# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

## FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

*Construcción de Mapas de Combustible Forestal para Detectar el Peligro de Incendio en un Bosque de Pino-Encino*


PRESENTA:

ING. EVA REYNA ESMERALDA DÍAZ GARCÍA


Como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES

Linares Nuevo León, México. Mayo 2015

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**

# Construcción de Mapas de Combustible Forestal para Detectar el Peligro de Incendio en un Bosque de Pino-Encino.

**TESIS**

**Para obtener el grado de**

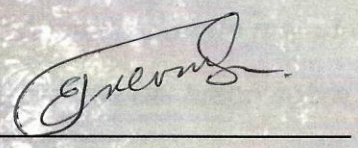
**Maestría en Ciencias Forestales**


Presentado por:

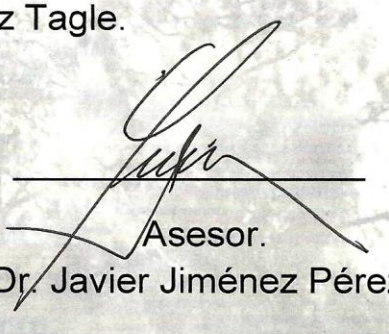
Ing. Eva Reyna Esmeralda Díaz García


Comité de Tesis:

Director.
Dr. Marco Aurelio González Tagle.



Asesor.
Dr. Eduardo Javier Treviño G.



Asesor.
Dr. Javier Jiménez Pérez.

Linares Nuevo León, México.

Mayo 2015

# *INDICE*

***1.0 INTRODUCCIÓN***……..…….1

***1.1 HIPOTESIS***……...…3

***1.2 OBJETIVOS***……..3

*1.2.1 General*……....3

*1.2.2 Particulares*……....3

***2.0 ANTECEDENTES***……..……..…....4

*2.1 INCENDIOS FORESTALES*…….....4

***2.2 TIPOS DE INCENDIOS FORESTALES***……..…..……....5

*2.2.1 Incendio subterráneo*…….…….....5

*2.2.2 Incendio superficial*…….……..…..5

*2.2.3 Incendio aéreo de copa.*……..…...5

***2.3 COMPORTAMIENTO DE FUEGO***……..…….6

***2.4 PELIGRO Y RIESGO DE INCENDIO FORESTAL***……..……...6

***2.5 ECOLOGÍA DEL FUEGO***…….…..6

***2.6 IMPACTO ECOLÓGICO DEL FUEGO***……....7

*2.6.1 Características físicas y químicas del suelo*…….……....7

*2.6.2 Acumulación de material combustible*……..…….8

*2.6.3 Efectos del fuego sobre organismos del suelo*……8

*2.6.4 Adaptaciones de las especies al fuego*……..8

*2.6.5 Dependencia de los ecosistemas forestales al fuego*……..9

***2.7 BENEFICIOS DEL FUEGO EN LOS ECOSISTEMAS FORESTALES***……..……10

*2.7.1 Preparación de la cama semillera*…….…...10

*2.7.2 Eliminación de la reducción de la competencia*…….....10

*2.7.3 Nutrientes al suelo…….....11*

*2.7.4 Saneamiento…….……...11*

***2.8 TRIANGULO DEL FUEGO****……..……11*

*2.8.1 Componentes del triángulo del fuego……..……11*

*2.8.2 Inflamabilidad de los combustibles…….…..12*

***2.9 COMBUSTIBLES FORESTALES****.……13*

*2.9.1 Características principales de los combustibles……..……...13*

*2.9.2 Clasificación de combustibles forestales……..……...14*

*2.9.3 Clasificación de combustibles por su tamaño……..…...16*

*2.9.4 Clasificación de combustibles por su tiempo de retardo. ……....16*

***2.10 CARGAS DE COMBUSTIBLE****……...……...17*

*2.10.1 Concepto y técnicas…….....17*

*2.10.2 Evaluación de la carga de combustibles……...…....18*

***2.11 INVENTARIO DE COMBUSTIBLES FORESTALES EN MÉXICO****…….…22*

***2.12 INTERPOLACION DE DATOS****.……....23*

***2.13 DESCRIPCION DEL METODO KRIGING****……...……....24*

***<u>3.0 MATERIAL Y MÉTODOS</u>****…….……....27*

***3.1 DESCRIPCION DEL ÁREA DE ESTUDIO****…….…….....27*

*3.1.1 Localización……...…….……..27*

*3.1.2 Clima……..28*

*3.1.3 Geología…….……...28*

*3.1.4 Morfología…….…....28*

*3.1.5 Suelos……..…..28*

*3.1.6 Vegetación…….……...29*

***3.2 METODOLOGIA DE INVESTIGACIÓN***……..……..…29

*3.2.1 Sitios de muestreo*……..……29

*3.2.2 Muestreo de combustibles*…….....30

*3.2.3 Diseño de muestreo*…….…...31

*3.2.4 Material leñoso caído*…… ……31

*3.2.5 Capa orgánica del suelo* ……..……31

*3.2.6 Diseño de muestreo*……....32

*3.2.7 Trabajo de campo*……....33

*3.2.8 Procedimiento de laboratorio*…….....35

*3.2.9 Análisis de información*……..……..……..36

*3.2.10 Calculo factor de corrección por pendiente*…….....37

*3.2.11 Calculo hojarasca y humus*…….....37

***3.3 INTERPOLACION DE DATOS***……..……38

*3.3.1 Selección del Modelo kriging Ordinario*……..……..38

*3.3.2 Elaboración y validación del modelo*…….…….……..40

*3.3.3 Validación del modelo combustibles forestales*…….....40

***4.0 RESULTADOS Y DISCUSIÓN***……..……..41

*4.0.1 Carga de combustibles forestales*……..41

*4.0.2 Combustibles leñosos*……...……...42

*4.0.3 Combustibles de la capa orgánica*……..……...42

*4.0.4 Carga de Combustibles dentro en el área de estudio*…….…...43

*4.0.5 Caracterización de combustibles dentro de las parcelas de muestreo*…..44

***4.1. INTERPOLACIÓN DE LA VARIABLE COMBUSTIBLES FORESTALES***..…..47

*4.1.1 Análisis del mapa generado partir del modelo (CF)*…….……....49

*4.1.2 Análisis de Validación*……....49

***5.0 CONCLUSIONES***……..……..…….51

***6.0 PROPUESTA***……..……....53

***7.0 LITERATURA CITADA***……....I

## *ÍNDICE DE FIGURAS*

***Figura 1.*** *El triángulo del fuego y sus componentes*…….....12
***Figura 2.*** *Combustibles forestales*…….…....17
***Figura 3.*** *Intersecciones de material combustibles hasta 15 cm de la superficie del suelo*……...….19
***Figura 4.*** *Las piezas solo son contadas cuando el eje central está sobre la capa de fermentación lado derecho de la flecha*……..……..…....20
***Figura 5.*** *La línea de muestreo debe cruzar el eje central de la troza para ser medida*…….….20
***Figura 6.*** *Si la línea de muestreo coincide con el eje central del tronco, la pieza no es contada*…….....…….…....21
***Figura 7.*** *Se contabilizan todas las secciones que intersectan la línea de muestreo en una pieza curvada*……....21
***Figura 8.*** *Componentes tipicos de un semivariograma*…….……...…….……26
***Figura 9.*** *Ubicación del area de estudio*…….....…….....27
***Figura 10.*** *Ubicación de los sitios de muestreo*……..……30
***Figura 11.*** *Diseño de muestreo*……...……..……....32
***Figura 12.*** *Muestreo de combustibles forestales*…….....33
***Figura 13.*** *Trabajo de Campo*……...…….....33
***Figura 14.****Procedimiento de laboratorio*…..... ……...……..……35
***Figura 15.*** *Semivariograma de los modelos (A) Exponencial, (B) Esférico, (C) Gussian, (D) Circular para la variable combustibles forestales Mg/ha$^{-1}$*…….…….39
***Figura 16.*** *Valores promedio de combustible s forestales dentro del área de estudio*……...41
***Figura 17.*** *Acumulación y porcentaje de combustibles forestales de acuerdo a su tiempo de retardo*……....42
***Figura 18.*** *Carga de combustible de la capa orgánica*……...…….....43
***Figura 19.*** *Carga de combustibles por sitios de muestro* ……...43
***Figura 20****. Acumulación de combustible leñoso dentro de las tres parcelas*……...45
***Figura 21.*** *Acumulación de combustible leñoso dentro de las tres parcela de muestreo*……..45
***Figura 22.*** *Profundidad de la Capa Orgánica (cm) estimada en las tres parcelas de muestreo* ……....46
***Figura 23.*** *Mapa obtenido a partir de la interpolación de la variable combustible forestales*……..47

***Figura 24.*** *Mapa y valores estadísticos del modelo obtenido a partir de la interpolación de la variable combustible forestales …….……..…….48*
***Figura 25.*** *Distribución de los puntos de validación……....49*

## *ÍNDICE DE CUADROS*

***Cuadro 1.*** *Clasificación de los estados de descomposición de los combustibles (Chojnacky et al. 2004)……..15*
***Cuadro 2.*** *Clasificación de los combustibles forestales…….……..…..16*
***Cuadro 3.*** *Clave que corresponde a cada uno de los combustibles que fueron evaluados……..…...31*
***Cuadro 4.*** *Factor de corrección por pendiente……..…..37*
***Cuadro 5.*** *Parámetros obtenidos al calcular los variogramas para los modelos tipo Exponencial, Esférico Gussian y Circular, con la variable carga de combustibles forestales (1 HR , 10 HR, 100 HR, 1000 HR FIR. 1000 HR PUD, HO,HU)….……..…..38*
***Cuadro 6.*** *Carga de combustibles forestales por parcela de muestreo……...45*
***Cuadro 7.*** *Información generada partir de 18 puntos de validación (20%)……...49*

*Dedicatoria:*

*Con cariño a mis padres y hermanas.*

# AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por la beca otorgada para la realización de los estudios de maestría.

A la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León por permitirme desarróllame profesionalmente, extendiendo el agradecimiento a los profesores de la facultad que a través de su experiencia y conocimiento han contribuido a mi formación académica.

Al Dr. Marco Aurelio González Tagle, por guiarme en el desarrollo de este trabajo y durante toda la formación académica por sus buenos consejos apoyo y amistad.

Al Dr. Eduardo Javier Treviño Garza, al Dr. Javier Jiménez Pérez por sus aportaciones para el desarrollo de este trabajo.

Al MC. Ernesto Rubio Camacho, por su invaluable ayuda para la realización del muestreo en campo, su disposición en general para el desarrollo de este trabajo y sobre todo por su amabilidad.

A las personas que integraron el equipo de trabajo en campo encabezado por mis amigos: Eunice Bocanegra, Nemesio Dueñas agradezco su disposición y tiempo, a mis hermanas Azucena Díaz y Karla Díaz quienes tuvieron la disposición de aprender y ayudarme, al técnico Guadalupe Pérez por su gran ayuda en los muestreos, de manera general a todas las personas que estuvieron involucradas en el levantamiento de la información.

A la Lic. Juany Castillo Moreno por su colaboración en la edición del documento.

Al Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Forestales por permitirme realizar el procesamiento de muestras en sus instalaciones.

A mi familia, para mis padres José Luis y María Trinidad no tengo palabras para expresarles mi admiración y agradecimiento por lo mucho que me han brindado, a mis hermanas Cristhian, Amapola, Azucena y Karla por siempre estar a mi lado apoyándome, a ustedes gracias.

A todas las personas que de alguna u otra manera contribuyeron al desarrollo de este trabajo mi más sincero agradecimiento.

## RESUMEN

Como herramienta para la identificación de áreas con peligro de incendio se pueden generar mapas a partir de variables que influyen en el comportamiento de estos fenómenos. Los combustibles forestales tienen una influencia directa en el desarrollo y establecimiento de los incendios y son el único componente que puede ser modificado por el hombre. Considerando esto, el presente trabajo se enfocó en la generación de un mapa basado en inventarios de combustibles forestales. La realización de estos inventarios se llevó a cabo mediante la técnica conocida como intersecciones planeares, la información recaudada en campo se aplicó el método Kriging para generar un mapa con la carga de combustible total. Los resultados para el inventario de combustibles se estimaron en un promedio de 37.57 $Mg/ha^{-1}$. El mapa generado permite identificar áreas con mayor peligro de incendio dentro del área de estudio. La generación de este tipo de información ayuda a la toma de decisiones para la prevención y combate de incendios forestales.



## ABSTRACT

Several maps can be generated based on variables that have an influence on the behavior of areas under risk of fire, they are used as tools for identification of these zones. Forest fuels have a direct influence on the development and establishing of fires, and these fuels are the only component that can be modified by man. Considering this, the present work is focused on the generation of map- based inventory of forest fuels. This inventory was carried out using the planar intersection technique. With the information collect in the field Kriging method which was applied to generate a map with the total fuel load. The result of the fuel inventory is shows an average of 37.57 $Mg/ha^{-1}$. The map was generated to identify areas with the greatest risk of fire within the study area. The generation of this type of information can helps decision making for the prevention and combat of forest fires.

# 1.0 INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas forestales son imprescindibles para la vida en el planeta. Además de ser parte fundamental en los ciclos de producción y distribución del agua, purifican el aire que respiramos al capturar bióxido de carbono y liberar oxígeno. También regulan la temperatura y la humedad, con lo que se equilibra el clima; proporcionan alimento, medicina y refugio a los seres vivos; y son fuente de materias primas en muchas actividades humanas (CONAFOR, 2008).

Estos ecosistemas son afectados en gran medida por los incendios forestales, que representan uno de los fenómenos más comunes y extendidos en todo el planeta. En los últimos años se han registrado incendios con impacto en miles de hectáreas a nivel mundial, y México no ha sido la excepción. El territorio nacional se ha visto afectado de manera significativa cada año, siendo un factor ecológico y uno de los fenómenos más comunes.

Estos incendios son los grandes enemigos de los recursos forestales, los cuales junto con las plagas y enfermedades son causa de mortalidad de árboles, convirtiéndose estos a su vez, en factores importantes de la degradación y deforestación (CONAFOR, 2012). Generalmente son percibidos como una grave amenaza para los bosques, sin embargo estos constituyen un factor que ha formado parte de la dinámica de muchos ecosistemas forestales a lo largo del tiempo (Agee, 1993; Rodríguez, 1996).

La ocurrencia de estos incendios generalmente se presenta cuando existe una prolongada época de sequía, suficiente material combustible y cuando la cubierta vegetal tiene la continuidad necesaria para que el fuego se propague. Por lo tanto las áreas con altas cargas de combustibles tienen mayor peligro de incendiarse con mayor intensidad (Alanís y Sánchez, 1994). El peligro de incendio forestal es resultado de factores constantes y variables que afectan el inicio, la propagación y la dificultad de su control entre tales factores destacan: topografía, carga de combustibles y tiempo atmosférico (Chandler *et al.* 1983).

Entre estos factores, se destaca la importancia de los combustibles forestales. Los cuales están constituidos por toda la materia orgánica que sea susceptible al fuego, en sentido amplio son los materiales que se consumen durante la combustión que produce un incendio. Son los arboles arbustos, matorrales o vegetales herbáceos tanto vivos como muertos y también los fragmentos de los mismos que se encuentren en distintos estados de descomposición como las acículas, hojas, ramillas, ramas, troncos, cortezas, conos etc. Los combustibles forestales son el

único factor que puede ser modificado por el hombre, por lo que resulta importante conocer las cargas de combustible dentro de los ecosistemas.

En base a la prevención y combate de incendios forestales, como herramienta para la identificación de áreas con mayor peligro de incendio se pueden generar mapas con variables que influyan directamente en el desarrollo o comportamiento de un incendio forestal; por ejemplo uno de los más importantes la carga de combustibles, herramientas como la interpolación de datos ofrece la ventaja de proyectar mapas o superficies continuas a partir de datos georreferenciados; sin embargo, la utilización de una buena cantidad de puntos del área en estudio limita su utilización (Johnston *et al.* 2001). Dependiendo del tipo de datos analizados, su costo y dificultad de obtención determinan que tan valioso es finalmente el uso de la interpolación. Otro aspecto a mencionar, es que la precisión en el mapa generado, depende en gran medida de la estructura espacial de los datos, donde entre más fuerte la correlación espacial, mejor la calidad del mapeo (Kravchenko, 2003).

Dentro de los interpoladores usados existe un grupo llamado Kriging, hasta el día de hoy, todos los interpoladores geoestadísticos están en el grupo de los Kriging (con sus variantes), los cuales ofrecen no solo predicciones y superficies de respuesta requeridas, sino también mapas de probabilidades y cuantiles (Johnston *et al.* 2001)

Referente al uso de estas herramientas en la prevención y combate de incendios forestales, nos permite realizar una localización de las áreas donde se encuentran mayores acumulaciones de combustible basado o estimado atreves de mediciones en campo; además nos permite estimar áreas de puntos no observados. Implementar estas herramientas nos genera una visión de cómo poder minimizar el peligro de incendios forestales y los efectos nocivos que repercuten en los ecosistemas forestales.

El conocimiento y uso de este tipo de información es solo una pequeña parte de la complejidad que presenta el desarrollo de un incendio forestal, por lo tanto resulta importante, implementar y seguir desarrollando técnicas que nos proporcionen mejor entendimiento sobre el peligro y comportamiento de los incendios; así como de los efectos negativos y/o positivos de los incendios forestales dentro de los ecosistemas.

## 1.1 HIPOTESIS

En el presente trabajo se planteó la siguiente hipótesis: El estatus de protección que presenta el Campus Ecológico Bosque Escuela desde hace aproximadamente 30 años, permite que se genere una mayor acumulación de combustibles forestales pesados (100 HR Y 1000 HR).

## 1.2 OBJETIVOS.

### 1.2.1 General.

- Generar un mapa de peligro de incendio forestal basado en la caracterización de combustibles forestales para el Campus Ecológico Bosque Escuela.

### 1.2.2 Particulares.

- Determinar las cargas de combustibles forestales a través de inventarios para:
  Combustibles de: 1 HR 10 HR, 100 HR y 1000 HR.
  Combustible de capa orgánica (HO,HU).
- Caracterizar la carga de combustibles forestales dentro del área de estudio.
- Identificar áreas prioritarias de atención.

