marco Antonio, Elizabeth, Leticia, por su apoyo, por ser ejemplo y ayudarme en mi formación tanto personal, como académica, por ser ustedes uno de mis principales objetivos de sacrificio constante para salir adelante.

A todas aquellas personas que participaron directamente o indirectamente en la colaboración de este proyecto y que en su momento formaron parte de mi formación académica, gracias.

ÍNDICE

ÍNDICE DE CUADROS	1
ÍNDICE DE FIGURAS	2
RESUMEN	4
ABSTRACT	5
1. INTRODUCCIÓN	6
2. JUSTIFICACIÓN	7
3. OBJETIVO GENERAL	8
4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
5. HIPÓTESIS	8
6. MARCO TEÓRICO	9
6.1 Fuego	9
6.2 Uso de Fuego	9
6.3 Combustible	9
6.4 Combustión	10
6.5 Ecosistemas dependientes o mantenidos por el fuego	10
6.6 Ecosistema independiente del fuego	10
6.7 Ecosistemas sensibles al fuego	10
6.8 Quema controlada	11
6.9 Quema prescrita	11
6.10 Técnica de Ignición	12
6.11 Unidad de quema	12
6.12 Manejo de fuego	12
6.13 Normatividad aplicable al uso del fuego	13
6.14 Trabajos a fines a la presente investigación	14
7 MATERIALES Y MÉTODOS	16
7.1 Localización del área de estudio	16
7.2 Fisiografía	17
7.3 Hidrología	17
7.4 Edafología	18
7.5 Clima	18
7.8 Vegetación	18
7.9 Preparación de unidad de quema	18
7.10 Combustible de la unidad de quema	19

7.11	Prueba de quema	20
7.12	Aplicación de la quema prescrita.....	20
7.13	Tipo de muestreo	21
7.14	Efectos inmediatos del fuego.....	23
8	RESULTADOS	24
8.1	Efectos inmediatos del fuego.....	24
8.2	Fosforo.....	24
8.2.1	Análisis estadístico de Fosforo	25
8.3	Potasio	26
8.3.1	Análisis estadístico de Potasio.....	26
8.4	Nitrógeno	27
8.4.1	Análisis de Nitrógeno	28
9	DISCUSIÓN	29
10	CONCLUSIONES	31
10.1	Fosforo.....	31
10.2	Potasio	31
10.3	Nitrógeno	31
11	RECOMENDACIONES	33
12	LITERATURA CITADA	34
13	ANEXOS	38

ÍNDICE DE CUADROS

TABLA 1. PRUEBA DE T PARA MEDIAS DE DOS MUESTRAS EMPAREJADAS DE FOSFORO	25
TABLA 2. PRUEBA DE T PARA MEDIAS DE DOS MUESTRAS EMPAREJADAS PARA POTASIO	27
TABLA 3: PRUEBA DE T PARA MEDIAS DE DOS MUESTRAS EMPAREJADAS PARA NITRÓGENO.....	28

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	17
FIGURA 2 COMPORTAMIENTO DE FOSFORO EN AMBAS CONDICIONES DE ÁREAS QUEMADAS (AQ) Y ÁREAS NO QUEMADAS (ANQ).....	25
FIGURA 3 COMPORTAMIENTO DE LOS DATOS DE POTASIO CONSIDERADO ÁREAS QUEMADAS (AQ) Y ÁREAS NO QUEMADAS (ANQ).....	26
FIGURA 4 COMPORTAMIENTO DE LOS DATOS DE NITRÓGENO EN PORCENTAJE CONSIDERADO ÁREAS QUEMADAS (AQ) Y ÁREAS NO QUEMADAS (ANQ)	27

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1 RESULTADOS DE FOSFORO P Y POTASIO K EN PPM Y NITRÓGENO N EN %, CONSIDERANDO AMBAS CONDICIONES, ÁREA QUEMADA (AQ), ÁREA NO QUEMADA (ANQ)	38
ANEXO 2 COMPARACIÓN DE VARIABLES DE ESTADÍSTICAS DE MUESTRAS EMPAREJADAS PARA FOSFORO.....	38
ANEXO 3 CORRELACIÓN DE MUESTRAS EMPAREJADAS PARA FOSFORO	38
ANEXO 4 COMPARACIÓN DE VARIABLES DE ESTADÍSTICAS DE MUESTRAS EMPAREJADAS PARA POTASIO.	39
ANEXO 5 CORRELACIÓN DE MUESTRAS EMPAREJADAS DE POTASIO	39
ANEXO 6 COMPARACIÓN DE VARIABLES DE ESTADÍSTICAS DE MUESTRAS EMPAREJADAS PARA NITRÓGENO	39
ANEXO 7 CORRELACIÓN DE MUESTRAS EMPAREJADAS DE NITRÓGENO	39
ANEXO 8 MAPA DE MUESTREO DE SUELOS PARA AMBAS CONDICIONES, ÁREAS QUEMADAS (AQ) Y ÁREAS NO QUEMADAS (ANQ).....	40
ANEXO 9 EFECTOS DE LA RADIACIÓN DEL FUEGO AL PINUS CEMBROIDES ZUCC	40

RESUMEN

El factor fuego tiene un efecto importante en las plantaciones forestales. Por lo anterior, se evaluó el efecto de una quema prescrita en las propiedades del suelo en una plantación de *Pinus cembroides* Zucc., establecida en Buenavista, Saltillo, Coahuila. Con el objetivo de reducir la cantidad de combustible presente en tal área se realizó una quema prescrita. Dos meses posteriores a la quema se tomaron 8 muestras de suelo en áreas quemadas y 8 de áreas no quemadas. Las muestras colectadas se analizaron en laboratorio para determinar el contenido de Nitrógeno, Fosforo, Potasio. Para el caso del Fosforo y Potasio se determinó en partes por millón y el Nitrógeno en porcentaje. Para determinar si existe alguna diferencia significativa en el contenido de macronutrientes en el suelo se utilizó la prueba estadística t-Student, para lo cual se utilizó el programa SPSS. La afectación a los árboles por la radiación del fuego se realizó mediante la observación directa, la cantidad de individuos afectados y la significancia de la afectación, para lo cual se dividió el árbol en tres secciones, esta misma evaluación se realizó a los 2 y 9 meses después de la quema. La afectación de los árboles por la radiación del fuego ocasionó la muerte de 3 individuos, los demás presentaron una recuperación a los 9 meses de aplicada la quema. En el caso del contenido de macronutrientes solo en el Fosforo, existe un aumento significativo en áreas quemadas con respecto a áreas no quemadas, esto se puede afirmar con un 95 % de confiabilidad, en el caso de Potasio y Nitrógeno no se tiene aumento significativo.

Palabras clave: Combustible, estadístico, macronutrientes, quema prescrita.

ABSTRACT

The fire factor has an important effect on forest plantations. Therefore, the effect of prescribed burning on soil properties in a plantation of *Pinus cembroides* Zucc., established in Saltillo, Coahuila, was evaluated. The present study aims to reduce the amount of fuel present in such area, so a prescribed burn was performed. Two months after the burn, 8 soil samples were taken from burned areas and 8 from unburned areas. The samples collected were analyzed in the laboratory to determine the content of Nitrogen, Phosphorus and Potassium. In the case of Phosphorus and Potassium, it was determined in parts per million and Nitrogen in percentage. To determine if there is any significant difference in the content of macronutrients in the soil, the t-Student statistical test was used, for which the statistical program SPSS was used. The affectation to the trees by the radiation of the fire was registered by direct observation, the number of damaged individuals and the significance of the damage, for which the tree was divided into three sections, this same evaluation was carried out at 2 and 9 months after burning. The affectation of the trees by the radiation of the fire caused the death of 3 individuals, the others showed a recovery after 9 months of the burning. In the case of the content of macronutrients only in Phosphorus, there is a significant increase in burned areas with respect to unburned areas, this can be affirmed with 95% confidence, in the case of Potassium and Nitrogen there is no significant increase.

Key words: Fuel, macronutrients, prescribed burn, statistics analysis.

