

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE TLAXCALA**  
**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN GENÉTICA Y AMBIENTE**  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN SISTEMAS DEL AMBIENTE**



**ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA ARBÓREA DE ENCINOS PARA LA  
PRODUCCIÓN DE CARBÓN VEGETAL Y EL IMPACTO EN EL  
SUELO**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
**MAESTRA EN CIENCIAS EN SISTEMAS DEL AMBIENTE**

PRESENTA

Biol. Zita Rodríguez Zamudio

BAJO LA DIRECCIÓN DE:

Dra. Elizabeth García Gallegos

TUTORES

Dr. Oscar G. Vázquez Cuecuecha

Dra. Elizabeth Hernández Acosta



IXTACUIXTLA, TLAXCALA, DICIEMBRE 2017.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE TLAXCALA

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN GENÉTICA Y AMBIENTE  
MAESTRIA EN CIENCIAS EN SISTEMAS DEL AMBIENTE

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Código: 505-RGE-04

Publicación: Mayo 2016

Revisión: 01  
9001:2015

**ZITA RODRÍGUEZ ZAMUDIO  
CANDIDATO A MCSA  
PRESENTE**

En cumplimiento al artículo 52 fracción "d" del Reglamento General de Evaluación Académica, el comité de titulación ha revisado el trabajo de investigación titulado: **"Análisis de la estructura arbórea de encinos para la producción de carbón vegetal y el impacto en el suelo"**, realizado bajo la dirección de la Dra. Elizabeth García Gallegos. No habiendo encontrado objeción alguna, se autoriza su impresión:

M. en C. Laura Verónica Hernández Cuevas

MEF. María Eunise Marina Zamora Campos

Dra. Elizabeth Hernández Acosta

Dra. Aline López López

Dra. Elizabeth García Gallegos

Dr. Oscar Gumersindo Vázquez Cuecuecha

Dr. José Luis Martínez y Pérez

\_\_\_\_\_  
*[Signature]*  
\_\_\_\_\_  
*[Signature]*  
\_\_\_\_\_  
*[Signature]*  
\_\_\_\_\_  
*[Signature]*  
\_\_\_\_\_  
*[Signature]*

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

**"POR LA CULTURA A LA JUSTICIA SOCIAL"**  
Ixtacuixtla, Tlax., 29 de noviembre de 2017

MSP. Patricia Limón Huitrón  
COORDINADORA DE LA MCSA



CENTRO DE INVESTIGACIÓN  
EN GENÉTICA Y AMBIENTE  
MAESTRIA EN CIENCIAS  
EN SISTEMAS DEL AMBIENTE

c.c.p. Expediente



Documento exclusivo para uso de la dependencia responsable o autoridad correspondiente

ESTE TRABAJO ES PARTE DEL CONVENIO ESPECÍFICO ENTRE LA SEMARNAT A TRAVÉS DE LA PROFEPA, DELEGACIÓN TLAXCALA Y LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE TLAXCALA POR MEDIO DEL CIGyA.

Folio No.- PFPA/35.1/8C.17.4/00004-16

## AGRADECIMIENTOS

Me es grato plasmar un sincero agradecimiento a quienes hicieron posible la culminación del presente trabajo.

A DIOS por acompañarme a lo largo de mi vida y darme la fuerza para concluir con este gran reto.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico durante los estudios de la maestría.

A todo el personal de PROFEPA por las facilidades recibidas para poder llevar a cabo el trabajo de campo.

A mi comité de titulación: Dra. Elizabeth García Gallegos, Dra. Elizabeth Hernández Acosta, Dra. Aline López López, Mtra. María Eunise M. Zamora Campos, Mtra. Laura V. Hernández Cuevas, Dr. José Luis Martínez y Pérez y Dr. Oscar G. Vázquez Cuecuecha por el tiempo, paciencia, sugerencias y conocimientos aportados en este trabajo de tesis, así como su apoyo y afecto en los momentos difíciles.

A los catedráticos por su esfuerzo y dedicación en el día a día, para transmitir los conocimientos necesarios en cada una de las asignaturas.

A la Dra. María de los Ángeles Jiménez Estrada por creer en mí e impulsarme a ingresar a la maestría y por su amistad que es invaluable.

A la Dra. María M. Adelina Espejel Rodríguez por su amistad, apoyo incondicional y darme la oportunidad de ser su auxiliar.

Al Dr. Noé Santacruz García por su colaboración en la identificación taxonómica.

A todo el personal del CIGyA quienes me brindaron su amistad y me recibieron con los brazos abiertos.

A mis compañeros Ana María, Patricia, Mercedes, Miriam, Sinaí, Rogelio, Eduardo y Juan Alberto por compartir sus conocimientos, experiencias, alegrías y tristezas durante nuestra estancia en el CIGyA; así mismo a Cristina, Anaí, Ana Carolina, Azucena, Ivette, Teresa y Jaime con quienes tuve la fortuna de convivir y llevarme gratos recuerdos.

## DEDICATORIAS

A mis padres:

Brígida Zamudio Martínez (D.E.P.) y Victorino Rodríguez Hernández por darme la vida y la oportunidad de estudiar.

A mis hijos:

Rafael, Jonathan y Giovanni porque son lo que más quiero, son el motor y la fuerza que me impulsa a seguir adelante.

A mi esposo:

Rafael Arroyo García, con quien compartí de todo en esos maravillosos años que quedarán en el recuerdo.

A mis sobrinas:

Gardenia, Jazmín y Perla Xóchitl, ejemplo de lucha constante a quienes admiro y respeto.

A mis hermanos y hermanas:

José Refugio, Julia, Timoteo A., Ma. Del Pilar y Celina por su apoyo incondicional.

## ÍNDICE GENERAL

	Página
AGRADECIMIENTOS .....	I
DEDICATORIAS .....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ÍNDICE DE FIGURAS .....	V
ÍNDICE DE TABLAS .....	VI
RESUMEN .....	VII
ABSTRACT.....	VIII
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 ANTECEDENTES .....	17
3 JUSTIFICACIÓN .....	26
4 OBJETIVOS .....	27
5 HIPÓTESIS .....	27
6 METODOLOGÍA.....	28
6.1 Localización del área de estudio .....	28
6.2 Determinación de la estructura arbórea .....	30
6.3 Densidad básica de la madera de encinos .....	31
6.4 Transformación de madera de encino a carbón vegetal.....	32
6.5 Muestreo de suelo.....	33
6.5.1 Propiedades físicas .....	33
6.5.1.1 Textura.....	33
6.5.1.2 Densidad aparente .....	35
6.5.2 Propiedades químicas .....	36
6.5.2.1 pH .....	36
6.5.2.2 Conductividad eléctrica .....	36
6.5.2.3 Materia orgánica, carbono orgánico y nitrógeno orgánico .....	36
6.5.2.4 Fósforo extractable.....	38
6.5.2.5 Capacidad de intercambio catiónico y bases intercambiables .....	39
6.5.2.6 Porcentaje de saturación de bases.....	40
6.5.3 Actividad microbiana.....	40

6.6	Análisis de datos .....	41
7	RESULTADOS .....	43
7.1	Altura y diámetro de especies .....	43
7.2	Frecuencia y densidad de individuos .....	44
7.3	Densidad básica de la madera .....	45
7.4	Transformación de madera de encino a carbón vegetal .....	45
7.5	Propiedades físicas y químicas de los suelos bajo encinos.....	48
7.6	Propiedades edáficas bajo encinos y su relación con la densidad básica de la madera.....	49
7.7	Propiedades edáficas de los hornos .....	50
7.7.1	Propiedades físicas .....	50
7.7.2	Propiedades químicas .....	51
7.8	Actividad microbiana .....	54
8	DISCUSIÓN .....	56
8.1	Estructura arbórea y densidad básica de la madera.....	56
8.2	Proceso de elaboración de carbón vegetal .....	58
8.3	Propiedades edáficas bajo los encinos .....	59
8.4	Propiedades edáficas en donde se establecieron los hornos .....	61
8.5	Actividad microbiana .....	70
9	CONCLUSIONES.....	73
10	RECOMENDACIONES.....	74
11	LITERATURA CITADA .....	75
12	ANEXOS .....	87

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Figura 1. Segregación de la ubicación del área de estudio (Barrio San Isidro Buensuceso, municipio de San Pablo del Monte, Tlaxcala).	28
Figura 2. Predio “Huey Rastrojo”, en el Barrio San Isidro Buensuceso, San Pablo del Monte, Tlaxcala.	29
Figura 3. Área de 750 m <sup>2</sup> trazada dentro del predio “Huey Rastrojo”.	30
Figura 4. Pasos de la transformación de madera de encino a carbón vegetal.	32
Figura 5. Triángulo de texturas de la USDA.	35
Figura 6. Altura de árboles en 750 m <sup>2</sup> del predio “Huey rastrojo” de acuerdo a la especie.	43
Figura 7. Diámetros de árboles en 750 m <sup>2</sup> , del predio “Huey rastrojo” de acuerdo a la especie.	44
Figura 8. Correlación entre densidad básica de la madera y pH.	50

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Página</b>
Tabla I. Frecuencia, densidad y área basal de especies de <i>Quercus</i> en el predio “Huey rastrojo”, San Isidro Buensuceso, Municipio de San Pablo del Monte.	45
Tabla II. Densidad básica de la madera ( $\text{g cm}^{-3}$ ) de las especies de <i>Quercus</i> en el área de estudio.	45
Tabla III. Propiedades edáficas bajo encinos.	48
Tabla IV. Análisis de correlación entre las propiedades edáficas del entorno de encinos y la densidad básica de la madera de <i>Quercus</i> .	49
Tabla V. Efecto de la temperatura en el porcentaje de arena, limo, arcilla y densidad aparente dentro de hornos.	51
Tabla VI. Efecto de la temperatura en el pH, conductividad eléctrica y fósforo extractable dentro de hornos (a diferentes tiempos).	52
Tabla VII. Efecto de la temperatura en la materia orgánica, carbono orgánico y nitrógeno orgánico dentro de hornos (a diferentes tiempos).	52
Tabla VIII. Efecto de la temperatura en las bases intercambiables, la capacidad de intercambio catiónico ( $\text{Cmol (+) kg}^{-1}$ ) y la saturación de bases (%), dentro de hornos a diferentes tiempos (días).	54
Tabla IX. Actividad microbiana ( $\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1}$ de suelo) entre suelos de hornos.	54
Tabla X. Actividad microbiana ( $\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1}$ de suelo) dentro de suelos de hornos.	55

## RESUMEN

En el presente trabajo se evaluó la estructura arbórea, la producción de carbón vegetal y la relación edáfica antes y después del proceso en un predio del municipio de San Pablo del Monte, Tlaxcala. En el área de estudio, del total de árboles presentes se identificó a *Quercus crassipes* con un 65.7%, *Quercus laeta* 29.2%, *Quercus obtusata* 2.9% y *Alnus aff. acuminata* 2.2%. Se determinó la densidad básica de la madera, cuyos valores se cuantifican de 0 a 1 g cm<sup>-3</sup> y *Quercus obtusata* fue la especie que presentó un valor promedio de 0.87 g cm<sup>-3</sup>, considerada como excesivamente pesada, propiedad que permite ubicar el potencial calorífico que proporciona la madera como combustible. La densidad básica de la madera se correlacionó con el pH, materia orgánica, densidad aparente, arena, limo y arcilla bajo encinos y se obtuvo que el valor del pH es el que tiene una relación negativa al 95%. Parte fundamental del ecosistema forestal es el suelo, el cual, al exponerse a altas temperaturas sufre cambios físicos, químicos y biológicos; los resultados de laboratorio mostraron que en el suelo antes y después del proceso de carbonización el pH no presentó cambios, pero en cuanto al contenido de materia orgánica ésta se incrementó, existió el mismo comportamiento en la conductividad eléctrica, las bases intercambiables, la capacidad de intercambio catiónico, el contenido de fósforo y los porcentajes de limo y arcilla, caso contrario sucedió con la densidad aparente, la cual disminuyó; estas propiedades pueden ser alteradas por las cenizas depositadas, por la mineralización de las fracciones orgánicas, así como por el tiempo de exposición al fuego. Al evaluar la actividad microbiana se observó que ésta se recuperó a los 150 días. Estos resultados proporcionan información acerca de los cambios en las propiedades edáficas por el incremento de la temperatura en el proceso de carbonización. *Quercus obtusata* puede ser utilizada para implementar estrategias de manejo para encinos en la región, las cuales contribuyan a disminuir el deterioro, así como ayudar en la recuperación y conservación de los bosques del Parque Nacional La Malinche.

## ABSTRACT

In the present work the arboreal structure, the charcoal production and the edaphic relation before and after the process in a property of the municipality of San Pablo del Monte, Tlaxcala, were evaluated. In the study area, *Quercus crassipes* was identified from the total trees present with 65.7%, *Quercus laeta* 29.2%, *Quercus obtusata* 2.9% and *Alnus* aff. *acuminata* 2.2%. The basic density of the wood was determined, whose values are quantified from 0 to 1 g cm<sup>-3</sup> and *Quercus obtusata* was the species that presented an average value of 0.87 g cm<sup>-3</sup>, considered as excessively heavy, property that allows to locate the potential calorific that provides wood as fuel. The basic density of the wood was correlated with the pH, organic matter, bulk density, sand, silt and clay under oaks and it was obtained that the pH value is the one that has a negative relation to 95%. A fundamental part of the forest ecosystem is the soil, which, when exposed to high temperatures, undergoes physical, chemical and biological changes; the laboratory results showed that in the soil before and after the carbonization process the pH did not change, but in terms of the organic matter content it increased, there was the same behavior in the electrical conductivity, the interchangeable bases, the capacity of cation exchange, phosphorus content and the percentages of silt and clay, otherwise it happened with the apparent density, which decreased; these properties can be altered by the deposited ash, by the mineralization of the organic fractions, as well as by the time of exposure to fire. When evaluating the microbial activity, it was observed that it recovered after 150 days. These results provide information about changes in edaphic properties due to the increase in temperature in the carbonization process. *Quercus obtusata* can be used to implement management strategies for oaks in the region, which contribute to reducing spoilage, as well as helping in the recovery and conservation of the forests of the La Malinche National Park.

## 1 INTRODUCCIÓN

Los bosques templados de México son el segundo bioma más extenso del país (21% del territorio) (Rzedowski, 1992) y uno de los más biodiversos a nivel mundial, debido a que la mayoría de las especies del estrato arbóreo tienen su centro de origen en las montañas del territorio nacional (Valencia, 2004). De las aproximadamente 200 especies reconocidas del género *Quercus* en México, el 70% son endémicas (Zavala, 1998).

Es importante conocer que el arreglo espacial tanto de forma vertical como horizontal que presentan los árboles en cierto tiempo, determina la integridad y estabilidad del bosque y constituye la estructura de la masa forestal, la cual se define como “el resultado de la posición de los individuos, la mezcla de especies, la distribución de edades y la competencia, aspectos que condicionan su presencia y abundancia” (Castellanos *et al.*, 2010). De estos bosques, los árboles de encino tienen un uso generalizado para la producción de carbón vegetal (Calderón y Rzedowski, 2001), debido a la dureza de la madera, la cual está íntimamente relacionada con las unidades caloríficas que proporciona como combustible (Maser y Dutt, 1991; Silva *et al.*, 2010). En el estado de Tlaxcala, la producción de carbón vegetal dentro del Parque Nacional La Malinche es una actividad histórica y cultural que ha permitido la sostenibilidad de los pobladores (Juárez, 2015).

En relación a la producción tradicional del carbón vegetal (hornos de tierra o parva) es una práctica común en el medio rural, pero poco adecuada en términos económicos y ambientales (García-Molina, 2008). La tala de árboles completos para producir carbón vegetal es una de las causas de degradación y deforestación de los bosques nativos, con la consecuente pérdida de los servicios ecosistémicos, como la filtración de agua, la retención de suelos, la captura de carbono, el mantenimiento de la biodiversidad, entre otros (Mas-Jean y Skutsch-Margaret, 2010).

Además del impacto sobre la estructura y los servicios del ecosistema, es imprescindible considerar lo que le sucede al suelo, el cual, al exponerse a altas temperaturas sufre cambios físicos, químicos y biológicos (Guerrero *et al.*, 2007), dichos cambios implican que su mantenimiento y recuperación estén en función de la intensidad, frecuencia y duración del fuego al que el suelo esté expuesto (Flannigan *et al.*, 2000; Robichaud *et al.*, 2000). Hepper-Estela *et al.* (2008) refieren que los efectos en el suelo derivados de incendios forestales originan cambios espaciales y temporales en la estructura del bosque, en el balance de nutrimentos, así como en el contenido de agua, además de contribuir al incremento de la erosión (González, 2011); por lo que en el presente trabajo se plantea evaluar la estructura arbórea y su relación edáfica con la producción de carbón vegetal en el predio “Huey Rastrojo” en San Pablo del Monte, Tlaxcala.

### **Estructura arbórea**

Un punto importante a evaluar en el presente trabajo fue la estructura arbórea la cual consistió en determinar las variables de abundancia (número de individuos), dominancia (área que ocupan) y frecuencia, y así conocer la distribución de la comunidad; también se midieron las alturas de los árboles para calcular el volumen de madera utilizada en la elaboración de carbón vegetal. Para referir una población es necesario agregar una descripción de la distribución vertical de la estructura del ecosistema, esto es, el análisis de especies arbóreas de los estratos superior, medio e inferior (Jiménez *et al.*, 2001).

Dentro del manejo forestal de los bosques de pino-encino se determina la edad del rodal, la altura media y la densidad del bosque, las cuales se pueden apoyar en las distintas formas de inventario forestal. En el noreste de México es frecuente encontrar investigaciones sobre aspectos de crecimiento individual de especies arbóreas en los bosques mixtos de pino-encino, donde la premisa se enfoca hacia el manejo forestal sostenible. Las nuevas tendencias en el manejo integral de los ecosistemas forestales, exigen un mayor conocimiento cuantitativo sobre las

comunidades vegetales, especialmente de las especies arbóreas. Tal consideración se enfoca hacia la concepción de la diversidad biológica, distribución espacial y diferenciación dimensional (Jiménez *et al.*, 2001).

En cuanto al género *Quercus*, éste puede presentarse en bosques de encinos dominados por una o varias especies, aunque frecuentemente se le encuentra dentro de la misma comunidad como codominante con otros géneros; *Pinus*, *Abies*, *Arbutus*, entre otros. Existen factores como la pendiente, exposición, régimen climático, entre otros, que influyen en la distribución de los encinos y varían de acuerdo a la especie; en general, los trabajos en encinos abordan diversos tópicos, de los cuales son importantes desde el punto de vista silvícola, la propagación, inventarios florísticos, taxonómicos y de propiedades de la madera, en las que destacan *Q. crassifolia* y *Q. candicans* por su amplia distribución y con grandes posibilidades de ser utilizadas por la industria, debido a la calidad de su madera, además de su potencialidad ornamental y utilidad en la recuperación de hábitats (Rubio *et al.*, 2011).

### **Densidad de la madera**

La densidad de la madera en la producción del carbón vegetal está relacionada con el rendimiento leña-carbón, carbono, cenizas y poder calorífico (Amílcar, 2013). Pérez y Compean (1989) y Romahn (1992) mencionan que la densidad del carbón vegetal es directamente proporcional a la densidad en seco de la madera, una madera con mayor densidad requiere una mayor temperatura de carbonización para que el producto sea de mejor calidad.

La densidad de la madera, es propia de cada especie vegetal, depende de la cantidad y tipo de elementos celulares que la constituyan (Martínez y Borja de la Rosa, 2005). Por su parte, Hocker (1984) menciona que la densidad de la madera está influenciada por la estructura genética del árbol; la densidad de la madera varía a la vez, por la cantidad y clases de sustancias que contiene, por ejemplo, resinas

y ligninas. La mayoría de las propiedades físicas y mecánicas de la madera como: la dureza, el peso, la resistencia al impacto y a la abrasión están directamente relacionadas con la densidad (Rodríguez *et al.*, 2015).

El conocimiento de la variabilidad en las propiedades físicas y mecánicas de la madera es importante para los silvicultores y otros usuarios de la madera al momento de evaluar sus múltiples aplicaciones, como el valor socioeconómico (Davel *et al.*, 2005). Es decir, conocer aspectos básicos como la densidad de la madera se hace indispensable, ya que puede permitir un mejor aprovechamiento en términos de producción y manejo forestal (Goche-Télles *et al.*, 2011).

#### Variabilidad de la densidad de la madera

Las propiedades de la madera son un atributo que puede cambiar según las condiciones de la zona geográfica y el clima (Rodríguez *et al.*, 2015). Estas pueden ser debidas a la edad del árbol, a la velocidad de crecimiento, a diferencias genéticas, a la disponibilidad de nutrientes y a la historia evolutiva (Goche-Télles *et al.*, 2011). De esta manera, individuos de la misma especie que se desarrollen en la misma zona, pero bajo condiciones que difieran en cuanto a altitud, humedad, composición del suelo entre otras, pueden tener diferencias notables en cuanto a su densidad en la madera (Valencia y López, 1999).

En muchas especies la densidad de la madera disminuye del centro a la periferia y de la base hacia el ápice (Hocker, 1984). Estudios realizados por López y Valencia (2001) señalan que, por ejemplo, en *P. greggii* y en *P. strobus* la densidad de la madera se incrementa con la altura y con la edad del árbol. Sin embargo, en *P. oocarpa* se ha observado que la densidad está más relacionada con la altitud, ya que se registran valores más altos de densidad en las zonas más altas y menores en zonas bajas (Tamarit y Fuentes-Salinas, 2003). También se reconoce que esta variación existe entre árboles, sitios, rodales y especies (Zobel y Van Buijtenen, 1989).

Su conocimiento se usa ampliamente en programas de mejoramiento genético forestal (Zobel y Talbert, 1988), ya que tiene utilidad en la construcción, en aplicaciones industriales tales como en el rendimiento para la elaboración de pulpa para papel, para la fabricación y/o producción de: escuadría, celulosa, triplay, postes, pilotes, y durmientes (SEMARNAT, 2011). Además, esta característica determina como la madera puede ser empleada en la mejora genética para plantaciones forestales, en la captura de carbono y, como ya se ha referido, en su eficiencia como biocombustible (Bárceñas-Pazos y Dávalos-Sotelo, 2001; Secretaría de Energía, 2012 y Kollman, 1959).

### **Importancia del bosque de encino**

Las especies de *Quercus* se distribuyen en casi todos los estados de la República Mexicana, excepto en Yucatán (Pérez, 2000). Estando mejor representados a lo largo de las sierras madre oriental y occidental, así como en el norte de México, y es uno de los tipos de vegetación económicamente más importante del país, con una extensión de 27.5 millones de ha en las zonas de clima templado y frío, lo que equivale al 90% de superficie del aprovechamiento forestal (Aragón-Piña *et al.*, 2010).

El género *Quercus* pertenece a la familia Fagaceae, la cual comprende seis géneros y alrededor de 600 especies ampliamente distribuidas en todo el mundo, especialmente en regiones templadas y subtropicales del hemisferio norte. En México, se conocen dos géneros *Fagus* y *Quercus* (Rzedowski, 1978). Del género *Quercus* existen aproximadamente 250 especies en México y Centroamérica, especialmente en regiones montañosas. Pérez (2000) menciona que en México existen tres subgéneros: *Leucobalanus* o encinos blancos, *Erythrobalanus* o encinos rojos y *Protobalanus* o encinos negros.

Tanto las especies de los encinos blancos como las de los encinos rojos se encuentran ampliamente distribuidas en México, con alrededor de 57 especies para los blancos y 54 para los rojos; los encinos negros están restringidos al norte de Baja California y norte de Sonora, con cuatro especies, una de ellas arbórea y el resto son arbustivas. En el estado de Tlaxcala se han encontrado 18 especies pertenecientes a dos subgéneros de acuerdo con Santacruz y Espejel (2004).

Rojas y Villers (2008) en su estudio sobre la “estimación de la biomasa forestal del Parque Nacional Malinche, Tlaxcala” mencionan que el bosque de *Quercus* es una comunidad vegetal caducifolia que se desarrolla en altitudes entre 2 300 y 2 800 msnm. En la Malinche ocupa 385 ha, que corresponden al 1.9% de la superficie arbolada del parque. Así mismo se observan árboles a la orilla de los caminos y como cercas vivas, ya que la agricultura de temporal ha ganado gran parte de su hábitat. La altura promedio de los encinares es de 5 m, las principales especies son: *Q. crassifolia*, *Q. crassipes*, *Q. dysophylla* y *Q. laurina*, que pueden formar asociaciones mixtas de *Quercus-Pinus*; la comunidad de *Quercus* spp. está muy deteriorada y en ella predominan árboles juveniles (Villers-Ruíz *et al.*, 2009).

La magnitud de almacenamiento de biomasa de La Malinche es muy importante, condición que puede alterarse a corto plazo debido a que en el parque se practica tala ilegal para extracción de madera, principalmente en la zona oeste y suroeste, en particular en predios colindantes con el estado de Puebla, muchas veces la corta se realiza en el territorio de Tlaxcala y sale de forma ilícita por Puebla. En algunos predios se recolecta leña de forma intensiva, lo que en ocasiones encubre el derribo de árboles sanos, o bien se hace ocoteo de los árboles en los caminos principales. Estas tácticas se han utilizado por muchos años en las áreas naturales protegidas del país, por lo que es necesario ofrecer alternativas viables para las localidades que hacen uso de los recursos del parque, de modo que reemplacen las actividades descritas (Rojas y Villers, 2008).

## Usos del encino

Particularmente en el estado de Tlaxcala, los árboles de encino se utilizan para la elaboración de postes y morillos, como cabos de herramientas, en la elaboración de algunos muebles, para la alimentación de asnos, como endurecedor de las encías de las personas, en la preparación de tintes para el cabello y para fabricar barricas en las que se conservan vinos (Santacruz y Espejel, 2004). La madera de encino se utiliza directamente como leña o se transforma en carbón vegetal, según patrones de uso y técnicas tradicionales. Los patrones de uso tradicional (a diferencia del uso moderno o industrial de la madera para energía), se caracteriza por su heterogeneidad espacial, por concentrarse en el sector campesino y residencial, por el uso extendido de tecnologías locales, y por las prácticas y sistemas de extracción diversos (Fernández, 2012).

### a) Transformación de madera de encino a carbón vegetal

El carbón vegetal se obtiene como una consecuencia de la reducción química de la materia orgánica en determinadas condiciones, aunque las técnicas son muy variables, el principio fundamental es común en todas ellas. El proceso de carbonización se compone de cuatro fases: a) **combustión**: durante esta fase la temperatura aumenta rápidamente hasta llegar a los 600 °C lo que provoca una disminución en la cantidad de aire y la temperatura desciende a los 150 °C, dándose el secado de la madera; b) **deshidratación**: su duración es variable (varios días) dependiendo del horno y cantidad de madera, la temperatura aumenta hasta 270 °C, c) **transformación**: una vez eliminada el agua se produce un aumento de temperatura y la madera excreta sustancias como ácido acético, agua, alcohol metílico, alquitrán, dióxido de carbono; entre otros compuestos, los cuales son eliminados a través del humo antes de que cese la destilación debe cerrarse el horno, el indicativo para poder cerrar el horno es la disminución de humo y cambio de color de éste; d) **enfriamiento**. El tiempo dependerá de las condiciones del

horno y la cantidad de madera, pueden ser varios días (Servicio Forestal Integral, 2004).

Las principales características que definen la calidad del carbón incluyen los contenidos porcentuales de: carbono fijo, material volátil, cenizas, contenido de humedad, densidad y poder calorífico (Ordaz, 2003). En México, la calidad del carbón se determina a partir de conocimientos empíricos relacionados principalmente con el gusto del consumidor, quien lo identifica de acuerdo con la presentación a granel o empaquetado, con o sin marca; así algunas personas indican que el mejor producto es aquel cuyo tamaño es mayor a 5 cm, su color de tonos azules brillantes, que conserve la brasa durante un tiempo prolongado, y que emita un sonido metálico cuando se fractura, genere pocas chispas y produzca escasa ceniza (García, 2010).

Existen diferentes técnicas para la producción de carbón vegetal de acuerdo con Flores y Quinteros (2008), en todas las técnicas se generan contaminantes como gases hidrógeno, metano, monóxido de carbono, dióxido de carbono; la fracción líquida contiene agua, alcohol metílico, ácido acético, acetona y metanol además del alquitrán y las cenizas.

