



Master Thesis | Tesis de Maestría

submitted within the UNIGIS MSc programme
presentada para el Programa UNIGIS MSc

at/en

Interfaculty Department of Geoinformatics- Z_GIS
Departamento de Geomática – Z_GIS
University of Salzburg | Universidad de Salzburg

Modelo de Riesgo por Incendios Forestales en Mineral del Monte, Hidalgo, México

Wildfire risk model in Mineral del Monte, Hidalgo. Mexico

Biól. Ismael Hernández Arzate

Número estudiante Universidad Salzburgo 01423619

A thesis submitted in partial fulfilment of the requirements of
the degree of
Master of Science– MSc

Advisor | Supervisor:

Leonardo Zurita Arthos PhD

Quito - Ecuador, 26 de mayo de 2021

Compromiso de Ciencia

Por medio del presente documento, incluyendo mi firma personal certifico y aseguro que mi tesis es completamente el resultado de mi propio trabajo. He citado todas las fuentes que he usado en mi tesis y en todos los casos he indicado su origen.



(Quito-Ecuador, 26 de mayo de 2021)

(Firma)

AGRADECIMIENTOS

A mis padres:

Josefina Arzate Guzmán e Ismael Hernández Ramírez

A mi hermana:

Maribel Hernández Arzate,

Gracias infinitas por su invaluable apoyo y por siempre recordarme que rendirse no es una opción y que nada es imposible.

Al Servicio Geológico Mexicano y a su Directora General Mtra. Flor de María Harp Iturribarria, por permitirme colaborar en esta gran institución. A mis compañeras y compañeros, por su valioso apoyo que aportaron para este proyecto, muchas gracias.

A UNIGIS América Latina y a su Director Richard Resl. Al gran equipo de colaboradores en especial a Miguel Ángel Montoya, Jenny Correa y Laure Collet, por el apoyo durante mi estadía en el programa y permitirme incrementar mis habilidades en el ámbito educativo, para su aplicación en mis actividades laborales.

A La Universidad Nacional Autónoma de México, mi *Alma Mater*.

A La Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Al Municipio de Mineral del Monte, Hidalgo.

A La CONAFOR (Comisión Nacional Forestal) Hidalgo.

A La SEMARNAT (Secretaría de Recursos Naturales) Hidalgo.

A PROBOSQUE (Protectora de Bosques del Estado de México).

A la Asociación de Silvicultores de la región Tulancingo, Hidalgo.

Y a todas las personas que contribuyeron para la conclusión de este trabajo.

“A veces pienso Don Lupe, que las estrellas se formaron en su pueblo con la plata del Real que no alcanzó a robarse Pedro Romero de Terreros, el mentado Conde de Regla, y usted me dará la razón. Pues si México, como primer productor, abasteció al mundo por muchas décadas, porque en el Real del Monte hubo plata hasta para aventar pa´rriba. No más échele tanteada, a uno encaramado en el cerro del Hiloche, no le basta estirar la mano y tocar la bóveda celeste”.

“Que alma tiene la gente de Real del Monte, ¡Don Lupe! Queriendo compartirlo todo, orgullosa de su tierra, siempre amistosa, amante de su historia y de su patria”.

Extracto tomado del Prólogo hecho por Cruz Mejía Arámbulo, 26 de mayo de 2005 del libro “De mi Pa’l Real de José Guadalupe Chiapa Aragón (Iztitlon) 2006.

“Sometimes I think Don Lupe, that the stars in your town were formed with the silver of “The Real” that Pedro Romero, the Earl of “Regla” failed to steal; and you will agree with me because if Mexico as first producer supplied the world with silver during many decades, it was because there was enough silver to throw away. You just need to sound it out, to those who are perched on the Hill of the Hiloche, they simply have to stretch their hand to touch the canopy of heaven.”

What a soul the people from Real del Monte have Don Lupe!
Wanting to share it all, proud of its land, always friendly, loving its homeland and its history”

Extract taken from the foreword by Cruz Mejía Arámbulo, May 26, 2005 book’s name “Of my going to Real, by José Guadalupe Chiapa Aragón (Iztitlon) 2006.”

RESUMEN

Palabras clave: Incendios Forestales, Riesgo, AHP, México.

Los incendios forestales en el mundo han aumentado debido a la alta temperatura. Este documento propone una metodología alternativa, utilizando el AHP aplicado a los SIG. El objetivo fue identificar y cuantificar las áreas con mayor probabilidad de ocurrencia y estimar el costo de los impactos de incendios forestales en el municipio de Mineral del Monte, Hidalgo. Diez y ocho variables se agruparon en cuatro componentes utilizados. Biótico-Forestal, Topográfico, Socioeconómico y Meteorológico. La identificación de las áreas de peligro se determinó a través de proyecciones a 5, 10, 25 y 50 años. La evaluación de la vulnerabilidad de la vivienda, la población y forestal junto a la ponderación con el mapa de peligro a 5 años, resultó en el mapa de riesgos, y los valores en porcentaje de la probabilidad de incidencia: 17% muy bajo, 26% bajo; 13% medio, 23% alto y muy alto 18%. Esto se debe al grado de inflamabilidad de los bosques templados. Asimismo, se identificaron 14 poblaciones, 1,129 hogares y 4,822 habitantes en riesgo. Los costos de vivienda también se estimaron en \$ 59,410,810.81. Incluyó los costos de los servicios ecosistémicos de bosques de coníferas y robles de \$ 3,799,759.55, supresión de incendios forestales \$ 5, 126,902.70. Además, la restauración de este tipo de bosque representa \$ 9,060,587.16. USD. El resultado es una herramienta muy poderosa, que predecirá y fortalecerá la administración integral del manejo y uso del fuego, para la mitigación de las consecuencias socioeconómicas y ambientales causadas por los incendios forestales.

ABSTRACT

Key words: Wildfire, Risk, AHP, Mexico.

Wildfires in the world have been increasing cause high temperature. This paper proposes an alternative methodology, using AHP applied to GIS. The objective was to identify and quantify areas with the highest likelihood of occurrence and to estimate the cost of wildfire impacts in the municipality of Mineral del Monte, Hidalgo. Eighteen variables grouped into four components (Biotic-Forest, Topographic, Socioeconomic, and Meteorological) were used. The identification of hazard areas was determined through projections at 5, 10, 25 and 50 years. The assessment of the vulnerability of housing, population and forest both maps joined hazard map used at 5 years, resulting in the risk map, and the values in percentage of the probability of incidence: 17% very low, 26% low; 13% medium, 23% high and very high 18%. This is due to the degree of flammability of temperate forests. Likewise, 14 populations, 1,129 homes and 4,822 inhabitants at risk identified. Housing costs also estimated, amounting to \$ 59,410,810.81. It included the costs of ecosystem services of coniferous and oak forests of \$ 3,799,759.55, suppressing wildfire \$ 5, 126,902.70. In addition, restoration of this type of forest represents USD \$ 9,060,587.16. The result is a very powerful tool, which will predict and strengthen the integral administration of fire management and use, for the prevention of the socioeconomic and environmental consequences caused by wildfires.

Tabla de contenido

1.	INTRODUCCIÓN	12
1.1.	ANTECEDENTES.....	13
1.2.	OBJETIVOS.....	14
1.2.1.	Objetivo general.....	14
1.2.2.	Objetivos particulares.....	14
1.3.	PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	15
1.4.	JUSTIFICACIÓN.....	15
1.5.	ALCANCE.....	16
2.	REVISIÓN DE LITERATURA	18
2.1.	MARCO TEÓRICO	18
2.1.1.	Incendios forestales	18
2.1.2.	Jerarquía normativa	19
2.1.3.	Factores que intervienen en un incendio.....	20
2.1.4.	La Regla de los 30-30-30.....	24
2.2.	MARCO HISTÓRICO.....	24
2.2.1.	Cambio climático y los incendios forestales	24
2.2.2.	El fuego y los ecosistemas.....	25
2.3.	MARCO METODOLÓGICO.....	25
2.3.1.	Métodos de análisis de incendios.....	25
2.3.2.	Modelos de simulación en el comportamiento del fuego.....	27
2.3.3.	Escala de trabajo y referencia espacial.....	28
2.3.4.	Evaluación de la amenaza	28
2.3.5.	Evaluación de peligro.....	28
2.3.6.	Evaluación de la vulnerabilidad (física, social y forestal).....	28
2.3.7.	Evaluación de riesgo.....	29
2.3.8.	Estimación de costos	29
3.	METODOLOGÍA.....	31
3.1.	ÁREA DE ESTUDIO	31
3.1.1.	Localización	31
3.1.2.	Caracterización de los elementos del medio natural	32

3.1.3.	Caracterización de los elementos sociales	35
3.2.	JUSTIFICACIÓN DE LA METODOLOGÍA	35
3.3.	EJECUCIÓN DE LA METODOLOGÍA.....	36
3.3.1.	Análisis del componente topográfico	37
3.3.2.	Análisis del componente meteorológico	38
3.3.3.	Análisis del componente socioeconómico	41
3.3.4.	Análisis del componente biótico-forestal.....	42
3.3.5.	Integración de los componentes.....	48
3.3.6.	Construcción de escenarios para la determinación del peligro	54
3.3.7.	Determinación de la Vulnerabilidad Social	55
3.3.8.	Determinación de la Vulnerabilidad Física (vivienda)	64
3.3.9.	Determinación de la Vulnerabilidad Ecológica (Forestal).....	66
3.3.10.	Determinación de los costos asociados a los sistemas expuestos (Riesgo) 67	
3.3.11.	Análisis y Modelo espacial con el SIG.	68
4.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	69
4.1.	RESULTADOS	69
4.1.1.	Determinación de costos.....	76
4.2.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	80
4.2.1.	Poblaciones identificadas con algún grado de riesgo	80
4.2.2.	Costos asociados a los sistemas expuestos	81
4.2.3.	Determinación de costo de los servicios ecosistémicos	83
4.2.4.	Análisis estadístico.....	100
5.	CONCLUSIONES	103
5.1.	RESUMEN DE RESULTADOS.....	103
5.2.	VALORACIÓN DE LAS APORTACIONES	105
5.3.	RECOMENDACIONES	113
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	115
7.	ANEXO A.....	126

GLOSARIO

Amenaza: es un fenómeno, actividad humana o condición peligrosa que puede ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, la propiedad o daños ambientales. Lo representa un peligro latente a un incendio forestal, de origen natural o antropogénico, que puede afectar a las personas, la producción, la infraestructura, los bienes y servicios y el ambiente.