# 2.0 ANTECEDENTES.

Los incendios son uno de los factores de perturbación más comunes y que afectan mayores extensiones de los ecosistemas terrestres alrededor del mundo (White 1979; Chandler *et al*. 1983; Agee 1993; Whelan 1995: Rodríguez-Trejo 1996).

El fuego desempeña un rol importante dentro del ciclo vital de los ecosistemas forestales que, al igual que otros fenómenos naturales, frecuentemente se convierte en problema a partir de la intervención humana. Esta realidad ha llevado a establecer estrategias e invertir recursos económicos, materiales y humanos para tratar de reducir al mínimo posible los efectos de los incendios forestales. En México desde hace décadas se ha venido desarrollando una estrategia general de prevención y control de incendios forestales, sistematizada a través del Programa Nacional de Protección contra Incendios Forestales, y en cuya aplicación participan instituciones de los tres órdenes de gobierno, organismos civiles y voluntarios (CONAFOR, 2012).

Muchas veces los incendios forestales son catalogados son importantes factores de degradación de los ecosistemas, sin embargo, sin embargo su ocurrencia y frecuencia tiene efectos benéficos dentro de los ecosistemas. Alrededor de esto existe una fuerte controversia, por una parte estos fenómenos causan grandes daños, sin embargo también aportan beneficios al ecosistema, dependiendo cual sea el tipo de interés la presencia de fuego dentro de los ecosistemas se verá como decible o no deseable ya que estos simplemente causan cambios. Para entender mejor como es que los incendios se desarrollan y los factores que intervienen en ellos a continuación se describen los siguientes antecedentes.

## 2.1 INCENDIOS FORESTALES.

Es la propagación libre del fuego sobre la vegetación forestal (Rodríguez, 1996), ya sea por causas naturales o inducidas, con una ocurrencia y propagación no controlada o programada, obliga a las agencias encargadas de los recursos naturales a realizar el combate de extinción de los incendios (SEMARNAT, 2000).

En primera instancia, los incendios forestales representan costos económicos durante su combate y extinción, generan daños a la salud de las personas, contribuyen a la emisión de partículas a la atmósfera, incrementan la pérdida de recursos forestales maderables y no maderables, así mismo incrementa la posibilidad de accidentes para las brigadas combatientes, aumenta los costos de restauración de los ecosistemas e impactan de manera negativa en la calidad de los servicios ambientales ofrecidos por los bosques (producción de agua, conservación

de suelos, producción de oxígeno y belleza escénica) (NOM-015-SEMARNAT/SAGARPA-2007).

El grado de impacto de los incendios forestales depende de varios factores. Sin embargo, el tipo de incendio define fuertemente el grado de daño o beneficio que estos pueden provocar. En general los incendios forestales se clasifican en tres tipos (Chandler, 1983).

## 2.2 TIPOS DE INCENDIOS FORESTALES.

### 2.2.1 Incendio Subterráneo.

Este tipo de incendio ocurre entre la materia orgánica que se encuentra en la superficie y la capa mineral del suelo, principalmente en raíces, hojarasca, residuos vegetales en descomposición y humus, su avance es muy lento debido a la falta de oxígeno pero lo hacen de manera continua, muchas veces son difíciles de detectar ya que solo se perciben por la emisión de humos, debido a que normalmente arden sin llamas. Esto los hace muy peligros ya que pueden llegar a áreas con fuerte acumulación de materia seca y provocar un incendio de mayores dimensiones (Trabaud, 1992).

### 2.2.2 Incendio Superficial.

Este incendio consume cualquier tipo de material combustible que se encuentre situado encima de la superficie del terreno y por debajo de las copas de los árboles. Comprende mayoritariamente hojarasca, ramas muertas, acículas, troncos caídos, y vegetación herbácea. Su impacto es mayor que el tipo anterior y pueden causar un serio daño al arbolado principalmente al joven. Aunque no en un alto porcentaje, también llega a matar arboles maduros. Esto último depende de las especie del árbol y de la acumulación de materia seca que se presenta alrededor del árbol. Este tipo de incendios son los más comunes y estudiados (Trabaud, 1992).

### 2.2.3 Incendio Aéreo o de Copa.

Este es el tipo de incendio es el más peligroso ya que poco se puede hacerse para su control. Este se propaga a través de la copa de los árboles y por la intensidad del fuego que propicia, llega a dañar muy severamente al ecosistema. Esto último puede significar la pérdida total de toda condición de vida en un área determinada. La posibilidad de que ocurra un incendio de copa más o menos violento dependerá de las condiciones meteorológicas la topografía, así como la posición relativa del combustible en los diferentes estratos, de la cantidad y disposición del combustible

aéreo y del porcentaje del combustible seco y fino que presenten las copas (Trabaud, 1992).

## 2.3 COMPORTAMIENTO DEL FUEGO.

Es la forma en que avanza el fuego en cuanto a su velocidad, su intensidad, su tasa de crecimiento perimetral y de área, configuración y la altura promedio que alcanzan las llamas, así como el tipo de incendio: superficial, aéreo o subterráneo (Montoya, 2004). El comportamiento de todo incendio forestal está gobernado por tres factores: a) el complejo de combustibles existentes en el lugar del siniestro, b) la topografía del terreno y c) las características del tiempo atmosférico prevaleciente (Rodríguez *et al*. 2002).

## 2.4 PELIGRO Y RIESGO DE INCENDIO FORESTAL.

El peligro se refiere a la existencia de condiciones ambientales y de los combustibles, favorables para el inicio y desarrollo de un incendio (Rodríguez, 1996).

El riesgo corresponde a la existencia de factores que pueden propiciar fuego en el monte. Como por ejemplo la aplicación de: quemas agrícolas, encender fogatas, tirar colillas de cigarros en el bosque, Tormentas eléctricas (rayos) entre otros (Rodríguez, 1996).

## 2.5 ECOLOGÍA DEL FUEGO.

La causa principal del daño ocasionado por los incendios forestales, lo es el hecho de que en ocasiones pasen varios años sin que exista presencia del fuego. Esto propicia una alta acumulación de combustible. Si además se añade la ocurrencia de condiciones atmosféricas adversas como son las altas temperaturas y una distribución de los combustibles en continuidad horizontal y vertical, se tiene una alta extremo (Rodríguez, 2006).

Diversos autores señalan que el fuego forma parte de los ecosistemas forestales, sin embargo esto aplica solo cuando el fuego no es demasiado severo como el caso de los incendios de copa. Al respecto (Chandler, 1983) señala que a través de muchos siglos el fuego ha influido en el ciclo de vida de las plantas y de sus comunidades. Muchas plantas están adaptadas al efecto del fuego para su germinación y crecimiento. De acuerdo con lo anterior es necesario anticipar la probable ocurrencia y efectos del fuego en el proceso natural de los ecosistemas.

## 2.6 IMPACTO ECOLÓGICO DEL FUEGO.

El fuego ha jugado un papel natural e importante en todos los ecosistemas forestales (Davis, 1959). De acuerdo con (Arno, 1989) el fuego interrumpe el ciclo de la sucesión vegetal dejando que la vegetación tolerante al fuego permanezca en un sitio específico. El fuego tiene una alta influencia sobre varios de los elementos de los ecosistemas vegetales lo cual a su vez define la presencia de cierto tipo de hábitat en un área dada. Algunos de los aspectos en los que el fuego afecta a los ecosistemas son los siguientes:

- Las propiedades físicas y químicas del sitio.
- La acumulación de materia seca.
- Las adaptaciones genéticas de las especies vegetales.
- El establecimiento, el desarrollo, la composición y la diversidad de las especies determinando a su vez las relaciones comunitarias.
- Hábitat y poblaciones naturales.
- La presencia y abundancia de los insectos, parásitos y hongos

Para entender más claramente el/los efecto(s) del fuego en los ecosistemas forestales, a continuación se describe a detalle algunos de los aspectos donde influye el fuego.

### 2.6.1 Características físicas y químicas del suelo.

Entre otros aspectos el fuego influye en las características físicas y química del suelo. Sobre las primeras es importante señalar que este efecto depende básicamente de la intensidad del fuego lo cual es reflejada en la presencia de altas temperaturas. En general podemos decir que el fuego modifica la permeabilidad del suelo, sin embargo es poco probable que el calor generado sea suficiente para alterar características como textura (Aguirre, 1981). Por otra parte una forma indirecta en la que el fuego puede modificar las características del suelo es el hecho de que gracias a este se puede eliminar la capa vegetal que lo protege, esta condición aumenta notablemente la susceptibilidad del suelo para erosionarse, estas pérdidas del suelo define diferentes porcentajes de textura que se presenta en el originalmente.

El efecto del fuego sobre las propiedades químicas del suelo se puede resumir en que el fuego produce incrementos de las cantidades minerales disponibles, al menos temporalmente, se disminuye la acidez del suelo se incrementa la saturación de las

bases y se disminuye el abastecimiento de nitrógeno total. Sin embargo estos efectos varían generalmente dependiendo del tipo de suelo.

### 2.6.2 Acumulación del material combustible.

Uno de los elementos esenciales para que ocurra un incendio es el material combustible. Debido a esto los incendios ocurren más frecuentemente donde la acumulación de material combustible es más abundante, como por ejemplo es el caso de los bosques de pino. Este material puede acumularse durante varios años hasta que por alguna causa, se presenta un incendio el cual elimina la capa de combustible original (Arno, 1989). Después de este proceso la acumulación de materia seca se reanuda casi inmediatamente después del incendio. Esto último se debe a que el calor generado en el incendio puede ser suficiente como para afectar a las hojas o acículas de las partes bajas de la copa de los árboles.

Es importante destacar que tanto el tipo de combustible como la cantidad que se halla acumulado, definen la intensidad del incendio, lo cual a su vez definirá en impacto de fuego en los ecosistemas (Anderson, 1982).

### 2.6.3 Efecto del fuego sobre organismos del suelo.

Los efectos del fuego sobre la fauna y la flora presente en el suelo son altamente variables, dependiendo de la intensidad del incendio, lo profundo que llegue bajo la superficie, el tipo de vegetación y la naturaleza del suelo y del material combustible quemado (Ahlgren, 1974). Este es uno de los aspectos sobre el cual se ha estudiado poco, por lo que es necesario definir hasta donde llega el impacto del fuego en organismos como micorrizas que son esenciales para la continuidad de las comunidades vegetales forestales (Dunn, 1979).

### 2.6.4 Adaptaciones de las especies forestales al fuego.

Mecanismos como la selección natural, han definido el fuego como un factor que influye en la presencia de ciertos tipos de especies y comunidades en un sitio dado. Para sobrevivir al efecto del fuego muchas especies vegetales han desarrollado estrategias y medios de Mientras que algunas especies y comunidades renacen después de la presencia de un incendio forestal, otras plantas son reducidas o eliminadas por el fuego. La selección natural favorece a plantas con características que le permitan evitar o restringir el fuego. Cuando el incendio ocurre solamente una vez en la vida de la planta, tales adaptaciones le permiten reproducirse rápidamente

más que resistir el fuego en sí. Donde el fuego ocurre en forma continua los arboles han desarrollado una gruesa corteza.

Algunas de las adaptaciones de las especies vegetales al fuego son las siguientes (Moravec, 1990):

- Corteza gruesa.
- Frutos serótinos.
- Agresividad en la regeneración.
- Rápido crecimiento juvenil.
- Floración temprana.

Estas características ayudan a que las plantas puedan resistir el calor generado en un incendio, o el establecimiento rápido de nuevas generaciones de manera resumida las adaptaciones de las plantas tienden a:

- Prevenir el daño producido por el fuego.
- Recuperarse por el daño producido por el fuego.
- Para colonizar áreas después de los incendios.
- Para promover el incendio en su hábitat.

### 2.6.5 Dependencia de los ecosistemas forestales al fuego.

Algunos ecosistemas forestales son dependientes del fuego. Se dice que un ecosistema es dependiente del fuego cuando la continuidad de su existencia está basada en el periodo de ocurrencia de incendios forestales. Si el fuego ocurre con mucha regularidad, el ecosistema puede permanecer estable durante milenios. Muchas plantas están adaptadas a los efectos del fuego e incluso algunas de ellas dependen de él para germinar y crecer. Sin en fuego la mayoría de los bosques terminarían por ser desplazados por estadios más avanzados de la sucesión vegetal (Brown y Smith, 2000).

El fuego es la llave que interrumpe el ciclo sucesional y permite que los bosques continúen en una región dada. Estas plantas han sobrevivido ya sea través de rebotes o de semillas que están en el suelo, de hecho algunas semillas esperan por años la presencia de un incendio para poder germinar.
Esta dependencia del fuego incluso ha definido que ciertas especies promuevan la ocurrencia de incendios para lo cual propician condiciones que incrementan la

probabilidad de la ocurrencia de estos. Como ejemplo de esto último se tienen algunas especies de pino las cuales producen una gran cantidad de material combustible el cual es acumulado en el piso del boque.

Este material combustible está compuesto por acículas ramas y troncos. La intensidad del incendio estará definida por la cantidad de este material combustible que llegue acumularse entre un incendio y otro. Una alta densidad del arbolado es otro factor que favorece la presencia de los incendios ya que el arbolado en si es considerado como material combustible vivo o verde.

## 2.7 BENEFICIOS DEL FUEGO EN LOS ECOSISTEMAS FORESTALES.

En la ecología del fuego los incendios forestales no son innatamente destructivos o constructivos, estos simplemente causan cambios. El que estos cambios se vean como deseables o no, dependen de su compatibilidad con el equilibrio ecológico de los ecosistemas o desde un punto de vista de uso del recurso forestal con ciertos objetivos de manejo. Sin embargo estos cambios son biológicamente necesarios para mantener la salud de ciertos ecosistemas. A continuación se presentan algunas de las formas a través de las cuales el fuego beneficia la permanencia de los bosques.

### 2.7.1 Preparación de la cama semillera.

Al reducir la capa del material combustible el fuego en ocasiones deja expuesto al suelo mineral, lo cual permite que las semillas este en contacto directo con el suelo y al germinar sea más seguro se establecimiento. De no eliminarse esta capa de hojarasca, la semilla podría germinar en la misma sin embargo debido a esto pierde su humedad rápidamente la plántula producida probablemente muera por falta de humedad. Después de un incendio las semillas son parcialmente enterradas por las cenizas lo cual favorece su germinación.

### 2.7.2 Eliminación de la reducción de la competencia.

Dependiendo de la intensidad del incendio forestal se puede eliminar gran parte de la competencia que afecta a las especies más adaptadas al fuego. Incluso un incendio de baja magnitud puede reducir la competencia de vegetación herbácea, lo cual afecta la regeneración del arbolado ya que compite por humedad y nutrimentos.

2.7.3 Nutrientes en el suelo.

Al producirse un incendio se quema la capa que cubre al suelo forestal, la cual está formada por hojas acículas ramas etc. (Flores y Benavides, 1993). En esta acción estos materiales se reducen a componentes básicos como son el agua, el $CO_2$ y los minerales. Esto permite que los minerales que no se encontraban disponibles para la vegetación forestal después de un incendio si lo estén. Aunque el nitrógeno se pierde por la acción del fuego, las condiciones del suelo superficial, permanentemente favorecen el desarrollo de bacterias y otros organismos del suelo fijadores de nitrógeno.

2.7.4 Saneamiento.

La idea de que los incendios forestales pueden sanear un bosque es aún muy controvertida sin embargo algunos investigadores consideran que para sanear un bosque el fuego afecta en dos fases. En la primera de estas la presencia de un incendio puede llegar a debilitar la masa arbolada, lo cual favorece la presencia de plagas y enfermedades. En la segunda fase debido a que dichas plagas pueden llegar a matar el arbolado afectado, esto produce gran cantidad de material combustible (principalmente la caída de acículas), lo cual es una presencia favorable para la presencia de un incendio. Una vez que llega a presentarse el incendio la vez que se destruye un arbolado afectado se elimina la plaga enfermedad o incluso las plantas parásitas.

## 2.8 TRIANGULO DEL FUEGO.

2.8.1 Componentes del triángulo del fuego.

Para que se genere un incendio forestal, debe existir tres elementos importantes como son el calor, el oxígeno y el combustible; estos forman lo que se conoce como triangulo del fuego (Figura 1). Sin la presencia de alguno de estos tres elementos no es factible la combustión.

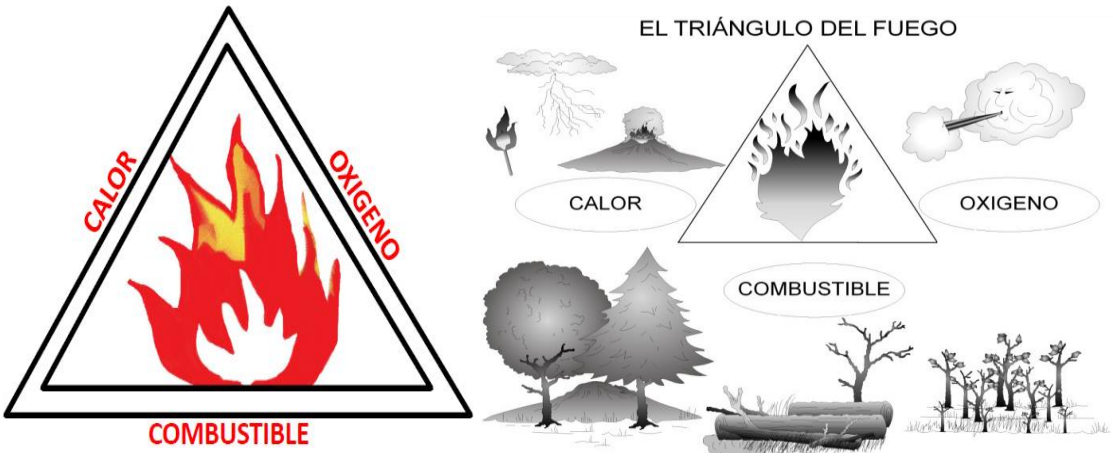



***Figura 1**. El triángulo del fuego y sus componentes (NOM-015-SEMARNAT/SAGARPA/2007)*

2.8.2 Inflamabilidad de los combustibles.

La inflamabilidad se considera como la propiedad que posee un vegetal para inflamarse desde que una fuente de calor entra en contacto con él, y la combustibilidad como la forma en la que se quema los vegetales una vez que se han inflamado (Trabaud, 1976).

Se considera la inflamabilidad de un combustible como la conjunción de tres femémonos (Anderson, 1970).