### **Técnica de fosa**

Se requiere una capa de suelo profundo, pueden hacerse fosas grandes de forma rectangular y un ciclo puede abarcar hasta tres meses para completarse. La inversión de capital es mínima; se utiliza una pala, un hacha y una caja de fósforos, sin embargo, es una técnica que desperdicia mucho los recursos; Además, es muy difícil controlar la circulación de los gases en la fosa, mucha madera se quema quedando en cenizas debido a la entrada de aire.

Ventajas: materia prima local, la inversión es mínima, se tiene un buen aislamiento térmico, es de fácil operación, el carbón está limpio.

Desventajas: es una instalación fija, requiere de suelo profundo, es difícil controlar la circulación de gases, requiere de mucho esfuerzo físico de los operadores y da bajos rendimientos.

### **Técnica tradicional**

Es apilar la madera dando la forma de media naranja y cubrirla con suelo. Esta es una técnica que se usa ampliamente en zonas agrícolas, donde las fuentes de leña pueden hallarse dispersas, y es deseable hacer el carbón vegetal cerca de los poblados. El sitio en donde se colocó la madera puede ser usado repetidamente. La leña que será carbonizada en el lugar puede reunirse durante un lapso de meses y ser apilada en posición, haciendo que se seque bien antes de tapar y quemar.

Ventajas: se puede ubicar en cualquier sitio, la inversión es mínima, se provee de materias primas locales, se recomienda colocarlo en suelo arcilloso y su capacidad es ajustable.

Desventajas: requiere intensa mano de obra, es difícil controlar las condiciones atmosféricas, el carbón es de calidad heterogénea, tiene bajos rendimientos.

### **Técnica de ladrillo o de colmena brasileño**

Construido con ladrillo en forma de media naranja y operado correctamente, representa sin duda una de las técnicas más efectivas para la producción de carbón vegetal. En el curso de varias décadas de uso, estos hornos han demostrado ser una inversión de capital moderada, requerir poca mano de obra y poder dar rendimientos sorprendentemente buenos de carbón vegetal de calidad apta para todos sus usos industriales y domésticos, utilizado principalmente en Brasil y Argentina.

Ventajas: provee de materia prima local, tiene buen aislamiento térmico, es de fácil operación, requiere de poca mano de obra, se obtiene carbón de calidad, es una

técnica eficiente, no es sensible a las condiciones atmosféricas y dura mucho tiempo operando.

Desventajas: requiere de inversión y personal capacitado para construir el horno, la instalación es fija, su enfriado es lento y tiene costos de descarga.

### **Técnica de horno metálico cilíndrico**

Como su nombre lo indica es de metal y es desmontable para poder transportarlo y colocarlo en el lugar en que se requiera operar.

Ventajas: movilidad hasta donde está la materia prima, enfriado rápido, fácil de operar, carbón limpio y homogéneo, no es sensible a las condiciones atmosféricas.

Desventajas: requiere de inversión para la construcción del horno, vida útil de dos o tres años y capacidad determinada.

### **Técnica de retorta**

Consiste en un cilíndrico, se usa una chapa de acero de 3 mm de espesor para fabricar la sección del fondo; para la sección superior y para la tapa se usa chapa de acero de 2 mm de espesor. Las dos secciones principales son cilíndricas; se usan repisas con perfiles de hierro ángulo de 50 mm para soportar la sección superior y la tapa, estos soportes están soldados en la parte interna del borde más alto de las dos principales secciones cilíndricas, los ocho tubos de entrada/salida están ubicados en la sección inferior del horno; en la tapa hay cuatro bocas a igual distancia, para la liberación del vapor.

Ventajas: calidad homogénea del carbón, alto rendimiento, automatización, requiere poco calor, acelera el proceso de enfriamiento, acorta tiempo de carbonización, puede recuperar alquitrán de la madera, dependiendo de la capacidad del horno puede producir de 2.5 a 3 ton de carbón en 24 h y el más grande de 10 a 12 ton/24 h.

Desventajas: inversión considerable (de \$1, 500 a \$9, 500 dólares un equivalente aproximado en pesos de \$26, 340.00 a \$166, 820.00, precio al día 21 de septiembre de 2017), alta capacitación técnica y transporte de la madera.

### **La producción de carbón vegetal a nivel mundial y nacional**

Los principales países exportadores de carbón: Paraguay, India, Indonesia, Argentina, Somalia y representaron la mitad de las exportaciones totales del 2009. Los cinco primeros países importadores de carbón vegetal fueron Alemania, China, Malasia, Japón y la República de Corea, con un total de 38% de la producción mundial (Amílcar, 2013 y Bustamante, 2011).

En América Latina, Brasil fue responsable de más del 80% de la producción de carbón vegetal. Otros países latinoamericanos productores fueron Colombia, Perú, Venezuela y Chile, que respondieron a un 12% del total de carbón producido. Brasil presentó un 83% del total del carbón vegetal consumido, casi en su totalidad por la industria siderúrgica. La demanda de carbón vegetal en los demás países latinoamericanos fue insignificante, aunque tiene importancia relativa a nivel local, para uso residencial y rural (FAO, 2006).

En México se estimó un consumo anual por el sector residencial de 600 000 ton en 2005 equivalente a 4.7 millones de m<sup>3</sup> de madera, el sector residencial-urbano fue el principal consumidor, seguido del sector comercial-gastronómico. Los principales estados productores en el país fueron: Sonora (36%), Tamaulipas (29%), Durango (14%), Jalisco (9%), Guanajuato (7%) y otros (5%). (SEMARNAT 2007). El mayor consumo de carbón vegetal se encuentra en las zonas urbanas del país; principalmente, el área metropolitana de la Ciudad de México, Monterrey N.L, Guadalajara Jal., Tijuana BC, Ciudad Juárez Chihuahua y Chihuahua capital, Torreón Coah. y Gómez Palacio, Dgo. Desafortunadamente se carece de estándares, prácticas y normas adecuadas que permitan obtener la mejor relación

rendimiento-calidad que reúnan las necesidades de los consumidores que lo demandan (Bustamante, 2011).

Los estados con mayor aprovechamiento de madera de encino son: Michoacán, Durango, Chihuahua, Jalisco, Guanajuato, Hidalgo, Puebla, Sonora, Veracruz y Oaxaca; estados con mayor número de especies de encino. Las entidades que no tienen datos de producción maderable de encino a pesar de tener representantes de ellos en su territorio son: Baja California Sur, Campeche, Coahuila, Morelos, Quintana Roo, Sinaloa, Tabasco y Ciudad de México (Pérez, 2000). Para el estado de Tlaxcala sólo se reportan datos de aprovechamiento de encino en escuadría y como leña (SEMARNAT, 2007).

La madera para carbón vegetal proviene del aprovechamiento de árboles completos, aunque también se obtiene de residuos de otros aprovechamientos forestales, de desmontes para la agricultura y ganadería, así como de árboles caídos por huracanes. En los mercados del centro y norte de México se prefiere carbón producido con maderas de medio y alto peso específico; tales como: encino (*Quercus* sp.), mezquite (*Prosopis* sp), ébano (*Ebanopsis ebano*), entre otros. Sin embargo, la extracción de leña para producir carbón alrededor de los centros urbanos representa una de las causas de degradación y deforestación de los bosques nativos con la consecuente pérdida de los servicios ecosistémicos asociados (Mas-Jean y Skutsch-Margaret, 2010).

## **El sistema suelo**

El Servicio de Conservación de Recursos Naturales por sus siglas en inglés (NRCS) define al suelo como un cuerpo natural compuesto de sólidos (minerales y materia orgánica), líquido y gases que ocurre en la superficie terrestre, ocupa espacio y se caracteriza por uno o varios horizontes o capas que se distinguen del material inicial como resultado de adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de energía y materia o la capacidad de sostener plantas en un ambiente natural (Soil Survey Staff, 2014).

El suelo desempeña un papel vital en el mantenimiento de la vida en el planeta, casi todos los alimentos que consumen los seres humanos, con excepción de lo que se cosecha de los ambientes marinos, se cultiva en los suelos. El suelo puede considerarse como la base del ecosistema, ya que la productividad del suelo determina que aspecto tendrá un ecosistema en términos de la vida vegetal y animal que puede soportar. Por ejemplo, en los ecosistemas forestales, los suelos pueden determinar la composición de las especies, la productividad de la madera y el hábitat, la riqueza y la diversidad de la fauna silvestre; en los campos cultivados, la calidad del suelo juega un papel importante en la productividad de los cultivos, ya que los nutrientes y las propiedades del suelo pueden afectar directamente el rendimiento; en las áreas urbanizadas, el suelo juega un papel vital en la reducción de la escorrentía a través de la infiltración y la atenuación de nutrientes (Schoonover y Crim, 2015).

### **El fuego en el suelo**

Los impactos del fuego en el suelo son básicamente de dos tipos: 1) directos, como consecuencia de la combustión de los residuos orgánicos y las temperaturas que se alcanzan en el suelo y 2) indirectos, cambios producidos en otros componentes del ecosistema, como la disminución de la cobertura vegetal o el aporte de cenizas y hojarasca parcialmente quemada, incluso cambios en la flora. La severidad de los impactos depende de la intensidad del fuego, duración y frecuencia. Estas modificaciones suponen cambios microclimáticos en la humedad edáfica, temperatura y radiación solar que afectarán la recuperación del sistema, tanto en beneficio (menos competencia, más luz, más nutrientes), como en detrimento (mayor erosión, menos infiltración) del ecosistema. Después de un incendio, normalmente disminuye la acidez del suelo, debido a la destrucción de ácidos orgánicos y al aporte de carbonatos, cationes básicos y óxidos procedentes de las cenizas; afecta directamente al complejo de cambio, mediante la combustión de la materia orgánica y la alteración de los minerales de arcilla. La materia orgánica se

altera a temperaturas entre 100 °C y 500 °C, mientras que los minerales a temperaturas mucho más altas. Tras exposición a temperaturas moderadas (alrededor de los 300 °C), la conductividad eléctrica del suelo puede aumentar notablemente por la incorporación de sales solubles procedentes de la combustión de la materia orgánica (González- Pérez *et al.*, 2011).

La quema de grandes extensiones de suelo debido a causas naturales o antrópicas previo a la siembra se considera como una alternativa para mejorar la fertilidad del suelo; sin embargo, la preparación del suelo trae consigo efectos que a lo largo del tiempo provocan un empobrecimiento del mismo, lo que disminuye su fertilidad natural (Dean *et al.*, 2015). Los contenidos de nutrimentos, microorganismos y materia orgánica resultan severamente alterados, siendo estos últimos los que reciben un mayor impacto a causa de la imposibilidad de restituir sus contenidos de forma efectiva con enmiendas (Edivaldo *et al.*, 2014).

La fracción coloidal del suelo es alterada por las elevadas temperaturas, lo que provoca la eliminación de la fracción orgánica y modificación del material mineral. En cuanto al contenido de carbono y nitrógeno, en especial este último disminuye hasta su total eliminación, lo que ocasiona un decremento de la fertilidad del suelo. Por otro lado, la capacidad de intercambio catiónico se disminuye hasta en un 70% como producto de la pérdida de la materia orgánica (Lerma *et al.*, 2015). No obstante, los efectos del fuego serán tan variables como los factores que intervienen en la exposición del suelo a él (Mataix-Solera y Guerrero, 2007).

La combinación de temperatura máxima y tiempo de exposición producirán un impacto térmico sobre el suelo que además dependerá del contenido de humedad del mismo y de factores intrínsecos como la textura, lo que condiciona la transmisión del calor al suelo. Con la presencia de altas temperaturas la materia orgánica muestra mayor grado de descomposición, lo que aumenta las formas de nitrógeno orgánico no hidrolizables y, por lo tanto, menos mineralizable (Walker *et al.*, 1986). La energía calórica que se libera durante la quema del suelo ejerce un efecto similar

al de la degradación biológica de la materia orgánica, la diferencia radica en la velocidad de dichos procesos (García-Oliva *et al.*, 1999). Diferentes estudios realizados en suelos de España afectados por incendios no controlados muestran una disminución en el contenido de carbono orgánico en la capa superficial y subsuperficial del suelo, que está en función de la intensidad de los mismos (Carballas, 2003).

El incremento de la temperatura por el proceso de transformación de la madera a carbón vegetal modifica los ciclos biogeoquímicos, produce cambios en la vegetación, fauna, procesos hidrológicos y geomorfológicos, calidad del agua e incluso cambios en la composición de la atmósfera; ocasiona en el suelo un impacto ecológico (por la erosión del suelo debido a la pérdida de la cubierta vegetal por el derribo de los árboles de encino) y ambiental (por la contaminación del aire al emitir sustancias como el ácido acético, alcohol metílico, alquitrán, dióxido de carbono, entre otros) e induce el deterioro de la calidad del suelo al aumentar los procesos erosivos que traen como consecuencia la pérdida de un recurso natural no renovable (González-Pérez *et al.*, 2011).

Por otro lado, la actividad microbiana puede verse afectada por los incendios de alta intensidad, debido a que esterilizan parcialmente el suelo (Pietikäinen y Fritze, 1995). Tras este evento, la riqueza de nutrientes permite la rápida proliferación de bacterias. De forma ideal, cuando el sustrato se vuelve limitante de nuevo, la actividad microbiana decrece, pero la biomasa aumenta, hasta que la población se estabiliza de manera progresiva tras el restablecimiento de la vegetación (Bárcenas-Moreno *et al.*, 2011).

En estudios realizados por Lupi (2013) indica que existen alteraciones biológicas a un rango de 40 °C a 70 °C con la degradación de las proteínas y la muerte de los tejidos de las plantas, pero depende del tipo de organismos, la muerte generalmente ocurre entre temperaturas de 50 °C a 120 °C, siendo los hongos menos resistentes que las bacterias. La temperatura en la profundidad del suelo, depende de la

intensidad del fuego, de la carga de combustible, de la duración del fuego y de la humedad; con fuegos de severidad baja, la temperatura del suelo no supera los 130 °C en superficie y 50 °C a los 5 cm. Sin embargo, cuando ocurre un calentamiento severo del suelo (cuando hay grandes acumulaciones de residuos) la temperatura puede alcanzar los 700 °C en la superficie, 250 °C a los 10 cm y disminuir a 100 °C a los 20 cm de profundidad, lo que provoca la muerte de los organismos del suelo, de las raíces de las plantas, así como la alteración en los procesos físicos y cambios importantes en el ciclo de los nutrientes. Así mismo, dependiendo del tipo de organismo, el calentamiento del suelo puede ser letal (50 °C a 210 °C). Temperaturas de 210 °C son suficientes para matar a grupos específicos de bacterias en suelos secos, pero en los húmedos, este nivel es letal a los 110 °C.

Debido a que el sistema físico del suelo, especialmente en los horizontes superficiales depende de la materia orgánica, su pérdida durante la exposición al fuego provoca un aumento en la densidad aparente por la reducción de la porosidad del suelo con la consecuente disminución de la infiltración, aumento de la escorrentía y erosión (Amézketa, 1999). Así, la capacidad de retención hídrica se ve disminuida al cambiar la estructura del suelo y desaparecer la materia orgánica, de este modo, la hidrofobicidad o repelencia al agua puede variar según la temperatura alcanzada en el suelo; por ejemplo, si la temperatura en el suelo es de 200 °C a 250 °C, la aumenta, y si es mayor de 300 °C, la disminuye (DeBano, 1981), lo que se debe a la existencia de sustancias orgánicas que se volatilizan durante la combustión y se condensan posteriormente (Doerr *et al.*, 2000). Los suelos ácidos y de textura arenosa son más propensos a la hidrofobicidad (Mataix-Solera y Doerr, 2004), pero ésta también aparece en suelos calcáreos. La fracción arcilla puede modificarse por la intensidad del fuego, cuando sus minerales son susceptibles (González *et al.*, 1992). La magnitud del cambio en las propiedades físicas depende en gran medida de la severidad del fuego, la cantidad de combustible consumido, el calentamiento del suelo, la superficie quemada y la duración de los intervalos entre fuegos.

## 2 ANTECEDENTES

### Estructura arbórea

La conservación de la biodiversidad local es uno de los objetivos centrales de las áreas protegidas como el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y su manejo debe incluir medidas que garanticen la protección de la riqueza y la diversidad de especies, sobre todo de las vulnerables. Los ecosistemas deben protegerse para apoyar la estabilidad de la biosfera (Margalef, 1991). Los ecólogos de la conservación consideran a la variedad de especies y la singularidad de los taxa (Margules y Usher, 1981) entre los principales criterios para la conservación de ecosistemas y para diseñar áreas naturales protegidas (Norton, 1986). La aplicación de la diversidad en la preservación se basa en la idea de que una mayor variedad significa una mayor calidad ecológica (Magurran, 1988). Para preservar la pluralidad de especies y la dinámica de los encinares, la conservación debe considerar los procesos de disturbio (Hobbs y Huenneke, 1992), ya que, de continuar la presión hacia los encinares, algunas especies pueden ser susceptibles de la extinción local. Vetaas (1997) considera que el efecto del disturbio es relevante en las estrategias de conservación, en especial en áreas densamente pobladas, y que las políticas de preservación deben permitir un impacto antrópico de baja intensidad.

Los bosques dominados por encino, que se caracterizan por una amplia variación florística y estructural, son los más diversos y de gran distribución en los bosques neotropicales de montaña (Kappelle, 2006). México, debido a su localización entre el neártico y el neotrópico, constituye una región muy particular donde confluyen elementos biogeográficos de origen templado y tropical. Los encinos son árboles dominantes de los bosques de esta región, y se distribuyen sobre un amplio intervalo de condiciones biogeográficas, que van desde los bosques templados hasta los bosques sub-tropicales de montaña, incluido el bosque mesófilo de montaña o bosque de niebla (Rzedowski 1978; González-Espinosa *et al.*, 2012). La heterogeneidad ambiental, donde se incluye la altitud, la topografía, la pendiente y

la exposición representa una de las principales explicaciones para entender la complejidad estructural y florística de los encinares mexicanos.

Adentrándonos en la estructura forestal tenemos que es el arreglo espacial tanto de forma vertical, como horizontal que presentan los árboles y otros vegetales en un lugar, en cierto tiempo y que determina la integridad y estabilidad del bosque (Del Río *et al.*, 2003). Es el resultado de la posición de los individuos, la mezcla de especies, la distribución de edades y la competencia, aspectos que condicionan la presencia y abundancia de plantas y animales (Brokaw y Lent, 1999).

Jiménez *et al.* (1999) retoma el concepto de estructura, definiéndolo; como el ordenamiento específico de elementos dentro de un sistema, y aplicándolo a la estructura arbórea se refiere entonces a; la distribución de las características individuales dentro de un área forestal, acotando que la diversidad de especies, la distribución espacial y la diferenciación dimensional que permiten definir los atributos estructurales de una comunidad vegetal.

El desarrollo de las zonas dotadas de un ecosistema forestal implica el aprovechamiento de la potencialidad de los recursos bajo un esquema de conservación, de tal forma que el aprovechamiento eficiente comprende tanto las dimensiones socioecológicas y tecnológicas como las ecológico-ambientales (Toledo, 1984).

Uno de los problemas presentes en los bosques es el disturbio antropogénico derivado de las actividades agropecuarias y el uso de los recursos forestales lo que ha incrementado la necesidad de entender sus consecuencias (Hannah *et al.*, 1994), el disturbio antropogénico frecuente, aún si es de baja intensidad, afecta la estructura forestal y la regeneración de especies arbóreas (Ramírez -Marcial *et al.*, 2001).

Martínez-Cruz *et al.* (2009) en su trabajo sobre estructura de los encinares de la sierra de Santa Rosa en Guanajuato, México, describieron la estructura de 4 asociaciones de encinares: *Quercus potosina* - *Q. castanea*, registró la mayor abundancia (29 especies) y el menor número de individuos por ha<sup>-1</sup>. *Q. laurina* - *Q. rugosa*, presentó sólo 12 especies, pero la mayor densidad de arbustos por ha<sup>-1</sup>, *Q. potosina* - *Q. eduardii* con una mayor equidad y *Q. coccolobifolia* - *Q. laurina* - *Q. rugosa* presentó mayor diversidad.

En la Sierra de Zapalinamé en el estado de Coahuila, Encina-Domínguez *et al.* (2007) determinaron y analizaron la diversidad florística, la distribución y algunas variables físico-ecológicas como la altitud, la pendiente, la temperatura y la precipitación, así como la composición de especies vegetales asociadas a los bosques de encino, encontraron que los factores ambientales influyen en la diversidad y riqueza del bosque de encino y están condicionados por la altitud, variable que refleja efectos climáticos adversos: con el aumento de la altitud decrece la temperatura, y el frío es una condición selectiva que disminuye la abundancia de especies.

Vázquez y Givnish (1998) en los bosques de Manantlán, Jalisco encontraron que la abundancia de plantas mostró grandes diferencias a lo largo del gradiente de altitud y, al igual que la diversidad, la riqueza de los estratos herbáceo y arbustivo disminuyó con la altitud. Gentry (1988) observó que la riqueza arbórea de los bosques neotropicales se incrementa con el gradiente de precipitación. En los bosques de encino, a medida que decrece la altitud, se incrementa la abundancia de arbustos y de hierbas anuales, ya que en sitios de baja elevación es menor la cobertura del dosel, lo que permite una mayor penetración de radiación solar en el interior del bosque (Vázquez y Givnish, 1998). Como resultado de la mayor incidencia de sequías, incendios y disturbios antrópicos, se favorece el establecimiento de arbustos de afinidad xérica.

En el centro-occidente de México, particularmente en los estados de Jalisco y Colima, se localizan diferentes asociaciones florísticas con presencia de encinos, de las cuales destacan el bosque mesófilo de montaña o bosque de niebla (González-Espinosa *et al.*, 2012) el bosque de pino-encino, el bosque de pino y el bosque de encino. Aun cuando el dosel de estos ecosistemas forestales se encuentra dominado por distintas especies de encinos, la composición florística y estructural varía de forma notable a escalas espaciales relativamente pequeñas, de tal manera que se pueden encontrar hasta 5 especies de encino coexistiendo sobre superficies no mayores a 500 m<sup>2</sup> (Olvera-Vargas *et al.*, 2010).

Olvera-Vargas y Figueroa-Rangel (2012) indicaron que la caracterización estructural de bosques dominados por encino en el centro-occidente de México, la diferenciación en la composición florística del dosel de estos bosques depende de la forma en cómo se estructuraron las especies para coexistir. Esta distinción, se presentó en función de las condiciones de sitio donde cada especie se encontró, así como de las prácticas de manejo a las cuales fueron sujetas.

### **Densidad de la madera**

Respecto a la densidad básica de la madera, Silva y Navar (2012) realizaron una estimación en peso de madera en árboles de encino en comunidades forestales templadas al norte del estado de Durango, el valor promedio en el género *Quercus* fue de 0.77 g cm<sup>-3</sup> con valores mínimos y máximo de 0,61 g cm<sup>-3</sup> a 0,86 g cm<sup>-3</sup> de acuerdo a Fuentes-Salinas (1995) se considera una madera excesivamente pesada. Así mismo Nájera *et al.* (2005) para *Quercus laeta* de la región centro sur de la sierra madre occidental del Salto, Durango, reportó una densidad básica de 0.68 g cm<sup>-3</sup> que de acuerdo a la clasificación de Torrelli (1982) se considera alta; valores de 0.72 g cm<sup>-3</sup> son reportados para el estado de Guanajuato (Honorato y Fuentes, 2001). González (2008) en su trabajo al norte del estado de Chiapas reportó una densidad básica de la madera mayor en *Quercus* sp. de 0.65 g cm<sup>-3</sup>, clasificándose como madera pesada.

Pérez y Dávalos (2008) trabajaron sobre algunas características anatómicas y tecnológicas de la madera de 24 especies de *Quercus* en los estados de Durango, Jalisco, Michoacán, Guerrero, Chiapas, Puebla y Veracruz con lo que indican que los valores promedio de la densidad básica de la madera para *Quercus crassipes* es de  $0.78 \text{ g cm}^{-3}$ , *Quercus laeta* de  $0.74 \text{ g cm}^{-3}$  y *Quercus obtusata* de  $0.75 \text{ g cm}^{-3}$ .

En la literatura científica publicada, no existen referencias sobre densidad de la madera para el género *Quercus* para el estado de Tlaxcala.

### **Transformación de madera a carbón vegetal**

En Zacualtipán Hidalgo, en hornos de tierra los rendimientos oscilan de 15 al 30% por tonelada de carbón producido. En los hornos fijos de ladrillo o metálicos también se manifiesta la variación en rendimiento, siendo este último el más controlado de acuerdo a las características del carbón vegetal a producir, con una media del 27% (6 m<sup>3</sup> de leña al 30% de contenido de humedad por tonelada de carbón producido) (Servicio Forestal Integral, 2004).

García-Molina (2008) señaló que, aunque el carbón se puede obtener de todas las especies de encino, una de las más utilizadas en Durango es el encino roble (*Quercus obtusata*). Los productores forestales distinguieron dos tipos de encino con base en el color de su madera (encino blanco y encino rojo). Los productores de carbón eligieron el encino rojo porque su madera es menos dura y esto facilita su quema para transformarse en carbón. También se utilizaron las ramas y las puntas de los árboles que fueron derribados, las ramas generalmente no tienen un valor comercial y cuando se dejan en el suelo del bosque y se secan se convierten en una fuente peligrosa de combustible para incendios forestales, utilizaron hornos de ladrillo y para una tonelada de carbón vegetal se ocuparon 6 m<sup>3</sup> de leña.

García *et al.* (2009) indicaron que los rendimientos de carbón vegetal varían de acuerdo con la sección del encino utilizado. Es por ello que se obtuvo un mejor rendimiento con madera de las secciones bajas y medias del fuste, en comparación

con las secciones altas. Por otro lado, García (2010) determinó un rendimiento del carbón de *Quercus* spp en hornos tipo colmena de  $7.5 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$  y  $9.1 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$  en hornos metálicos, este resultado fue mucho más bajo al que obtuvo García *et al.* (2009) con especies tropicales duras (no son encinos, pero tienen la densidad de la madera extremadamente dura), en el horno tipo fosa.

PROFEPA (2009) reportó el coeficiente de transformación para la obtención de carbón vegetal a partir de especies tropicales duras en el estado de Campeche, se utilizaron tres hornos tipo fosa a los cuales se les colocó un volumen de madera en rollo de  $6.9 \text{ m}^3$ , con un peso de 6 391 kg, se obtuvo 1.28 ton de carbón; al segundo,  $6.55 \text{ m}^3$  de madera en rollo, con un peso de 6 839 kg y 1.36 ton de carbón y al tercero con  $5.83 \text{ m}^3$  de madera en rollo, un peso de 6 460 kg y 1.28 ton de carbón; en promedio se obtuvieron 1.307 ton de carbón, se perdió un peso de 80.09% del peso original de la madera en rollo. Para obtener 1 000 kg de carbón vegetal se utilizaron 5 022 kg de madera verde delgada y gruesa o  $4.95 \text{ m}^3$  de madera verde con un promedio de 202 kg de carbón vegetal por  $\text{m}^3$  (el 19.91% de su peso total).

El proceso de producción de carbón vegetal con residuos de *Quercus sideroxylla* en hornos tipo colmena brasileño requiere de  $5.4 \text{ m}^3$  para producir 1 ton de carbón. En cambio, el rendimiento en la producción de carbón con ramas fue menor al requerir  $9.7 \text{ m}^3$  por ton de carbón. El bajo rendimiento observado en el horno de ramas se debe a las altas temperaturas  $1\ 007.6^\circ\text{C}$  producidas dentro del horno y a las características de las ramas (diámetro de 3 a 10 cm y largo de 30 a 35 cm), ya que se consumió mayor volumen de materia prima para aumentar la temperatura del horno (Bustamante, 2011).

Amílcar (2013) en su investigación realizada en Campeche reportó el rendimiento promedio de  $3.1 \pm 0.63 \text{ m}^3$  de los subproductos forestales necesarios para obtener 1 ton de carbón vegetal para dos especies semipesadas. La especie de *Piscidia piscipula* requirió de  $3.2 \pm 0.69 \text{ m}^3$  de subproducto forestal para producir 1 ton de carbón vegetal, mientras que para *Lonchocarpus castilloi* se requirió de  $2.9 \pm 0.56$

m<sup>3</sup>. Los rendimientos calculados a partir de los subproductos forestales apilados dentro del horno tipo fosa mostraron que la madera de *P. piscipula* junto con la madera de *L. castilloi* requirieron 5.03 m<sup>3</sup> de subproducto forestal necesario para producir 1 ton de carbón vegetal; la elevada densidad, bajo contenido de humedad, condiciones secas de operación y sitio bien drenado para el horno, son factores fundamentales para obtener buenos rendimientos y mejorar la calidad del carbón. Con esta información nos damos cuenta que existen otras especies además del encino que poseen una densidad de la madera que les permite ser utilizadas para elaborar carbón vegetal.