Aprovechamiento forestal: la extracción de los recursos forestales, incluyendo los maderables y los no maderables.

Áreas de Protección Forestal: comprende los espacios forestales o boscosos colindantes a la zona federal y de influencia de nacimientos, corrientes, cursos y cuerpos de agua, o la faja de terreno inmediata a los cuerpos de propiedad particular, en la extensión que en cada caso fije la autoridad.

Áreas Forestales Permanentes: tierras de uso común que la asamblea ejidal o comunal dedicada exclusivamente a la actividad forestal sustentable.

Cambio de uso del suelo en terreno forestal: la remoción total o parcial de la vegetación de los terrenos forestales para destinarlos a actividades no forestales.

Conservación forestal: el mantenimiento de las condiciones que propician la persistencia y evolución de un ecosistema forestal natural o inducido, sin degradación del mismo ni pérdida de sus funciones.

Combate de incendios forestales: proceso de despliegue y operación de recursos humanos y materiales bajo estrategias, tácticas y métodos apropiados para lograr la extinción de los incendios forestales.

Deforestación: es el cambio de uso del suelo de una superficie arbolada a otra que carece de árboles. Las selvas y los bosques, por ser vegetación arbolada, son los únicos que pueden sufrir dicho proceso. La deforestación daña la biodiversidad (al retirarse la cubierta).

Ecosistema forestal: unidad funcional básica de interacción de los recursos forestales entre sí y de éstos con el ambiente, en un espacio y tiempo determinados.

Incendio forestal: quema sin control de la vegetación forestal.

Línea de control: es el conjunto de barreras naturales y construidas (líneas de fuego), así como de bordes extinguidos del fuego que se realizan para controlar al incendio.

Línea de fuego: es la faja de terreno de largo y ancho variable construida en la trayectoria del fuego (línea de defensa, cortafuego, guarda raya).

Manejo forestal: conjunto de acciones y procedimientos que tienen por objeto el cultivo, protección, conservación, restauración y aprovechamiento de los recursos

forestales, de tal manera que se respete la integridad funcional y las capacidades de carga de los ecosistemas a los que se integral.

Manejo sustentable: acción planeada para hacer evolucionar un sistema natural de modo tal que se le pueda aprovechar a corto plazo y preservar a largo plazo.

Peligro de incendio: es la probabilidad de ocurrencia de incendios.

Quema controlada: proceso de aplicación del fuego en la vegetación que conjunta la utilización de metodología, equipos, herramientas y materiales para conducir y regular su magnitud y alcance, desde el inicio hasta su conclusión o extinción.

Quemas agropecuarias: las que se realizan de manera controlada como parte del proceso de preparación de los terrenos en que tendrá lugar la siembra, el combate de plagas o para inducir la regeneración o la formación de renuevos de vegetación, con fines forestales, agrícolas o ganaderos.

Recursos forestales: son aquellos constituidos por los suelos, la vegetación espontánea, animales silvestres y productos o residuos orgánicos que existen en los terrenos forestales.

Reforestación: establecimiento inducido de vegetación forestal en terrenos preferentemente forestales o terrenos forestales degradados.

Restauración de suelos: conjunto de obras y prácticas para la rehabilitación de los suelos que presentan diferentes niveles de degradación, las cuales se implementan a corto, mediano y largo plazo.

Riesgo: probabilidad de que se presente un nivel de consecuencias económicas, sociales o de origen natural o antrópico. Se obtiene al relacionar la amenaza, el peligro con la vulnerabilidad de los elementos expuestos, constituidos por personas, medioambiente, comunidades o sus bienes.

Servicios Ambientales: los que brindan los ecosistemas forestales de manera natural o por medio del manejo sustentable de los recursos forestales tales como: la provisión del agua en calidad y cantidad; la captura de carbono, de contaminantes y componentes naturales; la generación de oxígeno, el amortiguamiento del impacto de los fenómenos naturales y la protección de la biodiversidad, de los ecosistemas y formas de vida, entre otros.

Sistemas expuestos: considerado como el área de vegetación, cultivos, infraestructura, número de personas o especies animales que se encuentren en un sitio específico y que son factibles de sufrir daño.

Terrenos forestales: los que están cubiertos por bosques, selvas o vegetación forestal de zonas áridas.

Terrenos de aptitud preferentemente forestal: Aquellos que no están cubiertos por vegetación forestal, por sus condiciones de clima, suelo y topografía pueden

incorporarse al uso forestal, excluyendo los situados en áreas urbanas y los que, sin sufrir degradación permanente, puedan ser utilizados en agricultura y ganadería.

Vegetación forestal: conjunto de plantas y hongos que crecen y se desarrollan en forma natural, formando bosques, selvas, zonas áridas y semi áridas y otros ecosistemas, dando lugar al desarrollo y convivencia equilibrada de otros recursos y procesos naturales.

Vulnerabilidad: Se define como la susceptibilidad o propensión de los sistemas expuestos a ser afectados o dañados por el efecto de un fenómeno perturbador de origen natural o antropogénico.

ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
AGEB	Áreas Geoestadísticas Básicas
BSA	Bienes y Servicios Ambientales
CENAPRED	Centro Nacional de Prevención de Desastres
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
COEDE	Consejo Estatal De Ecología del Estado de Hidalgo
CONAFOR	Comisión Nacional Forestal
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
DAP	Diámetro a Altura de Pecho
DIREC MAX	Dirección del Viento
DOF	Diario Oficial de la Federación
ENAREDD	Estrategia Nacional para la Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación Forestal
EVAPORA	Evaporación
EVOT	Evapotranspiración
GEI	Gases Efecto Invernadero
GPS	Sistema de Posicionamiento Global
HUME	Humedad Relativa
ICPP	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
IDW	<i>Inverse Distance Weighted</i>
IEFYS	Inventario Estatal Forestal y de Suelos
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
INIFAP	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
LGDFS	Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable
MJA	Método de Jerarquías Analíticas
NFPA	<i>National Fire Protection Association</i>
OMM	Organización Meteorológica Mundial
ONG	Organización No Gubernamental
PAJ	Proceso Analítico Jerárquico
PEA	Población Económicamente Activa
PRECIP	Precipitación
PSA	Pago por Servicios Ambientales
PSAH	Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos
QGIS	Quantum Sistema de Información Geográfica
RAD GLOB	Radiación Solar
SAGARPA	Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural
SAV	Superficie – Área – Volumen
SEDATU	Secretaría de Desarrollo Territorial y Urbano
SEMARNAT	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales
SEMARNATH	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales del Estado de Hidalgo
SGM	Servicio Geológico Mexicano
SMI	Sistema de Mando de Incidencias
SPI	<i>Standardized Precipitation Index</i>
TEM MAX	Temperatura máxima
UPGF	Unidades Productoras de Germoplasma Forestal
VEL MAX	Velocidad máxima del viento

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Triangulo del Fuego y Triangulo del Comportamiento del fuego.....	18
Figura 2. Tipos de Incendios Forestales.....	19
Figura 3. Localización y vías de comunicación del municipio de Mineral del Monte.....	31
Figura 4. Diagrama del método de trabajo para la generación del modelo de Riesgo de Incendios forestales.....	36
Figura 5. Bitácora de registro de datos obtenidos en campo.....	44
Figura 6. Ponderación de las variables del componente Biótico-forestal.....	52
Figura 7. Ponderación de las variables del componente Meteorológico.....	53
Figura 8. Ponderación de las variables del componente Topográfico.....	53
Figura 9. Ponderación de las variables del componente Social.....	54
Figura 10. Mapa de amenaza por incendios forestales.....	69
Figura 11. Mapa de peligro a 5 años por incendios forestales.....	70
Figura 12. Mapa de peligro a 10 años por incendios forestales.....	71
Figura 13. Mapa de peligro a 25 años por incendios forestales.....	72
Figura 14. Mapa de peligro a 50 años por incendios forestales.....	73
Figura 15. Mapa de vulnerabilidad Social.....	74
Figura 16. Mapa de vulnerabilidad Forestal.....	75
Figura 17. Mapa de vulnerabilidad física.....	75
Figura 18. Ponderación de los mapas de peligro, vulnerabilidad, para obtener el mapa riesgo	77
Figura 19. Mapa de Modelo de riesgo por incendios forestales.....	80
Figura 20. Mapa de costos de riesgo a viviendas por incendios forestales.....	83
Figura 21. Mapa del modelo de riesgo por incendios forestales.....	98
Figura 22. Equipamiento para el combate y extinción de los incendios forestales.....	99
Figura 23. Visualización personalizada del mapa para imprimir en ArcGIS 10.3.....	111
Figura 24. Visualización personalizada del mapa de riesgo en QGIS 2.18.....	111
Figura 25. Visualización personalizada del mapa de riesgo en ArcGIS. 10.3.....	112
Figura 26. Mapa de incendios forestales compartido en la plataforma ArcGis online.....	112
Figura 27. Creación del mapa de incendios forestales, para compartirlo online for ArcGIS...	113

