



Universidad Autónoma del Estado de México



Facultad de Geografía

Tesis Licenciatura en Geografía

Los patrones de distribución espacial y temporal de los incendios forestales en
Almoloya de Juárez (2005- 2015)

Presenta:

Cristian Reyes Martínez

Asesor de Tesis: Dr. Sergio Franco Maass

Revisores de Tesis

Mtra. Dolores Magaña Lona

Dra. Xanat Antonio Némiga

Toluca de Lerdo, México, Octubre del 2016

Índice general.

Capítulo I Introducción

Resumen	8
Antecedentes del problema	9-10
Problema	11
Justificación	12
Objetivo general y específicos	13
Hipótesis.	14
Marco de referencia.	14 -15
Marco Metodológico	16
1. Caracterización de los incendios forestales ocurridos entre el año 2005- 2015.	17
2. Análisis de la distribución de actividades socio económicas.	17
3. Desarrollo de modelos de análisis mediante la aplicación del SIG.	18
4. Obtención del mapa de vulnerabilidad a incendios forestales.	18
Contenido de la tesis	18-19

Capítulo II Marco Teórico

Los ecosistemas forestales.	21
Revisión de los aportes teórico metodológicos a nivel, Mundial, Nacional y Regional.	22-24
Revisión sobre los estudios en relación al área de estudio.	25
La aplicación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) a los estudios de vulnerabilidad a los incendios forestales.	25-28
La aplicación de técnicas de Evaluación Multi Criterio (EMC) en el entorno SIG como herramientas para la identificación de la vulnerabilidad.	29-36

Algunos factores que inciden en la ocurrencia de incendios forestales.	37-39
--	-------

Capítulo III Metodología

Esquema metodológico.	40
Determinar las condiciones prevalentes en la región al momento del incendio durante los periodos 2005-2015. Perturbaciones antrópicas.	41-42
Obtención del mapa de Pendientes.	43-45
Obtención del mapa de Orientación de laderas.	46-47
Obtención del mapa de Ocupación de suelo.	48-50
Evaluación Carga Combustible.	51-57

Capítulo IV Resultados

Trabajo de campo sitio de muestreos para el Cálculo de Carga Combustible.	58
Zonas de bosque fraccionado, sitio de muestreo Cerro del Molcajete.	58-60
Zonas de bosque denso. Sitio de muestreo Rosa Morada.	60-64
Para la obtención del Cálculo de Carga combustible se utilizaron las siguientes ecuaciones.	65
Ecuación 1 Corrección de la pendiente.	65
Ecuación 2 Estimación de carga combustible de 1 hora.	65
Ecuación 3 Estimación de carga combustible de 10 horas	66
Ecuación 4 Estimación de carga combustible de 100 horas.	67-69
Mapa final de zonas propensas a incendios forestales por acumulación de combustible en el municipio de Almoloya de Juárez.	69-70

Conclusiones

Conclusiones metodológicas.	71
-----------------------------	----

Conclusión de resultados.	72-73
Recomendaciones.	74
a) Recomendaciones culturales.	74
b) Prevención física (obras de Ingeniería).	74-76
Anexos	77-80
Referencias	81-86
Índice de figuras	
Figura 1: El triángulo de fuego.	14
Figura 3.1: Esquema Metodológico.	40
Figura 3.2: Pendientes en el municipio de Almoloya de Juárez.	44
Figura 3.3: Orientación de laderas en el municipio de Almoloya de Juárez.	46
Figura 3.4: Ocupación de suelo en el municipio de Almoloya de Juárez.	50
Figura 3.5: Transectos para la evaluación MLC (Combustible de 1 h, 10 H, 100 H Y 1, 000 H).	53
Figura 3.6: Carga combustible, Almoloya de Juárez	56
Figura 4.1: Conteo de piezas en el eje central sobre la capa de fermentación.	64
Figura 4.2: Conteo de Material Leñoso Caído.	64
Figura 4.3: Si la línea de muestreo coincide con el eje central del tronco, la pieza no es contada.	64
Figura 4.4: Se miden todas las secciones que intersecta la línea de muestreo en una pieza curvada.	65
Figura 4.5: Zonas Vulnerables a Incendios forestales en Almoloya de Juárez.	69

Índice de tablas

Tabla 2.1: Matriz de costos.	32
Tabla 3.1: Localidades más próximas a incendios forestales en el municipio de Almoloya de Juárez.	42
Tabla 3.2: Superficie por tipo de ocupación del suelo.	43
Tabla 3.3: Incidencia de radiación solar.	47
Tabla 3.4: Superficies en hectáreas de bosque denso y abierto, municipio de Almoloya de Juárez.	52
Tabla 3.5: Clasificación del Combustible por tamaño y tiempo de respuesta o retardo.	54
Tabla 3.6: Criterios de clasificación del grado de putrefacción de los combustibles de 1000 h.	55
Tabla 4.1: Total de zonas de bosque abierto, denso y total de muestreos.	58
Tabla 4.2: Carga combustible en 1 hora material fino < 0.06.	66
Tabla 4.3: Carga combustible en 10 hora materiales regulares 0.06 – 2.5.	67
Tabla 4.4: Carga combustible en 100 horas materiales medianos 0.06–7.6.	68
Tabla 4.5: Total de carga de combustible por zona forestal de bosque abierto y denso en toneladas.	68

Índice de fotografías

Foto 3.1: Colilla de cigarro en Zonas de Bosque Denso Rosa Morada.	57
--	----

Foto 4.1: <i>Pinus oocarpa</i> Schieder Var. Ocarpa (Fam. Pinaceae) (Pino).	59
Foto 4.2: Matorral.	59
Foto 4.3: <i>Pinus oocarpa</i> Schieder Var. Ocarpa (Fam. Pinaceae) (Pino).	60
Foto 4.4: Polvorín en Zonas de Reforestación Cerro del Molcajete.	60
Foto 4.5: <i>Quercus dysophylla</i> benth (Fam. Fragaceae) encino.	61
Foto 4.6: <i>Abies religiosa</i> (kunth schldl. Et cham) (Fam. Abietaceae) (Oyamel).	61
Foto 4.7: Selección de la primera línea.	62
Foto 4.8: Separación de las líneas de intersección de 120°.	63
Foto 4.9: conteo de Material Leñoso Caído.	63
Foto 4.10: Combustible Leñoso Muerto.	63
Foto 4.11: Ramas y ramillas que se cuentan dentro de hojarasca.	64

Capítulo I

Introducción

Patrones de distribución espacial y temporal de los incendios forestales en Almoloya de Juárez (2005- 2015).

Resumen

El municipio de Almoloya de Juárez se ubica en el lugar 61 de los 86 municipios en los cuales se presentan incendios forestales en el Estado de México. Dichos incendios ocurren principalmente durante la temporada de estiaje. El municipio cuenta con 4560 ha de bosque de las cuales se ven afectadas 46 ha por año. Una parte de la superficie forestal del municipio se encuentra dentro del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (GEM, 2014). El objetivo de la investigación fue el de analizar los patrones de distribución espacial y temporal de los incendios forestales en Almoloya de Juárez durante el periodo 2005-2015, mediante la caracterización de los incendios en función de las condiciones ambientales y de la presión antrópica derivada de las actividades socioeconómicas que presenta el municipio. Dicho análisis permite proponer acciones de conservación de los ecosistemas forestales a partir del reconocimiento de las zonas más vulnerables. La metodología desarrollada en este trabajo se basó en la aplicación de la Evaluación Multicriterio discreta (EMC), técnica que permite evaluar diversas alternativas de elección a la luz de diversos criterios y que se basa en la construcción de una matriz que refleja las características de un conjunto dado de alternativas de elección a partir de una serie de criterios. Los criterios expresan las cualidades en valor numérico o simbólico de la alternativa. Los componentes básicos de la EMC son: identificación del conjunto de alternativas posibles, definición del conjunto de atributos, obtención de atributos y la combinación de los atributos normalizados y ponderados (Franco *et al*, 2009). La investigación permitió la elaboración de cartografía de pendiente, orientación de ladera, cobertura forestal, carga combustible y factores antrópicos (cercanía de localidades a incendios). Como

resultado final se obtuvo el mapa de zonas vulnerables a incendios forestales en el municipio de Almoloya de Juárez el cual se pudo realizar con base en la sumatoria de los diversos factores.

Antecedentes del Problema

En el programa de Protección Civil para incendios forestales (GEM, 2014) se establece, con base en las Estadísticas Nacionales de Incendios Forestales 2013, que el Estado de México ocupa el lugar 13 con relación al número de siniestros. Para dicho año ocurrieron en todo el estado 2,350 incendios con una superficie afectada total de 9,789.9 ha. Esto representó una media de 4.2 ha de superficie incendiada por evento. En cuanto a su distribución espacial, un número importante de municipios (86 de 125) se vieron afectados por incendios forestales, sobre todo en temporada de estiaje. Es importante señalar que la superficie afectada sufrió un incremento en relación con el año precedente. De acuerdo con la Enciclopedia de los Municipios de las Delegaciones de México (INAFED, 2015), el municipio de Almoloya de Juárez cuenta con 4,650 ha de zonas forestales. Con base en el Programa de protección civil (GEM, 2014); el municipio se encuentra en el lugar 61 de los 86 municipios en los que se presentan incendios forestales y se registran en promedio 5 incendios por año con una superficie afectada cercana a las 46 ha.

La Protectora de Bosque del Estado de México (PROBOISQUE, 2015), establece que una de las prioridades del gobierno estatal es la conservación de los recursos forestales que, para el 2010 abarcaban 1, 087,812 ha. Ante la necesidad de prevenir y combatir los incendios forestales se creó el Comité de Protección Forestal bajo coordinación de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México.

De acuerdo con Pausas y Vallejo (2008) en la sociedad existe la tendencia a pensar que los incendios forestales se deben evitar a toda costa, ya que estos conducen a la destrucción de los ecosistemas. No obstante, cuando ocurren de forma natural y sin intervención antrópica, estos pueden resultar benéficos para el renuevo de la vegetación. Se trata de procesos naturales que sin intervención

antrópica pueden ocurrir a causa de los periodos de secas. Sin embargo Yolanda (2001) afirma que los incendios forestales son un problema de gran magnitud que afectan a los territorios, debido a la singularidad y la fragilidad de los ecosistemas más vulnerables a la acción destructiva de las llamas, esto no sólo conduce al deterioro ambiental sino que implica pérdidas económicas significativas.

Rodríguez y Dante (2012), afirman que en la actualidad el fuego es un factor ecológico que incide en la diversidad de ecosistemas a lo largo y ancho del planeta, que incluso llega a reconocerse como un proceso ecológico a nivel global, ya que la presencia del fuego ha sido variada y responde a cambios en la concentración de oxígeno atmosférico.

Por otro lado Blanco (2012), afirma que un régimen de fuego puede ser sostenible para el medio ambiente en la medida en que los ecosistemas forestales se encuentran adaptados a él, sin embargo cuando esto no sucede y se va más allá del régimen soportado, el fuego puede alterar o destruir las comunidades vegetales. Debido a esto la biodiversidad y el paisaje han ido evolucionando a la presencia de los incendios forestales.

Los incendios forestales no siempre han presentado la misma magnitud. Ha habido épocas en que son más intensos y severos pero también han existido tiempos en que la presencia del fuego ha sido mínima o de moderada intensidad. En la actualidad, como resultado del cambio climático y de otras intervenciones humanas que están alterando diversas regiones del planeta, se ha incrementado la extensión, duración, intensidad y severidad de los incendios forestales en el mundo (CONAFOR, 2015a).

La CONAFOR (2015a: 1) establece que el fuego tiene muchas facetas para los ecosistemas y las personas:

- *“Los incendios pueden ser dañinos o benéficos, dependiendo del lugar y de la manera en que queman.*

- *Durante miles de años, las comunidades humanas se han beneficiado del fuego usándolo para cocinar, proveer calor, cazar, cultivar, manejar la vegetación y producir energía.*
- *Al mismo tiempo, los incendios pueden amenazar la salud y la subsistencia humana.”*

De acuerdo con la CONAFOR (2012) los incendios forestales que afectan al territorio mexicano van en aumento. En enero de 2012 se registraron 10,242 incendios en todo el territorio nacional con una superficie afectada de 391,292 ha. Lo que contrasta con los 6,939 incendios ocurridos el año precedente. Para los primeros meses del 2015 se habían presentado 255 incendios forestales en 19 entidades federativas con una superficie afectada de 2,143 ha, el 98% correspondió a vegetación en los estratos herbáceo y arbustivo y el 2% al arbóreo CONAFOR (2015b).

Problema

De acuerdo con el programa de protección civil para incendios forestales (GEM, 2014) y con base en las estadísticas nacionales de incendios forestales 2013, el Estado de México ocupaba el lugar 13 a nivel nacional, con un total de 2,350 incendios y una superficie afectada de 9,790 ha, esto representaba una superficie incendiada de 4.17 ha por siniestro. Los incendios forestales se presentaron en 86 de los 125 municipios de la entidad y su ocurrencia fue mucho mayor durante la temporada de estiaje. Esto representó un incremento en relación con el año precedente. El INAFED (2015) establece que el municipio de Almoloya de Juárez cuenta con 4,650 ha de bosques, lo cual representa 10% de zonas forestales. Con base en el Programa de Protección Civil (GEM, 2014), el municipio de Almoloya de Juárez se encuentra dentro de los 86 municipios en los que se presentan incendios forestales, ocupando el lugar 61 con un total de 5 incendios por año y una superficie afectada de 46 ha. Una parte importante de la superficie forestal de municipio se encuentra dentro del Área de Protección de Flora y Fauna del Nevado de Toluca lo que le confiere un carácter de protección especial. Si bien en el municipio de Almoloya de Juárez no se han registrado una gran cantidad de

incendios forestales y la superficie afectada es relativamente pequeña, se desconoce si las condiciones ambientales que prevalecen en las zonas forestales del municipio podrían propiciar un incremento significativo en su ocurrencia a futuro. Esto cobra especial relevancia si se considera que la superficie forestal del municipio se encuentra altamente fragmentada, lo que le confiere un gran nivel de fragilidad.

Justificación

Los incendios forestales constituyen un problema significativo de nuestro país, su ocurrencia se debe principalmente a causas antrópicas durante la temporada de estiaje. Dichos incendios inducidos son una de las principales causas de la disminución del bosque y la pérdida de suelos fértiles.

De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2010) en el 2010 el municipio de Almoloya de Juárez contaba con una población de 147,653 habitantes. Pese a la existencia de zonas forestales y a la importante presencia humana en la región, no existen trabajos relacionados con los incendios forestales en el municipio. En el plan maestro para la restauración ambiental de la cuenca del río Lerma (GEM, 2010) se aborda la conservación y rehabilitación de los recursos suelo y agua en toda la parte alta de la cuenca pero, para el caso de Almoloya de Juárez solo se hace mención a la pérdida de la cobertura vegetal por la deforestación y el cambio de los usos de suelo como principales causas de la degradación de los recursos naturales de la región.

El presente trabajo contribuye a mi formación profesional al tiempo que aporta al conocimiento sobre la incidencia de los incendios forestales en el municipio de Almoloya de Juárez.

Objetivo general

- Analizar los patrones de distribución espacial y temporal de los incendios forestales en Almoloya de Juárez durante el periodo 2005-2015 mediante la caracterización de los incendios en función de la presión antrópica que se presentan en el municipio a fin de reconocer zonas vulnerables y proponer acciones de conservación del ecosistema forestal.

Objetivos específicos

- Caracterizar los incendios forestales ocurridos en entre el año 2005 y 2015 a partir de su ocurrencia, ubicación geográfica, tipo de ecosistema forestal afectado, causalidad y cuantificación de áreas afectadas y daños a la sociedad y al ambiente.
- Analizar las actividades socio económicas presentes en las zonas de influencia de los incendios tales como procesos de cambio de ocupación del suelo y desarrollo de actividades agropecuarias.

Con base en los patrones de distribución espacial, y la caracterización de las posibles condiciones socioeconómicas:

- Caracterizar las zonas forestales del municipio de Almoloya de Juárez en función de su vulnerabilidad a la ocurrencia de incendios forestales y delimitar zonas prioritarias para implementar medidas de prevención y conservación de los ecosistemas forestales.

Hipótesis

El 10 por ciento de la superficie del municipio de Almoloya de Juárez se encuentra cubierta por ecosistemas forestales. Si bien la ocurrencia de incendios forestales es relativamente baja en el municipio, se desconoce si las condiciones ambientales y antrópicas podrían desencadenar siniestros de mayor consideración en el territorio municipal. Mediante el análisis de información de campo y la aplicación de un Sistema de Información Geográfica es posible identificar y modelar las condiciones ambientales y antrópicas relacionadas con los siniestros y evaluar los patrones de distribución espacial.

Marco de referencia

Con base en CENAPRED (2008: 6) el fuego “es el desprendimiento de calor y luz producida por la combustión de material vegetal vivo o muerto (combustibles forestales). El material combustible es todo material vegetal distribuido en campo susceptible a incendiarse”. Los incendios forestales son aquellos que se producen cuando el fuego (calor) afecta a los combustibles vegetales naturales. Para que estos ocurran se precisa la presencia de 3 elementos: calor, oxígeno y combustible. A esto se conoce como triángulo de fuego (Figura 1).

Figura 1: El triángulo de fuego



Fuente: CENAPRED (2008)

Los incendios forestales en nuestro país han sido estudiados desde diversos enfoques. Ávila-Flores *et al.* (2010) realizaron un análisis espacial de la ocurrencia de incendios forestales en el estado de Durango para poder determinar el patrón de distribución espacial. Los autores encontraron que los incendios forestales tienen una clara manifestación territorial y tanto los factores como los efectos se distribuyen en el espacio y son afectados por el. Mediante las bases de datos de

incendios forestales semanales de la Comisión Nacional Forestal, se generó un archivo en formato "shape" para mostrar gráficamente la tendencia de la distribución espacial de los incendios. Posteriormente en las capas resultantes se obtuvo el número de incendios y su ubicación lo que permitió reconocer los patrones de distribución espacial mediante la aplicación de métodos cuantitativos de análisis espacial.

