



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

EFFECTO DE LOS INCENDIOS FORESTALES EN LAS PROPIEDADES DEL SUELO

TESIS

**Que como requisito parcial
para obtener el grado de:**

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

Presenta

ALBA PAOLA CARRASCO ESPEJEL

Bajo la dirección de: DAVID CRISTOBAL ACEVEDO, DR.



Chapingo, Estado de México, mayo de 2022



EFFECTO DE LOS INCENDIOS FORESTALES EN LAS PROPIEDADES DEL
SUELO

Tesis realizada por **ALBA PAOLA CARRASCO ESPEJEL** bajo la supervisión
del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito
parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

DIRECTOR:



DR. DAVID CRISTÓBAL ACEVEDO

ASESOR:



DRA. ELIZABETH HERNÁNDEZ ACOSTA

ASESOR:



DR. DANTE ARTURO RODRÍGUEZ TREJO

ASESOR:



M.C. ANTONIO VILLANUEVA MORALES

CONTENIDO

CONTENIDO	iii
LISTA DE CUADROS	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
DEDICATORIA.....	viii
AGRADECIMIENTOS	ix
DATOS BIOGRÁFICOS	x
RESUMEN GENERAL	xi
ABSTRACT.....	xii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	13
1.1. Objetivos	17
1.1.1. Objetivo general.....	17
1.1.2. Objetivos específicos.....	17
1.2. Hipótesis.....	18
1.3. Contenido capitular del documento de titulación.....	18
CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA	19
2.1. Incendios forestales	19
2.1.1. Intensidad de un incendio forestal	22
2.1.2. Severidad de un incendio forestal	23
2.1.3. Tipos de incendios.....	24
2.1.3.1. Incendios de subsuelo.....	24
2.1.3.2. Incendios de superficie	25
2.1.3.3. Incendios de copas.....	26
2.1.4. Comportamiento del fuego en bosques de Pino y en bosques de Encino	26
2.2. El suelo forestal.....	27
2.2.1 Propiedades de los suelos forestales.....	27

2.2.1.1. Propiedades químicas de los suelos	27
2.2.1.1.1. pH.....	27
2.2.1.1.2. Carbono orgánico.....	28
2.2.1.1.3. Fosforo (P).....	28
2.2.1.1.4. Potasio (K)	28
2.2.1.1.5. Nitrógeno	29
2.2.1.1.6. Materia orgánica.....	29
2.2.1.2. Propiedades físicas de los suelos	30
2.2.1.2.1. Densidad Aparente	30
2.2.1.2.2. Densidad Real	30
2.2.1.2.3. Estabilidad de agregados	31
2.2.1.2.4. Textura	31
2.2.1.2.5. Porosidad	31
2.2.1.2.6. Constantes de humedad	32
2.3 Literatura citada.....	33
CAPITULO 3. ARTÍCULO CIENTÍFICO	41
EFECTO DE LOS INCENDIOS FORESTALES EN LAS PROPIEDADES DEL SUELO	42
RESUMEN	42
SUMMARY	43
INTRODUCCIÓN.....	46
MATERIALES Y MÉTODOS	48
Área de estudio	48
Ubicación de los sistema de muestreo	49
Muestreo y Determinaciones	50
Análisis de datos	51
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
CONCLUSIONES.....	65
LITERATURA CITADA	66
CONCLUSIONES GENERALES.....	74

ANEXO FOTOGRÁFICO..... 76

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Alteraciones producidas en el suelo por el efecto del fuego, según la temperatura (°C).....	15
Cuadro 2. Cambios en la vegetación y la materia orgánica del suelo según la severidad del fuego.	23
Cuadro 3. Resultados del análisis de varianza (Anova) de 2 factores: tratamiento y profundidad, para las variables físicas y químicas en bosque de Pino. Con un nivel de significancia de 0.05.....	52
Cuadro 4. Comparación de medias de los tratamientos por Tukey. Bosque de Pino.....	53
Cuadro 5. Resultados del análisis de varianza de 2 factores: tratamiento y profundidad, para las variables físicas y químicas en bosque de Encino. Con un nivel de significancia de 0.05.....	54
Cuadro 6. Comparación de medias de los tratamientos por Tukey. Bosque de Encino.....	55
Cuadro 7. Valores medios de propiedades físicas y químicas del suelo en bosque de Pino: Severidad alta, Severidad baja y Sin incendio, a dos profundidades.....	56
Cuadro 8. Valores medios de propiedades físicas y químicas del suelo en bosque de Encino; Severidad alta, Severidad baja y Sin incendio, a dos profundidades.....	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Momento del incendio forestal. Abril, 2020.....	17
Figura 2. Sitio después de controlado el incendio.....	17
Figura 3. Condiciones del suelo después del incendio.	17
Figura 4. Factores que determinan la ocurrencia de un Incendio Forestal.	22
Figura 5. Esquema que resume los factores y los efectos del fuego generado por combustión de diferentes materiales orgánicos sobre los componentes y las propiedades del suelo (Minervini et al., 2018).	47
Figura 6. Localización del Ejido de San Felipe Sultepec	48
Figura 7. Condiciones del sitio después del incendio forestal	49
Figura 8. Sistemas de muestreo en bosque de Pino: A: Incendio de Severidad Alta; B: Incendio de Severidad Baja; C: Sin Incendio.....	49
Figura 9. Sistemas de muestreo en bosque de Encino: A: Incendio de Severidad Alta; B: Incendio de Severidad Baja; C: Sin Incendio.	49
Figura 10. Ubicación de los Sistemas de muestreo	50
Figura 11. Valores de pH en el suelo en Encino	63
Figura 12. Valores de pH en el suelo en Pino	63

DEDICATORIA

A mis padres Rey y Paula, quienes son los pilares fundamentales en mi vida, con mucho amor y cariño les dedico todo mi esfuerzo, reconociendo su entrega y sacrificio para poder lograr mis metas.

A mi hermana Daris, por ser mi compañía, mi apoyo y mi fuerza para seguir adelante.

A mis abuelos Rober †, Demes †, Miguel † y Mode †, por su gran amor.

A mis primos Benja y Naye, por cobijarme en momentos difíciles, por sus consejos, por su cariño y apoyo.

A mi tía Sarita, por sus consejos, su apoyo y por su gran cariño.

Al Dr. Anastasio Espejel y la Dra. Ariadna I. Barrera, por alentar mis ganas de superación, por compartir sus conocimientos, por su orientación y por su apoyo.

A Zuli, mi mejor amiga, por siempre apoyarme, cuidarme, por sus consejos y por todo su cariño.

A David Alonso †, por enseñarme a disfrutar cada día, por haber sido un ejemplo de perseverancia y lucha constante, por brindarme su confianza, su comprensión y cariño.

A mi amiga Myr, por ayudarme a creer en mí, por sus palabras de consuelo, por su cariño, por cada momento compartido y por coincidir conmigo en el amor al bosque.

A Luis R., por compartir sus conocimientos de estadística y por su apoyo en este trabajo.

A Carlos M. por apoyarme en un momento muy difícil de esta etapa, por cobijarme y consolarme.

A cada uno de mis amigos: Jersa, Abi, Mari, Joaquín, por su cariño.

Y a todos mis compañeros de la Maestría, por su bonita amistad.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la ayuda económica brindada, a la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), mi alma mater, por recibirme y brindarme apoyo económico y sobre todo por los invaluable conocimientos que me ha dado, a la División de Ciencias Forestales (DICIFO) por ser parte fundamental en mi formación académica, profesional y personal.

Muy especialmente a mi director de tesis el Dr. David Cristóbal Acevedo, por su orientación, dedicación, amabilidad, paciencia y por compartir sus conocimientos y motivarme a lograr este grado académico.

Así mismo agradezco enormemente a mi comité asesor, a la Dra. Elizabeth Hernández Acosta, al Dr. Dante Arturo Rodríguez Trejo y al Dr. Antonio Villanueva Morales, por su apoyo en cada etapa del proyecto, por su acertada orientación, por compartir sus conocimientos, por su paciencia y por su dedicación a esta investigación.

Agradezco al claustro del posgrado por el apoyo a todos y cada uno de los profesores que fueron parte de esta formación académica, por su entusiasmo, amabilidad y consejos.

Al ejido de San Felipe Sultepec, por brindarme las facilidades de ingreso a los sitios y por la confianza brindada.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre: Alba Paola Carrasco Espejel

Fecha de nacimiento: 17 de enero de 1994

Lugar de nacimiento: Cd. De Tlaxcala, Tlaxcala

CURP: CAEA940117MTLRSL07

Profesión: Ingeniero en Restauración Forestal

Cedula profesional: 12037784



Desarrollo académico

Bachillerato: Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo

Licenciatura: Ingeniería en Restauración Forestal, Universidad Autónoma Chapingo

Maestría: Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo

RESUMEN GENERAL

Efecto de los incendios forestales en las propiedades del suelo¹

En los últimos años se ha incrementado el número de incendios forestales en el mundo. La severidad de un incendio determina la magnitud de su afectación al suelo uno de los componentes esenciales del ecosistema en sus propiedades físicas, químicas y biológicas. El objetivo general del trabajo fue evaluar el impacto de un incendio forestal sobre las propiedades físicas y químicas del suelo en ecosistemas de pino y encino, considerando los factores; profundidad del suelo y severidad del fuego. Se realizó un muestreo al azar, con cinco repeticiones en tres niveles de severidad 1) incendio de severidad alta, 2) incendio de severidad baja y 3) sin incendio. En cada uno se ubicaron cinco sitios de muestreo, considerando dos profundidades: 0-5 cm y 5-10 cm. Las propiedades evaluadas fueron: densidad real, densidad aparente, porcentaje de arcillas, limos y arenas, clase textural, color, estabilidad de agregados, porosidad total, microporosidad, macroporosidad, humedad aprovechable, capacidad de campo, punto de marchitez, pH, Carbono orgánico, Fósforo, Potasio, Nitrógeno (total, amoniacal, nítrico, orgánico, mineral) y materia orgánica. En el bosque de pino se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) en los tratamientos para: el porcentaje de arcillas, arenas, porosidad total, y punto de marchitez permanente, Potasio, N amoniacal; en Encino para porcentaje de limos, microporosidad, macroporosidad, humedad aprovechable, N nítrico, N mineral. En la profundidad para bosque de pino con ($P \leq 0.05$) en: Humedad aprovechable, Carbono orgánico, N nítrico, N mineral, materia orgánica y para encino: densidad aparente, densidad real, humedad aprovechable, carbono orgánico, Potasio, N mineral y materia orgánica. Se tuvo una disminución post fuego en materia orgánica, N total, Carbono orgánico, Fósforo, capacidad de campo, un aumento en el pH y en la macroporosidad. Las modificaciones a las propiedades del suelo ocurrieron en mayor grado en el incendio de severidad alta, en la profundidad más superficial y en el bosque de pino. Sin embargo, el estado del suelo después del incendio forestal no resultó crítico para la revegetación de la zona afectada.

Palabras Clave: Incendio forestal, fuego, severidad del fuego, profundidad.

¹ Tesis de Maestría en Ciencias, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Alba Paola Carrasco Espejel.

Director de tesis: Dr. David Cristóbal Acevedo.

ABSTRACT

Effect of forest fires on soil properties²

The Impact of Wildfires On Soil Properties Over the past few years, there has been an increase in wildfires. The impact on the soil is determined by the severity of a wildfire, and soil is one of the essential components of the ecosystem in terms of physical, chemical and biological properties. The overall purpose of this analysis was to evaluate the impact of a wildfire on the physical and chemical properties of the soil, in pine and oak ecosystems, taking into account factors such as soil depth and fire severity. For this analysis, a random test was performed with five repeats at three severity levels: 1) high severity fire, 2) low severity fire and, 3) no fire. In each one, five sampling were located considering two depths: 0-5 cm and 5-10 cm. The properties evaluated were: real density, bulk density, percentage of clay, silt and sand, texture class, color, overall stability, total porosity, microporosity, macroporosity, usable moisture, field capacity, wilting point, pH, organic carbon, phosphorus, Potassium, Nitrogen (total, ammoniacal, nitric, organic, mineral) and organic matter. In the pine forest, statistically significant differences were found ($P \leq 0.05$) in treatments for: the percentage of clays, sands, total porosity, and permanent wilting point, Potassium, N ammoniacal. In oak forest there were differences for silt percentage, microporosity, macroporosity, usable moisture, nitric N and mineral N. In the depth for Pine Forest differences were found with ($P \leq 0.05$) in usable moisture, organic carbon, nitric N, mineral N and organic matter. And for oak forest there were: bulk density, real density, usable moisture, organic carbon, potassium, mineral N and organic matter. There was a decrease in post-fire organic matter, total N, organic carbón, phosphorous, field capacity, and increase in pH and macroporosity. Changes in soil properties occurred to a higher degree in high severity fires, in the shallowest depth and in the pine forest. However, soil conditios after the wildfire were not critical for the revegetation in the affected area.

Key words: Wildfire, fire, fire severity, depth.

² Thesis, Chapingo Autonomous University, Master of Science in Forest Science.

Author: Alba Paola Carrasco Espejel.

Advisor: Dr. David Cristóbal Acevedo

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

El fuego está asociado a la evolución de la especie humana ya que ha sido empleado desde tiempos prehistóricos en las actividades agrícolas y la formación de paisajes culturales (Mouillot y Field, 2005; Goldammer et al., 2013; Browman et al., 2014; Bilbao et al., 2020). El fuego es inherente a buena parte de los ecosistemas terrestres y sus impactos pueden ser positivos o negativos, dependiendo de la acción humana (Bilbao et al., 2020).

El fuego ha desempeñado un papel esencial en la conformación de la cubierta vegetal (García-Codron et al., 2016), por lo tanto se considera un factor ecológico natural de la vegetación (Naveh, 1975; Jim & Pinilla, 2016), al fuego también se le ha considerado como formador del suelo (Certini, 2005; Jim & Pinilla, 2016).

El suelo es el la base de la vida a hablando de vegetación y animales y de la conformación de los nichos necesarios para la sostenibilidad del ambiente. Por tal razón es de suma importancia estudiar los efectos que provoca el fuego, para poder mitigar perturbaciones ambientales (Rosero & Osorio, 2013).

El impacto del fuego sobre los suelos, depende de numerosos factores, tales como: el tipo de vegetación, la intensidad y severidad del fuego, el tipo de suelo, el contenido de humedad en el momento de la quema, la duración e intensidad de la precipitación después del incendio y la calidad y grado de incorporación de las cenizas (Agee 1993; DeBano et al. 1998; Minervini et al., 2018). El efecto general del fuego en los ecosistemas es complejo. Los incendios pueden cambiar los procesos físicos, químicos y microbianos subterráneos (Marozas et al., 2007).

Tras la ocurrencia de un incendio forestal, el suelo puede sufrir alteraciones ya sean directas o indirectas a causa del calentamiento y por la pérdida de la cobertura vegetal (Jim & Pinilla, 2016). Estas alteraciones causan en algunos casos el retraso de la cubierta vegetal, lo que ocasiona que el suelo queda expuesto a agentes erosivos durante un tiempo (Guida et al., 2014)

La cantidad y duración del calor determinan la severidad del fuego sobre las propiedades del sistema edáfico (A. Denegri, L. Toranzo, A. Rubenacker, P. Campitelli, 2014). Los cambios que el fuego puede crear en las propiedades del suelo dependerán, de las temperaturas que se registren. A pesar de que el suelo es un aislante de calor, las temperaturas llegan a ser muy altas en los primeros centímetros del suelo (500-900 °C) (Úbeda et al., 2009).

Los efectos del fuego pueden ser directos por el calor proporcionado o indirectos por la pérdida de vegetación (Certini *et al.*, 2011; Jim & Pinilla, 2016). La destrucción de la cubierta vegetal, por los incendios forestales, ocasiona que el suelo quede expuesto a la erosión (Afif Khouri & Oliveira Prendes, 2006).

Los efectos del fuego también pueden dejar una capa de cenizas por la combustión de la vegetación. En algunos casos es posible observar mejoramientos temporarios en algunas propiedades y en otros efectos negativos sobre otras propiedades del suelo (Shakesby, 2013).

Otro efecto que se produce a causa del calor producido puede ser el rompimiento de las rocas que se encuentran en la superficie del suelo, En general los incendios afectan de una manera múltiple y diversa al los ecosistemas (Certini, 2005)

La sostenibilidad ambiental es posible cuando se tiene un control y una atención de mejoramiento de la calidad del suelo, ya que esta calidad es referida a la capacidad que tiene el suelo para realizar sus funciones y esta se define evaluando las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Vallejo Quintero, 2013)

Cuadro 1. Cambios en el suelo a causa de la incidencia del fuego, según las temperaturas alcanzadas (°C)

Temperatura (°C)	Alteración
40-70	Degradación de proteínas y muerte de tejidos biológicos
48-54	Deshidratación de raíces o muerte
70-90	Muerte de algunas semillas
50-121	Muerte de microorganismos del suelo
180-300	Destilación destructiva y combustión de alrededor del 85% del horizonte orgánico
200-250	Puede incrementarse la hidrofobicidad del suelo mineral
200-315	Comienza la destilación de la materia orgánica del suelo
270-300	Destrucción de la hidrofobicidad del suelo
200-400	Comienza la destilación de nutrientes (principalmente Nitrógeno)
>300	Los horizontes orgánicos superficiales del suelo son enteramente combustionados
420	Pérdidas de agua en los minerales de la fracción arcilla
>450	Completo consumo de la materia orgánica
600	Máxima pérdida de P y K, oxidación de enlaces metálicos
800	Oxidación de S
980	Cambios irreparables en los minerales de la arcilla
1240	Volatilización del Ca

(Modificado de Neary et al., 1999; Jim & Pinilla, 2016).