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Conversación con pobladores para saber su opinión acerca de los incendios forestales.....	45
Fotografía 2. Colecta de muestra de materia orgánica en el suelo.....	45
Fotografía 3. Medición del diámetro del fuste de encino.....	45
Fotografía 4. Estimación del peso de la muestra de materia orgánica.....	45
Fotografía 5. Toma de datos en el Bosque de oyamel que fue impactado por un incendio.....	45
Fotografía 6. Conversación acerca del incendio del 4 de abril de 2013.....	45
Fotografía 7. MMIF02. Bosque de oyamel, representa un peligro muy alto ante un incendio.....	46
Fotografía 8. MMIF03. Muestra el bosque de Pino-encino impactado por un incendio.....	46
Fotografía 9. MMIF07 Bosque de pino, tiene alta probabilidad a incendiarse.....	46
Fotografía 10. MMIF10 pastizal representa un peligro alto ante incendios.....	46
Fotografía 11. MMIF015 Bosque de oyamel, representa un peligro muy alto a un incendio.....	46
Fotografía 12. MMIF021. Muestra en bosque de encino, el cual presentó un incendio.....	46
Fotografía 13. Capacitadores e integrantes del curso d SMI-100.....	99
Fotografía 1. Vista del tipo de vivienda del Barrio Hiloche.....	126
Fotografía 2. Vista panorámica del Barrio Hiloche.....	126
Fotografía 3. Vista del tipo de vivienda de la localidad de Pueblo Nuevo.....	129
Fotografía 4. Tipo de viviendas de la localidad de Tezoantla.....	129
Fotografía 5. Vista panorámica de la localidad de Santa Rosalía.....	129
Fotografía 6. Vista panorámica de la localidad de San Pedro Huixotitla.....	129
Fotografía 7. Vista panorámica de la localidad de Ciénega Larga.....	129
Fotografía 8. Vista panorámica de la localidad de Barrio Escobar.....	129
Fotografía 9. Tipo de viviendas de la de la localidad de San Felipe el alto.....	130
Fotografía 10. Tipo de viviendas de la de la localidad de San Felipe el bajo.....	130

Fotografía 11. Tipo de viviendas del fraccionamiento Bosques de San Cayetano.	130
--	-----

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Porcentajes de amenaza y peligro con periodos de retorno de 5 hasta 50 años.	73
Gráfica 2. Porcentajes del riesgo.	78
Gráfica 3. Tipos de vegetación por rango de riesgo.	79
Gráfica 4. Componentes en espacio rotado.	102
Gráfica 5. Causas que ocasionan los incendios tipos de vegetación y costos durante el año 2013 106	
Gráfica 6. Costos por incendios tipos de vegetación y costos durante el año 2013.	107
Gráfica 7. Muestra el número de incendios registrados en un lapso de 5 años fue de 18 y16, 2009 y 2013 respectivamente.	108
Gráfica 8. Histograma de la frecuencia de incendios durante los años 2009 a 2013.	108
Gráfica 9. Gráfica cruzada de la frecuencia de incendios durante los años 2009 a 2013 vs superficie afectada.	108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estaciones hidrometeorológicas CONAGUA.	39
Tabla 2. Estaciones hidrometeorológicas (INIFAP).	39
Tabla 3. Modelo de combustible conforme al tipo de vegetación.	47
Tabla 4. Matriz PAJ con la estructura jerárquica y las comparaciones pareadas.	48
Tabla 5. Resultados de la obtención de los pesos de la matriz PAJ.	49
Tabla 6. Vector de suma ponderada.	49
Tabla 7. Variables del componente biótico.	51
Tabla 8. Variables componente meteorológico.	51
Tabla 9. Variables del componente Topográfico.	51
Tabla 10. Variables del componente social.	52
Tabla 11. Método de Gumbel.	55
Tabla 12. Condición de vulnerabilidad y valores de salud.	56
Tabla 13. Condición de vulnerabilidad y valores de nivel educativo.	56
Tabla 14. Condición de vulnerabilidad y valores de vivienda.	57
Tabla 15. Condición de vulnerabilidad y valores de empleo e ingresos.	57
Tabla 16. Condición de vulnerabilidad y valores de población.	58
Tabla 17. Distribución de la población por rango de edades de la población por grupos de edad.	58
Tabla 18. Distribución de las localidades del Municipio del Mineral del Monte.	59
Tabla 19. Resultados de los indicadores socioeconómicos.	60
Tabla 20. Cuestionario de capacidad de respuesta modificado para incendios forestales para Protección Civil del municipio de Mineral del Monte.	61
Tabla 21. Resultado de capacidad de respuesta. Tomada de CENAPRED,2006.	61
Tabla 22. Cuestionario de capacidad de respuesta.	62
Tabla 23. Resultado del cuestionario de percepción local.	62
Tabla 24. Resultado final para determinar el Grado de Vulnerabilidad Social.	63
Tabla 25. Rangos para determinar el Grado de Vulnerabilidad Social.	63
Tabla 26. Tipología de viviendas y costos por tipo de vivienda.	65
Tabla 27. Vulnerabilidad según tipo de vivienda y peligro.	65
Tabla 28. Tipos de bosques vulnerables al fuego.	67
Tabla 29. Costos unitarios por tipo de vivienda.	67
Tabla 30. Costos unitarios por tipo de vivienda modificados.	68
Tabla 31. Porcentajes de amenaza y peligro con periodos de retorno de 5 hasta 50 años.	69
Tabla 32. Localidades identificadas con alto grado de vulnerabilidad.	74
Tabla 33. Clasificación de los rangos de riesgo.	76
Tabla 34. Superficies y porcentajes mapa de Riesgo.	77
Tabla 35. Poblaciones identificadas con algún grado de riesgo.	80
Tabla 36. Estimación de costos por tipo de vivienda modificado.	81

Tabla 37. Evaluación de costos por tipo de vivienda modificado.	81
Tabla 38. Relación de Estimación daño físico-costo de reparación.	82
Tabla 39. Localidades y población identificada en riesgo.	82
Tabla 40. Clasificación de los rangos de riesgo.	84
Tabla 41. Costos unitarios del volumen m ³	86
Tabla 42. Cuantificación de superficies y estimación del volumen m ³ , número de árboles y costos de afectación.	86
Tabla 43. Costos unitarios de producción de hongos por hectárea.	88
Tabla 44. Costos de afectación de la producción de hongos por hectárea.	88
Tabla 45. Costos unitarios de producción de resina por hectárea.	89
Tabla 46. Costos de afectación de la producción de hongos por hectárea.	89
Tabla 47. Costos unitarios de producción de semilla por hectárea.	90
Tabla 48. Costos de afectación de la producción de producción de semilla por hectárea.	90
Tabla 49. Costos unitarios de producción de carbón vegetal por hectárea.	90
Tabla 50. Costos de afectación de la producción de producción de carbón vegetal a por hectárea.	91
Tabla 51. Costos unitarios de captura de carbono por hectárea.	92
Tabla 52. Costos de afectación de la captación de carbono por hectárea.	93
Tabla 53. Costos unitarios de captura de carbono por hectárea.	93
Tabla 54. Costos de afectación de almacenamiento de agua por hectárea.	94
Tabla 55. Estimación de costos de los Bienes y Servicios Ambientales.	96
Tabla 56. Resumen de la estimación de costos de las 7 variables que integran los Bienes y Servicios Ambientales.	96
Tabla 57. Estimación de costos por género, superficie en volumen m ³ /ha restauración y combate de incendios.	97
Tabla 58. Costos de los Bienes y Servicios Ambientales.	97
Tabla 59. Estimación de costos de restauración los Bienes y Servicios Ambientales.	97
Tabla 60. Estimación de costos de combate de incendios forestales.	100
Tabla 61. Diseño de la matriz homologada para el análisis de componentes principales.	101
Tabla 62. Causas que ocasionan los incendios tipos de vegetación y costos durante el año 2013.	106
Tabla 63. Frecuencia de incendios forestales de los años 2009 a 2013.	107

1. INTRODUCCIÓN

Los incendios son tan antiguos como el planeta, durante millones de años, el fuego ha sido una fuerza evolutiva común que ha definido el tipo de vida en la Tierra (CONAFOR, 2010a). Son una fuente significativa de las emisiones de gases que provocan el calentamiento global y la pérdida de millones de toneladas de carbono almacenado en los ecosistemas (Gutiérrez Martínez, Orozco Hernández, Ordoñez Díaz, y Camacho Sanabria, 2014). Sin embargo, el fuego puede tener una influencia positiva, pues ayuda a mantener la biodiversidad. Pero cuando se utiliza de forma irresponsable puede convertirse en un incendio forestal de consecuencias devastadoras para el medio ambiente y la seguridad de las personas (CONAFOR, 2010b).