Derivado de la revisión de expedientes que existen en la delegación estatal Tlaxcala de la SEMARNAT en el periodo del 22 de marzo de 2012 al 02 de marzo de 2017, sobre autorizaciones para la transformación de madera en rollo a carbón vegetal con soporte en un programa de manejo forestal en el cual se emplearon hornos metálicos, se reporta que las especies utilizadas son *Quercus laurina*, *Quercus rugosa*, *Quercus crassipes*, *Alnus* sp y *Arbutus* sp. En el municipio de Tlaxco se autorizaron 551.783 m<sup>3</sup> de madera, obteniéndose 84.889 ton de carbón vegetal, 1 ton necesitó 6.5 m<sup>3</sup> de madera. En el ejido de San Antonio Mazapa del municipio de Calpulalpan, se autorizaron 2 992.301 m<sup>3</sup> de madera para obtener 498.716 ton de carbón, por lo tanto 1 ton de carbón utilizó 6 m<sup>3</sup> de madera verde; en el ejido Santo Tomás Apilpahuasco municipio de Calpulalpan, 5 811.796 m<sup>3</sup> de madera produjeron 1 162.359 ton de carbón, entonces 1 ton de carbón requiere 5 m<sup>3</sup> y el ejido San Felipe Hidalgo municipio de Nanacamilpa de Mariano Arista (la transformación fue en horno metálico), fueron autorizados 42 m<sup>3</sup> con un rendimiento de 7 ton de carbón, por lo que para 1 ton se requieren 6 m<sup>3</sup> de madera (Anexo 3).

### **Las evaluaciones de los efectos de la temperatura indican que:**

Hepper-Estela *et al.* (2008) realizaron trabajos en Pampeana Argentina, en dos tipos de suelo (franco arenoso y franco) expuestos a diferentes temperaturas para conocer el efecto de éstas en las propiedades físicas y químicas de los suelos expuestos por 5 minutos a 100 °C, 200 °C, 300 °C, 400 °C, 500 °C y 600 °C,

encontraron que las altas temperaturas modificaron el contenido de carbono orgánico, de nitrógeno total, la capacidad de intercambio catiónico y la transformación del suelo franco a franco arenoso y del franco arenoso a arenoso franco. Los contenidos de potasio y de sodio intercambiables aumentaron a partir de 300 °C y 400 °C, según el suelo, mientras que en ambos el contenido de magnesio disminuyó a partir de 400 °C y el de calcio no fue afectado a ninguna temperatura. A menores temperaturas 200 °C y 300 °C sólo se afectó la proporción de la fracción arena. A altas temperaturas se disminuye la capacidad de retención de agua y nutrimentos de estos suelos, con la consecuente pérdida de su fertilidad.

Los resultados de Lerma *et al.* (2015) efectuados en Córdoba y Valle de Cauca Colombia, muestran la pérdida de elementos con el incremento de la temperatura. Se observó la disminución de los contenidos de carbono, nitrógeno e hidrógeno provenientes de la materia orgánica del suelo, producida por el incremento de la temperatura que causa reacciones de oxidación, convirtiéndola en gases que son liberados a la atmósfera y la pérdida total o parcial de sus contenidos, generando cambios en las propiedades físicas y químicas de los suelos.

Las propiedades de la fracción coloidal del suelo son alteradas por las elevadas temperaturas, generando la eliminación de la fracción orgánica y modificación del material mineral. Los contenidos de elementos como carbono, hidrogeno y nitrógeno, en especial este último disminuye hasta su total eliminación, generando una pérdida en la fertilidad del suelo. La CIC se disminuye hasta en un 70% como producto de la pérdida de la materia orgánica (Lerma *et al.*, 2015).

Por otro lado, Abril y González (1999) evaluaron los cambios en parámetros de fertilidad y densidad microbiana en suelos de bosque manejados con fuego. En cada sitio se colectaron muestras de suelo al finalizar el incendio y a los 30, 180, 360 y 720 días posteriores. Se encontró que la humedad edáfica y el contenido de materia orgánica disminuyeron en el sitio quemado, especialmente un año después del incendio, mientras que el contenido de nitratos aumentó. También en el sitio

quemado disminuyeron todas las poblaciones microbianas, siendo las más afectadas las nitrificantes y amonificantes, en este sentido, Gómez-Luna *et al.* (2008) reportaron de la misma manera que el impacto de la producción de carbón vegetal afecta a las bacterias del tipo amonificantes y nitrificadoras en mayor grado, siendo en la temporada de sequía donde se presenta la menor respiración microbiana con  $406 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1}$ , respecto a la temporada de lluvia en donde se tuvieron  $2\ 177 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1}$ .

### 3 JUSTIFICACIÓN

Los árboles de encino son importantes dentro del ecosistema que compone al Parque Nacional La Malinche, debido a que contribuyen a proteger los suelos de la erosión, además de ofrecer un hábitat adecuado para muchas especies de fauna silvestre, como aves, mamíferos y microorganismos. Si bien los encinos no demandan una cantidad importante de nutrimentos para su crecimiento y desarrollo, se debe preservar el arbolado para evitar en el futuro su pérdida en el sitio. Con este trabajo se genera información ecológica y técnica para el conocimiento de la estructura arbórea presente, y sobre la cuantificación de la densidad básica de la madera, para adecuar a los planes de manejo para encino y emplearlo en la producción de carbón vegetal de manera apropiada para generar beneficios a las comunidades, pero sin dañar y que las políticas de conservación permitan un impacto antrópico de baja intensidad. Por otra parte, se busca obtener datos acerca de las condiciones que guardan las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, antes y después de establecer un horno de carbón vegetal, investigación que hasta el momento no se ha llevado a cabo y que proporcionará información valiosa acerca de los cambios en las propiedades edáficas por el incremento de la temperatura en el proceso de carbonización.

## **4 OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo general**

Evaluar la repercusión de la temperatura por la producción de carbón vegetal sobre la estructura arbórea y las propiedades del suelo, en el predio “Huey Rastrojo” en San Pablo del Monte, Tlaxcala.

### **4.2 Objetivos específicos**

Analizar la estructura arbórea y densidad de la madera dentro del predio “Huey Rastrojo”.

Describir el proceso de transformación de la madera verde de encino a carbón vegetal y estimar la producción.

Cuantificar el efecto del incremento de la temperatura por el proceso de carbonización sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo

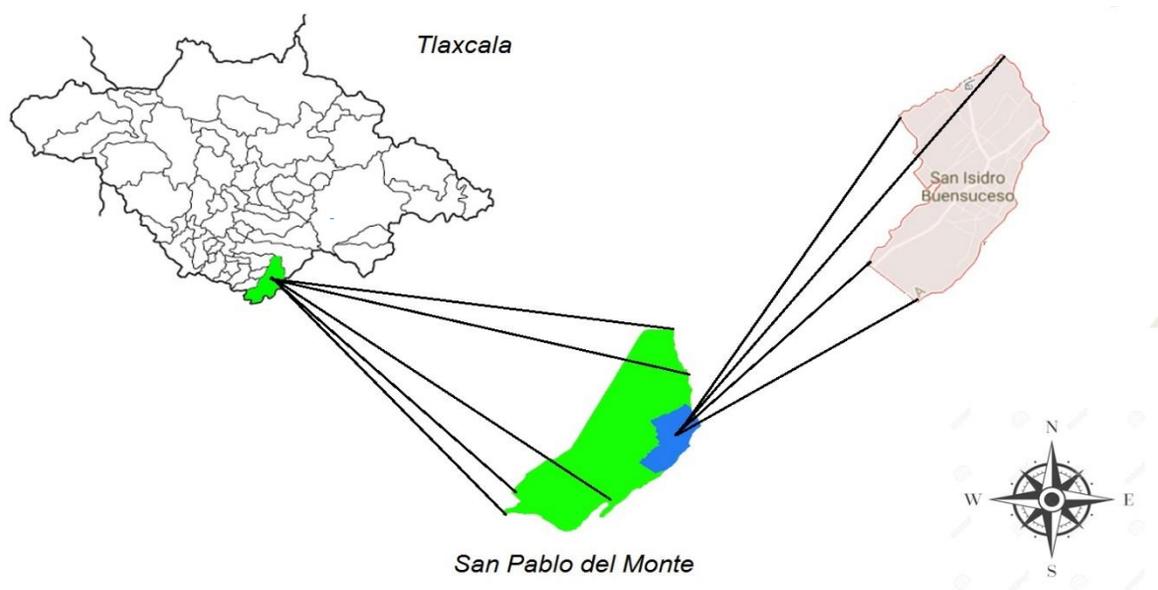
## **5 HIPÓTESIS**

La producción de carbón vegetal genera un cambio en la estructura de la comunidad vegetal, un incremento en el pH, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, bases intercambiables, nitrógeno, fósforo, contenido de arcilla en el suelo donde se establecen los hornos y una disminución en la densidad aparente y actividad microbiana.

## 6 METODOLOGÍA

### 6.1 Localización del área de estudio

El área de estudio se encuentra en el municipio de San Pablo del Monte, el cual se sitúa entre las coordenadas 19° 06' y 19° 13' N y 98° 06' y 98°12' O, a una altitud entre 2 200 y 2 700 msnm, forma parte del Parque Nacional La Malinche en el estado de Tlaxcala, México. El municipio limita al norte con los municipios de Tenancingo, Papalotla de Xicohténcatl, Mazatecochco de José María Morelos, Acuamanala de Miguel Hidalgo y Teolochochco; al este con el municipio de Teolochochco y el estado de Puebla; al sur con el estado de Puebla; al oeste con el estado de Puebla y los municipios de Tenancingo y Papalotla de Xicohténcatl. Ocupa el 1.5% de la superficie del estado de Tlaxcala; su temperatura media es de 12 a 16 °C, su precipitación pluvial va de 800 a 1 000 mm, su clima es templado subhúmedo con lluvias en verano; los tipos de suelos son el Luvisol (34%), Arenosol (29%), Cambisol (4%) y Regosol (1%); el uso del suelo es pastizal (54%), zona urbana (32%), bosque (12%) y agrícola (2%) (INEGI, 2009) (Figura 1).



**Figura 1.** Ubicación del área de estudio (Barrio San Isidro Buensuceso, municipio de San Pablo del Monte, Tlaxcala).

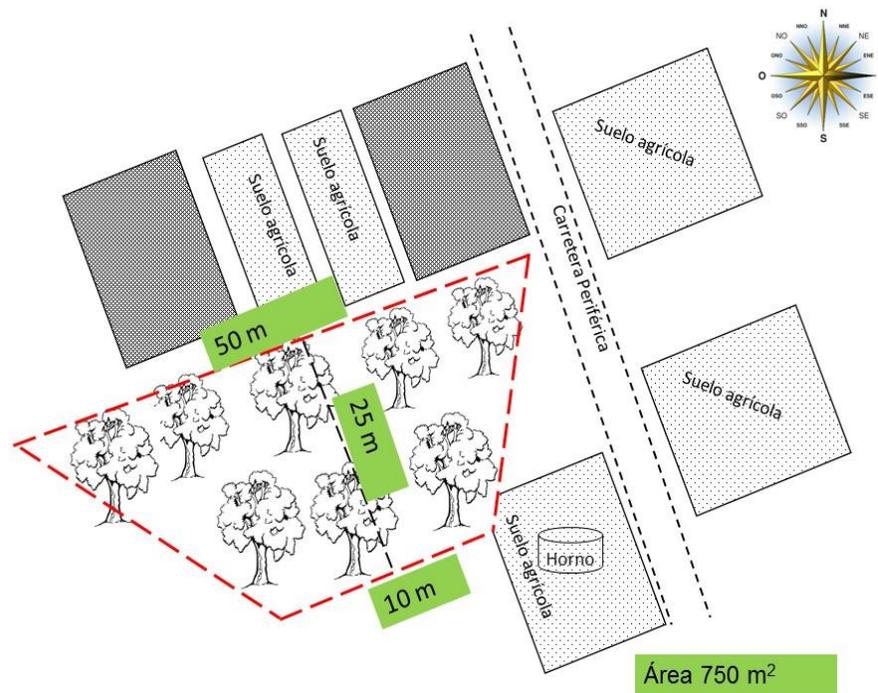
El área de estudio se ubicó en el predio “Huey Rastrojo” en respuesta a la solicitud de permiso para derribo de árboles de la C. María Luciana Josefa Rojas Arce del barrio San Isidro Buensuceso, con fecha 26 de junio de 2015 y al oficio N° F.OO.6.DRCEN-0895/2015 emitido por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas de fecha 21 de julio de 2015, avalado por el Lic. Ramiro Vivanco Chedraui, Delegado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), mediante el que se emiten los lineamientos para el aprovechamiento de 15 árboles del género *Quercus* para realizar este proyecto de investigación (Anexo 2). El predio se localiza en el Barrio de San Isidro Buensuceso en las coordenadas geográficas 19°10'45.8" N y 98°06'42.7" O (Figura 2).



**Figura 2.** Predio “Huey Rastrojo”, en el Barrio San Isidro Buensuceso, San Pablo del Monte, Tlaxcala.

## 6.2 Determinación de la estructura arbórea

Se realizó un recorrido dentro del predio “Huey rastrojo”. Se delimitó un área de 750 m<sup>2</sup> (Figura 3) para la recolección de estructuras morfológicas (hojas) de encino, se hizo el montaje en una prensa botánica para su secado y posteriormente fueron identificadas con el apoyo de las claves taxonómicas de especies del género *Quercus* del estado de Tlaxcala, publicadas por Santacruz y Espejel (2004).



**Figura 3.** Área de 750 m<sup>2</sup> trazada dentro del predio “Huey Rastrojo”.

Dentro del área delimitada se contabilizaron un total de 137 árboles, a los cuales se les midió el diámetro a la altura del pecho, esto es a 1.3 m con cinta diamétrica (cinta graduada especialmente para medir de manera directa el diámetro de objetos circulares) y la altura total de los árboles se realizó con pistola haga, para tomar esta medida me ubiqué aproximadamente a una distancia entre 15 y 20 m de la base del

árbol de manera que pudiese ver el ápice, observé un punto en el árbol de tal forma que la pistola quedara colocada horizontalmente, en este punto la aguja debe quedar en cero, ya ubicado el punto aflojé la aguja indicadora y subí la pistola hasta ver el ápice del árbol, presioné el botón obturador y la aguja quedó fija, tomé la lectura y posteriormente en el punto inicial en cero coloqué nuevamente la pistola y bajé hasta el ras del suelo, la medida obtenida la sume a la primera con lo que obtuve la altura total (López, 2008).

### **6.3 Densidad básica de la madera de encinos**

Al término de la medición de diámetro y altura de los árboles, se eligieron 30 de ellos al azar y se les extrajo una muestra de viruta con un taladro Pressler de 0.5 mm de diámetro marca Sunnto, las muestras se colocaron en contenedores plásticos y se etiquetaron adecuadamente para su transporte al Laboratorio de Fertilidad de Suelos del Centro de Investigación en Genética y Ambiente (CIGyA). Cada viruta se colocó en una bolsa de plástico perforada, la bolsa se sumergió en agua en un recipiente de 40 L, para alcanzar el punto de saturación (Zamora, 2012).

Cada tercer día se pesó la viruta y por semana se hizo un recambio de agua. Una vez obtenido el punto de saturación (a los 14 días), se colocó la viruta en papel toalla para eliminar el exceso de humedad y se procedió a su pesado en balanza analítica marca Chyo modelo JL-180 con aproximación a diezmilésimos de gramo, se registraron los valores de peso. Después se acomodaron en una charola de papel aluminio para introducirla al horno de secado a  $100 \pm 5$  °C por 15 días.

Al término, las virutas se pesaron nuevamente en balanza analítica, siendo manipulada la muestra con pinzas. Una vez que se obtuvo el peso de cada viruta, se determinó la densidad básica de la madera con base en la fórmula del máximo contenido de humedad de Smith (1956).

$$D_m = 1 \frac{1}{\frac{p_s - p_a}{p_a} + \frac{1}{1.53}}$$

Donde:

$D_m$  = Densidad básica de la madera ( $\text{g cm}^{-3}$ )

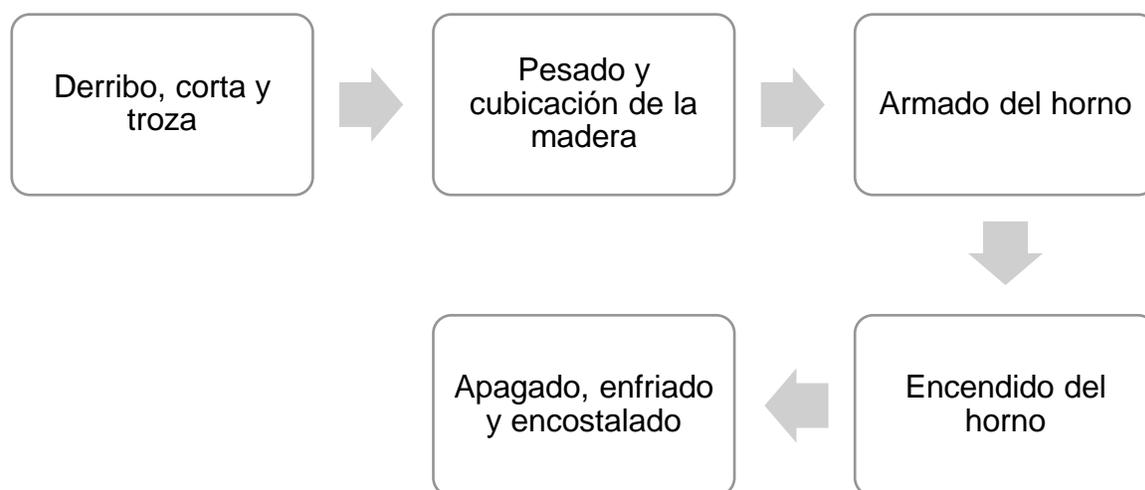
$P_s$  = Peso saturado (g)

$P_a$  = Peso seco (g)

1.53 = Constante de la gravedad específica de la madera

#### 6.4 Transformación de madera de encino a carbón vegetal

Mediante el oficio con clave SEMARNAT DFT/R/1865/2015 se derribaron 14 árboles, de los 15 que se autorizaron para el derribo, debido a que con los 14 árboles se cubrió la cantidad de madera requerida para obtener una tonelada de carbón vegetal y no fue necesario derribar los 15 (Anexo 2), en el predio Huey Rastrojo de San Pablo de Monte, Tlaxcala, de acuerdo a la descripción de Flores *et al.* (2008). Para poder realizar la descripción del proceso fue necesario estar presente in situ, a partir del derribo hasta el pesado y encostalado. (Figura 4).



**Figura 4.** Pasos de la transformación de madera de encino a carbón vegetal.

## **6.5 Muestreo de suelo**

El muestreo del suelo al pie de los encinos fue al azar en cuatro puntos alrededor del árbol a una profundidad de 0-30 cm y de 1 kg por muestra (Mollinedo *et al.*, 2005). Para el muestreo de suelo previo a colocar los hornos se realizó la limpieza del lugar y se recolectaron cinco muestras de suelo a una profundidad de 0-30 cm y 1 kg cada una. Una vez que se concluyó el proceso para obtener el carbón vegetal se realizaron dos muestreos más a los 150 y 300 días. El muestreo en los tres casos fue sistemático (NMX-AA-132-SCFI-2006) los puntos fueron equidistantes entre sí a fin de brindar total cobertura del área del horno (28.30 m<sup>2</sup>). Enseguida se introdujeron en bolsas plásticas, se etiquetaron y trasladaron al laboratorio para su preparación de acuerdo en la NOM-021-SEMARNAT-2000 (DOF, 2002).

En el laboratorio, cada muestra se colocó sobre papel kraft para su secado a temperatura ambiente y a la sombra durante 24 h, se pasó por un tamiz de 2 mm para obtener un tamaño de partícula homogéneo y posteriormente realizar las determinaciones correspondientes.

### **6.5.1 Propiedades físicas**

#### **6.5.1.1 Textura**

Se empleó el método del hidrómetro de Boyoucos que establece la NOM-021-SEMARNAT-2000 (DOF, 2002). Se pesaron 50 g de suelo, el cual se colocó en un vaso de dispersión, agregando 250 mL de agua desmineralizada y 5 mL de la solución defloculante de hexametáfosfato de sodio; la mezcla se agitó por 6 minutos en un agitador Hamilton Beach modelo 6011, transcurrido el tiempo se vació a una probeta de 1000 mL enjuagando el vaso con ayuda de una pizeta. Se agregó agua desmineralizada hasta 700 mL y se introdujo el hidrómetro, se agregó agua hasta 1000 mL y posteriormente se colocaron 130 mL, se retiró el hidrómetro, se tapó la probeta y agitó manualmente por 40 s, se colocó la probeta en una base

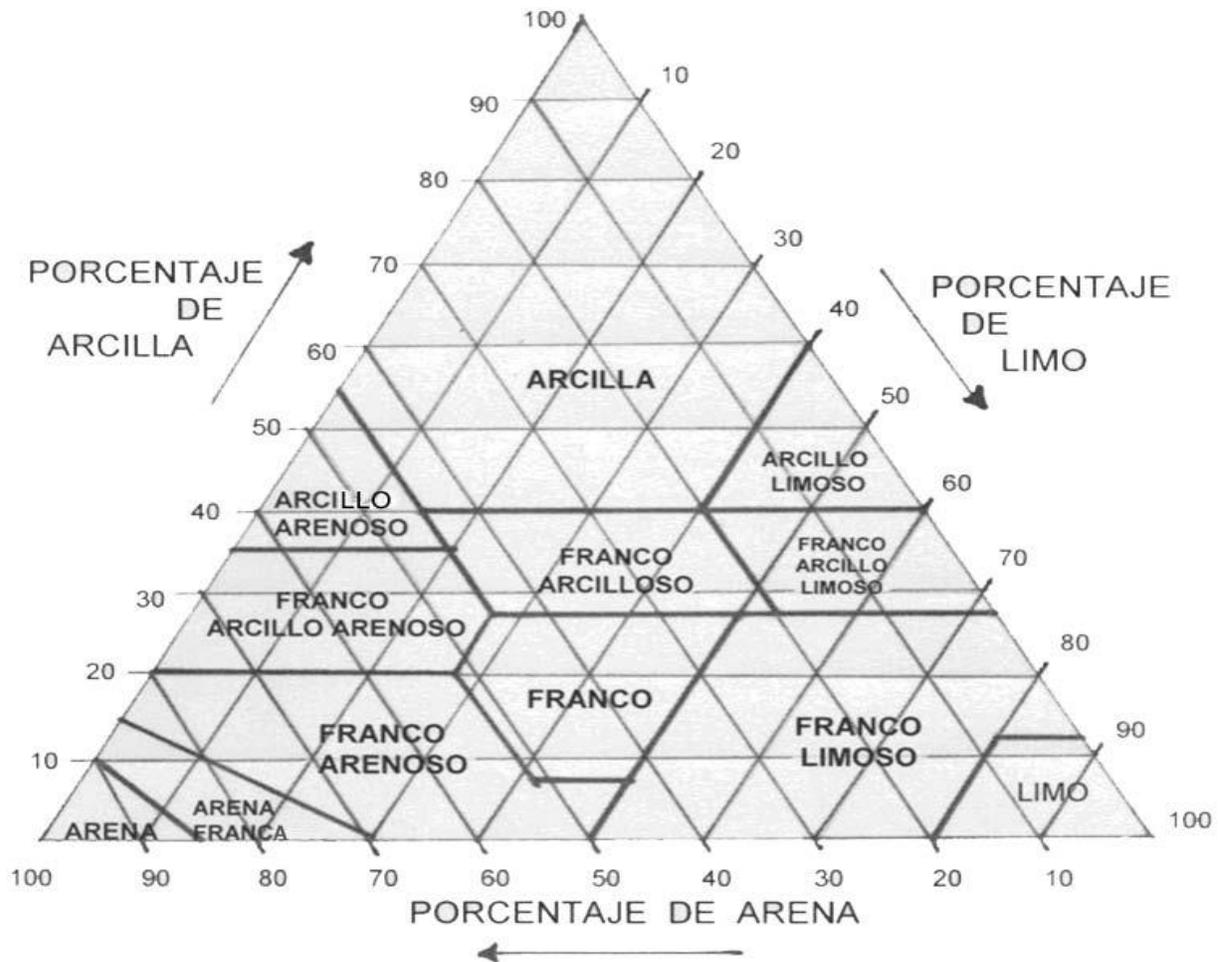
fija y se tomó la lectura con el hidrómetro y al mismo tiempo la temperatura con el termómetro, se dejó reposar durante 2 h y se tomó la segunda lectura para después calcular el porcentaje de arena, limo y arcilla. Para realizar los cálculos de textura se corrigieron las lecturas del hidrómetro a través de las siguientes fórmulas (Rodríguez y Rodríguez, 2002).

$$\% \text{ de arena total} = \frac{\text{lectura a los 40s} \times 100}{\text{g de suelo seco}}$$

$$\% \text{ de arcilla total} = \frac{\text{lectura a los 2h} \times 100}{\text{g de suelo seco}}$$

$$\% \text{ de limo} = \frac{\text{lectura a los 40s} - \text{lectura a las 2h} \times 100}{\text{g de suelo seco}}$$

Con los porcentajes de arena, arcilla y limo se determinó la clase textural empleando el triángulo de texturas.



**Figura 5.** Triángulo de texturas USDA (SSDS, 1993).

### 6.5.1.2 Densidad aparente

Para determinar esta variable se empleó el método de la probeta que establece la NMX-FF-109-SCFI-2008 (DOF, 2008). Se pesaron 50 g de suelo para ser colocados en charolas de aluminio de 100 g. Se procedió a secar en un horno de secado por 24 h a  $70 \pm 5$  °C, al término se depositaron en un desecador hasta enfriarse. El suelo se colocó en una probeta de 100 mL, previo se obtuvo el peso de la probeta. Se tapó la probeta con la mano y se procedió a realizar 20 golpes de manera vertical a una altura de 10 cm en una superficie plana cubierta con una franela para no dañar la probeta. Al final se obtuvo el peso de la probeta con el suelo y se registró el volumen que ocupó el suelo.

$$Da = \frac{P}{V}$$

Donde:

Da = densidad aparente en g cm<sup>-3</sup>

P = peso de la muestra de suelo, menos el peso de la probeta (g)

V = volumen ocupado del suelo en la probeta (mL)

## **6.5.2 Propiedades químicas**

### **6.5.2.1 pH**

Se colocaron 10 g de suelo en un frasco de vidrio de 100 mL, se adicionaron 20 mL de agua desmineralizada, lo que da una relación suelo:agua, 1:2 (p/v). Se agitó manualmente durante 1 minuto y se dejó reposar por 10 min. La operación se repitió 2 veces. Se agitó perfectamente la suspensión del suelo antes de efectuar la lectura de pH. Se calibró el equipo con las soluciones amortiguadoras 4 y 7 (Álvarez y Marín, 2011).

### **6.5.2.2 Conductividad eléctrica**

Se colocaron 50 g de suelo en vasos de plástico de 750 mL, se añadieron 250 mL de agua desmineralizada, se agitó la suspensión de manera manual y se dejó reposar por 24 h. Se midió la conductividad eléctrica del sobrenadante con un conductímetro. Se enjuagó la celda tres veces con agua desmineralizada para que no quedaran residuos. Previamente se calibró el conductímetro, no hubo necesidad de realizar transformación de unidades puesto que las lecturas se dan en dS m<sup>-1</sup> (Álvarez y Marín, 2011).

### **6.5.2.3 Materia orgánica, carbono orgánico y nitrógeno orgánico**

La determinación de la materia orgánica se realizó a través del método de Walkey y Black (Jackson, 1976). Se pesaron 0.0625 g de suelo y se colocaron en matraces

Erlenmeyer de 500 mL, al mismo tiempo se procesó un blanco, se adicionaron 1.25 mL de dicromato de potasio 1 N con pipeta volumétrica, cuidadosamente se giró el matraz para que la muestra entrara en contacto con el dicromato, se agregaron 2.5 mL de ácido sulfúrico concentrado, se agitó cuidadosamente por un minuto y dejó reposar durante 30 min, transcurrido el tiempo se añadieron 25 mL de agua desmineralizada, 1.25 mL de ácido fosfórico concentrado y 3 gotas del indicador de difenilamina, finalmente se tituló con sulfato ferroso hasta virar a verde claro.

