

Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco  
División de Ciencias Biológicas y de la Salud  
Departamento de Producción Agrícola y Animal  
Licenciatura en Agronomía

## **Informe de Servicio Social**

### **Combustibles forestales como índice de riesgo de incendios en El Tejocote, Coatillo y Las Torres en el Volcán Pelado**

Estudio de carga de combustibles forestales para prevención de incendios en Topilejo, alcaldía  
Tlalpan, Ciudad de México.

Prestador de Servicio Social  
Martínez Andrés Magaly  
Matrícula 2152026118

Asesores:

Dr. Daniel Ruíz Juárez  
No. Económico 29691

Firma: 

M. en C. Gutiérrez Rojas Mónica  
Cédula 12113168

Firma: 

Lugar de Realización: Laboratorio de Preparaciones del Departamento de Producción Agrícola y  
Animal. UAM- Xochimilco

Periodo de realización: 20/Septiembre/2019 al 20/Marzo/2020

## RESUMEN

En lo que va del año se han registrado 6,537 incendios forestales, afectando una superficie de 581,617 (ha). De esta superficie, el 92% correspondió a vegetación en los estratos herbáceo y arbustivo y 8% a arbóreo. La falta de información sobre la cantidad de biomasa forestal ocasiona que se tomen malas decisiones para ejecutar estrategias de manejo de incendios forestales, por lo que es importante realizar una caracterización del combustible para reducir los casos de incendios. En esta investigación se evaluaron y caracterizaron los combustibles forestales en los parajes El Tejocote, Coatillo y Las Torres en el Volcán Pelado de alcaldía Tlalpan, Ciudad de México. Se utilizó la técnica de intersecciones planares propuesta por Brown (1974) adaptada para México por Sánchez y Zerecero (1983). En el punto de muestro, con dirección al norte se colocó una cuerda de 12 metros, donde se marcaron 2 m y 4 m, del material leñoso se midió el diámetro, en los primeros dos metros se registraron todas las horas de retardo (1 h, 10 h, 100 h y 1,000 h). Los resultados mostraron que el combustible con más carga fueron las herbáceas con 11.39 t/ha, seguido de la hojarasca con 7.00 t/h y de los combustibles maderables, el que obtuvo mayor carga fue el de 100 h con 3.19 t/ha, los más bajos fueron los combustibles firmes de 1,000 h con 0.02 t/ha. Para mayor precisión de los posibles detonantes y acumulación de incendios, es necesario tener datos certeros del incendio. Dentro de la zona se debe contar con un mapa de riesgo para especificar los posibles incendios forestales y, pronosticar la temporada de incendios. Además tomar en cuenta factores abióticos como la precipitación, humedad relativa, temperatura, viento y topografía.

# Índice

I. INTRODUCCIÓN .....	4
II. JUSTIFICACIÓN .....	5
III. OBJETIVOS.....	5
4.1 General .....	5
4.2 Específicos .....	5
IV. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
3.1 Combustible forestal.....	5
3.1.1 Estimación de Combustibles Forestales .....	7
3.2 Incendio forestal .....	7
3.3 Índice de riesgo .....	9
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	9
5.1 Área de estudio.....	9
5.2 Variables medidas .....	10
5.3 Diseño de Muestreo.....	10
5.4 Secado de materiales .....	12
5.5 Análisis de datos.....	12
VI. ACTIVIDADES REALIZADAS .....	14
VII. OBJETIVOS ALCANZADOS .....	14
VIII. METAS CUMPLIDAS .....	14
IX. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	15
9.1 Combustible maderable.....	15
9.2 Combustibles no maderables.....	16
X. CONCLUSIONES.....	18
XI. BIBLIOGRAFÍA.....	19

## I. INTRODUCCIÓN

Las zonas forestales son imprescindibles para la vida en el planeta, forman parte de los ciclos de producción y distribución del agua, regulan la temperatura y humedad con lo que se equilibra el clima y suministran amplio rango de beneficios ambientales, adicionalmente a los bienes valiosos como madera, fibras, leña, plantas comestibles, medicinales y recreación (Ventura, 2015).

Durante los últimos años los ecosistemas de México se han visto perturbados por los incendios forestales que se presentan año tras año, siendo un factor ecológico y uno de los fenómenos más frecuentes, sobre todo en épocas de sequía, donde el riesgo de incendios aumenta, principalmente por acumulación de combustible orgánico seco (Ventura, 2015; Díaz *et al.*, 2012).

De acuerdo con datos de la CONAFOR (2019), en 2019 (del 01 de enero al 05 de septiembre) se registraron 7,282 incendios forestales en 32 entidades federativas, afectando una superficie de 599,152 hectáreas (ha). Mientras que en el periodo del 01 de enero al 26 de agosto del 2021 se registraron 6,537 incendios forestales en 32 entidades federativas, afectando 581,617 ha (CONAFOR, 2021). De esta superficie, el 92% correspondió a vegetación en los estratos herbáceo y arbustivo y 8% a arbóreo. En la Ciudad de México la superficie afectada fue de 4,124 ha, donde los estratos más afectados fueron herbáceo con 3,822 ha y arbustivo con 269 ha.

Los incendios contribuyen directamente en el incremento de bióxido de carbono en la atmósfera y en la deforestación, con consecuencias como erosión de suelos o cambio en la estructura y composición de los bosques (Villers, 2006). Para que un incendio se desarrolle se necesita la interacción de factores biológicos que influyen en la ocurrencia y comportamiento de incendios forestales, estos factores son principalmente el clima, tiempo atmosférico, topografía del lugar y material combustible (Díaz *et al.*, 2012).