Los mayas utilizaban el fuego en su sistema de actividades agrícolas conocidas como roza-tumba y quema, que en ocasiones devenían en incendios forestales que arrasaban vastas extensiones de selvas tropicales (CENAPRED, 2008). En este contexto, en México, se calcula que las actividades humanas ocasionan el 99% de los incendios y sólo el 1% de estos tiene como causa a los fenómenos naturales derivados de eventos meteorológicos, como descargas eléctricas o erupciones volcánicas (CONAFOR, 2010b).

Durante el año 2013, se registraron 10,406 incendios forestales en las 32 entidades federativas del país, afectando una superficie de 413,215.95 ha (INEGI, 2017), de esta superficie el 93.18% correspondió a vegetación de los estratos herbáceo y arbustivo y el 6.82% a arbóreo. Los estados con mayor número de incendios fueron: México, Michoacán, Distrito Federal, Chihuahua, Jalisco, Puebla, Hidalgo, Chiapas, Oaxaca y Tlaxcala, que representan el 82.53% del total nacional. Las entidades federativas con mayor superficie afectada fueron: Sonora, Jalisco, Oaxaca, Chihuahua, Guerrero, Quintana Roo, Chiapas, Durango, Baja California y Baja California Sur, que representan el 74.77% del total nacional (INEGI, 2017). El estado de Hidalgo reportó, en ese mismo año, 445 incendios con una afectación de 5,237.61 ha, principalmente en los municipios de Epazoyucan, Zempoala, Pachuca, Singuilucan, Mineral del Chico, Omitlán de Juárez, Acaxochitlán y Mineral del Monte, siendo éste municipio el más afectado con 24.60 ha (INEGI, 2017).

1.1. Antecedentes

De acuerdo con Rodríguez-Trejo (2017) en México, cada año se registran numerosos incendios forestales que afectan a los diversos ecosistemas terrestres, sin perder de vista que el fuego también cumple funciones ecológicas. En ese sentido la Subsecretaría de Protección Civil y Gestión de Riesgos refiere que una de las causas más frecuentes que afectan a los recursos naturales, principalmente forestales y faunísticos, son los incendios forestales. Estos contribuyen además a la contaminación del aire y al cambio climático (Villers Ruíz y López Blanco, 2006; CONAFOR, 2010 y Pérez-Verdin, Linares y Salmeron-Macias, 2013). Por tal motivo y en cumplimiento al acuerdo global de la Cumbre del Clima de París 2015, México se comprometió voluntariamente a reducir al año 2030 en 22% las emisiones de gases de efecto invernadero, 51% de carbono negro el cual proviene también de incendios forestales (ENAREDD, 2017).

Este tipo de situaciones han generado el interés de varios investigadores para determinar las causas y el comportamiento del fuego. En México, básicamente se contemplan tres aspectos: los efectos del fuego en los ecosistemas forestales, las actividades de prevención y combate, y el comportamiento del fuego y riesgos de incendios. Villers Ruíz (2006) e Ávila Flores, Pompa García y Vargas Pérez (2010) identificaron la relación entre la intensidad y cambio de uso del suelo, con los patrones de ocurrencia de fuego. Así mismo, Pérez-Verdin et al. (2013) vincularon la influencia de la densidad de población, vías de acceso, bajas precipitaciones y las altas temperaturas con el tamaño de los incendios en Durango, México, mientras que Carrillo García, Rodríguez Trejo, Tchikoué, Monterroso Rivas y Santillán Pérez (2012) demostraron que la precipitación media anual, la exposición del terreno y el número de vías de comunicación estuvieron relacionados con la distribución espacial de los siniestros en el estado de Puebla, México.

Román Cuesta y Martínez Vilalta (2006) definen: a mayor densidad de caminos y de extensiones agrícolas aumenta el número de incendios forestales en las selvas del estado de Chiapas, México. En tanto, Rodríguez Trejo, Ramírez Maldonado, Tichikoué y Santillán Pérez (2008) y Rodríguez Trejo (2014)

manifiestan que la superficie de las zonas afectadas, la velocidad máxima del viento, la cantidad de productores agrícolas que reciben apoyos durante el ciclo productivo primavera - verano, el número de combatientes de los siniestros y el nivel de alfabetización son las variables más relacionadas con el área afectada, con el número de incendios y otros indicadores de siniestralidad en México.

Durante los años 1998 al 2014, se registró en el país un promedio de 8,522 incendios, afectando 308,368 ha (CONAFOR, 2015). Mientras que en el estado de Hidalgo se presenta una frecuencia mediana de incendios con respecto al resto del país, los incendios forestales representaron aproximadamente el 1.17% de las emisiones de monóxido de carbono (CO) y 1.01% de las partículas con diámetro aerodinámico menor a 2.5 micrómetros (PM2.5) en el estado (SEMARNAT, 2016). Durante el periodo 2000 a 2011, el promedio de incendios fue de 171 sobre una superficie promedio igual a 1,385.4 ha (Cruz Espíndola, Rodríguez Trejo, Villanueva Morales y Santillán Pérez, 2017). Los máximos alcanzaron 346 incendios y 4,082.9 ha, ambos en 2011; mientras que los mínimos fueron 50 incendios y 164.7 ha, en 2007 (Cruz Espíndola et al., 2017). Sin embargo, en el año 2013 se registró el incendio de mayor impacto ambiental, social y económico en Mineral del Monte, afectando a 1,200 ha, lo que conllevó a evacuar a 1,200 habitantes de las localidades de Ciénega Larga, Santa Rosalía y Tezoantla (Rincón, Tonantzín, García Tinoco, y Notimex, 2013).

Derivado de todo lo anterior, se pretende contribuir al fortalecimiento del conocimiento para el manejo integral del fuego y para ello es necesario plantear los siguientes:

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo general

Generar un modelo de riesgo por incendios forestales en el municipio de Mineral del Monte, Hidalgo. México.

1.2.2. Objetivos particulares

- Identificar las variables ambientales y sociales que intervienen en un incendio forestal.
- Indentificar las causas que originan los incendios forestales.
- Identificar las áreas y la probabilidad de ocurrencia de un incendio forestal.
- Determinar los costos de: las viviendas en caso de ser afectadas, de supresión de un incendio y de la restauración ambiental.
- Determinar la valorización económica de los servicios ecosistémicos, en caso de verse afectados por el fuego.
- Personalizar una interfaz gráfica de fácil manipulación en las plataformas de los software ArcGIS 10.3 y QGIS.
- Compartir el mapa de riesgos en la plataforma ArcGIS *online*.

1.3. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- ¿Qué características socio-culturales favorecen al uso del fuego?
- ¿Qué factores naturales interviene en la propagación de los incendios forestales?
- ¿Cuáles son los tipos de cobertura vegetal que son más propensos (vulnerables) a incendiarse?
- ¿Cuál es la frecuencia de ocurrencia de los incendios forestales?

1.4. JUSTIFICACIÓN

Mineral del Monte cobra una relevante importancia a nivel nacional, debido a que fue precursor de la minería en México. Es por ello que, y para evitar un deterioro ambiental, en 1937 fue decretada Zona Protectora Forestal de Pachuca, la cual abarcaba hasta el Cerro del Hiloche. Esta condición, llevó a que el Bosque del Hiloche fuera declarado, en 1996, área natural de dominio municipal, ya que se ubica en la Sierra de Pachuca, alberga bastos bosques de Oyamel, Pino, Encino (*Quercus pachucana*, endemico de esta zona), Pino-Encino y Tásate (Sabino) (Valencia, 2004) y posteriormete fue decretado como Parque Estatal, para conservar y restaurar la fuperficie forestal.

Los ecosistemas forestales en Mineral del Monte, proporcionan varios bienes a la comunidad como, fuente de almacenamiento de agua y carbono, además de alimento y madera para la construcción, también alberga numerosas especies de flora y fauna. Todo ello en 1,815.05 ha de coníferas y 1,856.12 ha de latifoliadas, las cuales representan un 32% y 28% de la superficie total del municipio, respectivamente (CONAFOR, 2014). Este tipo de ecosistemas año tras año se ven amenazados por los incendios forestales que, en su gran mayoría, son consecuencia de la negligencia por las actividades antrópicas, así como su localización geográfica, que en muchas ocasiones son de difícil acceso para los combatientes del fuego (Villers Ruíz y Hernández Lozano, 2007).

Actualmente en México, existen varias investigaciones con propuestas metodológicas para la evaluación del peligro y riesgo por incendios forestales: entre ellas, Centro Nacional para la Prevención de Desastres (CENAPRED, 2008; Villers Ruíz y López Blanco, 2006; Flores Garnica, Benavides Solorio, Valdés Ramírez, Vega Montes de Oca y Casillas Díaz, 2016; Rodríguez Trejo et al., 2008; Carrillo García et al., 2012; Pérez-Verdin et al., 2013; Rodríguez Trejo, 2012; SGM, 2013 y Cruz Espíndola et al., 2017). En consecuencia, se siguen duplicando esfuerzos para este objetivo en común que tienen el gobierno estatal y federal, así como diversas instituciones académicas y Organización No Gubernamental (ONG).