Una de las propiedades físicas del suelo que es afectada evidentemente por el efecto del fuego es el color (Porta et al., 2003; Jim & Pinilla, 2016). Esto se debe a que se quema la cubierta vegetal y la materia orgánica (Pereira et al., 2013). También un motivo es que ocurren alteraciones en los minerales a causa del (Notario del Pino, 2009; Hernández et al., 2013).

La textura se considera una propiedad estable, sin embargo también recibe alteraciones a causa de las altas temperaturas, siendo la proporción de arcillas la característica más vulnerable hacia el fuego (Pascual-Granged, 2011).

Después de la ocurrencia del incendio forestal, el efecto de las gotas de lluvia puede provocar cambios en la estructura del suelo, porque se produce una ruptura de los

agregados, esto ocasiona que se tapen los poros, ocasionando una compactación del suelo (Giovannini y Lucchesi, 1997).

La materia orgánica es una de las propiedades del suelo que sufre alteraciones, derivado de esto ocurre un aumento del carbono orgánico, causado por la agregación de materia vegetal puede ser modificado debido al efecto del fuego. Un fuego de baja intensidad y severidad puede producir un incremento del carbono orgánico, debido a la incorporación de materia vegetal no quemada (Notario del Pino, 2009).

Es importante estudiar, evaluar y comparar que cambios ocurren en el suelo de esta zona, según la intensidad del fuego en los ecosistemas que representan el área estudiada, para así poder tomar decisiones futuras respecto al manejo del bosque, manejo del fuego y las actividades de conservación y restauración del sitio. Tendrá relevancia para los miembros del ejido en cuestión y en las comunidades cercanas ya que se podrán identificar en su caso las pérdidas ecológicas en el sitio o los beneficios de dicho incendio.

En la presente tesis de maestría, se abordan los aspectos del suelo que han sido modificados por los efectos del fuego en algunas de sus propiedades físicas y químicas, tomando en cuenta la severidad del fuego, el tipo de vegetación y la profundidad del suelo. Las propiedades del suelo afectadas a causa del fuego, serán alteradas en diversos niveles, a corto, mediano, largo plazo o hasta permanentemente, lo que llevara de la mano afectaciones en la vegetación (Lozano, 2015).



Figura 1. Momento del incendio forestal. Abril, 2020.



Figura 2. Sitio después de controlado el incendio.



Figura 3. Condiciones del suelo después del incendio.

1.1.Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Determinar el impacto de un incendio forestal sobre las propiedades físicas y químicas de un suelo.

1.1.2. Objetivos específicos

- Determinar si las diferencias en las propiedades físicas y químicas del suelo en los sitios incendiados en comparación con los no incendiados son significativas.
- Determinar si existe efecto de la severidad de un incendio forestal sobre las propiedades del suelo.
- Establecer si existe efecto de la profundidad sobre el cambio de las propiedades del suelo después del incendio forestal.

1.2. Hipótesis

- Los cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo después de un incendio forestal No son estadísticamente significativas.
- La severidad de un incendio forestal No tiene efecto en los cambios de las propiedades físicas y químicas del suelo
- La profundidad del suelo No tiene efecto sobre las propiedades físicas y químicas del suelo después de un incendio forestal.
- Los cambios negativos sobre las propiedades físicas y químicas del suelo son mayores que los cambios positivos.
- El tipo de vegetación no tiene efecto sobre los cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo.

1.3. Contenido capitular del documento de titulación

El presente documento de titulación contiene inicialmente las hojas introductorias que son: una portada general, hoja de aprobación del comité asesor, una tabla de contenido, posteriormente una lista de cuadros y una lista de figuras, la dedicatoria del documento, los agradecimientos de la investigación, después se presentan los datos biográficos del autor, un resumen general y el abstract.

En el capítulo 1 se presenta una introducción general donde se contemplan los antecedentes, la justificación, el planteamiento del problema, el problema de investigación, posteriormente se presentan los objetivos general y específicos y la hipótesis.

CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA

El fuego, como fenómeno natural, ha estado latente en el medio natural desde antes de la existencia del ser humano, siendo desde hace 400 millones de años hasta la fecha un factor natural de la creación del paisaje, yendo de la mano con el clima y la vegetación (Mataix-Solera & Guerrero, 2013). El fuego ha desempeñado un papel esencial en la conformación de la cubierta vegetal (García-Codron et al., 2016).

El fuego es un proceso fisicoquímico que necesita un material combustible, la presencia de oxígeno y una fuente de calor (L. Arellano & Castillo-Guevara, 2014).

Muchas comunidades indígenas y rurales dependen de él para su supervivencia. Sin embargo, los cambios en la ocurrencia del fuego en términos de ubicación, extensión, frecuencia, intensidad y severidad, generados directa o indirectamente por la acción humana, pueden conllevar incendios diferentes de lo esperado en un régimen natural, provocando severos impactos sobre los ecosistemas (Bilbao et al., 2020).

2.1. Incendios forestales

La conjunción del aumento de temperatura, el alargamiento de sequías y la deforestación provocan un incremento en la aparición de incendios (Minervini et al.,

2018) y con el aumento de las actividades humanas, las ocurrencias de los de incendios han sido cada vez más frecuentes durante las últimas décadas (Macias Fauna y Johnson, 2006; Chu et al., 2017; Li et al., 2021).

Los incendios pueden considerarse como un componente más en la dinámica natural de diversos ecosistemas en nuestro planeta (Bowman et al. 2009, Pausas & Keeley 2009, Bilbao et al. 2020, Gonzales et al., 2021). Sin embargo, actualmente se presentan cambios considerables en su ocurrencia con relación a la temporada, ubicación, su frecuencia e intensidad, amenazando a la diversidad biológica a nivel mundial (Barlow et al. 2006, Bowman 2017, Gonzales et al., 2021). Estas alteraciones en los patrones de incendios actuales ocurren principalmente por acciones antrópicas, donde más del 90% de las quemadas en el mundo son causadas por humanos (Bilbao et al., 2020).

Diversas regiones del planeta han registrado la ocurrencia de un mayor número de incendios, de mayor duración, extensión y severidad, asociada en parte al cambio climático y al cambio en los patrones del uso del fuego por causas humanas (Goldammer, 2013; Pereira et al., 2013; Magrin et al., 2014; Fernandes et al., 2016; GFMC, 2016; IUFRO, 2018; Bilbao et al., 2020).

En México se observa que hay contundentes diferencias en la frecuencia y magnitud de los incendios entre los distintos tipos de vegetación; los años con un incremento de incendios son los que se encuentran relacionados con el fenómeno del Niño, seguidos por años con el fenómeno de la Niña (de mayor precipitación) de mediana magnitud; esto fue particularmente así en 1987, 1998, 2014 y 2017 (CONAFOR, 2018).

En nuestro país se calcula que el 99% de los incendios forestales son ocasionados por el hombre, mientras que el 1% son por otros fenómenos (CONAFOR, 2009). La presencia de actividades agrícolas, han sido ampliamente documentados como de importante influencia en los incendios forestales en el país (Rodríguez-Trejo et al., 2008; Carrillo et al., 2012; Monjarás et al., 2020).

Los incendios forestales son un fenómeno común en todos los ecosistemas del mundo (Datta, 2021). La fragmentación del paisaje por deforestación y la homogeneización de la vegetación a través de plantaciones, propician incendios más severos (Bilbao et al., 2020).

Uno de los efectos ecológicos más relevantes de los incendios es que aparezcan nuevos incendios del mismo tipo en los siguientes años, esto debido a que después del paso de un incendio los bosques quedan descubiertos de vegetación, lo cual hace que aumente la entrada de sol lo que ocasiona que se produzca una resecación del ecosistema y de la vegetación, lo que crea un aumento de material vegetal inflamable (Nasi et al., 2001).

“Incendio forestal es un fuego que se propaga libremente por la vegetación con efectos no deseados para la misma. Afectan de diversas formas a las tierras forestales, como recurso protector, económico o recreativo” (Sanchez, 2015).

De acuerdo con la ISO (International Standards Organization, 1987) un incendio se define como un proceso de combustión, caracterizado por la incorporación de calor acompañada de humo y llamas, dicha quema se propaga de manera descontrolada. Normalmente es descrito como una reacción química que genera energía. Cuando esta reacción química causa daños en la vegetación, se le llama incendio forestal (Zárate López, 2004).

Según (Pausas & Keeley, 2009), el término incendios forestales se refiere a los incendios (sean de origen natural o antrópico) que ocurren en los ecosistemas terrestres y que se propagan por la vegetación, sean bosques o de cualquier otro tipo de ecosistema.

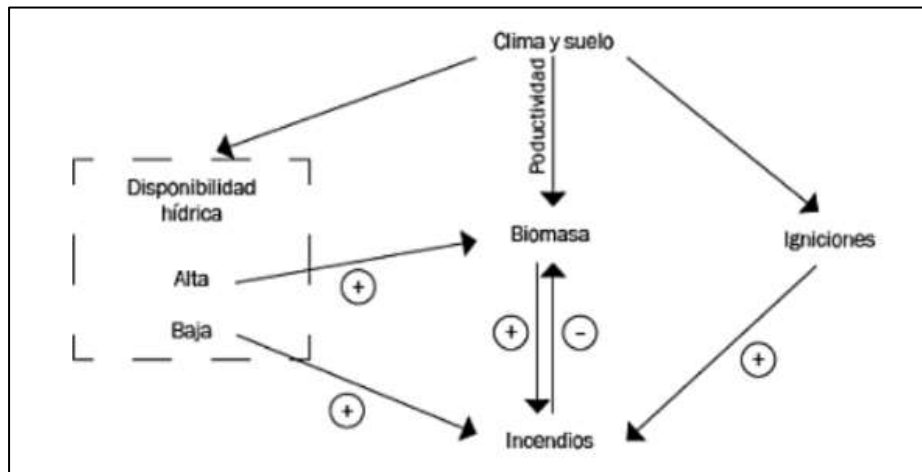
Según (Juli G. Pausas, 2012) las condiciones ambientales como el suelo y el clima controlan los factores que determinan los incendios forestales como son: la variabilidad en la disponibilidad de agua, la productividad y biomasa y las igniciones naturales (Figura 4).

Figura 4. Factores que determinan la ocurrencia de un Incendio Forestal.

2.1.1. Intensidad de un incendio forestal

El efecto de un incendio dependerá de su intensidad, frecuencia, magnitud y duración (Ulibarry, 2017; Aime et al., 2019) siendo la primera, posiblemente la más importante, ya que representa la energía que se libera de la materia orgánica durante el proceso de combustión, es decir, la intensidad del fuego mientras está activo (Beck et al., 2011; Aime et al., 2019).

La
de la
de un



altura
llama

incendio suele ser un buen indicador de la intensidad del fuego. A escala de paisaje, las imágenes por radiación infrarroja tomadas durante el incendio nos pueden dar una idea de la intensidad del fuego (Pausas & Keeley, 2009).

La intensidad de los incendios afecta la estructura de los ecosistemas forestales, ante un incendio de baja intensidad pueden sobrevivir un mayor número de individuos de una o varias especies, además que forman una capa de cenizas lista para dar cobijo a algunas semillas (Alanís-Rodríguez et al., 2010; Rosales-Mata et al., 2021; Guido Correa et al., 2021).

2.1.2. Severidad de un incendio forestal

Uno de los factores más relevantes que definen el efecto de los incendios forestales es la severidad de fuego, que puede ser estimada por la cantidad de biomasa verde consumida por el incendio (Kitzberger & Grosfeld, 2016).

La severidad del fuego es una característica indirecta de los efectos que se producen en el suelo o en la vegetación. Esta dependerá de la intensidad del fuego, así como del comportamiento del fuego, el tipo de vegetación o el tipo de suelo (Pausas & Keeley, 2009). En un mismo ecosistema e incluso en un mismo incendio, la severidad, entendida como el grado de impacto en el ecosistema (Keeley, 2009; Bodi et al., 2012).

Cuadro 2. Efectos producidos en la vegetación y la materia orgánica del suelo según el tipo de severidad del fuego.

Severidad del fuego	Descripción
No quemado	Suelo y vegetación no alterada por los efectos del fuego
Chamuscado	Vegetación no quemada pero con evidencia de pérdida de hojas por efecto del calor
Suave	Copas de árboles con hojas verdes pero tallos quemados Hojarasca, musgos y hierbas carbonizadas o consumidas Horizontes orgánicos del suelo intactos o parcialmente afectados solo en la parte mas superficial.
Moderada o severa	Arboles con parte de las copas muertas, pero hojas no consumidas Sotobosque carbonizado o consumido Ramas finas muertas en el suelo y troncos carbonizados Horizontes orgánicos del suelo casi completamente consumidos

Muy severa	Copas de árboles muertas y hojas quemadas
	Hojas de todos los tamaños y horizontes orgánicos del suelo completamente consumidos
	Deposición de cenizas blancas y materia orgánica carbonizada a varios centímetros de profundidad
*(Modificación de Keeley, 2009, Jim & Pinilla, 2016).	

Usualmente este término se emplea para referirse al nivel de daño o perturbación causada por el fuego en el conjunto del ecosistema o en alguna de sus características (Key y Benson, 2006; S. Arellano et al., 2017).

Para especies concretas, el grado de afectación de las copas, o la altura de la parte carbonizada, son medidas de severidad del fuego en los árboles (Juli G. Pausas, 2013). En arbustos, el fuego consume gran parte de la biomasa fina; el diámetro más fino en las ramas que quedan después de un incendio también indica la severidad.

2.1.3. Tipos de incendios

Hay diversas clasificaciones de los incendios forestales, esto dependerá de la severidad, la intensidad, las temperaturas, el alcance de las llamas, el grado de combustión, etc. Aunque la más usada depende de la cantidad de material combustible afectado, dicha clasificación es: 1) incendios de subsuelo, 2) incendios de superficie y 3) incendios de copas (Juli G. Pausas, 2012).

2.1.3.1. Incendios de subsuelo

Cuando un incendio superficial se propaga debajo del suelo, se convierte en un incendio de subsuelo. Se llega a quemar la materia orgánica y las raíces y podría

llegar a los afloramientos rocosos. No producen llamas y generan poco humo (CONAFOR, 2010).

Estos se producen cuando se combustiona la materia orgánica superficial y la capa mineral; la materia orgánica esta formada por hojas secas, raíces, residuos vegetales en descomposición, humus, etc. Estos incendios solo pueden ser detectados por la creación de humo. No se propagan tan rápido a causa del poco oxígeno disponible en el (Frandsen, 1987; Zárate López, 2004).

En general, estos incendios no son frecuentes, se propagan lentamente y ocurren solo en años muy secos. Además, pueden durar mucho tiempo y, dada la cantidad de materia orgánica que hay en las turberas, la cantidad de CO₂ vertido a la atmosfera puede ser muy significativa. estos incendios son muy difíciles de controlar (Juli G. Pausas, 2013).

2.1.3.2. Incendios de superficie

Cuando el fuego se propaga en forma horizontal sobre la superficie del terreno y alcanza hasta metro y medio de altura, se denominan Incendios Superficiales. Éstos afectan combustibles vivos y muertos como pastizales, hojas, ramas, ramillas, arbustos o pequeños árboles de regeneración natural o plantación, troncos, humus, entre otros (CONAFOR, 2010).

Se consideran dentro de este tipo de incendios en donde se quema el material combustible que se encuentra en la superficie del suelo, sin llegar a las copas de los árboles. Esta capa comprende hojas, ramas muertas, troncos caídos, restos de talas, vegetación herbácea viva y matorrales. Este tipo de incendios son los más comunes y, en consecuencia, los más estudiados (Trabaud, 1992; Zárate López, 2004).

En general son incendios poco intensos pero frecuentes, y esta frecuencia limita la acumulación de combustible y mantiene la discontinuidad entre el sotobosque y las copas.

2.1.3.3. Incendios de copas

Se caracterizan por la quema de las copas de los árboles. Son los más difíciles de controlar y los que causan más daños a los bosques (Juli G. Pausas, 2013).

Estos son los más destructivos, peligrosos y difíciles de controlar, a casusa de que llegan a combustionar todos los niveles de vegetación. Primero comienzan de manera superficial, pero las llamas avanzan a tal grado que comienzan a propagarse verticalmente sobre los troncos (CONAFOR, 2010).

2.1.4. Comportamiento del fuego en bosques de Pino y en bosques de Encino

El fuego es un modelador natural de algunos ecosistemas, por lo cual su ocurrencia se debe a factores climáticos y a la vulnerabilidad de los ecosistemas, o al grado de adaptación de estos al fuego. (Castillo et al., 2003). Esto va a tener incidencia en el desarrollo ecológico de los ecosistemas (Márquez et al., 2005).

El fuego es parte del funcionamiento de casi todos los ecosistemas, ya que actúa como un componente de la sucesión ecológica (Fitch, 2006; Rodríguez et al., 2021) este influye en la composición y estructura de la vegetación dentro de los ecosistemas adaptados al fuego (Márquez et al., 2005).