La información acerca de los combustibles forestales, como son la condición, tamaño, cantidad y contenido de humedad son indispensables para conocer el nivel de acumulación de combustible en una zona, ya que la intensidad del incendio depende de la cantidad de material depositado (Villers, 2006). Dicha información permite tener propuestas para el control y combate de incendios, además de ayudar a establecer áreas prioritarias de atención (Morfín *et al.*, 2012).

Por lo que en esta investigación se pretende evaluar y caracterizar los combustibles forestales como índice de riesgo de incendios forestales en los parajes El Tejocote, Coatillo y Las Torres, en el Volcán Pelado de alcaldía Tlalpan, Ciudad de México.

## **II. JUSTIFICACIÓN**

La Ciudad de México se localiza en suelo de conservación, el cual ocupa más del 50% del territorio de la ciudad. Dentro de este territorio se encuentra la alcaldía Tlalpan, que cuenta con variedad de vegetación dominante como bosques de oyamel, pino, encino y mixto; matorral inerte; pastizal y vegetación secundaria. Sin embargo, en los últimos años se ha provocado daño ecológico en estas zonas forestales por incendios como posible consecuencia del cambio climático, la apertura de actividades agrícolas y deforestación, poniendo en riesgo la permanencia de vegetación nativa.

La falta de información sobre la cantidad de biomasa forestal ocasiona que se tomen malas decisiones para ejecutar estrategias de manejo de incendios forestales, en este sentido, es importante caracterizar los combustibles agregados en zonas de conservación, para reducir los casos de incendios, conocer la distribución espacial de los combustibles, prevenir y controlar los posibles siniestros (Xelhuantzi *et al.*, 2011), de lo contrario se podría afectar aún más la capacidad de recarga de mantos acuíferos, aumentaría la deforestación, contaminación ambiental y efectos del cambio climático.

## **III. OBJETIVOS**

### **4.1 General**

Evaluar y caracterizar los combustibles forestales como índice de riesgo de incendios en los parajes El Tejocote, Coatillo y Las Torres en el Volcán Pelado de la alcaldía Tlalpan, Ciudad de México.

### **4.2 Específicos**

- Determinar la carga de combustible por tiempo de retardo y profundidad de hojarasca, capa de fermentación y musgo.
- Caracterizar combustibles vivos y muertos en el área de estudio.
- Identificar áreas con mayor probabilidad de incendio dentro de los parajes.

## **IV. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **3.1 Combustibles forestales**

Los materiales combustibles influyen directamente en el comportamiento del fuego, por lo que constituyen una variable importante para definir el peligro de incendios forestales. Las

características del combustible, después que la planta ha muerto son las que hacen posible que ocurra el incendio forestal (Renteria, 2004).

Los combustibles son cualquier sustancia o compuesto susceptible de encenderse y mantener el proceso de combustión, éstos se encuentran en los montes y están disponibles para la combustión en incendios forestales (Morfín *et al.*, 2012; FAO, S.F), se pueden dividir en vivos y muertos y están constituidos por materiales leñosos y ligeros; los combustibles vivos son las hierbas, matorrales y plantaciones, los combustibles muertos se encuentran sobre el suelo, como hojas secas, pasto seco, cortezas y ramas caídas (Morfín *et al.*, 2012; Díaz, 2012).

La condición, tamaño, cantidad y contenido de humedad de los combustibles son componentes indispensables para saber cómo se queman. Cuanto mayor sea la acumulación de combustible en una zona, mayor será la cantidad de calor que podrá desprenderse y el incendio será intenso (Villers, 2006).

Los combustibles muertos funcionan como factores de ignición de los combustibles vivos, habitualmente a través de hierbas y arbustos, que sirven como escalera en el paso del fuego, permitiendo la propagación de incendios de grandes dimensiones (Chávez *et al.*, 2016).

De acuerdo con Nájera (2015) existen 4 estratos de combustible:

1. Subterráneos: raíces, hojas, ramillas y otros materiales que se encuentran en el suelo mineral.
2. Superficiales: compuestos por hojas, acículas, ramas, ramillas, arbustos o árboles jóvenes y troncos que se encuentran dentro de metro y medio de altura sobre el suelo.
3. Aéreos: ramas (en el fuste del árbol), follaje y musgo, que se encuentran a más de metro y medio de altura sobre el suelo.
4. Combustibles de continuidad vertical: los combustibles que forman una escalera desde el suelo del bosque hacia las copas de los árboles, como ramas extendidas cerca del suelo, arbustos, agujas secas colgantes y árboles jóvenes en el sotobosque.

Los combustibles forestales se clasifican de acuerdo con el peso, tamaño, estado de descomposición y ubicación. Sin embargo, la clasificación más utilizada es de acuerdo con el tiempo de retardo (Cuadro 1), es decir, el tiempo que una partícula alcanza el contenido de humedad de equilibrio. Entre más grande sea el combustible perderá o ganará humedad lentamente, tendrá mayor tiempo de retardo (Díaz *et al.*, 2012).

La humedad de los combustibles muertos depende del tamaño y grosor, asimismo, existe relación directa entre la superficie del combustible y volumen de agua que presentan, esto es, a mayor superficie expuesta al ambiente, mayor cantidad de humedad absorberá de éste. Se ha determinado que, en general, cuando los combustibles muertos tienen un contenido de humedad por debajo del 25% estarán disponibles para arder (Wong y Villers, 2007).