Derivado de lo anterior, y con la idea de unificar un método práctico e integral, el presente trabajo propone una metodología alternativa, a través del MÉTODO MULTICRITERIO, el cuál mediante el Proceso Analítico Jerárquico y con los Sistemas de Información Geográfica como herramienta, se podrán identificar y cuantificar las zonas de peligro y riesgo por incendios forestales. Adicionalmente, servirá de apoyo para las autoridades y responsables de la toma de decisiones y contribuirá al conocimiento en la gestión integral del fuego.

1.5. **ALCANCE**

Por medio de la toma de datos en campo, el análisis de las variables que interviene en un incendio forestal, la aplicación del Proceso Analítico Jerárquico, se pretende generar un modelo de riesgo por incendios forestales.

En otras palabras, para Identificar y cuantificar las áreas de posible afectación de coníferas y latifoliadas como principal vegetación propensa a ignición y propagación del fuego se considerarán variables bióticas y abióticas, principales actividades económicas, y distancias a poblados y carreteras. Con ello, se llevará a cabo una ponderación espacial, al resultado final se le asignará un grado de riesgo utilizando valores de Muy Bajo a Muy Alto.

La escala de trabajo será de 1:20,000, suficiente para determinar aquellas localidades más vulnerables ante una situación de incendio forestal, estimar los costos de las viviendas que pudieran ser afectadas, además del costo de los servicios ambientales, (incluyendo los productos forestales maderables y no maderables como: pérdida en metros cúbicos de los bosques de pino, oyamel y encino, hongo en kilogramos, carbón en kilogramos, resina en kilogramos, captura de carbono en toneladas por hectárea y almacenamiento de agua en metros cúbicos por hectárea).

Así mismo, se llegará a estimar los costos por supresión de un incendio por hectárea, incluyendo el equipamiento y personas que integran las cuadrillas de combate.

Finalmente, se personalizará un interfaz, por medio de iconos en la herramienta de tareas del software ArcGIS y QGIS, para su fácil visualización y manipulación por parte del personal de Protección Civil de municipio de Mineral del Monte.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco Teórico

2.1.1. Incendios forestales

El fuego es un fenómeno fisicoquímico, en el cual la energía contenida en los enlaces químicos de los compuestos orgánicos se libera en forma de luz y calor en un proceso de oxidación (CONAFOR, 2012). Para que se produzca el fuego, se necesitan tres elementos que constituyen el triángulo del fuego: el combustible (los materiales orgánicos), el comburente (oxígeno) y calor (que inicia el proceso de combustión y lo mantiene) (CONAFOR, 2012). Ver Figura 1.



Figura 1. Triángulo del Fuego y Triángulo del Comportamiento del fuego. (CONAFOR, 2012)

Un incendio forestal es la perturbación que, con una ocurrencia y propagación no controlada del fuego, afecta bosques, selvas y vegetación de zonas áridas y semiáridas (Villers Ruíz y Hernández Lozano, 2007; CONAFOR, 2010 y CONAFOR, 2014).

En un incendio forestal, el fuego se propaga alimentándose del combustible disponible para la combustión. El tipo de materiales combustibles y sus características físicas y químicas, la cantidad o carga de los mismos, su grado de compactación, su distribución espacial en el plano horizontal y en el vertical, son factores que influyen en la manera en que se comporta el fuego (CONAFOR, 2012).

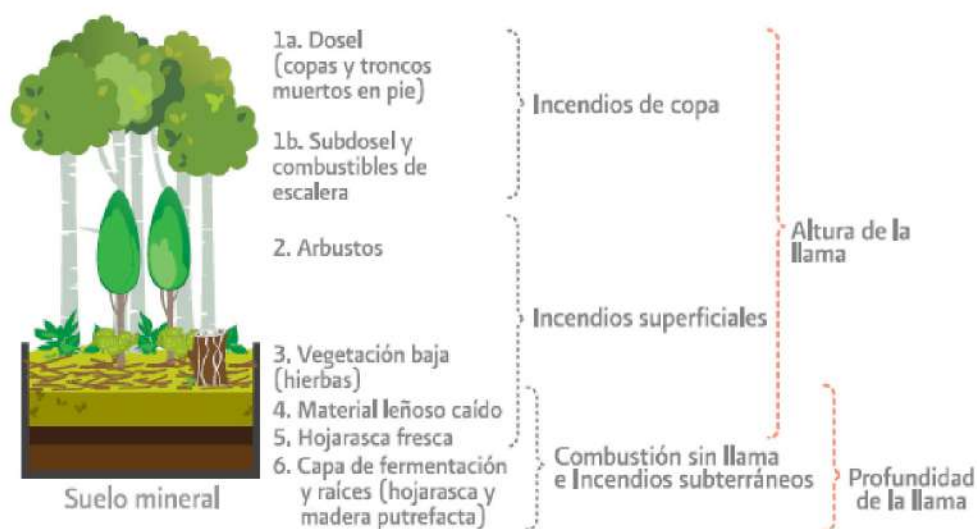


Figura 2. Tipos de Incendios Forestales. (CONAFOR, 2012)

La ocurrencia de los incendios depende de diversas variables climatológicas y topográficas (precipitación, altitud, humedad, temperatura y exposición (Pérez-Verdin et al., 2013).

Existen tres tipos de incendios forestales: superficiales, donde el fuego consume los combustibles que se han depositado sobre el suelo, como hierbas, zacates, leñas, hojarasca, sin quemar todo el cuerpo de los árboles; subterráneos, donde el fuego quema el mantillo y raíces bajo la superficie del suelo o la materia orgánica acumulada en las fracturas de grandes afloramientos de roca; y por último, los incendios de copa o corona, los cuales son poco frecuentes en México (Cedeño 1999 citado en Villers Ruíz y López Blanco, 2006; CONAFOR, 2012).

2.1.2. Jerarquía normativa

Del artículo 127 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, emana la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS), emitida en el año 2003 y cuya última actualización es de junio de 2018. Esta ley tiene por objeto regular y fomentar el manejo integral y sustentable de los territorios forestales, la conservación, protección, restauración, producción, ordenación, el cultivo, manejo y aprovechamiento de los ecosistemas forestales del país y sus recursos (DOF,

2018). En este sentido se creó el Programa Nacional Forestal 2014 – 2018, el cual en su objetivo número 5 establece: detener y revertir la pérdida de capital natural y la contaminación del agua, aire y suelo, mediante el desarrollo y fortalecimiento de las estrategias para prevenir y controlar incendios (DOF, 2014).

Con el fin de vincular el Programa Nacional Forestal 2014 – 2018 al Gobierno del Estado de Hidalgo, se creó el Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2017-2022 que a través de su objetivo número 5.5, establece: proteger, conservar, restaurar y aprovechar sustentablemente la biodiversidad y los recursos forestales, que aseguren la preservación del patrimonio natural del Estado de Hidalgo (SEMARNATH, 2008).

Otro instrumento jurídico es la Norma Oficial Mexicana NOM-015-SEMARNAP/SAGAR-1997 que establece las especificaciones técnicas de métodos de uso del fuego en terrenos forestales y en los terrenos de uso agropecuario, (DOF, 2009).

Por otro lado, La Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, considera como una infracción, en su artículo 163 fracción XI: Provocar intencionalmente o por imprudencia, incendios en terrenos forestales o preferentemente forestales.

2.1.3. Factores que intervienen en un incendio

Los incendios forestales son eventos que se generan por la intervención de una serie de fenómenos tanto antrópicos como naturales (Cruz López, 2013). Sin embargo, la mayoría de éstos se deben a la intervención de factores como la tala inmoderada, el turismo no ecológico, la cercanía de terrenos de cultivo a los bosques, cambio de uso de suelo y la cercanía a caminos (SEDATU, 2014; DOF, 2016).

Factores constantes

- **Tipo de ecosistema**

Se considera como más vulnerable a las selvas tropicales y bosque mesófilo de montaña, en nivel medio a los bosques de coníferas y encinos, y menos vulnerables los pastizales, vegetación hidrófila, matorral xerófilo y selva espinosa (Flores Garnica et al., 2016)

- **Composición de los combustibles**

Los combustibles forestales son toda la materia orgánica que se encuentra en los bosques (follaje, tallos y ramas, raíces) troncos de árboles muertos en pie o caídos, tocones, residuos leñosos y la materia orgánica del suelo (CONAFOR, 2012).

- **Topografía**

Los factores topográficos tienen una relación directa con el comportamiento del fuego en cuanto a la propagación, tanto en la velocidad como en extensión. Esto se debe a que el incendio al encontrarse con una pendiente, incrementa el calor que se transfiere por radiación y convección cuando el fuego asciende (Fernández Morís, 2015). De la misma manera, las áreas con orientación norte y de alta elevación tienen menor riesgo de presencia de incendios, mientras que aquellas con orientación sur y suroeste generalmente son más susceptibles a la presencia de incendios (Pérez-Verdin et al., 2013).