1. INTRODUCCIÓN

Los registros arqueológicos muestran el uso del fuego por el hombre, la forma de producirlo, conservarlo y manejarlo, fue una herramienta importante durante la evolución del hombre cazador a pastor, agricultor y siempre defendiendo sus tierras, lo cual marca un gran historial del uso del fuego como herramienta para el manejo de los recursos naturales (Martínez *et al.*, 2001).

Los incendios son considerados un proceso auto acelerado por la liberación de energía, gases, nitrógeno, anhídrido carbónico y la aportación de nutrientes por las cenizas, al igual que sus efectos regeneradores o destructores que están altamente relacionados con la ecología del fuego, tales como la frecuencia, la intensidad y factores propios como vegetación, la cual se encuentra en relación a factores climáticos y topográficos (Vélez, 2000).

El pino piñonero (*Pinus cembroides*) ha sobrevivido a fuertes incendios, los cuales si ocurren con baja intensidad y severidad eliminan a plántulas, semillas que se encuentran en el suelo, mientras que los incendios de mayor intensidad y severidad eliminan árboles jóvenes y árboles maduros, lo cual está relacionado con la topografía, combustibles y el tiempo atmosférico (Moir, 1982).

De acuerdo con Villaseñor (2016) el *Pinus cembroides* es una especie nativa de México, con mayor distribución en el país considerando 19 estados donde se localiza formando bosques puros en la Sierra Madre Oriental al norte del Trópico de Cáncer, crece en altitudes de 1,350 hasta 2,800 msnm; Las mayores poblaciones de esta especie se presentan en los estados de Chihuahua, Coahuila, Durango, Hidalgo, Nuevo León y Zacatecas, hasta los estados de Texas, Nuevo México y al sur de Estados Unidos de Norteamérica, (Poulos y Berlyn, 2007).

Con respecto a su requerimiento ecológico *Pinus cembroides* Zucc., se desarrolla en lomeríos con pendientes rocosas y laderas bajas de macizos montañosos, en climas secos hasta templados húmedos con un promedio de precipitación de 365 a 800 mm por año, suelos calizos, negros o grisáceos con alto contenido de yeso y baja cantidad de nutrientes (Rzendowski, 2006).

La vegetación asociada al piñonero está relacionada a matorrales de afinidad xerica, además de chaparral montano, encinares y pinares de climas semidesérticos. *Yucca carnerosana*, *Arbutus xalapensis*, *Agave* sp., *Opuntia* sp., *Buddleja* sp., *Juniperus* sp., *Pinus teocote*, *P. arizonica*, (Poulos y Berlyn, 2007).

El uso tradicional del fuego como herramienta silvícola y de manejo de pastizales, ejerce mayor influencia sobre los piñonares, ya que su distribución espacial y la composición de especies leñosas entremezcladas con especies del sotobosque pueden influir en los efectos del fuego y la intensidad del mismo, (De León, 2010).

El realizar una quema prescrita permite que los efectos del fuego sean menores que los que provoca un incendio, considerando las propiedades del suelo como temperatura, flora y fauna del suelo, y las propiedades físicas y químicas, por lo cual, en una quema prescrita debe de procurar una baja intensidad del fuego, ya que puede destruir la materia orgánica del suelo, considerando las temperaturas que se alcanzan de 200°C a 300°C, el 85% las sustancias orgánicas son destruidas (Granados-Sánchez y López-Ríos, 1997).

2. JUSTIFICACIÓN

Las quemas prescritas se realizan en base a condiciones preestablecidas de topografía, combustible y tiempo atmosférico, proyectadas para obtener un determinado comportamiento del fuego, como la altura de llama y la velocidad de propagación, entre otros; que son plasmados en el plan de quema, que tiene objetivos específicos a cumplir de compatibilidad ecológica; un ejemplo de objetivos puede ser, el aportar minerales al suelo.

Con el presente estudio se proyecta aportar conocimientos sobre el uso del fuego como una herramienta silvícola de manejo en plantaciones forestales con especies consideradas como dependientes o tolerantes al fuego; que bien puede ser una herramienta económica, eficiente y que aporte minerales, mejorando la fertilidad de los suelos en plantaciones, determinando objetivos de compatibilidad ecológica, buscando beneficiar a las plantaciones de *Pinus cembroides*.

3. OBJETIVO GENERAL

Evaluar los efectos de una quema prescrita en las propiedades del suelo en una plantación de *Pinus cembroides* Zucc en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar los efectos del fuego en áreas quemadas con no quemadas para comparar la aportación de macronutrientes al suelo.
- Relacionar el comportamiento del fuego y los efectos en el *Pinus cembroides* Zucc.

5. HIPÓTESIS

Ho: Los macronutrientes del suelo aumentan después de aplicar la quema prescrita.

6. MARCO TEÓRICO

6.1 Fuego

La NOM-015-SEMARNAT/SAGARPA-2007; define el fuego como la emisión de calor, luz y llama, generado por la combustión de material inflamable.

CENAPRED, (2014) Define al fuego como el desprendimiento de calor y luz producida por la combustión de material vegetal vivo o muerto (combustión forestal).

6.2 Uso de Fuego

La NOM-015-SEMARNAT/SAGARPA-2007; considera el uso de fuego como la aplicación del fuego en terrenos agropecuarios, forestales, preferentemente forestales, temporalmente forestales y colindantes o adyacentes con objetivos de manejo de recursos naturales, para la producción, limpieza de terrenos o quema de desechos, o en fogatas para luz, calor o preparación de alimentos.

Myers, (2006) Denomina el manejo del uso del fuego para restaurar y mantener el estado deseado del ecosistema o los productos y servicios deseados del ecosistema en las áreas de conservación.

6.3 Combustible

La FAO, (2007) describe a los combustibles como todo material orgánico vivo o muerto de los bosques y otros tipos de vegetación, incluyendo residuos agrícolas, biomasa herbácea, ramas, madera e infraestructura de las áreas rurales y urbanas, que generan calor durante el proceso de la combustión.

CENAPRED, (2014) Señala al combustible como todo material vegetal en el campo, susceptible de encender.

6.4 Combustión

Reacción química que surge de un proceso al combinar combustibles, oxígeno y una temperatura de ignición. La reacción modificada de la combustión del material, consume oxígeno y genera altas temperaturas, que enciende nuevos materiales (CENAPRED, 2014)

Flores, (2009) menciona que la combustión es un proceso químico exotérmico, es decir, desprende calor y es transmitido a través de transferencia en forma de calor de alta o baja velocidad.

6.5 Ecosistemas dependientes o mantenidos por el fuego

Los ecosistemas dependientes o adaptados al fuego son aquéllos donde el fuego es esencial y las especies han desarrollado adaptaciones para responder positivamente al fuego y para facilitar su propagación, es decir, la vegetación es inflamable y propensa al fuego (Myers, 2006).

6.6 Ecosistema independiente del fuego

Los ecosistemas independientes del fuego son aquéllos en los cuales el fuego juega un papel muy pequeño o nulo. Estas áreas son muy frías, húmedas o secas para quemarse, el fuego es amenaza solo si se presentan o hay cambios significativos provocados por actividades donde se utiliza el fuego (Myers, 2006).

6.7 Ecosistemas sensibles al fuego

Los ecosistemas sensibles al fuego, los ecosistemas no se han desarrollado con el fuego como un proceso importante y recurrente. Las especies de estas áreas carecen de las adaptaciones para responder a los incendios y la mortalidad es alta incluso cuando la intensidad de fuego es baja (Myers, 2006).

6.8 Quema controlada

Aplicación de fuego en áreas forestales o agropecuarias donde se desconoce las características del combustible, de la topografía y de las condiciones meteorológicas (CONANP-CONAFOR, 2012).

Myers, (2006) afirma que las quemas controladas son básicamente lo mismo que las quemas prescritas, pero sin un plan escrito y sin objetivos de compatibilidad ecológica.

Rodríguez, (1996) menciona que una quema controlada involucra un control relativo y no absoluto de la misma por el carácter aleatorio del tiempo atmosférico.