**Cuadro 1.** Clasificación de combustibles maderables

<b>Diámetro (cm)</b>	<b>Tiempo de retardo (h)</b>	<b>Tamaño/Peso</b>
0 – 0.5	1	Finos/Livianos
0.6 – 2.5	10	Pequeños/Ligeros
2.6 – 7.5	100	Regulares/Medianos
> 7.6	1,000	Grandes/Pesados

### **3.1.1 Estimación de Combustibles Forestales**

Para medir la biomasa se utiliza la metodología de intersecciones planares propuesta por Brown (1974) adaptada para México por Sánchez y Zerecero (1983). Consiste en contar los combustibles interceptados por línea y se clasifican por tiempo de retardo.

Díaz *et al.* (2012) mencionan algunas reglas básicas de esta metodología:

1. La medición de estos combustibles debe comprender el material leñoso muerto (ramillas, tallos, ramas o tocones) de árboles y arbustos, que hayan caído a la superficie del suelo y que se han separado de la fuente original de crecimiento. Por tanto se omitirán las ramas muertas que están fijadas a los troncos de árboles en pie.
2. Se consideraran las ramas o ramillas que estén dentro o sobre la capa de hojarasca. Sin embargo, no serán medidas si la ramilla se encuentra dentro de la capa de humus.
3. Si el plano de muestreo intercepta la parte final de una troza, esta sólo se medirá si el plano de muestreo cruza el eje central de la misma.
4. No se medirán aquellas piezas cuyo eje central coincida exactamente con la línea de muestreo, lo cual ocurre raramente.
5. Si el plano de muestreo intercepta más de una vez una pieza curvada, se medirá cada intersección.
6. Si se encuentran astillas y trozas dejadas después del aprovechamiento, se debe visualizar la forma de estas piezas dentro de cilindros para determinar el tamaño de clase o registrar los diámetros.
7. Se deben medir los tocones enraizados o no, que no estén cubiertos por tierra, para lo cual se considera a los tocones no fijos como troncos de árboles o raíces individuales, dependiendo de donde son interceptados por la línea de muestreo. No se deben medir tocones sin alteración.

### **3.2 Incendio forestal**

Los incendios forestales son fenómenos naturales y constantes en los ecosistemas terrestres, en conjunto con plagas y enfermedades son causas de mortalidad de árboles, convirtiéndose en

factores importantes de la degradación y deforestación (Díaz *et al.*, 2012; Rojas *et al.*, 2015). Estos son el resultado de la propagación incontrolada del fuego en zonas boscosas. Provocan la combustión de la vegetación (árboles, matorrales, pastizales y tierras de cultivo) y puede originarse por causas naturales o humanas (Plana *et al.*, 2016).

El incendio ocurre cuando el fuego se extiende de manera descontrolada y afecta bosques, selvas o la vegetación de zonas áridas y semiáridas (CONAFOR, 2014).

Para que inicie el incendio forestal deben estar presentes tres elementos, fuente de calor, combustible y oxígeno (CONAFOR, 2014; Plana *et al.*, 2016). Si uno de los tres elementos no está presente, la reacción de combustión no puede comenzar (Plana *et al.*, 2016). Una vez que se enciende el fuego, la propagación está influenciada por tres factores, tipo de combustible, clima y topografía (CONAFOR, 2014; Plana *et al.*, 2016). Dependiendo de la combinación de estos factores, el comportamiento del fuego será o no severo (Plana *et al.*, 2016). Por ejemplo, pendientes pronunciadas (topografía), altas temperaturas, fuerte velocidad del viento (clima) y alta carga de combustible (vegetación) generan tasas de fuego de alta intensidad (Plana *et al.*, 2016; Rojas *et al.*, 2015).

La Comisión Nacional Forestal (2014) y Földi y Kuti (2016) mencionan que existen 3 tipos de incendios forestales:

1. Incendios superficiales: cuando el fuego se propaga en forma horizontal sobre la superficie del terreno y alcanza hasta metro y medio de altura. Éstos afectan combustibles vivos y muertos como pastizales, hojas, ramas, ramillas, arbustos o pequeños árboles de regeneración natural o plantación, troncos, humus, entre otros.
2. Incendios subterráneos: cuando un incendio superficial se propaga bajo el suelo. En este caso llega a quemarse la materia orgánica acumulada y las raíces, e incluso puede alcanzar los afloramientos rocosos. Generalmente éstos no producen llamas y emiten poco humo. Estos tipos de incendios son raros, pero cuando ocurren, pueden durar mucho y propagarse en grandes territorios. Su velocidad de esparcimiento es muy lenta, algunos centímetros o como máximo a unos metros por día.
3. Incendios de Copa o Aéreos: Son los más destructivos, peligrosos y difíciles de controlar debido a que el fuego consume toda la vegetación. También comienzan en forma superficial, pero en este caso, las llamas avanzan primero sobre el nivel del suelo y se propagan por continuidad vertical.

Los incendios forestales también se pueden clasificar por tamaño, según las áreas afectadas (Földi y Kuti, 2016):

- Pequeño incendio forestal, tamaño inferior a 1 ha.
- Promedio, tamaño entre 1 y 50 ha.
- Grande, tamaño superior a 50 ha.



### **3.3 Índice de riesgo**

El índice de riesgo o de peligro se refiere a números que reflejan anticipadamente la probabilidad de ocurrencia del incendio, así como la facilidad para propagarse, con base en condiciones atmosféricas del día o de secuencia de días (Carrasco *et al.*, 2016).

Permite tener planificación eficiente de medidas de prevención y ayuda a la adopción de acciones rápidas y efectivas en actividades de combate, buscando la reducción de pérdidas, con la disminución de áreas quemadas (Carrasco *et al.*, 2016).