- **Hipsometría**

Al aumentar la altura disminuye la capa de aire, y consecuentemente la presión atmosférica; el aire disponible absorbe menos calor solar, descendiendo la temperatura y aumentando la humedad. La temperatura va disminuyendo a mayor altitud aproximadamente unos 6.4°C por cada 1000 metros de altura (Tejeda-Martínez, Méndez Pérez, Rodríguez Catalina y Tejeda Zacarias, 2018).

- **Pendientes y orientación de las pendientes**

La configuración del terreno tiene gran importancia en la ocurrencia de incendios debido a su influencia sobre el clima y los combustibles, ya que a medida que la altitud aumenta, la densidad forestal disminuye, dando lugar a una escasa acumulación de combustible (Martín et al., 1998 citado en Castañeda Rojas, 2013)

Factores dinámicos

- **Temperatura**

La temperatura atmosférica indica la cantidad de energía calorífica acumulada en el aire. Es importante tomar en cuenta la temperatura, porque, mientras sea más alta, existe mayor peligro de incendio y más si se le añade la presencia de vientos fuertes y escasa humedad ambiental (Plan INFOCA, 2015 citado en Flores Garnica et al., 2016). La temperatura es importante ya que cuando se presentan temperaturas más altas, existe una influencia directa en la disminución de humedad de los combustibles presentes en los ecosistemas (Flores Garnica et al., 2016).

- **Precipitación**

La medición del volumen, intensidad y duración de las precipitaciones permite estimar la recarga de agua en el perfil del suelo, prever inundaciones, entre otros aspectos que deterioran los bosques y puede utilizarse para calcular balances hídricos e índices de sequía (Bravo-Mosqueda et al., 2014). Éste último es el de mayor interés como factor para un incendio forestal.

- **Índice de precipitación estandarizado (*Standardized Precipitation Index*).**

El SPI (*Standardized Precipitation Index*) (McKee, Doesken y Kleist, 1993) o índice de precipitación estandarizado. Es útil para detectar periodos atípicamente lluviosos, donde los registros de precipitación superiores al promedio histórico del periodo de tiempo correspondiente dan valores de SPI positivos lo cual expresa condiciones de humedad; y los registros de precipitación inferiores al promedio histórico en un lapso de tiempo, arrojan valores negativos, lo que indica un déficit en la cantidad de humedad.

- **Humedad relativa**

Los combustibles muertos se secan con las altas temperaturas, pudiendo establecer que cuando la humedad del mismo cae por debajo del 25%, están disponibles para arder y cuanto más baja es, más fuerte arden, esto es porque obtienen su humedad únicamente del aire, actúan como una esponja, pierden humedad rápidamente y en mayor cantidad que los combustibles vivos (Gobierno de Aragón, 2001).

- **Evaporación**

El agua en estado líquido se encuentra en almacenamiento en el suelo y en las capas cercanas a la superficie, la cual se transforma a estado gaseoso y se trasfiere a la atmosfera (Barco et al., 2000).

- **Radiación**

Las herramientas de análisis de radiación solar calculan la insolación en un paisaje o en ubicaciones específicas, basada en métodos de algoritmo de cuenca visual hemisférica desarrollados por Rich, Dubayah, Hetrick y Saving (1994) y ampliados por Fu y Rich (2002).

- **Velocidad y dirección del viento**

Este factor cambia más frecuente y violentamente, en cualquier dirección; puede propiciar emisión de pavesas que originen nuevos brotes de fuego.

El viento es aire en movimiento que obedece a cambios de temperatura (el aire caliente tiende a subir; el aire frío tiende a bajar). En áreas de combustibles homogéneos el viento rige la dirección del fuego y determina la configuración del incendio (SGM, 2013). La velocidad de los vientos, en época de incendios se intensifica de entre 15 a 18 km h⁻¹ y su dirección, del sur hacia el norte del estado donde se encuentran grandes extensiones de bosque templado (Gutiérrez Martínez et al., 2014).

2.1.4. La Regla de los 30-30-30.

En prevención se suele emplear una regla muy sencilla para determinar si existe riesgo debido a las condiciones meteorológicas. Es la regla del 30. Consiste en que en los días en los que se superan 30°C, el viento sopla a más de 30 km/h, la humedad relativa del aire está por debajo del 30% y hay un periodo de sequía mayor de 30 días, son días en los que se deben extremar las precauciones puesto que se dan las circunstancias necesarias para iniciarse un incendio forestal. En caso de que se inicie éste va a resultar muy difícil de controlar (Gobierno de Aragón, 2001).

Factores de causa

- **Actividades económicas (actividades antrópicas)**

Se estima que más del 90% de los incendios forestales son causadas por actividades agrícolas y pecuarias asociadas al uso del fuego, ya que es utilizado como herramienta para remover la vegetación, y hacer el cambio de uso de suelo para crear nuevas áreas de cultivo o de pastoreo (Chiuveco et al., 2010; CONAFOR, 2010 y Flores Garnica et al., 2016).

- **Cercanía a los centros urbanos y caminos**

Representar espacialmente este tipo de actividades es complejo, por lo que se debe realizar un análisis de los rasgos geográficos asociados con actividades humanas, tales como distancia a vías de acceso al sitio de estudio y distancia a poblados (DOF, 2016; Cáceres, 2011; IDEAM, 2011 y Chiuveco et al., 2012).

2.2. Marco Histórico

2.2.1. Cambio climático y los incendios forestales

En años anteriores se han publicado diversos estudios que relacionan los eventos de “El Niño” con la incidencia de incendios forestales (Villers-Ruiz y Hernández Lozano, 2008 y Sánchez Rojas, Ballesteros Barrera y Pavón, 2011). El calentamiento del sistema climático se observa en el aumento de temperatura

promedio del aire y los océanos, el deshielo masivo de glaciares y hielos, y la elevación del promedio del nivel del mar en todo el mundo (IPCC, 2007).

Para el año 2050 los bosques de coníferas y latifoliadas en México estarán expuestos a mayor temperatura y menor precipitación (Trejo, Hernández y Villers, 2010). Se proyecta que esta tendencia en los bosques boreales continúe conforme la severidad del tiempo atmosférico para los incendios y la intensidad del fuego aumentarán bruscamente hasta 4-5 veces los valores máximos actuales a finales del siglo (Groot, Flannigan y Stocks, 2012).

2.2.2. El fuego y los ecosistemas

Las relaciones del fuego con un ecosistema se definen en lo que se llama régimen del fuego y tiene que ver con la severidad, la intensidad, la escala espacial, la estacionalidad y la fuente predominante de ignición. Según el régimen del fuego que poseen, los ecosistemas se clasifican en 3 categorías: ecosistemas a) sensibles, b) dependientes y c) independientes del fuego (CONAFOR, 2010).

- a) Selvas Tropicales y Bosques de Oyamel. Cuando hay presencia del fuego, pueden ocasionar incendios eventuales que se presentan cuando hay sequía extrema, pero resultan ser catastróficos.
- b) Se agrupan los géneros de *Pinus* y *Quercus*. En presencia del fuego llegan a ocasionar incendios superficiales, estos ocurren cada dos a diez años. Muchas especies recuperan follaje cuando parte de su copa ha sido afectada por el incendio.
- c) Vegetación de zonas semiáridas y áridas.

2.3. Marco Metodológico

2.3.1. Métodos de análisis de incendios

La necesidad de un método para evaluar el peligro de incendios forestales se reconoció al menos desde 1940 (Burgan, Klaver y Klaver, 1998). El primer Sistema de Clasificación Nacional de Peligro de Incendio, se introdujo en 1972 (Rothermel, 1972 y Deeming et al., 1972 citado en Burgan et al., 1998). Para la década de los

80's, el interés de continuar evaluando el peligro por incendios forestales con tecnologías como los sensores remotos y los SIG detonó que más investigadores se interesaran en este tipo de trabajos. Por esta razón, la evaluación del riesgo de los incendios forestales ha incrementado considerablemente a escala mundial y con ello se ha difundido el conocimiento para mitigar los efectos de tales eventos.

Diversos autores coinciden en que la interacción entre la vegetación, la topografía, el clima y las actividades humanas determinan las características del comportamiento del fuego (Burgan et al., 1998; Villers Ruíz y López Blanco, 2006; Villers-Ruiz y Hernández Lozano, 2008; DOF, 2016; CENAPRED, 2008; Cáceres, 2011; IDEAM, 2011; Chiuveco y Russell, 1989; Chiuveco et al., 2010; Chiuveco et al., 2012; Castañeda Rojas, 2013; Pérez-Verdin et al., 2013; Gutiérrez Martínez et al., 2014; Flores Garnica et al., 2016 y Flores et al., 2017).

Sensores remotos

Las primeras aplicaciones de la teledetección para el mapeo de incendios forestales datan de la década de 1960, cuando se probaron varios escáneres infrarrojos aéreos para detectar puntos de incendio (Chiuveco y Russell, 1989). La utilización de los sensores remotos, por medio de la prospección visual tiene una gran ventaja en la detección de los incendios forestales a través del monitoreo, es repetitivo y consistente y abarca una gran extensión territorial (Yakubu, Mireky Gyimah y Duker, 2015). En México a partir del año 1999, se genera información a través de la plataforma: <http://incendios.conabio.gob.mx/>, de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 2020) para la atención de incendios forestales usando datos satelitales como insumo principal (Cruz López, 2013).