*Ingnitabilidad*: facilidad con la que un material entra en ignición. Se describe como el tiempo transcurrido hasta que tiene lugar la formación de llamas.
*Sostenibilidad*: describe la propiedad de un combustible para continuar quemándose.
*Combustibilidad*: se relaciona con la velocidad a la que se quema un combustible.

El fuego puede iniciarse y establecerse sobre un vegetal debido a su capacidad de inflamarse y desencadenar el proceso de combustión. La inflamabilidad y combustibilidad dependen de una serie de propiedades térmicas (capacidad calorífica, poder calorífico y conductividad) y características físicas y químicas (carga grosor o relación superficie/volumen, densidad de las partículas, humedad, compactación química, compactación del estado y continuidad). En el desarrollo y posterior comportamiento del incendio influyen además las características del lecho de combustible, comportamiento controlado también por factores meteorológicos y topográficos (Ruiz, 2004).

## 2.9 COMBUSTIBLES FORESTALES.

El combustible forestal está constituido por materiales leñosos y ligeros, vivos o muertos, son toda la materia vegetal presente en un ecosistema que posee la capacidad de encenderse y arder al ser expuesto a una fuente de calor, son el resultado del proceso natural de caída de hojas, acículas, ramas y humus; aunque también se debe a las actividades del hombre, por ejemplo en los aprovechamientos forestales. Estos combustibles están presentes en la mayoría de los ecosistemas terrestres.

Su importancia radica en que son uno de los principales elementos que determinan el establecimiento y desarrollo de un incendio forestal además en la dificultad de combatir los incendios, es decir en la resistencia a las actividades de defensa.
Si no existiera material combustible en un área o terreno determinado sencillamente no habría material que pudiera quemarse y por ende la posibilidad de que un incendio se desarrolle seria nula.

### 2.9.1 Características principales de los combustibles.

Para poder describir adecuadamente los combustibles presentes en un lugar concreto, no solo hay que tener en cuenta la clasificación de éstos en cuanto a vitalidad y ubicación, sino otra serie de características que van a influir en su combustibilidad, y, en definitiva, en el comportamiento del incendio que los pudiese afectar (Porrero, 2001):

• ***Estado y diámetro.***
El combustible por su estado se divide en vivos y muertos y por su diámetro en livianos ligeros medianos y gruesos.
• ***Cantidad.***
Los combustibles son caracterizados por el peso que tiene por unidad de superficie en el terreno ($Mg/ha^{-1}$, o $kg/ m^2$). Los distintos tipos de vegetación implican diferentes cargas y tipos de combustible. La proporción de los combustibles va a depender de la exposición del sol durante el día, altura sobre el nivel del mar, latitud, lluvia, suelo, clima, edad de la vegetación, actividad y manejo anterior.
• ***Tamaño y forma.***
Conforme el combustible es más pequeño tiende a arder más fácilmente porque cada unidad de volumen tendrá una mayor superficie de contacto con las llamas, lo que hará perder más rápidamente la humedad y alcanzara más pronto la temperatura a la que pueda arder (Chandler, 1983).

• ***Compactació*n.**
A medida de que los combustibles están más compactos, el aire circula con menos libertad entre ellos, lo que merma la cantidad de oxigeno y dificulta su combustión, en la hojarasca compacta el fuego se propaga más lentamente, que en la poca compacta (Rodríguez, 1996).

• ***Disposición del combustible***
Es la forma en la que la vegetación se distribuye sobre el terreno y tiene una alta influencia en el comportamiento del incendio. En general se puede distinguir en dos disposiciones diferentes.

- Disposición horizontal
- Disposición vertical

• ***Densidad de la madera***
A partir de contenidos de humedad iguales, las maderas densas como la de los encinos, tardan más en arder pero lo hacen con mayor intensidad que las maderas menos densas como la de las coníferas.

• ***Sustancias químicas***
La resina de las coníferas y las gomas de las latifoliadas favorecen la combustión. Este es uno de los factores que contribuyen a una rápida propagación de las llamas en los matorrales.

• ***Humedad del combustible***
A menor contenido de humedad la combustión se iniciara más fácilmente y el fuego se propagara más rápido.

### 2.9.2 Clasificación de Combustibles Forestales.

Los combustibles forestales se clasifican bajo diferentes criterios de acuerdo a su peso, tamaño, estado de descomposición, ubicación. Los distintos tipos de vegetación presentan diversos tipos de combustible. Los cuales pueden ser clasificados de acuerdo a su tipo:

- **Clasificación de los combustibles por su peso**

- ***Combustibles ligeros o livianos*:** hojarasca, pastizales etc.
- ***Combustibles pesados****:* árboles caídos árboles en pie y ramas muertas.
- ***Combustibles verdes***: árboles caídos o en pie que no estén secos.

- **Clasificación de combustibles por su ubicación**

***Subterráneos*:** Raíces y tocones que se encuentran en el suelo vegetal, incluyendo a la capa de materia orgánica.

**Superficiales:** Los que se encuentran en un rango de hasta un metro y medio de altura sobre el suelo. Están formados por hojarasca, acículas, ramas, arbustos, troncos entre otros.

**Aéreos:** Son los que se encuentran en un rango de hasta un metro y medio de altura y está compuesta por follaje ramas y bejucos.

- **Estado de descomposición.**

Otra característica de los combustibles es el estado de descomposición que tiene el material leñoso muerto, ya sea en pie o sobre el suelo, condición que influye en el peso y densidad de la madera y por lo tanto en el grado de inflamabilidad. Existen diferentes clasificaciones del estado de descomposición del material leñoso y todas dependen de las características que presenta el combustible (Cuadro 1.)

| CLASE | INTEGRACIÓN ESTRUCTURAL | TEXTURA DE LA MADERA | COLOR DE LA MADERA | PRESENCIA DE RAICES INVASORAS | CONDICIONES DE RAMAS Y RAMILLAS |
|---|---|---|---|---|---|
| **I** | Sano | Intacto, ninguna putrefacción en el tallo. | Color Original | Ausente | Presenta ramas delgadas con corteza firme. |
| **II** | Medula sana duramen seco. | Mayor parte intacta; el duramen un poco blando. | Color original | Ausente | Presenta ramas delgadas, todavía ramitas finas cubiertas por corteza. |
| **III** | Medula sana, el tronco soporta su peso. | Los pedazos grandes pueden ser tirados cada uno con la mano | Rojo castaño, color original. | Presente el duramen únicamente. | Grandes ramas del tocón empujan hacia afuera. |
| **IV** | Medula podrida, el tronco no apoya su peso, pero su forma se mantiene. | Pedazos blandos de material fijado, pueden separar la medula. | Rojo castaño, a castaño claro | Presente en todo el tronco | Grande ramas del tocón empujan hacia afuera. |
| **V** | Ninguna integración estructural | Suave y polvoriento cuando está seco. | Rojo castaño o castaño oscuro. | Presente en todo el tronco | Ramas del tocón están podridas. |

***Cuadro 1.*** *Clasificación de los estados de descomposición de los combustibles (Chojnacky et al. 2004)*

### 2.9.3 Clasificación de combustibles por su tamaño.

- ***Finos y ligeros:*** diámetro menor de 0.6 cm corresponden a ramillas muy finas. Este tipo de combustible se quema muy rápidamente y está rodeado de mucho oxígeno provocando un incendio que se extienda muy rápidamente.

- ***Regulares:*** diámetro de 0.6 a 2.5 cm, por ejemplo ramas y tallos pequeños.

- ***Medianos:*** diámetro de 2.6 a 7.5 cm, ejemplos, fustes troncos y ramas gruesas. Este tipo de combustible se calienta muy despacio.

- ***Pesados:*** fustes con diámetros mayores a 7.5 cm.

2.9.4 Clasificación de combustibles por su tiempo de retardo.

El "tiempo de retardo" es el tiempo que tarda un combustible vegetal muerto en ganar o perder, dos terceras partes de la diferencia entre su contenido de humedad inicial y su contenido de humedad de equilibrio con respecto al ambiente (Brown, 1982). Entre más grande sea el combustible perderá o ganara humedad más lentamente, tendrá un mayor tiempo de retardo. De esta forma el diámetro establecerá el tiempo de retardo de un combustible (Cuadro 2).

| Diámetro | Tiempo de Retardo | Tamaño | Peso | Descripción |
|---|---|---|---|---|
| **Menor a 0.6 cm** | 1 hora | Finos | Livianos | Ramillas finas |
| **De 0.6 a 2.5 cm** | 10 horas | Pequeños | Ligeros | Ramillas |
| **De 2.6 a 7.5 cm** | 100 horas | Regulares | Medianos | Ramas |
| **Mayor a 7.5 cm** | 1 000 horas | Grandes | Pesados | Ramas gruesas y troncos |

***Cuadro 2.*** *Clasificación de los combustibles forestales.*

Los combustibles de una hora también llamados *combustibles finos* constituidos por ramillas muy finas se encienden fácilmente y son consumidos rápidamente por el fuego cuando se encuentran secos. Los combustibles de diez horas conocidos como *combustibles ligeros* están constituidos por ramillas. Los combustibles de cien horas o *combustibles medios* están definidos por ramas. En cuanto a los combustibles de mil horas se les denomina *combustibles pesados*, como ramas gruesas y troncos. Además en esta categoría se diferencia entre los troncos o ramas que se encuentran en estado de pudrición y los que se encuentran en un estado firme o sin pudrición. Aunque todos estos combustibles protegen al suelo, es necesario que la capa que forman no sea tan profunda, para que no facilite la dispersión del fuego.

***Figura 2**. Diferentes tipos de Combustibles forestales presentes en un bosque de Pino-Encino.*

## 2.10 CARGAS DE COMBUSTIBLE.

### 2.10.1 Concepto y técnicas.

La carga de combustible es el peso del combustible existente en el terreno. Se expresa en $Mg/ha^{-1}$ y se refiere a peso seco. La carga de material muerto en el terreno se estima a partir de técnicas de muestro siendo la más difundida la metodología desarrollada por Brown en 1974 (Muñoz, 2005). En el bosque se definen dos tipos de carga: la carga total y la carga de combustible disponible.

La carga total está constituida por todo el material combustible, desde la materia orgánica del suelo hasta todos los árboles. Es la máxima cantidad de combustible que se podría quemar en condiciones extremas, en un incendio de alta intensidad (Ruiz, 2004).

La carga de combustibles disponible es la que realmente está en condiciones de arder y consumirse bajo las condiciones ambientales del momento. Será siempre de valor inferior al de la carga total. Cuando tiene lugar un incendio no todo el material arde y se consume; es muy raro que los combustibles de mayor grosor se reduzca totalmente a cenizas, muchas veces únicamente se encuentran enegrecidos en la superficie, tampoco es frecuente que el incendio pase a las copas y las consuma o que consuma toda la materia orgánica del suelo. El combustible disponible determina la cantidad de fitomasa que se quema y por lo tato influye en la cantidad de calor que se libera.

La carga de combustible es un elemento que se puede modificar mediante:

- Aplicación de prácticas silvícolas preventivas: Podas aclareos y cortas siempre y cuando se extraiga el material del bosque.
- Extracción de material muerto.
- Quemas controladas.
- Pastoreo.

### 2.10.2 Evaluación de la carga de combustibles.

Los estudios para estimar la cantidad de combustibles forestales pueden hacerse para combustibles vivos o muertos. En el caso de combustibles vivos existe un método practico y fácil para evaluarlos por medio de modelos de estimación de biomasa, en este caso se relacionan el peso y las dimensiones del individuo. Para los combustibles muertos, su evaluación es directamente in situ mediante muestreos, la técnica más difundida para cuantificar combustibles leñosos es la técnica de intersecciones planares descrita por Brown (1974) y adaptada por Sánchez y Zerecero (1983) quienes mencionan que este método pude ser aplicado para cualquier tipo de vegetación. Esta técnica consiste en el conteo de las intersecciones de las piezas leñosas en planos de muestreo vertical y que en el terreno se marca con líneas de muestreo; además presenta la metodología para estimar la cantidad de hojarasca en el piso forestal. Esta técnica ha sido aplicada con mucho éxito en países como Canadá, EUA, Nueva Zelanda, México; para asociaciones de bosques de pino.

La medición de combustibles leñosos de acuerdo a esta técnica representa el corte visual de un plano vertical sobre los materiales, representado por una línea de muestreo y que en el terreno se delimita extendiendo una cuerda o cinta métrica , las partículas leñosas que se intersectan con estas líneas, son registradas de acuerdo a su categoría,. Consecuentemente en el conteo de las intersecciones es importante visualizar el plano que “corta” los materiales desde 15 cm sobre la cinta hasta la superficie del suelo (Figura 3.). Para el caso de la cama de combustibles forestales o la cantidad de hojarasca del piso forestal se obtiene evaluando mediante cuadrantes donde se realizan mediciones de profundidad y se colecta el material contenido dentro de estos cuadrantes.

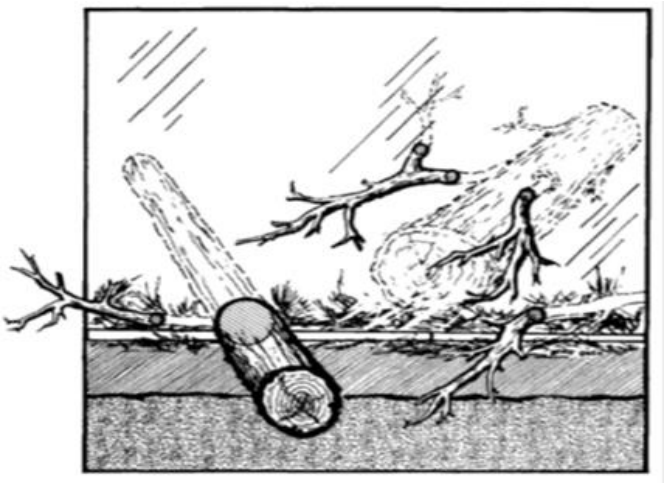


***Figura 3.*** *Intersecciones de material combustibles hasta 15 cm de la superficie del suelo.*

A continuación se presentan algunos principios básicos sobre técnica son:

1. Las piezas leñosas menores a 7.5 cm de diámetro serán medidas por clases de tamaño y las piezas de 7.5 cm y mayores se registran por sus diámetros.

2. Las clases de tamaño de 0-0.6 cm., de 0.6-2.5 cm. y de 2.5-7.5 cm., fueron elegidas por medición de las intersecciones, porque los intervalos de clase proporcionan mayor resolución para combustibles finos y son lo suficientemente pequeños para permitir estimadores precisos de volumen y corresponden en el incremento de 1, 10 y 100 horas promedio de tiempo, de retención de humedad o “tiempo de retardación” para muchos materiales leñosos. Los materiales cuyo diámetro es mayor a 7.5 cm. corresponden a la clase de 1000 horas promedio de tiempo.

3. Los cálculos de cada categoría diamétrica o tamaño de clase se determinan en base a fórmulas.

Consideraciones generales para la técnica intersecciones planares.

Al aplicar esta técnica es importante conocer las reglas establecidas en la técnica para el conteo de material combustible leñoso, estas reglas se aplican a las piezas leñosas de cualquier diámetro.

a) Las partículas que se incluyen en el conteo o medición de las intersecciones son todos los combustibles leñosos muertos que provienen de árboles y arbustos y que se encuentran sobre el suelo de un bosque (ramas y troncos) y que se hayan separado de la fuente original de crecimiento. Por lo tanto, las ramas muertas que están unidas a un tronco muerto en pie no son contadas.

b) Se consideraran todas las ramas y ramillas que estén dentro o sobre la capa de hojarasca. Sin embargo no serán medidas si las ramas o ramillas se encuentran dentro de la capa de humus (Figura 4).

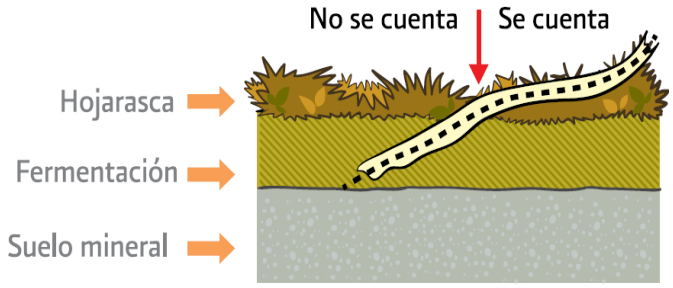



***Figura 4.*** *Las piezas solo son contadas cuando el eje central está sobre la capa de fermentación lado derecho de la flecha (Brown 1974).*

c) Si el plano de muestro intersecta la parte final de una troza, esta solo se medirá si el plano de muestreo cruza el eje central de la misma (Figura 5).

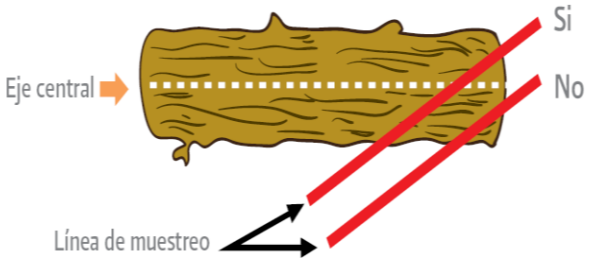



***Figura 5****. La línea de muestreo debe cruzar el eje central de la troza para ser medida (Brown 1974).*

*d)* No se mide ninguna pieza en la cual su eje central coincida perfectamente con la línea de muestreo (esto es algo que sucede muy raramente) (Figura 6.)

***Figura 6.*** *Si la línea de muestreo coincide con el eje central del tronco, la pieza no es contada (Brown 1974).*

e) Si la línea de muestreo cruza en dos ocasiones una pieza que esta curvada, se contabiliza cada intersección (Figura 7.)

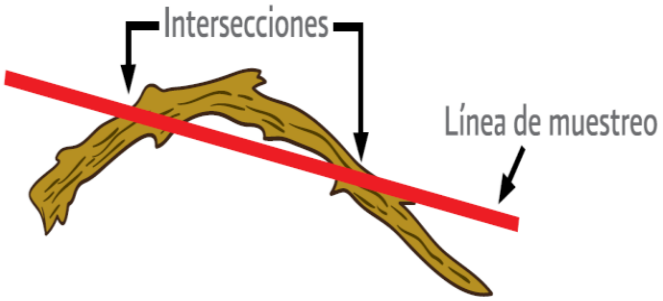



***Figura 7****. Se contabilizan todas las secciones que intersectan la línea de muestreo en una pieza curvada (Brown, 1974).*

f) Se miden las astillas y trozas que quedan después del aprovechamiento. Debido a su estructura estos componentes se tienen que visualizar en forma cilíndrica para determinar la clase de tamaño o medir el diámetro.

g) Medir tocones que no estén enraizados y raíces que no estén cubiertas por tierra. Para medirlos se debe considerar como troncos individuales o raíces individuales. No se deben medir tocones que estén enraizados o que no han sido alterados.

h) Para las trozas muy podridas que están despedazadas y ya perdieron la estructura original, se debe construir visualmente la representación, una forma cilíndrica que contenga el material podrido y estimar el diámetro, el cilindro probablemente será más pequeño en diámetro que el de la troza original.