El tipo de incendio en los bosques Pino-Encino son incendios superficiales (González et al., 2007; Gallegos Rodríguez et al., 2018). Los bosques de pino generalmente tienen incendios superficiales, pero en algunas ocasiones pueden propagarse incendios de copa, por la influencia de los conos de los pinos, ya que estos necesitan calor para poder desprender las semillas de los conos (Rodríguez-Trejo, 2014). Un incendio moderado, provoca que este tipo de ecosistemas mantengan un incremento en la regeneración natural (Rodríguez et al., 2021) donde se ha observado que en las áreas incendiadas es más intensa que en las no incendiadas (Juárez-Martínez y Rodríguez-Trejo, 2004; Pérez-Gorostiaga et al., 2009; Sánchez et al., 2014).

Diversas especies de encinos están adaptados al fuego, principalmente los de forma arbórea, pero todos los encinos de forma arbustiva están indiscutiblemente adaptados. El rebrote de encinos arbustivos es mayor mientras mas altas lleguen las llamas del fuego. En masas abiertas, el fuego mantiene la estructura, mientras que en masas densas abre el dosel al reducir copas y aclarar individuos de pequeñas dimensiones (Rodríguez-Trejo, 2014).

2.2. El suelo forestal

El suelo es la parte superficial de la corteza terrestre, que se genera a partir de la desintegración física y química de las rocas y la materia orgánica depositadas en ella. Biológicamente es activa (CONAFOR, 2018).

El recurso suelo, se denomina no renovable ya que su formación tarda cientos de años, también se considera un recurso dinámico ya que dentro de él ocurren diversas funciones importantes para funcionamiento de los ecosistemas, las funciones que ocurren en él son la intervención en el ciclo del carbono, azufre, nitrógeno y fósforo. Es un purificador del ambiente, ya que modifica diversas sustancias, a tal grado de que sean asimilables por el ser humano, plantas y animales (CONAFOR, 2015).

2.2.1 Propiedades de los suelos forestales

2.2.1.1. Propiedades químicas de los suelos

2.2.1.1.1. pH

En 1909, el químico danés Sorensen definió el potencial hidrogeno (pH) como el logaritmo negativo de la concentración molar de los iones hidrogeno. En los suelos el pH es una propiedad química relevante, ya que indica que tan ácido puede ser un suelo, lo cual es importante conocer ya que este determina el crecimiento de

raíces y organismos que dependen del suelo. (Osorio, 2012). La escala del pH ca de 0 a 14 unidades, mientras más bajo sea, es más ácido (Rivera et al., 2018).

Cuando el pH es superior a 7 nos hallamos ante un suelo rico en cationes (Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+}) tiene una gran importancia, ya que influye en el grado de absorción de nutrientes por parte de las plantas (Martínez et al., 1991)

2.2.1.1.2. Carbono orgánico

En los suelos se puede apreciar un mayor contenido de Carbono, mas que en la vegetación o la atmosfera (Moure, 2015). Este tiene dos formas de apreciarse: orgánica e inorgánica (Eduardo Martínez et al., 2008).

El carbono tiene funciones nutricionales particulares y que el catabolismo de los microorganismos se realiza en los compuestos orgánicos, toda vez que la MOS es el consolidado de la materia orgánica muerta y la biomasa (Burbano Orjuela, 2018).

2.2.1.1.3. Fosforo (P)

El fosforo es uno de los elementos más relevantes en cuanto al crecimiento de las plantas (Alamgir et al., 2012; Lozano P. et al., 2012). Este se puede encontrar de manera inorgánica y orgánica (Lozano P. et al., 2012). La concentración de P esta sujeta a la actividad biológica, temperatura, humedad, acidez y textura del suelo. Respecto a la textura, si esta tiene partículas más pequeñas, la cantidad de fosforo aumenta (Pellegrini, 2017). El ciclo del P en el suelo es muy completo ya que está en relación a la cantidad de biomasa acumulada en el suelo.

El P en el suelo puede ser particionado en compartimentos que varían en su disponibilidad para las plantas y microorganismos. Una fracción pequeña se encuentra en forma soluble, la cual está en equilibrio con la fracción lábil que comprende el P orgánico fácilmente mineralizable y los fosfatos débilmente adsorbidos a las arcillas coloidales (Picone y Zamuner 2002; Mortala, 2013).

2.2.1.1.4. Potasio (K)

La cantidad de P en el suelo llega a un 2.5 %, tanto que el K únicamente va de 0.5% y 4% (Thompsony Troeh, 2002; Pellegrini, 2017). El K intercambiable es la forma iónica del potasio unido electrostáticamente a los materiales que componen la fase sólida coloidal mineral y orgánica (Pellegrini, 2017).

En las plantas, el K es uno de los elementos nutrimentales que más necesitan, si este mineral es escaso, las plantas limitan su crecimiento y su vigorosidad, ya que estas absorben el potasio asimilable (K+) Velasco & Rizzotto, 2007).

2.2.1.1.5. Nitrógeno

El nitrógeno (N) es uno de los minerales mas relevantes para el manejo de cultivos, puesto que tiene un papel fundamental en el proceso de la fotosíntesis, en la respiración y en algunos otros procesos (Ortiz et al. 1999; Acón-Ho et al., 2013).

Su ciclo, tiene entradas de N al suelo, lo cual se asimila como fertilizantes ya sea orgánicos o inorgánicos. Por otro lado las salidas del N son producidas por la planta, la desnitrificación, la volatilización, lixiviación o escorrentía. Para completar el ciclo del N, se realizan actividades de mineralización, nitrificación del amonio e inmovilización (Sánchez de Óleo, 2016).

El N en su forma orgánica se encuentra en forma de proteínas, aminoácidos y diversas sustancias complejas, estas se encuentran originadas por la humificación. La mayor parte del N del suelo se encuentra unido al carbono, por lo que la cantidad del N estaría determinada por la cantidad de C orgánico disponible (Sánchez, 2013). Las plantas absorben el N en sus forma de nitrato y amonio, aunque generalmente, el contenido de nitrato es mayor que el de amonio (Ramos *et al.*, 2017).

2.2.1.1.6. Materia orgánica

La materia orgánica del suelo (MOS) comprende restos orgánicos del suelo como biomasa viva, residuos aun reconocibles de plantas y animales, y una mezcla de sustancias amorfas y coloidales (Brady y Weil, 2008; Flood, 2012).

La MOS afecta la reacción del suelo (pH) debido a los componentes que realizan actividades de descomposición aportando grados de acidez al suelo (Aguilera, 2000).

La deposición de materia orgánica mejora las características físicas del suelo, reduce las pérdidas por lixiviación, volatilización y erosión, por la liberación gradual de nutrientes y la protección al impacto por las gotas de lluvia (González, 2008; Flood, 2012).

2.2.1.2. Propiedades físicas de los suelos

2.2.1.2.1. Densidad Aparente

La densidad aparente del suelo (D_a) se describe como una relación entre el volumen total de elementos sólidos del suelo y su masa (Alvarado y Forsythe, 2011; Novillo Espinoza et al., 2018) la D_a indica la calidad del suelo, esta calidad se puede determinar según las modificaciones que se generan por las actividades humanas de preparación del suelo (Miralles, 2006; Novillo Espinoza et al., 2018).

La D_a del suelo, es un determinante de la estructura de este, cuando sus valores son bajos indica mayor porosidad y agregados, por lo tanto una menor compactación y mayor estabilidad y más contenido de humedad (Doran, 1999; Fernandez et al., 2018). Para determinar si un suelo es de calidad, es necesario recurrir a los valores de la D_a , si son bajos, el suelo es de mayor calidad (FAO, 2009).

2.2.1.2.2. Densidad Real

La densidad real es considerada como la relación entre la unidad de peso y la unidad de volumen de la fase sólida de un suelo comportándose de manera constante, ya que está determinada por la composición química y mineralógica de la fase sólida

(Fernandez et al., 2018). La Dr es una propiedad fundamental del suelo en la determinación de la calidad de este (Sequeira et al. 2014).

2.2.1.2.3. Estabilidad de agregados

La estabilidad de agregados es la manera en la que el suelo se mantiene físicamente estable, cuando este se somete a disturbios hídricos o mecánicos (Kay, 1990; Gabioud et al., 2011). La estructura del suelo involucra la forma, grado y tamaño de los agregados. En consecuencia, la estructura del suelo afecta la porosidad y por lo tanto, la retención y disponibilidad de agua, además de su capacidad para contener aire (Eduardo Martínez et al., 2008).

Los agregados se mantienen estables dependiendo de la materia orgánica que se une a diversos microorganismos, si la actividad de estos microorganismos disminuye, existe una afectación en la estabilidad de los agregados (Torres et al., 2013).

2.2.1.2.4. Textura

La textura está representada por cada proporción de los elementos de las partículas del suelo, las cuales son: arcillas, limos y arenas, es decir, el porcentaje de estas partículas es lo que le dará formación a cierta textura, un suelo tiene una buena textura cuando la proporción de los elementos que lo constituyen le dan la posibilidad de ser un soporte capaz de aumentar el crecimiento de las raíces de las plantas (Ravi et al., 1968; Rucks et al., 2004). La textura tiene influencia directa e indirecta sobre muchísimos aspectos importantes para la vegetación.

2.2.1.2.5. Porosidad

Está relacionada con la Da. El espacio poroso se forma con la manera en la que se va formando el suelo, ya sea de manera física o mediante la actividad microbiana o incluso de la actividad de animales superiores (FAO, 2009). La porosidad total, es

la cantidad de volumen de suelo que no está ocupado por partes sólidas, se constituye aproximadamente por el 50% de materiales sólidos y el otro 50% de espacio poroso, donde nutrientes, aire, gases y agua pueden circular (FAO, 2016).

Cuando el espacio poroso es mínimo, ocasiona una disminución de la macroporosidad, así como retención de humedad y la introducción de aire, lo que provoca que para las raíces sea más complicado obtener nutrientes del suelo (Mora y Toro, 2007; Fernandez et al., 2018), como consecuencia de esta afirmación, las plantas debilitan su desarrollo y disminuye su rendimiento (Pérez et al., 2000; Figueroa et al., 2018).

2.2.1.2.6. Constantes de humedad

(Domingo et al., 2006; Chicas Soto et al., 2014) afirman que la capacidad de retención de agua en el suelo es un parámetro de base física utilizado por técnicos forestales e investigadores en ecología forestal del territorio español, como uno de los factores estimadores de las disponibilidades de agua para las plantas, la bondad de estos parámetros se contrasta mediante el análisis de correlaciones, con resultados satisfactorios.

La Capacidad de Campo (CC), es la cantidad de agua retenida por un suelo que previamente fue saturado y después se dreno durante más de un día a 1/3 de atmosfera (Antunéz et al., 2015). La CC se altera cuando se afecta de alguna manera la estructura de la vegetación, así como también la alteración de las propiedades del suelo (M Poca et al., 2018).

El Punto de Marchitez Permanente (PMP), es la cantidad de agua que mantiene el suelo donde las plantas alcanzan un grado de marchitez irreversible. La retención de agua esta a una tensión de 15 atmósferas, es un valor muy alto comparado con la tensión que genera la absorción de una planta (Antunéz et al., 2015). Es el contenido de agua de un suelo al cual la planta se marchita y ya no recobra su turgencia al colocarla en una atmósfera saturada durante 12 horas. (Silva et al., 2015).

Finalmente la humedad aprovechable de un suelo esta representada por todo el contenido de agua que se encuentra entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente (Antunéz *et al.*, 2015).

2.3 Literatura citada

- A. Denegri, L. Toranzo, A. Rubenacker, P. Campitelli, ;. Karlin. (2014). Efectos de los incendios forestales sobre las propiedades del suelo. *Cuaderno Activa*, 59–67.
- Acón-Ho, J., Cervantes-Umaña, C., & WingChing-Jones, R. (2013). Recuperación del 15N en la planta de banano y en el suelo de áreas con origen sedimentario. *Agronomía Mesoamericana*, 24(1), 71. <https://doi.org/10.15517/am.v24i1.9642>
- Afif Khouri, E., & Oliveira Prendes, J. (2006). Efectos del fuego prescrito sobre matorral en las propiedades del suelo. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales*, 15(3), 262–270.
- Agropecuaria, I. N. de I. y T. en T. (2020). Alcances Tecnológicos. *Revista Del Instituto Nacional De Innovación Y Transferencia En Tecnología Agropecuaria Volumen*, 13, 88.
- Aime, D., Orozco, T., Edwin, M., Amaya, D., José, D., Nieva, V., Herrera, C. B., Javier, J., Rivas, C., Marcelo, P., Serrano, L., Peláez, E. J., Salicrup, D. P., & Celestino, E. A. (2019). *Caracterizando la intensidad calórica de los incendios forestales a partir del FRP de puntos de calor MODIS por tipo de combustible y biomasa total Carac-*. 2019.
- Alva, D., & Manosalva, H. (2019). Efecto del fuego en las propiedades químicas del suelo en el cañón Sangal, Cajamarca. *Universidad Privada Del Norte, Perú*, 90. [https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/21088/Alva MendozaDenisse Milagros - Manosalva Caruajulca Héctor Iván.pdf?sequence=5&isAllowed=y](https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/21088/Alva_MendozaDenisse_Milagros_-_Manosalva_Caruajulca_HéctorIván.pdf?sequence=5&isAllowed=y)

- Antúñez, A., Felmer, B. S., Vidal, E. M., & Morales, S. R. (2015). Propiedades físico-hídricas del suelo en el cultivo del maíz grano. *Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias*. No. 312, 31–50. <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/7894>
- Arellano, L., & Castillo-Guevara, C. (2014). Efecto de los incendios forestales no controlados en el ensamble de escarabajos coprófagos (Coleoptera: Scarabaeidae) en un bosque templado del centro de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(3), 854–865. <https://doi.org/10.7550/rmb.41756>
- Arellano, S., Vega, J. A., Rodríguez Y Silva, F., Fernández, C., Vega-Nieva, D., Álvarez-González, J. G., & Ruiz-González, A. D. (2017). Validación de los índices de teledetección dNBR y RdNBR para determinar la severidad del fuego en el incendio forestal de Oia-O Rosal (Pontevedra) en 2013. *Revista de Teledeteccion*, 2017(49 Special Issue), 49–61. <https://doi.org/10.4995/raet.2017.7137>
- Bilbao, B., Steil, L., Urbieto, I. R., Anderson, L., Pinto, C., González, M. E., Millan, A., Falleiro, R. de M., Morici, E., Ibarnegaray, V., Pérez-Salicrup, D. R., Pereira, J. M., & Moreno, J. M. (2020). Adaptación frente a los riesgos del cambio climático en los países Iberoamericanos. Cap. 12 Incendios Forestales. In *Informe RIOCCADAPT*. <http://rioccadapt.com/wp-content/uploads/LibroCompleto.pdf>
- Bodi, M. B., Cerddà, A., Mataix-Solera, J., & Doerr, S. H. (2012). Efectos de los incendios forestales en la vegetación y el suelo en la cuenca mediterránea: Revisión bibliográfica. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 58, 33–56. <https://doi.org/10.21138/bage.2058>
- Burbano Orjuela, H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(1), 82. <https://doi.org/10.22267/rcia.183501.85>
- Camargo-García, J. C., Dossman, M. Á., Rodríguez, J. A., Arias, L. M., & Galvis-Quintero, J. H. (2012). Cambios en las propiedades del suelo, posteriores a un

- incendio en el parque nacional natural de Los Nevados, Colombia. *Acta Agronomica*, 61(2), 151–165.
- Capulín, G. J., Mohedano, C. L., & Razo, Z. R. (2010). Changes in Soil and Vegetation in a Pinus Forest Affected by Fire. *Terra Latinoamericana*, 28 (1)(Chapingo, México), 79–87.
- Castillo, M., Pedernera, P., & Pena, E. (2003). Incendios forestales y medio ambiente: una síntesis global. *Revista Ambiente y Desarrollo de CIPMA*, XIX(1), 44–53. <https://doi.org/10.1002/hyp.9647>
- Chicas Soto, R. A., Vanegas Chacón, E. A., & García Álvarez, N. (2014). Determinación indirecta de la capacidad de retención de humedad en suelos de la subcuenca del río Torjá, Chiquimula, Guatemala. (Spanish). *Indirect Determination of the Capacity to Hold Moisture in Soils of the Sub Basin of the Torjá River, Chiquimula, Guatemala*. (English), 23(1), 41–46. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fua&AN=94337355&lang=es&site=ehost-live>
- CONAFOR. (2020). *Reporte semanal nacional de incendios forestales al 31 de diciembre de 2020*. <https://www.gob.mx/conafor/documentos/reportesemanal-de-incendios>
- CONAFOR, & Centro Nacional de Manejo del Fuego. (2019). *Cierre 2019*.
- Datta, R. (2021). To extinguish or not to extinguish: The role of forest fire in nature and soil resilience. *Journal of King Saud University - Science*, 33(6), 101539. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101539>
- Dindaroglu, T., Babur, E., Yakupoglu, T., Rodrigo-Comino, J., & Cerdà, A. (2021). Evaluation of geomorphometric characteristics and soil properties after a wildfire using Sentinel-2 MSI imagery for future fire-safe forest. *Fire Safety Journal*, 122(August 2020). <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2021.103318>
- Dymov, A. A., Startsev, V. V., Milanovsky, E. Y., Valdes-Korovkin, I. A., Farkhodov, Y. R., Yudina, A. V., Donnerhack, O., & Guggenberger, G. (2021). Soils and soil

organic matter transformations during the two years after a low-intensity surface fire (Subpolar Ural, Russia). *Geoderma*, 404(June), 115278. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115278>

Eduardo Martínez, H., Juan Pablo Fuentes, E., & Edmundo Acevedo, H. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de La Ciencia Del Suelo y Nutricion Vegetal*, 8(1), 68–96. <https://doi.org/10.4067/s0718-27912008000100006>

Fernandez, Y., Salazar, X., & Iglesias, J. M. (2018). Influencia de la fertilización en las propiedades físico-químicas de un suelo dedicado a la producción de semilla de *Megathyrus maximus*. *Pastos y Forrajes*, 38(4), 393–402.