6.9 Quema prescrita

La FAO, (2007) define a una quema prescrita, como la aplicación controlada de fuego a combustibles forestales en su estado natural o modificado, bajo condiciones ambientales específicas que llevan a confinar el fuego en un área predeterminada y con ello lograr los objetivos programados de compatibilidad ecológica de los recursos.

Myers, (2006) define las quemas prescritas como la aplicación de quemas cuidadosamente controladas bajo condiciones de combustible y climáticas definidas a fin de cumplir con objetivos manejo del suelo o ecológicos que involucran un plan escrito.

La quema prescrita es la que se realiza según un plan técnico bajo prescripción, condicionada por los combustibles, meteorología y topografía, para estimar un comportamiento del fuego acorde a una gestión sostenible, que marque unos objetivos con compatibilidad ecológica (Martínez, 2001).

6.10 Técnica de Ignición

La NOM-015-SEMARNAT/SAGARPA-2007; menciona que la técnica de ignición o forma de encendido, es cualquier forma de aplicación del fuego en un sitio de quema, que consumirá el combustible de acuerdo con un patrón específico que producirá un comportamiento deseado del fuego y facilitará el control de la quema.

6.11 Unidad de quema

La NOM-015-SEMARNAT/SAGARPA-2007; describe a la unidad de quema como un área de recursos naturales en la que se busca conseguir objetivos específicos de manejo y en la que se aplica la quema prescrita para favorecer el cumplimiento de dichos objetivos. Además de los objetivos de manejo, la unidad de quema está definida por las restricciones de manejo, las características topográficas, accesos, valores a ser protegidos, límites, tipo de combustibles, regímenes de fuego dominante, que la hace diferente de otras unidades de quema adyacentes.

6.12 Manejo de fuego

Es la disciplina dirigida a la utilización del fuego para lograr el manejo y objetivos de uso tradicional de la tierra junto con la protección de la vida, propiedades y recursos, mediante la prevención, detección, control, restricción y extinción del fuego en los bosques y otros tipos de vegetación en áreas rurales, incluyendo los incendios programados, incendios generados de manera natural, comprendiendo la investigación y la transferencia de tecnologías (FAO, 2007).

Nájera, (2016) considera el desarrollo, monitoreo y evaluación de las estrategias y acciones que se realizan en el programa de protección contra incendios forestales, incluyendo las estrategias y acciones de uso del fuego como una herramienta ecológica de manejo, la investigación en ecología y

efectos del fuego, en el contexto de beneficios y daños, el entorno socioeconómico y cultural de la sociedad.

Es la gama de decisiones y acciones técnicas posibles dirigidas a la prevención, detección, control, detención, manipulación o uso del fuego en un paisaje dado para cumplir con metas y objetivos específicos (Myers, 2006).

6.13 Normatividad aplicable al uso del fuego

La Ley Forestal del Estado de Coahuila (2008) establece en su capítulo II: del uso del fuego y los incendios forestales, sección 1: del uso del fuego.

Para realizar el uso de fuego en cualquier tipo de quema en terrenos forestales y preferentemente forestales, los interesados deberán tramitar el permiso correspondiente ante la autoridad municipal, lo cual lo turnará a la secretaría, quien dará la respuesta en plazo no mayor a 10 días hábiles. En las quemas que se realicen en terrenos forestales y preferentemente forestales se deberá cumplir con lo siguiente:

1. Iniciar la quema si el horario y las condiciones climáticas son las apropiadas
2. No efectuar la quema de manera simultánea con predios colindantes
3. Circular con líneas cortafuego o guardarrayas el área que se pretende quemar
4. La quema deberá iniciarse de arriba hacia abajo en terrenos con pendientes a menos de 15 grados y en los terrenos planos, en sentido contrario de la dirección del viento
5. En terrenos colindantes con áreas de bosque o vegetación forestal continua, el propietario deberá de contar con el apoyo de personal especializado en control de incendios forestales para garantizar la seguridad.

6.14 Trabajos a fines a la presente investigación

Julio, (2000). Menciona que en Chile las quemadas controladas constituyen una herramienta tradicional de trabajo en las zonas rurales, principalmente en la preparación de terrenos para cultivos agrícolas y forestales, se aplicaron quemadas en verano y otoño para comparar suelos quemados y no quemados en esas dos estaciones del año, evaluando los efectos en las propiedades químicas del suelo con vegetación de matorral presente, donde en el caso del Fósforo, Potasio, muestran un incremento en partes por millón en áreas quemadas considerando ambas estaciones del año y en el caso del Nitrógeno, se ve afectado en las áreas quemadas, mostrando una reducción.

Afif y Olivares, (2006) realizaron un estudio de las propiedades edáficas del suelo en un área afectada por quema controlada, después de la quema a los 7, 30 y 90 días, se muestreo a 0-2, 2-5 y 5-10 cm de profundidad, demostrando la existencia de incrementos temporales en la fertilización de los suelos debido a la quema considerando, Nitrógeno, Fósforo y más nutrientes asimilables.

Mataix-Solera, (2007) menciona que en fuegos a baja intensidad muestra un aumento de la capacidad de cationes de cambio y capacidad de intercambio catiónico, un mayor contenido de K, Ca²⁺, Mg²⁺, procedentes de cenizas, debido al aporte de elementos por la incineración de la vegetación, al igual menciona que tras el paso del fuego en el suelo se incrementan los contenidos de Fósforo, en cantidades equivalentes a la cantidad de cenizas procedentes de la combustión de la vegetación, en cuestiones del Nitrógeno, mencionan que es uno de los nutrientes más afectados tras el paso del fuego, en relación a las temperaturas alcanzadas es el porcentaje de Nitrógeno que se pierde.

Francke, (1992) hace referencia a los efectos del fuego, en el manejo de residuos de explotaciones de *Pinus radiata*, mostrando efectos de la quema en las propiedades físicas y químicas del suelo, a dos meses después de su aplicación, en una profundidad de 0-5 cm, donde los datos del Potasio y Fósforo,

muestran un incremento para áreas quemadas en comparación de las áreas no quemadas.

Lázaro, *et al.*, (2011) en su estudio mencionan que la calidad y el crecimiento de especies forestales como el *Pinus patula*, necesita de aportación de nutrientes, ya que es una problemática a la que se enfrenta estas masas forestales que dependen de varios factores, entre ellos el edáfico, que actúa sobre los árboles mediante la conducción, retención de agua y aportación de nutrientes, para su crecimiento y productividad, en el estudio proponen la fertilización química para aumentar la productividad forestal, con la aplicación de Nitrógeno, Fosforo, Potasio con relación a la producción de follaje nuevo, mediante un experimento factorial.

7 MATERIALES Y MÉTODOS

7.1 Localización del área de estudio

El estudio se realizó dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada al sur del municipio de Saltillo perteneciente al estado de Coahuila de Zaragoza, el área se localiza a un costado del edificio administrativo, en las coordenadas: latitud 25°21'0.86"N y longitud 101° 1'32.76"O, área donde el 9 de febrero de 2016 se realizó una plantación de *Pinus cembroides* Zucc, con edad promedio de 5 años y altura promedio de 1 m, como medida compensatoria de impacto ocasionado por la ampliación de la carretera Zacatecas-Saltillo, un trabajo realizado en conjunto entre la Secretaria de Comunicaciones y Transportes, la Subdirección de Recursos Naturales del Municipio y la Dirección de Investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN).

En esta área el 18 noviembre del 2017 se realizó un ensayo de quema prescrita como parte del estudio de caso, con los objetivos de reducir la cantidad de combustibles presentes y liberar la plantación de competencia, evaluar los efectos del fuego y la aportación de minerales al suelo provenientes de las cenizas. La unidad de quema prescrita 1, cuenta con una superficie de 1.29 hectáreas que fue la que se consideró para la evaluación de los nutrientes, en la que se realizó la quema el día 18; la unidad 2, con una superficies de 0.65 hectáreas, no se consideró tomando en cuenta que los efectos del fuego no fueron significativos, en esta área la quema se realizó el día 19 de noviembre, ambas áreas tienen una pendiente de 5% y se encuentran a una altitud de 1,800 m.s.n.m. Figura 1.