En México existe el Sistema de Predicción de Peligro de Incendios Forestales para México, desarrollado en el proyecto CONAFOR-CONACYT 2014-2-252620, es una herramienta de apoyo a la toma de decisiones para la prevención y combate de incendios en México. Fue desarrollado por la Universidad Juárez del Estado de Durango, con la colaboración de CONABIO, SMN-CONAGUA, Universidad de Washington (U.S.A.), USDA Forest Service, (U.S.A.), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Brasil), Universidad Nacional Autónoma de México, Universidad de Guadalajara y el Centro de Investigaciones Forestales de Lourizán, España) (CONAFOR, S.F).

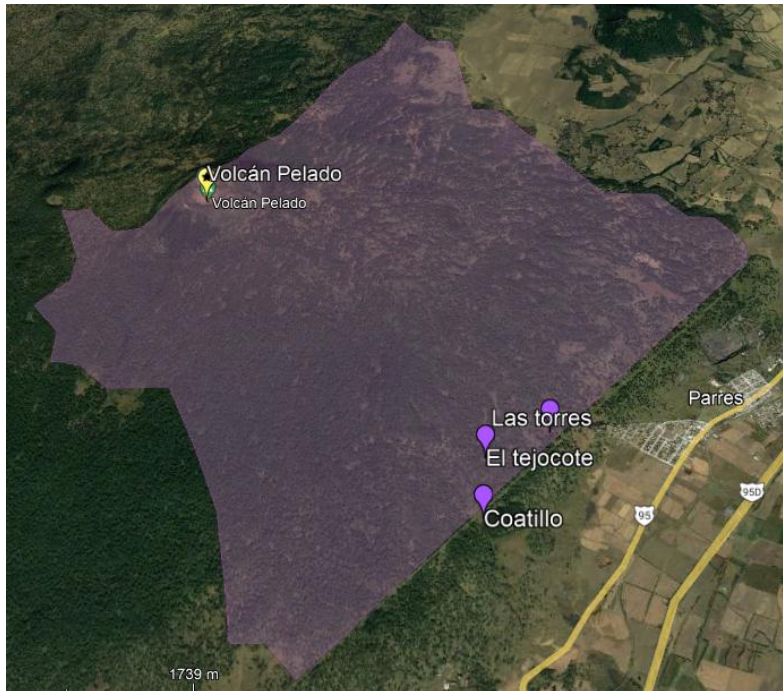
El sistema permite evaluar en tiempo real las condiciones de sequedad del combustible y el peligro de incendio asociado. Integra variables meteorológicas en tiempo real, mapas de vegetación y factores humanos (como carreteras y poblados) para mostrar diariamente las condiciones meteorológicas de sequedad de los combustibles, peligro de incendio, y número de incendios esperados (CONAFOR, S.F).

## **V. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **5.1 Área de estudio**

Las actividades se realizaron en el Volcán Pelado, en la alcaldía Tlalpan, Ciudad de México. El volcán se localiza entre San Miguel Ajusco y San Miguel Topilejo y al poniente de Parres el Guarda, con latitud 19° 09' 02'' N y 99° 13' 01'' O a 3548 msnm (Google earth, S.F). El clima con base en Köppen (1936), modificado por García (1988) es semifrío, subhúmedo con lluvias en verano. Temperatura anual de 8-10 °C, precipitaciones de 1,200-1,500 mm (INEGI, 2018). El suelo dominante es andosol (INEGI, 2018).

El área de estudio cuenta con 2,000 ha y 16 parajes con 320 puntos de muestreo (Figura 1). Para la evaluación se delimitó a tres parajes y 81 puntos de muestro con 27 puntos de muestreo en cada paraje.



**Figura 1.** Mapa del Volcán Pelado de alcaldía Tlalpan, Ciudad de México con los puntos de muestreo y parajes

## 5.2 Variables medidas

Las variables para cuantificar el material leñoso fueron peso seco de combustibles con tiempo de retardo de 1 h, peso seco de combustibles con tiempo de retardo de 10 h, peso seco de combustibles con tiempo de retardo de 100 h, peso seco de combustibles firmes con tiempo de retardo de 1,000 y peso seco de combustibles podridos con tiempo de retardo de 1,000 h.

También se cuantificó altura, cobertura, peso seco de pastos, herbáceas, arbustos, hojarasca, capa de fermentación y musgo.

## 5.3 Diseño de Muestreo

La biomasa se midió tomando en cuenta la metodología de intersecciones planares propuesta por Brown (1974) adaptada para México por Sánchez y Zerecero (1983). En el punto de muestreo con dirección al norte se colocó una cuerda de 12 metros, donde se marcaron 2 m y 4 m (Figura 2). Tomando en cuenta el diámetro del material leñoso, en los primeros dos metros se registraron todas las horas de retardo (1 h, 10 h, 100 h y 1,000 h). En los cuatro metros siguientes sólo entraron los combustibles con retardo de 100 h y después de los cuatro metros sólo se registraron los combustibles con retardo de 1,000 h (Figura 3). Se utilizó calibrador Truper® para la medición de las categorías de combustibles leñosos con las medidas previamente establecidas.



**Figura 2.** Delimitación de área de muestreo



**Figura 3.** Muestreo de material leñoso

Para registrar pastos, herbáceas y arbustos se utilizó un cuadro de un metro cuadrado, éste se colocó del lado derecho y al inicio de la cuerda que se colocó en el muestreo de intersecciones planares, en dirección al Norte. Se midió el porcentaje de cobertura y altura del combustible que estuvo dentro. En el caso de los arbustos se tomó el diámetro mayor y menor.

Para la hojarasca, capa de fermentación y musgo se usó un cuadro de 30 cm por 30 cm, el cual se colocó en la esquina del lado izquierdo del cuadro de 1m<sup>2</sup> (Figura 4). Para el musgo y la capa de fermentación, no se consideraron datos menores a 1 cm.