Muñoz Robles *et al.* (2005), en su trabajo de desarrollo de un modelo espacial para la evaluación del peligro de incendios forestales en la Sierra Madre Oriental de México, realizaron una evaluación multicriterio a través de la selección y análisis de los criterios de carga de combustible, temperatura máxima y mínima, precipitación, orientación de la pendiente, actividades agropecuarias, infraestructura y población. La integración de las variables para calcular el índice de peligrosidad de incendios forestales consistió en la localización de las áreas susceptibles a incendios forestales, en virtud de que cada criterio tiene unidades dimensionales distintas. Como resultado se obtuvo que la carga de combustible más elevada se encontraba en los bosques de *Pinus pseudostrobus* Lindl., seguido por el bosque de *Pinus pseudostrobus* Lindl. Asociado con *Quercus* spp.

Carrillo García *et al.* (2012) en su trabajo de análisis espacial de peligro de incendios forestales en Puebla, México, desarrollaron una metodología de muestreo sistemático en 85 unidades de 10 x 10 km con una superficie de 10,000 ha. La superficie muestreada cubrió el 25% de la superficie total del estado, para dicho trabajo fueron consideradas 13 variables: temperatura media anual, precipitación media anual, exposición, pendiente, altitud, actividad agropecuaria (perímetro, áreas y número de fragmentos), vías de comunicación (longitud de caminos y número de ramales de caminos), población total, población analfabeta y número de comunidades rurales. Como resultado del análisis se obtuvo la probabilidad de ocurrencia de incendios forestales en estado de Puebla.

Marco Metodológico

1. Caracterización los incendios forestales ocurridos en entre el año 2005 y 2015
 - a. Generación de una base de datos sobre los incendios forestales ocurridos en el periodo incluyendo:
 - i. Fecha de ocurrencia
 - ii. Ubicación geográfica
 - iii. Superficie afectada
 - iv. Ecosistema afectado
 - v. Causas del siniestro
 - b. Generación de una base de datos cartográficos conteniendo:
 - i. La base topográfica
 - ii. La ocupación de suelo
 - iii. La distribución espacial de los incendios forestales
2. Análisis de las actividades socio económicas presentes en las zonas de influencia de los incendios
 - a. Generación de los mapas de actividades socio económicas tales como:
 - i. Proximidad a centros de población
 - ii. Proximidad a vías de comunicación
 - iii. Cambios de ocupación de suelo
 - iv. Actividades agrícolas y pecuarias
3. Desarrollo del modelo de análisis mediante la aplicación del SIG
 - a. Normalización de los criterios de análisis
 - b. Elección de la regla de decisión multicriterio
4. Obtención del mapa de vulnerabilidad a incendios forestales
 - a. Aplicación de la regla de decisión multicriterio para la obtención del nivel de vulnerabilidad
 - b. Identificación de zonas de atención prioritaria para la prevención y conservación ambiental

1.- Caracterización de los incendios forestales ocurridos entre el año 2005-2015

1.1 Con base en la información obtenida en PROBOSQUE se generó la base de datos del municipio con la ocurrencia de incendios forestales.

1.2 Con base en la información cartográfica disponible fue posible generar la cartografía básica. La ocupación del suelo se obtuvo a partir de la interpretación visual de ortofotos digitales 1:20,000 del H. Ayuntamiento de Almoloya de Juárez. El modelo digital del terreno se obtuvo del continuo de elevaciones de México que se encuentra en la página del INEGI con una resolución de 30 m para realizar su manipulación y obtener la orientación de laderas del municipio, así mismo se determinaron cuáles son las laderas en las que incide mayor cantidad de radiación solar y se verificó si existe relación con los incendios forestales presentes en la zonas de estudio.

2.- Análisis de la distribución de actividades socio económicas

2.1 A partir de la cartografía básica fue posible generar los mapas de proximidad a centros poblados y vías de comunicación.

2.2 A partir del mapa de ocupación del suelo y mediante observación en campo se generó el mapa de actividades económicas.

2.3 Se realizó trabajo de campo para verificar las zonas en las que se presentan incendios forestales. Realizando muestreos para constatar si las causas de los incendios son provocados por agentes perturbadores antrópicos o por sucesos naturales, así mismo se realizó una encuesta para determinar las causas por las que se producen los incendios en la parte forestal que presenta el municipio de Almoloya de Juárez.

Determinar las principales causas que han propiciado los incendios forestales en el municipio de Almoloya de Juárez

Se realizó trabajo de campo para verificar las zonas en las que se presentan incendios forestales. Los muestreos permitieron constatar si las causas de los

incendios son provocados por agentes perturbadores antrópicos o por sucesos naturales, así mismo se realizó una encuesta para determinar las causas por las que se producen los incendios en la parte forestal que presenta el municipio de Almoloya de Juárez.

3.- Desarrollo del modelo de análisis mediante la aplicación del SIG

3.1 Mediante la aplicación de técnicas de evaluación multicriterio en el ambiente SIG se procedió a la elaboración de la matriz de decisión y la obtención de criterios normalizados. De igual forma se estableció el vector de pesos para poder aplicar la regla de decisión previamente seleccionada.

4.- Obtención del mapa de vulnerabilidad a incendios forestales

4.1 La aplicación de la regla de decisión en ambiente SIG raster permitió generar un mapa de nivel de vulnerabilidad por pixel. La elección de los valores de mayor vulnerabilidad permitió delimitar las zonas de atención prioritaria para la prevención y conservación.

Contenido de la Tesis

Este documento consta de IV capítulos en el capítulo I abordan los antecedentes de incendios forestales, los problemas que presentan el municipio por la presencia de incendios y justifica la presencia de los incendios inducidos como una de las principales causas de la disminución del bosque y su función a la pérdida de suelos fértiles aunado a estos se plantea el objetivo de analizar los patrones de distribución espacial y temporal de los incendios mediante la caracterización de los mismos mediante las actividades socioeconómicas por ende como hipótesis se plantea que se desconoce si las condiciones ambientales y antrópicas pueden desencadenar siniestros de mayor consideración en el territorio municipal. En el capítulo II aborda las características de los principales aspectos que se tomaron en cuenta para el desarrollo del marco teórico en función de los objetivos planteados tales como. Los ecosistemas forestales y su importancia como prestadores de servicios ambientales y reservorios de la

biodiversidad aunado a esto como la revisión de los aportes teóricos metodológicos a nivel Mundial, Nacional y Regional en relación con estudios de incendios forestales y vulnerabilidad en base a revisión sobre estudios en relación al área de estudio esto permitió complementar la información que se tenía con relación al municipio y la aplicabilidad de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) a los estudios de vulnerabilidad a los incendios forestales a si mismo la aplicación de técnicas de evaluación multicriterio (EMC) en el entorno de los SIG como herramienta para la identificación de vulnerabilidad y el análisis de información meteorológica y los principales problemas inherentes a su interpolación espacial .

El Capítulo III aborda la metodología desarrollada para la obtención del mapa de zonas vulnerables a incendios forestales, la cual consta en la caracterización de zonas propensas a incendios forestales a partir de su ocurrencia, ubicación geográfica y tipo de ecosistema forestal afectado, determinar las condiciones prevalentes en la región al momento del incendio, analizando las actividades socioeconómicas presentes en las zonas de influencia de los incendios como ocupación de suelo, las variables a considerar tales como: pendiente, orientación de ladera, ocupación de suelo, factores antrópicos (localidades) y carga combustible.

El Capítulo IV aborda los resultados obtenidos sobre el presente trabajo los cuales son: la obtención del cálculo de la carga combustible en zonas de bosque denso y abierto mediante la elaboración de muestreos en cada una de las zonas mencionadas basada en la metodología establecida por la CONAFOR (2012), esta se basa en el conteo de MLC en 1,10 y 100 horas para identificar el total de MLC por tipo de bosque e identificar el tipo de especie de árboles que presentan, se calcula la inclinación de la pendiente para aplicar la fórmula de corrección de la pendiente y cuantificar el total de MLC en toneladas por zonas de bosque, y así mismo se obtiene el mapa Zonas Vulnerables a Incendios Forestales sumando las variables de Carga Combustible, Uso de Suelo, Pendiente, Orientación de Laderas y Factores Antrópicos (Localidades).

Capítulo II

Marco Teórico

Los principales aspectos que se tomaron en cuenta para el desarrollo del marco teórico, en función de los objetos planteados son:

1. Los ecosistemas forestales, su importancia como prestadores de servicios ambientales y como reservorios de la biodiversidad, los problemas que inciden en su deterioro y en particular los incendios forestales.
2. Revisión de los aportes teórico metodológicos a nivel Mundial, Nacional y Regional en relación con el estudio de los incendios forestales y la vulnerabilidad. Esto permitió, por una parte, concretar el estado del arte en relación a los estudios de vulnerabilidad a incendios forestales y, por la otra, definir con mayor precisión los criterios y procedimientos de análisis de la información.
3. Revisión sobre los estudios en relación al área de estudio. Esto permitió complementar la información que ya se tenía en relación al municipio y sus zonas forestales y conocer el tipo de estudios que se han venido realizando en dicha región, comprobando con ello la pertinencia de este trabajo.
4. La aplicabilidad de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) a los estudios de vulnerabilidad a los incendios forestales, incluyendo la revisión sobre los principales conceptos de las herramientas SIG y la revisión de los ejemplos metodológicos de su aplicación al estudio de la vulnerabilidad.
5. La aplicación de técnicas de evaluación multicriterio (EMC) en el entorno SIG como herramientas para la identificación de la vulnerabilidad.
6. El análisis de información meteorológica y los problemas inherentes a su interpolación espacial.

1.- Los ecosistemas forestales.

De acuerdo con la FAO (2014), el estado de los bosques en el mundo desempeña un papel fundamental para los medios de vida de la población rural al proporcionar empleos, energía, alimentos y una amplia gama de otros bienes y servicios ecosistémico. Debido a esto se ha procurado colmar la laguna de conocimientos mediante la recolección y el análisis sistémico de los datos disponibles sobre el aporte de los bosques a la satisfacción de necesidades de las personas en materia de medios de vida, alimentos, salud, abrigo y energía.

Entre los procesos naturales de regeneración del ambiente, los incendios forestales son importantes agentes de limpieza de los ecosistemas forestales, este proceso sin embargo, se ha visto desequilibrado por las actividades humanas. (Vilchis-Francés *et al.*, 2012)

Los recursos forestales, a nivel general, han representado riquezas de bienes y servicios en donde el hombre ha encontrado protección y sustento. (SEMARNAT, 2006).

Aguirre (1997) señala que el manejo forestal tradicional enfrenta actualmente el reto de generar esquemas que garanticen el mantenimiento de la diversidad biológica y la fertilidad del suelo, la conservación de la variabilidad genética y su dispersión, así mismo también las funciones ecológicas de las áreas de manejo. En síntesis el manejo forestal tradicional debe tender hacia el manejo de ecosistemas forestales, es decir al logro y mantenimiento de la condición ecológica y forestal deseada dentro de las cuales se consigue el rendimiento sostenido de productos para satisfacer necesidades humanas, asimismo se busca que el manejo de ecosistemas forestales debe entenderse entonces como un concepto de manejo de recursos naturales, en el que las actividades forestales se consideran en el marco de las interacciones ecológicas, económicas y sociales dentro de un área o región determinada a corto y largo plazo.

De acuerdo con en el inventario forestal de PROBOSQUE (2010) un bosque es aquel que se compone de vegetación arbórea de origen septentrional y se

ubica principalmente en zonas montañosas con clima templado o semifrío y con diferentes grado de humedad. Se considera como bosque natural cuando dependiendo del clima o suelo de una región, no ha sido influido sensiblemente por otros factores para su establecimiento y se caracteriza por la poca variación de especies en dichas comunidades. Los bosques pueden ser utilizados con fines de producción, protección, conservación o usos múltiples.

2.- Revisión de los aportes teóricos metodológicos a nivel Mundial, Nacional y Regional.

La zona central de Chile ha sido permanentemente afectada por incendios forestales en vegetación nativa cuyos daños y efectos no han sido suficientemente estudiados a escala regional, por tal motivo se analizaron 35 años de incendios forestales (1976-2010) con el objetivo de disponer de datos útiles para ejecutar futuros proyectos de recuperación ambiental en áreas degradadas por el fuego. En el análisis se consideraron incendios superiores a 2,000 Ha localizados entre 32 y 38°S cuyos principales daños se concentraron en 1984 y 1999 esto se le atribuye principalmente a las condiciones ambientales que favorecen la propagación del fuego en esos años (Castillo *et al.*, 2012).

Los resultados del comportamiento del fuego y la severidad del mismo en las áreas analizadas en campo muestran estrecha relación con la topografía y en consecuencia con la modificación espacial y temporal de la estructura de la vegetación, el paisaje vegetal nativo de Chile central ha experimentado cambios regresivos en cuanto a su extensión, esto se debe a por la alta presión antrópica derivada de la expansión de territorios y la marcada estacionalidad de fenómenos de incendios forestales (Castillo *et al.*, 2012).

Con base en el artículo sobre el drama de los incendios forestales: ¿realmente preocupa a Europa? Se desprende que los incendios forestales se pueden encontrar como la expresión asociada a conceptos de sequía, avenidas y corrimientos de tierra como ejemplo del suceso complejo y sustancial, más allá de la simple relación del clima, el origen y causa de muchos problemas sociales y

económicos: pérdida de habilidades, erosión, emisión de CO₂. La Comisión Europea menciona la necesidad de un manejo sostenible del medio ambiente y de sus recursos a través del avance del conocimiento entre la biosfera y las actividades humanas, pero olvida mencionar al fuego como un importante factor a considerar dentro de los recursos naturales, en conclusión se podría pensar que los incendios forestales son un problema menor en la Unión Europea en comparación con otras perturbaciones naturales. Lo cierto es que incluso la página web de la Comisión Europea menciona que cada año tienen lugar en Europa 45,000 incendios forestales que destruyen una vasta superficie de bosque y otras tierras de ámbito rural. Entre 1995 y 2004 más de 4 millones de hectáreas han ardido solo en la Región Mediterránea, una superficie mayor a la que ocupa Holanda. Los incendios traen consigo daños sociales y ambientales que comportan considerables consecuencias económicas, no solo a causa de la destrucción que originan sino también por la gran cantidad de recursos que se destinan a medidas de prevención, extinción y restauración (Silva y Heras, 2006).

Nacional

Con base en Capulín *et al.* (2010), los incendios forestales en México son disturbios frecuentes que en el 2007 afectaron en un 10% las áreas arboladas y un 90% de los pastos, arbustos y matorrales. El estudio se desarrolló en el predio denominado Tres Fracciones de Fondones (20° 37' 20" N y 98° 40' 00" W) en el municipio de Zacualtipán, estado de Hidalgo. Para esto se realizaron muestras de suelo en un lapso de 18 días en intervalos de 16 días. Para la toma de muestras de suelo, que incluyeron las cenizas generadas por el incendio, se empleó una barrena cilíndrica de 6 cm de diámetro, el muestreo se hizo a dos profundidades: 0-5 y 5-30 cm. Se tomaron cuatro submuestras dentro de cada parcela, el estudio fue planteado como un muestreo aleatorio, las condiciones surgieron de la combinación de la presencia o la ausencia de fuego en el suelo del bosque (con incendio/sin incendio) y la profundidad de muestreo del suelo (0-5 cm / 5 -30 cm) originando cuatro condiciones las cuales tuvieron 3 repeticiones dentro de la zona incendiada y los testigos 2 repeticiones. Los datos obtenidos se analizaron

mediante el programa estadístico SAS, con las herramientas de análisis de varianza y la prueba de comparación de medidas de Tukey entre condiciones con una probabilidad del 95%.

En México los incendios forestales son una de las principales causas de grandes pérdidas económicas y ecológicas. Durante el 2008 en el estado de Durango se registraron 138 incendios afectando 27,961 hectáreas que lo ubicaron como el estado con más superficie afectada. Para la elaboración del trabajo de Determinación de la tendencia espacial de los puntos de calor como estrategia para el monitorear los incendios forestales en Durango, México, la metodología aplicada fue el análisis espacial, el cual consistió en la identificación del área de estudio con el propósito de medir el grado de agrupamiento de los puntos de calor, así mismo el área fue subdividida en 1,343 unidades fisiográficas también conocidas como sistemas terrestres, las cuales fueron digitalizada a una escala de 1:250 000. Estas unidades espaciales se configuran por pendiente, uso de suelo y vegetación predominante, sobre esta se sobrepuso la base de datos de puntos de calor obtenida de CONABIO, como resultado se obtuvo de acuerdo con la dependencia espacial de las observaciones en términos de valores de agrupación (Pompa y Hernández, 2012).

Regional

El Estado de México se encuentra en el 12° sitio por sus 35.5 millones de hectáreas de bosque tan solo en la cuenca del río Balsas, es una zona con disponibilidad hídrica limitada, sin embargo exporta anualmente 490 hm³ de agua a la cuenca del valle de México por medio del sistema Cutzamala, así mismo los bosques de esta cuenca se deterioran por lo cual se debe identificar factores que favorecen la probabilidad de ocurrencia de incendios forestales en la cuenca. Los incendios forestales son necesarios para el restablecimiento natural de los ecosistemas, pero su frecuencia ha aumentado por causas antropógenas y la dinámica climática, el objetivo de este estudio fue construir un modelo de regresión logística para la detección diaria de zonas con peligro de incendios forestales. Esta propuesta considera las variables de topografía, meteorológicas y

antropógenas, los resultados proporcionaron una efectividad espacial y temporal de un 86%. Se clasifican en una escala de peligro (bajo, moderado, alto y muy alto), el mayor peligro se encontró en las cuencas de captación de la presa Valle de Bravo, Colorines-Chisledo e Ixtapan del Oro, del sistema Cutzamala (Vilchis-Francés *et al.*, 2012).

4.- Revisión sobre los estudios en relación al área de estudio.

En el municipio de Almoloya de Juárez no existen trabajos relaciones con incendios forestales. Solo se encuentra el plan maestro para la restauración ambiental de la cuenca del río Lerma (GEM, 2010) en el cual se aborda la conservación y rehabilitación de los recursos suelo y agua en toda la parte alta de la cuenca pero, para el caso de Almoloya de Juárez solo se hace mención de la pérdida de la cobertura vegetal por la deforestación y el cambio de los usos de suelo como principales causas de la degradación de los recursos naturales de la región.