Modelo de regresión logística

Consiste en hacer una evaluación cuantitativa aleatoria, se calculan los pesos de diferentes variables para obtener un índice de riesgo (Yakubu et al., 2015), esta es una herramienta rápida y flexible que puede complementarse con otros modelos más complejos (Chiuveco et al., 2012).

Evaluación multi-criterio

Proceso Analítico Jerárquico (AHP, *Analytic Hierarchy Process*) (Laxmi Kant, Shruti, Mahendra Singh, Suman y Prem, 2012) es conocido como: Método de Jerarquías Analíticas (MJA) o Proceso Analítico Jerárquico (PAJ), desarrollado por el matemático Saaty (1980). Se basa en definir la jerarquía de los atributos más importantes del problema, después realizar comparaciones pareadas de los elementos. Los criterios pueden ser de dos tipos: factores y restricciones (García-Soldado y Chica-Olmo, 2012). Los factores son, generalmente, de naturaleza continua, como: el tipo de vegetación, las pendientes y la sequía; y las restricciones son el sistema expuesto, como: la población, sus bienes o el medioambiente (Chiuveco et al., 2012 y Yakubu et al., 2015).

2.3.2. Modelos de simulación en el comportamiento del fuego.

La evaluación del riesgo de incendios forestales y la planificación del manejo del combustible son problemas complejos que requieren modelado de comportamiento de incendios de última generación y análisis geoespacial intensivo, (Vaillant, Ager y Anderson, 2013) Este tipo de modelos consisten en la utilización de algún simulador del comportamiento existente para la evaluación de la posición del fuego después de haber transcurrido un tiempo determinado, para ello se utilizan programas como BEHAVE, FARSITE y SATFOR. Existen otros softwares que permiten evaluar el comportamiento del fuego como son: BehavePlus, FIRESTATION y FMAPlus (*Fuel Management Analyst*) y FlamMap, el más empleado, es el sistema de predicción de comportamiento del fuego de Rothermel (1972).

Por otro lado, *ArcFuels* es una interfaz simple dentro de ArcMap y que proporciona un flujo lógico e interactivo, además permite hacer modelos de riesgo (Vaillant et al., 2013).

2.3.3. Escala de trabajo y referencia espacial

La evaluación del riesgo de incendios puede abordarse en diferentes escalas espaciales, sin embargo, para identificar las principales características geomorfológicas, como cerros y ríos, zonas de vegetación, asentamientos humanos y vías de comunicación, se recomienda utilizar la escala 1: 50,000 o de preferencia escala 1: 20,000 (SEDATU, 2014 y DOF, 2016).

Para México, los principales Datum son WGS84 (Sistema Geodésico mundial de 1984) y el ITRF92 (Marco de Referencia Terrestre Internacional de 1992).

2.3.4. Evaluación de la amenaza

La probabilidad de ocurrencia de algún evento catastrófico, en un cierto sitio o región constituye una amenaza, entendida entonces como una condición latente de posible generación de eventos perturbadores (CENAPRED, 2014)

2.3.5. Evaluación de peligro

Se evalúa el peligro para identificar y mapear áreas en función de diversos factores que en conjunto aumenten la probabilidad de incendios forestales (NFPA, 2013). Hacer una representación espacial de esto con un SIG, es una manera efectiva para combinar dichos factores. Adicionalmente, se pueden generar escenarios para conocer el nivel de peligro por incendios forestales.

2.3.6. Evaluación de la vulnerabilidad (física, social y forestal)

Se define como la susceptibilidad o propensión de los sistemas expuestos a ser afectados o dañados por el efecto de un incendio forestal. Considerando a los sistemas expuestos como los tipos de vegetación, cultivos, infraestructura, el número de personas o especies animales que se encuentren en un sitio específico y que son susceptibles de sufrir daño (CENAPRED, 2014).

Vulnerabilidad física

Se refiere a la localización de la población y la infraestructura asociada a ella en zona de riesgo. La mayor vulnerabilidad de este tipo se asocia con condiciones de pobreza, entre otros factores (CENAPRED, 2014).

Vulnerabilidad social

La vulnerabilidad social ante amenazas naturales se entiende como el nivel específico de exposición y fragilidad que sufren los grupos humanos asentados en un lugar ante ciertos eventos peligrosos. Este tipo de vulnerabilidad es mayor en los estratos más pobres de los países en desarrollo y dentro de ellos se consideran más vulnerables los grupos de niños y ancianos, debido a que su capacidad de preparación, respuesta y recuperación ante eventos perturbadores es muy reducida (Thomas Bohórquez, 2013).

Vulnerabilidad forestal

Definida como la adaptación de los distintos tipos de cobertura vegetal al fuego y los regímenes del mismo (IDEAM, 2011).

2.3.7. Evaluación de riesgo

El riesgo es una variable muy compleja de cuantificar, es muy cambiante en tiempo y espacio, debido a los fenómenos naturales o antropogénicos que intervienen de las amenazas y peligros que aquejan continuamente (CENAPRED, 2014). De ahí, la necesidad de comprender y cuantificar los peligros, evaluar la vulnerabilidad y con ello establecer los niveles de riesgo (DOF, 2016).

2.3.8. Estimación de costos

De los sistemas expuestos

Los sistemas estructurales y las obras de ingeniería en general pueden experimentar distintas formas de falla o de daños físicos, los que a su vez pueden conducir a consecuencias de diversas clases, entre las que se encuentran los costos directos, como los de reparación, o los indirectos, como los asociados a la interrupción de las funciones del sistema. El daño físico se relaciona con el costo

de reparación de la construcción. En este caso no se incluirá el costo del terreno (superficie donde está construida la vivienda) pues se supone que aun ante un colapso total, el propietario sigue siendo dueño del predio en donde se reconstruiría totalmente la edificación.

La cuantificación de las pérdidas producidas en México por fenómenos naturales durante los últimos 20 años del siglo pasado señala un promedio anual de 500 vidas humanas y 700 millones de dólares (CENAPRED, 2014)

Para la supresión de un incendio

Los costos derivados de la supresión del fuego, también revela impactos y suma a las pérdidas en las que se incurren cuando los bosques se queman.

Para la restauración de las zonas afectadas

La determinación de los costos de referencia, se expiden en el DOF (2014) estos a su vez, se basa en las características de las zonas ecológicas y actividades necesarias para la reforestación o restauración y su mantenimiento, tales como los precios de los insumos necesarios, rendimiento de mano de obra, rendimientos de maquinaria y demás cargos para llevar a cabo las actividades de reforestación o restauración. El objetivo de la compensación ambiental por cambio de uso del suelo en terrenos forestales es la generación de un nuevo ecosistema forestal que compense la vegetación y los servicios ambientales perdidos, por lo que se considera un costo total por hectárea.

3. METODOLOGÍA

3.1. ÁREA DE ESTUDIO

3.1.1. Localización

El municipio de Mineral del Monte se ubica al centro-sureste del estado de Hidalgo, México. Sobre la Sierra de Pachuca. Geográficamente se encuentra entre las coordenadas extremas 20°08'21" de latitud norte y los meridianos 98°40'18" de longitud oeste, colinda al norte con Mineral del Chico; al este con Omitlán de Juárez, al sur con Mineral de la Reforma y Epazoyucan, y al oeste con Pachuca.

Siendo una de las regiones habitadas más altas del país con 2,600 a 3,100 msnm, Mineral del Monte está conformado por 19 localidades que se distribuyen en una superficie territorial de 77.10 km². Representa el 0.4% del total de la superficie del estado de Hidalgo. La cabecera municipal se ubica a 90 minutos de la Ciudad de México y a 12 km de la ciudad de Pachuca, capital del estado de Hidalgo (Figura 3).

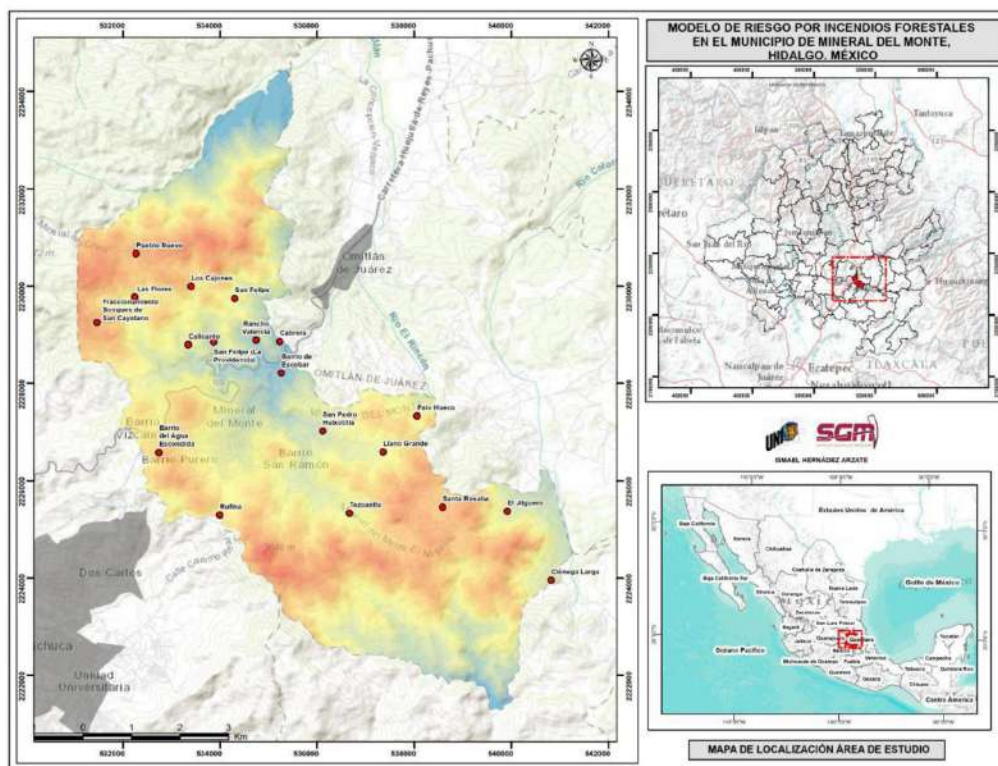


Figura 3. Localización y vías de comunicación del municipio de Mineral del Monte.