Se tomaron muestras de todos los combustibles medidos, para el caso de la capa de fermentación se utilizó una espátula para no afectar el suelo mineral (Figura 5). Las muestras se georreferenciaron, etiquetaron y conservaron a 4 °C aisladas en bolsas de papel estéril hasta su análisis en laboratorio.



**Figura 4.** Muestreo de combustible no maderable



**Figura 5.** Toma de muestra de capa de fermentación



## 5.4 Secado de materiales

Las muestras se llevaron al laboratorio de Preparaciones del Departamento de Producción Agrícola y Animal de la UAM- Xochimilco. El peso de las muestras se registró en balanza analítica Sartorius®, las muestras se colocaron en horno de secado Riossa® a 80 °C para retirar la humedad (Figura 6). El peso de las muestras se midió en intervalos de 48 h y cuando el peso de las muestras fue constante se obtuvo el peso seco final (Figura 7).



Figura 6. Secado de muestras



Figura 7. Peso de muestras secas

## 5.5 Análisis de datos

Para estimar las cargas de combustibles se utilizaron las fórmulas de acuerdo con los modelos de Van Wagner (1968) y Morfín *et al.* (2012):

- Combustibles con tiempos de retardo de 1 a 100 h.

$$C = (k \text{ DB DCP } f \text{ c}) / NL$$

Donde:

C = Carga (t/ha)

K = 1.234 (Factor que considera la gravedad específica)

DB = Densidad básica ( $\text{kg/m}^3$  o  $\text{g/dm}^3$ )

DCP = Diámetro cuadrático promedio

f = Frecuencia de las intersecciones

c = Factor de corrección por pendiente

N = Número de líneas usadas

L = Longitud de las líneas (m)

- Combustibles con tiempos de retardo de 1,000 h.

$$C = \frac{(k)(DB)(\sum DC(c))}{(N(L))}$$

Donde:

$C$  = Carga de combustibles (t/ha)

$k$  = 1.234 (constante)

$DB$  = Densidad básica (kg/m<sup>3</sup>)

$DC$  = Diámetro cuadrático (cm<sup>2</sup>)

$c$  = Factor de corrección por pendiente

$N$  = Número de líneas

$L$  = Longitud de la línea de muestreo (m)

- No maderables

En hoja de Excel se registraron los datos tomados en campo:

- Altura promedio de cada estrato en el sitio (m).
- Cobertura (m<sup>2</sup>).
- Volúmen por sitio (m<sup>3</sup>) (producto de altura por cobertura).
- Promedio de tal volúmen a partir de alturas y cobertura de las muestras de campo (m<sup>3</sup>).
- Promedio del peso seco de las muestras de cada estrato (kg).

Una vez organizadas estas variables se aplicó la siguiente fórmula para obtener la carga de cada sitio:

$$C = \frac{(\text{Volumen por sitio (m}^3\text{)})(\text{Promedio del peso seco de las muestras (kg)})}{\text{Promedio del volumen de las muestras (m}^3\text{)}}$$

Donde:

$C$  = Carga de combustibles (t/ha)

Para obtener la carga final en t/ha se usaron las siguientes variables:

- Número de sitios (N)
- Carga de cada uno de los sitios de muestreo
- Sumatoria del volumen a partir de alturas y cobertura

Posteriormente se aplicó la siguiente fórmula:

$$C = \frac{[(10,000) (\text{Carga de todos los sitios de muestreo})] / N}{1,000}$$

*Donde:*

C= Carga de combustible final (t/ha)

N= Número de sitios

Para obtener la carga final en las unidades se multiplicó por 10,000, como factor de conversión de unidades de m<sup>2</sup> a ha y se dividió entre 1,000, para convertir de kilogramos a toneladas. Este procedimiento se aplicó para los cuatro estratos muestreados en el cuadro de 1 m<sup>2</sup>, así como la unidad de muestra de 0.3 x 0.3 m.

## **VI. ACTIVIDADES REALIZADAS**

Para dar cumplimiento a la investigación se llevó a cabo:

1. La recolecta de combustible forestal (material leñoso, pastos, herbáceas, arbustos, hojarasca, capa de fermentación y musgo) en los parajes el Tejocote, Coatillo y Las Torres, en el Volcán Pelado, Tlalpan, Ciudad de México.
2. Secado del combustible forestal en estufa de secado del laboratorio de Preparaciones del Departamento de Producción Agrícola y Animal de la UAM- Xochimilco.
3. Obtención del peso seco del combustible.
4. Procesamiento e interpretación de los datos obtenidos.

## **VII. OBJETIVOS ALCANZADOS**

Al término de la investigación se dió cumplimiento a los siguientes objetivos:

- Se determinó la carga de combustible por tiempo de retardo de cada tipo de combustible forestal.
- Se caracterizó el combustible vivo y muerto dentro del área de estudio
- Se identificó el impacto que tiene la carga de combustible en los parajes estudiados.

## **VIII. METAS CUMPLIDAS**

Al término de la investigación se dió cumplimiento a las siguientes metas:

- Se realizó el muestreo de 81 puntos de cada paraje.
- Se secó y se obtuvo el peso de 133 muestras obtenidas en campo.

## IX. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 9.1 Combustible maderable

Los resultados obtenidos del combustible maderable se muestran de manera general en el cuadro 2. En el área de estudio se encontró carga con valor mínimo de 0.02 (t/ha) para el caso de los combustibles firmes de 1,000 h, mismo, que fue bajo en comparación con lo reportado por Ventura (2015), quien obtuvo media de 2.02 t/ha, representando el 24.99% de la carga total, siendo este tipo de material el más representativo comparado con los combustibles de 100 h, 10 h y 1 h.