## 2.11 INVENTARIOS DE COMBUSTIBLES FORESTALES EN MÉXICO.

Algunos trabajos de evaluación de combustibles forestales como los de Warren y Olsen (1964), Van Wagner (1968) y Brown (1971, 1974), han sido la base para los realizados en nuestro país (Alvarado, 1986). Estos comienzan con la presentación de la técnica de Intersecciones Planares para determinar el volumen de los residuos leñosos en un bosque de *Pinus hartwegii* de 502 ha, en Zoquiapan, Méx., por Vera (1980); Por otra parte Vera y Musálem (1981), encuentran un promedio de 0.3071 m3/ha. Sánchez y Zerecero (1983), realizaron la traducción al español del trabajo de Brown (1974); Sánchez y Dieterich (1983), refieren cargas del orden de 50 $Mg/ha^{-1}$ en bosques de *Pinus durangensis* en Chihuahua. Zapata en 1991, evaluó cargas de combustibles leñosos para la Unidad de Administración Forestal de Topia, Dgo., con el propósito de obtener índices de peligro básico. Las especies principales de su área de estudio son: *Pinus arizonica* y *Pinus durangensis.* Obtuvo cinco categorías de carga: I (hasta 21 $Mg/ha^{-1}$), II (de 22 a 35 $Mg/ha^{-1}$), III (de 36 a 49 $Mg/ha^{-1}$), IV (de 50 a 63 $Mg/ha^{-1}$) y V (mayor o igual a 64 $Mg/ha^{-1}$). Flores y Benavides (1995), menciona cargas de 56.05 a 90.13 $Mg/ha^{-1}$ en masas de *Pinus michoacana*, en Jalisco. Para las 35 000 ha de bosque en el D.F., Rodríguez y Sierra (1995), refieren cargas por tipo de vegetación (-modelos de combustibles-), es este trabajo se utilizaron los modelos de Brown (1974) para combustibles leñosos, y se generaron otros para el resto de estos materiales. Skkink y Keane (2008), compararon cuatro técnicas de muestreo para estimar cargas de combustibles en superficies forestales en Montana Occidental. El trabajo se realizó en cinco regiones, obteniendo los valores del componente para seis cargas de combustibles. En estudios realizados en el norte de México Díaz (2012) estimo la carga de combustibles forestales en una plantación de *Eucaliptus spp.* en el cual obtuvo un valor promedio de 12.03 $Mg/ha^{-1}$, por otra parte Rubio (2014) estimo un total promedio de 31.09 y 42.03 $Mg/ha^{-1}$ para dos parcelas muestreados en un bosque de pino-encino en el estado de Nuevo León

.

## 2.12 INTERPOLACIÓN DE DATOS

La interpolación de datos ofrece la ventaja de proyectar mapas o superficies continuas a partir de datos discretos; sin embargo, la utilización de una buena cantidad de puntos del área en estudio limita su utilización (Johnston *et al*. 2001).

Entre los métodos más utilizados para llevar a cabo la interpolación de variables está la Ponderación del Inverso de la Distancia (IDW por sus siglas en Inglés), método matemático que utiliza un algoritmo basado en las distancias de los puntos. Por otro lado, Kriging es un método geoestadístico que cuantifica la estructura espacial de los datos y su autocorrelación, mediante variogramas para realizar las predicciones correspondientes (Trangmar *et al*. 1985, Villatoro e*t ál.* 2008).

Algunos estudios donde se han aplicado herramientas de interpolación especificadamente el método Kriging se pueden citar los estudios de Hartkamp et al. (1999), Treviño et al. (2002), Tellez et al. (2003) y Jiménez et al. (2004) aplicaron técnicas de interpolación para la obtención de superficies continuas de distintos temas climáticos. Por otro lado Descroix et al.(1997) realizó un estudio en la cuenca alta del río Nazas donde se encontró relación de la precipitación con la altitud (0.85) y distancia al océano (-0.85) indicando que la precipitación se incrementa con la altura y decrece a medida que se aleja del océano explicando 85% la variación de la cantidad de lluvia (Muñoz, 2001).

En investigaciones un poco más antiguas Collins (1996), llevó a cabo una comparación entre 6 métodos de interpolación espacia para la estimación de la temperatura media, máxima y mínima a nivel mensual y estacional en algunas zonas de los estados de North Carolina, South Carolina y Georgia, E.U.A. Los resultados fueron analizados a través de un análisis de varianza y los métodos fueron evaluados con base en el error presentado. Los métodos que presentaron el menor error fueron la regresión polinomial y el método del gradiente térmico debido a la inclusión de la relación temperatura-altitud.

Haggmark (1999), utilizó el método de interpolación óptima para representar espacialmente la temperatura. Consideró, además de la distancia horizontal entre las estaciones, la altitud y una relación entre los datos obtenidos en función con la cercanía al mar, lo que posibilitó la descripción de variaciones locales entre áreas montañosas y áreas costeñas. Para la precipitación, estableció una relación entre el viento, orografía y la latitud, con lo que explicó en un 50% la varianza de la precipitación.

Medina *et al.* (1997), En el módulo de clima para la determinación del potencial productivo de especies vegetales en México, aplicaron una interpolación que estima un valor para cada punto considerando los valores de las cinco estaciones más cercanas a este punto obteniendo un promedio ponderado y dándole mayor peso a la estación más cercana de acuerdo con el inverso de la distancia al cuadrado. Las variables interpoladas fueron temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación y evaporación.

Brenner *et al.* (1998), utilizaron la interpolación basada en el inverso del cuadrado de la distancia para la cartografía de las variables climáticas temperatura máxima, mínima.

En general de estos estudios se puede concluir, que el método de interpolación empleado debe ser seleccionado en función de las características de la variable de interés, continuidad espacial y superficie geográfica sobre la cual se va aplicar.

## 2.13 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO KRIGING.

El kriging es un modelo de regresión que genera una superficie estimada a partir de un conjunto de puntos dispersos a los que se les asigna un valor de (*z)*, a diferencia de otros métodos de interpolación kriging en forma efectiva implica una investigación interactiva del comportamiento espacial del fenómeno representado por los valores de (*z)* antes de seleccionar el mejor modelo de estimación para generar la superficie de salida.

De acuerdo con Myeres (1991), la aplicación kriging tiene los siguientes pasos: **a)** Análisis exploratorio estadístico de los datos, **b)** Estimación y modelado de la función cualitativa de la correlación espacial, **c)** Uso de la correlación espacial para determinar una serie de ecuaciones lineales que determinan los pesos del estimador kriging y **d)** Generación de valores estimados y las estimaciones de desviaciones estándar asociadas (Raquel y Enríquez 1997). Los resultados se utilizan como entradas para un paquete de contornos, de manera que se puedan obtener mapas tanto para la variable de interés como para la desviación estándar del kriging (Myers 1991).

El método Kriging pondera los valores medidos circundantes para calcular una predicción de una ubicación sin mediciones. La fórmula general se forma como una suma ponderada de los datos:

$$\hat{\dot{Z}}(\, s_0\,) = \sum_{i=1}^{N} \lambda_i Z(s_i)$$

**Dónde**:

***Z(s$_i$)*** = el valor medido en la ubicación *i*
***λ$_i$*** = una ponderación desconocida para el valor medido en la ubicación *i*
***s$_0$*** = la ubicación de la predicción
***N*** = la cantidad de valores medidos

Existen dos métodos kriging: Ordinario y Universal.

- El kriging ordinario es el más general y más utilizado de los métodos kriging y es el predeterminado. Presupone que el valor medio constante es desconocido.
- El kriging universal presupone que hay una tendencia de invalidación en los datos, Una vez que el modelo se ajusta a los errores aleatorios y antes de realizar una predicción, se vuelve a sumar la función polinómica a las predicciones para obtener resultados significativos. El kriging universal solo se debe utilizar si se conoce una tendencia en los datos y se puede dar una justificación científica para describirla.

Para llevar a cabo una predicción con el método de interpolación, es necesario considerar que kriging atraviesa un proceso de dos pasos:

1. Crea los variogramas y las funciones de covarianza para calcular los valores de dependencia estadística (denominada autocorrelación espacial) que dependen del modelo de autocorrelación (ajustar un modelo).
2. Generar los valores desconocidos (hacer una predicción).

Se establece que al utilizar este método los datos de interés se utilizan dos veces, debido a estas dos tareas distintivas: la primera vez, para calcular la, auto correlación espacial de los datos mediante un semivariograma, y la segunda, para hacer las predicciones.

La aplicación principal de kriging es la predicción de los valores de atributo en las ubicaciones que no fueron muestreadas. Por lo tanto el semivariograma proporciona información sobre la autocorrelación. Sin embargo, no suministra información para todas las direcciones y distancias posibles. Por esta razón, y para asegurar que las predicciones de kriging tengan varianzas de kriging positivas, es necesario ajustar un modelo (es decir, una función o curva continua) al semivariograma.

Para ajustar un modelo al semivariograma se necesita seleccionar una función que sirva como modelo, existen varios modelos de semivariograma para elegir:

- Circular
- Esférica
- Exponencial
- Gaussiana

El modelo seleccionado influye en la predicción de los valores desconocidos, en particular cuando la forma de la curva cercana al origen difiere significativamente. Cuanto más pronunciada sea la curva cercana al origen, más influirán los vecinos más cercanos en la predicción. Como resultado, la superficie de salida será menos suave. Cada modelo está diseñado para ajustarse a diferentes tipos de fenómenos de forma más precisa.

El semivariograma muestra la autocorrelación espacial de los puntos de muestra medidos, los componentes del mismo se conocen como: **Range, Partial sill, Sill, Nugget** y genralmente se utilizan para describir estos modelos.

Al observar el modelo de un semivariograma, notará que a una determinada distancia, el modelo se nivela. La distancia a la que el modelo comienza a aplanarse se denomina **Range**. El valor en el cual el modelo de semivariograma alcanza el rango (el valor en el eje Y) se denomina **Sill** , el **Partial Sill** es el **Sill** menos el **Nugget**. En la figura (8) se muestran los componentes típicos del semivariograma.

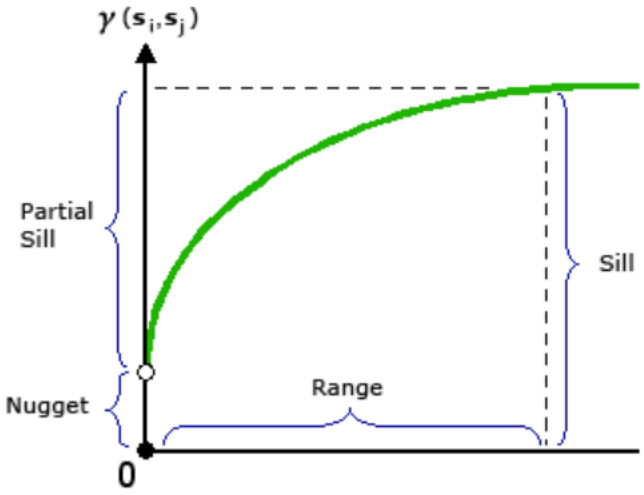



***Figura 8.*** *Componentes típicos de un semivariograma.*

# 3.0 MATERIALES Y MÉTODOS

## 3.1 Descripción del área de estudio.

### 3.1.1 Localización

El área seleccionada para el desarrollo de esta investigación se localiza en el Campus Ecológico Bosque Escuela, de la Universidad Autónoma de Nuevo León. El campus se encuentra ubicado a 15 km sureste de Iturbide en el estado de Nuevo León, México, entre las coordenadas 24°42´N y los 99°51´W (Himmelsbach, 2009) en la Sierra Madre Oriental y cubre una superficie aproximada de 1035 ha con un rango altitudinal de entre los 1200 y los 1890 msnm (Figura 8). El campus es una área exclusiva de la Universidad Autónoma de Nuevo León utilizada en el desarrollo de investigaciones, como área de prácticas tiene un historial de protección de aproximadamente 30 años donde no se realiza ningún tipo de manejo y permanece fuera de actividades antropogénicas (González, 2011).

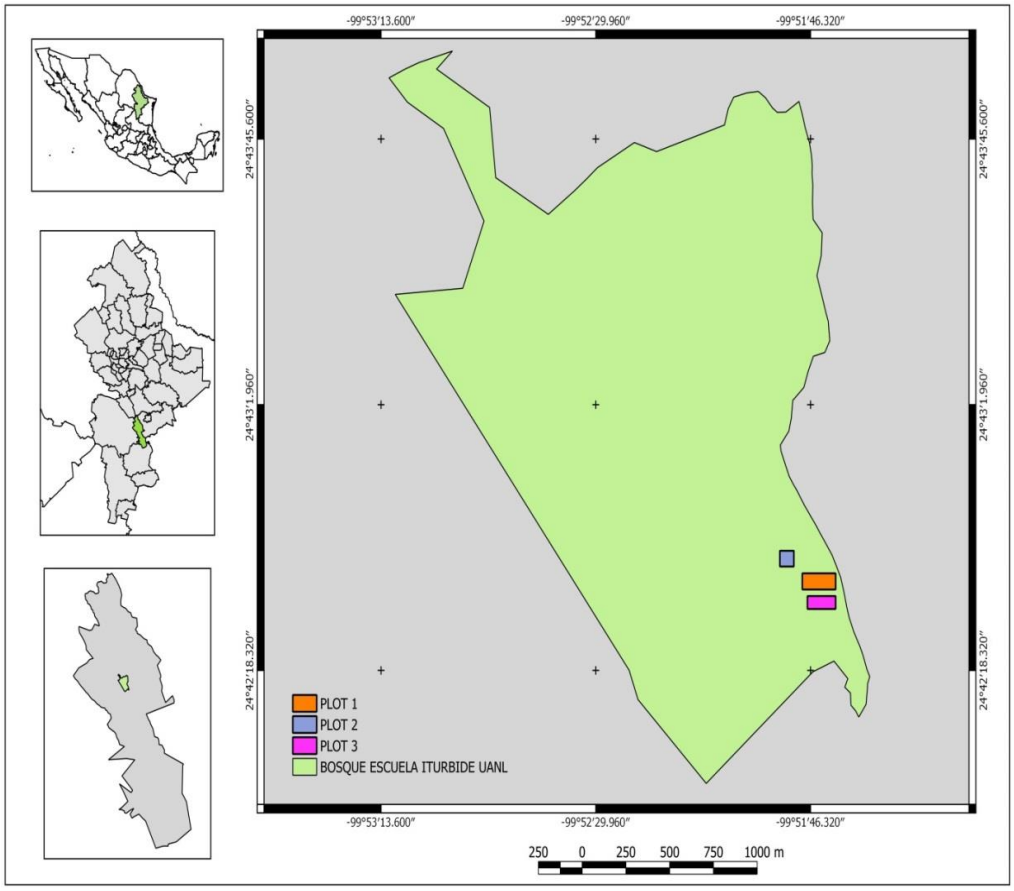



***Figura 9**. Ubicación del área de estudio.*

### 3.1.2 Clima.

De acuerdo con Hiweege y Gomert (1986) y según el sistema Koppen (modificado para Mexico por E. García 1973) la región de estudio tiene un clima semiseco y semicálido de tipo $BS_1$ kw que caracteriza por tener un verano lluvioso y un invierno seco y frio. La precipitación media anual es de 600 mm rebasando la tasa de evapotranspiración. En relación con la temperatura los meces más cálidos son junio, julio y agosto, con 21° C en promedio, el mes más fríos enero con una temperatura mínima de -8°C, el promedio es de 17°C. A causa d las fuertes pendientes se observan variaciones grandes de condiciones mucroclimáticas de las exposiciones norte y sur (Jiménez y Karmer,1992).

### 3.1.3 Geología.

La sierra madre oriental está compuesta por un amplio espectro de rocas sedimentarias calizas de época mesozoica de jurásico superior, cretácico inferior hasta el cretácico superior. En el área de estudio se presentan calizas muchas veces dolomatizadas y arsenicas calizas duras resistentes a los procesos de intemperización y sedimementos margos calizoz y lutitas lomososas friables. En la mayor parte de recalisificadas, material más susceptible a la descomposición y formación de suelos, pero también más afectados por procesos erosivos. Aparte de estos materiales mesozoicos aparecen depósitos sedimentarios de material más fino hasta el holoceno, en las zonas bajas de acumulación, muchas veces como relleno de valles (Woemer,1990).

### 3.1.4 Morfología.

La morfología del área de estudio se caracteriza por cordilleras secundarias muy escarpadas y alto riesgo de erosión de orientación SSO a NNE, que subdividen la cordillera principal de la Sierra Madre Oriental por su ladera oriental. Las exposiciones generales de las pendientes son N,E y S. debido al relieve acentuado los suelos muestran según su posición y/o acumulación distinguibles perfiles decapitados y/o estratificados (Woerner,1990). La topografía es muy accidentada con pendientes generalmente de 30 – 70% y crestas de calizas con pendientes menores (Synnott y Marroquín,1987).

### 3.1.5 Suelos.

Los suelos son delgados con una gran variación en cuanto a colores y fertilidad aparente, relacionado con pendiente, exposición vegetación y geología. Las áreas de caliza tienen suelos obscuros de arcilla arriba de la roca maciza, más profundos en las pendientes al norte y en los cañones. El suelo limoso muestra diferentes

porcentajes de contenido de carbonatos a distintas profundidades (Synnott y Marroquin 1987; Jimenez y Kramer, 1992).

### 3.1.6 Vegetación.

Entre los tipos de vegetación que se pueden distinguir en forma general, dependiendo de la altura y la exposición dependiendo de la altura y la exposición basándose en la estructura y especies de árboles y arbustos dominantes, está el bosque de pino, de pino-encino, de encino-fresno-cedro y de encino, los matorrales submontanos hasta matorrales desérticos abiertos y chaparrales que denotan condiciones más secas y cálidas. En general se presenta un gradiente obvio en altura y densidad de la vegetación (Hijweege y Mes, 1986; Synnott y Marroquin, 1987). Cabe mencionar un tipo de vegetación muy rico en especies representada por los bosques altos y cerrados de cañón, que se limitan estrictamente a los fondos y las paredes inferiores de cañones y barrancas.