Figueroa, M. D. L., Martínez, M. R., Ortíz, C. A., & Fernández, D. S. (2018). Influencia de los factores formadores en las propiedades de los suelos en la Mixteca, Oaxaca, México. *Revista Terra Latinoamericana*, 36(3), 287–299.

Flood, J. H. and I. (2012). No TitleФормирование парадигмальной теории региональной экономики. *Экономика Региона*, Kolisch 1996, 49–56.

Galilea, D., Prieto, E., García, C., & L, G. D. C. J. (2015). *Efecto de la severidad del fuego en la producción de corcho* HERNANDO LAPA C. . MADRIGAL OLMO, J. , SANTOS SÁNCHEZ, P.F. GUIJARRO GUZMÁN, M. , DÍEZ GALILEA, C. , ESPINOSA PRIETO, J. , CARRILLO GARCÍA , GARCÍA de CECA J.L , NIETO ALMEIDA, E. , GONZÁLEZ ADRADOS, J.R. 1–12.

Gallegos Rodríguez, A., González Cueva, G. A., Cabrera Orozco, R. G., Marcelli Sánchez, C., & Hernández Álvarez, E. Σ. (2018). Efecto De La Recurrencia De Incendios Forestales En La Diversidad Arbórea. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(24), 110–125. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v5i24.324>

García-Codron, J. C., Pèlachs, A., & Carracedo-Martín, V. (2016). Fuentes para la Historia de los incendios forestales y su impacto en la vegetación: Puentes y barreras metodológicas. *Avances En Biogeografía. Áreas de Distribución: Entre Puentes y Barreras*, June, 563–571.

- Gonzales, L., Pinto, M. A., Aponte, M. A., Ledezma, R., & Soto, D. (2021). *Impacto de incendios forestales en la biodiversidad del Bosque Seco Chiquitano*.
- Guido Correa, F., Sangay Cabrera, F., & Sanchez Peña, M. (2021). *Efecto De Los Incendios Forestales En La Relación C/N Del Suelo*. 17(2), 49–54. <https://doi.org/10.18687/laccei2021.1.1.308>
- Hernández, A., Arbelo Rodríguez, C. D., Rodríguez, N., Notario Del Pino, J., del Arco, M., & Rodríguez-Rodríguez, A. (2013). Efectos de un incendio forestal (Tenerife, Islas Canarias, verano de 2007) bajo bosques de pinar sobre algunas propiedades del suelo y su relación con la repelencia al agua a corto y medio plazo. *Spanish Journal of Soil Science*, 3(1), 56–72. <https://doi.org/10.3232/SJSS.2013.V3.N1.04>
- Incendios forestales Guía práctica para comunicadores*. (n.d.).
- Jim, P., & Pinilla, N. E. Z. (2016). *Advances in the study of Mediterranean soils affected by forest fires*. <http://dspace.umh.es/bitstream/11000/3035/1/TDJiménezPinilla%2CPatricia.pdf>
- Kitzberger, T., & Grosfeld, J. (2016). *Diagnóstico de la severidad de fuego y propuestas de restauración y manejo a nivel predial para áreas afectadas por el incendio de Cholila de 2015*. June, 1–91.
- Li, X. Y., Jin, H. J., Wang, H. W., Marchenko, S. S., Shan, W., Luo, D. L., He, R. X., Spektor, V., Huang, Y. D., Li, X. Y., & Jia, N. (2021). Influences of forest fires on the permafrost environment: A review. *Advances in Climate Change Research*, 12(1), 48–65. <https://doi.org/10.1016/j.accre.2021.01.001>
- Lozano, E. (2015). Sensibilidad de la glomalina a los efectos provocados por el fuego en el suelo y su relación con la repelencia al agua en suelos forestales mediterráneos. *Universidad Miguel Hernández de Elche*, 191.
- Marozas, V., Racinkas, J., & Bartkevicius, E. (2007). Dynamics of ground vegetation after surface fires in hemiboreal *Pinus sylvestris* forests. *Forest Ecology and Management*, 250(1–2), 47–55.

<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.03.008>

- Martín Alonso, G. M., Tamayo, Y., Hernández, I., Varela, M., & da Silva, E. (2017). Cuantificación de la fijación biológica de nitrógeno en *Canavalia ensiformis* crecida en un suelo pardo mullido carbonatado mediante los métodos de abundancia natural de ^{15}N y diferencia de N total. *Cultivos Tropicales*, 38(1), 122–130. <http://ediciones.inca.edu.cu>
- Martínez, J. J., De las Heras, J., & Herranz, J. M. (1991). Impacto ecológico de los incendios forestales. In *Al-Basit: Revista de estudios albacetenses* (Vol. 29, pp. 105–117).
- Mataix-Solera, J., & Guerrero, C. (2013). Incendios Forestales, Suelos y Erosión Hídrica. *Cuaderno Activa*, 59–67.
- Minervini, M. G., Morrás, H. J. M., & Taboada, M. Á. (2018). Efectos del fuego en la matriz del suelo. Consecuencias sobre las propiedades físicas y mineralógicas. *Ecología Austral*, 28(1), 012–027. <https://doi.org/10.25260/ea.18.28.1.0.127>
- Mortala, N. A. (2013). Comportamiento de las formas de fósforo en un Ultisol con diferentes manejos de implantación forestal. *Master Report*, 116.
- Moure, N. B. (2015). *No laboreo en agrosistemas de secano en Aragón : Efectos a largo plazo en el almacenamiento de carbono orgánico y en la estructura del suelo*. Nuria Blanco Moure.
- Novillo Espinoza, I. D., Carrillo Zenteno, M. D., Cargua Chavez, J. E., Nabel Moreiral, V., Albán Solarte, K. E., & Morales Intriago, F. L. (2018). Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas en la provincia de Los Ríos, Ecuador. *Temas Agrarios*, 23(2), 177–187. <https://doi.org/10.21897/rta.v23i2.1301>
- Of, A., Le, T. H. E., Method, B., Assess, T. O., Stability, A., Three, I. N., & Orders, S. (2012). *Órdenes De Suelos*. 5(3100), 129–139.
- P, Z. L., Hernández-hernández, R. M., Bravo, C., Rivero, C., & Toro, M. (2012). *De Las Sabanas Bien Drenadas*. 37, 2012.

- Pausas, J. G., & Keeley, J. E. (2009). A burning story: The role of fire in the history of life. *BioScience*, 59(7), 593–601. <https://doi.org/10.1525/bio.2009.59.7.10>
- Pellegrini, A. (2017). Fósforo en el suelo 1. 2017, 1–13.
- Pereira, M. G., Calado, T. J., DaCamara, C. C., & Calheiros, T. (2013). Effects of regional climate change on rural fires in Portugal. *Climate Research*, 57(3), 187–200. <https://doi.org/10.3354/cr01176>
- Poca, M., Cingolani, A. M., Gurvich, D. E., Whitworth-Hulse, J. I., & Saur Palmieri, V. (2017). La degradación de los bosques de altura del centro de Argentina reduce su capacidad de almacenamiento de agua. *Ecología Austral*, 28(1bis), xxx–xxx. <https://doi.org/10.25260/ea.18.28.1.1.497>
- Ravi, A., King, D. A., & Sheppard, N. (1968). Infra-red spectra of nitrogen adsorbed on iridium. *Transactions of the Faraday Society*, 64, 3358–3360. <https://doi.org/10.1039/TF9686403358>
- Rodríguez-Trejo, D. A. (2014). *Incendios de Vegetación su Ecología Manejo e Historia*. 1(November), 891. <http://www.liverpool.com.mx/tienda/incendios-de-vegetación-su-ecología-manejo-e-historia-vol-1/1038100650?skuld=1038100650>
- Rodríguez, A. G. F., Garnica, J. G. F., Eguiarte, D. R. G., Rodríguez, A. G., Villaseñor, P. Z., Munguía, S. M., Zavala, M. E. L., & Guzmán, E. R. (2021). Pine and oak natural regeneration under different levels of forest fire disturbance. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(65). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i65.776>
- Rosero, J., & Osorio, I. (2013). Estado del arte: *Revista Científica de La Facultad de Ingeniería*, 35(5), 59–67. <https://doi.org/10.4067/s0718-50732020000200119>
- San Emeterio, L., Múgica, L., Gutiérrez, R., Juaristi, A., Pedro, J., & Canals, R. (2013). Cambios en el nitrógeno edáfico tras la realización de quemadas controladas para mejora de pastos pirenaicos. *Pastos*, 43(October 2012), 44–53.

- Sanchez, S. (2015). *Incendios forestales , comportamiento de la vegetación y dinámica hídrica en la Reserva Natural de la Defensa La Calera*. 34–38.
- Silva, P., Silva, H., Garrido, M., & Acevedo, E. (2015). Manual de estudio y ejercicios relacionados con el contenido de agua en el suelo y su uso por los cultivos. In *Journal of Structural Engineering* (Vol. 141, Issue 9). [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0001200](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001200)
- Torres, C. A., Etchevers, J. D., Fuentes, M. H., Govaerts, B., León, F. D., & Herrera, J. M. (2013). Terra : organo oficial de divulgación de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. *Terra Latinoamericana*, 31(1), 71–84. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792013000100071&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Úbeda, X. (2001). Influencia de la intensidad de quemado sobre algunas propiedades del suelo despues de un incendio forestal. *Edafologia*, 8, 41–49.
- Úbeda, X., Pereira, P., Outeiro, L., & Martin, D. A. (2009). Effects of fire temperature on the physical and chemical characteristics of the ash from two plots of Cork oak (*Quercus Suber*). *Land Degradation and Development*, 20(6), 589–608. <https://doi.org/10.1002/ldr.930>
- Ubeda, X., & Sala, M. (1996). INCREMENTO DE LA ESCORRENTÍA y LA EROSIÓN TRAS UN INCENDIO FORESTAL. *Iv*, 559–572.
- Vallejo Quintero, V. E. (2013). Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos a través del componente microbiano: Experiencias en sistemas silvopastoriles. *Colombia Forestal*, 16(1), 83. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2013.1.a06>
- Velasco, H., & Rizzotto, M. (1807). *Un modelo para simular la influencia de la vegetación sobre el ciclado y distribución vertical del potasio en el suelo*. 1800–1807.
- Wang, G., Li, J., Ravi, S., Theiling, B., & Burger, W. (2021). Fire changes the spatial pattern and dynamics of soil nitrogen (N) and $\delta^{15}\text{N}$ at a grassland-shrubland

ecotone. *Journal of Arid Environments*, 186(August 2020), 104422.
<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104422>

Zárate López, L. G. (2004). *Capítulo 2 descripción del fenómeno*. 44.

CAPITULO 3. ARTÍCULO CIENTÍFICO

EFFECTO DE LOS INCENDIOS FORESTALES EN LAS PROPIEDADES DEL SUELO

Carrasco Espejel, Alba P.³; Cristóbal Acevedo, David⁴; Hernández Acosta Elizabeth⁴; Rodríguez Trejo, Dante A.⁵; Villanueva Morales, Antonio⁵

RESUMEN

En las últimas décadas se ha producido un aumento en el número de incendios forestales, estos incendios provocan cambios en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. La severidad del fuego determina la magnitud de estos cambios. El objetivo del trabajo fue evaluar el impacto de un incendio forestal sobre las propiedades físicas y químicas del suelo en ecosistemas de pino y encino, considerando los factores severidad del fuego y profundidad del suelo, sobre las variables: densidad real, densidad aparente, porcentaje de arcillas, limos y arenas, estabilidad de agregados, porosidad total, microporosidad, macroporosidad, humedad aprovechable, capacidad de campo, punto de marchitez permanente, Fosforo, Potasio, Carbono orgánico, Nitrógeno (total, orgánico, amoniacal, nítrico y mineral), pH y materia orgánica. Se delimitaron los ecosistemas de pino y encino, en cada uno se caracterizaron tres zonas de estudio: 1) incendio de severidad alta, 2) incendio de severidad baja y 3) sin incendio, en cada zona se realizó un muestreo

³ Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo

⁴ Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo

⁵ División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo

al azar a las profundidades 0-5 cm y 5-10 cm. Se realizó un análisis de varianza para determinar la significancia de los factores tratamiento y profundidad, una estimación de medias y una comparación (Tukey) de medias, se encontró que no en todas las variables hubo diferencias significativas en los tratamientos y la profundidad. Notablemente se observó una disminución en materia orgánica, Nitrógeno total y orgánico, Carbono orgánico, Fosforo. Las modificaciones a las propiedades del suelo ocurrieron en mayor grado en el incendio de severidad alta, en la profundidad más superficial y en el bosque de Pino, sin embargo, el estado del suelo después del incendio forestal no resultó crítico para la revegetación de la zona afectada.

Palabras clave: *Incendio forestal, fuego, severidad del fuego, profundidad.*

SUMMARY

Over the past few years, there has been an increase in wildfires, which cause changes in the physical, chemical and biological properties of the soil. The severity of a wildfire determines the magnitude of the changes. The overall purpose of this analysis was to evaluate the impact of a wildfire on the physical and chemical properties of the soil in pine and oak ecosystems. For this task, factors such as fire severity and ground depth are taken into account. In addition to the following factors: real density, bulk density, percentage of clay, silt and sand, texture class, color, overall stability, total porosity, microporosity, macroporosity, usable moisture, field capacity, wilting point, pH, organic carbon, Phosphorus, Potassium, Nitrogen (total, ammoniacal, nitric, organic, mineral) and organic matter. The pine and oak ecosystems were delimited in each one three study areas were definite: 1) high severity fire, 2) low severity fire and, 3) no fire. In each one, five samples were located considering two depths: 0-5 cm and 5-10 cm. A variance analysis was performed to determine the importance of treatment and depth factors, an estimation of means and a comparison (Tukey) of means. It was found that not all variables were significantly different in terms of treatment and depth. A significant decrease was seen in organic matter, total and organic nitrogen, organic carbon and phosphorus. Changes in soil properties occurred to a higher degree in high severity fires, in the shallowest depth and in the pine forest. However, soil conditions after the wildfire were not critical for the revegetation in the affected area

Keywords: *Wildfire, fire, fire severity, depth*

INTRODUCCIÓN

En México en el año 2019 se registraron un total de 7,410 incendios forestales afectando una superficie de 633,678 hectáreas (CONAFOR & Centro Nacional de Manejo del Fuego, 2019). Y en el año 2020 se registraron 5,913 incendios forestales afectando una superficie de 378,928 hectáreas (CONAFOR, 2020).

En los últimos años, las consecuencias generadas por el cambio climático referentes al aumento de la temperatura y disminución de la precipitación, han provocado alteraciones en el estado hídrico del suelo, propiciando condiciones cálidas y por lo tanto secas. En consecuencia, la época de incendios forestales se ha incrementado, por ende se acumula más material combustible, ocasionando que la ocurrencia de incendios sea más corta, dañando mayor superficie (Flannigan et ál., 2009; Pechony y Shindell, 2010; Jolly et ál., 2015).

Se dice que las actividades humanas ocasionan cerca del 99% de los incendios forestales y mientras que el 1% restante se debe a fenómenos naturales como descargas eléctricas y la erupción de volcanes (CONAFOR, 2010).

Los efectos de los incendios forestales en el suelo son variables, causando daños o alteraciones de distinta intensidad, llegando al grado de provocar afectaciones en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Iglesias, 1993; Rosero & Osorio, 2013).

El color, la retención de agua son propiedades físicas del suelo que se modifican a partir del paso de un incendio forestal como consecuencia de la pérdida de vegetación. El color oscuro de un suelo quemado tiene la capacidad de absorber mayor radiación solar, provocando el aumento de la temperatura del suelo (Capulín et al., 2010). El paso del fuego, también provoca modificaciones en las propiedades químicas del suelo, esto debido a la combustión de minerales, a la

reducción de algunos elementos y al proceso de combustión de residuos orgánicos (Capulín et al., 2010).

El impacto del fuego sobre los suelos, está definido por diversos factores, como la vegetación, el comportamiento del fuego, el contenido de humedad durante la quema, el tipo de suelo, la duración del incendio, y de la precipitación después de que ocurre el incendio (Agee 1993; DeBano et al. 1998; Minervini et al., 2018).

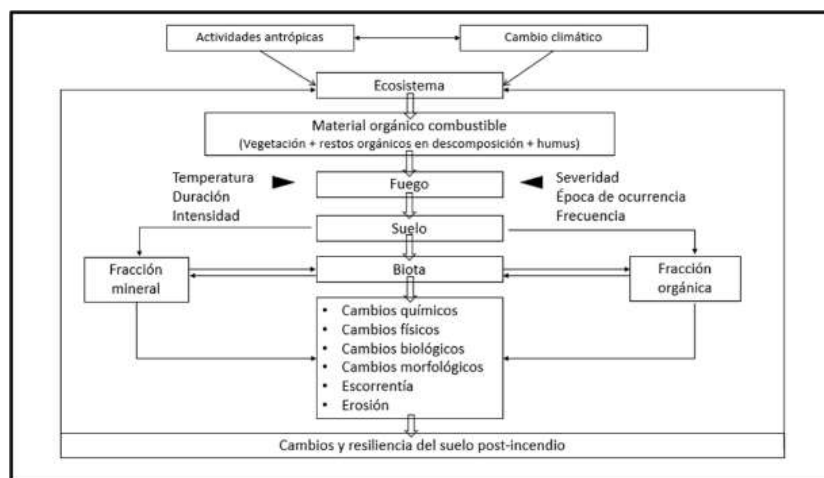


Figura 5. Esquema que resume los factores y los efectos del fuego generado por combustión de diferentes materiales orgánicos sobre los componentes y las propiedades del suelo (Minervini et al., 2018).