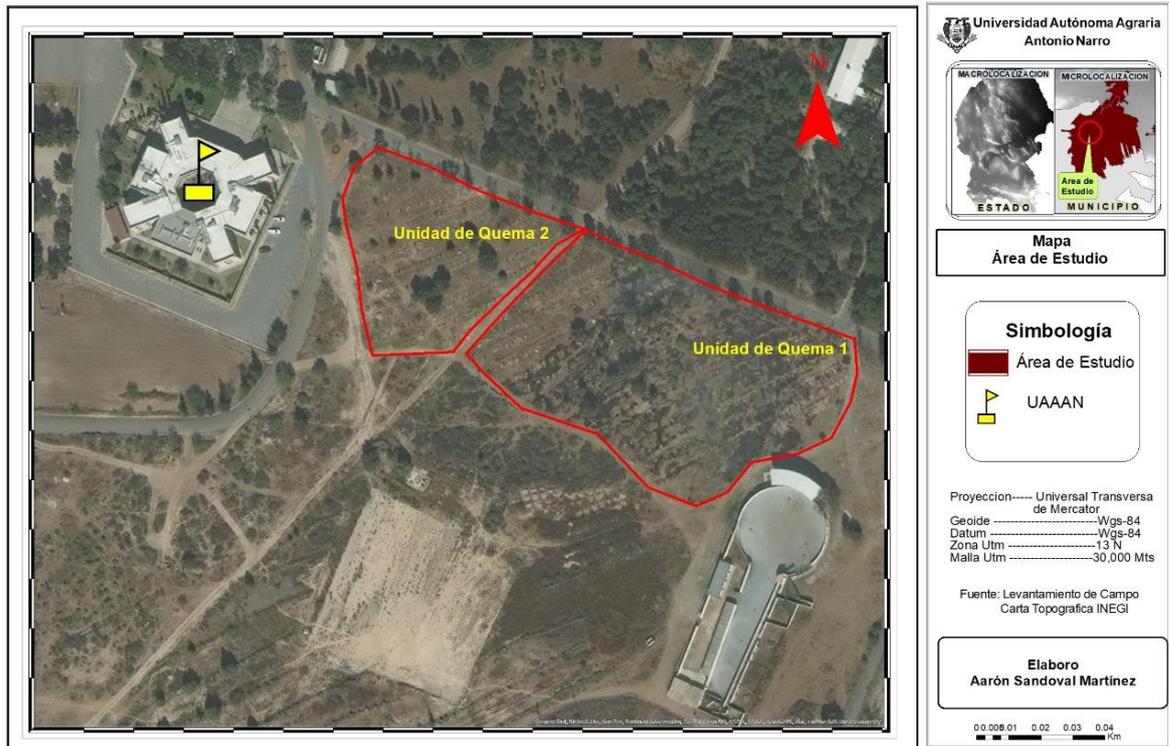


Figura 1 Ubicación del área de estudio

7.2 Fisiografía

La fisiografía presente es montañosa, ya que se encuentra a un lado de la Sierra de Zapalinamé la cual se encuentra dentro de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental, que se extiende desde el centro del país hasta el extremo sureste del estado de Coahuila. Esta parte de la región incluye extensiones de valles, planicies y montañas en su mayoría (SPP, 1983).

7.3 Hidrología

La red hidrográfica es vertiente del Golfo de México y cuencas cerradas del Norte y región hidrológica 24 "Bravo-Concho". Se presentan patrones de drenaje los cuales son paralelos y dendríticos, la mayoría de las corrientes son intermitentes, (Hernández, 2013).

7.4 Edafología

De acuerdo con Hernández, (2013) los suelos son de tipo litosoles, son suelos superficiales y sobre yacen a la roca o caliche cementado y roca caliza cubierta por suelos residuales, producto de la intemperización del horizonte superior y suelo vegetal.

7.5 Clima

El clima de acuerdo a la estación meteorológica de la UAAAN, corresponde a la fórmula climática de BsoK (x')(e) y pertenece al tipo semiárido; la temperatura media anual es de 17.8°C, con temperaturas extremas, máxima de 35°C y mínima de -7°C y una precipitación media anual de 450 mm, y los meses más lluviosos son Julio, Agosto y Septiembre, el verano es la estación con mayor humedad relativa y las estaciones de invierno y primavera de mayor sequía, de acuerdo con la modificación propuesta por García, (1987) a la clasificación de Köppen.

7.8 Vegetación

Originalmente la vegetación del área es un bosque de *Pinus cembroides* Zucc, acompañado de en el sotobosque de *Rhus virens*, *Salvia ballotaeflora*, *Sophora secundiflora*, entre otras (Marroquín, 1976). Debido a la fuerte presión humana y el crecimiento de la zona urbana de la ciudad de Saltillo se ha establecido matorral micrófilo, asociado a la plantación de *Pinus cembroides*, que se estableció en el área.

7.9 Preparación de unidad de quema

Como acondicionamiento de la unidad para realizar la quema prescrita, tratando de afectar lo menos posible la plantación, se realizó la limpieza de la base de los árboles o cajetes de cada uno de los individuos, realizando limpieza y podas para

cortar la continuidad vertical y horizontal que existía entre los pinos, las brechas corta fuego en la parte Norte y Oeste se tomaron en cuenta las carreteras existentes, una que conlleva al Departamento Forestal y la otra es parte del periférico de la Universidad; en el caso del Sur y Este se realizó la apertura y mantenimiento de brecha cortafuego de 2 m de ancho, también se establecieron las áreas de prueba de quema, que consiste en un cuadro de 3 por 3 m, para determinar y comparar los factores meteorológicos y las variables de comportamiento de fuego con la prescripción y tomar la decisión de realizar o no la quema prescrita.

Como parte de la preparación de la unidad de quema # 1 los individuos de gatuño (*Mimosa aculeaticarpa*), presentes en la unidad de quema se identificaron y se arrancaron de raíz colocándolos en hileras perpendiculares a la pendiente en las partes centrales de claros y camellones de la plantación, retirados de los pinos.

7.10 Combustible de la unidad de quema

El combustible forestal está constituido principalmente por materiales, finos y ligeros, vivos y muertos, con individuos aislados de gatuño, la mayoría son combustibles que presentan un tiempo de retardo de una hora y se les conoce como combustibles finos o ligeros, como son hojas, herbáceas y gramíneas que arden fácilmente y son consumidos rápidamente por el fuego cuando están secos (Díaz, *et al.*, 2012).

Contando con el Plan de Quema Prescrita que en su conjunto incluye:

- ✓ Permisos y notificaciones
- ✓ Objetivos de la quema
- ✓ Descripción del área de estudio y su localización
- ✓ Preparación de la unidad de quema
- ✓ Prescripción de la quema
- ✓ Pronostico del comportamiento del fuego
- ✓ Pronostico del tiempo atmosférico

- ✓ Organización del personal
- ✓ Prueba de quema
- ✓ Plan de ignición
- ✓ Plan de control
- ✓ Plan de liquidación y vigilancia
- ✓ Plan de monitoreo y evaluación
- ✓ Plan de contingencia
- ✓ Plan de seguridad
- ✓ Plan de manejo de humo
- ✓ Información al público
- ✓ Evaluación de resultados

7.11 Prueba de quema

Al tener la unidad de quema prescrita preparada y lista para llevar a cabo la quema prescrita, primeramente se realizó la prueba de quema en una área de 3 por 3 m con características similares a la unidad de quema prescrita, aplicando la técnica de ignición en retroceso y por fajas para comprobar que los valores plasmados en la prescripción del plan de quema y que los valores de los factores meteorológicos y variables de comportamiento del fuego de la prueba de quema, están dentro o no de los rango de la prescripción, resultados que fundamentan la decisión de desarrollar o no la quema prescrita.