## 3.2 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

El área ecológica donde se desarrolla esta investigación cuenta con diferentes comunidades vegetales y cada una de ellas está representada diferentes superficies como: Bosque de encino (99.15 ha), Bosque de encino-pino (145.93 ha) Bosque de pino (32.68 ha) Bosque de pino-encino (30.79 ha) Chaparral (9.80 ha) Matorral (155.07 ha).

Para el desarrollo de esta investigación, dentro del área de estudio fueron seleccionados tres rodales, donde el tipo de vegetación correspondió a bosque de pino-encino estos rodales presentan condiciones fisiográficas similares, en cuanto a exposición, altitud y pendiente (PLOT 1, PLOT 2, PLOT 3).

El desarrollo de metodología para el cumplimiento de los objetivos, básicamente consistió en dos etapas, la primera etapa de campo en la cual se realizó un levantamiento de inventarios de combustibles forestales, la etapa dos consistió en el análisis de esta información recaudada en campo y la realización de una interpolación de los datos recaudados, las especificaciones que se siguieron para la realización de este estudio se describen a continuación.

### 3.2.1 Sitios de muestreo.

Para la distribución de los sitios de muestreo dentro de los rodales seleccionados se utilizaron dos parcelas permanentes de muestreo, establecidas a principios del 2014 utilizadas para evaluar la dinámica de combustibles, estas parcelas cuentan con 25 sitios cada una y para el desarrollo de este trabajo nuevamente fueron evaluadas.

Además se agregaron 40 sitios adicionales para aumentar la superficie muestreada, de manera general se establecieron 90 sitios de muestreo dentro de tres rodales seleccionados los cuales cubren una superficie aproximada de 9 ha. Cada sitio establecido fue georreferenciado así mismo dentro de ellos se tomaron variables como elevación, exposición y pendiente de cada uno.

A continuación se muestra la distribución de los sitios de muestreo (Figura 9.) se puede observar que los sitios se encuentran agrupados en tres grandes grupos o parcelas.

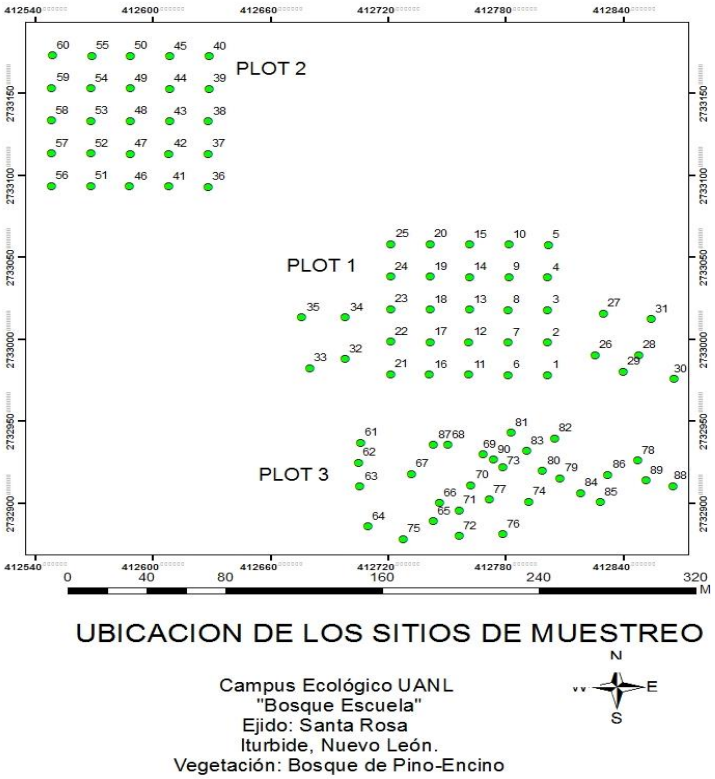



***Figura 10.*** *Ubicación de los sitios de muestro.*

### 3.2.2 Muestreo de Combustibles.

Para el muestreo de combustibles forestales se utilizó una modificación al método de Brown *et.al* (1982). Bajo la técnica conocida como Intersecciones planares, la cual consiste en ubicar una línea recta de muestreo por encima del piso forestal y contar todas las piezas de material leñoso caído que la atraviesen, como si fuera una guillotina. Y que además presenta un apartado para la medición de la capa orgánica del suelo. Utilizando esta técnica se evaluaron las siguientes variables:

| Clave | Descripción |
|---|---|
| **1 HR** | Mg/ha$^{-1}$ de combustibles con diámetro de entre 0 - 0.6 cm |
| **10 HR** | Mg/ha$^{-1}$ de combustibles con diámetro de entre 0.6 – 2.5 cm |
| **100 HR** | Mg/ha$^{-1}$ de combustibles con diámetro de entre 2.5 – 7.5 cm |
| **1000 HR FIR** | Mg/ha$^{-1}$ de combustibles firmes mayores de 7.5 cm de diámetro |
| **1000 HR PUD** | Mg/ha$^{-1}$ de combustibles en pudrición mayores de 7.5 cm de diámetro |
| **HO** | Mg/ha$^{-1}$ de combustibles finos en forma de hojarasca |
| **HU** | Mg/ha$^{-1}$ de combustibles finos en estado de pudrición (humus) |
| **PRO HO** | Profundidad (cm) de combustibles finos en forma de hojarasca |
| **PRO HO** | Profundidad (cm) de combustibles finos en forma de material en pudrición (humus) |

***Cuadro 3**. Clave que corresponde a cada uno de los combustibles que fueron evaluados.*

### 3.2.3 Diseño de muestreo

Cada sitio de muestreo consistió en una línea de 15 m de largo donde se registraron las frecuencias de los combustibles y además se realizó la evaluación de la capa orgánica para cada uno de estos se siguieron las siguientes especificaciones (Figura 11).

### 3.2.4 Material leñoso caído

Las piezas de material leñoso caído se registran a diferentes longitudes de la línea de muestreo dependiendo del grosor. Los combustibles forestales de 1 y 10 HR se midieron desde el centro de la línea hasta los 2 metros de distancia, siguiendo la línea de muestreo y registrando las piezas que lo cruzaban. Los combustibles de 100 HR se registraron desde el centro de la línea hasta los 4 metros y los combustibles de 1000 HR se contabilizaron desde el punto inicial del muestro hasta los 15 m es decir, en toda la línea de muestreo, estos combustibles fueron registrados por su diámetro y además se determinó el estado en el que se encontraban firme o descompuestos.

### 3.2.5 Capa Orgánica del suelo.

Una vez realizado el registro de material leñoso, a un lado de la línea de muestro se realizó la medición de la capa orgánica del utilizando un recuadro de 30x30 cm donde se registrara la profundidad de la capa orgánica y el humus además se colecto el material contenido dentro del recuadro para su posterior análisis en el laboratorio.

### 3.2.6 Diseño de Muestreo

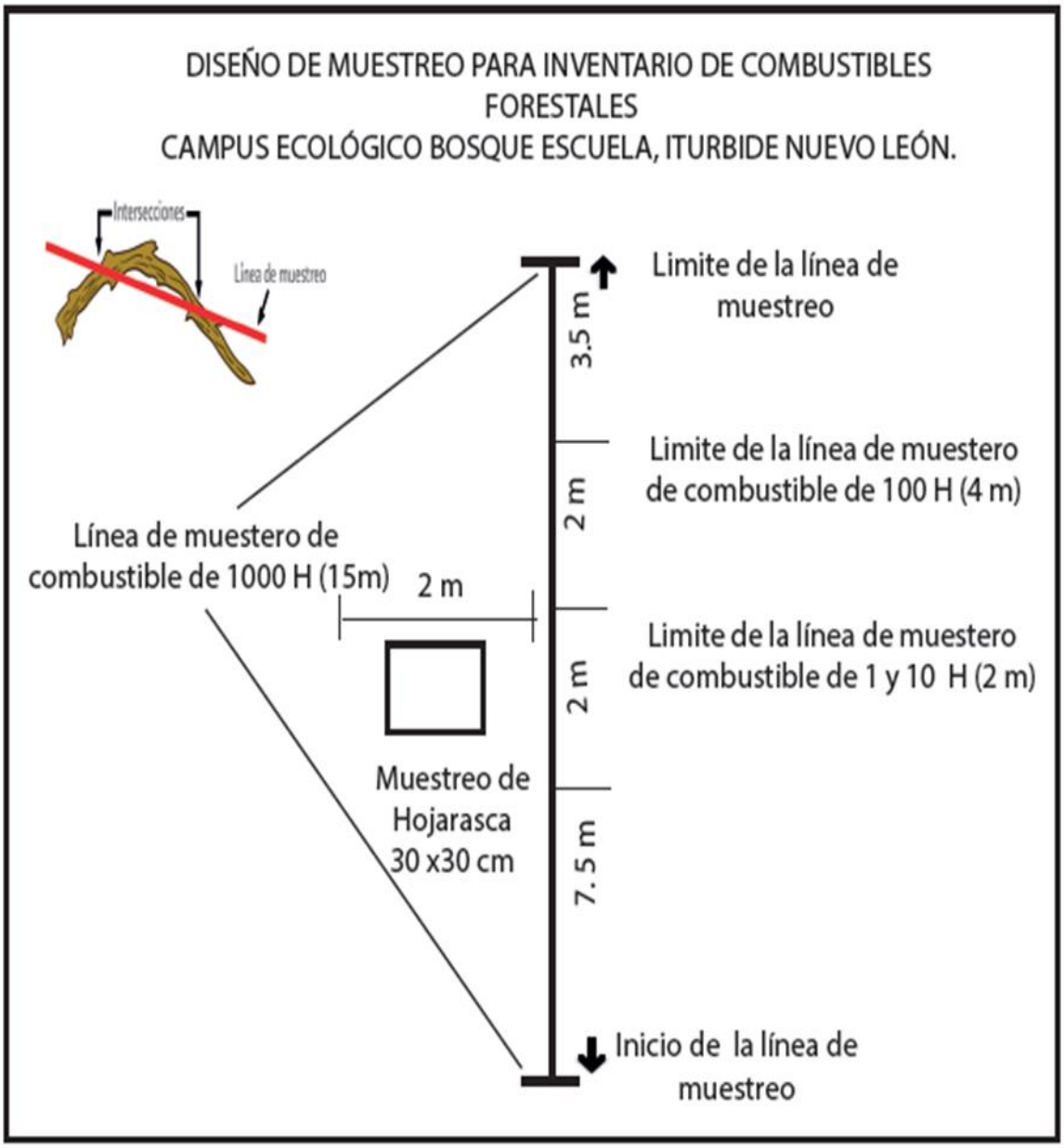



***Figura 11.*** *Diseño de muestreo. Longitud de la línea 15 metros donde se realiza el conteo de combustibles leñosos y además se muestra la ubicación de los cuadrantes para la evaluación de la capa orgánica.*

### 3.2.7 Trabajo de Campo.

***Figura 12*** *Muestreo de Combustibles Forestales.*
*A) Determinación de la pendiente, B) Medición de combustible a lo largo de la línea de muestreo C) Intersección de combustible 10 HR D) Intersección de combustible de 1000 HR.*

***Figura 13.*** *Trabajo de Campo*
*A) Registro de información B) Georreferenciación de sitios C) Medición de profundidad de la capa orgánica D) colecta de hojarasca y humus, E) Muestras de hojarasca y humus, F) señalización de parcelas para fotografías comparativas.*

### 3.2.8 Procedimiento de laboratorio

Las muestras de hojarasca y capa de fermentación se sometieron a un proceso de secado y pesado para determinar la biomasa. Una vez separada la hojarasca y el humus se dejaron secar un una estufa de laboratorio a una temperatura de 90°C por un periodo de cinco días aproximadamente, hasta que alcanzaron un peso constante.

***Figura 14.*** *Procesamiento de muestras de hojarasca y humus en laboratorio. A) Separación de Hojarasca y humus, B) Muestras en estufa de secado C) Registro de peso seco de las muestras.*

### 3.2.9 Análisis de la información del inventario combustibles forestales

Para la determinación de la biomasa de combustibles leñosos se utilizaron las formulas propuestas por Brown (1982) y modificada por Chávez *et al.* (2011).

Mientras que la estimación de la biomasa de la capa de orgánica se determinó por muestra misma que se exporto a toneladas por hectárea.

A continuación se describen las fórmulas utilizadas para el cálculo de las cargas de combustibles leñosos caídos de 1, 10, 100 y 1000 horas de retardo.

$$\mathbf{1\ HR} = \frac{\mathbf{11.64} * \boldsymbol{n} * \boldsymbol{d} * \boldsymbol{s} * \boldsymbol{a} * \boldsymbol{c}}{\boldsymbol{Nl} * (\boldsymbol{C_1})} * (\boldsymbol{C_2}) \qquad \mathbf{10\ HR} = \frac{\mathbf{11.64} * \boldsymbol{n} * \boldsymbol{d} * \boldsymbol{s} * \boldsymbol{a} * \boldsymbol{c}}{\boldsymbol{Nl} * (\boldsymbol{C_1})} * (\boldsymbol{C_2})$$

$$\mathbf{100\ HR} = \frac{\mathbf{11.64} * \boldsymbol{n} * \boldsymbol{d} * \boldsymbol{s} * \boldsymbol{a} * \boldsymbol{c}}{\boldsymbol{Nl} * (\boldsymbol{C_1})} * (\boldsymbol{C_2})$$

$$\mathbf{1000\ HR} = \frac{\mathbf{11.64} * (\sum \boldsymbol{d^2}\ * \boldsymbol{C_3}) * \boldsymbol{s} * \boldsymbol{a} * \boldsymbol{c}}{\boldsymbol{Nl} * (\boldsymbol{C_1})} * (\boldsymbol{C_2})$$

| **Dónde:** | |
|---|---|
| **11.64=** Constante | |
| **n=** Número de intersecciones | **Nl=** Longitud de la línea de muestreo en metros |
| **d=** Constante del diámetro medio cuadrático de las piezas leñosas, para distintos tipos de bosque:<br>1hr = 0.0151<br>10hr= 0.289<br>100hr= 2.76 | **$c_1$=** Factor de conversión de metros a pies (3.2808) |
| ***s*=** Gravedad específica<br>1hr = 0.48<br>10hr= 0.48<br>100hr= 0.40<br>1000hrF= 0.40<br>1000hrD= 0.30 | **$c_2$=** Factor de conversión de Mgacre a Mgha-$^{1}$ (2.47105) |
| ***a* =** Factor de corrección de ángulo (1.13) | **$c_3$=** Factor de conversión de cm a pulgadas (0.3937) |
| ***c*=** Corrección de pendiente | **$\Sigma d^2$ =** Sumatoria de los diámetros (solo para los de 1000 hr) |

### 3.2.10 Calculo factor de corrección por pendiente

Dado que es necesario hacer la corrección de la pendiente a una base horizontal, este factor se calculó mediante la siguiente fórmula, de acuerdo a Sánchez y Zerecero (1983):

$$C = \sqrt{1 + \left(\frac{\%\ pendiente}{100}\right)^2}$$

Para obviar los cálculos anteriores, se presentan la siguiente tabla:

| Pendiente (%) | Factor de corrección | Pendiente (%) | Factor de Corrección |
|---|---|---|---|
| **0** | 1.00 | **60** | 1.17 |
| **10** | 1.00 | **70** | 1.22 |
| **20** | 1.02 | **80** | 1.28 |
| **30** | 1.04 | **90** | 1.35 |
| **40** | 1.08 | **100** | 1.41 |
| **50** | 1.12 | **110** | 1.49 |

***Cuadro 4.*** *Factor de corrección por pendiente.*

### 3.2.11. Calculo Hojarasca y Humus

Para el cálculo de los combustibles finos definidos por hojarasca y humus se utilizó la siguiente ecuación que nos permite estandarizar el resultado en Mg/ha$^{-1}$:

$$\boldsymbol{x * c3/c4}$$

Dónde:
X =peso seco de las muestras.
C3 = constante 10,000.
C4 = constante 360,000

## 3.3 INTERPOLACIÓN DE DATOS.

A partir de los datos recaudados en los muestreos realizados en campo las bases de datos obtenidas fueron depuradas, con el objetivo de establecer las características de interés para la realización de la interpolación. La base de datos seleccionada para la interpolación presenta los valores obtenidos al calcular, la carga de combustibles forestales a partir de inventarios en 90 sitios de muestro para el área de estudio, la carga de combustibles incluye las categorías de con tiempo de retardo de: 1 HR 10 HR 100 HR y 1000 HR FIR, 1000 HR PUD, además la carga de combustible estimada para la hojarasca y humus (HO HU) expresada en $Mg/ha^{-1}$.

Después de definir la base de datos de interés se realizaron procedimientos estadísticos para conocer la normalidad de los mismos, utilizando el programa R se aplicó la prueba de *Shapiro Wilk* a través de la cual se concluyó que el conjunto de datos seleccionados para la interpolación presento una distribución normal.

La información para la interpolación fue dividida en dos grupos donde: el 80% (n= 72) fue utilizada para la elaboración del modelo, y el 20% (n= 12) para realizar una validación del mismo, siguiendo la metododologia.