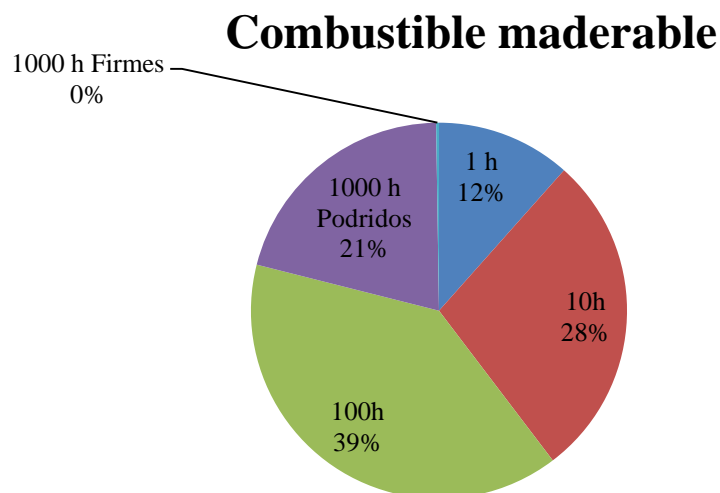
El combustible con mayor carga fue el de 100 h con máximo de 3.19 (t/ha). Este valor es alto en comparación con Ventura (2015), quien obtuvo 1.82 t/ha. Se puede observar que conforme el tamaño de los combustibles ligeros aumenta, mayor es la diferencia en acumulación de material leñoso de dimensiones mayores.

**Cuadro 2.** Carga de los combustibles maderables obtenidos en el área de estudio

Horas de retardo	Combustible maderable (t/ha)				
	1 h	10h	100h	1,000 h	
Carga de combustibles superficiales (t/ha)	0.94	2.28	3.19	Podridos 1.69	Firmes 0.02

En la figura 8 se observa el porcentaje de material leñoso caído. El mayor porcentaje corresponde a combustibles livianos, mientras que los combustibles pesados no sobrepasan el 21%.

Esto es de vital importancia, de acuerdo con Wong y Villers (2007), los combustibles ligeros juegan un papel importante en el incremento de la velocidad de propagación del fuego, ya que pierden humedad rápidamente, mientras que los de diámetros mayores tardan periodos más largos de baja humedad ambiental para estar disponibles, pero una vez encendidos producen mayor intensidad de calor y arden por tiempos largos, lo que dificulta el control. En otras palabras, entre más pequeño sea el material, consigue arder con más facilidad debido a la relación entre el volumen de la unidad y la superficie de contacto con las llamas, lo que hace que el material pierda la humedad a velocidad mayor y permite que alcance más pronto la temperatura a la que pueda arder (Ventura, 2015).



**Figura 8.** Porcentaje de la carga de combustible de material leñoso caído, con base en el tiempo de retardo

El que exista acumulación de material liviano podría ser explicada por Nájera y Hernández (2009), quienes concluyen que en los bosques al no haber sido sometidos a periodos prolongados de conservación o de mínima intervención, provoca que 99% de las cargas de combustibles correspondan a hojarasca o combustibles finos, dejando claro que entre mayor es el intervalo de tiempo sin incendio, mayor es la acumulación de combustibles de tipo liviano y no de mayores diámetros.

### 9.2 Combustibles no maderables

En el Cuadro 3 se observa que el material herbáceo presentó carga de mayor tonelaje con 11.39 t/ha, seguido de hojarasca con 7.00 t/ha, mientras que el musgo presentó la menor carga con 0.09 t/ha. Cabe destacar que en comparación con el material leñoso son las cargas más representativas. Estos datos coinciden con Ventura (2015), con 3.65 t/ha, siendo de igual manera el componente más representativo comparado con el material leñoso, aportando el 45.17% de la carga total estimada. Nájera y Hernández (2009) mostraron valores de 7.15 a 16.23 Mg ha<sup>-1</sup>, el cual ocupó 99% de la carga de combustibles.

**Cuadro 3.** Carga de combustibles no maderables

Combustible	Combustible no maderable (t/ha)					
	Arbustos	Herbáceas	Pastos	Hojarasca	Capa de fermentación	Musgo
<b>Carga de combustibles (t/ha)</b>	4.14	11.39	5.59	7.00	5.43	0.09



En el caso del área estudiada se presentó un sotobosque denso, lo que puede justificar que se haya presentado mayor carga de combustible no maderable, como se mencionó antes, el que no se realicen actividades de conservación ayuda a que la acumulación de este tipo de combustible sea mayor (Nájera y Hernández, 2009).

El que exista incremento en el peso de los combustibles dependerá de algunos factores como los que mencionan Estrada y Ángeles (2007), quienes señalan que el peso se ve incrementado si el bosque evaluado es relativamente joven o si se ha presentado algún tipo de disturbio en el corto plazo, y por el contrario, los valores de los combustibles forestales disminuirán si el bosque evaluado es maduro, hasta que nuevamente ocurra un disturbio y los valores de los combustibles leñosos se incrementen nuevamente.

Otro factor a tomar en cuenta es el tipo de bosque, Wong y Villers (2007) mencionan que las comunidades de *Alnus jorullensis* y *Pinus montezumae* tienen menor probabilidad de quemarse debido a que en ellos se presentan humedad cercana a la humedad de extinción. Como explica Villers (2006), cuando el contenido de humedad de los combustibles es elevado, no puede producirse la combustión, a eso se le conoce como humedad de extinción. En combustibles muertos esta humedad varía entre 25 y 40%, mientras que en los vivos la variación puede estar entre 120 y 160%. Durante la época de sequía el último valor puede descender hasta 50 u 80%.