7.12 Aplicación de la quema prescrita

Una vez comprobado que los factores meteorológicos y variables de comportamiento del fuego evaluado en la prueba de quema, estaban dentro de la prescripción establecida, se procedió a desplegar el personal y que el jefe de ignición con el apoyo de los torcheros, aplicaron inicialmente la técnica de ignición en retroceso para establecer una quema de ensanche y posteriormente aplicar la técnica de ignición en fajas, consiste en tirar una primera línea de fuego en la parte alta del terreno, perpendicular a la pendiente y en contra de la dirección del viento, en el borde de la unidad de quema, en seguida se establece

una segunda línea de encendido a una distancia de 50 cm de la primera; posteriormente las líneas fuego establecidas fueron de manera irregular de amplitudes menores a 1 m y siguiendo la mayor protección de los árboles y su distribución en el terreno, buscando siempre que el fuego avanzara en retroceso y protegiendo primeramente la bases de los árboles con la quema ligera de los combustibles, tratando de que la radiación del fuego afectara en menor medida a los árboles presentes en el área.

El método de ignición por fajas nos permite manejar la longitud de llama y la velocidad de propagación, si se requiere que el fuego quemara con baja intensidad, solo se acorta el espacio entre franjas y si queremos que el fuego presente una mayor intensidad se amplía el espacio entre franjas, esta técnica es muy común y segura, ya que se puede aplicar en diferentes terrenos y a diferentes cargas de combustible, dependiendo de los objetivos que se requieren, se establece el espacio entre franja y franja, (Grillo, *et al.*, 2003).

Posteriormente a la quema se procedió a la liquidación y vigilancia de la unidad de quemados considerando personal para el monitoreo y revisión de puntos calientes hasta las 1700 horas.

7.13 Tipo de muestreo

En la unidad de quema No.1 para llevar a cabo el estudio se realizó un muestreo selectivo para determinar las propiedades en las dos condiciones del suelo, áreas quemadas y no quemadas a dos meses de haberse realizado el ensayo de quema, seleccionando sitios de muestreo con presencia de fuego (con cenizas) y sitios de muestreo sin presencia de fuego (no cenizas). Considerando que fue una quema prescrita de baja intensidad y baja severidad; por la presencia de combustibles finos y ligeros, pendiente ligera del terreno y condiciones atmosféricas húmedas.

El muestreo selectivo consiste en, escoger puntos al azar considerando todas las líneas de la plantación, seleccionando todas las demás muestras a intervalos regulares tratando de llevar un orden para muestras de suelo en sitio quemado y de suelo en sitio no quemado, por línea de plantación y tratando de

que estas sean representativas para el área utilizando la técnica de zig-zag para colecta de muestras (Mendoza *et al.*, 2017). Se obtuvieron un total de 16 muestras considerando ambas características del suelo, para que el muestreo sea representativo. Anexo 8.

La recolecta de muestras de suelo se realizó en cuadrados de 10 cm por 10 cm, los cuales se establecieron con ayuda de un flexómetro o cinta métrica, retirando el material vegetativo (muerto o vivo) para muestras de zonas no quemadas, se utilizó una pala tipo zázola de aluminio para triturar el suelo e introducirlo en una bolsa de plástico con clave de identificación, anotando información (número de muestra, entre que líneas se encuentra, suelo quemado o no quemado), considerando para ello de 0-3 cm de la superficie del suelo o capa arable del suelo, ya que no son suelos muy profundos; considerando que en los primeros centímetros se encuentra la mayoría de los restos de cenizas y minerales de los suelo (Afif y Olivares, 2006). En los casos de suelos de cultivos se toman de 0-30 cm de profundidad por ser suelos más profundos y menos compactos (Fernández, 2004).

El muestreo comprende muestras simples que determina las características del suelo en un tiempo y en un lugar particular, (Mendoza *et al.*, 2017). El muestreo se realizó dos meses después de la aplicación de la quema prescrita. En las muestras obtenidas se realizó el análisis de Nitrógeno, Fosforo y Potación para poder determinar si existe alguna diferencia en la cantidad de estos nutrientes considerando las dos condiciones evaluadas, de áreas quemadas y áreas no quemadas.

Para determinar los nutrientes del suelo, en el caso de Fosforo se obtuvo con el método de Olsen, (Carrero, *et al.*, 2015), el Potación se realizó mediante el método de nitrato de sodio y para el Nitrógeno total se determinó mediante el método de Kjeldahl, la obtención de muestras se realizó de acuerdo a (SEMARNAT, 2000) y (Fernández-Linares *et al.*, 2006).

Los datos de suelo se analizaron mediante el estadístico t Student para la comparación de dos medias (Zar, 1984) en el programa Spss para verificar si existe varianza significativa en los valores recabados en campo, (SPSS, 1997).

La *t* de Student, inicialmente se diseñó para analizar las diferencias entre dos muestras independientes y pequeñas que presenten una distribución normal y homogeneidad de varianzas, la metodología es:

1. Probar que cada una de las muestras presente una distribución normal.
2. Calcular para cada una de las muestras, el tamaño de muestra, la media y la varianza.
3. Probar que las varianzas sean homogéneas.
4. En caso de homogeneidad en las varianzas establece la diferencia entre las medias y calcular la varianza común de las dos muestras.

El programa SPSS *Statistical Program Social Sciences*, es un conjunto de herramientas de tratamiento de datos para el análisis estadístico, funciona mediante menús desplegables, con herramientas que permiten facilitar la mayoría del trabajo.

7.14 Efectos inmediatos del fuego

En el caso de los daños a la plantación producto de la radiación del fuego, se determinó a los 2 y 9 meses de haber aplicado la quema, un diagnóstico del daño que recibieron cada uno de los individuos del área, contemplando para ello el criterio de dividir el árbol en tres partes, comenzando de la parte inferior como el primer tercio, segundo tercio parte central del árbol y tercer tercio de la parte media hacia la punta o ápice del árbol, anexo 7.

8 RESULTADOS

De acuerdo con las condiciones de la vegetación del área de estudio, la obtención de cenizas fue muy bajo, ya que en su mayoría de los combustibles presentes en el área fueron combustibles finos y ligeros como, hojas secas de herbáceas, gramíneas y acículas de pinos que se encuentran en el área.

8.1 Efectos inmediatos del fuego

En el caso de los árboles de la plantación que son 164 individuos en la unidad de quema prescrita, 91 no presentaban daños significativos en tallo y follaje, 38 presentaron algunas de sus ramas de la partes bajas afectadas por la radiación, lo que se clasificó como efectos en el primer tercio, 29 individuos presentaron daños desde la parte media del follaje hasta las ramas inferiores, lo que se determinó como, daños hasta el segundo tercio, y solo 6 individuos presentaron efectos en todo o en la mayoría de su follaje por la radiación, considerando efectos desde la parte superior hasta la inferior del árbol, efectos hasta el tercer tercio de los individuo, defoliación completa.

El segundo diagnóstico realizado a los 9 meses, en el mes de agosto, donde los individuos afectados presentaron recuperación total de su follaje y presentándose solo 3 árboles muertos completamente, de los 6 individuos más afectados; arboles afectados hasta el tercer tercio por la radiación, los cuales se determinan como muertos a causa del fuego.

8.2 Fosforo

Se observa que las muestras en los sitios quemados muestran un incremento en comparación a las muestras recabadas en sitios no quemados, aunque se muestran datos elevados como en la muestra 4 que se tiene un resultado de 116 ppm en el área quemada, comparándolo con la misma muestra en áreas no quemadas que se tiene 30 partes por millón, Figura 1; los datos que se obtuvieron de los análisis de muestreo se observan en el apartado de anexos 1.