Los efectos más relevantes provocados por un incendio ocurren en los primeros centímetros del suelo, puesto que en esta parte la temperatura es más alta, y conforme aumenta la profundidad el calor del fuego tiene menor alcance (Jim & Pinilla, 2016).

Los ecosistemas son naturalmente resistentes para reducir los efectos adversos de los incendios, pero los escenarios de intervención deben planificarse para gestionar los procesos de tratamiento posterior al incendio (Dindaroglu et al., 2021). El objetivo debe ser reducir la degradación física, química y biológica del suelo después del incendio (Robin et al., 2016 & Casals et al., 2018).

Es por ello por lo que el objetivo principal de este trabajo es determinar si existen diferencias estadísticamente significativas en el impacto de la severidad de un incendio forestal sobre las propiedades físicas y químicas de un suelo, considerando que hay un efecto de la profundidad del suelo. Así como también determinar si dichos impactos son iguales en bosque de pino y bosque de encino.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en el Ejido de San Felipe Sultepec, Municipio de Calpulalpan, Estado de Tlaxcala, el Ejido se encuentra ubicado a 80 km al sureste de la capital del estado, dentro del sistema orográfico de la Sierra Nevada, la cual a su vez forma parte de la Cordillera Neovolcánica que se extiende del Océano Atlántico al Océano Pacífico, geográficamente se ubica entre las coordenadas: 19° 32' 00" y 19° 33' 00" de Latitud Norte; 98° 40' 00" y 98° 38' 16" de Longitud Oeste.

El clima del Ejido corresponde al tipo C(w"2) (w)b (i')g, que pertenece al grupo de los templados subhúmedos con lluvias en verano, la temperatura media anual es de 18°C, la precipitación media anual es de 815 mm, el suelo del área de estudio es Andosol según INEGI de acuerdo con la base referencial mundial del recurso suelo de la FAO (WRB por sus siglas en inglés), la textura del suelo en su mayoría es franco arcillo arenosa, la MO del suelo es abundante.

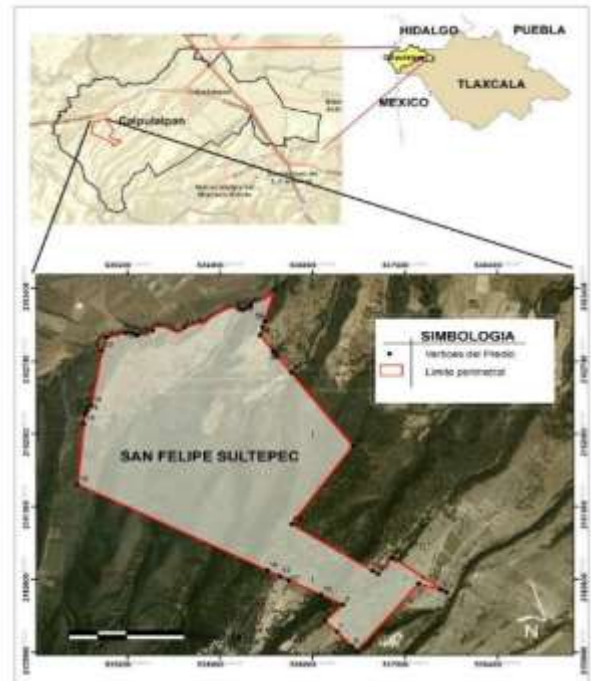


Figura 6. Localización del Ejido de San Felipe Sultepec

En abril del año 2020 ocurrió un incendio forestal de alta intensidad, donde hubo afectación del suelo, sotobosque y de copas en las zonas de alta severidad.



Figura 7. Condiciones del sitio después del incendio forestal

Ubicación de los sistema de muestreo

Mediante recorridos en campo dentro del área incendiada se diferenciaron las zonas de Pino y las zonas de Encino, en cada una de estas se establecieron tres sistemas: 1) incendio de severidad alta, 2) incendio de severidad baja y 3) sin incendio. Dentro de cada sistema establecido, con el software ArcGIS 10.3 se ubicaron al azar 5 puntos de muestreo.



Figura 8. Sistemas de muestreo en bosque de Pino: A: Incendio de Severidad Alta; B: Incendio de Severidad Baja; C: Sin Incendio.



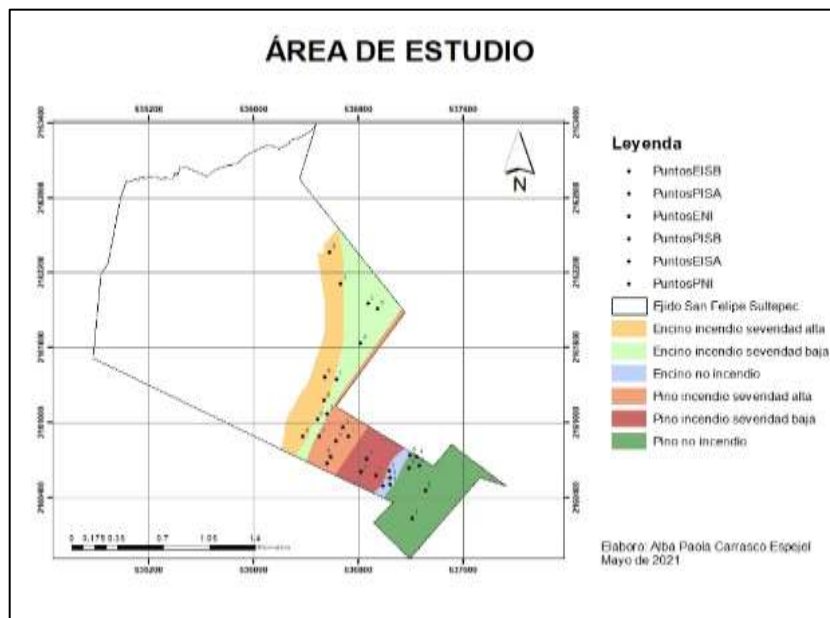


Figura 10. Ubicación de los Sistemas de muestreo

Muestreo y Determinaciones

El muestreo de suelo se realizó en los meses de mayo y junio de 2021, después de un año de ocurrido el incendio. Para la toma de muestras se utilizó una pala, reglas graduadas en centímetros y bolsas de polietileno previamente etiquetadas, se limpió el suelo quitando la hojarasca y las cenizas restantes, el muestreo se realizó a las profundidades: (1) 0-5 cm y (2) 5-10 cm por cada sitio, se tomó una muestra pulverizada por profundidad, se obtuvieron un total de 60 muestras, las cuales posteriormente se secaron bajo sombra. Después se tamizaron a 2mm.

Las muestras secas y tamizadas se prepararon para obtener las determinaciones: Densidad Real por el método del Picnómetro (Blake & Hartge, 1986), Densidad Aparente por el método de la Probeta como lo establece la NMX-FF-109-SCFI-2008, Textura por el método DAY con hidrómetro de Bouyoucos (1936), Capacidad de Campo, Punto de Marchitez Permanente y Humedad Aprovechable por el método de las ollas de Richards (1948), la Estabilidad de Agregados por el método del Agitador Mecánico, la Porosidad Total (f), Microporosidad (mf) y Macroporosidad (Mf) se obtuvieron de forma indirecta a partir del conocimiento de la densidad aparente (Da), la densidad real (Dr), y capacidad de campo (CC).

$$f=1 - (Da/Dr)); mf = CC \times Da; Mf = f-mf.$$

Las determinaciones químicas se realizaron en el Laboratorio NUTRE LAB (Texcoco, Edo. De México).

Análisis de datos

Para el análisis estadístico se utilizó un modelo lineal con dos factores de efectos fijos:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \delta_k + \varepsilon_{ijk},$$

Donde: $\varepsilon_{ijk} \stackrel{\text{i.i.d.}}{\sim} N(0, \sigma^2)$ con $i = 1,2,3$ $j = 1,2$ y $k = 1,2,3,4,5$.

Para ejecutar el análisis se utilizó el software libre RStudio. Versión (2022), se hizo un análisis de varianza por cada tipo de vegetación, para detectar si hubo un efecto de la severidad del fuego y la profundidad en las propiedades físicas y químicas del suelo, para este análisis estadístico se tomó como nivel de significancia $P \leq 0.05$, para determinar si existían diferencias significativas en los cambios de las propiedades del suelo después de fuego. Se realizó una comparación de medias (Tukey) en el factor tratamientos y finalmente se

realizaron pruebas de hipótesis para determinar si los resultados cumplen con los supuestos de homogeneidad y normalidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el cuadro 3 se presentan los resultados de la Varianza (ANOVA) en bosque de pino, donde se observa el valor de significancia de los tratamientos y la profundidad. Si el valor es $P \leq 0.05$ se rechaza la hipótesis de que No hay efecto de los tratamientos en las variables de respuesta y de que No hay efecto de la profundidad en las variables. Se observó que en los tratamientos, las Arcillas y el N amoniacal (NH_4^+) tuvieron un mayor grado de significancia con un P-valor de 0.00409 y 0.000518, posteriormente la variable Potasio (K) presentó una significancia de 0.0012 y finalmente para las variables arena, porosidad total (Pt) y punto de marchitez permanente (PMP) si hubo significancia pero en menor

Cuadro 3. Resultados del análisis de varianza (Anova) de 2 factores: tratamiento y profundidad, para las variables físicas y químicas en bosque de Pino. Con un nivel de significancia de 0.05.

Variable	P – valor		Variable	P – valor	
	TRAT	PROF		TRAT	PROF
Densidad Aparente (g/cm^3)	0.055	0.083	pH (1:2)	0.229	0.512
Densidad Real (g/cm^3)	0.649	0.253	CO (%)	0.358	0.0107 *
Arcilla (%)	0.00409 **	0.462	P (mg/kg^{-1})	0.759	0.839
Limo (%)	0.489	0.442	K (mg/kg^{-1})	0.0012 **	0.150
Arena (%)	0.029 *	0.984	Nt (mg/kg^{-1})	0.873	0.209
Estabilidad de Agregados (%)	0.927	0.209	NH_4^+ (mg/kg^{-1})	0.000518 ***	0.196
Porosidad Total (%)	0.033*	0.153	NO_3^- (mg/kg^{-1})	0.604	0.0214 *
Microporosidad (%)	0.093	0.717	N Orgánico (mg/kg^{-1})	0.940	0.307
Macroporosidad (%)	0.112	0.548	N Mineral (mg/kg^{-1})	0.214	0.0125 *
HA (%)	0.091	0.0104 *	MO (%)	0.358	0.0107 *
CC (%)	0.064	0.322			
PMP (%)	0.029 *	0.160			

Códigos de significancia: 0.001= *** ; 0.01= ** ; 0.05= *

grado. En el caso de la profundidad, se observó que para las variables: humedad aprovechable (HA), Carbono orgánico (CO), N nítrico (NO_3^-), N mineral y materia orgánica (MO) si hubo un valor de significancia con $P \leq 0.05$.

En el cuadro 4, se muestran los resultados de la comparación de medias (Tukey) de los tratamientos en bosque de pino, donde se muestra que valores medios de las variables presentaron diferencias significativas por efecto de los tratamientos.

Cuadro 4. Comparación de medias de los tratamientos por Tukey. Bosque de Pino

Variable	Tratamientos	P-valor	Variable	Tratamientos	P-valor
Densidad Aparente (g/cm ³)	2-1	0.153	pH (1:2)	2-1	0.257
	3-1	0.876		3-1	0.981
	3-2	0.059		3-2	0.339
Densidad Real (g/cm ³)	2-1	0.833	CO (%)	2-1	0.732
	3-1	0.627		3-1	0.761
	3-2	0.934		3-2	0.325
Arcilla (%)	2-1	0.0126 *	P (mg/kg ⁻¹)	2-1	0.992
	3-1	0.971		3-1	0.831
	3-2	0.0073 **		3-2	0.767
Limo (%)	2-1	0.571	K (mg/kg ⁻¹)	2-1	0.000897 ***
	3-1	0.534		3-1	0.0359 *
	3-2	0.997		3-2	0.287
Arena (%)	2-1	0.188	Nt (mg/kg ⁻¹)	2-1	0.894
	3-1	0.570		3-1	1.000
	3-2	0.0242 *		3-2	0.894
Estabilidad de Agregados (%)	2-1	0.934	NH ₄ ⁺ (mg/kg ⁻¹)	2-1	0.00166 **
	3-1	0.945		3-1	0.998
	3-2	0.999		3-2	0.00146 **
Porosidad Total (%)	2-1	0.069	NO ₃ ⁻ (mg/kg ⁻¹)	2-1	0.575
	3-1	0.982		3-1	0.885
	3-2	0.0479 *		3-2	0.851
Microporosidad (%)	2-1	0.929	N Orgánico (mg/kg ⁻¹)	2-1	0.944
	3-1	0.102		3-1	0.998
	3-2	0.199		3-2	0.958
Macroporosidad (%)	2-1	0.170	N Mineral (mg/kg ⁻¹)	2-1	0.394
	3-1	0.153		3-1	0.912
	3-2	0.998		3-2	0.213
HA (%)	2-1	0.743	MO (%)	2-1	0.733
	3-1	0.081		3-1	0.760
	3-2	0.299		3-2	0.325
CC (%)	2-1	0.933			
	3-1	0.147			
	3-2	0.074			
PMP (%)	2-1	0.232			
	3-1	0.480			
	3-2	0.022 *			

Trat 1: Severidad alta; Trat 2: Severidad baja; Trat 3: Sin incendio
Códigos de significancia: 0.001= *** ; 0.01= ** ; 0.05= *

En el caso de las arcillas, se encontró que hubo diferencia significativa entre los tratamientos 2-1 con un P-valor de 0.0126 y en los tratamientos 3-2 con P valor de 0.0073, es decir que hay mayor significancia entre estos últimos. En las arenas hubo diferencia entre los tratamientos 3-2 con P-valor de 0.0242, en la Pt entre los tratamientos 3-2, en el PMP entre los tratamientos 3-2, en el K entre los tratamientos 2-1 y 31 con P-valores de 0.000897 y 0.0359 respectivamente, y en NH₄⁺ hubo diferencia entre los tratamientos 2-1 y 3-2 con valores de 0.00166 y 0.00146. Según estos resultados hubo más efecto entre los tratamientos 3-2 y entre los tratamientos 2-1 (Cuadro 4). En este caso los valores de $P \leq 0.05$, rechazan la hipótesis de que no hay diferencia significativa entre tratamientos.

En el cuadro 5 se muestran los resultados de la Varianza (ANOVA) en bosque de encino, donde se observó el valor de significancia de los tratamientos y la profundidad. Se obtuvo que en cuanto a los tratamientos hubo diferencias significativas en las variables: limo con P-valor de 0.0207, microporosidad con valor de 0.0403, macroporosidad con 0.048, Ha con 0.0229, NO₃⁻ con 0.0489 y N mineral con 0.0189.

Para la profundidad se encontró que existieron diferencias significativas mas grandes en CO con un P-valor de 0.00203 y en MO con P-valor de 0.00201. Otras

Cuadro 5. Resultados del análisis de varianza de 2 factores: tratamiento y profundidad, para las variables físicas y químicas en bosque de Encino. Con un nivel de significancia de 0.05.

Variable	P – valor		Variable	P – valor	
	TRAT	PROF		TRAT	PROF
Densidad Aparente (g/cm ³)	0.467	0.018*	pH (1:2)	0.093	0.209
Densidad Real (g/cm ³)	0.203	0.012*	CO (%)	0.198	0.00203**
Arcilla (%)	0.071	0.927	P (mg/kg ⁻¹)	0.176	0.126
Limo (%)	0.0207*	0.167	K (mg/kg ⁻¹)	0.179	0.0492*
Arena (%)	0.124	0.533	Nt (mg/kg ⁻¹)	0.319	0.876
Estabilidad de Agregados (%)	0.735	0.131	NH ₄ ⁺ (mg/kg ⁻¹)	0.190	0.065
Porosidad Total (%)	0.473	0.055	NO ₃ ⁻ (mg/kg ⁻¹)	0.0489*	0.387
Microporosidad (%)	0.0403*	0.356	N Orgánico (mg/kg ⁻¹)	0.283	0.686
Macroporosidad (%)	0.048*	0.120	N Mineral (mg/kg ⁻¹)	0.0189*	0.0229*
HA (%)	0.0229*	0.0473*	MO (%)	0.198	0.00201**
CC (%)	0.146	0.065			
PMP (%)	0.505	0.314			

Códigos de significancia: 0.001= *** ; 0.01= ** ; 0.05= *

variables donde hubo efecto significativo son densidad aparente (Da), densidad real (Dr), HA y K.

Cuadro 6. Comparación de medias de los tratamientos por Tukey. Bosque de Encino.