Por el contrario, las comunidades de *Quercus crassipes* y *Pinus hartwegii*, pueden ser más vulnerables a los incendios por presentar contenidos de humedad en los combustibles menores a 25%. De igual manera la CONAFOR (2014), indica que los bosques más propensos a incendios son bosques tropicales perennifolios o subperennifolios (que incluyen selvas altas y medianas perennifolias y subperennifolias), bosque tropical caducifolio (selva baja caducifolia), manglares, bosques de oyamel y posiblemente varios bosques de encino.

De acuerdo con Naranjo (2014), estos combustibles son los que facilitan a que se dé rápidamente la propagación del fuego, mediante incendios terrestres o subterráneos, que si bien son escasos, causan daños a nivel de suelos y a la fauna asociada. Por lo que es importante aplicar técnicas para el control de incendios como son la remoción mecánica del mismo, quemas prescritas o el uso eficiente de materia orgánica como producto no maderable del bosque. Siempre teniendo como objetivo la reducción de peligro de incendios de intensidades destructivas y daños que ocasionarían.

De acuerdo con lo anterior, en el área de estudio existe carga de combustible no maderable, por lo que es recomendable hacer manejo integral del fuego, con el fin de reducir las cargas. Como lo sugieren Carrasco *et al.* (2016), al realizar el diseño de índice de peligro de incendios bien ajustado al área de estudio (tomando en cuenta los lineamientos establecidos en la NOM-015-SEMARNAT/SAGARPA-2007), repercutirá en la mejora de toma de decisiones para actividades básicas del manejo del fuego: uso, prevención y extinción del fuego. Además, a largo plazo se

deberá monitorear el tiempo de acumulación de combustibles, para establecer un ciclo de control de combustibles y de esta forma al mínimo la acumulación de combustibles forestales.

Para disponer de un mapa de riesgos de incendios forestales generado a través de la estimación de la carga de combustibles, se debe contar con una planificación de las temporadas de incendios, si se conocen las zonas con mayor riesgo y peligro se puede dar prioridad a las diferentes acciones de prevención, mantenimiento, organización y combate de la temporada de incendios. La CONAFOR (2014) señala que en México se presentan dos temporadas de mayor incidencia, la primera corresponde a las zonas centro, norte, noreste, sur y sureste del país, inicia en enero y concluye en junio. La segunda temporada se registra en el noroeste del país, inicia en mayo y termina en septiembre. Ambas coinciden con la época de mayor sequía en el territorio nacional.

Es por ello, que se deben continuar con las investigaciones, tomando en cuenta otros aspectos como la precipitación, humedad relativa, temperatura, viento y topografía, estas variables y los combustibles determinan el comportamiento del fuego y la inflamabilidad de los combustibles. Wong y Villers (2007) afirman que conforme el día avanza la temperatura asciende y, la humedad relativa desciende progresivamente teniendo como resultado pérdida en el contenido de humedad de los combustibles muertos, esto incrementa la probabilidad de incendios. Cuando llueve o hay neblina, la humedad relativa es de 100%, este porcentaje varía durante el día y de un lugar a otro. En ambientes secos, la humedad llega a alcanzar niveles de 20% o menos. Cuando la humedad relativa es de 40%, comúnmente se reconoce como el valor que representa el punto de peligro de incendio.

## **X. CONCLUSIONES**

Los combustibles maderables que obtuvieron mayor carga fueron los combustibles de 100 h con un máximo de 3.19 (t/ha). Mientras que los que tuvieron valor mínimo fueron los combustibles firmes de 1,000 h con 0.02 (t/ha).

En los combustibles no maderables, las herbáceas presentaron mayor carga con 11.39 t/ha, siendo el combustible con la carga más representativa, seguido de la hojarasca con 7.00 t/ha, mientras que el musgo presentó la menor carga con 0.09 t/ha.

La acumulación de combustible en la zona podría deberse a que el área no ha sido sometida a periodos de conservación o intervención, lo que provoca que el 99% de las cargas sean de combustibles finos como las herbáceas y la hojarasca.

En el sitio de estudio el incendio forestal es probable que el material vegetal tienda a encender y arder con más facilidad, debido a que existe gran acumulación de combustible, en consecuencia, mayor cantidad de calor, el cual se puede desprender y provocar que el incendio llegue a ser más intenso. Sin embargo, al no haber tantos combustibles de diámetros mayores el incendio no podría llegar a ser problemático para su control.

En el Tejocote, Coatillo y Las Torres en el Volcán Pelado de la alcaldía Tlalpan, Ciudad de México es vital disponer de dato certeros del incendio, también contar con un mapa de riesgos de incendios forestales y planificar las temporadas de incendios.

Integrar aspectos como la precipitación, humedad relativa, temperatura, viento y topografía, ya que estas variables y los combustibles determinan en cierta medida el comportamiento del fuego y la inflamabilidad de los combustibles.