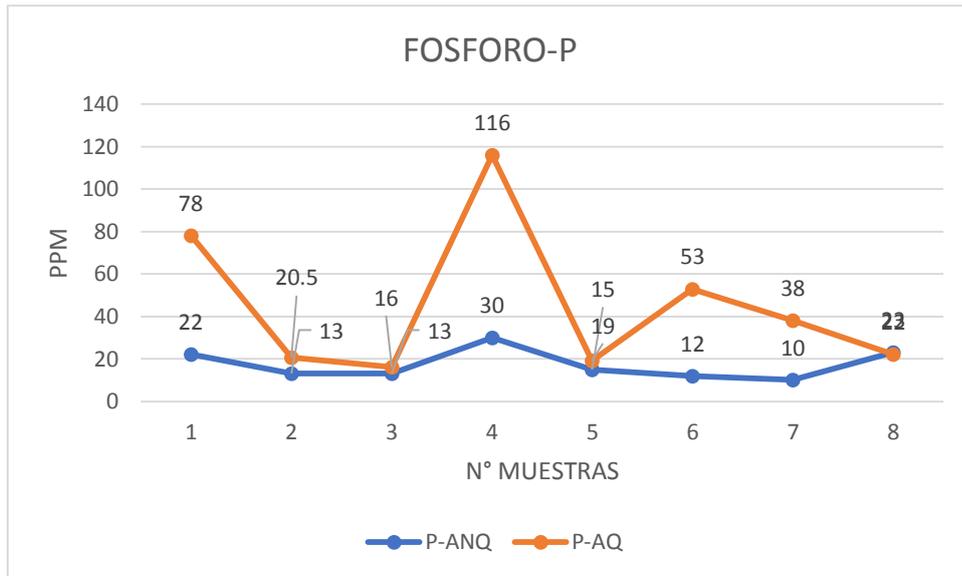


Figura 2 Comportamiento de Fosforo en ambas condiciones de áreas quemadas (AQ) y áreas no quemadas (ANQ).

8.2.1 Análisis estadístico de Fosforo

De acuerdo con el análisis estadístico utilizando la prueba de t de Student al 95% de confiabilidad muestra que las áreas quemadas y no quemadas son significativamente diferentes mostrando un aumento de este macronutriente con una desviación estándar de 174.84177, y una significancia de 0.020. Lo anterior se muestra en la tabla 1; se muestra el análisis completo de estadísticas y correlación de las muestras en el anexo 3 y 4.

Tabla 1. Prueba de t para medias de dos muestras emparejadas de Fosforo

	Diferencia emparejada							
	Media	Desviación Estándar	Media del Error Estándar	95% de intervalo de confianza		t	gl	Sig. (bilateral)
				inferior	superior			
VAR002-VAR001	186.25	174.84177	61.8159	40.07863	332.42137	3.013	7	.020

8.3 Potasio

Para este nutriente al igual que el Fosforo, se tienen datos muy elevados como la muestra 3 que presenta un valor de 820 ppm, al igual en la muestra 4 se observa que el suelo quemado contiene menor cantidad Potasio con un valor de 330 ppm, que el suelo no quemado con 450 ppm. Figura 2.

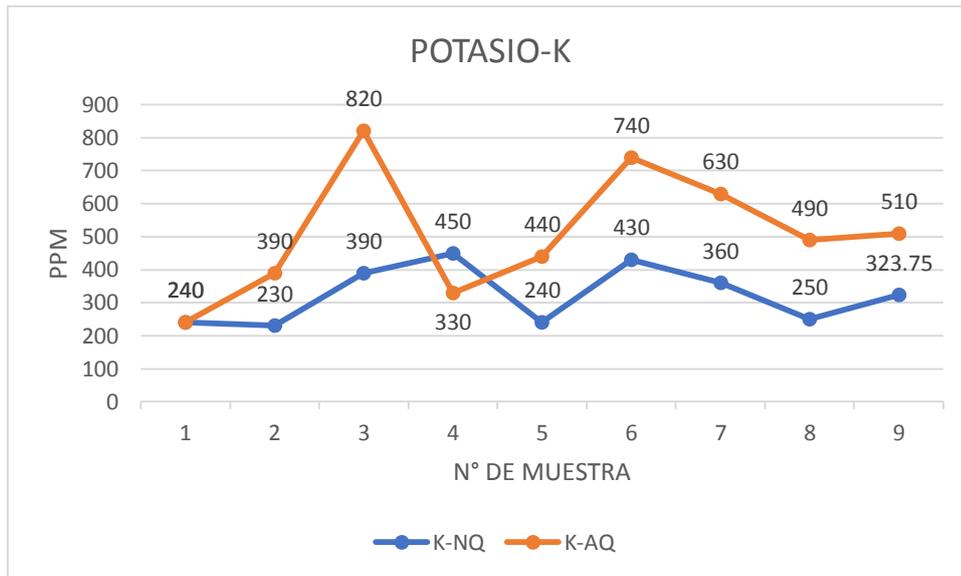


Figura 3 Comportamiento de los datos de Potasio considerado áreas quemadas (AQ) y áreas no quemadas (ANQ).

8.3.1 Análisis estadístico de Potasio

En el análisis estadístico obtenido a través del estadístico t de Student se observa que la significancia con un valor de 0.076, en el contenido de potasio no es significativo de acuerdo con la confiabilidad de 95% y una desviación estándar de 38.13363, tabla 2; en el anexo 5 y 6 se muestra el análisis completo de estadísticas y correlación de las muestras.

Tabla 2. Prueba de t para medias de dos muestras emparejadas para Potasio

	Diferencia emparejada							
	Media	Desviación Estándar	Media del Error Estándar	95% de intervalo de confianza		t	gl	Sig. (bilateral)
				inferior	superior			
VAR002-VAR001	-28.0625	38.13363	13.48228	59.94302	3.81802	2.081	7	.076

8.4 Nitrógeno

El Nitrógeno es uno de los tres elementos estudiados que se presenta con menor proporción antes y después de la quema, en la figura 3, se observa el comportamiento de ambas condiciones evaluadas, considerando que los datos de áreas quemadas presentan un incremento a comparación de las áreas no quemadas y similitudes a los datos de fosforo y potasio que existen datos de las áreas no quemadas que están por arriba de los datos de áreas quemadas, como la muestra 3 y 7.

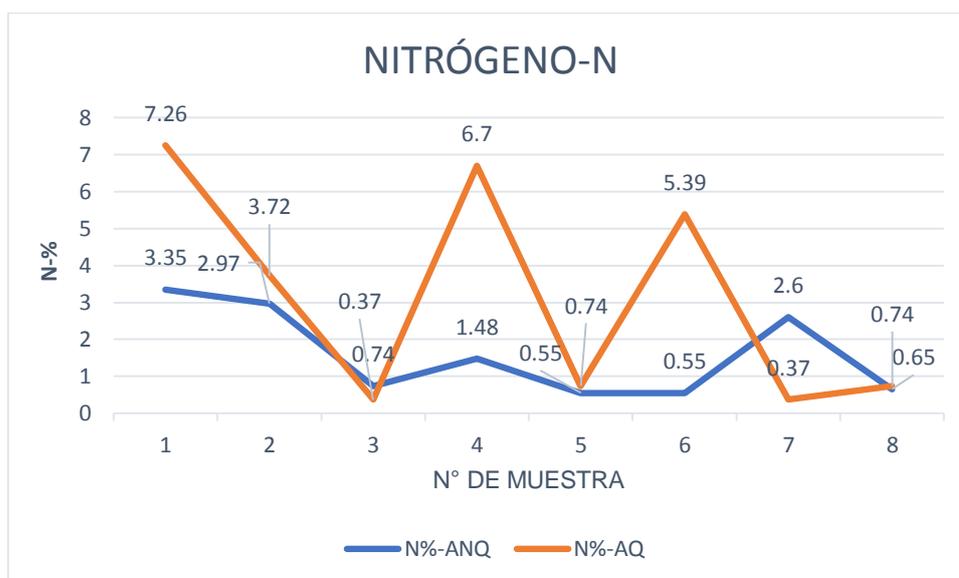


Figura 4 Comportamiento de los datos de Nitrógeno en porcentaje considerado áreas quemadas (AQ) y áreas no quemadas (ANQ)

8.4.1 Análisis de Nitrógeno

En el análisis estadístico se obtuvo una desviación estándar de 2.73753, un valor de t igual a 1.601, con 7 grados de libertad y una significancia de .153, lo que determina que no existe aumento en el contenido de Nitrógeno en la comparación de áreas quemadas con áreas no quemadas, considerando el 95% de confiabilidad. En la tabla 3 se observa los datos de este análisis y en los anexos 6 y 7 el análisis estadístico completo.