5.- La aplicabilidad de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) a los estudios de vulnerabilidad a los incendios forestales.

Flores (2014) en su artículo de sistema de información y monitoreo de incendios forestales en México, establece que los incendios forestales son un fenómeno muy complejo que debe entenderse bien para poder implementar las estrategias más adecuadas para su manejo, lo cual implica que se debe contar con información diversa y estructurada en un sistema que permita almacenar, clasificar, analizar e incluso generar nueva información. Para esto se recomienda el uso de un sistema de información geográfica para manejar dos conceptos:

- A) Descripción y caracterización de condiciones de carga de combustible, ubicación de incendios forestales, área impactada y riesgo de incendios.
- B) Visualización de la ubicación geográfica de los puntos o polígonos que representan incendios.

De acuerdo con CONAGUA (2010) en México, América-Central y el Caribe, la detección de los incendios forestales se realiza a través del sistema HMS (Hazard Mapping System) y del sistema McIDAS, mediante el despliegue y procesamiento de datos satelitales de la NASA, NOAA y la Universidad de Wisconsin. El producto final se presenta en un Sistema de Información Geográfica (GIS) en internet desarrollado por la NOAA-NESDIS, y está siendo complementado y diseñado a través de la información de diferentes capas temáticas proporcionadas por el Servicio Meteorológico Nacional de México.

Con base en Castillo *et al.* (2013), en su artículo de Sistemas de Información Geográfica sobre incendios forestales en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán establece que en relación a los incendios forestales existen puntos de vista controvertidos: por una parte son vistos como un factor de deterioro asociado a la deforestación, pero desde otro punto de vista los estudios ecológicos indican que el fuego es parte de la dinámica de muchos ecosistemas forestales y las modificaciones de los regímenes históricos del fuego así como la supresión de los mismos puede tener consecuencias negativas en la dinámica, funcionamiento y salud de los ecosistemas forestales, en este caso la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán. En los estados de Jalisco y Colima se están desarrollando estudios sobre ecología de los incendios forestales como base para la puesta en marcha de una programa de manejo del fuego y restauración de los bosques, como parte del estudio se está desarrollando un Sistema de Información Geográfica (SIG) en la zona cuyo objetivo es la sistematización de la información sobre la localización, extensión y tipos de vegetación afectados, el registro del historial de incendios en el área protegida, la elaboración de modelos de riesgos y peligro de incendios a escala del paisaje y la planificación y la evaluación de las prácticas del manejo del fuego, el objetivo de este trabajo fue sistematizar en bases de datos y un SIG los reportes de incendios forestales del periodo 1995-2003, como insumo para la elaboración del programa de manejo del fuego y la restauración de los bosques de la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán. El lugar cubre una extensión de 139,577 ha. En terrenos montañosos cubiertos por distintos tipos de vegetación

incluyendo bosques de pino-encino, encino-pino, encino-caducifolio y mesófilo de montaña, y selva baja caducifolia, selva mediana subcaducifolia, matorrales y pastizales la diversidad de vegetación se deriva de la marcada variación altitudinal (300 a 2860 msnm) y en las condiciones topográficas, climáticas, edáficas y de uso de suelo, los métodos que se llevaron a cabo fueron de acuerdo con los reportes de las brigadas de combate de incendios forestales que operan en el lugar estos datos fueron utilizados como fuente de información para elaborar una base de datos. Para este trabajo se utilizó información de 1995-2003 en lo cual los reportes de incendios forestales han sido estandarizados, a partir de dichos reportes se complementaron con inspección de trabajo de campo y se elaboró una base de datos con el programa Microsoft Access y se incluyó la información sobre la fecha y localización de cada incendio (municipio, nombre de los parajes afectados y coordenadas UTM del punto medio del incendio) la superficie quemada reportada en campo el tipo de vegetación e incendio desde su inicio hasta su extensión, y las causas probables, así mismo los datos fueron incorporados a un SIG basado en el programa Arc/Info que permite generar mapas de la distribución anual de los incendios y analizar la relación entre estos con factores biofísicos (tipos de vegetación y unidades de paisaje) y sociales (tenencia de la tierra y usos del suelo).

Con base en CENAPRED (2006) en el Segundo Curso Nacional sobre Metodologías para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligro y Riesgo, la estimación simplificada de la amenaza por incendios forestales establece que el los incendios se pueden presentar de tres formas y son, superficial que es aquel que afecta principalmente pastizales y vegetación herbácea que se encuentra entre la superficie terrestre y hasta 1.5 m de altura. De copa, estos son los que afectan gravemente a los ecosistemas, pues destruyen toda la vegetación y en grados diversos dañan la vegetación. Subterráneos, estos se propagan bajo la superficie del terreno, afectando las raíces y la materia orgánica acumulada en grandes afloramientos de roca y se caracteriza por no generar llamas y por poco humo. En este trabajo se consideraron variables

meteorológicas como la humedad relativa (%), la velocidad del viento km/h, la dirección del viento, la presencia de cambios brusco del viento y el tipo de clima. Para la carga combustible se consideraron la vegetación de la zona, la biomasa o vegetación que se encuentra, el porcentaje de humedad de la biomasa, la cantidad de biomasa y la presencia de combustible en el suelo. En cuanto a las variables del terreno se consideró el aspecto u orientación, la pendiente del terreno (en grados y porcentaje), la proximidad a zonas con mayor altitud y ubicación de laderas. Del sector socioeconómico se consideró el pastoreo y el desperdicio de aserraderos.

De acuerdo con el CENAPRED (2006) las variables que intervienen en los incendios forestales son: el aprovechamiento forestal (af) que debe considerar la importancia de los bosques para conservación de la biodiversidad biológica; la Gravedad específica (G) que es la relación que existe entre la densidad de una sustancia con respecto a la del agua, la densidad del agua tiene un valor de 1 g/cm^3 ; la precipitación total mensual (ptm) que es el total de precipitación presentada durante un mes; la temperatura media máxima mensual (tmm) que es el promedio de las temperaturas máximas que se presentan en unos meses durante un periodo determinado de años. La pendiente nos indica la relación existente entre una distancia vertical y otra horizontal, se expresa en porcentaje o grados, y suele determinarse a partir de un Modelo Digital de Elevación, así mismo la dirección de la pendiente (dp) se define como la dirección del punto con mayor altitud del terreno de estudio a otro con menor altitud, el modelo matemático que se utilizó.

Para determinar el Índice de Peligro por Incendios Forestales (IPF) las variables consideradas fueron de tipo espacial considerando los siguientes criterios:

- Se establece el nivel de peligro de pre-incendio mediante una ecuación matemática simple.
- La combinación lineal ponderada, las variables que intervienen se pueden obtener de dos fuentes en campo e institucionales.

El resultado que se obtiene del modelo es un Índice de Peligro por Incendios (IPIF), este se apoya de un análisis multicriterio que considera la importancia de cada variable, para ello se establece una escala que permite estandarizar los valores de las variables, el manejo de estas debe considerar su temporalidad ya que algunas varían a lo largo del año, esto permite tener un índice mensual o temporal según se considere el proyecto las zonas con incendios forestales frecuentes son en las que existen sistemas expuestos como: la población, actividades agrícolas, silvícolas, forestales y ganaderas, Áreas Naturales Protegidas y zonas con vías de comunicación cercanas.

6.- La aplicación de técnicas de evaluación Multi Criterio (EMC) en el entorno SIG como herramientas para la identificación de la vulnerabilidad.

En base a Grajales *et al* (2013) en su artículo Los métodos y procesos multicriterio para la evaluación establece que un criterio deberá contar con abundantes conjuntos de los criterios a evaluar para que el problema sea mejor interpretado. Un grupo de criterios debe cumplir con dos cualidades como:

- Ser legible, número de criterios suficientes para soportar un procedimiento de agregación.
- Ser operativo, abarca los múltiples intereses de todos los actores claves.

Los criterios deben poseer un cierto número de propiedades técnicas en aras de su consistencia y confiabilidad.

- De acuerdo a Franco *et al* (2009) la Evaluación Multi Criterio es un conjunto de técnicas que permite evaluar diversas alternativas de elección de múltiples criterios y prioridades. La evaluación multicriterio discreta se basa en la construcción de una matriz que refleja las características de un conjunto dado de alternativas de elección a partir de una serie de criterios, en base a esto la matriz expresa las cualidades (valor numérico o simbólico) de la alternativa o unidad de observación *i* con respecto a los *n* atributos considerados, el conjunto de elección se refiere al conjunto de

alternativas o entidades geográficas diferentes, caracterizadas por una serie de atributos que cuando se les añade un mínimo de información relativa a las preferencias del decisor, se les consideran criterios, una vez construida la matriz de decisiones es posible aplicar algún procedimiento de evaluación que permite asignar a cada alternativa un valor que refleje la medida en que dicha alternativa cumple con el objetivo planteado en la evaluación.

Los componentes básicos de la EMC son:

- Identificación del conjunto de alternativas posibles, dependiendo del objetivo, de la escala del problema (alternativa de decisión) y de la escala a la cual operan todos los tomadores de decisión.
- Definición del conjunto de atributos (objetivos y atributos asociados), un criterio de evaluación incluye tanto al concepto de atributos como de objetivos. Un objeto es un enunciado acerca del estado deseado de un sistema geográfico del mundo real e indica la dirección de mejora de uno o más atributos de un elemento del sistema. La cuantificación de un objetivo es la adopción de alguna escala que directa o indirectamente se mide a nivel de logro (atributo).
- Obtención de atributos, la información geográfica suele expresarse en diversas escalas (nominal, ordinal, de intervalo y de razón) y debe transformarse a una escala común numérica mediante diversos procedimientos de conversión. La construcción de la matriz de decisión implica no solamente que las variables se expresen numéricamente, sino que se encuentren en una misma escala de medida, por ello es preciso aplicar algún procedimiento de normalización.
- La combinación de los atributos normalizados y ponderados utilizando una regla de decisión, para obtener el puntaje total para cada alternativa en los métodos no compensatorios el valor de un criterio no puede verse afectado por el valor de los demás criterios y las alternativas son evaluadas por el

conjunto de criterios sin establecer una interacción entre ellos. Los métodos compensatorios asumen que el rendimiento de una alternativa en un criterio determinado puede compensarse por rendimiento en otro u otros criterios. Uno de los métodos compensatorios más utilizados es el de la Sumatoria Lineal Ponderada:

$$r_i = \sum_{j=1}^n w_j v_{ij}$$

Dónde:

r_i : El nivel final de cumplimiento del objetivo de la alternativa i

w_j : el peso del criterio j

v_{ij} : el valor ponderado de la alternativa i el criterio j

Definición del conjunto de atributos.

Una vez definido el conjunto de alternativas a ser evaluadas, el problema se centraba en el conjunto de criterios a utilizar para evaluar dichos recursos. Se consideran dos tipos de criterios: intrínsecos y extrínsecos. Los primeros están referidos a las características específicas de cada ecosistema de acuerdo a su naturaleza. Los criterios extrínsecos, por su parte se caracterizan por agrupar a las variables de análisis del medio ambiente y no propias del ecosistema (Franco *et al* 2009).

Obtención de la matriz de decisiones.

Una vez tabulados los valores de criterios es posible llevar acabo su transformación a una escala de 0 – 1. El valor de cada atributo representa el grado en que cada alternativa cumple con un objetivo de valoración siendo el valor 1 el valor máximo posible. (Véase tabla 2.1)

Tabla 2.1: Matriz de costos.

RECURSOS	Atributos
Carga combustible	0.5412
Pendiente	0.2161
Orientación de laderas	0.1235
Ocupación de suelo	0.0743
Distancia de localidades	0.0441
<i>cr: Razón de consistencia</i>	<i>0.01</i>

Fuente: elaboración propia mediante la obtención de la tabla de comparación por pares de criterios.

El análisis multivariado (AM) es la parte de la estadística y del análisis de datos que estudia, analiza representa e interpreta los datos que resulten de observar un número $p > 1$ de variables estadísticas sobre una muestra de n individuos, las variables observadas son homogéneas y correlacionadas sin que alguna predomine sobre las demás. La información estadística **AM** es de carácter multidimensional, por lo tanto la geometría, el cálculo matricial y la distribución multivariante juegan un papel fundamental, la información multivariante es una matriz de datos, pero a menudo, en **AM** la información de entrada consiste en matrices de distancias o similaridades, que miden el grado de discrepancia entre los individuos (Cuadras, 2007).

Análisis de correlación canónica: son generalizaciones de las correlaciones simple y múltiple.

Tenemos tres posibilidades para relacionar dos variables:

- La correlación simple si X, Y son dos v.a.
- La correlación múltiple si Y es una v.a. y $X = (X_1, \dots, X_p)$ es un vector aleatorio.
- La correlación canónica si $X = (X_1, \dots, X_p)$ e $Y = (Y_1, \dots, Y_q)$ son dos Vectores aleatorios.

El análisis de correlación canónica (ACC) fue introducido por H. Hotelling en 1935, que buscaba la relación entre tests mentales y medidas biométricas, a fin de

estudiar el número y la naturaleza de las relaciones entre mente y cuerpo, que con un análisis de todas las correlaciones sería difícil de interpretar. Es un método de aplicación limitada, pero de gran interés teórico puesto que diversos métodos de AM se derivan del ACC (Cuadras, 2007).

La Evaluación Multicriterio (MCE) comprende un conjunto de técnicas que permite evaluar diversas alternativas de elección a la luz de múltiples criterios y prioridades, esto se basa en la construcción de una matriz que refleja las características del conjunto dado de alternativas de elección a partir de una serie de criterios, expresa las cualidades valor numérico o simbólico de la alternativa o unidad de observaciones con respecto a los atributos observados (Enríquez *et al.*, 2010).

La metodología que se aplicó a la valoración de daños por incendios forestales en El Chaco región Occidental, Paraguay (2011) fue para la obtención de la valoración de las pérdidas o el daño directo o cuantificable económicamente de los mismos. Existen diversas ecuaciones que permiten su cuantificación dependiendo de los productos o bienes que se puedan obtener de los recursos dañados así mismo determina el valor o pérdida de aquellos recursos o bienes asociados a los recursos forestales. Lo básico en la cuantificación económica de la determinación de propiedades, bienes y servicios esto va acompañado de restaurar el bien afectado a una condición pre-incendio, este a su vez debe de contener los efectos inmediatos y de largo plazo, recursos con mercado y sin mercado y los efectos negativos y beneficios potenciales, la metodología fue plateada para una región de Guatemala, con características similares a las encontradas en El Chaco, para su comprensión en Paraguay se adoptaron los cálculos a las condiciones locales, es una metodología práctica y de fácil aplicación por funcionarios técnicos y agricultores relacionados con la gestión ambiental (Enríquez *et al.*, 2010).

Efectos Sobre el Paisaje y Recreación.

Existe otro tipo de bosques o asociaciones vegetales cuyo objetivo primario no es la producción de madera o subproductos forestales. Dependiendo de los objetivos del área en cuestión, del tamaño e intensidad del fuego los efectos pueden ser perniciosos o inexistentes.

$$Dp = CR + VPnu$$

En donde:

Dp = daño a la propiedad

Cr = costo de reposición

VPnu = valor de pérdida por no uso

El concepto de “valor de no uso” del bien afectado, es posible entenderlo a través del siguiente ejemplo: Si el incendio forestal afectó una vivienda, esta tiene un cierto valor de mercado, que para estos fines equivale al costo de reposición, pero asociada a su destrucción el habitante de ella deberá rentar una nueva propiedad por el tiempo que tarde en reconstruirla, a este último gasto se le denomina valor de no uso (Campos *et al.*, 2011).

Si el área fue afectada de forma significativa y esta estaba destinada a la recreación las pérdidas pueden ser valoradas a través de dos conceptos:

Lucro Cesante, entendido como los ingresos que se dejaron de percibir, por concepto de entradas o servicios turísticos hasta que el área no esté en condiciones de recibir visitantes nuevamente.

Costo de oportunidad, entendido como el aumento de los costos que tienen que incurrir los visitantes potenciales o históricos del área por tener que recurrir a otra área de recreación.

Además, si la vegetación del área afectada no tiene capacidad de regeneración natural se deberá adicionar a la valoración de las pérdidas los costos que significará su reforestación.

$$D_{pyr} = (\#vp * Pca * Ve) + (Itp + Crh + Ha)$$

En donde:

D_{pyr} = daños al paisaje y recreación

$\#vp$ = número de visitantes proyectados

Pca = período de cierre del área

Ve = valor entrada al área

Itp = ingresos turísticos proyectados

Crh = costo de reforestación por hectárea

Ha = número de hectáreas afectadas.

Rodríguez *et al.* (2013), En su artículo incendios forestales y grado básico de peligro en la empresa forestal Macurije, Cuba, establece que desde hace años en muchos países de América Latina y el Caribe, al igual que en las regiones del mundo, se está registrando una tendencia creciente de ocurrencia de incendios en áreas quemadas, con la consecuente preocupación de las autoridades y de la población en general. Con base en este estudio en un periodo de diez años (2002-2011) ocurrieron en Cuba 3698 incendios que han afectado 110,107 ha. Ante esta situación es imprescindible reducir tanto el número de incendios como las superficies afectadas, considerando el estudio del riesgo local de incendios forestales para la toma de decisiones en las distintas actividades del manejo del fuego, lo que puede contribuir al logro de este noble objetivo al priorizar zonas dentro de un territorio. Para tal fin se creó el Sistema integrado para el manejo de bases de datos sobre incendios forestales versión 1.2 que integra, en un ambiente informático, el programa para procesamientos estadísticos SPSS para Windows versión 15.0, el MapInfo versión 8.0 y el Microsoft Excel. Una evaluación del comportamiento histórico de los incendios forestales fue realizada teniendo en cuenta los elementos metodológicos desarrollados por Rodríguez Utilizando información sobre los incendios ocurridos en la Empresa Forestal Macurije durante el periodo 2007–2011, sobre la dinámica forestal y de la ordenación forestal de

dicha empresa, se obtuvieron los índices de riesgo relacionados con la frecuencia de incendios forestales, causalidad e inflamabilidad. Posteriormente, con la integración de estos índices se obtuvo el riesgo local de incendios forestales. La representación de los resultados obtenidos en los mapas correspondientes se hizo con la ayuda del SIG MapInfo versión 8.0. Los valores de los intervalos para los diferentes índices fueron fijados a partir de la diferencia entre los valores de los datos y el promedio de estos. El índice de frecuencia, según, se obtuvo por la Ecuación 1:

$$F_i = \frac{1}{a} \sum_i^a n_1 \quad (1)$$

Donde **Fi** es el índice de frecuencia; **ni** el número de incendios en cada año; y **a** el número de años.