Variable	Tratamientos	P-valor	Variable	Tratamientos	P-valor
Densidad Aparente (g/cm ³)	2-1	0.609	pH (1:2)	2-1	0.257
	3-1	0.476		3-1	0.981
	3-2	0.973		3-2	0.339
Densidad Real (g/cm ³)	2-1	0.889	CO (%)	2-1	0.732
	3-1	0.400		3-1	0.761
	3-2	0.198		3-2	0.325
Arcilla (%)	2-1	0.962	P (mg/kg ⁻¹)	2-1	0.188
	3-1	0.143		3-1	0.307
	3-2	0.086		3-2	0.949
Limo (%)	2-1	0.0178*	K (mg/kg ⁻¹)	2-1	0.904
	3-1	0.133		3-1	0.352
	3-2	0.606		3-2	0.179
Arena (%)	2-1	0.370	Nt (mg/kg ⁻¹)	2-1	0.721
	3-1	0.747		3-1	0.286
	3-2	0.110		3-2	0.721
Estabilidad de Agregados (%)	2-1	0.833	NH ₄ ⁺ (mg/kg ⁻¹)	2-1	0.586
	3-1	0.982		3-1	0.653
	3-2	0.733		3-2	0.165
Porosidad Total (%)	2-1	0.482	NO ₃ ⁻ (mg/kg ⁻¹)	2-1	0.0416*
	3-1	0.615		3-1	0.238
	3-2	0.973		3-2	0.634
Microporosidad (%)	2-1	0.179	N Orgánico (mg/kg ⁻¹)	2-1	0.540
	3-1	0.763		3-1	0.264
	3-2	0.0457*		3-2	0.857
Macroporosidad (%)	2-1	0.889	N Mineral (mg/kg ⁻¹)	2-1	0.0236*
	3-1	0.114		3-1	0.907
	3-2	0.0450*		3-2	0.058
HA (%)	2-1	0.385	MO (%)	2-1	0.509
	3-1	0.252		3-1	0.752
	3-2	0.0174*		3-2	0.176
CC (%)	2-1	0.997			
	3-1	0.190			
	3-2	0.213			
PMP (%)	2-1	0.680			
	3-1	0.496			
	3-2	0.951			

Trat 1: Severidad alta; Trat 2: Severidad baja; Trat 3: Sin incendio
Códigos de significancia: 0.001= *** ; 0.01= ** ; 0.05= *

En el cuadro 6 se muestra la comparación de medias respecto a los tratamientos, se puede observar cuales son los tratamientos que provocaron valores medios significativamente diferentes de las variables. En cuanto a los limos hubo significancia entre los tratamientos 2-1 con un P-valor de 0.0178, la microporosidad en los tratamientos 3-2 con P-valor de 0.0457, la macroporosidad

Cuadro 7. Valores medios de propiedades físicas y químicas del suelo en bosque de Pino: Severidad alta, Severidad baja y Sin incendio, a dos profundidades.

Parámetro	Incendio severidad Alta (T1)		Incendio severidad Baja (T2)		Sin incendio (T3)	
	0-5 cm	5-10 cm	0-5 cm	5-10 cm	0-5 cm	5-10 cm
Densidad Aparente (g/cm ³)	1.02	1.11	1.12	1.19	1.02	1.06
Densidad Real (g/cm ³)	2.39	2.45	2.39	2.40	2.37	2.40
Arcilla (%)	28.2	28.7	23.2	22.8	30.5	21.2
Limo (%)	22.0	23.9	25.5	23.7	23.2	26.2
Arena (%)	49.8	47.4	51.3	53.5	46.3	46.6
Estabilidad de Agregados (%)	69.0	67.1	69.1	62.5	72.2	59.8
Porosidad Total (%)	57.4	54.7	53.2	50.4	56.8	55.9
Microporosidad (%)	32.8	34.0	34.9	33.9	40.3	37.8
Macroporosidad (%)	24.5	20.7	18.3	16.5	16.5	18.0
HA (%)	16.0	14.3	19.8	13.7	24.1	16.4
CC (%)	32.4	30.6	31.9	28.5	40.7	36.8
PMP (%)	16.5	16.3	12.1	14.8	16.6	20.3
pH (1:2)	6.33	6.38	6.03	6.20	6.32	6.34
CO (%)	3.52	2.41	3.22	1.76	4.25	2.57
P (mg/kg ⁻¹)	30.1	30.4	30.3	27.6	38.8	35.3
K (mg/kg ⁻¹)	492	418	285	236	355	309
Nt (mg/kg ⁻¹)	200	220	220	240	300	120
NH4+ (mg/kg ⁻¹)	41.5	26.3	48.0	39.9	26.3	41.2
NO3- (mg/kg ⁻¹)	14.4	13.6	14.4	5.97	19.1	5.35
N Orgánico (mg/kg ⁻¹)	144	180	158	194	255	73.5
N Mineral (mg/kg ⁻¹)	55.8	39.9	62.3	45.9	45.4	46.5
MO (%)	6.07	4.15	5.55	3.03	7.33	4.43

en los tratamientos 3-2 con un P-valor de 0.0450, los NO₃- en los tratamientos 2-1 con P-valor 0.0416 y el N mineral en los tratamientos 2-1 con P-valor de 0.0236.

Según la información mostrada en los cuadros 7 y 8 se puede notar que en el bosque de pino en la profundidad 1 la densidad aparente no tuvo cambios en SA se mantuvo en un valor de 1.02 g/cm³, en SB tuvo un ligero aumento a 1.12 g/cm³, mientras que en el bosque de encino la densidad aparente aumentó en la profundidad 1 después del incendio de Severidad Alta (SA), esto debido a que tras el paso del fuego se produce un bloqueo en la porosidad y en las arcillas del suelo a causa de la aparición de cenizas (Cerdeña, 2009).

En la densidad real en el bosque de pino con el paso del fuego los valores en cada una de las severidades aumentaron en ambas profundidades 1 y 2, en el bosque de Encino de igual manera aumentó tras el paso del fuego (Cuadros 7 y

Cuadro 8. Valores medios de propiedades físicas y químicas del suelo en bosque de Encino; Severidad alta, Severidad baja y Sin incendio, a dos profundidades.

Parámetro	Incendio severidad Alta (T1)		Incendio severidad Baja (T2)		Sin incendio (T3)	
	0-5 cm	5-10 cm	0-5 cm	5-10 cm	0-5 cm	5-10 cm
Densidad Aparente (g/cm ³)	1.03	1.14	0.99	1.07	0.94	1.10
Densidad Real (g/cm ³)	2.34	2.40	2.36	2.41	2.27	2.38
Arcilla (%)	28.7	26.9	28.3	28.7	22.2	23
Limo (%)	20.2	18.3	22.7	23.8	23.9	20
Arena (%)	51.1	54.8	49	47.5	53.9	57
Estabilidad de Agregados (%)	76.3	64.6	78.5	70.4	72.6	65.9
Porosidad Total (%)	55.9	52.5	57.8	55.6	58.8	53.8
Microporosidad (%)	34.1	31.3	33.1	30.8	35.2	36.7
Macroporosidad (%)	21.9	21.2	24.7	24.8	23.5	17.1
HA (%)	16.5	13.4	15.2	10.5	17.3	17.4
CC (%)	33.6	28.4	33.4	29.0	38.9	34.1
PMP (%)	17.1	15.0	18.2	18.5	21.6	16.7
pH (1:2)	6.4	6.3	6.12	5.66	5.91	5.62
CO (%)	4.67	2.32	3.5	1.88	5.09	2.95
P (mg/kg ⁻¹)	12.6	9.08	23.4	16.3	22.6	14.0
K (mg/kg ⁻¹)	393	306	418	327	321	228
Nt (mg/kg ⁻¹)	260	160	220	280	260	320
NH4+ (mg/kg ⁻¹)	53.5	34.2	35.4	42.6	53.7	42.7
NO3- (mg/kg ⁻¹)	16.0	14.8	8.47	2.05	9.27	8.47
N Orgánico (mg/kg ⁻¹)	190	111	176	235	197	269
N Mineral (mg/kg ⁻¹)	69.5	49.0	43.9	44.7	63.0	51.2
MO (%)	8.05	4.01	6.04	3.23	8.77	5.08

8), (Camargo-García et al., 2012) obtuvo que la Dr tuvo un comportamiento

menos dinámico, sus valores se mantuvieron casi iguales después del paso del incendio.

En el bosque de pino, las arcillas disminuyeron en el incendio de SA de 30.5% a 28.2% en profundidad 1 en la profundidad 2 de 21.2% a 28.7% en SA, el porcentaje de limos en la profundidad 1 en SA disminuyó, pero en SB aumentó, en la profundidad 2 aumento en ambas severidades y en cuanto a las Arenas, aumentaron en SB y SA en las dos profundidades (Cuadro 7). En el bosque de encino sucedió lo contrario se obtuvo que la fracción de Arcillas se incrementó con el paso del fuego, en ambas severidades se incrementó 6.5%, mientras que la proporción de Limos y Arenas decreció, situación que ocurrió en ambas profundidades muestreadas. (Úbeda, 2001) encontró que la cantidad de arena disminuyo justo después del paso del fuego a -9,92% en la zona de baja intensidad, -17,17% en la zona de media intensidad y -5,23% en la zona de alta intensidad de fuego, el porcentaje de limos aumento en las tres zonas y la fracción arcilla aumenta en las zonas menos intensamente quemadas y disminuyo en la zona más intensamente quemada. (Beyers et al., 2008) informo que las arcillas son el componente de la textura más sensible al fuego, lo cual provoca que incluso a menores temperaturas estas se modifiquen. Después de un incendio, la textura del suelo se vuelve más gruesa debido a los agregados estables (Ulery y Graham, 1993; Datta, 2021).

En cuanto a la clase textural, en ambos casos (bosque de pino y de encino) se observó que la clase textural contiene más arena, aunque según el porcentaje de las partículas del suelo la clase textural varía entre franco arcillo arenosa en sitios sin incendio a franco arcillosa en sitios con incendio. Capulin et al., 2010 detectaron que como consecuencia de la fusión de partículas de arcilla en arena, la profundidad mas superficial del suelo (0-5 cm), mostro una variación en su clase textural de migajón arcilloso antes del incendio a franco después del incendio.

La estabilidad de agregados (EA) con el paso del incendio no mostro diferencias estadísticamente significativas, esto se asemeja a un estudio realizado por

(Ahlstrom et al., 2008) donde se obtuvo que después de someter las muestras a procedimientos de agitación no se presentaron diferencias en notables en la EA, por lo que señalaron que era necesario realizar estudios más profundos para analizar esta propiedad. Aunque en este estudio en bosque de pino se observó que el porcentaje de EA disminuyó en la profundidad 1 y aumento en la 2 (Cuadro7), sin embargo, se pudo notar un ligero incremento en su porcentaje en bosque de encino en la profundidad 1, de 72.6% a 78.5% en SB y 76.3% en SA, mientras que en la profundidad 2 en SB aumentó y en SA disminuyó (Cuadro 8). Según (Datta, 2021) la estabilidad de agregados del suelo puede disminuir, aumentar o permanecer igual.

La Porosidad total en bosque de pino en SA profundidad 1 aumento de 56.8% a 57.4% y en SB disminuyó a 53.2%, en la profundidad 2 disminuye su porcentaje. Esto se compara con un estudio realizado por (Camargo-García et al., 2012) donde, obtuvo que la porosidad total presentó una tendencia decreciente después del incendio, también observó que la distribución de poros según su tamaño tuvo cambios significativos ($P \leq 0.05$) después del incendio, esto ocurrió de manera significativa en los macroporos que influyen en el movimiento del agua por gravedad. En este estudio se encontró que hubo una diferencia significativa ($P < 0.05$) en la macroporosidad del bosque de encino, donde se observó una disminución de su porcentaje después de un incendio de SA, mientras que en el bosque de pino ocurrió lo contrario (Cuadro 7), la macroporosidad aumento su porcentaje. El fuego en encino disminuyó la microporosidad de 35.2% en suelos SI a 33.1% en incendio de SB y 34.1% en SA en la profundidad 1 y en la profundidad 2 el comportamiento fue el mismo.

En cuanto a la Capacidad de campo se encontraron valores de 40.7% en las áreas SI, 31.9% en incendio de SB y 32.4% en SA, en bosque de pino en profundidad 1, en la profundidad 2 los valores fueron inferiores con respecto a la profundidad anterior pero tienen el mismo comportamiento (Cuadro 7). En bosque de encino se encontró una disminución en la Capacidad de Campo (Cuadro 8). (Ubeda & Sala, 1996) encontró que la retención de humedad del

suelo no sufrió variaciones importantes, el suelo que no sufrió incendio tenía un 7% de humedad, mientras que el suelo del bosque quemado tenía un 8%.

El porcentaje de PMP en bosque de pino disminuyó tras el paso del incendio forestal en ambas profundidades 1 y 2 (Cuadro 7), sin embargo en el bosque de encino se observó que en la profundidad 1 disminuyó su valor tanto en el incendio de SB como en SA, pero en la profundidad 2 en SB aumento de 16.7% a 18.2 % mientras que en SA disminuyó a 17.1% (Cuadro 8).

La humedad aprovechable del suelo en bosque de pino presentó una disminución en su porcentaje después del incendio forestal, se tuvo un valor en las zonas SI de 24.1 %, mientras que donde hubo incendio de SB se encontró 19.8% y en SA 16% esto en la profundidad 1 y en la profundidad 2 también descendió su valor. En el bosque de Encino se apreció un comportamiento igual al de pino en ambas severidades y profundidades (Cuadro 8).

El color del suelo en sitios SI en bosque de Pino se determinó como Café grisáceo oscuro en profundidades 1 y 2, en las áreas de severidad baja el color cambió a Café grisáceo o solo Café y en severidad alta a Café grisáceo muy oscuro. En el bosque de Encino en profundidad 1 y 2 como en P2 se mantiene un color Café, en SB cambia a Café grisáceo oscuro y en SA generalmente es Café grisáceo muy oscuro, pero también se observaron muestras con tonos amarillentos, lo que se determinó como un Café amarillento. El color también es una propiedad física que se modifica tras el paso de un incendio, cuando las temperaturas llegan a grados más altos, el suelo cambia a rojo debido a la transformación de los óxidos de Fe y erradica la MO por completo (Ulery y Graham, 1993; Datta, 2021), en bajas temperaturas el color cambia a negro o gris debido al contenido de cenizas y también en bajas temperaturas entre 300 y 600 °C, los tonos del suelo tienden a ser más amarillos (Ngole-Jeme, 2019).

En bosque de pino la concentración del Nitrógeno total disminuyó en el suelo después del incendio en la profundidad 1 de 300 mg/kg⁻¹ a 220 mg/kg⁻¹ en SB y 200 mg/kg⁻¹ en SA, en la profundidad 2 aumento su concentración en SA (Cuadro 7). En el bosque de encino disminuyó su concentración en la profundidad 1 de

260 mg/kg⁻¹ a 220 mg/kg⁻¹ en SB y en SA se mantuvo en 260 mg/kg⁻¹. En la profundidad 2, disminuyó su concentración de un valor de 320 mg/kg⁻¹ a 280 mg/kg⁻¹ en SB y 160 mg/kg⁻¹ en SA. Estos resultados coincidieron con Fisher y Binkley, 2000; Datta, 2021, quienes afirmaron que durante un incendio forestal partes del Nitrógeno orgánico se volatizan y se mineralizan en amonio, posteriormente el amonio se convierte bioquímicamente en nitrato. Ubeda et al., 2013, obtuvo que el nitrógeno desciende en concentración en todas las zonas incendiadas después del incendio (-1.04, -0.41 y -1.03 %) respectivamente. En un estudio realizado por (Wang et al., 2021) después de un incendio forestal el Nt aumentó del 5.3% antes del incendio al 5.6% después de este.

El N amoniacal en el bosque de Pino se tuvo un notable aumento de su concentración ya que en la profundidad 1 donde no hubo incendio se presentó una concentración de 26.3 mg/kg⁻¹ en SB de 48 mg/kg⁻¹ y en SA de 41.5 mg/kg⁻¹ (Raison et al., 1992) obtuvo que después de un incendio hay un incremento de amonio en el suelo. Y en el bosque de encino en la profundidad 1 se mantuvo igual en las zonas SI y las de SA, mientras que en SB disminuyó, en la profundidad 2 en SA disminuyó y se mantuvo igual en SB.

El Nitrógeno nítrico en el bosque de pino presentó una disminución en su concentración después del incendio forestal en la profundidad 1 de 19.1 mg/kg⁻¹ a 14.4 mg/kg⁻¹ en SB y a 14.4 mg/kg⁻¹ en SA. Mientras que en la profundidad 2 aumentó (cuadro 7). En el bosque de Encino en la profundidad 1 ocurrió un incremento en el incendio de SA y en el de SB un descenso, la misma situación se obtuvo en la profundidad 2 (cuadro 8). En un estudio realizado por (Flores y Benavides, 1995) se obtuvo como resultado que el N nítrico se mantuvo constante durante el paso del incendio, sin embargo ocurrió una disminución estadísticamente significativa en los sitios incendiados, lo mismo ocurrió con el N amoniacal, existió una pérdida pero no fue significativa, ya que este elemento puede permanecer estable, decrecer o aumentar según las características del fuego.

En cuanto al Nitrógeno orgánico en el bosque de pino en la profundidad 1 su concentración disminuyó notablemente tras el paso del incendio forestal obteniéndose que, donde no hubo incendio se tuvo una concentración de 255 mg/kg⁻¹, en SA 144 mg/kg⁻¹ y en SB 158 mg/kg⁻¹, pero en la profundidad 2 se notó un aumento de la concentración (cuadro 7). En el bosque de encino tuvo una ligera disminución en la profundidad 1 en SA, lo mismo en SB. En fuegos de baja intensidad se obtuvo que se incrementó el N orgánico por la incorporación de materiales al suelo (Wells, 1971; Giovannini et al., 1988; Prieto- Fernández et al., 1993; Trabaud, 1983; Mataix-Solera & Guerrero, 2013). Debido a un incremento del N inorgánico.