Para realizar el cálculo del porcentaje de materia orgánica, primero se calculó el porcentaje de carbono orgánico con la siguiente fórmula.

$$\%C \text{ Orgánico} = \left( \frac{B - T}{G} \right) (N) (MCF)$$

Donde:

B = Vol. de sulfato ferroso gastado para valorar el blanco de reactivos

T = Vol. de sulfato ferroso gastado para valorar la muestra de suelo

N = Normalidad exacta del sulfato ferroso

G = Peso de suelo

MCF = Factor de corrección de humedad

Una vez calculado el porcentaje de carbono se calculó el de materia orgánica, empleando la siguiente fórmula

$$\% \text{ materia orgánica} = \% \text{ C orgánico} \times 1.724$$

Donde sí se cuenta con el % de materia orgánica y se requiere obtener el % de carbono orgánico se despeja de la fórmula anterior, quedando como se indica a continuación:

$$\% \text{ carbono orgánico} = \% \text{ materia orgánica} / 1.724$$

En cuanto al nitrógeno orgánico, se obtuvo a partir de la siguiente ecuación que propone Gros y Domínguez (1992).

$$\% \text{ Nitrógeno orgánico} = \% \text{ materia orgánica} \times 5 / 100$$

Donde:

5 = contenido de nitrógeno en la materia orgánica (%)

#### **6.5.2.4 Fósforo extractable**

Para la determinación de fósforo (P) en el suelo se utilizó la técnica de Bray y Kurtz (1945).

Solución extractora. Se mezclaron 30 mL de una solución de fluoruro de amonio 1 N con 50 mL de solución de ácido clorhídrico 0.5 N y diluir a 1 L con agua desmineralizada.

Solución reductora con ácido ascórbico. Se disolvió 0.50 g de ácido ascórbico con solución de molibdato de amonio y se aforó a 100 mL con la misma solución.

Se pesaron 2.5 g de suelo seco y se colocaron en un tubo de polietileno de 50 mL, se les adicionó 25 mL de solución extractora a la suspensión, se tapó y se agitó en un agitador de acción recíproca regulado a 180 oscilaciones por min por 5 min, el extracto se filtró a través de papel filtro, se tomó una alícuota de 10 mL del extracto y se colocó en un matraz aforado de 50 mL, al que se le adicionó 30 mL de agua destilada y se agregó 5 mL de solución reductora, se agitó y se aforó dejándola reposar por 30 min, se leyó la intensidad de la absorción a 882 nm en un espectrofotómetro marca Milton Roy. Se prepararon blancos siguiendo el mismo procedimiento. Así como una curva de calibración (Anexo 4).

Para realizar los cálculos se utilizó la siguiente fórmula:

$$P \text{ (mg/kg de suelo)} = \frac{CC \times Vf}{A \times \frac{V}{P}}$$

Donde:

CC= mg L<sup>-1</sup> de P en la solución. Se obtiene graficando la curva de calibración (absorbancia contra mg L<sup>-1</sup>) e interpolando los valores de absorbancia de las muestras analizadas a las cuales previamente se les ha restado el valor promedio de los blancos

Vf = volumen final de la solución colorimétrica, mL

A = alícuota del extracto usado colorimetría, mL

Vi = volumen de la solución empleada para hacer el extracto, mL

P = peso de la muestra seca (g)

#### 6.5.2.5 Capacidad de intercambio catiónico y bases intercambiables

Se pesaron 2 g de suelo, se colocó en matraz Erlenmeyer de 250 mL y agregaron 25 mL de acetato de amonio, se dejó reposar por 20 h aproximadamente. Se colocó un embudo Buchner sobre un matraz Kitasato, se colocó un papel filtro Whatman, se conectó la bomba de vacío y filtró. El filtrado que contiene los distintos cationes se analizó por la técnica de absorción atómica, determinándose en Cmol(+) kg<sup>-1</sup> la cantidad de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> y K<sup>+</sup> presentes. El suelo que quedó en el embudo se lavó con etanol al 95%, después se lavó con potasio acidulado (75 mL). Lo que se obtuvo (filtrado) se aforó a 100 mL con agua destilada. Posteriormente se tomó una alícuota de 10 mL y se colocó en un matraz Kjeldhal de 100 mL. Se le agregaron 4 mL de NaOH, 10 gotas de fenolftaleína y se colocó en el destilador Kjeldhal. El destilado se recogió en un matraz Erlenmeyer al que se le adicionaron 20 mL de ácido bórico al 2%, se colocó bajo el condensador y al término se tituló con el destilado (50 mL) con ácido sulfúrico 0.01 N. Los cálculos se realizaron de acuerdo a la NOM-021-SEMARNAT-2000 (DOF, 2002).

$$CIC = N \times T \times V \times 100/10 \times D$$

Donde:

N = normalidad del ácido sulfúrico utilizado para la titulación  
T = volumen gastado en mililitros del ácido sulfúrico valorado  
V = volumen total en mL de la solución final que contiene los iones amonio (100 mL)  
D = peso de suelo seco en gramos  
10 = alícuota

#### **6.5.2.6 Porcentaje de saturación de bases**

En relación a las bases intercambiables en las diferentes muestras de suelo se determinó el porcentaje de saturación de bases, con base en la NOM-021-SEMARNAT-2000 (DOF, 2002). La capacidad de intercambio catiónico, de bases intercambiables y porcentaje de saturación de bases fueron analizadas en el Laboratorio de Edafología del Instituto de Investigaciones en Ciencias Agrícolas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

El porcentaje de saturación se determinó de acuerdo a Rodríguez y Rodríguez (2002).

$$\% SB = \frac{(Ca + Mg + K + Na) \times 100}{\text{Capacidad de Intercambio Catiónico}}$$

#### **6.5.3 Actividad microbiana**

Se siguió el procedimiento descrito por Zagal *et al.* (2002) para el proceso de incubación se utilizaron muestras de 50 g de suelo, las que fueron condicionadas previamente a capacidad de campo, después se colocaron en frascos de vidrio de 200 mL. En cada uno se colocó un vial con 3 mL de solución 0.5 M de hidróxido de sodio (NaOH) para absorber el CO<sub>2</sub> desprendido por los microorganismos y otro con agua desmineralizada para mantener la atmósfera húmeda. Cada frasco se selló herméticamente con plástico adherible para ser llevados a la estufa de cultivo Ecoline 500 de marca Terlab y mantenidos a 22 °C, se realizaron mediciones de la cantidad de CO<sub>2</sub> capturado en el vial con NaOH mediante titulación con HCl 0.5 N,

cada tercer día por 30 días, se reemplazó la respectiva trampa de CO<sub>2</sub> por una nueva en cada ocasión.

Para la titulación se colocó el NaOH del vial en un matraz Erlenmeyer, se le adicionaron 2 mL de BaCl<sub>2</sub> al 2% para precipitar el C inorgánico como BaCO<sub>3</sub> insoluble. Se adicionaron 2 gotas de fenolftaleína como indicador ácido base y se tituló con HCl 0.5 N (Ianotti *et al.*, 1994). A la par con la primera titulación se realizó una titulación en blanco (testigo) de 2 mL de NaOH 0.5 N, el cual nos proporcionó el valor de referencia.

El CO<sub>2</sub> se calculó de acuerdo con la fórmula que establece Anderson (1982).

$$\text{Mg de CO}_2 = (C - V) N \times E$$

Donde:

C = mL de HCl gastados para neutralizar el NaOH del testigo.

V = mL de HCl gastados para neutralizar el NaOH de los diferentes muestreos.

N = Normalidad del HCl 0.5 N.

E = Peso equivalente de CO<sub>2</sub> = 22

## 6.6 Análisis de datos

En cuanto a la estructura arbórea se determinaron las especies y de éstas se tomaron datos de altura y diámetro de cada especie de *Quercus* identificada en el área de estudio, con esta información se agruparon los datos en clases de altura y diamétricas, una vez agrupadas se graficó la información para realizar las comparaciones entre las especies. Respecto a la densidad de la madera se hizo la clasificación de la dureza tomando como referencia a Fuentes-Salinas (1995).

Se realizó un análisis descriptivo de las propiedades edáficas bajo encinos y a través del coeficiente de Pearson se evaluó el grado de asociación entre las variables edáficas bajo cada encino muestreado y el valor de la densidad básica de la madera.

Se llevó a cabo un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias por el método de Tukey ( $p < 0.05$ ) para las variables físicas y químicas de suelo de los hornos, para conocer si existen diferencias significativas entre hornos por tiempo. Se empleó el software Info Stat versión 8 (Di Rienzo *et al.*, 2008).

El modelo lineal fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + H_i + T_{j(i)} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

$Y_{ijk}$  = a las observaciones

$\mu$  = el efecto de la media general

$H_i$  = valor del  $i$ -ésimo horno

$T_{j(i)}$  = el  $j$ -ésimo valor del horno anidado en el  $i$ -ésimo valor del tiempo

$\varepsilon_{ijk}$  = al error estándar

En relación a los datos de CO<sub>2</sub> se realizó un análisis de varianza de medidas repetidas (multivariado), se empleó el software SAS y se aplicó el siguiente modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + H_i + R_j(H_i) + T_k + H_i * T_k + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde:

$Y_{ijkl}$  = a las observaciones

$\mu$  = el efecto de la media general

$H_i$  = al  $i$ -ésimo valor del horno

$R_j(H_i)$  = el  $j$ -ésimo valor de la respiración en el  $i$ -ésimo valor del horno

$T_k$  = el  $k$ -ésimo valor del tiempo

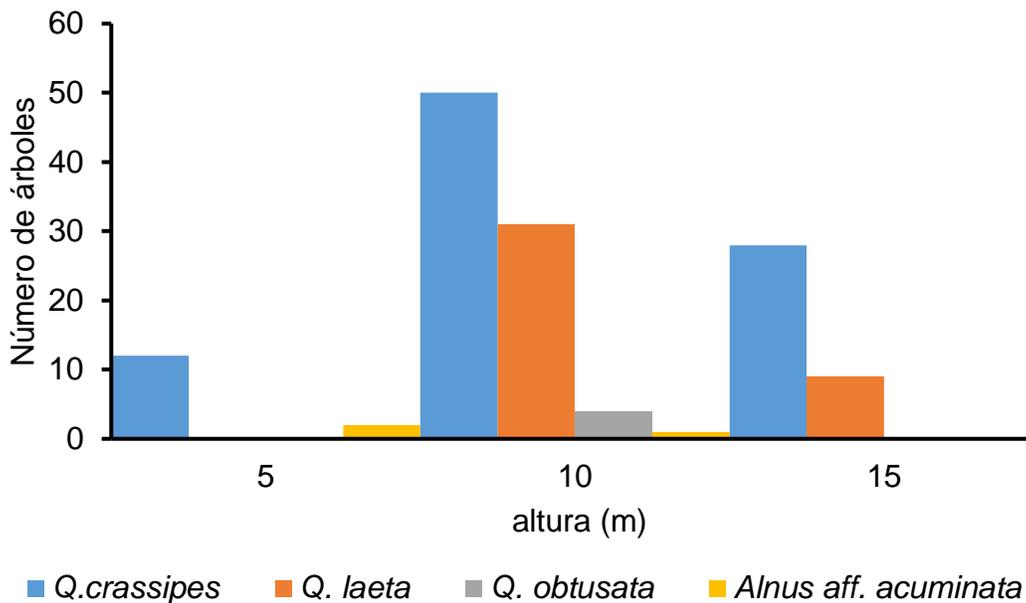
$H_i * T_k$  = Interacción del  $i$ -ésimo valor del horno con el  $k$ -ésimo valor del tiempo

$\varepsilon_{ijkl}$  = el error estándar

## 7 RESULTADOS

### 7.1 Altura y diámetro de especies

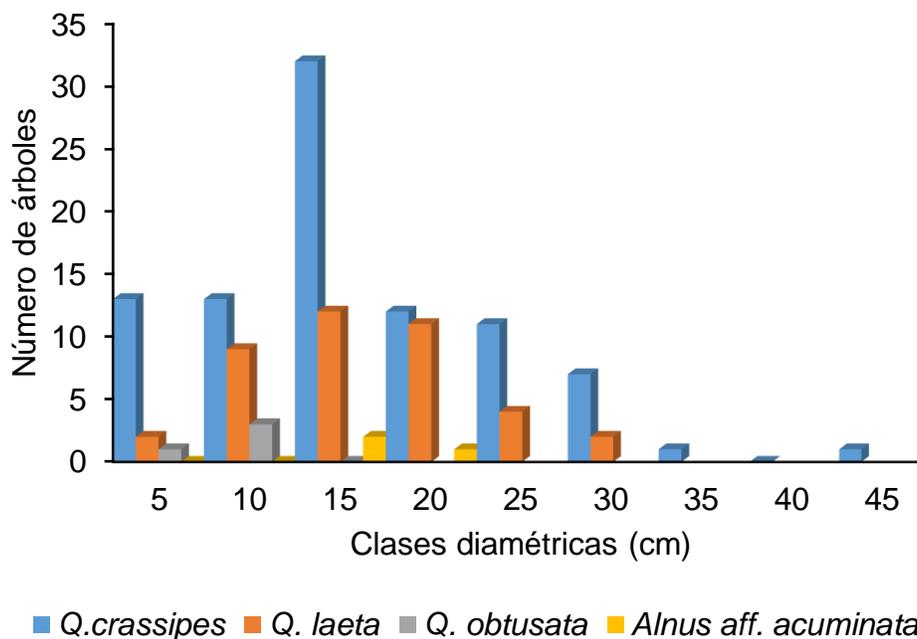
Dentro del área delimitada para el estudio (750 m<sup>2</sup>) de los 137 árboles de encino encontrados en total, el 65.7% corresponde a *Quercus crassipes*, *Quercus laeta* con el 29.2% y *Quercus obtusata* con un 2.9%. Se identificó también a *Alnus aff. acuminata* en un 2.2%. Respecto a la altura de 10 m, se tuvo a *Quercus crassipes* en un 36.4%, seguido de *Quercus laeta* con 21.9%, *Quercus obtusata* con 2.9% y *Alnus aff. acuminata* en un 1.45%, el resto están distribuidos en las alturas de 5 m y 15 m, no se encontraron individuos con alturas mayores a 15 m (Figura 6).



**Figura 6.** Altura de árboles de encino dentro del predio “Huey Rastrojo”.

En relación a las clases diamétricas el 24.08% de los árboles corresponde a *Quercus crassipes* con un diámetro de 15 cm, en los diámetros 5, 10, 20 y 25 cm, *Quercus crassipes* ocupa aproximadamente el 9.5% de individuos en cada clase

diamétrica, *Quercus laeta* tuvo individuos con diámetros 10, 15 y 20 cm, aproximadamente el 8% en cada clase diamétrica (Figura 7). Con los resultados encontrados en el área se asume que la población de *Quercus crassipes* es joven, ya que sólo el 3.6% de los árboles de esta especie presentaron un diámetro de 35 a 45 cm.



**Figura 7.** Diámetros de árboles de encino dentro del predio “Huey Rastrojo”.

## 7.2 Frecuencia y densidad de individuos

Del total de árboles que se ubican en el área seleccionada (750 m<sup>2</sup>) en el predio “Huey Rastrojo”, predominó *Quercus crassipes* con un 65.7% y presentó la mayor área basal. Dentro del predio se localizó a *Alnus aff. acuminata*, especie también empleada para la elaboración del carbón vegetal (Tabla I).

**Tabla I.** Frecuencia, densidad y área basal de las especies de *Quercus* en el predio “Huey Rastrojo”.

Especie	Frecuencia (%)	Densidad (individuos en 750 m <sup>2</sup> )	Área basal (cm <sup>2</sup> en 750 m <sup>2</sup> )
<i>Q. crassipes</i>	65.7	90	239.56
<i>Q. laeta</i>	29.2	40	100.52
<i>Q. obtusata</i>	2.9	4	3.37
<i>Alnus aff. acuminata</i>	2.2	3	6.68
TOTAL	100.0	137	350.13

### 7.3 Densidad básica de la madera

En la tabla II se presentan los promedios de la densidad básica de la madera, *Quercus obtusata* es quien tuvo un mayor valor de densidad, la cual se considera excesivamente pesada, seguido de *Q. laeta* y *Q. crassipes*. Finalmente, *Alnus aff. acuminata* es una especie que reporta una densidad moderadamente liviana.

**Tabla II.** Densidad básica de la madera (g cm<sup>-3</sup>) de las especies de *Quercus* en el área de estudio.

Especie	Mínima	Máxima	Promedio	Clasificación de la madera (Fuentes-Salinas, 1995)
<i>Q. crassipes</i>	0.46	0.68	0.59	Pesadas
<i>Q. laeta</i>	0.46	0.86	0.64	Muy pesadas
<i>Q. obtusata</i>	0.87	0.87	0.87	Excesivamente pesadas
<i>Alnus aff. acuminata</i>	0.36	0.37	0.37	Moderadamente liviana

### 7.4 Transformación de madera de encino a carbón vegetal

En el predio “Huey Rastrojo” se autorizaron 15 árboles y se derribaron 14 para ser transformados a carbón vegetal, el procedimiento fue de acuerdo a la técnica tradicional:

### **a) Derribo, corta y troza**

Una vez derribados los árboles se dejaron por ocho días en el terreno para perder humedad, pasado el tiempo se inició el troceo con el apoyo de una motosierra.

### **b) Pesado y cubicación de la madera**

Para el pesado de los trozos se utilizó una báscula mecánica de 500 kg y se anotaron los pesos. Para cubicar las fracciones grandes de madera se tomaron tres medidas de cada una: longitud y diámetros de los cabezales (D1 y D2) para lo cual se empleó la fórmula de Huber modificada (Riaño y Lizarazo, 2017).

$$v = \left( \frac{D1+D2}{2} \right)^2 \left( \frac{\pi}{4} \right) L$$

Donde:

$v$  = Volumen (m<sup>3</sup>)

$D1$  = Diámetro menor (m)

$D2$  = Diámetro mayor (m)

$L$  = Longitud (m)

$\pi$  = 3.1416

Los trozos con diámetro menor a 5 cm, se apilaron de manera ordenada para posteriormente medir largo, ancho y alto de la estiba de trozos apilados y así obtener los metros cúbicos.

### **c) Armado del horno**

Previo a colocar el horno, el sitio se limpió con el fin de eliminar los residuos de la cosecha de maíz del suelo donde se ubicaría el horno, se seleccionó un espacio plano para establecer el horno uno. Los otros dos hornos se establecieron sobre suelo sin cultivar (cubierto de pasto), las personas del lugar por experiencia propia mencionan que en donde se coloca un horno se obtendrán mayores rendimientos en las posteriores cosechas por tres años aproximadamente. Una vez limpio el lugar se procedió al armado de los hornos, el cual consistió en colocar los trozos

más grandes al centro, dejando un hueco para poder encender el horno al final del armado, se continuó poco a poco con los demás trozos hasta formar un círculo, sin obstruir el orificio de encendido.

Ya colocados los trozos grandes sobre ellos se colocaron los restantes entre gruesos y delgados, de preferencia los delgados después rodeando el horno. Las ramas del mismo árbol, previamente cortadas, fueron depositadas al final. Se cubrió totalmente el horno, pero se dejó libre el orificio de encendido y algunos otros orificios como respiraderos. Se realizó el encendido y durante 20 días se tuvo cuidado que no se apagara, transcurrido el tiempo se taparon todos los respiraderos para que en ausencia de oxígeno el fuego al interior del horno se extinguiera, se dejó por una noche y al día siguiente por la mañana se destapó el horno, se recomienda que sea al amanecer, ya que a esta hora no hay viento, lo que favorece el trabajo, conforme se destapó el horno se le agregaba agua a los carbones que aún permanecían encendidos para evitar que se quemaran completamente.

#### **d) Enfriado y encostalado**

En este último paso se dispersó el carbón vegetal, separándolo por tamaños y quitando aquel que no logró cocerse completamente (tizón), una vez que todo el carbón se extendió en forma circular nuevamente se revisó que no hubiese carbón encendido para apagarlo con agua, posterior a ello se procedió al encostalado por tamaño, se inició con los trozos más grandes, ya encostalado se obtuvo el peso de cada uno de los costales.

Los trabajos en campo en el predio “Huey Rastrojo” iniciaron el 16 de noviembre de 2015 y concluyeron el 22 de diciembre del mismo año, participaron cinco personas en todo el proceso. Para las labores finales al momento de destapar, clasificar y pesar el carbón se contó con ocho personas. Se utilizaron 12 507.7 kg de madera verde de encino que corresponde a 14 árboles de los 15 autorizados (Anexo 2). El volumen fue de 13.472 m<sup>3</sup> de madera verde, al final del proceso de

carbonización se obtuvo un total de 2 521 kg de carbón vegetal. Al realizar la transformación para una tonelada de carbón vegetal se obtuvo que se requieren 4 961.4 kg de madera de encino verde, que corresponde a 5.34 m<sup>3</sup>.

## 7.5 Propiedades físicas y químicas de los suelos bajo encinos

Los resultados de las propiedades edáficas determinadas en los suelos bajo encinos, indicaron que el pH es diferente ( $p < 0.05$ ) para las tres especies de encino y con base a la NOM-021-SEMARNAT-2000 (DOF, 2002) es clasificado como neutro. Se encontraron diferencias en el porcentaje de materia orgánica del suelo; en *Q. obtusata* se presentó un valor medio con base a la NOM-021-SEMARNAT-2000 (DOF, 2002), así mismo para las otras dos especies.

Dentro de las variables físicas, el valor de la densidad aparente es igual ( $p < 0.05$ ) en los suelos bajo las tres especies de encino; se encontró un valor cercano a 1 g cm<sup>-3</sup>. Hubo diferencias en el porcentaje de limo, siendo mayor en el suelo bajo *Q. crassipes*; y no hay diferencias entre los suelos bajo *Q. crassipes*, *Q. laeta* y *Q. obtusata* con respecto al porcentaje de arena y arcilla (Tabla III).

**Tabla III.** Propiedades edáficas bajo encinos.

Parámetro	<i>Q. crassipes</i>	<i>Q. laeta</i>	<i>Q. obtusata</i>	NOM-021
pH	6.80 ± 0.01 a*	6.70 ± 0.02 b	6.40 ± 0.03 c	6.6 - 7.3 neutro
MO (%)	6.50 ± 0.60 b	8.40 ± 1.00 a b	10.90 ± 1.69 a	6.1 a 10.9 media
DA (g cm <sup>-3</sup> )	0.95 ± 0.03 a	1.00 ± 0.04 a	0.92 ± 0.07 a	< 1.0
Arena (%)	86.20 ± 1.10 a	84.70 ± 1.70 a	82.00 ± 2.90 a	-----
Limo (%)	3.80 ± 0.20 a	2.40 ± 0.30 b	2.70 ± 0.50 ab	-----
Arcilla (%)	10.80 ± 1.10 a	12.80 ± 1.80 a	16.80 ± 3.00 a	-----
Clase textural	Arena	Arena migajosa	Arena migajosa	-----

\*Media Tukey ± DE (n = 8).  $p < 0.05$ . Medias con la misma letra por fila son estadísticamente iguales. NOM-021-SEMARNAT-2000 (DOF, 2002). MO = Materia orgánica, DA = Densidad aparente.

## 7.6 Propiedades edáficas bajo encinos y su relación con la densidad básica de la madera

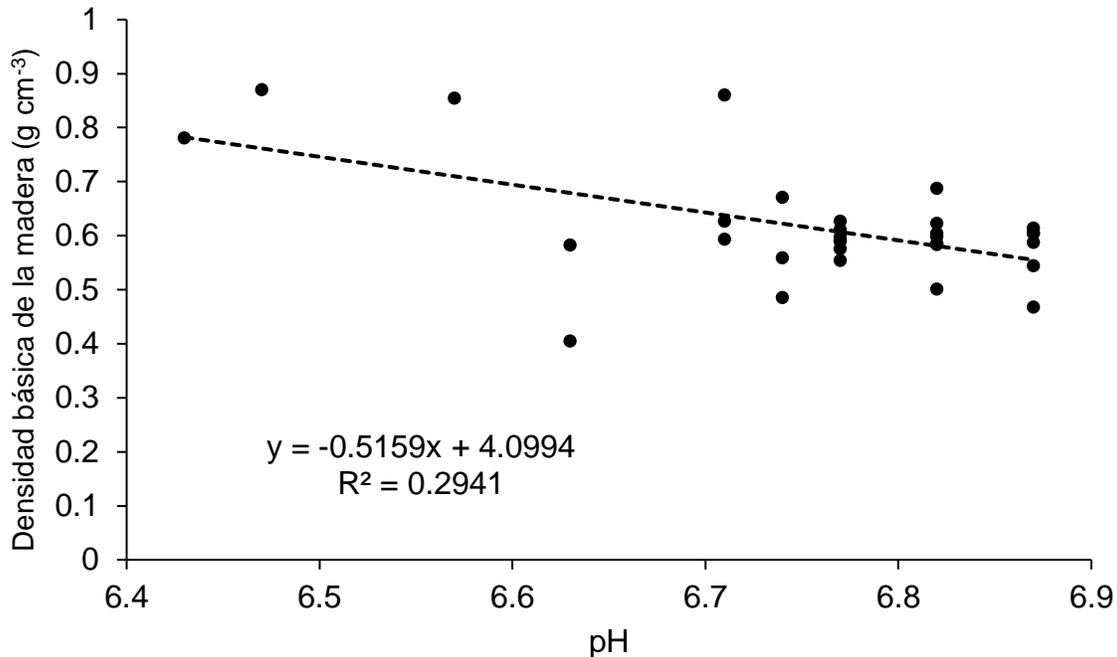
El análisis de correlación de Pearson se aplicó con las propiedades edáficas bajo encinos y con la densidad básica de la madera de las especies de *Quercus*, con un valor de ( $r = -0.67$ ) ( $p < 0.04$ ) relacionado con el pH (Tabla IV).

**Tabla IV.** Análisis de correlación entre las propiedades edáficas del entorno de encinos y la densidad básica de la madera de *Quercus*.

	pH	MO (%)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	DA (g cm <sup>-3</sup> )	DM (g cm <sup>-3</sup> )
pH	1.0	-0.63	0.50	0.49	-0.56	0.35	<b>-0.67</b>
MO (%)		1.0	-0.42	-0.25	0.36	-0.23	0.48
Arena (%)			1.0	0.27	-0.97	0.87	0.08
Limo (%)				1.0	-0.44	0.08	-0.08
Arcilla (%)					1.0	-0.86	-0.01
DA (g cm <sup>-3</sup> )						1.0	0.14
DM (g cm <sup>-3</sup> )							1.0

Correlación de Pearson. ( $p < 0.05$ ). MO = materia orgánica, DA = Densidad aparente, DM = Densidad básica de la madera.

El modelo ajustado explica el 29.41% de la variabilidad en la densidad básica de la madera. El coeficiente de correlación es igual a -0.67, lo que indica una relación débil entre las variables, y significa que a mayor pH en los suelos bajo encinos se disminuye la densidad básica de la madera (Figura 8).



**Figura 8.** Correlación entre densidad básica de la madera y pH.

## 7.7 Propiedades edáficas de los hornos

### 7.7.1 Propiedades físicas

En el horno uno no existe diferencia significativa ( $p=0.7718$ ) en la fracción arena, limo ( $p=0.3198$ ) y arcilla ( $p=0.0616$ ). En el horno dos fue significativamente mayor el porcentaje de arena al tiempo cero y arcilla a los 150 días, mientras que de limo a los 330 días. En cuanto al horno tres, sólo el porcentaje de arcilla fue mayor a los 150 días ( $p=0.0004$ ). En todos los suelos predomina la fracción arena (Tabla V).

Con respecto a la densidad aparente en el horno uno no se presentaron diferencias significativas ( $p=0.0816$ ). El horno dos a los 330 días presentó una disminución en el valor de densidad ( $1.01 \text{ g cm}^{-3}$ ) al igual que en el horno tres ( $1.09 \text{ g cm}^{-3}$ ) con respecto al inicial de  $1.24 \text{ g cm}^{-3}$ . La NOM-021 indica que para suelos volcánicos la densidad aparente debe ser menor a  $1 \text{ g cm}^{-3}$ , los valores obtenidos en los tres

hornos disminuyeron a los 150 y 330 días por el efecto de la temperatura (°C) (Tabla V).