Tabla 3: Prueba de t para medias de dos muestras emparejadas para Nitrógeno.

	Diferencia emparejada							
	Media	Desviación Estándar	Media del Error Estándar	95% de intervalo de confianza		t	gl	Sig. (bilateral)
				inferior	superior			
VAR002-VAR001	1.55000	2.73753	.96786	-73863	3.83863	1.601	7	.153

9 DISCUSIÓN

En el contenido de Fosforo, se encontró una diferencia significativa de 0.20 con un valor de $p < 0.05$, lo que se asimila, que, si existe un incremento en el contenido de este macronutriente en las áreas quemadas en comparación a las no quemadas, considerando que el muestreo se realizó a los 2 meses después de la quema. Afif y Olivares, (2006), en su estudio el menciona que después de la quema existe un incremento de Fosforo inmediatamente, después de la quema, mostrando una gráfica de comportamiento que aumenta y disminuye en los diferentes periodos de evaluación potsfuego, mostrando un mayor incremento a los 30 días después de la quema, considerando las tres profundidades a las que se realizó el estudio y observando la profundidad de 0-3 cm que es igual a la evaluada en este estudio, se puede atribuir que el Fosforo aumenta significativamente.

Mataix-Solera, (2007) menciona que el contenido de los nutrientes en el suelo va a depender de la cantidad de combustible que se haya quemado en consideración, lo que quiere decir que entre más combustible existe en un área, mayor es la producción de ceniza y mayor el contenido de Fosforo, al igual Julio, (2000), muestra un incremento del doble de contenido de Fosforo en comparación de suelos quemados a los no quemados (Francke, 1992). Los incrementos de Fosforo son significativos en áreas potsfuego.

Para el contenido de Potasio se encontró en el presente estudio que no existe diferencia significativa, lo que se dice que no existe aumento en el contenido de este macronutriente en áreas quemadas a comparación de áreas no quemadas, aunque diversos autores muestran en sus estudios existe incremento de Potasio en áreas quemadas (Francke,1992) y (Julio, 2000).

Mataix-Solera, (2007) menciona que en ocasiones existen grandes pérdidas de este Potasio, debido a la intensidad y severidad del fuego, también menciona que la cantidad de nutrientes presentes potsfuego va a depender de la cantidad de cenizas la cual se le atribuye a la cantidad de combustibles presentes.

En el caso del Nitrógeno, Afif y Olivares, (2006), muestra en su estudio un incremento después de la quema y a los 7 días, en cambio a los 30 y 90 días el contenido de nitrógeno en el suelo disminuye, mostrando un menor contenido de nitrógeno en las muestras antes de la quema, en el presente estudio el contenido de Nitrógeno no presenta ningún aumento para áreas quemadas, al igual las áreas no quemadas muestran un contenido de Nitrógeno muy bajo, esto puede atribuirse al tipo de suelo, ya que son suelos muy pobres y poco profundos.

Lázaro, *et al.* (2011). En su estudio menciona la fertilización química de Fosforo, Potasio y Nitrógeno, como una alternativa para aumento de masas forestales, lo que se puede realizar con la aplicación de quemas prescritas, lo cual beneficiaría a la aportación de estos nutrientes y al mismo tiempo el beneficio de la reducción de los combustibles presentes en el área y así evitar incendios forestales.

10 CONCLUSIONES

10.1 Fosforo

En el caso del contenido de Fosforo de acuerdo a los resultados del análisis estadístico de la prueba t Student, se considera que, si hay diferencia entre las áreas no quemadas y las áreas quemadas mostrando un aumento de este nutriente en las áreas postfuego, con una desviación estándar de 174.84177, un valor de t de 3.013 con 7 grados de libertad y una significancia de 0.020, y una confiabilidad del 95%, se dice que existe un aumento en el contenido del macronutriente.

10.2 Potasio

En los resultados del Potasio de acuerdo a lo obtenido en el estadístico se puede decir con un valor de la desviación estándar de 38.13363, un valor de t igual a -2.081, 7 grados de libertad y una significancia del 0.076, y con una confiabilidad del 95%, que no existe aumento o diferencia de Potasio entre las áreas quemadas y las áreas no quemadas, esto puede ser debido a los combustibles ligeros quemados en la unidad de quema.

10.3 Nitrógeno

En contenido de Nitrógeno aplicando el estadístico t Student, se obtuvo un valor de t igual a 1.601, una desviación estándar de 2.73753, con un 95% de confiabilidad, que es el parámetro que normalmente se utiliza en los estadísticos, se afirma que no aumenta el contenido de Nitrógeno dada la significancia de 0.153.

En base a la hipótesis planteada considerando los tres macronutrientes evaluados en las dos condiciones establecidas de áreas quemadas y áreas no quemadas, se determina que no existe aumento en el contenido de macronutrientes en las áreas quemadas, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula.

Es conveniente considerar los efectos de los fenómenos o actividades que se registren o realicen en la unidad de quema prescrita, posteriores a la aplicación del fuego, como son fuertes vientos, lluvias torrenciales, pastoreo de ganado, entre otros.

11 RECOMENDACIONES

En general, el fuego es una herramienta silvícola en plantaciones forestales con especies consideradas como dependientes o mantenidas por el fuego, para la eliminación de vegetación no deseada. Se debe tener en cuenta que las características de los ecosistemas y su clasificación en relación al papel ecológico del fuego, el *Pinus cembroides* aún no se tiene determinado si es dependiente del fuego o mantenido sin embargo presenta corteza gruesa y se encuentra en zonas semiáridas en combinación con matorral-pastizal, que en su mayoría son especies que muestran características de adaptación al fuego.

Continuar con estudios de quemas prescritas en áreas naturales y en plantaciones de *Pinus cembroides*, donde se le puede dar seguimiento a este y otros estudios evaluando los efectos del fuego. Es conveniente cercar las unidades de quema prescrita, protegerla del pastoreo y de la actividad humana, que pueden influir en los diferentes resultados de los efectos del fuego.

Realizar trabajos similares de aplicación de quema prescrita en plantaciones forestales antes de la temporada de lluvias y evaluar los efectos del fuego en el crecimiento en altura e incrementos de las masas de las especies forestales

En Áreas Naturales Protegidas, considerar los efectos del fuego en el control de los matorrales y para favorecer la presencia de especies de herbáceas y gramíneas nativas, según los objetivos de manejo y conservación del área en estudio.

Considerando que áreas con manejo forestal, incluyendo a las Áreas Naturales Protegidas están demandando la elaboración y aplicación de su Plan de Manejo del Fuego, es conveniente reforzar la formación del Ingeniero Forestal en materia de ecología y efectos del fuego, que serían las bases para poder desarrollar el manejo del fuego.

12 LITERATURA CITADA

- Afif, E., y Oliveira, J. A. 2006. Efectos del fuego prescrito sobre matorral en las propiedades del suelo. Escuela Universitaria de ingenierías Técnicas. España. 9p.
- Carrero A. A., Zambrano A., Hernández E., Contreras F., Machado D., Bianchi G. Varela R. 2015. Comparación de dos métodos de extracción de fosforo disponible en un suelo ácido. Laboratorio de Investigación y Análisis Químico, industrial y Agropecuario (LIAQIA) 6p.
- CENAPRED. 2014. Incendios Forestales, Centro Nacional de Prevención de Desastres. SERIE Fascículos. México D. F 47p.
- CONANP, CONAFOR, FMCN, USFS, CMF, GIZ. 2012. Guía para la Elaboración de Programas de Manejo de Fuego en Áreas Naturales Protegidas y Sitios de Interés (Guía Rápida). Jalisco, México. 60p.
- De León E. 2010. Factores que influyen en la producción de piñón de *Pinus cembroides Zucc.* Tesis Ingeniero Forestal. Saltillo, México. División de Agronomía. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo. 48p.
- Díaz E.R.E., Gonzalez M. A., Jiménez J., Treviño E. J, Ávila D. Y. 2012. Caracterización de Combustibles Forestales Mediante un Muestreo Directo de Plantaciones Forestales. Ciudad de México. México. 11p.
- Diario Oficial de la Federación (DOF) 2009. Norma oficial mexicana- 015. NOM-015-SEMARNAT/SAGARPA-2007. Que establece las especificaciones técnicas de 29 métodos de uso del fuego en los terrenos forestales y en terrenos de uso agropecuario. Diario Oficial de la Federación. México, D.F., 67 p.
- FAO. 2007. Manejo de Fuego: principios y acciones estratégicas. Directrices de carácter voluntario para el manejo del fuego. Documento de trabajo sobre manejo del fuego No. 17. Roma, Italia. 83p.
- Fernández, F. 2004. Métodos Rápidos De Análisis De Suelos. Ministerio De Agricultura Pesca Y Alimentación. Madrid. España. 32p.