## XI. BIBLIOGRAFÍA

1. Brown, J. K. (1974). Handbook for inventorying downed woody material. USDA Forest Service. General Technical Report INT – 16. Utah, USA.
2. Carrasco, Y., Ramos, M. P., Batista, A. C., Martínez, L. W. y França, A. (2016). Diseño de un índice de peligro de incendio forestal para la provincia Pinar del Río, Cuba. *Floresta*, 47 (1): 65-74.
3. Chávez, A. A., Xelhuantzi, J., Rubio, E. A., Villanueva, J., Flores, H. E. y de la Mora, C. (2016). Caracterización de cargas de combustibles forestales para el manejo de reservorios de carbono y la contribución al cambio climático. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7 (13): 2589-2600.
4. CONAFOR (2014). Incendios Forestales: guía práctica para comunicadores. Cuarta Edición. Zapopan, Jalisco, México. 58 p.
5. CONAFOR (2019). Reporte Semanal Nacional de Incendios Forestales. Programa de manejo del fuego, Centro nacional de manejo del fuego. 18 p.
6. CONAFOR (2021). Reporte semanal nacional de incendios forestales. Coordinación General de Conservación y Restauración Gerencia de Manejo del Fuego. Consultado el 28/08/2021. Disponible en línea:  
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/664594/Reporte\\_01\\_de\\_enero\\_al\\_26\\_de\\_agosto\\_2021.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/664594/Reporte_01_de_enero_al_26_de_agosto_2021.pdf)
7. CONAFOR (S.F). Sistema de Predicción de Peligro de Incendios Forestales de México. Consultado el 01/09/2021. Disponible en línea:  
[http://forestales.ujed.mx/incendios/inicio/acerca\\_del\\_sistema.php](http://forestales.ujed.mx/incendios/inicio/acerca_del_sistema.php)
8. Díaz, E. R., González, M. A., Jiménez, J., Treviño, E. J. y Ávila, D. Y. (2012). Caracterización de combustibles forestales mediante un muestreo directo en plantaciones forestales. *General Technical Report PSW-GTR-245*: 426- 436.
9. Estrada, I. y Ángeles E. R. (2007). Evaluación de combustibles forestales en el Parque Nacional “El Chico”, Hidalgo. At: Sevilla, España.
10. FAO (S.F). International Handbook on Forest Fire Protection. Technical guide for the countries of the Mediterranean basin. Département Gestion des territoires Division Agriculture et Forêt Méditerranéenne. France.
11. Földi, L. and Kuti, R. (2016). Characteristics of forest fires and their impact on the environment. *AARMS*. 15 (1): 5–17.

12. Google earth (S.F). Volcán Pelado. Consultado el 22/09/2019. Disponible en línea: [https://earth.google.com/web/@19.1508331,-99.21616176,3567.32413231a,584.78385766d,35y,-3.89608682h,44.43587964t,359.96379476r/data=Cj8aPRI3CiUweDg1Y2RmZDM0NzM1M2lwMzU6MHg3YjgwNDg4YmNjNGZiNGQ4Kg5Wb2xjw6FulFBlbGFkbxgBIAE?utm\\_source=earth7&utm\\_campaign=vine&hl=es-419](https://earth.google.com/web/@19.1508331,-99.21616176,3567.32413231a,584.78385766d,35y,-3.89608682h,44.43587964t,359.96379476r/data=Cj8aPRI3CiUweDg1Y2RmZDM0NzM1M2lwMzU6MHg3YjgwNDg4YmNjNGZiNGQ4Kg5Wb2xjw6FulFBlbGFkbxgBIAE?utm_source=earth7&utm_campaign=vine&hl=es-419)
13. INEGI (2018). Anuario geográfico. Consultado el 22/09/2019. Disponible en línea: <https://www.inegi.org.mx/app/cuadroentidad/AnuarioGeografico/CDMX/2018>
14. Morfín, J. E., Jardel, E. J., Alvarado, E., y Michel, J. M. (2012). Caracterización y cuantificación de combustibles forestales. Comisión Nacional Forestal-Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México. 59 p.
15. Nájera, A. (2015). Manual del participante. Curso de evaluación, cuantificación y manejo de combustibles forestales en plantaciones forestales. Veraguas, Panamá. 43 p.
16. Nájera, J. A. y Hernández, E. H. (2009). Estimación de la carga de combustibles forestales en un bosque coetáneo de la región de El Salto, Durango. Sitio Argentino de Producción Animal.
17. Naranjo, E. D. (2014). Evaluación de la carga de combustibles forestales en un bosque mixto de la sierra de Coyuca de Benítez, Estado de Guerrero, México, Tesis de licenciatura. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 31 p.
18. Plana, E., Font, M. and Serra, M. (2016). Forest Fires, Guideline for communicators and journalists. EFIRECOM Project. CTFC Editions. 32 p.
19. Rentería, J. B. (2004). Desarrollo de modelos para el control de combustibles en el manejo de ecosistemas forestales en Durango, México. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma de Durango. 125 p.
20. Rojas, P. A., Vílchez, B., Moya, R. y Sasa, M. (2015). Combustibles forestales superficiales y riesgo de incendio en dos estadios de sucesión secundaria y bosques primarios en el Parque Nacional Palo Verde, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú (Costa Rica)*. 12 (29): 29- 45.
21. Sánchez, C. J. y Zerecero, L. G. (1983). Método práctico para calcular la cantidad de combustibles leñosos y hojarasca. Nota Divulgativa No 9 CIFONOR – INIF. México.
22. Van, W. C. E. (1968). The line intersect method in forest fuel sampling. *Forest Science*. 14 (1):20-26.
23. Ventura, K. I. (2015). Combustibles forestales del rancho la esperanza, Atrixco, Copala, Guerrero, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Intercultural del Estado de Guerrero. 81 p.
24. Villers, M. L. (2006). Incendios forestales. *Ciencias*. Universidad Autónoma de México. 81: 60-66.
25. Wong, J. C. y Villers, M. L. (2007). Evaluación de combustibles y su disponibilidad en incendios forestales: un estudio en el Parque Nacional La Malinche. *Investigaciones Geográficas (Mx)* (62): 87-103.
26. Xelhuantzi, J., Flores J. G. y Chávez, A. A. (2011). Análisis comparativo de cargas de combustibles en ecosistemas forestales afectados por incendios. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 2 (3): 37-52.