El Nitrógeno mineral en el bosque de Pino en la profundidad 1 tuvo un aumento de la concentración tras el paso del incendio los valores que se encontraron son 45.4 mg/kg⁻¹ en SI, 62.3 mg/kg⁻¹ en SB y 55.8 mg/kg⁻¹ en SA, mientras que en la profundidad 2 hubo un decremento de la concentración (cuadro 7). En el bosque de encino en profundidad 1 hubo un aumento tras incendio de SA de 63 mg/kg⁻¹ a 69.5 mg/kg⁻¹, pero en SB hubo disminución a 43.9 mg/kg⁻¹. Y en la profundidad 2 hubo decremento en ambas severidades (cuadro 8). En un estudio realizado por (San Emeterio et al., 2013) se obtuvo que las quemaduras provocaron un incremento en la concentración del N mineral en el año 1, y en el año dos desaparecieron.

En los resultados que se obtuvieron de este estudio se registró un aumento en el pH (1:2) del suelo, siendo más notable en el bosque de encino, ya que en la profundidad 1 tuvo un aumento de 5.91 a 6.40 en severidad alta (Figura 12). Por otro lado en el bosque de pino el comportamiento fue similar en las áreas de severidad alta, sin embargo en las áreas de severidad baja el pH disminuyó, esto es debido a que el arrastre de carbonatos fue mayor (Figura 11). Lo que también se pudo apreciar es que el pH es ligeramente más ácido en la parte más superficial del suelo, puesto que en dicha zona ocurren procesos de degradación. (Úbeda, 2001) encontró que el pH incrementó sus valores en una unidad (de 7 a 8) en todas las áreas quemadas. Las zonas que tuvieron un incendio de alta

intensidad son las que reflejaron un aumento mayor en el valor del pH. (Úbeda et al., 2009) obtuvo que los valores de pH muestran un aumento conforme se eleva la temperatura.

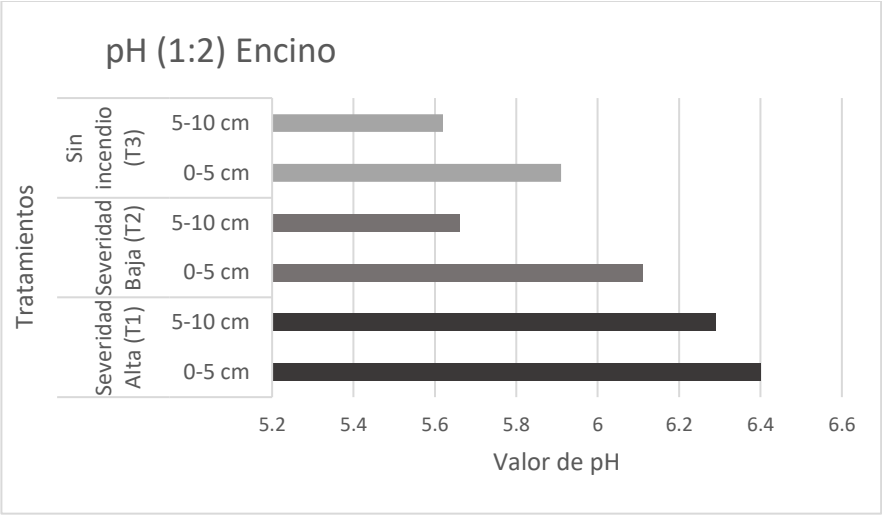


Figura 11. Valores de pH en el suelo en Encino

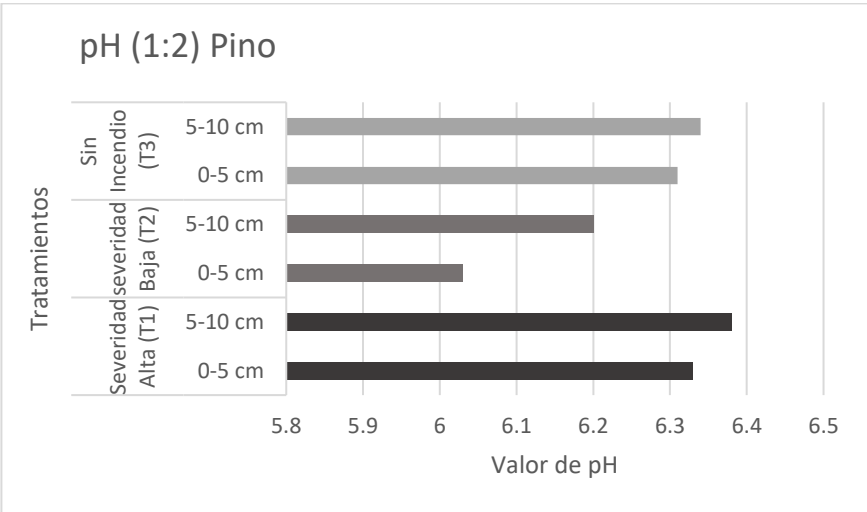


Figura 12. Valores de pH en el suelo en Pino

El carbono orgánico del suelo en este estudio después del paso del fuego, disminuyo de manera considerable, tanto en pino como en encino, y en ambas profundidades muestreadas (Cuadros 7 y 8). En un estudio realizado por (Dymov et al., 2021) se obtuvo que el fugo disminuyo la cantidad de CO de 224 mg/kg⁻¹ a

17 mg/kg⁻¹. El fuego es un disturbio que aumenta las tasas de mineralización del CO (González et al., 2009). La combustión de materia orgánica es acumulada en el suelo y de este modo contribuye de 30-40 % al CO del suelo en suelos vulnerables a incendios (Forbes et al., 2006).

Se encontró un incremento en la concentración de Potasio en el bosque de pino en SA profundidad 1 el incremento fue de 355 mg/kg⁻¹ a 492 mg/kg⁻¹ y en la profundidad 2 aumento de 309.43 mg/kg⁻¹ a 418 mg/kg⁻¹. En el bosque de encino los valores encontrados en la profundidad 1 son 321 mg/kg⁻¹ en suelos SI, en SB 418 mg/kg⁻¹ y en SA 393 mg/kg⁻¹. Se distinguió lo mismo en un estudio realizado por (Úbeda, 2001) donde se obtuvo que el Potasio aumentó considerablemente en ambas severidades, en severidad baja aumento de 157 mg/kg⁻¹ a 260 mg/kg⁻¹ y en severidad alta a 302 mg/kg⁻¹,

En este estudio se encontró que el contenido de Fosforo tanto en bosque de pino como en encino en la profundidad 1 y en la SA tiene una concentración inferior a las zonas sin incendio (Cuadros 7 y 8), esto ocurre por la incidencia de precipitación después del incendio (Datta, 2021). En un estudio realizado por (Alva & Manosalva, 2019) se encontró que el contenido de P en todos los sitios evaluados a mayor profundidad decreció (< 7 ppm). En la parte más superficial del suelo, hay mayor disponibilidad de P ya que este aumenta cuando la intensidad es mayor, por lo tanto en las zonas que sufrieron una mayor afectación del fuego en incremento del P fue de 1.7 ppm.

Se observó que el porcentaje de materia orgánica en el suelo del bosque de pino disminuyó su concentración de 7.33% a 6.07% en SA y a 5.55% en SB, en la P1, en el bosque de encino de igual manera disminuyó en ambas severidades del fuego (Cuadro 8), estos resultados se asemejan a lo obtenido en un estudio realizado por (Camargo-García et al., 2012) donde encontró una disminución de la MO del 31% al 12% después del incendio. (Rosero & Osorio, 2013) menciona que el fuego incide en la disminución de la cantidad de MO contenida en el suelo, por la combustión que se genera.

El alcance de los efectos de un incendio tiene que ver con diversos factores, como el tipo de suelo, el tipo de vegetación, la duración del incendio, la humedad del suelo en el momento de que ocurre el incendio, la intensidad y la severidad del fuego, esta última es un determinante esencial en la cuantificación de los efectos en las propiedades físicas y químicas del suelo. Un incendio de Severidad Alta ocasiona que dichos efectos, modificaciones y cambios sean mayores, y en algunos casos incluso podrían llegar a ser irreversibles.

CONCLUSIONES

La incidencia del incendio forestal provocó cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo. La severidad del fuego si es un determinante en los cambios de las propiedades del suelo, estos ocurren en mayor magnitud en los sitios donde hubo una severidad alta. La profundidad del suelo también determina mayores cambios en dichas propiedades, a menos profundidad, mayores cambios.

Hay propiedades del suelo que son más susceptibles al calor, es decir, que se modifican inmediatamente con el paso del incendio, estas son: el Nitrógeno, la materia orgánica, el carbono orgánico, el pH, el Fosforo y el porcentaje de arcillas.

Los incendios forestales no solo causan daños negativos a los ecosistemas, también pueden acelerar el proceso de regeneración natural, por la incorporación de cenizas al suelo o solo por la ignición de calor provocada puede acelerar el

crecimiento de plantas, en el caso de los bosques de pino ayuda a que los conos se abran y suelten sus semillas.

LITERATURA CITADA

- A. Denegri, L. Toranzo, A. Rubenacker, P. Campitelli, ;. Karlin. (2014). Efectos de los incendios forestales sobre las propiedades del suelo. *Cuaderno Activa*, 59–67.
- Afif Khouri, E., & Oliveira Prendes, J. (2006). Efectos del fuego prescrito sobre matorral en las propiedades del suelo. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales*, 15(3), 262–270.
- Agropecuaria, I. N. de I. y T. en T. (2020). Alcances Tecnológicos. Revista Del Instituto Nacional De Innovación Y Transferencia En Tecnología Agropecuaria Volumen, 13, 88.
- Ahlstrom J., Baldes J., Bird J., Brummer T., Singh G., Glenn M., et al. (2008). Forest fire: Examining the effects of recent fire on soil nutrients and microbes, and above and below ground vegetation. Bozeman, Montana: Montana State University.
- A. Denegri, L. Toranzo, A. Rubenacker, P. Campitelli, ;. Karlin. (2014). Efectos de los incendios forestales sobre las propiedades del suelo. *Cuaderno Activa*, 59–67.
- Acón-Ho, J., Cervantes-Umaña, C., & WingChing-Jones, R. (2013). Recuperación del 15N en la planta de banano y en el suelo de áreas con origen sedimentario. *Agronomía Mesoamericana*, 24(1), 71.
<https://doi.org/10.15517/am.v24i1.9642>
- Afif Khouri, E., & Oliveira Prendes, J. (2006). Efectos del fuego prescrito sobre matorral en las propiedades del suelo. *Investigación Agraria. Sistemas y*

Recursos Forestales, 15(3), 262–270.

Agropecuaria, I. N. de I. y T. en T. (2020). Alcances Tecnológicos. *Revista Del Instituto Nacional De Innovación Y Transferencia En Tecnología Agropecuaria Volumen*, 13, 88.

Aime, D., Orozco, T., Edwin, M., Amaya, D., José, D., Nieva, V., Herrera, C. B., Javier, J., Rivas, C., Marcelo, P., Serrano, L., Peláez, E. J., Salicrup, D. P., & Celestino, E. A. (2019). *Caracterizando la intensidad calórica de los incendios forestales a partir del FRP de puntos de calor MODIS por tipo de combustible y biomasa total Carac-*. 2019.

Alva, D., & Manosalva, H. (2019). Efecto del fuego en las propiedades químicas del suelo en el cañón Sangal, Cajamarca. *Universidad Privada Del Norte, Perú*, 90. [https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/21088/Alva Mendoza Denisse Milagros - Manosalva Caruajulca Héctor Iván.pdf?sequence=5&isAllowed=y](https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/21088/Alva%20Mendoza%20Denisse%20Milagros%20-%20Manosalva%20Caruajulca%20H%C3%A9ctor%20Iv%C3%A1n.pdf?sequence=5&isAllowed=y)

Arellano, L., & Castillo-Guevara, C. (2014). Efecto de los incendios forestales no controlados en el ensamble de escarabajos coprófagos (Coleoptera: Scarabaeidae) en un bosque templado del centro de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(3), 854–865. <https://doi.org/10.7550/rmb.41756>

Arellano, S., Vega, J. A., Rodríguez Y Silva, F., Fernández, C., Vega-Nieva, D., Álvarez-González, J. G., & Ruiz-González, A. D. (2017). Validación de los índices de teledetección dNBR y RdNBR para determinar la severidad del fuego en el incendio forestal de Oia-O Rosal (Pontevedra) en 2013. *Revista de Teledeteccion*, 2017(49 Special Issue), 49–61. <https://doi.org/10.4995/raet.2017.7137>

Bilbao, B., Steil, L., Urbietta, I. R., Anderson, L., Pinto, C., González, M. E., Millan, A., Falleiro, R. de M., Morici, E., Ibarregaray, V., Pérez-Salicrup, D. R., Pereira, J. M., & Moreno, J. M. (2020). Adaptación frente a los riesgos del cambio climático en los países Iberoamericanos. Cap. 12 Incendios

Forestales. In *Informe RIOCCADAPT*. <http://rioccadapt.com/wp-content/uploads/LibroCompleto.pdf>

Bodi, M. B., Cerddà, A., Mataix-Solera, J., & Doerr, S. H. (2012). Efectos de los incendios forestales en la vegetación y el suelo en la cuenca mediterránea: Revisión bibliográfica. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 58, 33–56. <https://doi.org/10.21138/bage.2058>

Burbano Orjuela, H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(1), 82. <https://doi.org/10.22267/rcia.183501.85>

Camargo-García, J. C., Dossman, M. Á., Rodríguez, J. A., Arias, L. M., & Galvis-Quintero, J. H. (2012). Cambios en las propiedades del suelo, posteriores a un incendio en el parque nacional natural de Los Nevados, Colombia. *Acta Agronomica*, 61(2), 151–165.

Capulín, G. J., Mohedano, C. L., & Razo, Z. R. (2010). Changes in Soil and Vegetation in a Pinus Forest Affected by Fire. *Terra Latinoamericana*, 28 (1)(Chapingo, México), 79–87.

Castillo, M., Pedernera, P., & Pena, E. (2003). Incendios forestales y medio ambiente: una síntesis global. *Revista Ambiente y Desarrollo de CIPMA*, XIX(1), 44–53. <https://doi.org/10.1002/hyp.9647>

Chicas Soto, R. A., Vanegas Chacón, E. A., & García Álvarez, N. (2014). Determinación indirecta de la capacidad de retención de humedad en suelos de la subcuenca del río Torjá, Chiquimula, Guatemala. (Spanish). *Indirect Determination of the Capacity to Hold Moisture in Soils of the Sub Basin of the Torjá River, Chiquimula, Guatemala. (English)*, 23(1), 41–46. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fua&AN=94337355&lang=es&site=ehost-live>

CONAFOR. (2020). *Reporte semanal nacional de incendios forestales al 31 de diciembre de 2020*. <https://www.gob.mx/conafor/documentos/reportesemanal-de-incendios>

- CONAFOR, & Centro Nacional de Manejo del Fuego. (2019). *Cierre 2019*.
- Datta, R. (2021). To extinguish or not to extinguish: The role of forest fire in nature and soil resilience. *Journal of King Saud University - Science*, 33(6), 101539. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101539>
- Dindaroglu, T., Babur, E., Yakupoglu, T., Rodrigo-Comino, J., & Cerdà, A. (2021). Evaluation of geomorphometric characteristics and soil properties after a wildfire using Sentinel-2 MSI imagery for future fire-safe forest. *Fire Safety Journal*, 122(August 2020). <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2021.103318>
- Dymov, A. A., Startsev, V. V., Milanovsky, E. Y., Valdes-Korovkin, I. A., Farkhodov, Y. R., Yudina, A. V., Donnerhack, O., & Guggenberger, G. (2021). Soils and soil organic matter transformations during the two years after a low-intensity surface fire (Subpolar Ural, Russia). *Geoderma*, 404(June), 115278. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115278>
- Eduardo Martínez, H., Juan Pablo Fuentes, E., & Edmundo Acevedo, H. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de La Ciencia Del Suelo y Nutricion Vegetal*, 8(1), 68–96. <https://doi.org/10.4067/s0718-27912008000100006>
- Fernandez, Y., Salazar, X., & Iglesias, J. M. (2018). Influencia de la fertilización en las propiedades físico-químicas de un suelo dedicado a la producción de semilla de *Megathyrsus maximus*. *Pastos y Forrajes*, 38(4), 393–402.
- Figueroa, M. D. L., Martínez, M. R., Ortiz, C. A., & Fernández, D. S. (2018). Influencia de los factores formadores en las propiedades de los suelos en la Mixteca, Oaxaca, México. *Revista Terra Latinoamericana*, 36(3), 287–299.
- Flood, J. H. and I. (2012). No TitleФормирование парадигмальной теории региональной экономики. *Экономика Региона*, Kolisch 1996, 49–56.
- Galilea, D., Prieto, E., García, C., & L, G. D. C. J. (2015). *Efecto de la severidad*

del fuego en la producción de corcho HERNANDO LAPA C. . MADRIGAL OLMO, J. , SANTOS SÁNCHEZ, P.F. GUIJARRO GUZMÁN, M. , DÍEZ GALILEA, C. , ESPINOSA PRIETO, J. , CARRILLO GARCÍA , GARCÍA de CECA J.L , NIETO ALMEIDA, E. , GONZÁLEZ ADRADOS, J.R. 1–12.