- Fernández-Linares LC, Rojas-Avelizapa NG, Roldan-Carrillo TG, Ramírez-Islas ME, Zegarra-Martínez HG, Uribe-Hernández R, Reyes-Ávila, RJ, Flores-Hernández D, Arce-Ortega JM (2006). Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados. Ciudad México, México: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología. 50p.
- Flores, J. G. 2009. Impacto Ambiental de Incendios Forestales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Mundi-prensa. Barcelona. España. 325p.
- Francke, S. 1992. Efectos del manejo de residuos de explotación en el suelo y en el crecimiento inicial de Pino Radiata. *Rev. Chile Forestal*, CONAF, Documento. Técnico. Santiago de Chile. Chile. 67p.
- García, E. A. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, adaptado a las condiciones de la República Mexicana. 4ed. Corregida y aumentada. México, D.F. 217p.
- Granados-Sánchez, D., y López-Rios, G. F. (1997). Ecología del fuego. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales Y Del Ambiente. Chapingo. México. 4(1), 193–206.
- Grillo F., Díaz D, Caamaño J., 2003, Curso Nivel II Incendios Forestales Manejo del Fuego. Grupo Acción (GRAFOR) Bomberos Granada. España. 60p.
- Hernández A. 2013. Efectos del Fuego en Vegetación Herbácea de la Reforestación de Zapalinamé Saltillo, Coahuila. Tesis Ingeniero Forestal. Saltillo, México. División de Agronomía. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo. 48p.
- Julio G., 2000. Selvicultura y Quemadas Prescritas en las Masas Forestales de Chile. Universidad de Chile. Centro de Chile. 12p.
- Lázaro M. O., Velázquez, Vargas J. J. Gómez A., Álvarez M. E., Lopez M. A. (2011). Fertilización con nitrógeno, fosforo y potasio en un latizal de *Pinus patula* Schl. et Cham. Estudio de Maestría. Colegio de postgraduados. Estado de México, México. 33-42p.

- Ley Forestal del Estado de Coahuila de Zaragoza. 2008. Congreso del Estado. Última reforma publicada el 06 de junio del 2008. Coahuila de Zaragoza, México. 29p.
- Mataix-Solera J. Guerrero C. 2007. Efectos de los incendios forestales en las propiedades edáficas. Universidad Miguel Hernández de Elche. Macanes España 37p.
- Martínez E., Ríos J., Martínez E., Aguirre F., Porrero M., 2001. Manual de Quemadas Controladas. Mundi-prensa. México. 175p.
- Marroquín J. S. 1976. Vegetación y Flora del Norte de México. I. Aspectos sinecológicos en Coahuila. Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural. Tomo XXXVII. México. 69 – 101. 14p.
- Mendoza R. B., Espinoza A. 2017. Guía Técnica para Muestreo de suelos. Universidad Nacional Agraria y Catholic Relief Service (CRS). Managua Nicaragua. 56p.
- Myers R.L. 2006. Convivir con el fuego. Manteniendo los Ecosistemas y los Medios de Subsistencia Mediante el Manejo Integral del Fuego. The Nature Conservancy Global Fire Initiative, Tallahassee, FL. Suiza 32p.
- Moir, William H. 1982. Afire History of the high Chidod, Big Bend National Park, Texas, Estados Unidos de América. Southwestern Naturalist. 27(1): 87-98.
- Nájera, D. A. 2016. Ecología del fuego. Módulo de Manejo de Combustibles. Curso Internacional de Manejo del Fuego. Servicio Forestal de los Estados Unidos de Norteamérica y Comisión Nacional Forestal de México. Universidad del Zamorano, Francisco Morazán, Honduras, C.A. 50p.
- Poulos, H. y G. Berlyn. 2007. Variability in needle morphology and wáter status of *Pinus cembroides* across an elevational gradient in the Davis mountains of west Texas, USA. Journal of Torrey Botanical Society 134(2): 281-288.
- Rodríguez T., D. A. 1996. Incendios Forestales. Universidad Autónoma de Chapingo –Mundi –Prensa. México, D.F. 630p.

- Rzedowski, J., 2006. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán. México. 504p
- SEMARNAT (2000). Norma Oficial Mexicana NOM-021-EMARNAT-2000. Establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación. México City, México: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- SPP. 1983b. Síntesis Geográfica de Coahuila. Dirección General de geografía e Informática. Secretaría de Programación y Presupuesto. Saltillo, México. 163p.
- SPSS 1997. SPSS Base 7.5 Applications. Guide. Chicago, IL, USA: SPSS Inc.
- Vélez R. 2000. La Defensa Contra Incendios Forestales. Fundamentos y Experiencias. Fernández Ciudad S.L., Madrid, España.
- Villaseñor, J. L. 2016. Checklist of native vascular plants of México. Revista Mexicana de Biodiversidad. 87: 559-902. Universidad Nacional Autónoma de México, Distrito Federal, México. 345p.
- Zar JH (1984). Biostatistical Analysis. Englewood Cliffs, NJ. USA: Prentice Hall.

13 ANEXOS

Anexo 1 Resultados de Fosforo P y Potasio K en ppm y Nitrógeno N en %, considerando ambas condiciones, área quemada (AQ), área no quemada (ANQ)

N° de muestra	K-ANQ	K-AQ	P-ANQ	P-AQ	N%-ANQ	N%-AQ
1	240	240	22	78	3.35	7.26
2	230	390	13	20.5	2.97	3.72
3	390	820	13	16	0.74	0.37
4	450	330	30	116	1.48	6.7
5	240	440	15	19	0.55	0.74
6	430	740	12	53	0.55	5.39
7	360	630	10	38	2.6	0.37
8	250	490	23	22	0.65	0.74

Anexo 2 Comparación de variables de estadísticas de muestras emparejadas para Fosforo.

	Media	N	Desviación Estándar	Media de Error Estándar
Par 1 VAR00002	510	8	202.97783	71.7635
VAR00001	323.75	8	93.4937	33.05501

Anexo 3 Correlación de muestras emparejadas para Fosforo

	N	Correlación	Sig.
Par 1 VAR00002&VAR00001	8	.51	.196

Anexo 4 Comparación de variables de estadísticas de muestras emparejadas para Potasio.

	Media	N	Desviación Estándar	Media de Error Estándar
Par 1 VAR00002	17.2500	8	6.96419	2.46221
VAR00001	45.3125	8	35.63399	12.59852

Anexo 5 Correlación de muestras emparejadas de Potasio

	N	Correlación	Sig.
Par 1 VAR00002&VAR00001	8	-.274	.512

Anexo 6 Comparación de variables de estadísticas de muestras emparejadas para Nitrógeno

	Media	N	Desviación Estándar	Media de Error Estándar
Par 1 VAR00002	3.1613	8	2.97391	1.05144
VAR00001	1.6113	8	1.18321	.41833

Anexo 7 Correlación de muestras emparejadas de Nitrógeno

	N	Correlación	Sig.
Par 1 VAR00002&VAR00001	8	.391	.338

Anexo 8 Mapa de muestreo de suelos para ambas condiciones, áreas quemadas (AQ) y áreas no quemadas (ANQ)



Anexo 9 Efectos de la radiación del fuego al *Pinus cembroides* Zucc