### 3.3.1 Selección del Modelo kriging Ordinario.

Se utilizó el método de interpolación Kriging Ordinario el cual proporciona cuatro diferentes modelos de tipo Exponencial, Circular, Esférico y Gussian. Con el objetivo de determinar el modelo que presento mejor ajuste al grupo de datos seleccionados para la interpolación se calcularon los variogramas para cada uno, a través del software **ArcGIS 10** utilizando la herramienta *Geoestadistical Analyst*. En el cuadro (5.) se presentan los valores obtenidos de los parámetros que definen el variograma.

| VARIABLE | MODELO | NUGGET | PARTIALSILL | SILL | RANGO | $R^2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Carga de combustibles forestales $Mg/ha^{-1}$** | **Exponencial** | 120.2341 | 100.2831 | 220.5172 | 34.89880 | 0.2282 |
| | **Esférico** | 177.1630 | 37.63551 | 214.7985 | 34.89880 | 0.2257 |
| | **Gussian** | 199.2064 | 14.66668 | 213.8730 | 34.89880 | 0.2261 |
| | **Circular** | 207.7028 | 4.503998 | 212.2068 | 34.89880 | 0.2233 |

***Cuadro 5.*** *Parámetros obtenidos al calcular los variogramas para los modelos tipo Exponencial, Esférico Gussian y Circular, con la variable carga de combustibles forestales (1 HR , 10 HR, 100 HR, 1000 HR FIR. 1000 HR PUD, HO,HU).*

Para la elección del modelo de mejor ajuste se compararon valores que definen el variograma: **“Nugget” “Partial sill”**, **“Sill”**, **“Range”** o por su traducción en español conocidos como **“Efecto pepita” “Meseta parcial”**, **“Meseta”** y **“Alcance”**. Además se calculó mediante una regresión lineal el valor de $R^2$ .Se compararon los valores obtenidos de los parámetros que definen el variograma (cuadro 5). Fue seleccionado el modelo de tipo exponencial para la elaboración de la interpolación, este modelo presento el valor de $R^2$ más alto (0.2272). A continuación en la figura 15 se presentan el semivariogramas obtenido con los diferentes modelos.

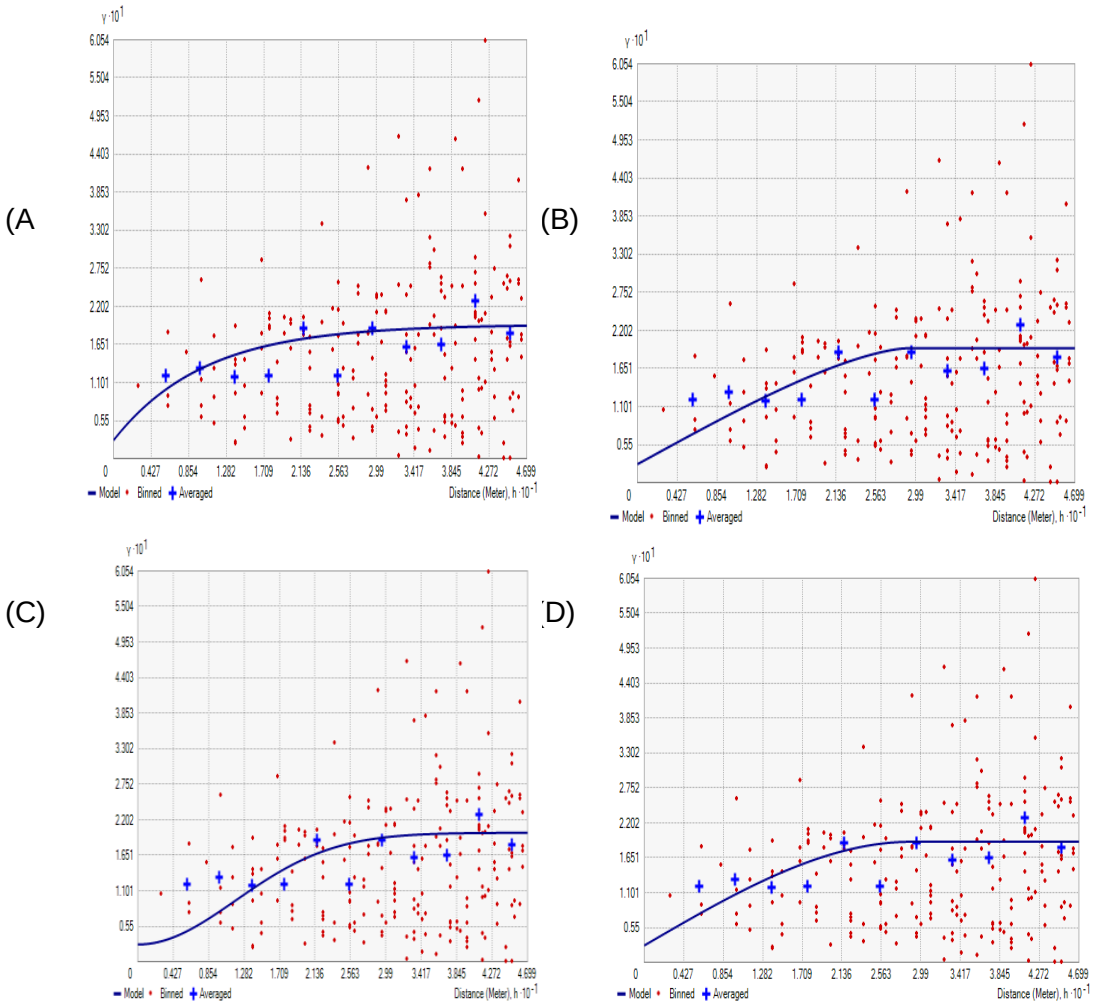



***Figura 15.*** *Semivariograma de los modelos (A) Exponencial, (B) Esférico, (C) Gussian, (D) Circular para la variable combustibles forestales Mg/ha$^{-1}$.*

### 3.3.2 Elaboración y validación del modelo para la variable de combustibles forestales (Mg/ha$^{-1}$).

Después de seleccionar el método kriging ordinario con el modelo de ajuste de tipo exponencial, para realizar la interpolación de la variable combustibles forestales (Mg/ha$^{-1}$) software ArcGIS 10 con la extencion *Geoestadistical Analyst* que permite generar superficies óptimas de datos de muestra y evaluar las predicciones realizadas para una mejor toma de decisiones.

La realización del modelo o mapa de interpolación se con el primer grupo de datos 80% y contenía información de 72 sitios de muestreo los cuales fueron seleccionados de manera aleatoria.

### 3.3.3 Validación del modelo combustibles forestales.

Realizar un análisis de validación nos permite generar un panorama sobre la precisión del método seleccionado, ya que es importante evaluar y comparar los valores de predicción de la variable con los datos reales en putos específicos antes de adoptar cualquier medida de manejo en base a los mapas de interpolación realizados. Para realizar la validación se utilizó una serie de datos diferentes a la que se utilizó para generar el modelo de interpolación. Para realizar la validación se trabajó con el segundo grupo de datos 20% con información correspondiente a 18 sitios los cuales fueron elegidos de manera representativa con el objetivo de que las tres parcelas donde se realizaron los muestreos estuviesen representadas, el de validación nos permite comparar los valores estimados por el modelo con los valores reales o determinados en campo.

Para realizar el análisis de validación se exportaron los valores obtenidos al procesar los datos con la extensión *Geoestadistical Analyst* se calculó el error cuadrático medio (RMSE) y el error de estimación relativa media (REE) para evaluar la precisión de del modelo de interpolación, este procedimiento fue realizado a través de las siguientes formulas:

$$RMSE = \frac{\sqrt{\sum (Yi - Yi')^2}}{N}$$

$$RMSE = \frac{\sqrt{\sum \left[\frac{(Yi - Yi')}{Yi}\right]^2}}{N}$$

$$\mathrm{P} = (1 - \mathrm{REE}) * 100\ \%$$

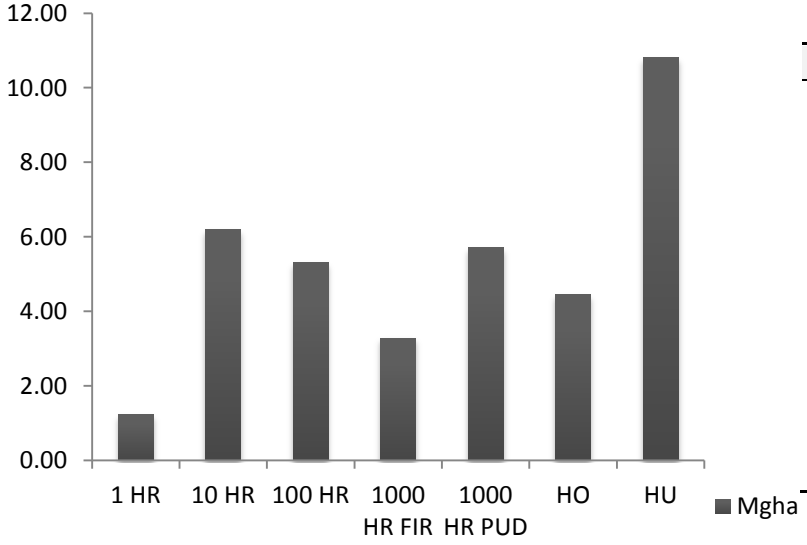
| ***Donde*** |
|---|
| ***RMSE = error cuadrático medio*** |
| ***REE= error medio relativo*** |
| ***$Yi_{=}$ valor real de las muestras*** |
| ***$Yi'$ = valor estimado*** |
| ***N= número de muestra*** |
| ***P= precisión*** |

# 4.0 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados que se presentan corresponden a la información recaudada en el inventario de combustibles forestales, que fue procesada médiate las formulas propuestas por Brown (1982) y modificada por Chávez *et al* (2011), para determinar la carga de combustibles en Mg/ha$^{-1}$. Se presentan los resultados obtenidos en promedio para el área de estudio del complejo de combustibles evaluados, las cargas de combustible referente a los sitios de muestreo y la caracterización de los mismos en las tres parcelas evaluadas. A partir de estos resultados se obtuvo la variable combustibles forestales (Mg/ha$^{-1}$) que se utilizó para generar un mapa de interpolación atreves del método kriging.

## 4.0.1 Carga de Combustibles Forestales.

A continuación se muestran los valores promedio encontrados para las tres parcelas muestreadas en conjunto se presenta información recaudada de los 90 sitios dentro del área de estudio. Para las áreas muestreadas dentro del Campus Ecológico Bosque Escuela se encontró una acumulación de combustibles forestales promedio de 37.57 Mg/ha$^{-1}$, esta cifra se encuentra conformada por combustible leñoso y combustible de la capa orgánica en forma de hojarasca y humus, cada una de las categorías de combustibles se encuentra representadas dentro de esta cifra aportando los valores siguientes: combustibles de 1 HR (1.24 Mg/ha$^{-1}$), combustibles de 10 HR (6.20 Mg/ha$^{-1}$), combustibles de 100 HR (5.32 Mg/ha$^{-1}$), combustibles de 1000 HR FIR (3.28 Mg/ha$^{-1}$), combustibles de 1000 HR PUD (5.71 Mg/ha$^{-1}$), HO (4.46 Mg/ha$^{-1}$), HU (10.82 Mg/ha$^{-1}$) (figura 16).




| *Estadística* | |
|---|---|
| Media | 37.57 |
| Error típico | 1.78 |
| Mediana | 28.57 |
| Moda | 18.31 |
| Desviación estándar | 16.94 |
| Varianza de la muestra | 287.13 |
| Rango | 76.23 |
| Mínimo | 3.07 |
| Máximo | 79.30 |
| Suma | 2982.26 |
| Cuenta | 90 |

***Figura 16.*** *Valores promedio de combustibles forestales dentro del área de estudio.*

### 4.0.2 Combustibles leños

Los combustibles forestales leñosos aportan en promedio 21.75 Mg/ha$^{-1}$ del promedio estimado, dentro de los cuales se encuentran la categorías de entre 0.06 cm hasta mayores de 7.5 cm de diámetro. A continuación se muestran los valores promedio de cada uno de estos combustibles, representados también en porcentaje: de 1 HR (1.24 Mg/ha$^{-1}$) ( 6%), 10 HR (6.20 Mg/ha$^{-1}$) (29%), 100 HR (5.32 Mg/ha$^{-1}$) (24%), 1000 HR FIR (3.28 Mg/ha$^{-1}$) (15%), 1000 H PUD en (5.71 Mg/ha$^{-1}$) (26%). Los combustibles forestales con tiempo de retardo de 10 HR, son los más ampliamente representados cubriendo casi el 30 % del total, este tipo de combustible se encuentra constituidos principalmente por ramillas (figura 17).

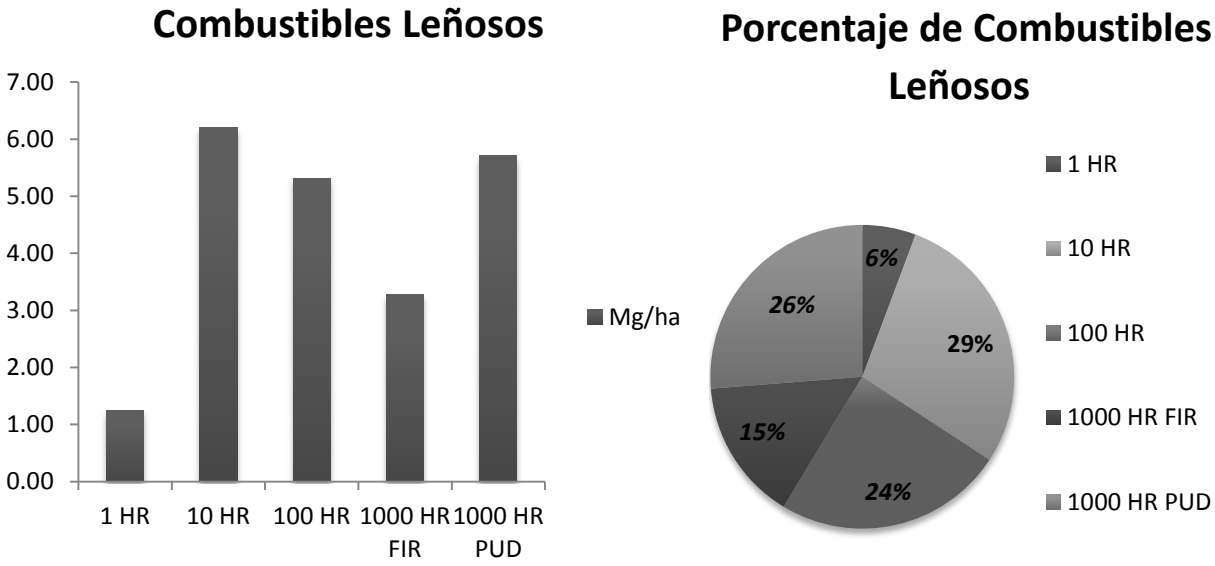



***Figura 17.*** *Acumulación y porcentaje de combustibles forestales de acuerdo a su tiempo de retardo.*

### 4.0.3 Combustibles de la Capa Orgánica

Los combustibles correspondientes a la capa orgánica del suelo compuestos por hojarasca y humus aportan en promedio 15.31 Mg/ha$^{-1}$, de las cuales 4.49 Mg/ha$^{-1}$ corresponden a HO y 10.82 Mgha$^{-1}$ HU (figura 18).

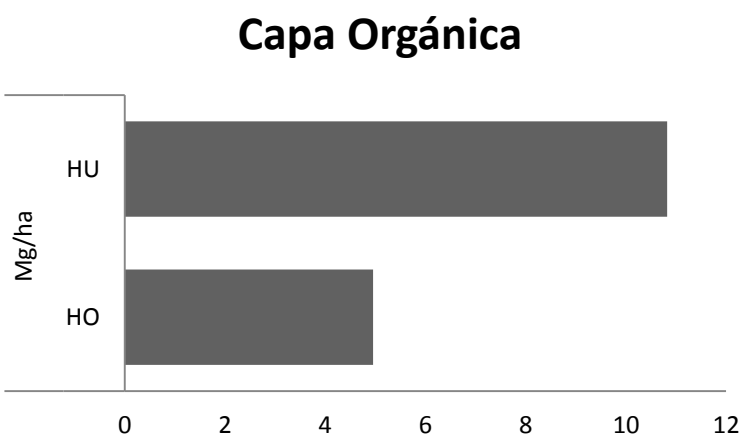



***Figura 18.*** *Carga de combustible de la capa orgánica.*

### 4.0.4 Carga de Combustibles en el área de estudio

La carga de combustibles dentro de las tres parcelas muestreadas en los cuales se distribuyeron los 90 sitios de muestreo arrojaron diferentes resultados, estimando carga de combustibles de 3.08 Mg/ha$^{-1}$ como valor mínimo y79.31 Mg/ha$^{-1}$ como valor máximo. En la siguiente grafica se muestra la carga de combustibles por sitio de muestreo (Sitios: 1- 35 PLOT 1) (Sitio: 36-60 PLOT ) (sitio 60- 90 PLOT 3) (figura 19).

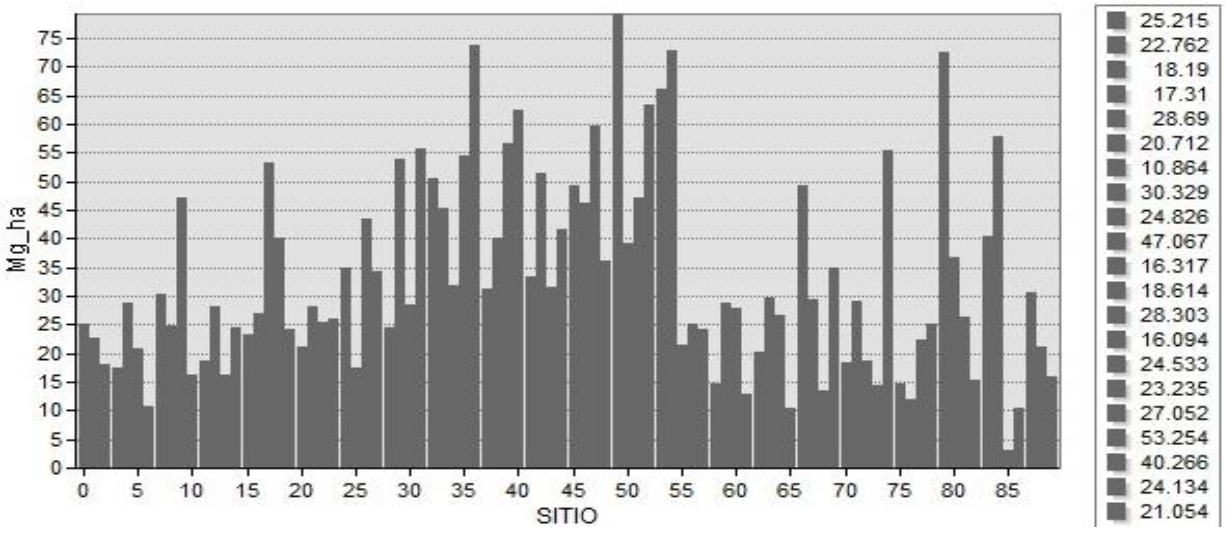



***Figura 19.*** *Carga de combustibles por sitios de muestro.*

### 4.0.5 Caracterización de combustibles dentro de las parcelas de muestreo.

En el **PLOT 1** se registró un total de **30.78 Mg/ha$^{-1}$** el cual estuvo constituido por el complejo de combustible evaluado (1 HR. 10 HR, 100 HR 1000 HR FIR, 1000 HR PUD, HO, HU), de los cuales los valores más representativos para esta parcela fueron los combustibles de 10 HR aportando 7.41 Mg/ha$^{-1}$, la carga de materia orgánica se estimó en 2.26 Mg/ha$^{-1}$ correspondiente a la hojarasca (HO) y 4.44 Mg/ha$^{-1}$, de humus (HU). La profundidad de la capa orgánica para esta parcela fue de 3.10 y 3.96 cm de hojarasca y humus respectivamente, en esta parcela se estimó un porcentaje de pendiente del 49%.