Gallegos Rodríguez, A., González Cueva, G. A., Cabrera Orozco, R. G., Marcelli Sánchez, C., & Hernández Álvarez, E. Σ. (2018). Efecto De La Recurrencia De Incendios Forestales En La Diversidad Arbórea. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(24), 110–125.
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v5i24.324>

García-Codron, J. C., Pèlachs, A., & Carracedo-Martín, V. (2016). Fuentes para la Historia de los incendios forestales y su impacto en la vegetación: Puentes y barreras metodológicas. *Avances En Biogeografía. Áreas de Distribución: Entre Puentes y Barreras*, June, 563–571.

Gonzales, L., Pinto, M. A., Aponte, M. A., Ledezma, R., & Soto, D. (2021). *Impacto de incendios forestales en la biodiversidad del Bosque Seco Chiquitano*.

Guido Correa, F., Sangay Cabrera, F., & Sanchez Peña, M. (2021). *Efecto De Los Incendios Forestales En La Relación C/N Del Suelo*. 17(2), 49–54.
<https://doi.org/10.18687/laccei2021.1.1.308>

Hernández, A., Arbelo Rodríguez, C. D., Rodríguez, N., Notario Del Pino, J., del Arco, M., & Rodríguez-Rodríguez, A. (2013). Efectos de un incendio forestal (Tenerife, Islas Canarias, verano de 2007) bajo bosques de pinar sobre algunas propiedades del suelo y su relación con la repelencia al agua a corto y medio plazo. *Spanish Journal of Soil Science*, 3(1), 56–72.
<https://doi.org/10.3232/SJSS.2013.V3.N1.04>

Incendios forestales Guía práctica para comunicadores. (n.d.).

Jim, P., & Pinilla, N. E. Z. (2016). *Advances in the study of Mediterranean soils affected by forest fires*. <http://dspace.umh.es/bitstream/11000/3035/1/TDJiménezPinilla%2CPatricia.pdf>

- Kitzberger, T., & Grosfeld, J. (2016). *Diagnóstico de la severidad de fuego y propuestas de restauración y manejo a nivel predial para áreas afectadas por el incendio de Cholila de 2015*. June, 1–91.
- Li, X. Y., Jin, H. J., Wang, H. W., Marchenko, S. S., Shan, W., Luo, D. L., He, R. X., Spektor, V., Huang, Y. D., Li, X. Y., & Jia, N. (2021). Influences of forest fires on the permafrost environment: A review. *Advances in Climate Change Research*, 12(1), 48–65. <https://doi.org/10.1016/j.accre.2021.01.001>
- Lozano, E. (2015). Sensibilidad de la glomalina a los efectos provocados por el fuego en el suelo y su relación con la repelencia al agua en suelos forestales mediterráneos. *Universidad Miguel Hernández de Elche*, 191.
- Marozas, V., Racinkas, J., & Bartkevicius, E. (2007). Dynamics of ground vegetation after surface fires in hemiboreal *Pinus sylvestris* forests. *Forest Ecology and Management*, 250(1–2), 47–55. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.03.008>
- Martín Alonso, G. M., Tamayo, Y., Hernández, I., Varela, M., & da Silva, E. (2017). Cuantificación de la fijación biológica de nitrógeno en *Canavalia ensiformis* crecida en un suelo pardo mullido carbonatado mediante los métodos de abundancia natural de ^{15}N y diferencia de N total. *Cultivos Tropicales*, 38(1), 122–130. <http://ediciones.inca.edu.cu>
- Martínez, J. J., De las Heras, J., & Herranz, J. M. (1991). Impacto ecológico de los incendios forestales. In *Al-Basit: Revista de estudios albacetenses* (Vol. 29, pp. 105–117).
- Mataix-Solera, J., & Guerrero, C. (2013). Incendios Forestales, Suelos y Erosión Hídrica. *Cuaderno Activa*, 59–67.
- Minervini, M. G., Morrás, H. J. M., & Taboada, M. Á. (2018). Efectos del fuego en la matriz del suelo. Consecuencias sobre las propiedades físicas y mineralógicas. *Ecología Austral*, 28(1), 012–027. <https://doi.org/10.25260/ea.18.28.1.0.127>

- Mortala, N. A. (2013). Comportamiento de las formas de fósforo en un Ultisol con diferentes manejos de implantación forestal. *Master Report*, 116.
- Moure, N. B. (2015). *No laboreo en agrosistemas de secano en Aragón : Efectos a largo plazo en el almacenamiento de carbono orgánico y en la estructura del suelo*. Nuria Blanco Moure.
- Novillo Espinoza, I. D., Carrillo Zenteno, M. D., Cargua Chavez, J. E., Nabel Moreiral, V., Albán Solarte, K. E., & Morales Intriago, F. L. (2018). Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas en la provincia de Los Ríos, Ecuador. *Temas Agrarios*, 23(2), 177–187. <https://doi.org/10.21897/rta.v23i2.1301>
- Of, A., Le, T. H. E., Method, B., Assess, T. O., Stability, A., Three, I. N., & Orders, S. (2012). *Órdenes De Suelos*. 5(3100), 129–139.
- P, Z. L., Hernández-hernández, R. M., Bravo, C., Rivero, C., & Toro, M. (2012). *De Las Sabanas Bien Drenadas*. 37, 2012.
- Pausas, J. G., & Keeley, J. E. (2009). A burning story: The role of fire in the history of life. *BioScience*, 59(7), 593–601. <https://doi.org/10.1525/bio.2009.59.7.10>
- Pellegrini, A. (2017). Fósforo en el suelo 1. 2017, 1–13.
- Pereira, M. G., Calado, T. J., DaCamara, C. C., & Calheiros, T. (2013). Effects of regional climate change on rural fires in Portugal. *Climate Research*, 57(3), 187–200. <https://doi.org/10.3354/cr01176>
- Ravi, A., King, D. A., & Sheppard, N. (1968). Infra-red spectra of nitrogen adsorbed on iridium. *Transactions of the Faraday Society*, 64, 3358–3360. <https://doi.org/10.1039/TF9686403358>
- Rodríguez-Trejo, D. A. (2014). *Incendios de Vegetación su Ecología Manejo e Historia*. 1(November), 891. <http://www.liverpool.com.mx/tienda/incendios-de-vegetación-su-ecología-manejo-e-historia-vol-1/1038100650?skuId=1038100650>

- Rodríguez, A. G. F., Garnica, J. G. F., Eguiarte, D. R. G., Rodríguez, A. G., Villaseñor, P. Z., Munguía, S. M., Zavala, M. E. L., & Guzmán, E. R. (2021). Pine and oak natural regeneration under different levels of forest fire disturbance. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(65). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i65.776>
- Rosero, J., & Osorio, I. (2013). Estado del arte: *Revista Científica de La Facultad de Ingeniería*, 35(5), 59–67. <https://doi.org/10.4067/s0718-50732020000200119>
- San Emeterio, L., Múgica, L., Gutiérrez, R., Juaristi, A., Pedro, J., & Canals, R. (2013). Cambios en el nitrógeno edáfico tras la realización de quemas controladas para mejora de pastos pirenaicos. *Pastos*, 43(October 2012), 44–53.
- Sanchez, S. (2015). *Incendios forestales , comportamiento de la vegetación y dinámica hídrica en la Reserva Natural de la Defensa La Calera*. 34–38.
- Torres, C. A., Etchevers, J. D., Fuentes, M. H., Govaerts, B., León, F. D., & Herrera, J. M. (2013). Terra : organo oficial de divulgación de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. *Terra Latinoamericana*, 31(1), 71–84. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792013000100071&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Úbeda, X. (2001). Influencia de la intensidad de quemado sobre algunas propiedades del suelo despues de un incendio forestal. *Edafologia*, 8, 41–49.
- Úbeda, X., Pereira, P., Outeiro, L., & Martin, D. A. (2009). Effects of fire temperature on the physical and chemical characteristics of the ash from two plots of Cork oak (*Quercus Suber*). *Land Degradation and Development*, 20(6), 589–608. <https://doi.org/10.1002/ldr.930>
- Ubeda, X., & Sala, M. (1996). INCREMENTO DE LA ESCORRENTÍA y LA EROSIÓN TRAS UN INCENDIO FORESTAL. *lv*, 559–572.

- Vallejo Quintero, V. E. (2013). Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos a través del componente microbiano: Experiencias en sistemas silvopastoriles. *Colombia Forestal*, 16(1), 83.
<https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2013.1.a06>
- Velasco, H., & Rizzotto, M. (1807). *Un modelo para simular la influencia de la vegetación sobre el ciclado y distribución vertical del potasio en el suelo*. 1800–1807.
- Wang, G., Li, J., Ravi, S., Theiling, B., & Burger, W. (2021). Fire changes the spatial pattern and dynamics of soil nitrogen (N) and $\delta^{15}\text{N}$ at a grassland-shrubland ecotone. *Journal of Arid Environments*, 186(August 2020), 104422. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104422>
- Zárate López, L. G. (2004). *Capítulo 2 descripción del fenómeno*. 44.

CONCLUSIONES GENERALES

En la mayoría de las variables físicas y químicas analizadas no se encontraron diferencias significativas por efecto del fuego, las variables que si presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) fueron: % de limos, PMP, Nt, N nítrico, N orgánico en bosque de Pino y Macroporosidad y N nítrico en bosque de Encino ver cuadros 3, 4, 5 y 6.

La severidad alta del incendio forestal determinó la existencia de mayores cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo.

La profundidad del suelo es un determinante de los efectos del paso del fuego, por lo que a menor profundidad los cambios son mayores.

Los cambios en las propiedades del suelo tras el paso del incendio forestal no son negativos para la regeneración de la vegetación.

Los cambios en las propiedades del suelo después del paso del incendio no fueron las mismas en los diferentes tipos de vegetación, el bosque de Pino propicio más cambios.

ANEXO FOTOGRÁFICO



Ilustración 1. Evidencia del incendio forestal.



Ilustración 2. Evidencia del incendio forestal.



Ilustración 3. Vista panorámica de la zona de estudio.



Ilustración 4. Incendio de Severidad Alta en bosque de Pino.



Ilustración 5. Incendio de Severidad Alta en bosque de Encino.



Ilustración 6. Incendio de Severidad Baja en bosque de Pino.



Ilustración 7. Incendio de Severidad Baja en bosque de Encino.



Ilustración 8. Sin incendio en bosque de Pino

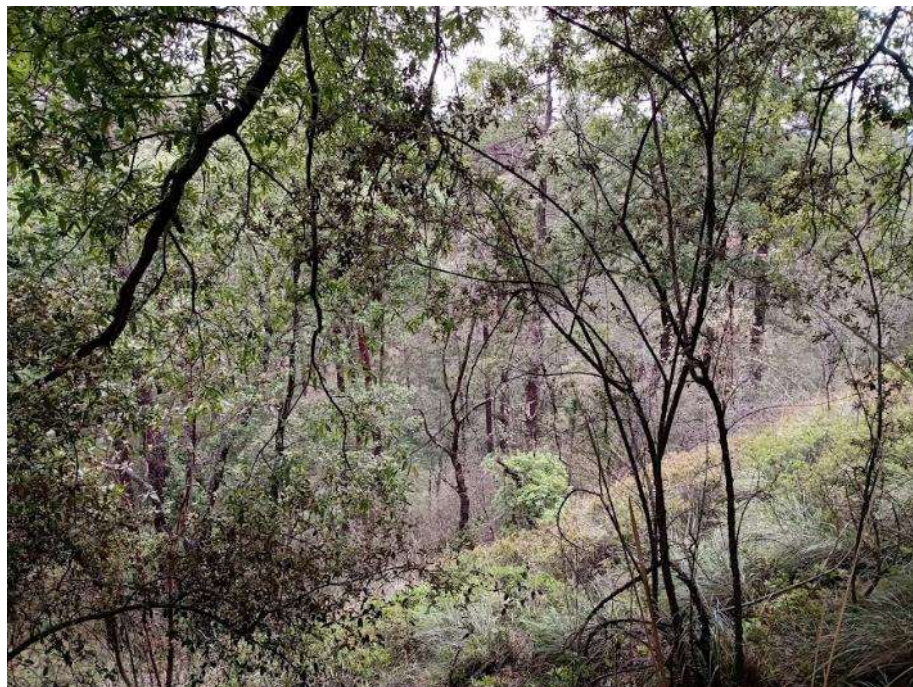


Ilustración 9. Sin Incendio en bosque de Encino



Ilustración 10. Materiales para el muestreo.



Ilustración 11. Limpieza del sitio de muestreo.

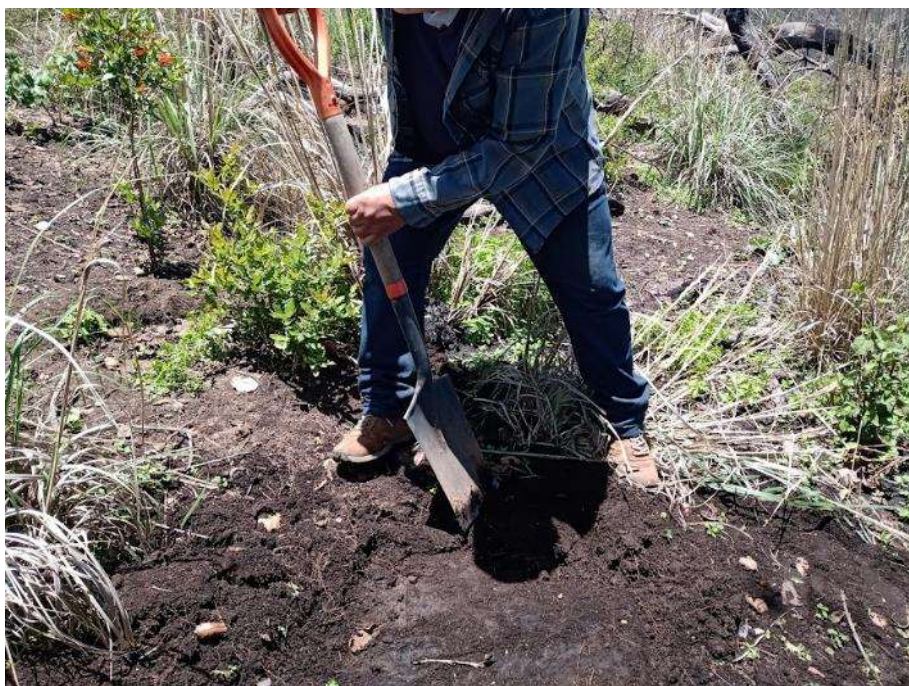


Ilustración 12. Limpieza del sitio de muestreo.



Ilustración 13. Delimitación de un bloque de suelo.



Ilustración 14. Medición de la profundidad para la toma de muestras.



Ilustración 15. Separación del suelo por profundidad.



Ilustración 16. Colocación de las muestras en bolsas previamente etiquetadas.



Ilustración 17. Muestras embolsadas.



Ilustración 18. Muestras previas al secado.



Ilustración 19. Secado de las muestras, bajo sombra.



Ilustración 20. Tamizado de las muestras.



Ilustración 21. Suelo tamizado a 2mm.



Ilustración 22. Peso de las muestras en laboratorio para análisis químicos.



Ilustración 23. Destrucción de Materia orgánica para la determinación de la textura.



Ilustración 24. Determinación de la textura por el método de Bouyoucos.



Ilustración 25. Determinación de las constantes de humedad por el método de las Ollas de Richards.

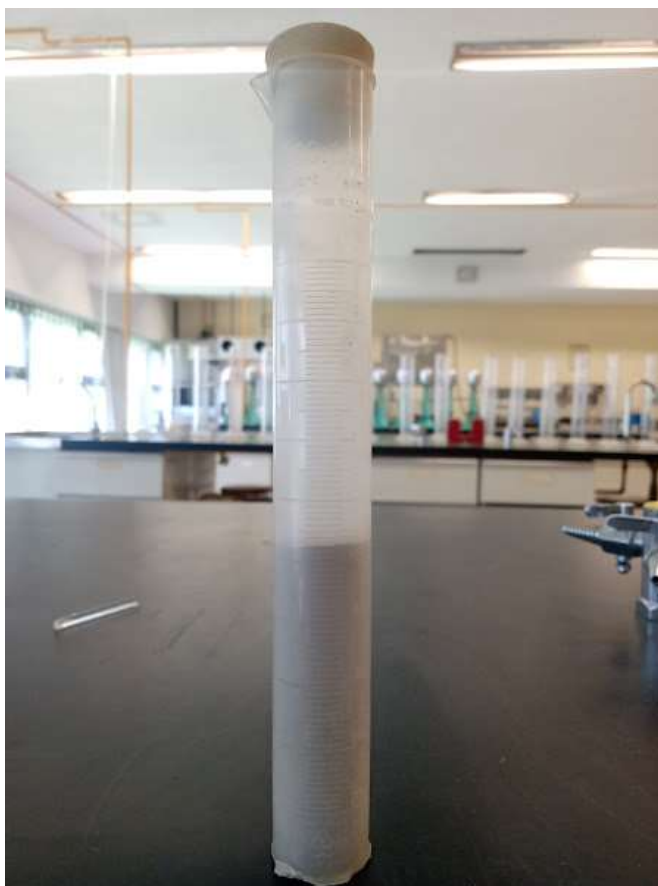


Ilustración 26. Determinación de la Densidad Aparente por el método de la probeta.



Ilustración 27. Determinación de la Densidad Real por el método del Pícnómetro.