**Tabla V.** Efecto de la temperatura en el porcentaje de arena, limo, arcilla y densidad aparente dentro de hornos.

Horno	Tiempo (días)	Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)	Densidad aparente (g cm <sup>-3</sup> )
1	0	86.60 ± 0.86 a*	3.12 ± 0.42 a	10.26 ± 1.08 a	1.24 ± 0.02 a
	150	87.03 ± 1.32 a	3.96 ± 0.42 a	9.01 ± 1.63 a	1.18 ± 0.04 a
	330	85.55 ± 1.42 a	2.30 ± 0.43 a	12.15 ± 1.72 a	1.11 ± 0.04 a
2	0	86.60 ± 0.86 a	3.12 ± 0.42 a	10.26 ± 1.08 c	1.24 ± 0.02 a
	150	81.40 ± 1.11 b	4.41 ± 0.27 a	14.19 ± 0.87 b	1.15 ± 0.04 a
	330	79.00 ± 0.37 b	1.00 ± 0.37 b	20.00 ± 0.00 a	1.01 ± 0.04 b
3	0	86.60 ± 0.86 a	3.12 ± 0.42 b	10.26 ± 1.08 a	1.24 ± 0.02 a
	150	81.74 ± 2.14 a	5.64 ± 0.08 a	12.63 ± 2.06 a	1.03 ± 0.05 b
	330	72.83 ± 6.39 a	3.25 ± 0.33 b	23.92 ± 6.26 a	1.09 ± 0.08 b

\*Prueba Tukey. Medias con diferente letra por columna por horno existe diferencia significativa (p<0.05).

### 7.7.2 Propiedades químicas

En el pH de los suelos no existieron diferencias significativas (p<0.05), no así para la conductividad eléctrica, el horno uno tuvo una p=0.0035 y el horno tres una p=0.0001. Para fósforo en los tres hornos se presentaron diferencias, el horno 1 (p=0.0001), el horno dos (p=0.0022) y el horno tres (p=0.0018) (Tabla VI).

El pH de los suelos de acuerdo con la NOM-021 se clasifica como neutro, con base en la misma norma mexicana, la conductividad eléctrica a los 150 y 330 días se tuvo un incremento de 0.10 a 0.16 con respecto al 0.04 dS m<sup>-1</sup> inicial del suelo en el horno uno; lo que indica efectos despreciables de salinidad, así mismo en el horno tres. En lo referente a la concentración de fósforo los valores se incrementaron, a los 150 y 330 días en los hornos uno y dos, se encuentran con base en la NOM-021 como altos, en el horno tres se incrementó a los 150 días y disminuyó a los 330 días, pero ambos valores se mantienen en el intervalo de alto (Tabla VI).

**Tabla VI.** Efecto de la temperatura en el pH, conductividad eléctrica y fósforo extractable dentro de hornos (a diferentes tiempos).

Horno	Tiempo (días)	pH	Conductividad eléctrica (dS m <sup>-1</sup> )	Fósforo extractable (mg kg <sup>-1</sup> )
1	0	6.75 ± 0.04a*	0.04 ± 2.6x10 <sup>-3</sup> b	31.4 ± 8.47 b
	150	6.80 ± 0.05a	0.16 ± 0.04 a	132.8 ± 6.01 a
	330	6.82 ± 0.04a	0.10 ± 0.02 a	120.6 ± 2.57 a
2	0	6.75 ± 0.04a	0.04 ± 2.6x10 <sup>-3</sup> a	31.4 ± 8.47 b
	150	6.79 ± 0.01a	0.10 ± 0.01 a	94.6 ± 4.01 a
	330	6.78 ± 0.02a	0.10 ± 0.03 a	96.2 ± 4.39 a
3	0	6.75 ± 0.04a	0.04 ± 2.6x10 <sup>-3</sup> b	31.4 ± 8.47 b
	150	6.72 ± 0.02a	0.10 ± 2.5x10 <sup>-3</sup> a	110.2 ± 7.31 a
	330	6.76 ± 0.02a	0.13 ± 0.02 a	91.6 ± 4.37 a

\*Prueba Tukey. Medias con diferente letra por columna por horno existe diferencia significativa (p<0.05).

En la tabla VII la concentración de la materia orgánica, de carbono y de nitrógeno orgánico presentaron diferencias (p<0.05). A los 150 días se tuvo un incremento importante en el valor de materia orgánica por el efecto de la temperatura del proceso de carbonización, los valores fueron muy altos (>16.1%) según lo establece la NOM-021 para el horno uno y dos; el horno tres (11-16%) es considerado como alto. Así mismo, el porcentaje de carbono y nitrógeno orgánico. A los 330 días se presentó una disminución, el horno dos tuvo un valor alto, mientras que el horno uno y dos presentaron un porcentaje medio (6.1-10.9%).

**Tabla VII.** Efecto de la temperatura en la materia orgánica, carbono y nitrógeno orgánico dentro de hornos (a diferentes tiempos).

Horno	Tiempo (días)	Materia orgánica (%)	Carbono orgánico (%)	Nitrógeno orgánico (%)
1	0	3.75 ± 0.21 c*	2.18 ± 0.12 c	0.18 ± 0.01 c
	150	18.81 ± 1.22 a	10.91 ± 0.71 a	0.94 ± 0.06 a
	330	7.82 ± 1.42 b	4.54 ± 0.82 b	0.39 ± 0.07 b
2	0	3.75 ± 0.21 c	2.18 ± 0.12 c	0.18 ± 0.01 c
	150	21.64 ± 7.52 a	12.56 ± 4.36 a	1.08 ± 0.38 a
	330	12.84 ± 1.05 b	7.45 ± 0.61 b	0.64 ± 0.05 b
3	0	3.75 ± 0.21 c	2.18 ± 0.12 c	0.18 ± 0.01 c
	150	14.94 ± 6.22 a	8.67 ± 3.61 a	0.74 ± 0.31 a
	330	8.38 ± 1.81 b	4.86 ± 1.05 b	0.42 ± 0.09 b

\*Prueba Tukey. Medias con diferente letra por columna por horno existe diferencia significativa (p<0.05).

Respecto a la concentración de las bases intercambiables, el nivel de calcio en el horno uno presentó un valor de  $p < 0.0001$ , el horno dos una  $p = 0.0043$  y el horno tres una  $p = 0.0022$ . De acuerdo con la NOM-021 la concentración de calcio se considera media ( $5 - 10 \text{ Cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ ) en el horno uno a los 150 días y a los 330 días en los hornos uno y tres; alta ( $> 10 \text{ Cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ ) en el horno dos a los 330 días. Una concentración de 2 a  $5 \text{ Cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$  es baja y se presentó a los 150 días en los hornos dos y tres. La concentración de magnesio presentó una  $p = 0.0001$  en el horno uno, una  $p = 0.0054$  para el horno dos y una  $p = 0.0038$  en el horno tres. A los 330 días con respecto al  $1.55 \text{ Cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$  inicial y de acuerdo a la NOM-021 el valor fue de medio ( $1.3$  a  $3.0 \text{ Cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ ) a alto ( $> 3 \text{ Cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ ). La concentración de sodio se incrementó a los 150 días en los hornos uno, dos y tres. El horno uno no presentó diferencia ( $p = 0.0973$ ). El potasio en el horno uno presentó un valor de  $p < 0.0001$ , en el horno dos una  $p = 0.0033$  y el horno tres una  $p < 0.0001$ , con base a la normatividad mexicana los valores fueron altos (mayor a  $0.6 \text{ Cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ ) a los 330 días (Tabla VIII).

La capacidad de intercambio catiónico las diferencias fueron significativas ( $p = 0.0004$ ,  $p < 0.0001$ ,  $p = 0.0055$ , para los hornos uno, dos y tres, respectivamente). Con base a la NOM-021 la concentración es media ( $15$  a  $25 \text{ Cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ ) en el horno uno a los 150 días y a los 330 días en los tres hornos; mientras que fue baja ( $5$  a  $15 \text{ Cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ ) a los 150 días en los hornos dos y tres, así como al tiempo cero. Por último, al realizar el cálculo del porcentaje de saturación de bases, en los tres hornos no se presentó una diferencia significativa ( $p = 0.1058$ ) con respecto al tiempo; con base en la clasificación que reporta Cottenie (1980) se encuentran entre una clase media y alta (Tabla VIII).

**Tabla VIII.** Efecto de la temperatura en las bases intercambiables, la capacidad de intercambio catiónico (Cmol(+) kg<sup>-1</sup>) y la saturación de bases (%), dentro de hornos a diferente tiempo (días).

Horno	Tiempo	Ca	Mg	Na	K	CIC	SB
1	0	4.60 ± 0.12 c*	1.55 ± 0.13 c	0.28 ± 0.03 a	0.38 ± 0.03 c	8.60 ± 0.14 c	79.10 ± 1.95 a
	150	5.98 ± 0.06 b	2.05 ± 0.10 b	0.38 ± 0.03 a	0.68 ± 0.09 b	17.88 ± 0.32 b	50.83 ± 1.75 a
	330	9.20 ± 0.04 a	2.80 ± 0.04 a	0.30 ± 0.04 a	1.10 ± 0.04 a	18.65 ± 0.06 a	71.88 ± 0.31 a
2	0	4.60 ± 0.12 b	1.55 ± 0.13 b	0.28 ± 0.03 b	0.38 ± 0.03 b	8.60 ± 0.14 c	79.10 ± 1.95 a
	150	4.58 ± 0.14 b	1.53 ± 0.15 b	0.43 ± 0.03 a	1.33 ± 0.08 a	13.55 ± 0.28 b	57.95 ± 1.90 a
	330	11.33 ± 0.05 a	4.40 ± 0.04 a	0.30 ± 0.04 b	1.40 ± 0.04 a	17.70 ± 0.09 a	98.83 ± 0.04 a
3	0	4.60 ± 0.12 b	1.55 ± 0.13 b	0.28 ± 0.03 b	0.38 ± 0.03 c	8.60 ± 0.14 b	79.10 ± 1.95 a
	150	4.40 ± 0.14 b	3.10 ± 0.13 a	0.40 ± 0.00 a	0.48 ± 0.01 b	8.68 ± 0.15 b	96.63 ± 1.27 a
	330	9.13 ± 0.05 a	3.25 ± 0.06 a	0.30 ± 0.04 b	1.15 ± 0.06 a	19.53 ± 0.05 a	70.78 ± 0.60 a

\*Prueba Tukey. Medias con diferente letra por columna por horno existe diferencia significativa (p<0.05). Ca = Calcio, Mg = Magnesio, Na = Sodio, K = Potasio, CIC = capacidad de intercambio catiónico, SB = saturación de bases.

## 7.8 Actividad microbiana

El suelo del horno uno tuvo una mayor actividad con 163 mg CO<sub>2</sub>/kg suelo diferente (p<0.0001) a la de los hornos dos y tres (Tabla IX).

**Tabla IX.** Actividad microbiana (mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> de suelo) entre suelos de hornos.

Horno	mg CO <sub>2</sub> / kg suelo
1	163.0 ± 0.53 a*
2	89.6 ± 0.53 b
3	111.4 ± 0.53 b

\*Medias con la misma letra son estadísticamente iguales.  
Prueba Tukey (p≤0.05).

En la tabla X se presentan los resultados de la respiración microbiana por cada uno de los suelos en donde se establecieron los hornos. En el suelo del horno uno se presentó una p<0.0001, en el horno dos una p=0.0001 y en el horno tres una p=0.0904. A los 150 días se tuvo un incremento significativo 235.6 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup>, respecto al tiempo cero en el horno uno y a los 330 días disminuyó la actividad microbiana. En el horno dos a los 150 días se presentó un decremento y a los 330 días un aumento.

**Tabla X.** Actividad microbiana ( $\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1}$  de suelo) dentro de suelos de hornos.

Días	$\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1}$ suelo		
	Horno 1	Horno 2	Horno 3
0	$91.0 \pm 0.76 \text{ c}^*$	$91.0 \pm 0.60 \text{ b}$	$91.0 \pm 0.80 \text{ a}$
150	$235.6 \pm 0.76 \text{ a}$	$47.4 \pm 0.60 \text{ b}$	$102.8 \pm 0.80 \text{ a}$
330	$162.4 \pm 0.76 \text{ b}$	$130.4 \pm 0.60 \text{ a}$	$140.4 \pm 0.80 \text{ a}$

\*Medias con diferente letra por columna por horno existe diferencia significativa.  
Prueba Tukey. ( $p \geq 0.05$ ).

## 8 DISCUSIÓN

### 8.1 Estructura arbórea y densidad básica de la madera

La estructura arbórea del área de estudio se conformó por tres especies de encino (*Quercus crassipes*, *Q. laeta*, *Q. obtusata*) y *Alnus* aff. *acuminata*, se observó que la mayoría de los árboles encontrados son producto de una regeneración vegetativa, que conlleva a que no exista variabilidad genética. La mayoría presentó una altura dentro de la categoría de 10 m y un diámetro en el intervalo de 10 a 30 cm (Figuras 6 y 7).

Jiménez *et al.* (2001) establecen que a partir de un análisis de distribución horizontal de la población es posible determinar la abundancia, dominancia y frecuencia de especies. La especie más abundante en este estudio es *Q. crassipes*. Figueroa-Rangel y Olvera-Vargas (2000) encontraron en Cerro Grande, Sierra de Manantlán, Jalisco bosques dominados por *Quercus crassipes*, los cuales se establecen en etapas tempranas de la sucesión, migran a través de áreas no arboladas relativamente secas, dado que no pueden repoblarse bajo sombra densa formada por ellos mismos. Con esto podemos explicar los resultados encontrados en el presente trabajo, en los que la mayor cantidad de individuos son *Q. crassipes* quienes toleran mejor la insolación. Así mismo, Granados-Victorino *et al.* (2017) refieren a *Q. crassipes* como una especie propia de ambientes de borde, en tanto que *Q. obtusata* es propia de áreas de transición entre los bordes y el bosque maduro.

La diferencia en los diámetros, en particular de las distintas especies de encino dentro de una misma asociación florística, desempeñan una función estratégica para que individuos del mismo género puedan compartir con eficiencia los recursos disponibles en el sitio (Olvera-Vargas y Figueroa-Rangel, 2012). De las tres especies de encinos en el área correspondiente a este estudio solamente dos mantienen diámetros en el intervalo de 5 a 30 cm, así que existe la posibilidad de que *Q. crassipes* y *Q. laeta* compartan los recursos del sitio eficientemente, así

mismo no fue posible encontrar diámetros más pequeños derivados de regeneración vía sexual y esto puede atribuirse a las actividades antrópicas intensivas (agricultura) que se realizan en el lugar.

San Isidro Buensuceso presenta procesos de degradación forestal muy fuertes, hecho que se evidencia con los resultados anteriores. Las principales causas de deterioro dentro del Parque Nacional La Malinche son la tala inmoderada de árboles, los incendios, el pastoreo y el desmonte. La conservación de la biodiversidad local es uno de los objetivos de las Áreas Naturales Protegidas y su manejo debe incluir medidas que garanticen la protección de la abundancia y la variedad de especies (Espejel, 1997), las cuales se correlacionan con la precipitación y la temperatura, principalmente (Kessler, 2000).

Los valores promedio de la densidad básica de la madera para las tres especies de encino derivados de este trabajo, difieren de los obtenidos para las mismas especies en otros lugares de México (Pérez-de la Paz y Dávalos 2008, Pérez 2000, Sotomayor 2008, Bárcenas 2011 y Ordoñez *et al.* 2015), ya que se trata de un atributo variable que puede cambiar de acuerdo a la zona geográfica y al clima (Rodríguez *et al.*, 2015), por ejemplo para *Q. obtusata* en nuestro estudio la densidad fue de 0.87 g cm<sup>3</sup>, mientras que en Villa Madera Michoacán desciende a 0.81 g cm<sup>3</sup> y en Colima a 0.76 g cm<sup>3</sup>. Así mismo, estas variaciones pueden deberse a la edad del árbol, a la velocidad de crecimiento, a diferencias genéticas, a la disponibilidad de nutrimentos y/o a la historia evolutiva; de este modo, árboles de la misma especie que se desarrollen en la misma zona, pero bajo condiciones que difieran en cuanto a altitud, humedad y/o composición pueden tener diferencias notables en cuanto a su valor de densidad (Goche-Télles *et al.*, 2011), inclusive dentro del mismo individuo (Goche-Télles *et al.*, 2000), siendo esto el resultado de factores externos como: la luz, el suelo, la humedad y la temperatura, así como de la competencia con otros organismos que forman parte del medio ambiente del árbol (Dalla *et al.*, 2009). Esta característica es importante, ya que determina el valor y utilidad de la madera y está altamente correlacionada con

otras propiedades como la resistencia mecánica, la rigidez, la conductividad térmica y el calor específico (Gutiérrez *et al.*, 2010; Silva *et al.*, 2010).

## **8.2 Proceso de elaboración de carbón vegetal**

Para la obtención de carbón vegetal de madera de encino verde dentro del municipio de San Pablo del Monte se emplea la técnica tradicional, la cual ha sido utilizada desde hace muchos años por herencia cultural con base en la información proporcionada por los mismos pobladores y por Acosta (1994) en el barrio de San Isidro Buensuceso, municipio de San Pablo del Monte, quien menciona que para obtener 1 ton de carbón vegetal se requieren de 4 795 kg de madera de encino. En este trabajo se requirió de un total de 4 961.4 kg de madera de encino o lo que equivale a un volumen de 5.34 m<sup>3</sup>, dicho volumen es similar a lo reportado por la SEMARNAT de 2012 a 2017 para los siguientes lugares utilizando hornos metálicos: Tlaxco empleó un volumen de 6.5 m<sup>3</sup> de madera de encino, San Antonio Mazapa del municipio de Calpulalpan 6 m<sup>3</sup>, Santo Tomás Apilpahuasco, Calpulalpan 5 m<sup>3</sup>, San Felipe Hidalgo, municipio de Nanacamilpa 6 m<sup>3</sup>; el volumen de la madera de encino se observa que es variable para obtener 1 ton de carbón vegetal, la ventaja de los hornos metálicos es que el proceso tarda 24 h, en contraste con el horno tradicional que es de 20 días.

La cantidad de madera utilizada para obtener carbón vegetal y el rendimiento cambiarán debido a factores como: el equipo a utilizar (hacha o motosierra), el tipo de horno, control del proceso, densidad de la madera de las especies utilizadas, composición química de la madera, contenido de resinas, contenido de humedad (Romahn, 1992), así como de la sección del árbol a utilizar (García *et al.*, 2009).

Los medios utilizados para la producción del carbón han tenido diferentes diseños en función de los avances tecnológicos y de las necesidades de las comunidades (Compean y Quiñones, 2003). Aunque existen métodos tradicionales e industriales, UNAM y CONAFOR (2012) concluyen que no existe un método de producción de

carbón vegetal mejor que otro, cada método será el adecuado a las condiciones y a las necesidades de producción. En el área de la Malinche los hornos utilizados son los tradicionales (de tierra o parva), dato que indica una estrategia de los pobladores para continuar con esta práctica cultural ancestral, ya que en ésta zona está prohibida la producción de carbón vegetal por tratarse de un Parque Nacional; sin embargo, Robichaux (2007) refiere que la economía campesina de las personas de las localidades como Santa María Acxotla, aledaña a la zona de estudio, se basaba en el trabajo como obreros de la industria en las ciudades, los cuales no se mantenían de la agricultura y al jubilarse regresaban a sus tierras para continuar con el monocultivo de maíz y la elaboración de carbón vegetal, situación similar en San Isidro Buensuceso y en la región de La Malinche.

En este trabajo se empleó una mezcla de las especies de *Quercus* presentes en el área para elaborar carbón, para el que se utilizó el total de los árboles (trozas y ramas) y se requirió de 5.34 m<sup>3</sup> de madera verde para producir una tonelada de carbón vegetal, cantidad que en comparación con otros autores fue menor, por ejemplo, García-Molina (2008) reporta que en Durango es necesario un volumen de 6 m<sup>3</sup> de madera de *Quercus obtusata* para producir la misma cantidad de carbón, cabe resaltar que esta especie fue la menos abundante en este estudio (Tabla I). Por otro lado, García (2010) determinó un rendimiento del carbón de *Quercus* spp en hornos de colmena brasileño de 7.5 m<sup>3</sup> por ton y 9.1 m<sup>3</sup> en hornos metálicos. Bustamante (2011) en un horno de tipo colmena brasileño y en donde se emplearon ramas de 3 a 10 cm de diámetro y de 30 a 35 cm de longitud reporta que se necesita un volumen de 9.7 m<sup>3</sup>, mientras que con leña cuarteada (trozos) 5.4 m<sup>3</sup> de madera de encino.

### **8.3 Propiedades edáficas bajo los encinos**

En los suelos bajo las tres especies de encinos en el presente trabajo dominó la fracción arena (Tabla III), lo que significa que tienen poca retención de humedad y por lo tanto los nutrientes pueden perderse por lixiviación, además el proceso

natural de mineralización de la materia orgánica es más lento por la falta de humedad. González-Parra (2004) reporta valores de arena del 75.3%, limo 11.9% y arcilla 12.6% en suelos bajo encinares, similar a este trabajo. Esto ocasiona que los suelos presenten un bajo intercambio catiónico y se puedan perder nutrimentos por lixiviación (Jaramillo, 2002).

En relación a la densidad aparente de los suelos bajo encinos, el valor encontrado es superior a lo reportado por Jaramillo (2002) quien menciona que  $0.22 \text{ g cm}^{-3}$  es un valor promedio para suelos de bosque. Con base en la NOM-021 la densidad aparente se encuentra dentro del límite ( $1 \text{ g cm}^{-3}$ ), en caso de que aumentara la densidad aparente se tendrían problemas de compactación en dichos suelos. Esta propiedad es un buen indicador de propiedades importantes del suelo, como son: compactación, porosidad, grado de aireación y capacidad de infiltración, lo que condiciona la circulación de agua y aire en el suelo, los procesos de establecimiento de las plantas (emergencia, enraizamiento) y el manejo del suelo (Rubio, 2010).

En cuanto al valor de pH en los suelos bajo *Q. crassipes*, *Q. laeta* y *Q. obtusata* fue neutro, encontrándose en lo óptimo para que los nutrimentos sean solubles y aprovechables por las plantas (Tabla III), sin embargo, por debajo de este intervalo, pueden presentarse deficiencias de nitrógeno, potasio, calcio y magnesio; mientras que, al aumentar dicho valor, se disminuye la solubilidad del hierro, fósforo, manganeso, zinc y cobre (Jaramillo, 2002). González-Parra y Candás-Villar (2004) señalan que en suelos bajo encinares el pH fue de 6.9 en la superficie y conforme se incrementó la profundidad aumentó a 7.53. Así mismo, Romero *et al.* (2015) reportaron en suelos de La Malinche un pH de 5.5 a 6.2, moderadamente ácido, lo que permite la solubilización de micronutrimentos, sin embargo, este valor puede atribuirse a la presencia de coníferas, las cuales incrementan la acidez del suelo; mientras que las especies caducifolias como el encino tienen una descomposición de las hojas por lo general más rápida y puede efectuarse en el curso de un año a diferencia de las coníferas que pueden tardar de 7 a 10 años (Lilienfein *et al.*, 2000).

El análisis de correlación entre las propiedades edáficas bajo encinos y la densidad básica de la madera (Tabla IV y Figura 8) muestran que existe una correlación significativa solo con el pH, se obtuvo una  $r=0.242$  significativa al 95% entre el pH y la densidad de la madera, al incrementar el pH se disminuye la disponibilidad de nitrógeno, potasio, calcio y magnesio, lo cual repercute en el desarrollo de los encinos y por lo tanto en la calidad de la madera. Moya *et al.* (2010) señalan que las propiedades del suelo (físicas y químicas) no presentan grandes influencias en las propiedades de la madera de teca (*Tectona grandis*). Por otra parte, Vázquez-Cuecuecha *et al.* (2015) en *Pinus patula* y *ayacahuite* reportan que no se tuvieron correlaciones significativas entre el pH y la densidad básica de la madera, por lo que concluyeron que estas especies pueden establecerse y desarrollarse en sitios con características edáficas distintas sin presentar cambios importantes en la calidad de su madera.

Así también otra propiedad que se midió fue la materia orgánica, el promedio en el suelo localizado bajo las tres especies de encino fue de 8.6%, el cual se considera como medio con base a la NOM-021 (Tabla III). González-Parra y Candás-Villar (2004) reportaron que el contenido de materia orgánica en la superficie del suelo bajo encinos fue de 25% y conforme aumenta la profundidad este disminuye.

La materia orgánica es el componente de los suelos más complejo, dinámico y activo, contribuye al desarrollo de las plantas y su influencia en las propiedades de éstos, además de ser un componente muy importante de los ecosistemas (Espinosa *et al.*, 2011), la degradación de la materia orgánica conlleva a la mejora del suelo.

#### **8.4 Propiedades edáficas en donde se establecieron los hornos**

Los suelos analizados sufrieron cambios físicos, químicos y biológicos (Tablas V a X), el suelo es un componente básico del ecosistema forestal y puede sufrir cambios directos por el incremento de la temperatura por incendios o por el proceso de obtener carbón vegetal. Estos cambios se dan en sus propiedades físicas, químicas y biológicas o pueden ser cambios indirectos como consecuencia de la nueva situación microclimática después de la pérdida de la cubierta vegetal, cubierta de

cenizas, así como una mayor susceptibilidad a la erosión, tanto hídrica como eólica (Vázquez *et al.*, 1993; Úbeda, 2001). Los cambios directos e indirectos pueden afectar la calidad del suelo, la cual se define como la capacidad de éste para funcionar como un ser vivo y vital, dentro de los límites del ecosistema y uso del suelo (Doran y Zeiss, 2000).

Estos cambios a su vez dependen en gran medida de muchos factores asociados al incendio forestal, como la intensidad o severidad, condiciones climáticas del área afectada, cantidad y tipo de combustible presente, combustión, transmisión de calor y forma de propagación (Mataix-Solera *et al.*, 1999; Porrero, 2001); además hay que considerar la duración del incendio y el grado de humedad del mismo suelo (Vélez, 2000). En el caso de la producción de carbón el horno se mantuvo encendido por 20 días y aunque no se realizaron mediciones de temperatura, la literatura indica que llegan a alcanzar hasta 800°C (Servicio Forestal Integral, 2004), dadas estas condiciones los efectos pudieran ser comparables a un incendio superficial, el cual avanza de manera horizontal al ras del suelo eliminando la vegetación del mismo (Villers-Ruiz, 2006) y una recomendación es que se pudiera realizar una medición de la temperatura *in situ* en las investigaciones futuras.

El porcentaje de arena disminuyó a los 150 días en los suelos donde se establecieron los hornos dos y tres en un 5.2% y 4.86%, respectivamente (Tabla V), datos similares a los indicados por Úbeda *et al.* (2005) en su trabajo en Girona, España, con una disminución en el porcentaje de arena de 5.23%, en suelos con quema de alta intensidad al tomar las muestras un día después del incendio en la superficie del suelo. Domínguez (2016) en un suelo con quema controlada encontró que la fracción arena disminuyó en un 2.66%, Gómez-Luna *et al.* (2008) reportaron que en suelos de 0 a 15 cm de profundidad en donde se ubicaron hornos para elaborar carbón vegetal, hubo una disminución del 9% de arena. La disminución de la fracción arena puede estar relacionada con la ruptura de los feldespatos y otros minerales del suelo por la acción del calentamiento, formándose partículas de menor tamaño, lo que aumenta de las fracciones de limo y arcilla (Sacchi *et al.*,

2015), estos cambios también se han atribuido a la calcinación en la que se ven implicados los óxidos de hierro, los aluminosilicatos y los carbonatos (Giovannini *et al.*, 1990a).