La Ecuación 2 fue utilizada para calcular el índice de causalidad

$$C_i = \frac{1}{a} \sum_i^a n_1 \quad (2)$$

Donde **Ci** es el índice de causalidad; **c** el coeficiente de peligrosidad específica de cada causa; (**Nic**) el número de incendios de cada causa en cada año; **ni** el número de incendios en cada año; y **a** el número de años.

Para calcular el índice de inflamabilidad se utilizó la ecuación 3

$$I_i = \frac{\sum_i^a e * Sfe}{SF} \quad (3)$$

Donde (**Ii**) es el índice de inflamabilidad; **e** el coeficiente de peligrosidad relativa de cada formación forestal; (**Sfe**) la superficie forestal de cada formación; (**Sf**) la superficie forestal total; y **a** el número de años. Los coeficientes de peligrosidad relativa de cada formación forestal se calcularon, teniendo en cuenta las superficies afectadas por el fuego de cada formación y la superficie total ocupada por esa formación para el periodo de estudio.

El riesgo local o grado básico de peligro de incendios forestales (**PB**) puede obtenerse al integrar los resultados de los índices de frecuencia (**Fi**), causalidad

(**Ci**) y combustibilidad (**Mi**), según la Ecuación 4. En este trabajo se determinó el riesgo local o grado básico de peligro a partir por la Ecuación 5

$$PB = Fi Ci * Mi \quad (4)$$

$$PB = Fi Ci + Li \quad (5)$$

Donde **PB** es el riesgo local de peligro; **Fi** el índice de frecuencia; **Ci** el índice de causalidad; y (**Li**) el índice de inflamabilidad. La primera modificación consiste en sustituir en dicha ecuación el índice de combustibilidad (**Mi**) por el de inflamabilidad (**Li**). Como resultado se obtuvo la distribución de los incendios forestales y las áreas quemadas a través de un periodo de años objeto de estudio se destaca el alto valor para el promedio de hectáreas quemadas por incendios estos se presentan durante el mes de abril debido a la ocurrencia de dos incendios de grandes magnitudes lo cual elevó considerablemente el promedio de hectáreas quemadas durante este año.

Algunos factores que inciden en la ocurrencia de incendios forestales.

Parra *et al.* (2010), en su artículo de Incendios de cobertura vegetal y biodiversidad: una mirada a los impactos y efectos ecológicos potenciales sobre la biodiversidad vegetal, establece que el fuego ha sido una de las principales causas evolutivas que han modelado la estructura, composición y distribución geográfica de los ecosistemas con coberturas vegetales del mundo, consecuentemente los ecosistemas ha desarrollado un gran complejo sistema de interrelaciones entre el clima, el suelo y la vegetación que hace posible la presencia o la ausencia del fuego. Este fenómeno forma parte de la historia natural de un ecosistema determinado y lo hace dentro de un espectro que permite predecir con cierto nivel de incertidumbre los atributos de los eventos por ocurrir como: frecuencia, patrón espacial, estacionalidad, intensidad, severidad, fuente principal de ignición en un área determinada.

La relación existente entre el fenómeno del fuego y los ecosistemas se puede clasificar en: dependientes, influidos, sensibles o independientes.

Dependientes: en estos el fuego es esencial para las dinámicas poblacionales de la mayoría de sus especies biológicas, en estos ecosistemas un alto porcentaje de las especies de plantas y animales han desarrollado diversas estrategias adaptivas al fuego lo cual permite al ecosistema la conservación más o menos constante en el tiempo de sus principales atributos tanto estructurales como funcionales.

Independientes: estos tienen como atributo una baja probabilidad de presencia natural de incendios, debido a la ausencia de vegetación y a la existencia de condiciones climáticas extremas. Para las especies de estos ecosistemas el fuego tiene un efecto catastrófico y por lo tanto puede significar su desaparición total.

Galindo *et al.* (2009). En su artículo publicado de relación entre ganadería extensiva e incendios en zonas forestales del estado de Colima establece que al existir un mayor número de cabezas de ganado, se tiene una mayor incidencia de incendios forestales, los municipios que cuentan con una mayor superficie forestal tienen un número más elevado de cabezas de ganado, lo que define que la ganadería extensiva en la entidad se realice en terrenos forestales. Cabe mencionar que la vegetación de las zonas forestales de pastoreo es de selva baja caducifolia, la cual ha sido reemplazada por pastizales poco productivos y en condiciones de pendientes pronunciadas, la correlación encontrada indica que:

Al incrementar la actividad ganadera existente, se tiene una alta probabilidad de incremento de incendios forestales, por otro lado el incremento de la actividad ganadera refleja que la vegetación forestal de la entidad no tiene un aprovechamiento importante lo que facilita su reemplazo por zonas de pastizales que los productores suelen quemar como una herramienta de manejo de la pradera.

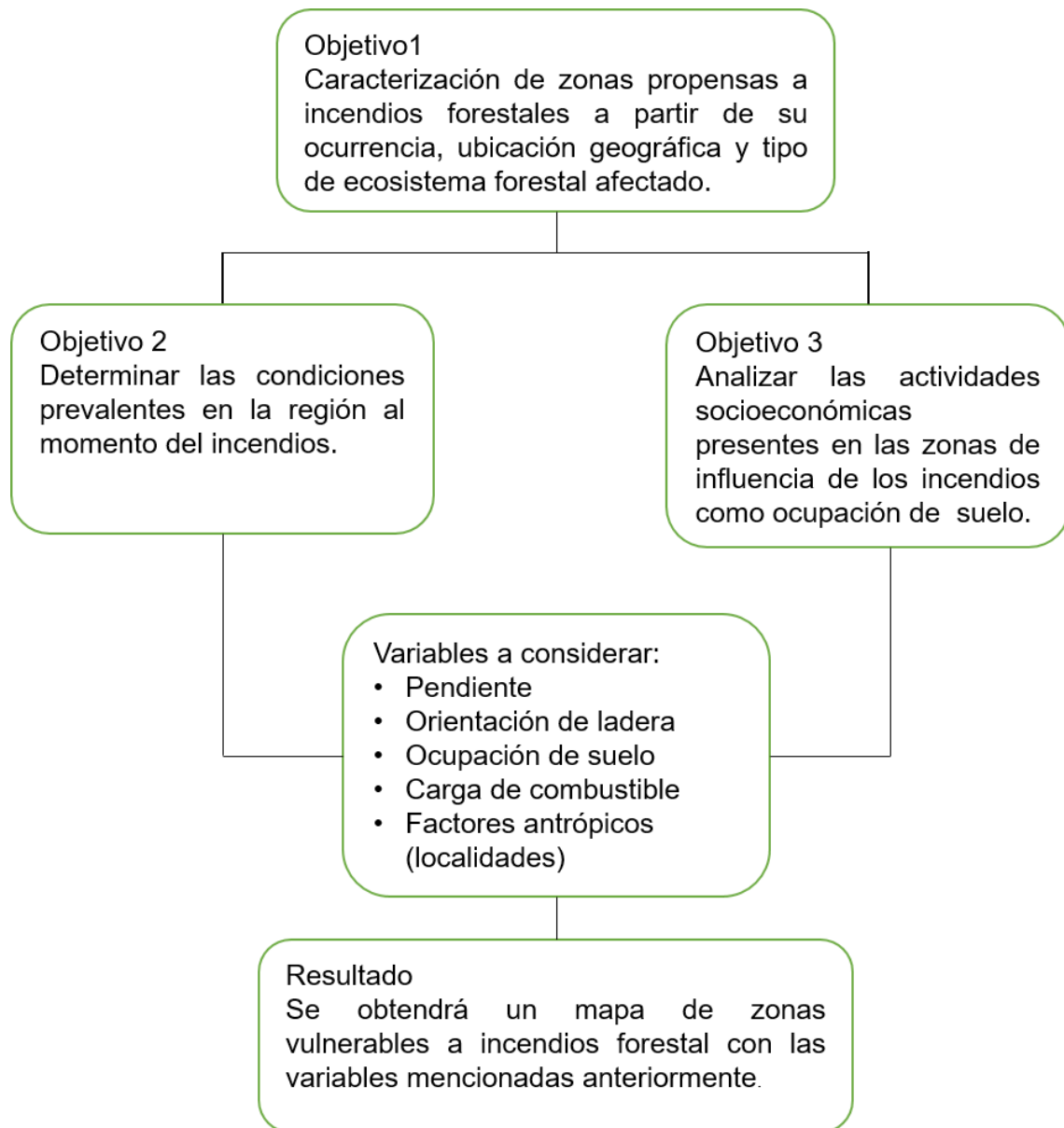
Mendizábal-Hernández *et al.* (2008), establecen que los incendios forestales se deben al efecto invernadero que, como expresión, otorga el aumento de temperatura a la atmósfera en donde se desarrollan las poblaciones de los seres vivos causando el incremento de la acumulación de la biomasa seca en el suelo.

Esto propicia el incremento de la incorporación de materia orgánica favoreciendo la capacidad de intercambio de nutrientes. Sin embargo con el aumento el aumento de temperatura este material se convierte en combustible capaz de darle mayor intensidad y aceleración a los incendios.

Capítulo III

METODOLOGÍA

Figura 3.1: Esquema Metodológico.



Fuente: Elaboración propia

Determinar las condiciones prevalentes en la región al momento de los incendios durante los periodos 2005-2015.

Por lo mencionado anteriormente se habla sobre las perturbaciones antrópicas que presenta el municipio tales como la cercanía de localidades a las zonas forestales.

Perturbaciones Antrópicas.

Durante el periodo 2005-2015 se presentaron 55 incendios forestales en el municipio de Almoloya de Juárez, en los predios de Arroyo Zarco, Bienes Comunes de Yebucivi, Cerro la Loma, Comunal Almoloya de Juárez, Comunal San Mateo Tlalchichilpan, Ejido Arrollo Zarco, ejido de Coyotepec, Ejido la Lagunita, Ejido la Soledad, Ejido Rosa Morada, Ejido San Agustín Poteje, Ejido San Mateo Tlalchichilpan, Ejido San Nicolás Ameyalco, ejido de Yebucivi, el Estanco, La Dilatada, Palos Amarillos, Particular Martín Vargas Contreras, Plan de Coyotepec, Rosa Morada, San Agustín Poteje, Santa María del Monte y Yebucivi. Los incendios se presentaron principalmente en la época de estiaje durante los primeros meses del año. Los incendios afectaron cuatro categorías forestales: bosques abiertos, bosques densos, matorrales y pastizales en pendientes que oscilan entre los 9° y los 45° pero con valores promedio cercanos al 18° y la ocurrencia del fuego no guardó una relación muy estrecha con la orientación del terreno. La tabla 3.1 muestra la distancia en metros a las localidades más cercanas a los incendios forestales que presenta el municipio. Esta información se obtuvo mediante el análisis de distancias ArcGis 10.2.2 con base en la ubicación de los incendios y el punto central de las localidades de las cartas topográficas E14-A37, E14-A27 y E14-A47. (Véase tabla 3.1)

Tabla 3.1: Localidades más próximas a incendios forestales en el municipio de Almoloya de Juárez.

Localidad rural	Distancia Metros
Yebucivi Centro	1793
Barrio el Plan Ocoyotepec	2545
Río frío Yebucivi	2170
Barrio del Jacal de Yebucivi	607
Buenavista Yebucivi	877
San Agustín Tabernillas	1965
La Soledad Ocoyotepec	1690
La Venta	439
Palos Amarillos (Palos Amarillos Yebucivi)	621
Rosa Morada	22
Dilatada Sur (Dilatada)	920
La Posta	1483
La Lima	1645
Poteje Sur	1702
Arroyo Zarco	182
San Nicolás Amealco	1968
El Estanco	1138
San Agustín Poteje Centro	1303
Arroyo Zarco la Mesa	930
La Palma (Ejido de San Francisco Tlalcilcalpan)	1951
Ejido Tres Barrancas	1652
Unidad Habitacional Olaldea (Colonia Olaldea)	1878
Cerro San Mateo	644
Loma de San Miguel	897
Poteje Norte	1776
El Tepetatal	2104
Santa María Nativitas	2603
Barrio de la Cabecera Primera Sección	2100
Colonia la Navidad	2233
La Lagunita Yebucivi	1928

Fuente: Elaboración propia con base en las cartas topográficas 1:50 000 del INEGI.

La localidad de Rosa Morada presenta la menor proximidad a la ocurrencia de algún incendio (22 metros) y la que presentó una mayor distancia fue Santa María Nativitas (2603 metros).

Con base en la Enciclopedia de los Municipios de las Delegaciones de México (INAFED, 2015), el municipio es una región agropecuaria que ocupa el cuarto lugar a nivel estatal, en épocas anteriores era un lugar dedicado principalmente a la agricultura. La tabla 3.2 (véase tabla 3.2) Presenta la superficie ocupada por los principales tipos de ocupación del suelo:

Tabla 3.2: Superficie por tipo de ocupación del suelo.

Ocupación del suelo	Porcentaje
Agrícola	61.0 %
Forestal	10.2 %
Pecuario	7.0 %
Cuerpos de agua	2.3 %
Zonas urbanas	0.4 %
Zonas erosionadas	8.4 %

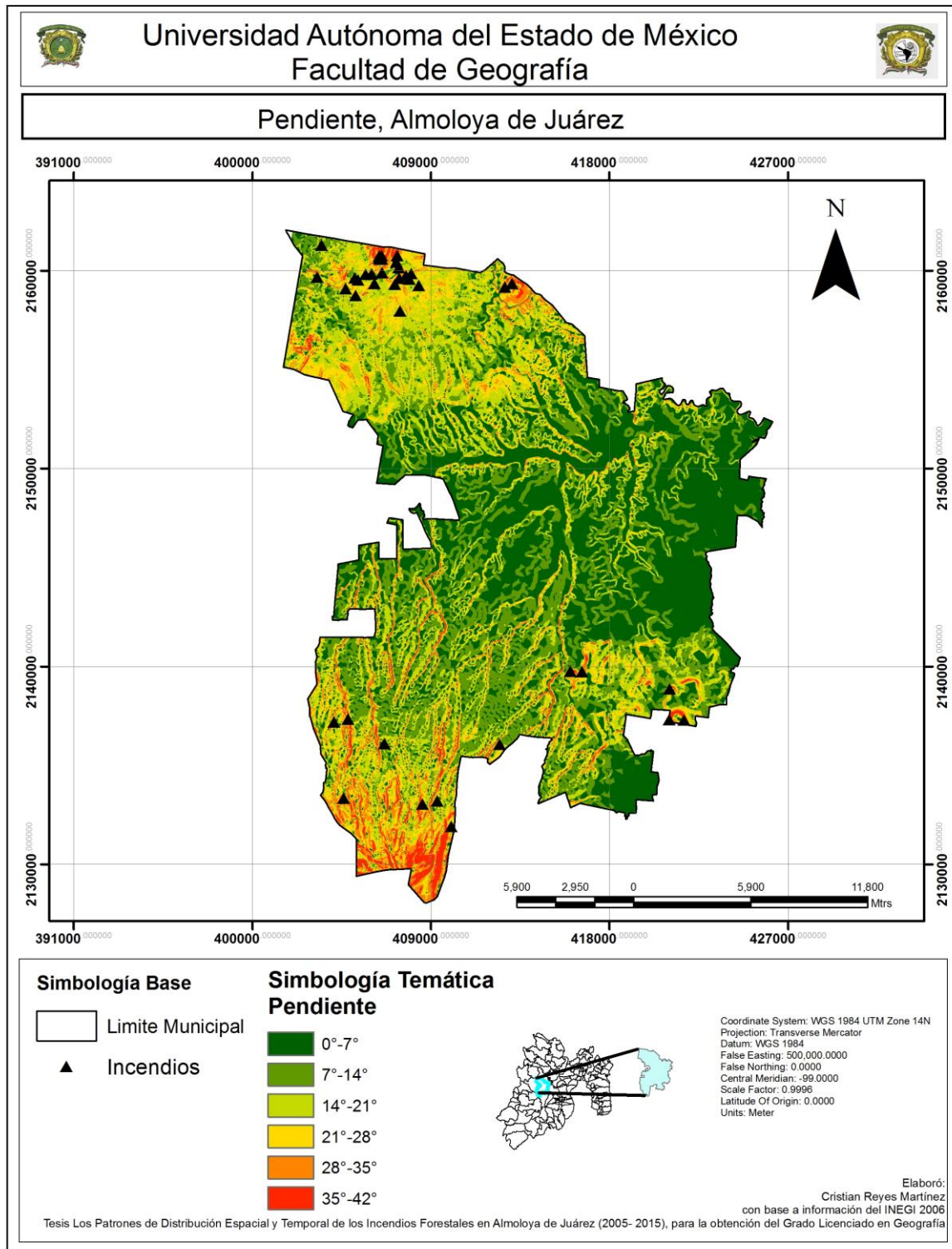
Fuente: Enciclopedia de los Municipios de las Delegaciones de México (INAFED, 2015).

El Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Almoloya de Juárez (2008) señala que, en fechas recientes, las actividades primarias han venido decreciendo y las actividades comerciales y de servicios se han incrementado, lo que ha estado acompañado de un proceso de urbanización.

Pendiente

La obtención de la información de pendiente se realizó a partir de la información de las cartas topográficas del INEGI, escala 1:50,000, que cubren el municipio (E14-A37, E14-A27 y E14-A47). La cobertura de curvas de nivel fue integrada en el software ArcGis 10.2.2 y, una vez generado el corte al límite municipal, se utilizaron las herramientas del 3D Analyst para generar una imagen TIN (Red de Triángulos interpolados). A partir de dicha imagen fue posible obtener el Modelo Digital de Elevación (MDT) con una resolución espacial de 20 m. Dicho modelo sirvió como base para generar la imagen de pendientes en grados (Figura 3.2).