En el **PLOT 2** se registró un total de **41.91 Mg/ha$^{-1}$** la cual estuvo constituido por el complejo de combustible evaluado (1 HR. 10 HR, 100 HR 1000 HR FIR, 1000 HR PUD, HO, HU) donde los valores más representativos para esta parcela fueron los combustibles correspondiente a hojarasca y humus que presentan los valores más altos estimando 8.64 Mg/ha$^{-1}$ de combustible en forma de hojarasca (HO) y 21.4 (HU) de humus esta gran acumulación de combustible de este tipo se atribuye a que dentro de esta parcela se encontraron los valores más altos de profundidad de 8.64 y 7.23 cm de hojarasca y humus respectivamente por lo cual resulta lógico pensar que a mayor profundidad de capa orgánica mayor será la acumulación de la misma. Para esta parcela se estimó un porcentaje de pendiente de 64%.

En el **PLOT 3** se registró un total de **27.56 Mg/ha** el cual estuvo constituido por el complejo de combustible evaluado (1 HR, 10 HR, 100 HR 1000 HR FIR, 1000 HR PUD, HO, HU) de los cuales los valores más representativos para esta parcela fueron los combustibles de 10 HR aportando 5.75 Mg/ha$^{-1}$, dentro de esta parcela se estimó la materia orgánica en 2.76 Mg/ha$^{-1}$ correspondiente a hojarasca (HO) y 4.14 Mg/ha$^{-1}$, de humus (HU) la profundidad de la capa orgánica estimada para esta parcela fue de 2.79 y 4.13 cm de hojarasca y humus respectivamente, en esta parcela se estimó un porcentaje de pendiente de 52%.

Los resultados mencionados anteriormente se pueden encontrar de manera de manera gráfica y numérica dentro del cuadro (6.) y las figuras (20, 21, 22) (Ver anexo fotográfico).

| Clase | PLOT 1 | PLOT 2 | PLOT 3 | MEDIA |
|---|---|---|---|---|
| **1 HR** | 1.35 | 1.05 | 1.27 | 1.22 |
| **10 HR** | 7.41 | 5.05 | 5.75 | 6.07 |
| **100 HR** | 5.41 | 5.25 | 5.28 | 5.31 |
| **1000 HR FIR** | 2.95 | 3.01 | 3.9 | 3.29 |
| **1000 HR PUD** | 6.95 | 5.50 | 4.44 | 5.63 |
| **HO** | 2.26 | 8.64 | 2.79 | 4.56 |
| **HU** | 4.44 | 21.4 | 4.13 | 9.99 |
| **Carga Total** | **30.78** | **49.91** | **27.56** | 37.57 |
| **Desviación estándar** | 2.32 | 6.71 | 1.51 | 2.70 |

***Cuadro 6**. Carga de combustibles forestales por parcela de muestreo.*

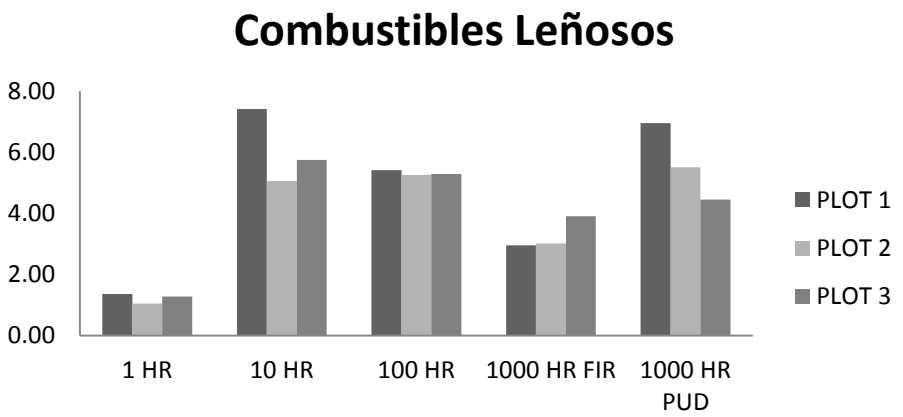



***Figura 20.** Acumulación de combustible leñoso dentro de las tres parcelas.*

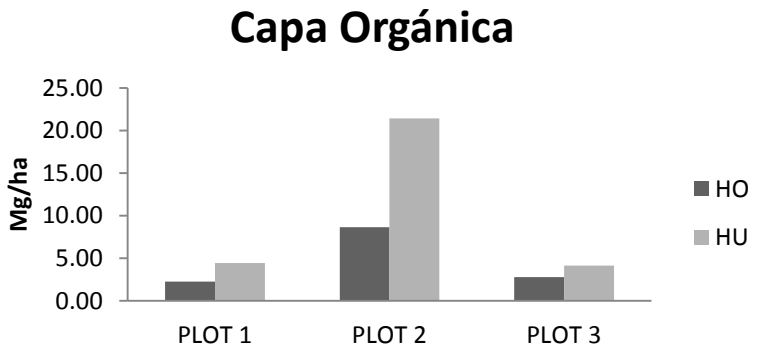



***Figura 21.** Acumulación de combustible de la capa orgánica dentro de las tres parcela muestreo.*

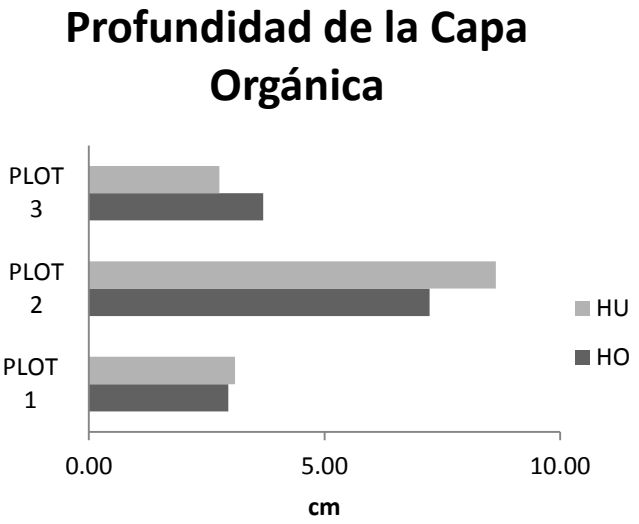



***Figura 22**. Profundidad de la Capa Orgánica (cm) estimada en las tres parcelas de muestreo.*

Los resultados obtenidos atreves del inventario de combustible donde se estima un promedio general de 37.57 Mg/ha$^{-1}$, son similares a los encontrados en 2013 en una investigación desarrollada en el área de estudio (Rubio 2013), se puede manifestar que esta cifra se encuentra en un rango intermedio tomando en cuenta otros estudios por ejemplo Xelhuantzi *et al* (2011) muestran un máximo de 23 Mg/ha$^{-1}$, los estudios llevados a cabo por Morfín *et al* (2007) en algunos sitios se registró alrededor de 80 Mg/ha$^{-1}$. Se estimaron las mayores cargas de combustible para las categorías de 10 HR y 1000 HR PUD de combustibles leñosos, y una alta acumulación de materia orgánica en forma de humus. Se encontraron diferencias entre las parcelas muestreadas siendo la más significativa en el PLOT 2 donde la acumulación de combustible en forma de hojarasca y humus fue la más alta por lo que esta zona es área prioritaria de atención.

## 4.1 INTERPOLACIÓN DE LA VARIABLE COMBUSTIBLES FORESTALES.

A continuación se presenta el mapa obtenido a través del método de interpolación kriging utilizando un modelo de tipo exponencial, con la variable combustibles forestales expresada en Mg/ha$^{-1}$, generada a partir de los inventarios realizados en campo. Se produjo una superficie continua de aproximadamente 10.24 ha donde se puede observar los rangos y ubicación de los valores que permiten interpretar indicándonos las áreas con mayor acumulación de combustibles forestales.

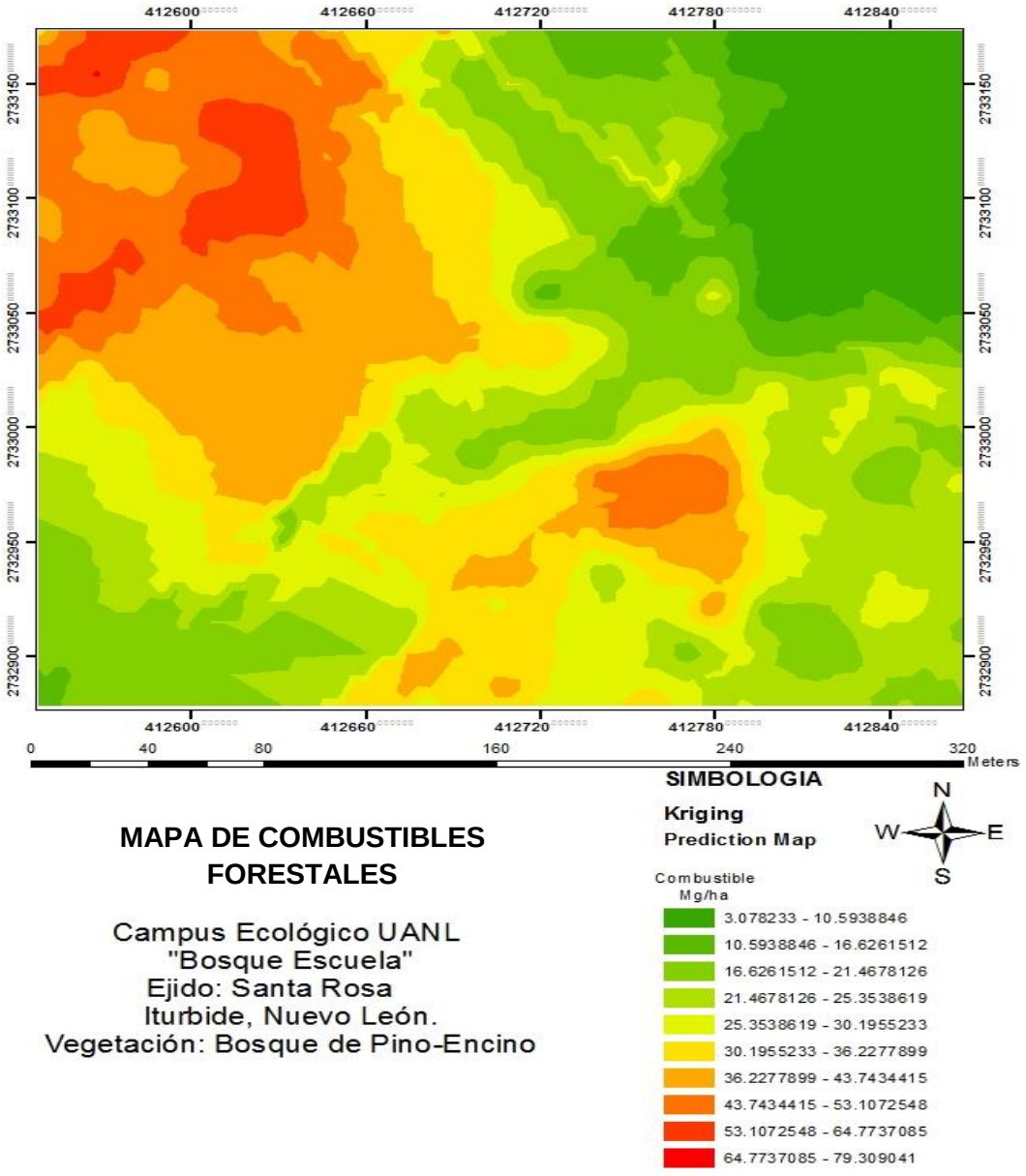
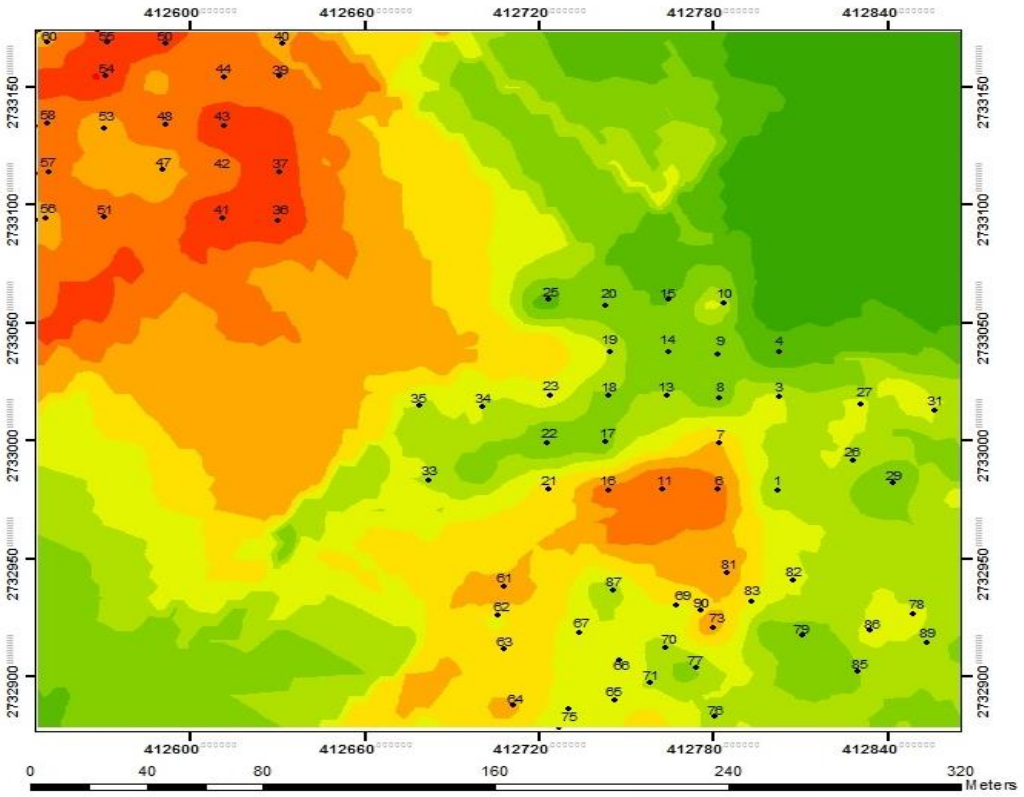



**Figura 23.** *Mapa obtenido a partir de la interpolación de la variable combustible forestales (*1 HR, 10 HR, 100 HR 1000 HR FIR, 1000 HR PUD, HO, HU) *elaborado con el primer grupo de datos (80%).*

En el mapa siguiente se puede observar la ubicación de los sitios de muestreo que corresponden a los datos utilizados para la realización del modelo, es notable observar que el uso de herramientas de interpolación nos permite general una superficie continua prediciendo los valores de las áreas no muestreadas.




| Estadística del Modelo | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Conteo** | **Valor mínimo** | **Valor máximo** | **Sumatoria** | **Media** | **Desviación estándar** | **Función de Regresión** |
| 72 | 3.07 | 79.30 | 2984.25 | 33.15 | 16.83 | -0.0348355941727118 * x + 1.2207052862211 |

| Errores de Predicción | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Muestras** | **Media** | **Media cuadrática** | **Media estandarizada** | **Media cuádratica estandarizada** | **Error promedio estándar** |
| 72 de 72 | 0.451 | 15.32 | -0.048 | 1.01 | 17.81 |

***Figura 24.*** *Mapa y valores estadísticos del modelo obtenido a partir de la interpolación de la variable combustible forestales (1 HR, 10 HR, 100 HR 1000 HR FIR, 1000 HR PUD, HO, HU).*

### 4.1.1 Análisis del mapa generado partir del modelo de combustibles forestales.

La predicción establecida dentro del mapa interpolado nos permite visualizar las áreas que presentan mayor cantidad de combustibles forestales en este caso estas áreas se presentan en color rojo donde los valores más altos de combustible se encuentran entre 64.77 a 79.30 Mg/ha$^{-1}$ por lo tanto son propensas a sufrir daños severos en caso de que un incendio forestal se presentara en esta zona. Así mismo la predicción del modelo muestra también las zonas propensas a tener alta acumulación de combustible forestales color naranja y amarillo donde los valores se encuentran entre 25.52 a 53.10 Mg/ha$^{-1}$. Las áreas de color verde presentan las zonas donde la acumulación de combustible es menor con valores que se encuentran entre los 3.07 y 21.43 Mg/ha$^{-1}$.

Para el Campus Ecológico Bosque Escuela las áreas que presentan mayor acumulación de combustibles forestales (color rojo) se encuentran dentro del Plot 2, esto se atribuye a las condiciones ecológicas que presenta el área donde existen zonas con mucha pendiente donde la acumulación de combustibles finos en forma de hojarasca y humus presenta valores de 8.64 y 21.40 Mg/ha$^{-1}$ respectivamente.

Esta información nos permite ubicar y dimensionar el área con mayor potencial de peligro de incendio basado en la acumulación de combustibles forestales, para la implementación de actividades o estrategias enfocadas en la prevención de incendios forestales.