Se registró un aumento del porcentaje de arena del 0.43% a los 150 días en el horno uno, el incremento de esta fracción puede deberse a la agregación de partículas por el aumento de la temperatura (Giovannini, 1994), aspecto que indica que las altas temperaturas de los hornos sólo se encontraron en la parte superficial del suelo, aunque este porcentaje no resultó significativo concuerda con la descripción de Giovannini y Lucchesi (1997) y Hepper-Estela *et al.* (2008) en la que refieren que por la aglutinación o fusión de partículas de arcilla se generan partículas de mayor tamaño, lo que es el resultado de la modificación térmica del hierro y de los aluminosilicatos que actúan como cementantes. Por otro lado, los suelos quemados pueden adquirir texturas más gruesas debido a los procesos de erosión post-fuego que provocan la pérdida de las partículas más finas e incrementan en consecuencia el porcentaje de fracción gruesa (Giovannini *et al.*, 1990a). A temperaturas superiores de 400°C se transforman minerales del suelo, como los oxihidróxidos de Fe y Al a través del proceso de recristalización, e incluso a temperaturas más elevadas (600 a 700°C) pueden causar la fusión térmica de minerales arcillosos (Certini, 2005; Ulery y Graham, 1993). Esta condición puede repercutir en una mayor lixiviación de nutrimentos disponibles en la solución del suelo.

En el presente trabajo en cuanto al porcentaje de limo se incrementó a los 150 y 330 días en los hornos dos, tres y el porcentaje de arcilla en los mismos hornos aumentó a los 150 días y disminuyó a los 330 días (Tabla V), al contrario de lo que sucede con la arena, si existe un aumento de la fracción arcilla se tendrá un mayor número de sitios de intercambio, lo que repercute en una mayor capacidad de intercambio catiónico (Giovannini y Lucchesi, 1997 y Hepper-Estela *et al.*, 2008).

En relación a la densidad aparente en los tres hornos se tuvo una disminución a los 330 días (Tabla V), debido al incremento en el contenido de materia orgánica, que

al estar expuesta directamente al calor generado por los hornos se llevó a cabo el proceso de mineralización más rápido (Tabla VI), lo que permitió un aumento de los espacios porosos al estar el suelo pulverizado, datos que son diferentes a lo reportado por Camargo *et al.* (2012) quienes mencionan un incremento de la densidad en suelos de valle de  $0.69 \text{ g cm}^{-3}$  y una disminución en suelos de ladera en el primer año después del incendio y un aumento a los 2 y 3 años a  $0.73 \text{ g cm}^{-3}$ . La densidad aparente sirve como estimador del grado de compactación y de deterioro de un suelo si ésta se incrementa; también es un indicador de los contenidos de materia orgánica en el suelo, si existe un aumento de ésta, la densidad disminuirá (Jaramillo, 2002); en este trabajo se mostró que la densidad aparente disminuyó debido a la mineralización de la materia orgánica.

Otra propiedad importante de los suelos es el pH el cual en este trabajo fue neutro, no presentó cambios significativos por la temperatura del proceso de carbonización a los 150 y 330 días con respecto al tiempo cero (Tabla VI). El pH juega un papel muy importante, ya que la variación de éste puede dar lugar a problemas de nutrición vegetal al impedir la asimilación de algunos nutrientes. La actividad de los microorganismos del suelo también se ve afectada por esta propiedad, en el caso del pH de los suelos en donde se ubicaron los hornos no existió variación y al ser neutro nos indica que puede haber disponibilidad de los macronutrientes para las plantas, razón por lo cual, al cultivar en estos terrenos posterior a la quema, se tienen mejores rendimientos en los productos sembrados (Mataix-Solera, 1999).

Camargo *et al.* (2012) reportan que en los suelos posteriormente a un incendio no se mostraron cambios en el pH, al igual que en este trabajo fue neutro. Sin embargo, Domínguez (2016) menciona que el pH de un suelo puede incrementarse después de establecerse un horno para transformar madera verde a carbón vegetal, como los valores promedios del pH para los tres hornos obtenidos en este trabajo (predio Huey Rastrojo), los cuales difieren de los obtenidos para suelos expuestos a temperaturas por encima de los  $300 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , en diversos estudios realizados en los cuales el pH se incrementó (Gómez-Luna *et al.*, 2008; Hepper *et al.*, 2008 y Sacchi

*et al.*, 2015). El pH normalmente aumenta en los suelos quemados, debido al aporte de carbonatos, cationes básicos y óxidos procedentes de las cenizas, así como la destrucción de ácidos orgánicos presentes y pérdida de grupos OH<sup>-</sup> de los minerales de la arcilla en incendios de alta intensidad (Giovaninni *et al.*, 1988; 1990b). El tiempo de recuperación del pH inicial es variado y se considera que es rápido de acuerdo al tiempo que las cenizas permanezcan en el suelo (Mataix-Solera y Guerrero, 2007).

Respecto a la conductividad eléctrica, ésta se incrementó al aumentar la temperatura del suelo, lo que se observó a los 150 y 330 días (Tabla VI). Con el aumento de la temperatura provocada por los hornos, los nutrientes son liberados muy rápidamente y se concentran en la capa de cenizas, pero la mayoría de ellos se pierden por volatilización durante el proceso de quemado, por lavado de las aguas de infiltración, arrastrados por el agua de escorrentía, con las cenizas en las corrientes de convección, o simplemente se pierden porque la regeneración de la planta no es suficientemente rápida para que todos los nutrientes liberados puedan ser absorbidos (Varela, 2007).

En los suelos bajo análisis la conductividad eléctrica aumentó un máximo de 0.16 dS m<sup>-1</sup>, menor a lo reportado por Sacchi *et al.* (2015) que en un suelo expuesto a 200 °C se incrementó el contenido de sales de 0.01 a 0.87 dS m<sup>-1</sup>, posteriormente disminuyó a 0.61 dS m<sup>-1</sup> a 500 °C. La conductividad eléctrica al igual que el pH se incrementa por el aporte de carbonatos, cationes básicos y óxidos procedentes de las cenizas (Mataix-Solera y Guerrero, 2007).

En relación al fósforo (P) se tuvo un aumento significativo en los valores obtenidos en los tres hornos a los 150 días (Tabla VI), debido a que la disponibilidad de P aumenta de forma inmediata con el incremento de la temperatura y este es proporcional a la intensidad de la quema (Dyrness y Norum, 1983), este aumento de P disponible se ha relacionado con el grado de combustión de la materia orgánica del suelo y con la cantidad de cenizas aportadas, así como con la capacidad de

fijación de P por el suelo (Rodríguez-Trejo, 1996; Caldwell *et al.*, 2002; Maycotte *et al.*, 2002; Salas *et al.*, 2003; Úbeda *et al.*, 2005; Varela, 2007; Gómez-Luna *et al.*, 2008; Camargo *et al.*, 2012; Sacchi *et al.*, 2015 y Domínguez, 2016) además, es relativamente estable en los suelos por no presentar compuestos inorgánicos, como los nitrogenados que pueden ser volatilizados y altamente lixiviados. Esta gran estabilidad resulta de una baja solubilidad, lo que a veces causa deficiencias en la disponibilidad para las plantas (Fassbender y Bornemisza, 1987). El contenido de P es muy importante para las plantas, pero es uno de los elementos más limitantes en la mayoría de los ecosistemas (Sardans y Peñuelas, 2005). Este incremento de P en forma asimilable es el responsable de la efímera fertilidad que presentan los suelos tras los incendios (Díaz Fierros *et al.*, 1982; Kutiel y Naveh, 1987). El caso del P es muy particular, porque su ventana de solubilidad es muy reducida, situándose entre el pH de 6.5 y 7.5 (Varenes, 2003). Así, con valores de pH más bajos precipita con algunos micronutrientes como  $Al^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$  y  $Fe^{2+}$ , lo que crea algunos compuestos insolubles y con valores más elevados precipita con  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$ , formando también compuestos insolubles. Así, su amplitud de disolución es mayor entre los 300-350 °C. Además, el P es fácilmente capturado por las superficies de  $CaCO_3$  (Karageorgiou *et al.*, 2007; Pereira y Úbeda, 2010). En los hornos uno y tres se registró una disminución de P a los 330 días, en el horno uno la razón fue el establecimiento del cultivo de maíz y en el horno tres la erosión hídrica verificada en campo.

En cuanto al contenido de la materia orgánica, el carbono orgánico y el nitrógeno orgánico en los suelos los resultados en el presente trabajo muestran que existió un incremento alrededor cuatro veces el valor inicial en los tres hornos a los 150 días y posteriormente disminuyó la concentración a los 330 días (Tabla VII).

El incremento de materia orgánica, de carbono y nitrógeno orgánicos puede explicarse debido a que, en incendios de baja intensidad según reportan Mataix Solera, (1997) y Pérez *et al.* (2008), estos contenidos se incrementan por el aporte de material vegetal semipirolizado, ya que la combustión de la materia orgánica no

es completa puede existir un incremento de ésta en los primeros meses, aunado a ello las concentraciones de amonio se incrementan como resultado directo de la temperatura, de la proporción de materia orgánica que se quema y de la acumulación de ceniza en el suelo (DeBano *et al.* 1998; Fisher y Binkley, 2000). Estos cambios aparentemente benéficos no se mantienen a largo plazo y si la frecuencia de incendios aumenta, el suelo puede convertirse en un medio inerte, ya que los restos vegetales carbonizados aportados son muy difíciles de transformar (Almendros *et al.*, 1984a).

El fuego no sólo modifica la cantidad de la materia orgánica, también altera su calidad ya que actúa como un agente que acelera las tasas de mineralización del carbono y nitrógeno orgánico lo que deja a los nutrientes disponibles para su asimilación, de ahí que muchas veces el fuego supone una fertilización del suelo de forma inmediata (Neary *et al.*, 2005), además modifica las tasas de descomposición a medida que se incrementa la temperatura el humus sufre modificaciones que lo hacen más resistente a la degradación microbiana (González *et al.*, 2009). La mineralización es el proceso mediante el cual el nitrógeno orgánico del suelo es transformado por los microorganismos a formas inorgánicas (amonio y nitrato) (Celaya-Michel y Castellanos-Villegas, 2011). El primer producto de la mineralización es el amoniaco ( $\text{NH}_3$ ) el cual puede adquirir un hidrógeno y formar amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), que puede ser fijado por las arcillas del suelo o por la materia orgánica, volatilizado como amoniaco, asimilado por plantas o microorganismos (Philippot y Germon, 2005), lixiviado u oxidado por bacterias autotróficas mediante el proceso de nitrificación, en donde se pierden dos átomos de hidrógeno para formar nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) y luego nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). Parte de estas formas inorgánicas son tomadas por los microorganismos incorporándolas a su biomasa y es llamada inmovilización. El nitrato puede pasar al proceso de desnitrificación donde se convierte a óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) y nitrógeno elemental ( $\text{N}_2$ ) (Celaya-Michel y Castellanos-Villegas, 2011).

La disminución de los contenidos de materia orgánica, carbono y nitrógeno orgánicos a los 330 días en el horno uno se explica a partir del hecho de que en el sitio fue establecido un cultivo de maíz; en el caso de los hornos dos y tres se atribuye a la erosión hídrica de las cenizas. Camargo *et al.* (2012) reportan que en suelos posteriores a un incendio se presentó una disminución significativa del contenido de nitrógeno orgánico de 1.39 a 0.68%. Las cenizas son el residuo orgánico e inorgánico producido por el fuego, fruto de la oxidación de la materia orgánica (Pérez-Cabello *et al.*, 2010). Domínguez (2016) reporta que en un suelo con quema controlada a los 30 días tuvo una disminución de 1.29% a 1.14%. El contenido de materia orgánica suele decrecer tras un incendio de alta intensidad si el fuego ha afectado directamente a los horizontes más superficiales, algo que no se evidenció en este estudio pero que otros autores como Camargo *et al.* (2012), si detectaron ya que el contenido de materia orgánica en suelos posterior a un incendio disminuyó significativamente de 43.27 a 20.97%. A diferencia de Edivaldo (2016) quien, en suelos con control de temperatura en la práctica de roza, tumba y quema encontró que el contenido de materia orgánica del suelo a pesar de las altas temperaturas predominantes no sufrió diferencias, debido a que el fuego no duró el tiempo suficiente para indicar cambios, además la capa superficial del suelo presenta agregados de 4 a 8 mm que pudieron tener un efecto protector sobre la materia orgánica.

Las bases intercambiables presentaron un incremento al término del proceso de carbonización a los 150 y 330 días de realizar el muestreo (Tabla VIII). Al existir un incremento en las bases intercambiables (Ca, Mg, Na, K) aumenta la capacidad de intercambio catiónico y el porcentaje de saturación de bases, ya que éstas son complementarias entre sí. La exposición del suelo a altas temperaturas favorece la disponibilidad de nutrientes, debido principalmente a un incremento de fósforo, potasio, magnesio y calcio por la adición de cenizas. Este incremento beneficia el desarrollo completo del ciclo vegetativo de las plantas; sin embargo, se deben tomar acciones de protección en los suelos con el fin de evitar que estos aumentos

iniciales de cationes de cambio se pierdan mediante la lixiviación que genera la acción de la lluvia (Osorio y Rosero, 2013).

Gómez-Luna *et al.* (2008) reportan que en suelos del orden Feozems háplicos en donde se ubicaron hornos de carbón vegetal se incrementó la cantidad del calcio (5.77 a 25.46 Cmol (+) kg<sup>-1</sup>), magnesio (1.363 a 3.182 Cmol (+) kg<sup>-1</sup>) y potasio (2.729 a 4.432 Cmol (+) kg<sup>-1</sup>) al término del proceso, lo que sucede en los suelos bajo estudio. Camargo *et al.* (2012) encontraron una disminución significativa en el contenido de calcio en suelos de 11.37 a 3.60 Cmol (+) kg<sup>-1</sup>, en magnesio también se presentó una disminución, así como de potasio. Al respecto, Domínguez (2016) menciona que en suelo a los 30 días después de haberlo expuesto a la práctica de quema controlada el calcio presentó un aumento de 0.10 a 0.18 Cmol (+) kg<sup>-1</sup>, el magnesio se incrementó de 0.0158 a 0.0250 Cmol (+) kg<sup>-1</sup>, al igual que el potasio de 0.02 a 0.03 Cmol (+) kg<sup>-1</sup>; mientras que, la concentración de sodio disminuyó de 0.10 a 0.06 Cmol (+) kg<sup>-1</sup>. Lo que coincide con lo encontrado en este trabajo, a excepción del sodio.

Martínez-Sánchez *et al.* (1991) mencionan que el potasio, magnesio y calcio incrementó con el aumento de la temperatura por el fuego de hasta cuatro veces sus valores iniciales; sin embargo, la concentración del potasio desaparece rápidamente, y a los cuatro meses de ocurrido el fuego sus valores son similares a los iniciales, y a los dos años pueden llegar a ser inferiores. Lo que infiere que en los suelos en donde se establecieron los hornos para obtener carbón vegetal puede ocurrir con el paso del tiempo, sino se atiende el aporte de materia orgánica. Con respecto a la concentración de magnesio y calcio, los autores anteriores señalan que el incremento observado de manera inicial puede ser sensible a los dos años de presentado el incendio.

Así mismo, la capacidad de intercambio catiónico del suelo se puede ver afectada en forma directamente proporcional al descenso en los porcentajes de materia orgánica. Esto debido a que parte de los cationes liberados no pueden ser retenidos

por el complejo absorbente, siendo lixiviados hacia horizontes más profundos en el perfil del suelo o arrastrados sobre el suelo desnudo por el agua de lluvias posteriores (Mataix-Solera *et al.*, 2002).

## 8.5 Actividad microbiana

La actividad microbiana determinada por la producción de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es el resultado de la actividad biológica en un suelo, es altamente variable y está fuertemente afectada por las condiciones de humedad y temperatura (Parkin *et al.*, 1996). La producción de CO<sub>2</sub> se incrementó a los 150 días, excepto en el suelo del horno dos, posteriormente a los 330 días existió una disminución en su producción y en el suelo del horno dos se presentó un incremento de la actividad microbiana. Esto puede ser debido a la cantidad de cenizas depositadas, así como al grado de esterilización que alcanzó dicho suelo (Tabla X), ya que posterior a la quema los suelos pueden quedar parcial o totalmente esterilizados y la recuperación de la microbiota y de su actividad dependerá no sólo de la de la propia población microbiana, sino también del substrato y, por consiguiente, de las modificaciones inducidas por el fuego sobre el suelo (Varela, 2007).

Abril y González (1999) reportan que con el fuego a los 180 días la producción de CO<sub>2</sub> en suelos fue de 561 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup>, mientras que a los 360 días fue de 643 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup>, con respecto al 670 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> inicial. Cantidades de CO<sub>2</sub> superiores a lo encontrado en este trabajo. Los autores mencionan que las bacterias nitrificantes y amonificantes fueron las que más disminuyeron. Los microorganismos del suelo juegan un papel protagonista en el funcionamiento de los ecosistemas forestales; son responsables del ciclado de energía y nutrimentos, entre ellos el nitrógeno, principal limitante de la producción primaria de estos ecosistemas (Durán *et al.*, 2004).

El fuego afecta a los microorganismos, que pueden tener impactos negativos en el funcionamiento del suelo, ya que controlan el ciclo de los nutrimentos, así como la

formación y descomposición de la materia orgánica en suelos expuestos a temperaturas >50 °C con la que mueren los microorganismos sensibles al calor. Las temperaturas letales para los hongos varían de 60 °C a 80 °C, mientras que las bacterias normalmente resisten mejor el calor, las temperaturas oscilan entre 100 °C y 120 °C (Hart *et al.*, 2005). En el caso de los suelos de los hornos, fue determinante la temperatura en la eliminación temporal de la microbiota, especialmente el caso de los hongos que resisten temperaturas menores, por lo que la velocidad de recuperación de la microbiota y de su biomasa no sólo depende de la humedad, sino que es inversamente proporcional a la temperatura de calentamiento del suelo, lo que indica que está en función de la intensidad del quemado (Prieto-Fernández, 1996).

Una disminución inicial del número de microorganismos comúnmente observado después de la quema, es causado principalmente por el efecto del calor liberado en la combustión, la cual provoca un calentamiento del suelo y esto inmediatamente elimina algunos de los microorganismos del suelo (Pietikäinen y Fritze, 1995). Algunos grupos de microorganismos son más sensibles al calor que otros, especialmente aquellos que son altamente especializados (Hart *et al.*, 2005); por ejemplo, *Nitrobacter* spp tienen un 99% de tasa de mortalidad a 80 °C en suelos húmedos y un 90% en suelos secos (Hart *et al.*, 2005), en cuanto a las bacterias nitrificantes, éstas son muy sensibles al calor (Serrasolsas y Khanura, 1995). Es conocido que después del incendio, generalmente las poblaciones microbianas existentes en las capas superficiales del suelo se reducen, ya que los microorganismos son muy sensibles a los cambios de temperatura, humedad y nutrientes (Torres y Lizarazo, 2006).

Gómez *et al.* (2012) señalan que la producción de carbón vegetal de madera de encinos tiene un efecto negativo sobre la diversidad y actividad enzimática microbiana del suelo en donde se establecen los hornos. La actividad de las enzimas celulasa,  $\beta$ -glucosinasa, N-acetil- $\beta$ -D-glucosamida, nitroreductasa, ureasa y proteinasa disminuyeron de un 90 al 44%, pudiéndose deber a la pérdida de la

materia orgánica y a los cambios en las condiciones microclimáticas. Álvarez-Solís y Azueto-Martínez (2004) mencionan que la disminución de la respiración microbiana se relaciona con la disminución de las reservas orgánicas, el aumento de la acidez y la disminución de cationes básicos del suelo, situación que difiere con lo encontrado en el trabajo realizado para el predio “Huey Rastrojo”, en donde existió incremento de la respiración microbiana pero los suelos se mantuvieron neutros.

Con la mineralización de la materia orgánica por efectos de la temperatura se incrementa la disponibilidad del fósforo y de las bases intercambiables, lo cual repercute en un mejor aprovechamiento por las plantas, así mismo, el hecho que el pH no se modifique es benéfico porque los nutrimentos tienen la oportunidad de ser absorbidos por las plantas. El pH no sufre modificaciones y por lo tanto, no constituye una limitante para la actividad microbiana y la mineralización de la materia orgánica hace disponibles los nutrimentos para la alimentación de los microorganismos, lo que genera que migren de las zonas adyacentes no quemadas y rápidamente proliferen (Mataix-Solera, 1999)

## 9 CONCLUSIONES

El análisis de la estructura arbórea indicó que se trata de un relicto forestal heterogéneo, *Quercus crassipes* fue la especie más abundante y *Quercus obtusata* la que presentó mayor densidad básica de la madera, lo que propicia un alto poder calorífico al ser transformada a carbón vegetal.

En San Pablo del Monte para obtener una tonelada de carbón vegetal se requieren 5.34 m<sup>3</sup> de madera de encino verde de las especies *Quercus crassipes*, *Q. laeta* y *Q. obtusata* a través del empleo de la técnica del horno tradicional.

El incremento de la temperatura en el proceso de carbonización modificó algunas de las propiedades físicas y químicas del suelo, así como la actividad microbiana. Lo que permitió una disponibilidad inmediata de los nutrimentos; sin embargo, con el paso del tiempo éstos disminuyen, lo que repercutirá en la fertilidad del suelo.

## 10 RECOMENDACIONES

Es indispensable continuar con este tipo de estudios para ampliar la información acerca de las especies de *Quercus* presentes y útiles dentro del Parque Nacional La Malinche. También es necesario dar un seguimiento a mediano y largo plazo de los efectos de la temperatura de los hornos sobre el suelo.

Con el valor de la densidad básica de la madera se pudo determinar que *Quercus obtusata* es una especie para la que se debe implementar un plan de manejo con el fin de obtener un mejor aprovechamiento y apoyar a la producción de carbón vegetal dentro del Parque Nacional La Malinche, debido a que es una actividad cultural y económica de los pobladores que no puede eliminarse de manera inmediata.

La elaboración del carbón dentro del Parque Nacional La Malinche es ilegal, sin embargo, es recomendable integrar aspectos socio-rurales hacia una propuesta socialmente más justa, e igualmente abordar los aspectos culturales alrededor de la producción de carbón vegetal entre los pueblos con herencia nahua y mestiza dentro del Parque Nacional La Malinche y su zona de amortiguamiento.

Será necesario implementar un proyecto de restauración forestal en San Isidro Buensuceso el que también participen instancias como SEMARNAT, ECOLOGÍA, CONANP, CONAFOR, PROFEPA, entre otras, así como pobladores de la localidad, tomando como base los objetivos del Convenio de Diversidad Biológica: la conservación de la diversidad biológica, la utilización sostenible de sus componentes, la participación justa y equitativa en los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos genéticos. Con el objetivo general de promover medidas que conduzcan a un futuro sostenible. (file:///C:/Users/jonh/Downloads/undb-factsheets-es-web.pdf).

## 11 LITERATURA CITADA

- Abril, A., González C. 1999. Dinámica de la fertilidad y de las poblaciones microbianas en suelos afectados por incendios en las sierras de Córdoba (Argentina). *Agriscientia* XVI: 63-70.
- Acosta, R. 1994. La elaboración de carbón en el Parque Nacional La Malinche Tlaxcala. Gobierno del Estado de Tlaxcala. Coordinación General de Ecología. Dirección técnica de Proyectos y Evaluación. 28 p.
- Almendros, G., Polo, A., Lobo, M.C., Ibañez, J.J. 1984a. Contribución al estudio de los incendios forestales en las características de la materia orgánica del suelo. II. Transformaciones controladas del humus por ignición en condiciones de laboratorio. *Revue d'Écologie et de Biologie du Sol* 21:145-160.
- Álvarez-Solis, J. D., Anzueto-Martínez, M de J. 2004. Actividad microbiana del suelo bajo diferentes sistemas de producción de maíz en los altos de Chiapas, México. *Agrociencia* 38: 13-22.
- Álvarez, S. M. E., Marín C. A. 2011. Manual de procedimientos analíticos de suelo y planta. Laboratorio de Química. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 31 p.
- Amézketa, E. 1999. Soil aggregate stability: A review. *Journal of Sustainable Agriculture*, 14: 83-151.
- Amílcar, C. T. S. 2013. Rendimiento y calidad del carbón vegetal elaborado en horno tipo fosa con subproductos forestales de *Piscidia piscipula* (L.) Sarg. Y *Lonchocarpus castilloi* Standl. en Campeche. Tesis de Maestría en Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. 56 p.
- Anderson, J. P. 1982. Soil respiration. In A.L. Miller, R.H. Keeney, D.R. (eds). *Methods of soil analysis: Chemical and Microbiological properties*. 2da. Ed. American Society of Agronomy Inc. Wisconsin, USA. 831-871.
- Aragón-Piña, E., Garza-Herrera, A., González, E. M. S., Luna-Vega, I. 2010. Composición y estructura de las comunidades vegetales del rancho el Duranguense en la Sierra Madre Occidental, Durango México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 81: 771-787.
- Bárcenas-Moreno, G., García-Orenes, F., Mataix-Solera, J., Mataix-Beneyto, J., Baath, E. 2011. Soil microbial recolonization after a fire in a Mediterranean forest *Biology and Fertility of Soils*. 47: 261-272.
- Bárcenas, P. G. M. 2011. Evaluación tecnológica de la madera de los encinos de la Sierra de Álvarez San Luis Potosí. Tesis de Doctorado en Ciencias Ambientales. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 147 pág.
- Bárcenas-Pazos, G. y Dávalos-Sotelo, R. 2001. Shrinking values for 106 Mexican Woods. *Journal of Tropical Forest Products* 7(2):126-135
- Bray, R. H., Kurtz, L. T. 1945. Determination of total organic and available phosphorus in Soil Sci. 59: 39-45.
- Brokaw N., V. L. and R. A. Lent. 1999. Vertical structure. In: Hunter, M. L. (Ed). *Maintaining biodiversity in forest ecosystems*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 373-399.
- Bustamante, G. V. 2011. Evaluación del proceso de producción de carbón vegetal de residuos de *Quercus sideroxylla* Humb & Bonpl., en hornos tipo colmena brasileño. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencia Forestales. Tesis de Maestra en Ciencias Forestales. 76 p.
- Calderón, R. G., Rzedowski, J. 2001. Flora fanerogámica del Valle de México. CONABIO-INE. 2da edición. 1406 pp.

- Caldwell, T. G., D. W. Johnson, W. W. Miller, and R. G. Qualls. 2002. Forest floor carbon and nitrogen losses due to prescription fire. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 262–267.
- Camargo, G. J. C., Dossman M. A., Rodríguez, J. A., Arias, L. M., Galvis, Q. J. H. 2012. Cambios en las propiedades del suelo, posteriores a un incendio en el Parque Nacional Natural de Los Nevados, Colombia. *Acta Agron.*, 61: 151-165.
- Carballas, T. 2003. Os incendios forestais. En: J. J. Casares (Ed.). *Reflexións sobre o medio ambiente en Galicia*. Santiago de Compostela: Xunta de Galicia. pp. 361-415.
- Castellanos, B. J. F., Treviño, G. E. J., Aguirre, C. O. A., Jiménez, P. J. y Velázquez, M. A. 2010. Diversidad arbórea y estructura espacial de bosques de pino-encino en Ixtlán de Juárez Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 1(2): 39-52.
- Celaya-Michel, H., Castellanos-Villegas, A. E. 2011. Mineralización de nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas. *Terra Latinoamericana*, 29(3): 343-356.
- Certini, G. 2005. Effects of fire on properties of forest soils: a review *Oecología* 143 (1): 1-10.
- Compeán-Guzmán., F. J. y Quiñones-Chavez, A. 2003. Diseño de los hornos de carbonización más comunes en México. Folleto Científico No 19. Campo Experimental Valle del Guadiana. INIFAP–SAGAR. Durango, México. 19 p.
- Cottenie, A. 1908. Los análisis de suelos y plantas como base para formular recomendaciones sobre fertilizantes. *Boletín de suelos de la FAO* 38/2. FAO, Roma Italia.
- Dalla, S. G. A., Martínez M. H., Cochard, P. Rozenberg. 2009. Variation of wood density and hydraulic properties of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) clones related to a heat and drought wave in France. *Forest Ecology and Management* 257:182–189.
- Davel, M., A. Jovanovski y D. Bell. 2005. Densidad básica de la madera de pino oregón y su relación con las condiciones de crecimiento en la Patagonia Andina Argentina. *Bosque* 26(3): 55- 62
- Dean, S., Farrer E., Menges, E. 2015. Fire Effects on Soil Biogeo Chemistry in Florida Scrubby Flatwoods. *American Midland Naturalist*. 174(1): 49.
- Debano, L. F. 1981. *Water repellent soils: a state-of-the-art*, edited by United States Department of Agriculture, F. S. Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station, Berkeley (California). 21 p.
- DeBano, L. F., Neary D. G., Flolliott P. F. 1998, *Fire's effects on ecosystems*, John Wiley Sons, New York, USA. 333 p.
- Del Río, M., F. Montes, I. Cañellas y G. Montero. 2003. Revisión: índices de diversidad estructural en masa forestales. *Invest. Agrar. Sist. Recur. For.* 12(1): 159-176.
- Di Rienzo, J. A., Casanove,s F., Balzarini, M.G., González, L., Tablada, M., Robledo, C.W. 2008. *Info Stat*, versión 2008, Grupo Info DStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Díaz-Fierros, V., Gil-Sotres, F., Cabaneiro, A., Arballas, T., Leiros de la Peña, M. C. y Villar-Celorio, M. C. 1982. Efectos erosivos de los incendios forestales en suelos de Galicia. *Anales de Edafología y Agrobiología*. XLI, 3-(4): 627-639.
- Doerr, S. H., Shakesby, R. A., Walsh, R. P. D. 2000. Soil Water repellency: Its causes, characteristics and hydro-geomorphological significance. *Earth Science Reviews*. 51: 33-65.
- Domínguez, C. H. D. 2016. Estudio de las propiedades físicas y químicas del suelo producidas por la quema controlada de vegetación en el municipio de Cumaribo, departamento del Vichada. Universidad de Caldas. Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente.105 p.