Figura 3.2:



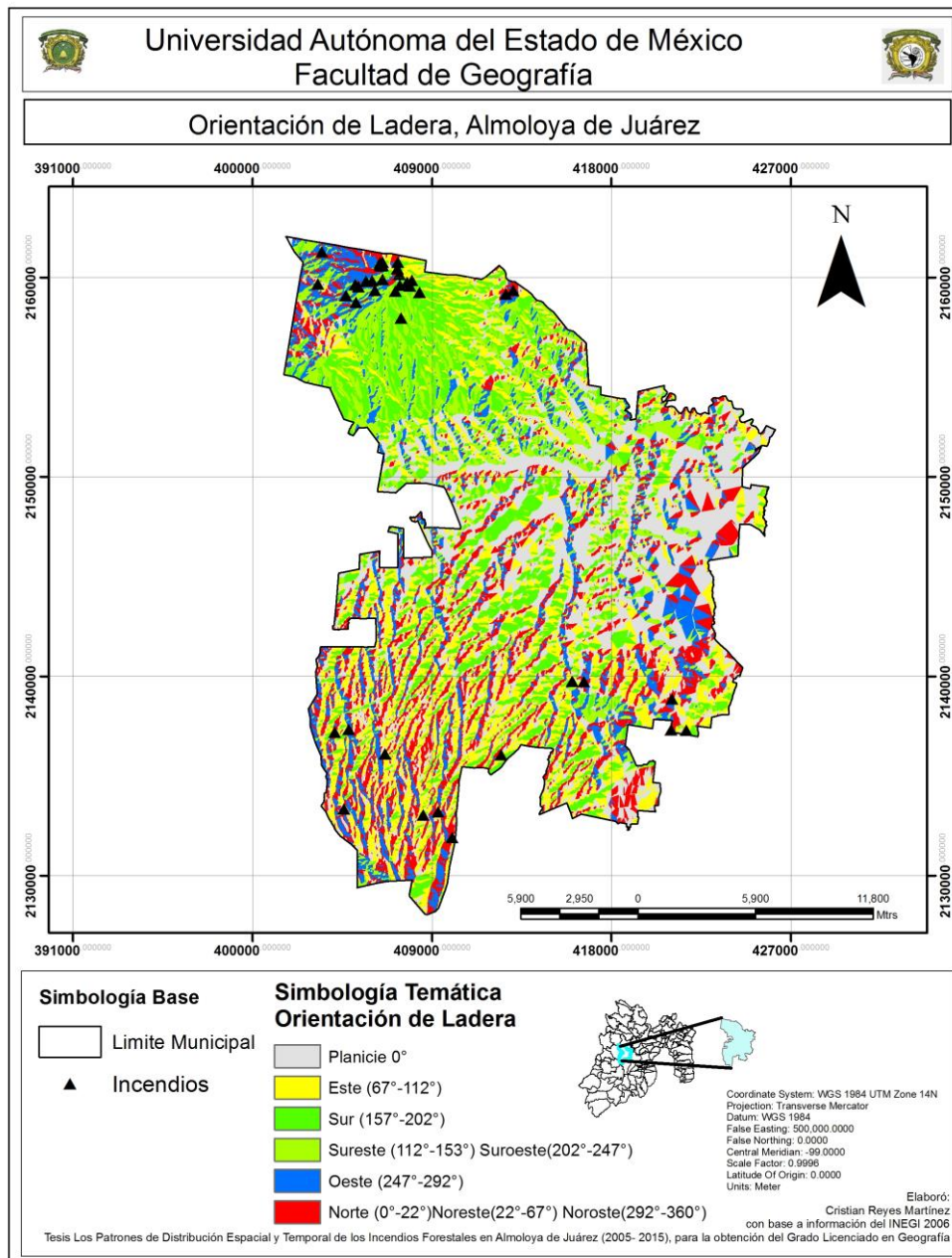
El Fascículo de incendios forestales del CENAPRED (2008) establece que uno de los componentes principales que afectan o influyen en el comportamiento de los incendios es la pendiente o inclinación del terreno. La mayor pendiente favorece la propagación del fuego en función de la proximidad del material combustible, lo que ocasiona que la fase del precalentamiento incremente la tasa de combustión y, por lo tanto, acelere el avance del fuego. Con base en lo anterior se definieron los rangos de pendiente: 0°-7°, 7°-14°, 14°-21°, 21°-28°, 28°-35° y 35-42°.

En cuanto la presencia de los incendios que presenta el municipio mediante el análisis del mapa se observa que la presencia de estos se encuentran en pendientes de °7-42° en lo cual se encuentra una dinámica en la presencia de los incendios los cuales se presentan con mayor ocurrencia en la parte norte y sur del municipio dando como afectación en la parte norte, en las localidades de Yebucivi, Palos Amarillos y Ocoyotepec. En la parte sur del municipio se ve afectada la localidad de Rosa Morada tomando en cuenta que la afectación en dicha localidad por un incendio puede ser de gran severidad para el ecosistema forestal dado que se encuentra en las colindancia del Área de Protección del Flora y Fauna del Nevado de Toluca.

Orientación de ladera

La orientación de ladera se derivó del modelo digital de elevación (MDT) a partir de la aplicación del 3D Analyst del Arc Gis. Esta modelación de laderas sirve para identificar la radiación solar que incide en las mismas, lo cual puede incrementar el estrés hídrico de la vegetación e incrementar la carga combustible (Figura 3.3).

Figura 3.3:



A continuación se muestra las zonas de laderas con mayor incidencia de radiación solar. (Véase tabla 3.3)

Tabla 3.3: Incidencia de radiación solar

orientación	Grados	Ponderación
Planicie	(0°)	NULO
Norte	(0°-22°)	BAJO
Noreste	(22°-67°)	
Noroeste	(292°-360°)	
Oeste	(247°-292°)	MEDIO
Este	(67°-112°)	
Sureste	(112°-153°)	ALTO
Suroeste	(202°-247°)	
Sur	(157°-202°)	

Fuente: elaboración propia en base a los criterios cartográficos de EMC.

Mediante el análisis del mapa se observa que la presencia de los incendios predomina en la orientación sur (157°-202°), suroeste (202°-247°) y sureste (112°-153°) dándonos como resultado un grado de complejidad alto para la ignición del fuego, en la parte este (67°-112°) y oeste (247°-292°) se observan los valores medio, esto es debido a la incidencia de radiación solar que presentan estas laderas debido a la presencia del ecuador térmico aunado a esto se debe a la salida del sol que es por el este dando como resultado una mayor incidencia de radiación solar en la parte sur, suroeste y sureste ya que cuando el sol se encuentra en el cenid los rayos del sol son de forma directa hacia las laderas mencionadas anteriormente en el municipio, la parte norte (0°-22°), noreste (22°-67°), noroeste (292°-360) se encuentran con un valor bajo y la planicie (0°) cuenta con valores nulos debido a que la incidencia de radiación solar es menor debido a la lejanía del ecuador térmico.

Ocupación de Suelo

La ocupación de suelo se obtuvo a partir de la identificación visual de fotografías aéreas, escala 1:20,000, proporcionadas por el H. Ayuntamiento de Almoloya de Juárez. La identificación y digitalización interactiva en el Arc Gis permitió obtener la distribución de bosques densos, semidensos y abiertos con base en lo reportado por Castañeda (2013):

Bosques densos. Se considera bosque denso cuando el terreno presenta entre 80 a 100% de cobertura de copa.

Bosques semidensos. Se considera semidenso cuando la cobertura de copa esta entre 50 a 80%.

Bosques abiertos. Son bosques que presentan menos de 50% de cobertura de copa.

Para la interpretación del material fotográfico se utilizaron los criterios de tamaño, forma, tono, textura y patrón (Franco *et al.*, 2006).

Estos criterios se definen:

Tono: se refiere al brillo relativo de los objetos. Las variaciones tonales son elementos muy importantes en la interpretación visual. La expresión tonal de los objetos en la imagen está directamente relacionada con la cantidad de energía reflejada por la superficie.

Textura: es la frecuencia con la que suceden cambios tonales, es decir, el contraste espacial entre los elementos que componen la imagen (se percibe como repeticiones de cambios tonales). Esta característica se produce por una agregación de rasgos unitarios que pueden ser demasiados pequeños para diferenciarse individualmente, por que juntos marcan una diferencia respecto al resto de la foto.

Forma: se refiere a la forma de su perímetro y caracteriza a muchos de los objetos que se ven en las imágenes. Así mismo forma incluye la altura relativa de los objetos cuando se trabaja con visión estereoscópica.

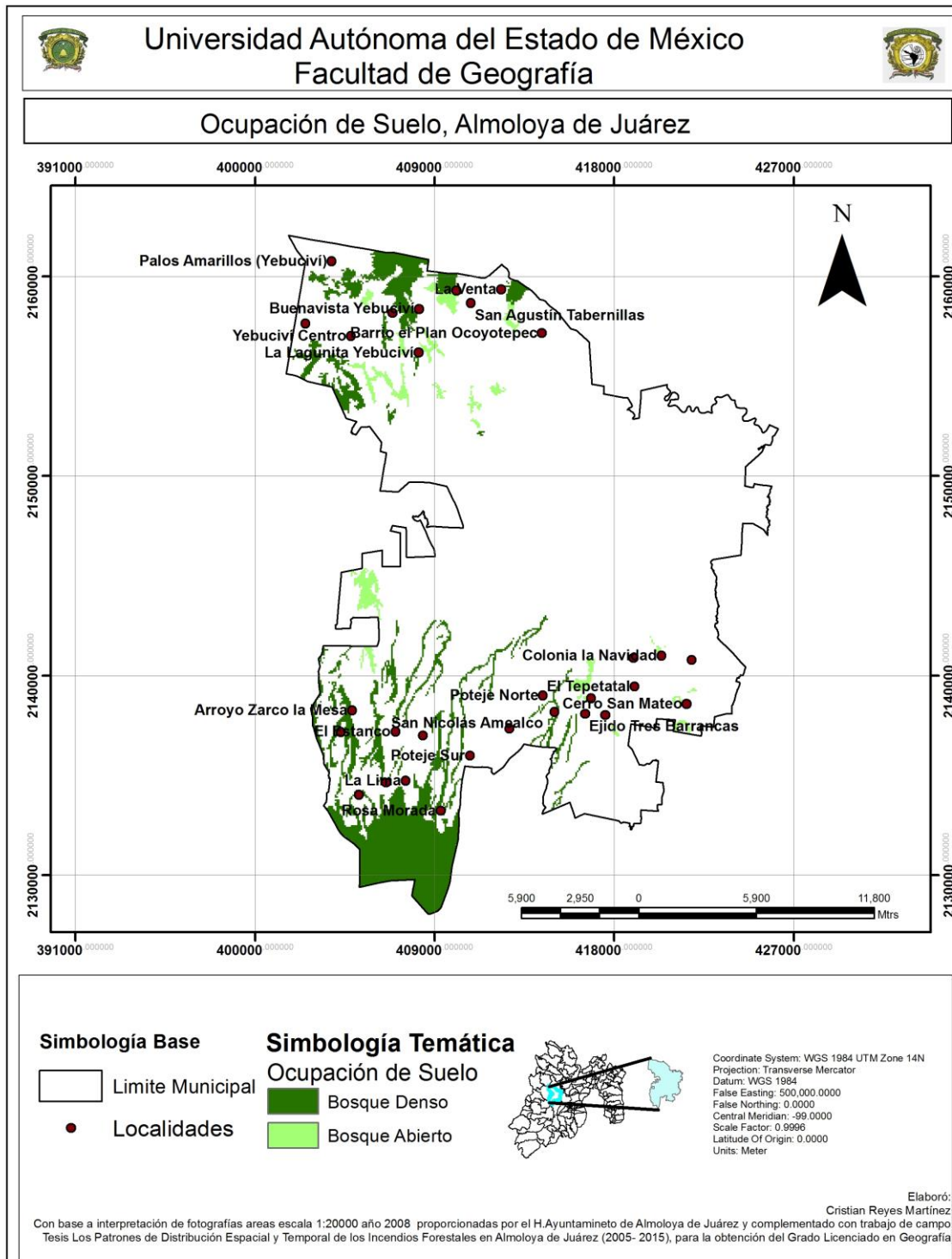
Tamaño: El tamaño de los objetos se tiene que considerar siempre en el contexto de la resolución espacial y de la escala en la que está impresa o desplegada la imagen. Igualmente es importante relacionar el tamaño del objeto analizado con otros objetos de la imagen o foto: por ejemplo para saber si una carretera o camino es más o menos importante.

Patrón: Se refiere a la distribución espacial de los objetos (tanto naturales como contruidos), a la repetición de formas cada cierto espacio, que permite su identificación.

Para poder realizar el mapa de Ocupación de suelo (Zonas Forestales, figura 3.4) se definió un área mínima cartografiable (UMC) que consistió en un polígono rectangular de 500 m por lado (25 Ha). Manchones aislados de menor superficie no fueron considerados dada su menor relevancia en caso de incendios forestales.

Para auxiliar el proceso de interpretación visual de las fotografías se utilizó la plataforma de Google Earth lo que permitió discriminar más fácilmente entre pastizales y matorrales.

Figura 3.4:



Como se observa en la figura, en el municipio de Almoloya de Juárez se cuenta zonas de bosque denso y abierto. El INEFED (2015) establece que el tipo de árboles que se encuentran en el lugar son cedro, sauce llorón, cedro y oyamel. Las zonas forestales se distribuyen hacia el norte y sur del municipio.

Mediante el análisis del mapa se puede observar que dentro del municipio de Almoloya de Juárez se encuentran zonas de Bosque abierto y denso en la parte norte y sur del municipio dentro de estas zonas de bosque que presenta el municipio cabe resaltar que abarca una porción de bosque denso del Área de Protección de Flora y Fauna del Nevado de Toluca. Para ello en estas zonas de bosque se encuentran 30 localidades cernas las cuales se mencionan anteriormente en la tabla 4 por lo cual se puede deducir que dentro de estas zonas se presentan elementos antrópicos que alteran la biodiversidad de los bosque dando como resultado una mayor propensión a sucesos de incendios forestales.

Evaluación Carga combustible

La estimación de la carga combustible por tipo de cobertura se llevó a cabo mediante la metodología que se aborda en el artículo de caracterización y cuantificación de combustible forestal de la CONAFOR (2012).

En dicho documento se establece que los combustibles son cualquier material, sustancia o compuesto susceptible de encenderse y mantener un proceso de combustión. En los ecosistemas terrestres el combustible es la biomasa producida en la fotosíntesis. De acuerdo con el estrato del bosque los combustibles pueden ser de suelo, de superficie y de dosel.

Los primeros consisten en la materia orgánica en descomposición y humus por encima del suelo mineral y debajo del matillo; los segundos son hojarasca fresca y fragmentada y el material leñoso que forma el mantillo sobre el suelo y la vegetación viva o muerta de los estratos herbáceo y arbustivo; el tercer estrato está formado por los troncos y las copas de los arboles incluyendo a los árboles muertos que están de pie, los combustibles del suelo generalmente retienen humedad por más tiempo pero cuando se secan pueden encenderse y dar lugar a

incendios subterráneos estos se propagan lentamente pero generan gran cantidad de calor el comportamiento potencial de los incendios forestales depende en gran medida de las propiedades físicas y de la configuración de los complejos de combustibles esta visto a la escala del paisaje geográfico es muy variación espacial está asociada a la cubierta vegetal y es determinada a la influencia de factores como el clima, la forma del relieve, los suelos y los eventos de perturbación, estos últimos dan lugar a un mosaico de vegetación en distintas etapas del desarrollo, un concepto fundamental para el estudio de los combustibles es la de cama de combustible esto se refiere a la unidad de paisaje relativamente homogénea, que representa un ambiente único de combustión que determina la conducta y el efecto potencial del fuego.

Se realizó un muestreo de cada uno de los dos tipos de bosque en el municipio de Almoloya de Juárez. La tabla 3.4. Presenta la superficie en hectáreas por cada uno de ellos.

Tabla 3.4: Superficies de hectáreas de bosque denso y abierto, municipio de Almoloya de Juárez.

Nombre	No de polígonos	Hectáreas
Bosque denso	30	4,882.8
Bosque abierto	18	840.6

Elaboración: propia con base en el mapa de Ocupación de Uso de Suelo elaborado con fotografías aéreas proporcionadas por el H. Ayuntamiento de Almoloya de Juárez.

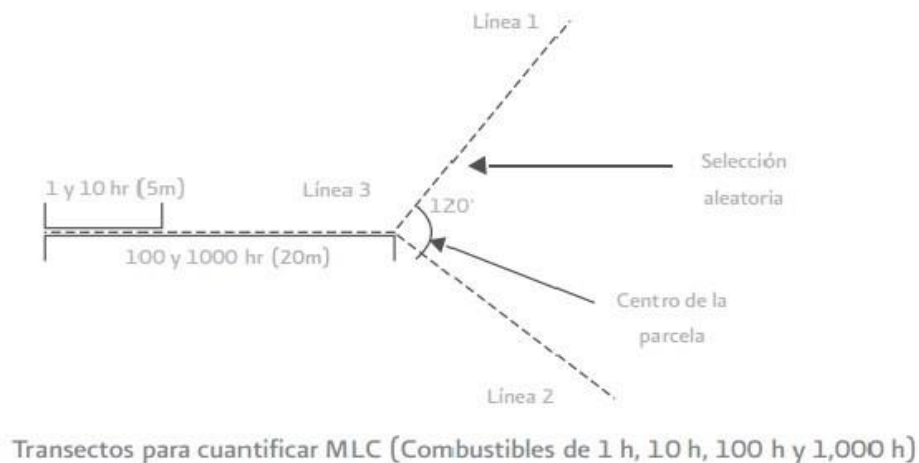
Para el muestreo se utilizaron los formatos que establece la metodología de CONAFOR (2012). En bosques mixtos (compuestos por una mezcla de especies), maduros, con un arbolado grande, las parcelas pueden ser de 0.1 ha (1,000 m²), mientras que en rodales de bosques jóvenes, con arbolado pequeño y muy denso pueden ser de 0.01 ha (100 m²).