### 4.1.2 Análisis de Validación.

Para realizar el análisis de validación del modelo generado, se utilizó el segundo grupo de datos (20%) conformado por 18 sitios de muestro utilizados como puntos de validación.

| Descripción estadística de los puntos de validación |
|---|
| **Valor Min: 14.42** |
| **Valor Max: 72.79** |
| **Media: 33.24** |
| **Desviación estándar: 16.38** |

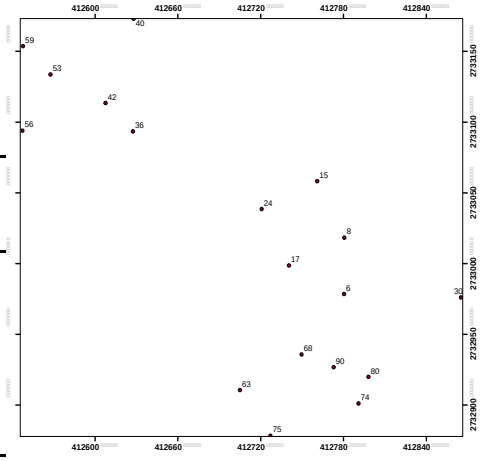



***Figura 25.*** *Distribución de los puntos de validación.*

Para comparar el valor real estimado en campo, con los valores de predicción realizadas por el modelo se utilizó la extensión *Geoestadistical Analyst* con la herramienta *Cross Validation Comparision,* a través de la cual se generó la información que se muestra en el cuadro (7.) con la información para cada punto de validación necesaria para realizar los cálculos correspondientes y determinar la precisión del mapa.

| ID | Observado | Predicho | Error | Error estándar | Error estandarizado | Valor normal |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | 57.79 | 33.37 | -34.41 | 16.19 | -2.12 | -1.38 |
| **2** | 15.42 | 13.91 | 16.34 | 16.41 | 0.99 | 1.08 |
| **3** | 14.83 | 28.43 | 23.60 | 16.93 | 1.39 | 1.91 |
| **4** | 14.42 | 22.84 | 21.72 | 16.39 | 1.32 | 1.38 |
| **5** | 49.15 | 39.78 | -17.29 | 16.77 | -1.03 | -0.86 |
| **6** | 27.97 | 29.05 | 1.081 | 18.28 | 0.05 | -0.35 |
| **7** | 72.79 | 33.94 | -38.85 | 16.69 | -2.32 | -1.91 |
| **8** | 39.08 | 48.88 | 1.80 | 17.39 | 0.10 | -0.06 |
| **9** | 36.28 | 45.10 | 8.82 | 16.37 | 0.53 | 0.35 |
| **10** | 31.20 | 45.19 | 13.98 | 16.46 | 0.84 | 0.86 |
| **11** | 55.72 | 48.99 | -21.50 | 17.31 | -1.24 | -1.08 |
| **12** | 31.94 | 28.55 | 11.43 | 17.14 | 0.66 | 0.50 |
| **13** | 27.05 | 22.98 | 0.93 | 16.51 | 0.05 | -0.50 |
| **14** | 23.23 | 26.96 | 3.73 | 17.27 | 0.21 | 0.21 |
| **15** | 34.42 | 32.45 | -8.71 | 16.92 | -0.51 | -0.67 |
| **16** | 25.42 | 27.74 | 2.31 | 16.10 | 0.14 | 0.06 |
| **17** | 16.31 | 13.98 | 13.10 | 16.18 | 0.80 | 0.67 |
| **18** | 25.21 | 26.84 | 1.63 | 15.92 | 0.10 | -0.21 |

***Cuadro 7.*** *Información generada partir de 18 puntos de validación (20%).*

Los resultados obtenidos al calcular el error cuadrático medio (RMSE), el error de estimación relativa media (REE) y la precisión de del modelo se muestran en la siguiente tabla:

| VALIDACIÓN | RMSE | REE | PRESISIÓN % | $R^2$ |
|---|---|---|---|---|
| **N= 18** | **12.75** | 0.37 | 62.18 | 0.37 |

Los resultados presentan que el modelo utilizado para generar el mapa con la variable combustibles forestales presenta una precisión del 62% es importante evaluar y comparar los valores de predicción con datos reales en puntos específicos antes de realizar cualquier medida de manejo basada en mapas de interpolación.

# 5.0 CONCLUSIONES.

El estudio comprueba la hipótesis planteada, las áreas con protección generan una mayor acumulación de combustibles forestales de 100 HR y 1000 HR (combustibles pesados). Para el área de estudio estos tipos de combustibles obtuvieron las acumulaciones más altas representando el 58% de la carga total estimada.

La elaboración de inventarios de combustible es una herramienta que nos permite conocer la cantidad de combustible en $Mg/ha^{-1}$ y nos ayuda a identificar áreas con altas o bajas acumulaciones, siendo esta una herramienta fundamental para la toma de decisiones encaminadas a la prevención de incendios forestales.

Las cargas de combustibles en el área de estudio son consideradas similares tomando en cuenta otros estudios relacionados en ecosistemas similares.

El método Kriging genero una superficie continua para la variable combustibles forestales, sin embargo es importante considerar que el uso del método está limitado a la generación previa del variograma que permita seleccionar el modelo de mejor ajuste lo cual se reflejara en una mejor precisión del mapa.

En el uso de herramientas de interpolación en la prevención de incendios forestales resulta ser muy útil para identificar áreas prioritarias de atención sin embargo tomando en cuenta que la carga de combustibles es una variable que juegan un papel determinante en el desarrollo y comportamiento de los incendios, es muy importante verificar la precisión de los mismos antes de realizar labores de manejo ya que no se debe perder de vista que el fuego es un elemento extremadamente peligroso, cualquier error que se tenga en la distribución espacial de los combustibles puede acarrear consecuencias graves a la hora de la toma de decisiones.

El mapa de interpolación generado a partir de la variable combustibles forestales ($Mg/ha^{-1}$) (1 HR, 10 HR, 100 HR 1000 HR FIR, 1000 HR PUD, HO, HU) obtuvo un 62% de precisión nos permite visualizar las áreas con mayor peligro a incendio basado en la cantidad de material combustible también identificar las áreas potenciales a convertirse en zonas con peligro de incendio elevado.

La precisión del mapa se puede mejorar mediante un análisis detallado o exploratorio de los datos a utilizar eliminado aquellos datos que causen ruido o se encuentren fuera de los rangos de ajuste.

Estimar la carga de combustibles con técnicas de interpolación partir de datos reales tomados en campo ofrece la ventaja que podemos ampliar el área muestreada, ya que realizar inventarios directos en campo implican un inversión en tiempo y recursos.

Para el área de estudio se recomienda la implementación de prácticas de manejo para la reducción de combustibles forestales, la realización de prácticas adecuadas de manejo de combustibles permitirán disminuir la carga en áreas con grandes acumulaciones sin descuidar la protección del suelo, estas accione disminuyen la cantidad disponible de combustible para un incendio por lo tanto disminuyen la probabilidad de que ocurra sin embargo en caso de llegar a desarrollarse el material disponible para quemarse seria poco por lo cual el incendio pasaría o se consumiría rápido sin provocar daños severos.

La carga de combustibles forestales es una variable dinámica por lo que se recomienda dentro del área de estudio seguir estableciendo parcelas permanentes de muestro que nos permita tener un conocimiento el comportamiento de la carga de combustibles en diferentes épocas el año sobre todo en épocas de sequía donde el riesgo y peligro de que se presenten incendios forestales son más altas.

Es necesario para poder implementar un manejo adecuado del bosque, optando por prácticas que emulen el papel ecológico del fuego y de esta manera direccionarlo hacia la sustentabilidad.

## 6.0 PRESTA:

**Tomando en cuenta que la mejor herramienta contra los incendios forestales es la prevención para el ´´Campus Ecológico Bosque Escuela´´ a raíz del presente estudio se propone lo siguiente:**

1) La realización de nuevas investigaciones específicas sobre el comportamiento del fuego, y la integración de factores que influyen en la generación y desarrollo de un incendio.
2) Establecer prácticas de manejo en el bosque, mediante la implementación de un programa de manejo de fuego para la reducción de combustibles forestales, de acuerdo a los lineamientos y normativas aplicables (NOM-015-SEMARNAR/SAGARPA- 2007).
3) Crear un plan de contingencia dentro del área de estudio que cuente con el equipo adecuado y personal capacitado para la detección temprana de los incendios.
4) Establecer una señalización del campus con letreros alusivos, que hagan referencia a las condiciones antropogénicas que pueden generar un incendio y permitan a los usuarios tomar conciencia de las actividades que no están permitidas.
5) Para los usuarios de este campus generalmente estudiantes, e investigadores de la UANL crear platicas y recorridos donde se les pueda exponer lo importante que es tener una cultura de prevención hacia los incendios forestales ya que para nuestro país la principal causa de incendios está relacionada con actividades antropogénicas.

# *Anexo Fotográfico*

# Fotografías Representativas del PLOT 1

**RESUMEN DEL INVENTARIO DE COMBUSTIBLES FORESTALES (Mg/ha$^{-1}$)**

| 1 HR | 10 HR | 100 HR | 1000 HR FIR | 1000 HR PUD | HO | HU | TOTAL | PROF HO | PROF HU |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1.35** | 7.41 | 5.41 | 2.95 | 6.95 | 2.26 | 4.44 | 30.78 | 2.96 | 3.31 |

**RESUMEN DEL INVENTARIO DE COMBUSTIBLES FORESTALES (Mg/ha$^{-1}$)**

| 1HR | 10 HR | 100 HR | 1000 HR FIR | 1000 HR PUD | HO | HU | TOTAL | PROF HO | PROF HU |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1.35** | 7.41 | 5.41 | 2.95 | 6.95 | 2.26 | 4.44 | 30.78 | 2.96 | 3.31 |

**RESUMEN DEL INVENTARIO DE COMBUSTIBLES FORESTALES (Mg/ha$^{-1}$)**

| 1 HR | 10 HR | 100 HR | 1000 HR FIR | 1000 HR PUD | HO | HU | TOTAL | PROF HO | PROF HU |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1.35** | 7.41 | 5.41 | 2.95 | 6.95 | 2.26 | 4.44 | 30.78 | 2.96 | 3.31 |

# Fotografías Representativas del PLOT 2

**RESUMEN DEL INVENTARIO DE COMBUSTIBLES FORESTALES (Mg/ha$^{-1}$)**

| 1 HR | 10 HR | 100 HR | 1000 HR FIR | 100 HR PUD | HO | HU | TOTAL | PROF HO | PROF HU |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1.05** | 5.05 | 5.25 | 3.01 | 5.50 | 8.64 | 21.40 | 49.91 | 7.23 | 8.64 |

## RESUMEN DEL INVENTARIO DE COMBUSTIBLES FORESTALES (Mg/ha$^{-1}$)

| 1 HR | 10 HR | 100 HR | 1000 HR FIR | 100 HR PUD | HO | HU | TOTAL | PROF HO | PROF HU |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1.05** | 5.05 | 5.25 | 3.01 | 5.50 | 8.64 | 21.40 | 49.91 | 7.23 | 8.64 |

**RESUMEN DEL INVENTARIO DE COMBUSTIBLES FORESTALES (Mg/ha$^{-1}$)**

| 1 HR | 10 HR | 100 HR | 1000 HR FIR | 100 HR PUD | HO | HU | TOTAL | PROF HO | PROF HU |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1.05** | 5.05 | 5.25 | 3.01 | 5.50 | 8.64 | 21.40 | 49.91 | 7.23 | 8.64 |

# Fotografías Representativas del PLOT 3

**RESUMEN DEL INVENTARIO DE COMBUSTIBLES FORESTALES (Mg/ha$^{-1}$)**

| 1 HR | 10 HR | 100 HR | 1000 HR FIR | 1000 HR PUD | HO | HU | TOTAL | PROF HO | PROF HU |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1.27** | 5.57 | 5.28 | 3.90 | 4.44 | 2.0 | 3.88 | 27.56 | 3.74 | 2.47 |

**RESUMEN DEL INVENTARIO DE COMBUSTIBLES FORESTALES (Mg/ha$^{-1}$)**

| 1 HR | 10 HR | 100 HR | 1000 HR FIR | 1000 HR PUD | HO | HU | TOTAL | PROF HO | PROF HU |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1.27** | 5.57 | 5.28 | 3.90 | 4.44 | 2.0 | 3.88 | 27.56 | 3.74 | 2.47 |

**RESUMEN DEL INVENTARIO DE COMBUSTIBLES FORESTALES (Mg/ha$^{-1}$)**

| 1 HR | 10 HR | 100 HR | 1000 HR FIR | 1000 HR PUD | HO | HU | TOTAL | PROF HO | PROF HU |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1.27** | 5.57 | 5.28 | 3.90 | 4.44 | 2.0 | 3.88 | 27.56 | 3.74 | 2.47 |

# 7.0 LITERATURA CITADA


Aguirre, B. 1981. Efecto del Fuego Sobre Algunas Propiedades Físicas de Suelos Forestales. Publicación especial, departamento de enseñanza, investigación y servicio en bosques. U.A.CH. Chapingo México. 73 pp.

Anderson, H.E.1982. Aids to determining fuel models for estimating fire bahavior. General Technical Report. INT-122,. Ogden, UT: U.S. Departament of Agriculture - Forest Service, Intermountain Research Station pp 1-22.



Anderson, H.E.1982. Aids to determining fuel models for estimating fire bahavior. General Technical Report. INT-122,. Ogden, UT: U.S. Departament of Agriculture - Forest Service, Intermountain Research Station pp 1-22.



Arno, S.F.1980.Forestl fire history of the northern Rockies. Journal of Forestry 39:726-729.

Benavides, C., J.D. y Flores G., J.G. 1939. Manejo de materiales combustibles en suelos forestales para reducir el resigo de incendios y. manejo y conservación de suelo y agua. Editor. Ruiz F., J.F. colegio de postgraduados. Montecillos, Edo,. de México. pp 163-17.

Brenner J ;Arvanitis, L: Brackett , D: Lee , B., Carr, R; Suddaby, R 1998. Integrating GIS, mesoscale fire wether, smoke plume dispersion modelling for the enhancedopen burning auatorizations and wildfire respone in Floraidad de forida , estados unidos de America

Brown, J. K,. Smith,J.K. 2000.Wildland fire in ecosystem: Efects or fire on flora. United States Departament of Agriculture. Forest Service. General Technical Report RMRS-GTR-42. Vol.2 p 266.

Brown, J. K. 1974. “Handbook for inventorying downed woody material”. USDA Forest Service. General Technical Report INT – 16. Utah, USA. 24 p.

Chandler, C., P. Cheney, P. Thomas, L. Trabaud, y D. Williams. 1983. Fire in forestry. Volume 1: Forest fire behavior and effects. Johon Wiley & Sons. New York., USA. 450 p.

Chandler,C., P Cheney , P. Thomas, L. Tarabud and D. Williams .1983. Fire in forestry. Vol. II: Forest fire management and organization. Jhon Wiley and Sons. New York. 289 p.

Chojnacky,D.C., R.A. Mickler, L.S. Heath and C. W. Woodall. 2004. Estimates of dowm woody materials in Eastern US. Forests. Enviromental Management, Vol. 3, Suplemment 1. pp 44-55.

CONAFOR, 2008. Comisión Nacional Forestal www.conafor.gob.mx

CONAFOR, 2012. Comisión Nacional Forestal www.conafor.gob.mx

Davis, K.P. 1959. Forest fire control and use. Mc Graw-Hill Editors, USA. 548 pp.

Díaz García E. R. E .2012 Caracterización de combustibles forestales mediante un muestreo directo. Tesis de Licenciatura, UANL Linares Nuevo León México.73 p.

Dunn, P.H; Debanoco, L.F y Eberlein.1979. Effects of burning on chaparral solis. II. Soli microbes and nitrogen mineralization. Soil. Sci. Soc. Am. J.43:509-514.

González Tagle, M. A., Jiménez Pérez, J., & Himmelsbach, W. (2011). Impact of firewood extraction on leaf area index and canopy openness in mixed pine-oak forests in northeast Mexico. *Forstarchiv*, *25*(82), 20–25. doi:10.2376/0300-4112-81-20

Jhonson, E. A. y Miyanishi, K. 2001. Forest fires: behavior and ecological effects . Academic Press. United States. p. 594.

Montoya, M., J. A. 2004. Los incendios forestales en el estado de Chiapas. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo, Edo. de México. 85 p.

Moravec, J. 1990. Regeneration of N.W African Pinus halepensis forests follwing fire. Vegetatio, 87:29-36.

Muñoz R. C. A 2001.Elaboracion de un modelo espacial de peligro de incenido forestales. Tesis de maestría en Ciencias Forestales. Linares Nuevo León México 107 p.

Muñoz, R., C.A., Treviño G., E.J, Verastegui Ch., Jiménez P., J. y Aguirre C, O.A. 2005. Desarrollo de un modelo espacial para la evaluación de peligro de incendios forestales. Universidad nacional autónoma de México. Red de revistas científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal. Investigaciones Geográficas. Abril, numero 56. Distrito federal, México. pp 101-117.

NOM-015-SEMARNAT/SAGARPA-2007, Que establece las especificaciones técnicas de métodos de uso del fuego en los terrenos forestales y en los terrenos de uso agropecuario.

Porrero, M. 2001. Incendios forestales, investigación de causas, Mundi-Prensa, Madrid, España.

Rodríguez, T., D. A. 1996. Incendios forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Multi-Prensa México. 630 p.

Rodríguez, T., D. A.; Rodríguez M; Fernández, F. y Pyne, S. 2002. Educación e incendios forestales. 2a ed. MundiPrensa. México, D. F. 201p.

Rodríguez, T., D.A. 2006. Ecología del fuego y manejo integral del fuego en las montañas del valle de México ( bosques de coníferas) . Incendios Forestales, Edición. Flores G. J.G. y Rodríguez T .D.A: Conafor. Mundi prensa, Mexico, D. F. 201 p.

Rubio C E A.2013 Análisis de la estructura, biomasa y combustibles forestales : una aproximación a la ecología del fuego en bosques montanos de la Sierra Madre Oriental. Tesis Maestria en Ciencias Forestales UANL Linares Nuevo León México.101 p.

Ruiz, G., A D. 2004. La predicción de la humedad en los restos forestales combustibles; aplicación de masas arboladas en Galicia. Universidad de Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Montes. España. 440 p

Sánchez, C. J; y Zerecero, L.G. 1983. Método practico para calcular la cantidad de combustibles leñosos y hojarasca. Nota divulgativa No 9 PR – 03. CIFONOR – INIF, SFF. SARH. México.

Stolyarchuk L.V. 1979. Structure of the forest fire seasons in the regions west and east of Lake Baikal . lesnoe- khozyaistvo No. 7.

Trabaud, L. 1992. Les feus de forest. Mecanismes, comportement et environnement. Editions France- Selection, Aubervilliers, Cadex.

Villatoro M., Henríquez C., Sancho F. 2008. Comparación de los interpoladores IDW y Kriging en la variación espacial de pH, Ca, CICE y P del suelo. Agronomía Costarricense 32(1):95-105.