- Doran, J.W., Zeiss, M.R. 2000. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*. 15: 3-11.
- Durán J., Gallardo A., Fernández P. J. M. 2004. Efecto del fuego sobre la biomasa microbiana del suelo de ecosistemas de pino canario (*Pinus Canariensis*). *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 20: 181-186.
- Dyrness, C.T. y Norum, R.A. 1983. The effects of burning on chaparral soils. II. Soil microbes and nitrogen mineralization. *Soil Science Society of America Journal*, 43: 509-514.
- Echenique-Manrique, R., Plumptre, R. 1994. Guía para el uso de maderas de México y Belice. Universidad de Guadalajara. Consejo Británico. Laboratorio de Ciencia y Tecnología de la Madera. Universidad de Oxford. 196 p.
- Edivaldo, L., Thomaz, V. y Stefan, H. 2014. Effects of fire on the physicochemical properties of soil in a slash-and-burn agriculture. *Catena* 122: 209-215.
- Edivaldo, L. T. 2016. High fire temperature changes soil aggregate stability in slash-and-burn agricultural systems. *Scientia Agricola*. 74(2): 157-162.
- Encina-Domínguez, J. A., Zarate-Lupercio, A., Valdes-Reyna, J. y Villarreal-Quintanilla, J. A. 2007. Caracterización ecológica y diversidad de los bosques de encino de la sierra de Zapalinamé Coahuila, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 81 p.
- Espejel, R. M. M. A. 1997. La importancia y el deterioro del recurso bosque en la región de la Malinche, Estado de Tlaxcala. Universidad Autónoma de Tlaxcala. Centro de Investigaciones Interdisciplinarias Sobre Desarrollo Regional. Tesis de Maestría en Análisis Regional. 93-132.
- Espejel, R. A. 2007. La Malinche: una visión retrospectiva de su deterioro y conservación. Revisada 20/08/16  
<http://www.2inecc.gob.mx/publicaciones/gacetas/161/malinche.html>.
- Espinosa, R. M., Andrade, L. E., Rivera, O. P., Romero, D. A. 2011. Degradación de suelos por actividades antrópicas en el norte de Tamaulipas, México. *Papeles de Geografía*. 53(54): 77-78.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2006. Base referencial mundial del recurso suelo. Un marco conceptual para clasificación, correlación y comunicación internacional. Informes sobre recursos mundiales de suelos. Segunda edición. International Union of soil sciences (IUSS). 130 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2015. Propiedades del suelo. Fecha de consulta: 08/04/2015 en: [www.fao.org/soils-portal](http://www.fao.org/soils-portal).
- Fassbender, H. W. y E. Bornemisza. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), San José de Costa Rica. 420 p.
- Fernández, M. de O. A. I. 2012. Impactos de la producción clandestina de carbón vegetal sobre los patrones espaciales de degradación forestal en la cuenca de Cuitzeo, Michoacán. Tesis Maestría UNAM Posgrado en Geografía. Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental. Michoacán. 164 p.
- Figueroa-Rangel, B. L. y Olvera-Vargas M. 2000. Dinámica de la composición de especies en bosques de *Quercus crassipes* H. & B. en Cerro Grande, Sierra de Manantlán, México. *Agrociencia* 34: 91-98.
- Fisher, F. R., D. Binkley 2000, Ecology and management of forest soils, John Wiley & Sons, Inc. USA, 241-261.
- Flannigan, M. D., Stocks, B. J., Wotton, B. M. 2000. Climate change and forest fires. *The Science of the Total Environment*. 262: 221-229.
- Flores, F., Ronal, E., Quinteros, S., Hugo, E. 2008. Diseño de horno tipo retorta para elaborar carbón vegetal. Tesis de Ingeniería. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad Centroamericana José Simeón Cañas. El Salvador. 9(15): 89 p.

- Fuentes-Salinas, M. 1995. Tecnología de la madera II. Propiedades físico-mecánicas. Dicifo. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco México. 120 p.
- García-Molina, J. G. 2008. Carbón de encino fuente de calor y energía. CONABIO. Biodiversitas. 77-79.
- García-Oliva, F., Sanford, R., Kelly, E. 1999. Effects of flash and burn management on soil aggregate organic C and N in a tropical deciduous forest. *Geoderma* 88: 1-12.
- García, R. L., Márquez, M. M., Aguiar, T. F., Arauso, P. L., Carballo, A. L., Orea, I. U., Zanzi, R. 2009. Rendimiento de los productos de la descomposición térmica de la madera de *Eucalyptus saligna* Smith a diferentes alturas del fuste comercial. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 15(2): 147-154.
- García, M. J. G. 2010. Determinación de rendimientos y calidad de carbón de residuos de *Quercus* sp grupo *Erythrobalanus* en dos tipos de hornos. Tesis de Maestría Universidad Juárez del estado de Durango. 78 p.
- Gentry, A. H. 1988. Changes in plant community diversity and floristic composition on environmental and geographical gradients. *Annales of Missouri Botanical Garden* 75:1-34.
- Giovannini, G., Lucchesi, S., Giachetti, M. 1988. Effects of heating on some physical and chemical parameters related to soil aggregation and erodibility. *Soil Science*.146: 255-261.
- Giovannini, G., Lucchesi, S., Giachetti, M. 1990a: Beneficial and detrimental effects of heating on soil quality Fire in ecosystem dynamics: Mediterranean and northern perspectives (Goldammer, J. G. y Jenkins, M. J. coord.). The Hague, Edit. SPB Academic Publishing, 95-102.
- Giovaninni, G., Lucchesi, S., Giachetti, M. 1990b. Effects of heating on some chemical parameters related to soil fertility and plant grow. *Soil Science* 149: 344-350.
- Giovannini, G. 1994. The effect of fire on soil quality. En Sala, M. y Rubio, J. L. Eds. Soil erosion as a consequence of forest fire. *Geoderma*. Ediciones Logroño. 15-27.
- Giovannini, G., Lucchesi, S. 1997. Modifications induced in soil physico-chemical parameters by experimental fires at different intensities. *Soil Sci*. 162 (7): 479-486.
- Goche-Télles, J. R., Fuentes-Salinas M., Borja-de la Rosa, A., y Ramírez-Maldonado, H. 2000. Variación de las propiedades físicas de la madera en un árbol de *Abies religiosa* y de *Pinus ayacahuite* var. *veitchii*. *Revista Chapingo: Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 6(1):83-92.
- Goche-Télles, J. R. A., Velázquez-Martínez, A., Borja de la Rosa, J., Capulín-Grande., C. Palacios-Mendoza. 2011. Variación radial de la densidad básica en *Pinus patula* Schltdl. et Cham. de tres localidades en Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 2(7):71-78.
- Gómez-Luna, B. E., Rivera-Mosqueda, M. C., Dendooven-Luc., Vázquez-Marrufo, G. y Olalde-Portugal, V. 2008. Charcoal production at kiln sites affects C and N dynamics and associated soil microorganisms in *Quercus* spp. Temperate forests of central Mexico. *Applied Soil Ecology* 41: 50-58.
- Gómez R. M., Soto C. J. C., Blanco G. J. A., Sáenz R. C., Villegas J., Lindig C. R. 2012. Estudio de especies de Pino para restauración de sitios degradados. *Agrociencia* 46: 795-807.
- González-Espinosa, M., Meave, J. A., Ramírez-Marcial, N., Toledo-Aceves, T., Lorea-Hernández, F.G., Ibarra-Manríquez, G. 2012. Los bosques de niebla de México: conservación y restauración de su componente arbóreo. *Ecosistemas* 21(1): 36-52.
- González J., Fernández M. C., Gimeno, G. P. 1992. Efecto de los incendios forestales sobre el suelo. Departamento de Edafología. Facultad de farmacia. Universidad Complutense de Madrid. 72-79.

- González-Parra, J. Candás-Villar. M. A. 2004. Materia orgánica de suelos bajo encinas. Mineralización de carbono y nitrógeno. Investigación Agraria Sistemas Recursos Forestales. 75-83.
- González, Pelayo. O. 2011. Dinámica de la humedad del suelo. Propiedades físicas y escorrentía en laderas mediterráneas afectadas por incendios forestales. Tesis de doctorado. Universidad de Valencia. Valencia, España. 268 p.
- González-Pérez, J. A., González-Vázquez, R., De la Rosa-José M., González-Vila, F. J. 2011. El fuego y la materia orgánica del suelo. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, España 2: 8-14.
- González, V. F. J, Almendros, M. G., González, P. J. A., Knicker, H., González, V. R., Hernández, Z., Piedra-Buena, A., Arranz, R., M. J. 2009. Transformaciones de la materia orgánica del suelo por incendios naturales y calentamientos controlados en condiciones de laboratorio. Cátedra de divulgación de la ciencia. Ciencias Agrarias. Instituto de Ciencias Naturales y Agrobiología Sevilla. España. 220-267.
- González, Z. M. 2008. Estimación de la biomasa aérea y la captura de carbono en regeneración natural de *Pinus maximinoi* H. E. Moore, *Pinus oocarpa* var. *ochoterenai* Mtz. y *Quercus* sp. en el norte del Estado de Chiapas, México. Tesis Maestría. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba Costa Rica. 97 pág.
- Granados-Victorino, Ro Linx., Sánchez-González, Arturo., Martínez-Cabrera, Dorismilda., Octavio-Aguilar, Pablo. 2017. Estructura y composición arbórea de tres estadios sucesionales de selva mediana subperennifolia del municipio de Huautla, Hidalgo, México Revista Mexicana de Biodiversidad. Universidad Nacional Autónoma de México Distrito Federal, México 88(1): 1-14.
- Gros, A., Domínguez, A. 1992. Abonos guía prácticas de la fertilización. 8<sup>va</sup>. Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 450 p.
- Guerrero, C., R, Moral., I, Gómez., R, Zomoza y V, Arcenegui 2007. Microbial biomass and activity of an agricultural soil amended with the solid phase of pig slurries. Biores Technology. 98: 3259-3264.
- Gutiérrez V., B.N., M. Gómez C., S. Valencia M., E. H. Cornejo O., J.A. Prieto R. y M.H. Gutiérrez V. 2010. Variación de la densidad de la madera en poblaciones naturales de *Pinus oocarpa* Schiede Ex Schltld. del estado de Chiapas, México. Revista Fitotecnia Mexicana. 33(4): 75-78.
- Hannah L., Lohse D., Hutchinson C, Carr JL, Lanckerani A. 1994. A preliminary inventory of human disturbance of world ecosystems. Ambio. 23: 246-250.
- Hart, S. C., DeLuca, T. H., Newman, G. S., Mackenzie, M. D., Boyle, S. I. 2005. Post-fire vegetative dynamics as drivers of microbial community structure and function in forest soils. Forest Ecology Manage. 220: 166-184.
- Hepper-Estela., Urioste-Ana., Belmonte-Valeria, Buschiazzo-Daniel. 2008. Temperaturas de quema y propiedades físicas y químicas de suelos de la Región Semiárida Pampeana Central. Ci. Suelo Argentina. 26(1):29-34.
- Hobbs, R. J. y Huenneke, L. F. 1992. Disturbance, diversity and invasion: implications for conservation. Conservation Biology. 6:324-337.
- Hocker, Jr. H. W. 1984. Introducción a la biología forestal. AGT Editor, S.A. México. 446 p.
- Honorato, J. A. y M.E. Fuentes. 2001. Propiedades físico-mecánicas de la madera de cinco especies de encino del estado de Guanajuato. Revista Ciencia Forestal en México. 26(90):5-28.
- Ianotti, D. T., Pang, B. Toth. 1994. A quantitative respirometric method for monitoring compost stability. Compost Sci Utiliz 1: 52-65.

- INEGI. 2009. Prontuario de información geográfica municipal de San Pablo del Monte Tlaxcala. Clave geoestadística 29025. <http://mapserver.inegi.org.mx/mgn2k>.
- Jackson, M. L. 1976. Análisis químico de suelos. J. Beltrán M., traductor. 3ª ed. Omega. Barcelona, España. 622 p.
- Jaramillo, J. D. F. 2002. Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Medellín, Colombia. 619 p.
- Jiménez, J., Torres, L., Baca, L. 1999. Descripción estructural de un ecosistema de *Pinus-Quercus* en la sierra madre oriental. Congreso mexicano sobre recursos forestales. Durango. Durango, México.
- Jiménez, J., Aguirre, O., Kramer, H. 2001. Análisis de la estructura horizontal y vertical en un ecosistema multicohortal de pino-encino en el norte de México. Invest. Agr. Sist. Recursos Forestales. 10 (2): 355-366.
- Juárez, F. J. J. 2015. Entre fulgores de ángeles y máculas de tizne: energía, metabolismo y degradación ecológica en el Valle de Puebla-Tlaxcala, 1530-1820. Historia Caribe. 26(10): 175-210.
- Kappelle, M. 2006. Ecology and conservation of Neotropical Montane Oak Forests. Springer Verlag. Berlin Heidelberg. Germany. 483 p.
- Karageorgiou, K., Paschalis, M., Anasassakis, G.N. 2007. Removal of phosphate species from solution by adsorption onto calcite used as natural adsorbent. Journal of Hazardous Materials. 139: 447-452.
- Kessler, M. 2000. Elevational gradients in species richness and endemism of selected plant groups in the central Bolivian Andes. Plant Ecology. 149:181-193.
- Kollmann, F. 1959. Tecnología de la madera y sus aplicaciones Instituto Forestal de Investigación y Experiencias y Servicio de la Madera. Madrid, España. 675 p.
- Kutiel, P., Naveh, Z. 1987. The effect of fire on nutrients in a pine forest soil. Plant and Soil. 104: 269-274.
- Lerma, H. Tulio A., Combatt, E. M., Palencia, L. M. S. 2015. Efecto de la temperatura sobre coloides de suelos agrícolas mediante dispersión dinámica de la luz. Revista Ciencias Agrícolas. 32 (2): 94-103.
- Lilienfein J., Wilcke W., Ayarza A., Vilela L., doCarmo S., Zech S. 2000. Soil acidification in *Pinus caribea* foresto in Brazilian savanna Oxisols. Forest Ecology Management. 128: 145-157.
- López, D. J. C. 2008. Estructura Silvícola y Dinámica de bosques de *Pseudotsuga menziessi* (Mirb) Franco en el estado de Tlaxcala. Tesis de Maestría en Ciencias en Sistemas del Ambiente. Centro de Investigación en Genética y Ambiente. UAT. Tlaxcala. 93 p.
- López L., M. y S. Valencia M. 2001. Variación de la densidad relativa de la madera de *Pinus greggii* Engelm. del norte de México. Madera y Bosques. 7(1):37- 46.
- Lupi, A. M. 2013. El fuego: una herramienta de manejo o un arma contra el suelo. Artículo de divulgación. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Centro de Investigaciones de Recursos Naturales (CIRN). Instituto de suelos de Argentina. 1-9. Consultada en 10/12/2016. <http://inta.gob.ar/documentos/el-fuego-una-herramienta-de-manejo-o-un-arma-contr-el-suelo>.
- Magurran, A. E. 1988. Ecological Diversity and its Measurement. Princeton University Press, Princeton.
- Margalef, R. 1991. Teoría de los Sistemas Ecológicos. Publicaciones de la Universidad de Barcelona, Barcelona.
- Margules, C. R. y Usher, M. B. 1981. Criteria used in assessing wildlife conservation potential: a review. Biological Conservation. 21:79-109.

- Martínez-Cruz, J., Téllez-Valdéz, O., Ibarra-Manríquez G. 2009. Estructura de los encinares de la sierra de Santa Rosa, Guanajuato, México. *Revista mexicana de biodiversidad*. 80: 145-156.
- Martínez-Sánchez, J., De las Heras- Ibañez, J., Herranz, J. 1991. Impacto ecológico de los incendios forestales. Cátedra de Botánica Forestal, Ecología y Medio Ambiente. Escuela Universitaria Politécnica de Albacete. Universidad de Castilla-La Mancha. 13 p.
- Martínez, J., Borja de la Rosa, A. 2005. Características tecnológicas de la madera de palo morado (*Peltogyne mexicana* Martínez) de Tierra Colorada, Guerrero, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 11(1):78-82.
- Mas-Jean, F., Skutsch-Margaret. 2010. Producción y consumo de carbón vegetal en la Cuenca del Lago de Cuitzeo: evaluación y perspectivas para un manejo sustentable. Informe final Proyecto IN305909. Programa de apoyo a proyectos de investigación e innovación tecnológica-PAPIIT. UNAM. Morelia, Mich., México. Consultado en línea: 15/03/17. <http://redd.ciga.unam.mx/files/Informe%20Final%20en%20extenso%20IN305909.pdf>.
- Masera, O., G. Dutt. 1991. A thermodynamic analysis of rural energy needs: a case study in a Mexican Village. *Energy*. 16: 4-8.
- Mataix-Solera, J. 1997. Modificaciones físico-químicas en suelos afectados por un incendio forestal. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad de Alicante.
- Mataix-Solera, J. 1999. Alteraciones físicas, químicas y biológicas en suelos afectados por incendios forestales. Contribución a su conservación y regeneración. Tesis de doctorado. Facultad de Ciencias. Universidad de Alicante. 321 p.
- Mataix-Solera, J. Gómez, I., Navarro-Pedreño, J., Guerrero, C., Moral, R. 2002. Soil organic matter and aggregates affected by wildfire in a *Pinus halepensis* forest in Mediterranean environment. *International Journal of Wildland Fire*. 11: 107-114.
- Mataix-Solera, J., Doerr S. H. 2004. Hydrophobicity and aggregate stability in calcareous top soils from fire-affected pine forests in southeastern Spain. *Geoderma*. 118: 77-88.
- Mataix-Solera, J., Guerrero, C. 2007. Efectos de los incendios forestales sobre las propiedades edáficas, en Incendios forestales, suelos y erosión hídrica (MataixSolera, J. coord.). Alcoi, Edit. Caja Mediterráneo CEMACAM. 5-40.
- Maycotte, M., C. C., A. Velásquez M., J. J. Vargas H., A. Trinidad S., M. A. Musálem S. y G. Vera C. 2002. Radiación fotosintéticamente activa y propiedades físico-químicas en suelos forestales con y sin incendio. *Madera y Bosques*. 8: 39-55.
- Mollinedo, M., Ugalde, L., Alvarado, A., Verjans, J.M., Rudy, L.C. 2005. Relación suelo-árbol y factores de sitio, en plantaciones jóvenes de teca (*Tectona grandis*), en la Zona Oeste de la Cuenca del Canal de Panamá. *Agronomía Costarricense* 29(1): 67-75
- Moya, R., Arce L. V., González P. E., Olivares G. C., Ríos G. V. 2010. Efecto de las propiedades físicas y químicas del suelo en algunas propiedades de la madera de teca (*Tectona grandis*). *Revista Árvore, Viscosa-MG*. 34 (6): 1109-1118.
- Nájera, L. J. A., Zacarías, V. A., Méndez, G. J., Graciano, L. J. de J. 2005. Propiedades físicas y mecánicas de la madera en *Quercus laeta* liemb. Del Salto Durango. Ra Ximhai. Universidad Autónoma Indígena de México. El fuerte México. 1: (3). 559-576.
- Neary D, Ryan K, DeBano L. 2005. Wildland fire in ecosystems: effects of fire on soils and water. Rocky Mountain Research Station: USDA Forests Service. 1-17
- NMX-AA-132-SCFI-2006. DOF. 06/03/2017. Declaratoria de vigencia de la norma mexicana nmx-aa-132-scfi-2016, "Muestreo de suelos para la identificación y la cuantificación

- de metales y metaloides, y manejo de la muestra (cancela a la NMX-AA-132-SCFI-2006)
- NMX-FF-109-SCFI-2008 DOF 2008. Humus de lombriz (Lombricomposta)-especificaciones y métodos de prueba.
- NOM-021-SEMARNAT-2000 DOF 2002. Norma Oficial Mexicana, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis. 31 de diciembre de 2002. 85 p.
- Norton B. G. 1986. The Preservation of Species: the value of biological diversity. Princeton University Press, Princeton. Biodiversity conservation. XI. 79-109. 305 p.
- Olvera-Vargas, M., Figueroa-Rangel, B. L., Vázquez-López, J. M. 2010. Is there environmental differentiation in the *Quercus* dominated forests of west-central Mexico? *Plant Ecology*. 211:321-335.
- Olvera-Vargas, M., Figueroa-Rangel, B.L. 2012. Caracterización estructural de bosques montanos dominados por encino en el centro-occidente de México. *Ecosistemas* 21(1-2):74-84. Consultada 15/11/2015. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=54026849006>.
- Ordaz, H. Juan Carlos. 2003. Análisis de la calidad del carbón vegetal de encino producido en horno tipo colmena brasileño en Huayacocotla, Veracruz. Tesis Licenciatura. UACH, DICIFO. Chapingo, México. 74 p.
- Ordóñez, D. J. A. B., Galicia, N. A., Venegas, M. N. J., T. Hernández, T., M.J. Ordóñez, D. y R. Dávalos-Sotelo. 2015. Densidad de las maderas mexicanas por tipo de vegetación con base en la clasificación de J. Rzedowski: compilación. *Madera y Bosques*. 21:77-126.
- Osorio, G. I., Rosero, C. J. 2013. Efectos de los incendios forestales en las propiedades del suelo. Estado del arte. Cuaderno activa. *Revista Científica de la Facultad de Ingeniería. Tecnológico de Antioquía, Colombia*. 5: 59-67.
- Parkin, T.B., J.W. doran, E. Franco-Vizcaino. 1996. Field and laboratory tests of soil respiration. P. 231-246. In: J.W. Doran and A.J. Jones (eds.) *Methods for assessing soil quality*. Soil Sci. Soc. Am. Spec. Publ. 49. SSSA, Madison, WI.
- Pereira, P. y Úbeda X. 2010. Spatial variation of heavy metals released from ashes after a wildfire. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*. 18: 13-22.
- Pérez-Cabello, F., Montorio, F., Palacios, V., García-Martín, A., de la Riva, J.R., Echeverría, M.T., Ibarra, P., Lasanta, T. 2010. Seguimiento de la evolución hidro-geomorfológica postincendio. El sistema FDARE de captura y análisis automatizado de fotografías verticales. En: A. Cerdà y A. Jordán (Eds.), *Actualización en métodos y técnicas para el estudio de los suelos afectados por incendios forestales*. Cátedra Divulgación de la Ciencia - FUEGORED. Universidad de Valencia. España. 405-417.
- Pérez, G. C.A., López, B. J., Vela, C. G. 2008. Influencia del relieve en las propiedades de un suelo afectado por incendio en el volcán El Pelado, Centro de México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*. 69: 7-20.
- Pérez, M. F.J., Compeán, G. F.J. 1989. Características físico-químicas y de producción en carbón de tres tipos de leñas de Durango. In: *Memorias de Primera Reunión sobre Dendroenergía*. División de Ciencias Forestales, Chapingo, México. 176–184.
- Pérez, Olvera Carmen de la Paz. 2000. Relación estructura propiedades físico-mecánicas de la madera de algunas especies de encinos (*Quercus*) mexicanos. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias. UNAM. México, D.F. México. 266 p.
- Pérez-De la Paz, C., R. Dávalos. 2008. Algunas características anatómicas y tecnológicas de la madera de 24 especies de *Quercus* (encinos) de México. *Madera y Bosques* 14(3):43-80.