En estudios de vegetación se utilizan parcelas de muestreo de distintas formas (circulares, cuadradas, rectangulares); en este caso es recomendable parcelas circulares que representan mejor la distribución espacial de los árboles y son más

fáciles y rápidas de establecer en el campo. En la parcela circular se marca el centro con una estaca y se mide con cinta métrica un radio de 12.62 m alrededor del centro para obtener la superficie deseada de 500 m².

Para realizar el muestreo de Material Leñoso Caído (MLC) se usaron las líneas de intersección o intersecciones planares que consisten en el cálculo de volumen densidad y carga de combustibles, con base en las partículas intersectadas por un plano vertical la medición de MLC se realiza sobre el punto escogido para caracterizar toda la cama de combustible en donde se establecen 3 líneas de intersección de un largo de 20 metros (60 m en total por sitio). Las líneas parten del centro de cada sitio y se selecciona la primera línea de manera aleatoria; las siguientes líneas se establecen en un patrón de 120° de separación registrando la dirección o azimut de cada línea. Las tres líneas en diferentes direcciones se hacen con el fin de reducir el error en caso de que las piezas de MLC no estén distribuidas de forma aleatoria, se recomienda al menos tener un sitio de este tipo por cada hectárea que se va a evaluar en campo. (Véase Figura 3.5)

Figura 3.5: Transectos para la evaluación MLC (Combustible de 1 h, 10 H, 100 H Y 1, 000 H).



Fuente: CONAFOR (2012).

A lo largo de toda la línea y hasta una altura de 2 metros, se cuentan todas las piezas del MLC que la interceptan, divididas en clases de tamaño (véase tabla 3.5), que se usan para modelar el comportamiento del fuego estas clases han sido

establecidas en función de su tiempo de retardo para ajustarse a los cambios en las condiciones de humedad del ambiente. (Véase tabla 3.6)

Tabla 3.5: Clasificación del Combustible por tamaño y tiempo de respuesta o retardo.

Categoría	Diámetro (cm)	Tiempo de respuesta
Finos	< 0.06	1 hora
Regulares	0.06-2.5	10 horas
Medianos	2.6-7.6	100 horas
Gruesos	>7.6	1000 horas

Fuente: CONAFOR (2012).

El MLC de 1 y 10 horas se mide en los últimos 5 metros de la línea de muestreo registrando por conteo el número de piezas intersectadas y los combustibles de 100 h a lo largo de los 20 metros registrando también el número de piezas.

Solamente para los combustibles $\geq 1,000$ horas se miden con una forcípula los diámetros intersectados y se clasifican según su nivel de putrefacción, siguiendo el criterio señalado en la tabla 8 y considerando en general a los niveles 1 y 2 como firmes y los niveles 3, 4 y 5 podridos. El nivel 5 por lo general no es contabilizado por el grado tan avanzado de putrefacción que no mantiene ninguna forma definida. Esta categoría de $\geq 1,000$ h es importante porque es en donde sucede gran parte de la combustión sin llama en un incendio, fase a la cual se le atribuye la mayoría de la severidad causada en un incendio y la cuál no ha sido bien estudiada en el modelaje del comportamiento del fuego.

En los factores antrópicos se consideraron la cercanía de las localidades a los predios forestales (zonas de pastizal, matorral, bosque denso y bosque abierto) y las vías de comunicación con base en las cartas topográficas que se encuentran disponibles en la página oficial del INEGI.

Se tomó en cuenta la población total por localidades del municipio de Almoloya de Juárez del censo de población y vivienda del año 2010 que también se encuentra disponible en la página del INEGI para identificar los pueblos con mayor población en el municipio y para determinar si el crecimiento de población podría incidir en la ocurrencia de incendios forestales dentro del municipio.

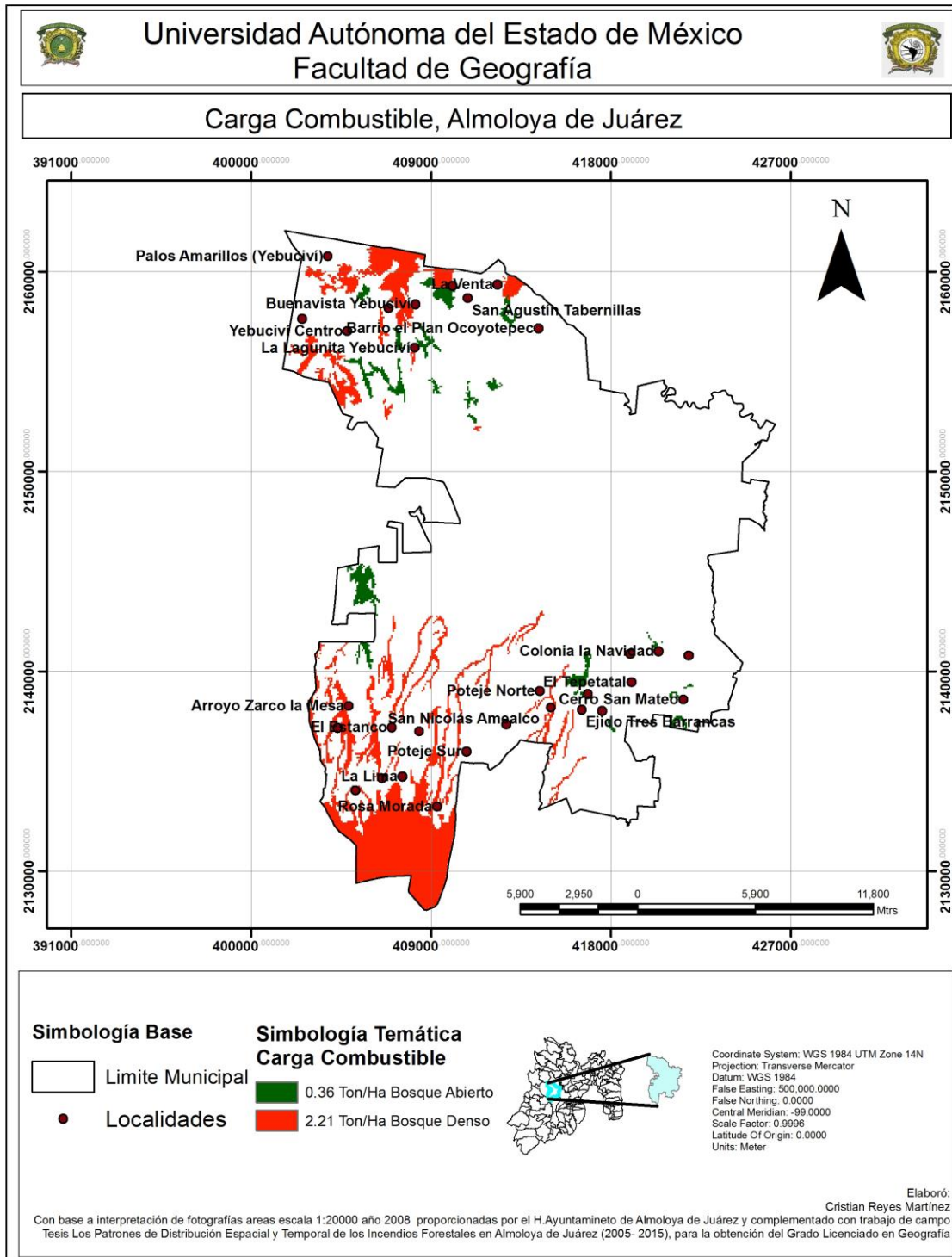
El análisis de la información se realizó mediante los formatos de la metodología aplicada por la CONAFOR (2012). Para ello fue preciso elaborar bases de datos que sirvieran como base para generar un mapa de zonas propensas a incendios forestales por la presencia de carga de combustibles. (Véase figura 3.6)

Tabla 3.6: Criterios de clasificación del grado de putrefacción de los combustibles de 1000 h.

Nivel de putrefacción	Integridad estructural	Textura de la madera	color	Presencia de raíces invasoras	Condiciones de ramas gruesas y finas
1	Dura	Intacto no putrefacta	Color original	Ausente	Si las ramas están presentes, tienen ramas fijas y el tronco presenta corteza
2	Duramen duro, albura en algún grado de putrefacción	La mayor parte intacta, albura parcialmente	Color original	Ausente	Si hay ramas presentes, ya no tiene muchas ramas fijas y la corteza se empieza a caer
3	Duramen duro, el tronco soporta su peso	Secciones grandes de la albura pueden separar con la mano	Café rojizo o color original	Presente solamente en la albura	La base de ramas grandes no pueden ser separadas
4	Duramen podrido, el tronco no soporta su peso pero mantiene su forma	Suave, pequeñas piezas en el bosque con un clavo de metal puede separar el duramen	Café rojizo o color claro	Presente en todo el tronco	La base de ramas grandes puede separarse fácilmente. Las estructuras de ramas están completamente putrefactas.
5	No tiene integridad estructural, no mantiene su forma	Suave, la madera se hace polvo cuando está seca	Café rojizo a café obscuro mantiene su forma	Presente en todo el tronco mantiene su forma	Las estructuras de ramas están completamente putrefactas

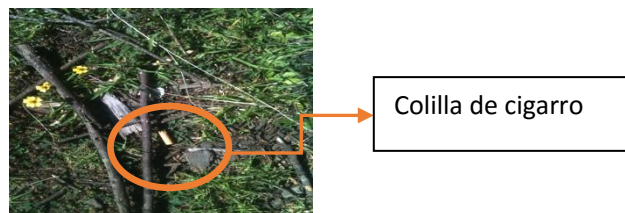
Fuente: CONAFOR (2012).

Figura 3.6:



En el análisis de mapa de carga combustible se aprecia que los valores de material leñoso caído en el bosque denso y abierto corresponde a valores de 0.36 toneladas por hectárea en el bosque abierto, 2.21 toneladas por hectárea en el bosque densos, la mayor concentración de carga combustible se observa en las partes de bosque denso localizado tanto en la parte norte y sur del municipio así mismo las zonas de bosque que presenta el municipio se encuentran con valores altos de material leñoso caído. Aunado a esto dentro de estas zonas existen 30 localidades cercanas a las zonas de bosque abierto y denso, por lo cual dentro del ecosistema forestal hay presencia de perturbaciones antrópicas dando como resultado la alteración del mismo, esto da como resultado que estas sean más propensas a incendios forestales provocados por los habitantes cercanos a los bosques ya que dentro de estos mediante la elaboración de trabajo de campo para la obtención de la cantidad de material leñosos caído en la localidad de Rosa Morada se encontraron evidencias de colillas de cigarro (véase foto 3.1) dentro de una zonas forestal de bosque abierto lo cual nos da como evidencia que los incendios que pueden presentar estos lugares son provocados por los habitantes del lugar.

Foto 3.1: Colilla de cigarro en Zonas de Bosque Denso Rosa Morada.



Fuente: captada en campo en partes de zonas de bosque denso en Rosa Morada, municipio de Almoloya de Juárez 2015.

Capítulo IV

Resultados

Trabajo de campo sitios de muestreo para el Cálculo de Carga Combustible

Para el cálculo de carga combustible se realizó trabajo de campo el cual primeramente consistió en la planificación en gabinete el cual consistió en la identificación de las zonas de bosque abierto y denso dando como resultado el total de polígonos de bosque abierto y densos para posteriormente identificar el total de muestreos que se realizarían para obtención de datos, (véase tabla 4.1) los muestreos se realizaron aleatoriamente en cada una de las zonas de bosque abierto y denso.

Tabla 4.1: Total de zonas de bosque abierto, denso y total de numero de muestreos.

<i>Nombre</i>	No de polígonos	Hectáreas	No de muestreos
<i>Bosque denso</i>	30	4882.79	1
<i>Bosque abierto</i>	18	840.60	1

Fuente: Elaboración propia con base en la elaboración del mapa de Ocupación de Uso de Suelo con fotografías aéreas proporcionadas por el H. Ayuntamiento de Almoloya de Juárez.

Para el muestreo se utilizaron formatos que establece la metodología de CONAFOR (2012).

Las zonas en las que realizó el muestreo de carga combustible son:

Zona de Bosque Fraccionado

Zona de muestreo 1: Cerro del Molcajete

La fecha del muestreo se realizó el 24 de noviembre del 2015 en las Coordenadas geográficas siguientes de latitud: 19°19'83.4" N y longitud: 99°44'95.1" O con una altitud sobre el nivel del mar de 2794 msnm con una exposición de ladera al oeste con un azimut de 293° una pendiente de 20° en la parte de la ladera media, en el

lugar se encuentra el tipo de vegetación de pino (véase foto 4.1) y matorral (véase foto 4.2).

Foto 4.1: *Pinus oocarpa* Schieder Var. *Ocarpa* (Fam. Pinaceae) (Pino).



Fuente: captada en campo en partes de zonas de bosque fraccionado Cerro del Molcajete, municipio de Almoloya de Juárez 2015.

Foto 4.2: Matorral.



Fuente: captada en campo en zonas de bosque fraccionado en el Cerro del Molcajete 2015.

Con base en el libro de Selvas y Bosques del Estado de México (Nava *et al.*, 2010) Su nombre común es pino prieto, pino resino, ocote macho, pino amarillo, pino avellano, ocote chino, pino colorado, pino negruzco, pino rojo, es una especie nativa que oscila entre los 12 y 18 m con un diámetro normal de 40 a 75 cm con hojas perennifolias, con una floración de Noviembre a Febrero aun que es más abundante en Diciembre y Enero. Se encuentra en: Sonora, Chihuahua, Sinaloa, Zacatecas, Durango, Nayarit, Jalisco, Michoacán, hasta el sureste de Guerrero, Oaxaca, Chiapas, Morelos, Estado de México, Puebla, Hidalgo y Tlaxcala. Se encuentra en una altitud de 1 800 a 3 000 msnm esta especie es productora

principalmente de resina de pino en México, y tiene la función de reforestación y la recarga de los mantos, en el sitio de muestreo se observaron zonas de reforestación con árboles de esta especie. (Véase Foto 4.3)

Foto 4.3: *Pinus oocarpa* Schieder Var. *Ocarpa* (Fam. Pinaceae) (Pino).



Fuente: captada en campo en zonas de bosque fraccionado en el Cerro del Molcajete 20015.

Dentro del lugar se encuentran asentamientos humanos dedicados con uso de pólvora los cuales se usan para la elaboración de juegos pirotécnicos que se encuentran regulados por la SEDENA. (Véase foto 4.4)

Foto 4.4: Polvorín en Zonas de Reforestación Cerro del Molcajete.



Fuente: bosque fraccionado en el Cerro del Molcajete 20015. Obtenida de internet https://www.google.es/search?q=polvorines+de+almoloya+de+juarez+cerro+del+molcajete&biw=1024&bih=667&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi4oveCxZbNAhURQ1IKHZ4AAbYQ_AUIBigB#tbn=isch&q=san+mateo+tlalchichilpan+almoloya+de+juarez+pirotecnia&imgsrc=NYvOJgkenGBv0M%3A.

Zona de Bosque Denso

Sitio de muestreo: 2 Rosa Morada

La fecha del muestreo se realizó el 1 de diciembre del 2015 en las coordenadas Geográficas siguientes de latitud: 19° 16' 58.3" N y longitud: 99° 51' 36.9" O con una altitud sobre el nivel del mar de 3070 msnm con una exposición de ladera de Noroeste con una pendiente de 20° en la parte de la ladera media cabe resaltar

que esta parte de bosque denso pertenece al Área de Protección de Flora y Fauna del Nevado de Toluca, en el lugar se encuentran las especies de encino (véase foto 4.5) y oyamel (véase foto 4.6).

Foto 4.5: *Quercus dysophylla* benth (Fam. Fragaceae) encino.



Fuente: captada en campo en zonas de bosque denso en Rosa Morada 20015.

En base al libro de Selvas y Bosques del Estado de México (Nava *et al.*, 2010) establece que su nombre común es encino colorado, encino manzanillo es una especie nativa, es un árbol grande de hojas oval-elípticas de 9 cm, pice abtuso con una espina. Base cordada con dientes cortos, frutos solitarios o por pares con bellota ovoide de unos 18 mm se distribuye en el Estado de México, Hidalgo, Veracruz, San Luis Potosí, Coahuila y Nuevo león, sus principales usos dado la maleabilidad de la madera, es usada para la elaboración de diversos muebles e instrumentos sus usos potenciales es importante en la formación y estabilización del suelo, dado que la mineralización de su hojarasca es excelente formando agregados del suelo estable y de buen tamaño.

Foto 4.6: *Abies religiosa* (kunth schldl. Et cham) (Fam. Abietaceae) (Oyamel).



Fuente: captada en campo en zonas de bosque denso en Rosa morada 20015.

En base al libro de Selvas y Bosques del Estado de México (Nava *et al.*, 2010) establece que su nombre común es oyamel y es un árbol de tamaño grande perennifolio, de 40 a 50 m de altura con un tronco recto de hasta 2 m de diámetro las hojas son como agujas chatas. De 15 a 35 mm de longitud y 1.5 mm de ancho por 0.5 mm de espesor, verde y oscuro en el haz. Los conos tiene de 8 a 16 cm de longitud y de 4 a 6 cm de ancho antes de madurar, su distribución es un abeto de las montañas centrales y del sur de México, este crece en altitudes altas de 2 500 a 4 100 msnm en bosques con alta pluviosidad y frescos, de veranos húmedos y caída de nieve invernal sus principales usos se utiliza como árbol de navidad y es una especie adecuada para reforestar.

Para la obtención de la carga combustible para los dos sitios de muestreo de bosque abierto y denso se tuvo que marcar las líneas de intersección o intersección planares estas consisten en el cálculo de volumen de densidad de carga de combustible en base a las partículas intersectadas por un plano vertical la medición de material leñosos caído se realizó sobre un punto escogido para caracterizar toda la cama de combustible en donde se establecen 3 líneas de intersección con un largo de 20 metros (60 m en total por sitio). Las líneas parten del centro de cada sitio y se selecciona la primera línea de manera aleatoria (véase Foto 4.7).

Foto 4.7: Selección de la primera línea.



Fuente: foto captada en campo zona de bosque fraccionado Cerro del Molcajete

Las siguientes líneas se establecen en un patrón de 120° de separación registrando la dirección o azimut de cada una. Las tres líneas en diferentes direcciones se hacen con el fin de reducir el error en caso de que las piezas del material leñosos caído no estén distribuidos de forma aleatoria. (Véase foto 4.8)

Foto 4.8: Separación de las líneas de intersección de 120°.