- Philippot, L., J. C. Germon. 2005. Contribution of bacteria to initial input and cycling of nitrogen in soils. pp. 159-176. In: F. Buscot and A. Varma (eds.). *Microorganisms in soils: roles in genesis and functions*. Soil Biology. Springer-Verlag. Heidelberg, Germany.
- Pietikäinen, J., Fritze, H. 1995. Clear-cutting and prescribed burning in coniferous forest: comparison of effects on soil fungal and total microbial biomass, respiration activity and nitrification. *Soil Biology & Biochemistry* 27: 101-109.
- Porrero, R. M. A. 2001. Incendios forestales. Investigación de causas Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 158 p.
- Prieto Fernández, A. 1996. Ecosistemas forestales quemados: dinámica del nitrógeno y de la biomasa microbiana edáficos. Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela. Instituto de Investigaciones Agrobiológicas de Galicia (CSIC). 322 p.
- Prieto-Fernández, A.; Carballas, M.; Carballas, T. 2004. Inorganic and organic N pools in soils burned or heated: immediate alterations and evolution after forest wildfires. *Geoderma*, 121: 291-306.
- PROFEPA (Procuraduría Federal de Protección al Ambiente). 2009. Dirección general de inspección y vigilancia forestal. Dirección de verificación técnica forestal. Determinación del coeficiente de transformación para la obtención de carbón vegetal a partir de especies tropicales duras en el Estado de Campeche. 11p.
- PROFEPA (Procuraduría Federal de Protección al Ambiente). 2017. Dirección general de inspección y vigilancia forestal. Información proporcionada a solicitud de escrito de fecha 10 de abril de 2017.
- Ramírez-Marcial N, González-Espinosa M, Williams Linera G. 2001. Anthropogenic disturbance and tree diversity in montane rain forest in Chiapas México. *For. Ecol. Manage.* 154: 311-326.
- Riaño, M, O., Lizarazo, I. 2017. Estimación del volumen de madera en árboles mediante polinomio único de ahusamiento. *Colombia Forestal*. 20(1): 55-62.
- Robichaud, P. R., Hungerford, R. D. 2000. Water repellency by laboratory burning of northern Rocky Mountain forest soils. *Journal of Hydrology*. 207-219, 231-232.
- Robichaux, D. 2007. Familias mexicanas en transición unas miradas antropológicas. Universidad Iberoamericana. México. 395 p.
- Rodríguez, A., R., A.M. Ramírez, A., H. Palacios, J., F.J. Fuentes, T, J.A. Silva, G y A.R. Saucedo C. 2015. Características anatómicas, físico-mecánicas y de maquinado de la madera de mezquite (*Prosopis velutina* Wooton). *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 6(28):156-173.
- Rodríguez, F. H., Rodríguez A. J. 2002. Métodos de análisis de suelos y plantas. Ed. Trillas, México, D.F. 196 p.
- Rodríguez-Trejo, D. A. 1996. Incendios forestales. Universidad Autónoma Chapingo y Editorial Mundi Prensa. México, D. F.
- Rojas, G. F., Villers, R. L. 2008. Estimación de la biomasa forestal del Parque Nacional Malinche: Tlaxcala-Puebla. *Revista Ciencia Forestal en México*. 33 (104): 59-86.
- Romahn, D. C. F. 1992. Principales productos forestales no maderables de México. Libro. Universidad Autónoma Chapingo. Edo de México. 125-161.
- Romanya, J. 1993. Phosphorus cycling in fast growing forest plantations: availability, plant uptake and the role of forest floor. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona.
- Romero B. C., García G. E., Hernández A. E. 2015. Materia orgánica y densidad aparente en suelos del suroeste de la Malinche, Tlaxcala, México. *Revista Iberoamericana de Ciencias*. 2 (5): 63-70.
- Rubio, G. A. M. 2010. La Densidad aparente en suelos forestales del Parque Natural Los Alcornocales. Escuela Universitaria de ingeniería técnica agrícola. Universidad de Sevilla. Instituto de recursos naturales y Agrobiología de Sevilla consejo superior de

- investigaciones científicas. Trabajo de fin de carrera para optar al título de Ingeniero técnico agrícola. 88 p.
- Rubio, L. Liliانا E., Romero, R. Silvia., Rojas, Z. E. Carlos. 2011. Estructura y composición florística de dos comunidades con presencia de *Quercus* (Fagaceae) en el estado de México. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 17(1): 14 p.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa. México, D.F. 432 p.
- Rzedowski, J. 1992. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. Ciencias número especial 6:47-56.
- Sacchi, G., Campitelli, P., Soria, P. y Ceppi, S. 2015. Influencia de temperaturas de calentamiento sobre propiedades físicas y químicas de suelos con distinto material parental y uso antrópico. 5(3) 03: 214-226.
- Salas, A. M., E. T. Elliott, D. G. Westfall, C. V. Cole, and J. Six. 2003. The role of particulate organic matter in phosphorus cycling. Soil Sci. Soc. Am. J. 67: 181–189.
- Santacruz, G. N., Espejel, R. A. 2004. Los encinos (*Quercus*) de Tlaxcala, México. Centro de Investigación Interdisciplinaria Sobre el Desarrollo Regional. UAT. México. 83p.
- Sardans, J., J. Peñuelas. 2005. Disponibilidad y uso del fósforo en los ecosistemas terrestres mediterráneos. La inspiración de Margalef. Ecosistemas. 14: 29–39.
- SAS institute Inc. 2002. SAS/STAT 9.0 User's Guide. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA.
- Schoonover, J. E., Crim, J. F. 2015. An Introduction to Soil Concepts and the Role of Soils in Watershed Management. Universities Council on Water resources Journal of Contemporary Water Research Education. 154: 21-47.
- Secretaría de Energía. 2012. Prospectiva de energías renovables 2012-2026. Sener, Gobierno Federal. México. 156 p.
- SEMARNAT. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2007. Anuario Estadístico de la Producción Forestal. México. 224 p.
- SEMARNAT. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2011. Anuario Estadístico de la Producción Forestal. México. 224 p.
- SEMARNAT. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2017. Autorizaciones vigentes en la Delegación para la transformación de madera en rollo en carbón vegetal con soporte en un programa de manejo forestal. Tlaxcala. 2 p.
- Serrasolsas, I., Khanura, P. K. 1995. Changes in heated and autoclaved forest soils of S. E. Australia: I. Carbon and nitrogen. Biogeochemistry. 29. 3-24.
- Servicio Forestal Integral S. A. de C. V. 2004. Determinación del coeficiente de transformación de madera de encino m<sup>3</sup> en carbón. Zacualtipán, Hidalgo. Reporte técnico. RNF sec. 4 L2N 1/F13 No. 24. 24p.
- Silva, A. F.M., Návar, Ch. J de J. 2012. Estimación de la densidad de madera en árboles de comunidades forestales templadas del norte del estado de Durango, México Revista: Madera y Bosques. 18(1): 77-88.
- Silva, G., J., F. Fuentes, T., R. Rodríguez, A., P. Torres, A., M. Lomelí, R., J. Ramos, Q., C. Waitkus y H.G. Richter. 2010. Fichas de Propiedades tecnológicas y usos de maderas nativas de México e importadas. 207 p. Disponible en <http://www.conafor.gob.mx/biblioteca/catalogo-maderas-tomo2.pdf>.
- Smith, D.M. 1956. Effect of growth zone on specific gravity and percentage of summerwood in wide ringed, second – growth Douglas – fir. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory Madison, WI. Report No. 2057. 10 p.
- Soil Survey Staff. 2014. Keys to Soil Taxonomy, 12th edition. U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
- Sotomayor, C., J. R. 2008. Tabla FITECMA de clasificación de características mecánicas de maderas mexicanas, Morelia México. Facultad de Ingeniería y Tecnología de la

- madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia. Consultada 22/09/2015.  
[www.academia.edu/6820211/Tabla\\_FITECMA\\_de\\_Clasificación\\_de\\_Maderas\\_Mexicanas](http://www.academia.edu/6820211/Tabla_FITECMA_de_Clasificación_de_Maderas_Mexicanas).
- SSDA, 1993. Triángulo textural de suelos. USDA.
- Tamarit, J.C., M. Fuentes-Salinas. 2003. Parámetros de humedad de 63 maderas latifoliadas mexicanas en función de su densidad básica. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 9(2):155-164.
- Toledo, C. 1984. Diagnóstico ecogeográfico y ordenamiento ambiental del municipio de Alcozauca, Guerrero.
- Toledo V.M., Ordóñez M.J. 1993. The biodiversity scenario of Mexico: a review of terrestrial habitats. En: Ramamoorthy T.P., Bye R., Lot A. y Fa J. Eds. Biological Diversity of Mexico: Origins and Distribution, pp. 757-777, Oxford University Press, Nueva York.
- Toledo, V. M., Ordoñez, M. J. 1998. El panorama de la biodiversidad de México; una revisión de los hábitats terrestres. En: Ramamoorthy T. P., Bye R., LOT A. y Fa J. Diversidad biológica de México. Orígenes y distribución. 1ra Edición en español. Universidad Nacional Autónoma de México. D.F. México. Pp. 739-757.
- Torelli, J. 1982. Estudio promocional de 53 especies forestales tropicales mexicanas. SARH-INIF. México. 73 p.
- Torres, M., Lizarazo. L. 2006. Evaluación de grupos funcionales del ciclo del C, N y P y actividad de la fosfatasa ácida en dos suelos agrícolas del departamento de Boyacá. Agronomía Colombiana. 24(2): 317-325.
- Úbeda, X. 2001. Influencia de la intensidad de quemado sobre algunas propiedades del suelo después de un incendio forestal. Edafología. 8: 41-49.
- Úbeda, X., Bernia, S. y Simelton, E. 2005: The long-term effects on soil properties from a forest fire of varying intensity in a Mediterranean environment En: Catchment Dynamics and river processes: Mediterranean and other climate regions (García, C. y Batalla, R. J. coord.). Amsterdam, Edit. Elsevier. 87-102.
- Ulery, A. L., Graham, R. C. 1993. Forest fire effects on soils color and texture. Soil Sci Soc. Am. J. 57:135-140.
- USDA (Departamento de Agricultura de Estados Unidos). 1999. Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. Departamento de agricultura, Servicio de investigación agrícola, Servicio de conservación de recursos naturales e Instituto de calidad de suelos. 142 p. Consultada 10/06/216.  
[https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/nrcs142p2\\_051913.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051913.pdf)
- UNAM y CONAFOR 2012. Memorias del Taller regional "Producción sustentable de carbón vegetal: aspectos técnicos y legales". Morelia Michoacán. 145 p. Disponible en: [aghilardi@ciga.unam.mx](mailto:aghilardi@ciga.unam.mx)
- Valencia, S., López, F. 1999. Variación de la densidad de la madera dentro y entre árboles de *Pinus rudis* Endi, en Sierra las Alazanas, Arteaga Coah. Foresta-AN. Nota técnica No. 1. UAAAN Saltillo, Coahuila. 17 p.
- Valencia A., S. 2004. Diversidad del género *Quercus*(Fagaceae) en México. Boletín de la Sociedad Botánica de México. 75:33-53.
- Varela, T., M. E. 2007. Efectos de los incendios forestales en la degradación física de los suelos. Tesis Doctoral. Universidad de Vigo. Departamento de Biología Vegetal y Ciencia del Suelo. Facultad de Biología. 269 p.
- Varenes, A. 2003. Produtividade dos solos e ambiente. Escolar Editora. Lisboa.
- Vázquez-Cuecuecha, O., Zamora-Campos, E., García-Gallegos, E., Ramírez-Flores, J. A. 2015. Densidad básica de la madera de dos pinos y su relación con las propiedades edáficas. Maderas y bosques. 21: 129-138.

- Vazquez, F.J., Acea, M.J., Carballas, T. 1993. Soil microbial population after wildfire. *FEMS Microbiology Ecology*.13: 93-104.
- Vázquez-G. J. A. y Givnish, T. J. 1998. Altitudinal gradients in tropical forest composition, structure, and diversity in the Sierra de Manantlán. *Journal of Ecology* 86:999-1020.
- Vélez, R. 2000. La defensa contra los incendios forestales. *Fundamentos y Experiencias*. Mc Graw Hill. Madrid, España. 1800 p.
- Vetaas, O. R. 1997. The effect of canopy disturbance on species richness in a central Himalayan oak forest. *Plant Ecology*. 132: 29-38.
- Villers-Ruiz, María de Lourdes. 2006. Incendios forestales. *Ciencias*. 81: 60-66.
- Villers-Ruiz, L., Peña del Valle-Isla, A. E., Rojas-García, F. 2009. Políticas forestales en la Malinche. La captura de carbono como una alternativa de desarrollo local. En: Castro-Pérez F. y Tucker T.M. (Coord.). *Matlalcuéyetl: visiones plurales sobre cultura, ambiente y desarrollo*. Tomo II El Colegio de Tlaxcala, A. C.- CONACyT – Mesoamerican Research Foundation. Pp. 341-366.
- Walkley, A., Black, I. A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*. 37: 29-38.
- Walker J., R Raison, P Khanna. 1986. Fire. Pp.185-216. En: Ressel, Isbell (eds.) *Australian Soils. The human impact*. University of Queensland Press. St. Lucia.
- Zagal, E. N., Rodríguez, I. V., Quezada, L. 2002. Actividad microbiana en un suelo de origen volcánico bajo distinto manejo agronómico. *Agric. Téc. Chile*. 62: 297-309.
- Zamora-Campos, E. M., Vázquez-Cuecuecha, O. G., Pérez, A. A., Cano, F. R., Aparicio, R. A., Fernández, P. E. 2007. Variación natural de la densidad de la madera en *Pinus montezumae* Lamb. en tres altitudes del parque nacional la Malinche, Tlaxcala, México *Foresta Veracruzana. Recursos Genéticos Forestales Xalapa, México*. 9(2): 33- 37.
- Zamora, C. E. M. 2012. Determinación de la densidad básica de la madera. En *Manual de Técnicas en Genética y Ambiente*. Universidad Autónoma de Tlaxcala. pp 145-155.
- Zavala, C.F. 1998. Observaciones sobre la distribución de encinos en México. *Polibotánica*. 8: 47-64.
- Zobel, B. J., J. T. Talbert. 1988. *Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales*. Limusa. México. 545 p.
- Zobel, B. J., J. P. VanBuijtenen. 1989. *Wood variation, its causes and control*. Springer-Verlag. Alemania. 363 p.

## 12 ANEXOS

### ANEXO 1

Clasificación de la madera según su densidad básica (Fuentes, 1995).

Densidad básica (g cm <sup>-3</sup> )	Clasificación
Menos de 0.2	Extremadamente liviana
0.20 - 0.25	Excesivamente liviana
0.25 – 0.30	Muy liviana
0.30 - 0.36	Liviana
0.36 – 0.42	Moderadamente liviana
0.42 – 0.50	Moderadamente pesada
0.50 – 0.60	Pesada
0.60 – 0.72	Muy pesada
0.72 – 0.86	Excesivamente pesada
0.86 ó más	Extremadamente pesada

## ANEXO 2

### Permiso para derribo de árboles (SEMARNAT)

**SEMARNAT**

SECRETARÍA DE  
MEDIO AMBIENTE  
Y RECURSOS NATURALES



DELEGACIÓN FEDERAL TLAXCALA

OFICIO: DFT/R/1865/2015  
ASUNTO: Respuesta a solicitud.

Tlaxcala, Tlax. a 22 de Julio de 2015.

"2015. Año del Generalísimo José María Morelos y Pavón"

C. MARÍA LUCIANA JOSEFA ROJAS ARCE  
CALLE HIDALGO N° 235  
BARRIO SAN ISIDRO BUENSUCESO  
SAN PABLO DEL MONTE

P R E S E N T E

En seguimiento a su escrito de fecha 26 de Junio del 2015 y al oficio N° F.OO.6.DRCEN.-0895/2015 emitido por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas de fecha 21 de Julio del 2015, mediante el que emite los lineamientos para el aprovechamiento de 15 árboles del genero *Quercus sp* (Encino), para realizar el proyecto denominado "Determinación del coeficiente de transformación de leña verde de encino para la elaboración de una tonelada de carbón vegetal, en el Parque Nacional Malinche", ubicado en el predio Huey Rastrojo, Barrio de San Isidro Buensuceso, Municipio de San Pablo del Monte, Tlax.

Sobre el particular, comunico a usted que conforme a las coordenadas tomadas de la visita en campo realizada por personal técnico adscrito a esta Delegación, el sitio donde se ubican los árboles incide en la Subzona de Uso Tradicional Tlaxcala-Puebla, conforme a Subzonificación del Programa de Manejo del Parque Nacional Malinche o Matlalcueyatl publicado en el Diario Oficial de la Federación el 3 de abril de 2013. Dentro de las actividades permitidas, la investigación científica es considerada viable para dicha Subzona.

De acuerdo a lo señalado por usted y en el reporte de verificación, los 15 árboles de la especie *Quercus sp.*, se encuentran vivos y en pie, con un volumen estimado de 11.659 m<sup>3</sup> R.T.A., los cuales se emplearan con fines de investigación para desarrollar el proyecto denominado, *determinación del coeficiente de transformación de leña verde de encino para la elaboración de una tonelada de carbón vegetal, a efectuarse por alumnos del Centro de Investigación en genética y Ambiente de la Universidad Autónoma de Tlaxcala. Con la finalidad de contar con la materia prima para determinar cuanta madera de encino se emplea en la elaboración de una tonelada de carbón vegetal, la superficie forestal aprovechada por la extracción y derribo del arbolado entre otras investigaciones.*

RVC/EFP/AGC/MSR



Calle 37 número 403, col. Loma Xicoténcatl C.P 90062, Tlaxcala,  
Tlax.  
Tel. (246) 46 50 300 www.semarnat.gob.mx

Asimismo, considerando que la finalidad de la investigación es congruente con los objetivos de conservación del Parque Nacional y su propuesta de manejo. Con fundamento en lo establecido en el Artículo 79, fracción IX del Reglamento Interior de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 50 de la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; el Decreto por el que se declara Parque Nacional la Malinche o Matlalcueyatl, de fecha 06 de octubre de 1938, y de acuerdo a la opinión técnica de la Dirección Regional de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas se considera viable la realización de los trabajos de investigación planeados, siempre y cuando se cumplan los siguientes lineamientos y condiciones:

1. El desarrollo de las actividades planteadas se efectuarán conforme a lo establecido en las Reglas administrativas contenidas en el apartado de investigación del Programa de Manejo del Área Natural Protegida, que a la letra dice:

De la investigación científica:

*Regla 22. Todo investigador que ingrese al Parque Nacional con el propósito de realizar colecta con fines científicos, deberá notificar previamente a la Dirección el inicio de sus actividades adjuntando una copia de la autorización con la que cuente, debiendo informar del término de sus actividades y hacer llegar una copia de los informes exigidos en dicha autorización.*

*Regla 23. Con el objeto de garantizar la correcta realización de las actividades de investigación científica y salvaguardar la integridad de los ecosistemas y de los investigadores, estos últimos deberán sujetarse a los lineamientos y condicionantes establecidos en la autorización respectiva, y observar lo dispuesto en el Decreto de establecimiento del Parque Nacional, el presente Programa de Manejo, la Norma Oficial Mexicana NOM-126-SEMARNAT-2000, por la que establece las especificaciones para la realización de las actividades de colecta científica de material biológico de especies de flora y fauna silvestre y de otros recursos biológicos en el territorio nacional y demás disposiciones legales aplicables.*

*Regla 24. Los investigadores no podrán extraer parte del acervo cultural e histórico del Parque Nacional, así como ejemplares de flora, fauna, fósiles, rocas o minerales, salvo que cuenten con la autorización por parte de las autoridades correspondientes.*

RVC/ EFP/HCS/MAR



**SEMARNAT**

SECRETARÍA DE  
MEDIO AMBIENTE  
Y RECURSOS NATURALES



DELEGACIÓN FEDERAL TLAXCALA

OFICIO: DFT/R/1865/2015

ASUNTO: Respuesta a solicitud.

Regla 25. Las colectas estarán restringidas a los sitios especificados en la autorización correspondiente y con apego a la subzonificación establecida en el Programa de Manejo.

Regla 28. El establecimiento de campamentos para actividades de investigación, quedará sujeto a los términos especificados en la autorización, así como cumplir en lo previsto por la regla 20.

Regla 20. Sólo se podrá acampar en las áreas destinada para tal efecto, y bajo las siguientes condiciones:

- I. No excavar, nivelar, cortar o desmontar la vegetación del terreno donde se acampe,
  - II. No erigir instalaciones permanentes de campamento.
2. Durante las actividades de derribo y elaboración del carbón vegetal, se aplicarán las siguientes medidas con el fin de evitar daños a la vegetación circundante y al suelo.
- En la selección de los arboles a derribar se deberá evitar la intervención de ejemplares en grupos, ya que en el sitio se observa baja densidad de arbolado.
  - El derribo deberá realizarse en forma direccional, evitando el arrastre de los fustes completos, por lo que el promovente efectuara la elaboración del producto de preferencia en el sitio de caída.
  - Los residuos generados durante la obtención de muestras y lo que pudieran encontrarse actualmente en los sitios de estudios, deberán acomodarse en sentido opuesto a la pendiente para contribuir a la retención del suelo, infiltración de agua y refugio de la fauna silvestre.
  - En caso de requerirse la elaboración del carbón vegetal en el mismo lugar donde se extraerá el arbolado, el promovente deberá considerar que la superficie esté libre de maleza, piedras y raíces.

RVC/ EFP/HCB/MRA



Calle 37 número 403, col. Loma Xicoténcatl C.P 90062, Tlaxcala, Tlax.

Tel. (246) 46 50 300 [www.semarnat.gob.mx](http://www.semarnat.gob.mx)



3. Como medida de compensación, el promovente deberá realizar la plantación dentro del predio de por lo menos 80 árboles de 0.5 mts. de altura de la especie *Quercus sp.*, que se distribuyan de forma natural en el lugar. Así como implementar acciones de cuidado y mantenimiento de la planta por un periodo mínimo de cinco años debiendo reponer los individuos que mueran.
4. El promovente instalara una manta en el sitio de trabajo, en el cual se dé a conocer que las actividades que se están realizando son parte de una investigación.
5. En la edición final del material generado, se indicara que el lugar donde se realizó la actividad de investigación corresponde a un Área Natural Protegida con carácter de Parqué Nacional decretado por el Gobierno Mexicano para conservar los recursos naturales.
6. Asimismo, deberá entregar a esta Delegación Federal un informe de las actividades de investigación realizadas dentro del Área Natural Protegida, así como copia de las publicaciones derivadas de esta.
7. El promovente será responsable de cualquier daño al Área Natural Protegida, así como de las restituciones o reparaciones que llegaran a requerirse como consecuencia de las actividades desarrolladas.
8. La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas y esta Delegación Federal, se libera de cualquier responsabilidad derivada por los daños que sufran en sus bienes, equipos o persona y aquellos causados a terceros, durante su estancia y desarrollo dentro del Parqué Nacional.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE  
Y RECURSOS NATURALES

ATENTAMENTE

EL DELEGADO FEDERAL

DELEGACION FEDERAL  
ESTADO DE TLAXCALA

LIC. RAMIRO VIVANCO CHEDRAUI

c.c.e.- Biol. Gloria Fermina Tavera Alonso. - Directora Regional de la CONANP.  
c.c.p.- Ing. Jaime Ramírez Rodríguez.- Delegado Federal de la PROFEPA.- Ciudad  
c.c.p.- Ing. Néstor Montañez Saucedo.- Coordinador General de Ecología del Estado de Tlaxcala. Ciudad

RVC: EFP/HCG/MAR



Calle 37 número 403, col. Loma Xicoténcatl C.P 90062, Tlaxcala,  
Tlax.

Tel. (246) 46 50 300 [www.semarnat.gob.mx](http://www.semarnat.gob.mx)

## ANEXO 3

### Información SEMARNAT

 SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES		DELEGACIÓN FEDERAL TLAXCALA Subdelegación de Gestión para la Protección Ambiental y Recursos Naturales <b>ASUNTO:</b> Respuesta a solicitud. Oficio: DFT/R/0763/2017		
"2017, Año del Centenario de la Promulgación de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos" Tlaxcala, Tlax., a 29 de marzo de 2017.				
<p>MSP. PATRICIA LIMÓN HUITRÓN COORDINADORA GENERAL DEL POSGRADO DRA. ELIZABETH GARCÍA GALLEGOS DIRECTORA DE TESIS KM. 10.5 AUT. SAN MARTÍN-TLAXCALA. IXTACUIXTLA, TLAX.</p>				
<p>En atención a solicitud s/n recibida el 22 de marzo del año en curso medinate el cual solicitan información sobre los permisos extendidos para la transformación de madera a carbón vegetal a nivel estatal, con el fin de reforzar el proyecto de investigación de tesis de la Biól. Zita Rodríguez Zamudio estudiante de maestría.</p>				
<p>Al respecto, derivado de la revisión de los expedientes que existen en esta Delegación sobre autorizaciones vigentes para la transformación de madera en rollo en carbón vegetal con soporte en un programa de manejo forestal, se encontró lo siguiente:</p>				
Nombre del predio	Municipio	Número de autorización	Volumen en m <sup>3</sup> vt.a. de Quercus spp. (Q. laurina, Q. rugosa, Q. crassipes), Alnus sp. Arbutus sp.	Volumen en toneladas de carbón vegetal
Tercera y última fracción del rancho denominado Tetzitzilica	Tlaxco	DFT/R/0480/2012 de 22 de marzo de 2012	551.7827	84.889646
Ejido San Antonio Mazapa	Calpulalpan	DFT/R/2221/2015 de 10 de septiembre de 2015	2,992.3007	498.716
Ejido Santo Tomás Apilpilhuasco	Calpulalpan	DFT/R/2809/2016 de 18 de octubre de 2016	5,811.796	1,162.3592
Ejido San Felipe Hidalgo	Nanacamilpa de Mariano Arista	DFT/R/0507/2017 de 2 de marzo de 2017	42.00	7.00

RVC/EEP/HCA/RGM

Calle 37 número 403, Colonia Xicohtécatl,  
Código Postal 90062, Ciudad de Tlaxcala, Tlax.  
www.semarnat.gob.mx

  
MÉXICO  
SEMARNAT

**SEMARNAT**

SECRETARÍA DE  
MEDIO AMBIENTE  
Y RECURSOS NATURALES



DELEGACIÓN FEDERAL TLAXCALA  
Subdelegación de Gestión para la Protección Ambiental y  
Recursos Naturales

**ASUNTO:** Respuesta a solicitud.  
Oficio: DFT/R0763//2017

Sin otro particular, reciban un cordial saludo.

ATENTAMENTE  
EL DELEGADO FEDERAL

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE  
Y RECURSOS NATURALES  
ESTADOS UNIDOS MEXICANOS  
DELEGACIÓN FEDERAL  
ESTADO DE TLAXCALA

LIC. RAMIRO VIVANCO CHEDRAUI

c.c.i.p. Subdelegado de Planeación y Fomento Sectorial. A fin de que se designe personal a su cargo para que haga entrega del presente oficio a su destinatario. PRESENTE.

RVC/EFB/HCC/RSM



Calle 37 número 403, Colonia Xicohténcatl, Código Postal 90062, Ciudad de Tlaxcala, Tlax. Tel. 246 46 5 03 04 [www.semarnat.gob.mx](http://www.semarnat.gob.mx)

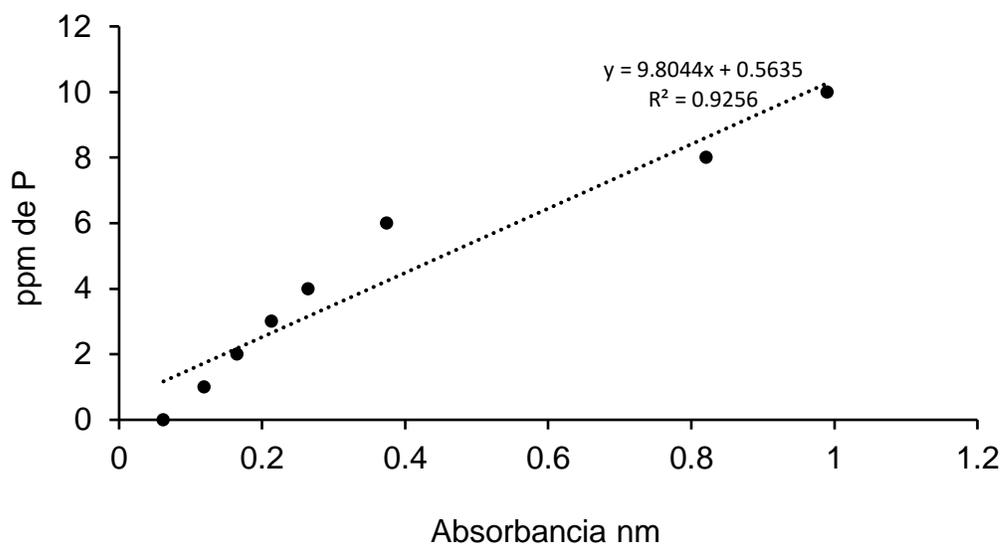


## ANEXO 4

Curva de calibración para determinación de fósforo extractable.

Solución de Fósforo 5 ppm <sup>a</sup>	Solución extractante <sup>b</sup>	Agua <sup>c</sup>	Ácido ascórbico	Concentración de Fósforo	Lectura (absorbancia) espectofotómetro
5 ppm <sup>a</sup>			mL		nm
0	5	40	5	0	0.062
1	5	39	5	1	0.119
2	5	38	5	2	0.165
3	5	37	5	3	0.213
4	5	36	5	4	0.264
5	5	35	5	5	0.317
6	5	34	5	6	0.374

<sup>a</sup> En matraz aforado de 50 mL, <sup>b</sup> según la alicuota que se tome, <sup>c</sup> la necesaria para tener aproximadamente 40 mL



## ANEXO 5

Límites permisibles en parámetros edáficos por la NOM-021-SEMARNAT-2000.

### pH

Clasificación	pH
Fuertemente ácido	< 5.0
Moderadamente ácido	5.1 – 6.5
Neutro	6.6 – 7.3
Medianamente alcalino	7.4– 8.5
Fuertemente alcalino	>8.5

### Densidad aparente

Tipos de suelo	g cm <sup>-3</sup>
Orgánicos y volcánicos minerales	Menor de 1.00
Arcillosos	1.0 – 1.19
Francosos	1.20 – 1.32
Arenosos	Mayor a 1.32

### Materia orgánica

Clase	Materia orgánica %	
	Suelos volcánicos	Suelos no volcánicos
Muy bajo	< 4.0	< 0.5
Bajo	4.1 – 6.0	0.6 – 1.5
Medio	6.1 – 10.9	1.6 – 3.5
Alto	11.0 – 16.0	3.6 – 6.0
Muy alto	>16.1	>6.0

### Fósforo extraíble Bray y Kurtz 1

Clase	mg kg <sup>-1</sup> de P
Bajo	< 15
Medio	15 -30
Alto	>30

## Capacidad de Intercambio Catiónico

Grupo	CIC (Cmol(+) kg <sup>-1</sup> )
Caolinitas	3 – 15
Esmectitas	80 – 150
Micas hidratadas	10 – 40
Vermiculitas	100 – 150
Cloritas	10 - 40

Clase	CIC (Cmol(+) kg <sup>-1</sup> )
Muy alta	>40
Alta	25 – 40
Media	15 – 25
Baja	5 – 15
Muy baja	>5

Clase	CIC (Cmol(+) kg <sup>-1</sup> )		
	Ca	Mg	K
Muy baja	Menor 2	Menor 0.5	Menor 0.2
Baja	2 - 5	0.5 – 1.3	0.2 – 0.3
Media	5 – 10	1.3 – 3.0	0.3 – 0.6
Alta	Mayor 10	Mayor 3.0	Mayor 0.6

## Conductividad eléctrica

CE dS m <sup>-1</sup> a 25°C	Efectos
< 1.0	Efectos muy despreciables de la salinidad
1.1 – 2.0	Muy ligeramente salino
2.1 – 4.0	Moderadamente salino
4.1 – 8.0	Suelo salino
8.1 – 16.0	Fuertemente salino
>16.0	Muy fuertemente salino