Fuente: foto captada en campo en zonas de bosque denso, Rosa Morada

A la largo de las líneas y hasta una altura de 2 metros, se cuentan todas las piezas de material leñoso caído (véase foto 4.9) que la interceptan, estas se dividen en clase de tamaño de acuerdo a la tabla 3.5 anteriormente mencionada.

Foto 4.9: conteo de Material Leñoso Caído.



Fuente: foto captada en campo en bosque denso de Rosa Morada.

Con base en la CONAFOR (2012) se establece que 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 que se encuentran sobre el suelo de un bosque, ramas y troncos que se hallan separados de la fuente original de crecimiento. (Véase foto 4.10)

Foto 4.10: Combustible Leñoso Muerto.



Fuente: foto captada en campo en bosque denso de Rosa Morada.

Todas las ramas y ramillas que se encuentran dentro de la hojarasca superficial son contadas (Véase foto 4.11) y no son contadas cuando el eje central de la partícula intersectada se encuentra en la capa de fermentación. (Véase figura 4.1)

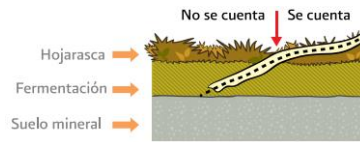
Foto 4.11: Ramas y ramillas que se cuentan dentro de hojarasca.



Fuente: foto captada en campo en bosque denso de Rosa Morada.

Figura 4.1: Conteo de piezas en el eje central sobre la capa de fermentación.

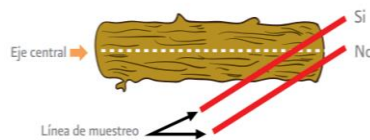
Las piezas solo son contadas cuando el eje central está sobre las capa de fermentación (lado derecho de la flecha).



Fuente: CONAFOR (2012).

Figura 4.2: Conteo de Material Leñoso Caído.

La línea de muestreo debe cruzar el eje central de la troza para ser medida.



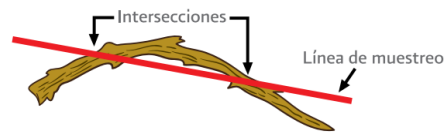
Fuente: CONAFOR (2012).

Figura 4.3: Si la línea de muestreo coincide con el eje central del tronco, la pieza no es contada.



Fuente: CONAFOR (2012).

Figura 4.4: se miden todas las secciones que intersecta la línea de muestreo en una pieza curvada.



Fuente: CONAFOR (2012).

Para la obtención de del cálculo de carga de combustible se utilizaron las siguientes ecuaciones:

Ecuación 1: Corrección de la pendiente

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

En donde

C= Factor de corrección por pendiente

Pendiente (%)= es el porcentaje de la pendiente medida en campo.

Ecuación 2: Estimación de cargas combustible de 1 hora

Se utiliza la siguiente ecuación

$$1hr = 11.66 * n * d^2 * s * a * c \div NL (C_1) * (C_2)$$

En donde:

1hr= Combustible de 1 hora en toneladas/hectáreas.

11.64= constante.

n= Número de Intersecciones.

d= constante compuesta para diversos tipos de vegetación y especies para combustibles menores a 0.6 cm de diámetro (0.0151).

s= Gravedad específica para combustibles inferiores a 0.6 cm de diámetro (0.48)

a= Factores de corrección por ángulo no horizontal para combustibles inferiores a 7.5 cm de diámetro (1.13).

c= Factor de corrección por la pendiente.

NL= Longitud de transecto en metros.

C_1 = Constante por factor de conversión de metros a pies 3.2808.

C_2 = Constante para conversión de toneladas / acre a toneladas / hectárea 2.47105.

Tabla 4.2: Carga combustible en 1 hora material fino < 0.06.

Tipo	1_HRS_MAT_FINO <0.06	pendiente %	cálculo de pendiente	cálculo de material leñoso en 1 hrs toneladas
bosque abierto	65	20	1.0198	0.0387
bosque denso	112	20	1.0198	0.0666

Fuente: Elaboración propia en base a elaboración de trabajo de campo 2015.

Ecuación 3: Estimación de carga de combustible de 10 horas

$$10hr = 11.66 * n * d^2 * s * a * c \div NL (C_1) * (C_2)$$

En donde:

10 hrs= Combustible de 10 hora en toneladas/hectáreas.

11.64= constante.

n= Número de Intersecciones.

d= constante compuesta para diversos tipos de vegetación y especies para combustibles menores a 0.6 a 2.5 cm de diámetro (0.289).

s= Gravedad específica para combustibles inferiores a 0.6 cm de diámetro (0.48)

a= Factores de corrección por ángulo no horizontal para combustibles de 2.7 a 7.5 cm de diámetro (1.13).

c= Factor de corrección por la pendiente.

NL= Longitud de transecto en metros.

C_1 = Constante por factor de conversión de metros a pies 3.2808.

C_2 = Constante para conversión de toneladas / acre a toneladas / hectárea 2.47105.

Tabla 4.3: Carga combustible en 10 hora materiales regulares 0.06 – 2.5.

Tipo	10_HRS_MA T_REGULAR ES 0.06-2.5	pendiente %	cálculo de pendiente	cálculo de material leñoso en 10 hrs toneladas
bosque abierto	58	20	1.0198	12.642
bosque denso	115	20	1.0198	25.067

Fuente: Elaboración propia en base a elaboración de trabajo de campo 2015.

Ecuación 4: Estimación de carga de combustible de 100 horas

$$100 \text{ hr} = 11.66 * n * d^2 * s * a * c \div NL (C_1) * (C_2)$$

En donde:

100 hrs= Combustible de 100 hora en toneladas/hectáreas.

11.64= constante.

n= Número de Intersecciones.

d= constante compuesta para diversos tipos de vegetación y especies para combustibles de 2.7 a 7.5 cm de diámetro (2.76).

s= Gravedad específica para combustibles de 2.7 a 7.5 cm de diámetro (0.40)

a= Factores de corrección por ángulo no horizontal para combustibles de 2.7 a 7.5 cm de diámetro (1.13).

c= Factor de corrección por la pendiente.

NL= Longitud de transecto en metros.

C_1 = Constante por factor de conversión de metros a pies 3.2808.

C_2 = Constante para conversión de toneladas / acre a toneladas / hectárea 2.47105.

Tabla 4.4: Carga combustible en 100 horas materiales medianos 0.06–7.6.

Tipo	100_HRS_MA T_MEDIANOS >.6-7.6	pendiente %	cálculo de pendiente	cálculo de material leñoso en 100 hrs toneladas
bosque abierto	108	20	1.0198	1,789.29
bosque denso	111	20	1.0198	1,838.99

Fuente: Elaboración propia en base a elaboración de trabajo de campo 2015.

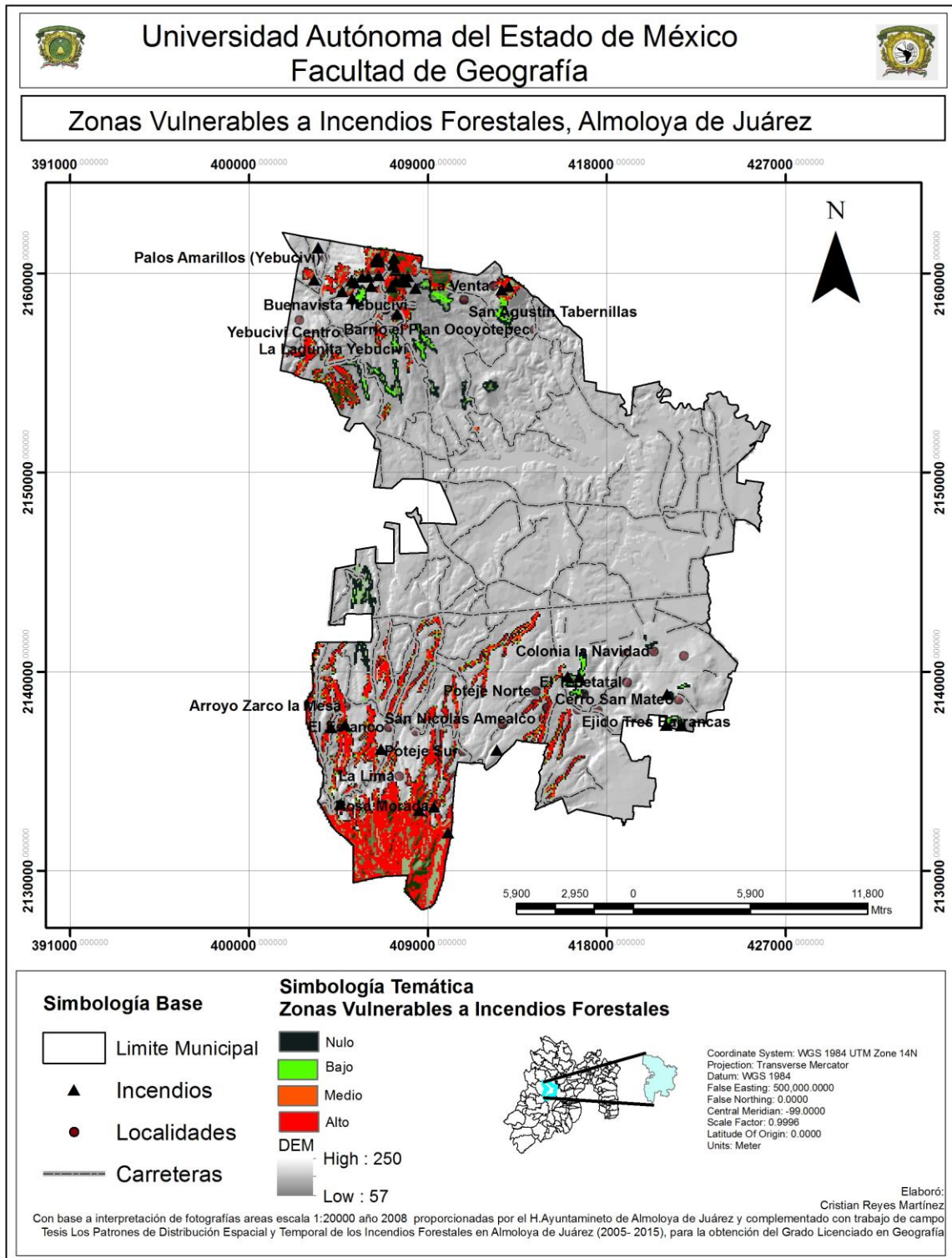
Tabla 4.5: Total de carga de combustible por zona forestal de bosque abierto y denso en toneladas.

Tipo	total de MTC en toneladas	Ha	Total toneladas por Ha
bosque abierto	1,801	4882.795	0.36
bosque denso	1,864	840.604	2.21

Fuente: Elaboración propia en base a elaboración de trabajo de campo 2015.

Como resultado final con la sumatoria de las capas como: pendiente, orientación de laderas, ocupación de uso de suelo, carga combustible y factores antrópicos (cercanía de localidades a zonas forestales) posteriormente de haber sido procesadas, normalizadas y estandarizadas se procedió a la elaboración del mapa final el cual se denomina Zonas Vulnerables a Incendios forestales del Municipio de Almoloya de Juárez (véase figura 4.5).

Figura 4.5:



En el mapa final de zonas vulnerables a incendios forestales del municipio de Almoloya de Juárez se observa que las zonas forestales que se encuentran en mayor propensión a la ignición de fuego son las que se encuentran más cercanas a las localidades, en este caso se puede apreciar que las localidad de Rosa Morada se encuentra con un índice de alta probabilidad de presentar un incendio forestal. Esto se debe a la proximidad a la que se encuentra dicha población, a una distancia de 22 metros. Aunado a esto se encuentra más propensa a incendiarse debido a la orientación de laderas ya que esta se encuentran expuesta hacia el sur y cuenta con un alto índice de radiación solar debido a la presencia del ecuador térmico, si agregamos el factor pendiente ya que esta localidad cuenta con pendientes de 7°-42° de inclinación, lo cual indica que los incendios que se presenten en dicho lugar pueden ser de grandes magnitudes dado que hay factores que aumentan la tendencia a la propagación del fuego. La mayor pendiente favorece la propagación del fuego en condiciones de abundante material leñoso combustible lo que ocasiona que la fase del precalentamiento incrementa la tasa de combustión y por lo tanto se acelera el avance del fuego. Este comportamiento se puede apreciar en la parte norte del municipio de Almoloya de Juárez en zonas de bosque denso que pertenecen a la localidad de Palos Amarillos y Barrio el Jacal, en las parte sur del municipio se encuentran lo que son cañadas o barrancos, en la parte norte perteneciente a la localidad de Yebusivi estos cuenta con un índice medio de ignición y propagación del fuego debido a su cercanía con las zonas que tienen un índice de vulnerabilidad alto.

Las Zonas con índice Nulo y Bajo de ignición de fuego corresponden al norte y centro del municipio. Esto se debe a la presencia de una menor pendiente ya que estas son de 1°-7° de inclinación aunado a esto la lejanía de las localidades (1776-2603 metros) a las zonas de bosque y por la presencia de menor incidencia de radiación solar, y el bajo contenido de material leñosos caído incide a que estas zonas sean poco probables a incendiarse y el proceso de combustión sea mas lento a cercanía del MLC y la pendiente.

CONCLUSIONES

Conclusiones Metodológicas

La metodología aplicada conjunta una serie de técnicas de investigación propias de la geografía. El análisis del territorio para determinar la vulnerabilidad a incendios forestales se base en la definición de una serie de criterios relevantes que se expresan en una matriz de decisión (Evaluación Multicriterio). Para la construcción de los diversos criterios fue preciso recurrir a técnicas de fotointerpretación, análisis cartográfico y levantamiento de información de campo. La integración y análisis de los datos fue posible mediante la utilización de un Sistema de Información Geográfica. De esta manera el enfoque metodológico aplicado permitió el cumplimiento de los objetivos planteados y la comprobación de la hipótesis, es decir, que mediante el análisis de información de campo y la aplicación de un Sistema de Información Geográfica es posible identificar y modelar las condiciones ambientales y antrópicas relacionadas con los siniestros y evaluar los patrones de distribución espacial.

Desde el punto de vista metodológico existen varios aspectos de especial dificultad que tuvieron que ser abordados a lo largo de la investigación:

1. La obtención de información de campo para poder estimar la carga combustible por tipo de cobertura se basó en la propuesta de CONAFOR. Esto implica el uso de instrumental forestal y resulta en una tarea complicada y sobre todo laboriosa, lo cual limita su aplicabilidad en proyectos de mayor cobertura.
2. La realización de los muestreos tuvo que hacer frente a las condiciones sociales de la zona de estudio. Las condiciones de inseguridad y de rechazo de las comunidades rurales impidieron en diversos casos el levantamiento de la información, lo que condujo a limitar el alcance de los muestreos.

3. Los trabajos de fotointerpretación para la identificación de las zonas forestales fueron muy tardados y laboriosos dado que, con base en el material de origen, no fue posible aplicar alguna técnica de interpretación automatizada de imágenes. La forma en que se distribuyen los bosques en el municipio y la disponibilidad de fotografías aéreas obligó a un lento proceso de interpretación interactiva con digitalización manual en pantalla.
4. La aplicación de la EMC implica que todos los criterios deben expresarse numéricamente en una escala común. El trabajo de conversión y normalización de los criterios puede resultar muy laborioso dado que las variables se expresan en distintas escalas y rangos. Adicionalmente, dada la diversidad de fuentes utilizadas (INEGI, CENAPRED, PROBOSQUE, etc.) fue preciso realizar procesos adicionales para la estandarización de los datos.

Conclusiones de Resultados

Con base en los resultados obtenidos sobre el análisis de la distribución espacial y temporal de los incendios forestales en Almoloya de Juárez es posible concluir que este fenómeno tiende a concentrarse en las regiones norte y sur del municipio. El territorio municipal se caracteriza por sus bosques abiertos y densos distribuidos de forma dispersa y altamente fragmentados. Los principales relictos de la vegetación natural se encuentran en las cañadas y en el área natural protegida del Nevado de Toluca.

La carga combustible calculada para los bosques abiertos fue de 1801 tm/ha y para los bosques densos de 1864 tm/ha. Con base en esta carga combustible y considerando los factores ambientales como la pendiente y la orientación así como la proximidad de la población fue posible obtener el mapa final de propensión a incendios forestales. Dicha propensión se encuentra fuertemente vinculada con la proximidad a los centros poblados.

El factor antrópico aunado con el alto contenido de material leñoso caído determina que la parte sur del municipio tiene la mayor vulnerabilidad a incendios

forestales. Esto resulta especialmente grave dado que se trata de la región en proximidad o dentro del Area de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca. La principales localidades que podrían ejercer un impacto negativo sobre los bosques son: Arroyo Zarco, La Posta, la Lima, Dilatada Sur, Rosa Morada, Poteje Sur, Poteje Norte, Ejido de San Francisco y el Cerro de San Mateo. Se concluye por tanto que, si bien no existen registros de grandes incendios forestales en el municipio, si están dadas las condiciones ambientales y sociales para detonar, a corto o mediano plazo, un siniestro de mayores proporciones. En este contexto se hace patente la necesidad de llevar a cabo acciones de prevención y educación ambiental en la zona.

RECOMENDACIONES

Como medidas de prevención o recomendaciones estas son el conjunto de acciones, normas y trabajos tendientes a evitar que ocurran incendios forestales. (CENAPRED, 2008)

De acuerdo al CENAPRED (2008), para la prevención se tiene que evitar la integración del llamado triángulo de fuego, o bien sobre los combustibles, en lo cual se puede aplicar la recolección del material leñoso caído muerto para evitar el factor riesgo de los materiales combustibles que aportan calor.

Para la prevención de incendios se puede establecer con: la Cultura (educación y divulgación), física o ingenieril y la aplicación de leyes y reglamentos.

a) Las recomendaciones culturales: comprende las acciones tendientes a crear conciencia forestal, mediante difusión del conocimiento en torno al valor que presentan los recursos forestales, desde el punto de vista de producción de madera, resinas, taninos y frutos, como reguladores del clima y productores de oxígeno. Mediante la educación se procura que las personas adopten una conducta más conservacionista y protectora de recurso forestal.

Estos propósitos se pueden lograr utilizando los diferentes medios de comunicación masiva como: programas escolares, pláticas en centros rurales y urbanos curso de capacitación a campesinos y con la colocación de letreros panorámicos, carteles, calcomanías, folletos, volantes, periódico, radio y televisión. (CENAPRE. 2008)

b) prevención física (obras de ingeniería): reduce el peligro inmediato sobre las personas y o actividades específicas que causen incendios forestales, estas consisten en las intervenciones del hombre en la vegetación, previamente a las ocurrencias de incendios, esta tiende a la eliminación de combustibles peligrosos, alertar su composición o seccionarlos a fin de evitar la combustión o bien para impedir que el fuego se pueda propagar y se torne difícil de controlar, las brechas

cortafuego son un ejemplo de este tipo de obra. Desde el punto de vista de la ingeniería, la prevención se puede clasificar en cuatro grupos:

- 1.- Eliminación y control de desperdicios de aserraderos o prácticas silviculturales (podas, raleos, corte y aclareo).
- 2.- Eliminación de combustibles peligrosos acumulados en el suelo a causa de catástrofes como los huracanes.
- 3.- Sectorización de combustibles mediante apertura de brechas cortafuego con herramientas manual o con máquinas pesadas a fin de interrumpir su continuidad y evitar que los incendios se propaguen rápidamente.
- 4.- Reducción general de combustibles, especialmente los livianos secos y superficiales, mediante quemas controladas.

En base al CENAPRED (2008) la realización de quemas controladas es una de las obras de prevención física más utilizadas, el fuego aplicado a cuidadosamente mediante quemas controladas constituye el procedimiento más eficiente en la prevención ingenieril, con dos propósitos principales:

- 1.- Disminución de combustibles existentes en el interior del bosque
- 2.- Cortar la continuidad horizontal de los combustibles mediante brechas cortafuego o líneas negras estas dos cumplen la misma función.

Para poder obtener el éxito esperado en la aplicación de la realización de las quemas controladas es necesario tomar en cuenta los factores que intervienen en la evolución del fuego como: combustible, topografía, tiempo atmosférico, estos es necesario saberlo para saber cómo cada uno de ellos influirá en la quema para ello a continuación se mencionan algunas técnicas de quema como:

Quema en retroceso: esta consiste en inicial el fuego en contra de la dirección del viento o de la pendiente, esta es la técnica más fácil o de aplicar y la más segura, genera baja intensidad calórica proporciona menos daño al follaje.

Quema por fajas: consiste en incendiar fajas en contra de la dirección del viento y de la pendiente, se aplica en terrenos con poca pendiente o planos de modo que ninguna faja individual pueda alcanzar alta densidad antes de llegar a la inmediata siguiente. El espacio entre fajas depende de la cantidad, la humedad y la distribución de los combustibles, normalmente varían entre 20 y 50 m.

Quema por flancos: consiste en prender líneas de fuego en contra y en posición paralela a la pendiente o a la dirección del viento. Esta técnica se emplea para reducir combustibles de bosque natural y de plantaciones medianas, así como para mejoramiento de los pastizales.

Quema por manchones: este método consiste en prender fuego en una serie de puntos (manchones), los cuales se propagan en todas direcciones dentro del área delimitada y después se unen, es importante determinar la distancia entre cada punto donde se inicia el fuego y la hora de inicio, estas deben ser tales que los manchones se junten a una hora en que las condiciones meteorológicas no sean propicias para la generación de alta intensidad calórica.

Quema en círculos: esta técnica consiste en iniciar el fuego en retroceso siguiendo todo el perímetro del área por quemas hasta encerrarla en forma de círculo. También se puede iniciar en el centro del área de tal manera que el fuego avance hacia el contorno, es recomendable aplicar esta técnica en un terreno plano y en ausencia de vientos.

Estas son algunas de muchas recomendaciones que se pueden realizar de forma sencilla y sin ningún problema para poder reducir las afectaciones del bosque en caso de incendios forestales las cuales están basadas en las técnicas aplicadas por el CENAPRED (2008) para la mitigación de los incendios forestales.

ANEXOS

ANEXO B INVENTARIO DE COMBUSTIBLES FORESTALES - HOJA DE CONTROL

Pág. _____

Predio _____

Paraje _____ Fecha _____

Línea de muestra _____ Sitio _____

Coordenada X: _____ Y: _____

Altitud msnm _____ Exposición _____ Azimut _____

Pendiente _____ Med _____ Pos. Topo. _____ Georreferencia _____

Tipo de vegetación

--

Observaciones sobre manejo

--

Observaciones sobre perturbaciones

--

Jefe de brigada _____

Integrantes de la brigada

--

MLC

Sitio

Brigada

Fecha Pre

Fecha Post

Conteo de Combustible Leñosos Caídos Pequeños							
Pre-Quema				Post-Quema			
Línea	1-hr	10-hr	100-hr	1-hr	10-hr	100-hr	% Quem.
1							
2							
3							
Combustible Leñoso Caído de 100 hr (Diámetro-Especie-Grado de Putrefacción)							
Pre-Quema				Post-Quema			
Azimut				Azimut			

Línea 1	Línea 2	Línea 3	Línea 1	Línea 2	Línea 3

REFERENCIAS

- Ávila-Flores, D.Y.; Pompa-García, M. y; Vargas-Pérez, E. (2010), Análisis espacial de la ocurrencia de incendios forestales en el estado de Durango. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, vol. 16, núm. 2, julio-diciembre, 2010, pp. 253-260, Universidad Autónoma Chapingo, México. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62915867014>.
- Aguirre Calderón, Oscar A. (1997) Hacia el manejo de ecosistemas forestales madera y bosques, Instituto de Ecología A.C, Xalapa, México. Vol.3, no.2, P.p. 3-11. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61730202>.
- Blanco, J. A. (2012), Reseña de "Incendios Forestales" de Julio G. Pausas, Ecosistemas, No. 3, Vol.21, Asociación Española de Ecología Terrestre, Alicante, España, pp.121 disponible en: <http://www.redalyc.org/articuloBasic.oa?id=54024838020>, consultado el 18 de marzo del 2015.
- Campos Roca Saúl, Cardozo Aguilera Néstor Raúl, Díaz de Vivar Genaro, Páez Anastasio (2011), Metodología de la valoración de daños por Incendios Forestales en el Chaco región del Occidental, Paraguay, disponible en: [http://www.icasa.com.py/web/COMPONENTES/PREVENCIÓN%20DE%20INCENDIOS%20FORESTALES/VALORACIÓN DE LAS PERDIDAS POR INCENDIOS FORESTALES.pdf](http://www.icasa.com.py/web/COMPONENTES/PREVENCIÓN%20DE%20INCENDIOS%20FORESTALES/VALORACIÓN%20DE%20LAS%20PERDIDAS%20POR%20INCENDIOS%20FORESTALES.pdf)
- Castillo S., Miguel; Garfías S., Roberto; Julio A., Guillermo; González R., Luis (2012) Análisis de grandes incendios forestales en la vegetación nativa de Chile, Vol. 37, no. 11, Noviembre 2012, PP. 796-804, Asociación Interna Caracas, Venezuela, Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33925550002>.
- Castillo Navarro, Fabiola, Jardel Peláez Enrique. J, Balcázar Medina. Oscar E, Ramírez Villeda Rubén (2013), Sistema de Información Geográfica Sobre Incendios Forestales en la Reserva de la Biosfera de la Sierra de Manantlán. VI congreso Mexicanos sobre recursos forestales sociedad mexicana de recursos forestales A.C., Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Castañeda Rojas Mario Fermín (2013) Evaluación de zonas vulnerables a incendios forestales en bosques de alta montaña del Estado de México, Tesis de Maestría. Programa de maestría y doctorado en ciencias agropecuarias y recursos naturales, Universidad Autónoma del Estado de México, 91p.
- Capulín Grande, Juan; Mohedano Caballero, Leopoldo; Razo Zarate, Ramón (2010), Cambios en el suelo y vegetación de un bosque de pino afectado por incendio, vol. 28, no. 1, Enero-

Marzo 2010, P.p. 79-87, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México, disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57316076009>.

Carrillo García, Rosa Laura; Rodríguez Trejo, Dante Arturo; Tchikoué, Hubert; Monterroso Rivas, Alejandro Ismael; Santillán Pérez, Javier. (2012), Análisis espacial de peligro de incendios forestales en Puebla, México, vol. 37, núm. 9, septiembre, 2012, pp. 678-683, Asociación Interciencia Caracas, Venezuela. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33925502012>.

Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) (2006), Segundo curso nacional sobre metodologías para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligro y riesgo.

Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) (2008), Incendios forestales, Serie fascículos. 3ra edición. Disponible en: <http://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/159-FASCCULOINCENDIOSFORESTALES.PDF>.

Comisión Nacional Forestal, (CONAFOR, 2012), caracterización y cuantificación de combustibles forestales. Gobierno Federal, SEMARNAT.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), (2010), Detección y Seguimiento de Incendios Forestales en México U.S.A. – México, Disponible en: http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=157:descripcion&catid=16:general&Itemid=116.

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) (2015a), Gerencia de protección contra incendios forestales, CONAFOR, disponible en: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/10/1076Conceptos%20b%C3%A1sicos%20-%20Incendios%20Forestales.pdf>, consultado el 9 de marzo del 2015.

Comisión Nacional Forestal, (CONAFOR) (2015b), Reportes semanales de resultados de incendios forestales. Reporte del 01 de enero al 05 de marzo del 2015, Programa Nacional de Prevención de Incendios Forestales, Centro Nacional de Control de Incendios Forestales, México, disponible en: <http://www.cnf.gob.mx:8090/snif/portal/las-demas/reportes-de-incendios-forestales>, consultado el 19 de marzo del 2015.

Comisión Nacional Forestal, (CONAFOR, 2012), caracterización y cuantificación de combustibles forestales. Gobierno Federal, SEMARNAT.

Cuadras M. Carles, (2007), Nuevos métodos de análisis multivariante, disponible en: <http://www.ub.edu/stat/personal/cuadras/metodos.pdf>.

- Enríquez Martínez Mario Alberto, Osorio García Maribel, Franco Maass Sergio, Ramírez de la O Irma Luz, (2010), Evaluación multicriterio de los recursos turísticos del Parque Estatal Sierra de Nanchititla, Estado de México, Vol.18, Universidad Autónoma del Estado de México, Disponible en: <file:///C:/Users/UAEM/Downloads/Dialnet-EvaluacionMulticriterioDeLosRecursosTuristicosDelP-5026301.pdf>
- FAO (2014), Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, El estado de los bosques del mundo 2014, potenciar los beneficios socioeconómicos de los bosques, Disponible en: <http://www.fao.org/forestry/sofo/es/>.
- Flores Garnica José Germán (2014), Sistema de Información y Monitoreo de incendios forestales en México, revista electrónica de divulgación científica forestal, disponible en: http://www.conafor.gob.mx/innovacion_forestal/?p=570.
- Franco-Maass, Sergio; Osorio-García, Maribel; Nava-Bernal, Gabino; Regil-García, Héctor Hugo, (2009), Evaluación multicriterio de los recursos turísticos: Parque Nacional Nevado de Toluca - México Estudios y Perspectivas en Turismo, vol. 18, núm. 2, Centro de Investigaciones y Estudios Turísticos Buenos Aires, Argentina, pp. 208-226.
- Franco Maass, Sergio; Regil García, Héctor Hugo; González Esquivel, Carlos; Nava Bernal, Gabino, (2006) Cambio de uso del suelo y vegetación en el Parque Nacional Nevado de Toluca, México, en el periodo 1972-2000. *Investigaciones Geográficas*, No.61, Pp 38-57, Instituto de Geografía de la UNAM, México.
- Galindo, I.; Barrón, J.; Padilla, J. I. (2009), Relación entre ganadería extensiva e incendios en zonas forestales del estado de Colima, No. 3, Vol. 13, P.p. 17-33, Universidad de Colima, Colima, México, disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83712319003>.
- Gobierno del Estado de México so (2010), Plan maestro para la restauración ambiental de la cuenca del alto Lerma. Conservación y rehabilitación de los recursos suelo y agua de la cuenca alta del río Lerma, región 11 Almoloya de Juárez. Disponible en: http://qacontent.edomex.gob.mx/idc/groups/public/documents/edomex_archivo/carl_pdf_antp_roy_reg11f.pdf, consultado el 23 de marzo del 2015.
- Gobierno del Estado de México (GEM) (2014), Programa de protección civil para incendios forestales 2014, Secretaría de Seguridad Ciudadana, México. Disponible en: http://www.proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivil/swbcalendario_ElementoSeccion/265/PPC_20INCENDIOS_202014.PDF, consultado el 10 de marzo del 2015.

Grajales-quintero, Alberto; serrano-moya, Edgar d.; Hahn von-h., Christine m., (2013), los métodos y procesos multicriterio para la evaluación, revista luna azul, núm. 36, Universidad de Caldas Manizales, Colombia, pp. 285-306.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) (2010), Censo de Población y Vivienda 2010. Disponible en: <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/mex/poblacion/>, consultado el 22 de marzo del 2015.

Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED) (2015), Almoloya de Juárez, Enciclopedia de Municipios y Delegaciones de México, Estado de México, México. Disponible en: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM15mexico/municipios/15005a.html>, consultado el 18 marzo del 2015.

Muñoz Robles, Carlos Alfonso; Treviño Garza, Eduardo Javier; Verástegui Chávez, José; Jiménez Pérez, Javier; Aguirre Calderón, Óscar Alberto. (2005), Desarrollo de un modelo espacial para la evaluación del peligro de incendios forestales en la Sierra Madre Oriental de México, No. 56, Instituto de Geografía, PP., 101-117, disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56905608> consultado el 23 de abril del 2015.

Mendizábal-Hernández, Lilia del C.; Márquez Ramírez, Juan; Alba-Landa, Juan; Cruz-Jiménez, Héctor; Ramírez-García, Elba Olivia (2008), Cambio Climático y Comunidades Forestales No. 22, Vol., 10, forestal Veracruzana, recurso genético forestal, Xalapa, México. PP. 49-56 disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49711436007>.

Nava Bernal, Gavino, Endara Agramont Ángel, Regil García Héctor Hugo, Estrada Velázquez Cristina, Arriaga Jordán Carlos Manuel, Franco Mass Sergio, (2010), los bosques y selvas del Estado de México, P.p. 1-144.

Parra Campo Lara, Álvaro del; Bernal-Toro, Francia Helena. (2010), Incendios de cobertura vegetal y biodiversidad: una mirada a los impactos y efectos ecológicos potenciales sobre la diversidad vegetal, No. 35, P.p. 67-87, Universidad Autónoma de Occidente Cali, Colombia, Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47817140008>.

Pausas, J.G. y Vallejo, R. (2008), Bases ecológicas para convivir con los incendios forestales en la región mediterránea: decálogo ecosistemas, Ecosistemas, Vol. 17, No. 2, Asociación Española de Ecología Terrestre, España. Pp. 128-129 Disponible en: <http://www.redalyc.org/articuloBASIC.oa?id=54017220>, consultado el 18 de marzo del 2015.

Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Almoloya de Juárez (2008), P.p.0-484, disponible en:
http://seduv.edomexico.gob.mx/planes_municipales/almoloya_juarez/pdualmoloya.pdf.

Protectora de Bosque del Estado de México (PROBOSQUE) (2010), Inventario Forestal, disponible en:

http://portal2.edomex.gob.mx/probosque/publicaciones/inventario_forestal/groups/public/documents/edomex_archivo/probosque_pdf_inventario10_1.pdf.

Protectora de Bosque del Estado de México (PROBOSQUE) (2015), Conservación forestal incendios forestales combate contra incendios forestales, Secretaría del Medio Ambiente disponible en:

<http://portal2.edomex.gob.mx/probosque/conservacionforestal/incendiosforestales/index.htm>, consultado el 9 de marzo del 2015.

Pompa García, Marín, y Hernández Gonzales Paulino (2012), determinación de la tendencia espacial de los puntos de calor como estrategias para monitorear los incendios forestales en Durango, México, Vol., 33, No.1, P.p. 63-68, Universidad Austral de Chile Valdivia, Chile, Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=173124027007>.

Rodríguez. T, y Dante, A. (2012), Génesis de los incendios forestales, Revista Chapingo, Serie ciencias forestales y del ambiente, No. 3, Vol. 18, universidad autónoma de Chapingo, México, pp. 357-373 disponible en: <http://www.redalyc.org/articuloBasic.oa?id=62926234008>, consultado el 18 de marzo del 2015.

Rodríguez, Raúl G.; Rodríguez, Marcos P. R.; Rangel, Armando D.; Soares, Ronaldo V.; Batista, Antonio C.; Tetto, Alexandre F. (2013), Incendios forestales y grado básico de peligro en la empresa forestal Macurije, Cuba, vol. 8, núm. 2, Revista Brasileira de Ciencias Agrarias, Universidad Federal Rural de Pernambuco Pernambuco, Brasil, pp. 279-286, Consultado el 1 de junio del 2016.

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, (SEMARNAT, 2006), Consulta temática, Inventario forestal de México, Disponible en:
http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_R_RFORESTA01_01&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce.

Silva J.S y J De las Heras Ibáñez (2006) el drama de los Incendios forestales: ¿realmente preocupan a Europa?, Vol., No. 3, PP. 206-206, Asociación Española de Ecología Terrestre España, disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=54015323>.

Vilchis Francés, Aleida Yadira, Díaz-Delgado, Carlos, Bâ, Khalidou Mamadou, Gómez Albores, Miguel Ángel, Magaña Lona, Dolores (2012), La sequía en la modelación de riesgo de

incendios forestales en la cuenca Lerma, Estado de México, XXII congreso nacional de hidráulica Acapulco, Guerrero, México, Noviembre 2012, Centro Interamericana de Recursos del Agua, Universidad Autónoma del Estado de México.

Yolanda A. R. (2001) los incendios forestales en la vertiente peninsular mediterránea y región de Murcia, Papeles de geografía, No. 34, Universidad de Murcia, España, pp. 5-15 Disponible en: <http://www.redalyc.org/articuloBasic.oa?id=40703401>, consultado el 18 de marzo del 2015.