3.1.2. Caracterización de los elementos del medio natural

Geología

De acuerdo con el Servicio Geológico Mexicano (SGM, 2007) dentro del territorio del Municipio de Mineral del Monte, aflora la unidad definida informalmente como ToA-BvA (andesita-brecha andesítica), constituida por derrames andesíticos masivos que varían gradualmente de composición hacia dacíticos, a la cual le asignaron una edad del Oligoceno. Esta unidad informal, agrupa a las formaciones Corteza, Pachuca, Real del Monte, Santa Gertrudis y Vizcaína (Geyne, Fries, Segerstrom, Black y Wilson, 1963).

Edafología

Las principales unidades de suelos del municipio estudiado son las siguientes (INEGI, 2004 y FAO, 2014).

Cambisol. Caracterizados por tener una capa superficial de color claro limitada en materia orgánica o una capa superficial de color oscuro y rica en materia orgánica, sobre una capa con estructura de suelo y no de roca a menos que esté cubierto por 50 cm o más de material nuevo. El mejor uso a que pueden destinarse es el forestal. Este tipo de suelo predomina con el 80%.

Feozem. Tienen una capa superficial blanda de color oscuro, rica en materia orgánica y nutrientes, presente una capa de acumulación de carbonatos o concentraciones de cal dentro de los primeros 125 cm de profundidad.

Luvisol. Estos suelos se localizan sobre zonas templadas, se caracterizan por horizonte B en el cual ha habido acumulación de arcilla, que tienen una saturación de 50% o más cuando menos en la parte inferior del horizonte B dentro de los 125 cm de profundidad.

Uso de suelo y vegetación

El municipio tiene una cobertura forestal de coníferas y latifoliadas representativas de la Sierra de Pachuca, al norte se encuentra el Parque Nacional "El Chico" y al centro sur, el Parque estatal "El Hiloche" (COEDE, 2001).

Allí converge el bosque de oyamel: integrado en su mayoría por árboles de abetos (*Abies religiosa*). El estrato arbóreo inferior tiene unos 15 m de alto y está conformado por: Aile (*Alnus firmifolia*), Cipres (*Cupressus lindleyi*), Capulin (*Prunus serótina*), Encinos (*Quercus crassifolia*, *Quercus rugosa*, *Quercus laurina*) Madroños (*Arbutus glandulosa*, *A. xalapensis*) (COEDE, 2001 y CONAFOR, 2014).

El bosque de pino: se caracteriza por la presencia del género *Pinus* en un porcentaje mayor del 80%, generalmente alcanzan una altura de 20 metros, fustes de 20 a 60 cm de diámetro; es común que se encuentren asociados con latifoliadas; usualmente del género *Quercus*. Las especies que se pueden encontrar en este tipo de bosque son: *Pinus montezumae*, *P. rudis*, *P. patula* y *P. teocote*.

El bosque de *Juniperus*: se caracteriza por la presencia de árboles achaparrados, siempre verdes, miden entre 3 a 8 metros de altura, se encuentran al sureste del municipio, es usual encontrarlos intercalados con bosques de encino y pino, estos bosques están formados principalmente por *Juniperus fláccida* y *Juniperus deppeana*, con algunos elementos de matorrales y pastizales (Rzedowski, 2006).

Los bosques de encino: se ubican al norte de la cabecera municipal, son muy variables en su estructura y fisonomía, algunos especímenes pueden llegar a medir 15 metros de alto, son caducifolios, estos pierden su follaje durante un corto período del año, las especies que existen son: *Quercus castanea*, *Q. laeta*, *Q. mexicana* y *Q. obtusata* (Rzedowski, 2006).

Bosque de pino-encino: estos bosques mixtos son de gran relevancia y se desarrollan al sur del municipio. Las especies más abundantes son: *Pinus leiophylla*, *P. montezumae*, *P. patula* y *P. rudis* mezclados con *Quercus rugosa*, *Q. laurina*, *Q. castanea*, *Q. eduardii*, *Q. mexicana* (Rzedowski, 2006).

Pastizales: estos se ubican al sureste del municipio en pequeños manchones, esta es una asociación vegetal del género de gramíneas, crecen en áreas en donde

el hombre interviene, en terrenos agrícolas abandonados o bosques talados con introducción de fuego. Estos se utilizan para alimentación del ganado ovino principalmente. Los géneros dominantes son de *Aristida* y *Muhlenbergia* (Rzedowski, 2006 y Estrada Contreras, 2006).

Agricultura: este tipo de actividad de tradición ancestral, sólo es con fines de autoconsumo, ya que el tipo de suelo no es apto para esta actividad, la cual se lleva al cabo en la zona centro sur, abarcando 29% de la superficie del municipio. El maíz es lo que se cultiva principalmente (CONAFOR, 2014).

Hidrografía superficial

El municipio está constituido por tres sistemas de agua, pertenecientes a la vertiente del Golfo de México. El primero de ellos en razón de estar constituido por el Río Amajac, se origina en el anfiteatro de la Sierra de Pachuca al norte del Municipio, más adelante, el río toma el nombre de Omitlán, posteriormente las aguas se unen al río Metztlán, formando el caudal que desemboca en el Río Moctezuma, el que a su vez desemboca finalmente en el Pánuco, cerca de la ciudad de Tampico, Tamaulipas (COEDE, 2001 y CONAGUA, 2015).

Clima

Los principales elementos climáticos: temperatura y precipitación, varían en el territorio de acuerdo con la altitud, la configuración del relieve y el flujo principal de los vientos dominantes (COEDE, 2001).

Clima predominante Templado subhúmedo con lluvias de verano C (w2) (w) y C (w2), la estación "Real del Monte", se ubica al oeste del municipio sobre una zona transición entre los climas templados y los semifríos a 2800 msnm, con una temperatura media anual de 12.3°C y una precipitación de 1200 mm anuales, se puede observar la concentración de las lluvias en el verano (García, 2014).

3.1.3. Caracterización de los elementos sociales

Población

De acuerdo al II Censo de Población y Vivienda del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2010b), Mineral del Monte cuenta con 13,864 habitantes que representa el 0.52% de la población del estado de Hidalgo; se distribuyen en 20 localidades dentro de una superficie de 77.10 km², lo que constituye una densidad poblacional de 259.48 habitantes/km².

La localidad más poblada corresponde a la cabecera municipal de Mineral del Monte con 11,015 habitantes, seguido de Pueblo Nuevo y Tezoantla que tienen un poco más de 700 habitantes, en contraste con las localidades que tienen menos de 10 habitantes como Rufina, Cabrera, Los Cajones y Las Flores (INEGI, 2010b).

Vivienda

INEGI (2010b) reporta para Mineral del Monte un total de 4,336 viviendas, lo que representa el 0.48% del total en el estado de Hidalgo. El total de las viviendas se distribuyen en 20 localidades, de las cuales el 77.19% se concentra en la cabecera municipal de Mineral del Monte con un total de 3,347 casas y el 22.81% restante, se distribuye en las 19 localidades restantes, algunas concentran entre 100 y 250 viviendas como es el caso de Pueblo Nuevo, Tezoantla y Santa Rosalía.

3.2. JUSTIFICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

El estudio de los incendios forestales requiere de un análisis integrado del territorio, pues el fuego no se genera por la acción de un factor aislado, sino que se deriva de la acción conjunta de un grupo de factores (Cruz Espíndola et al., 2017). Para evitar discrepancias entre los factores que intervienen en los incendios se utilizó el Proceso de Jerarquía Analítica para llegar a una matriz de decisión para identificar los factores causales importantes de los incendios. Aunado a ello, el uso de los SIG y la información generada a partir de las imágenes de satélite han sido de gran utilidad para una mejor comprensión y predicción de los incendios forestales (Chiuveco et al., 2012).

3.3. Ejecución de la metodología

Para optimizar la ejecución de las actividades relacionadas al presente trabajo, se dividieron en tres etapas: trabajos de oficina, verificación en campo y nuevamente de oficina donde se incluye el análisis de los datos de campo, para la generación de los modelos en el SIG de amenaza, peligro, vulnerabilidad y riesgo.

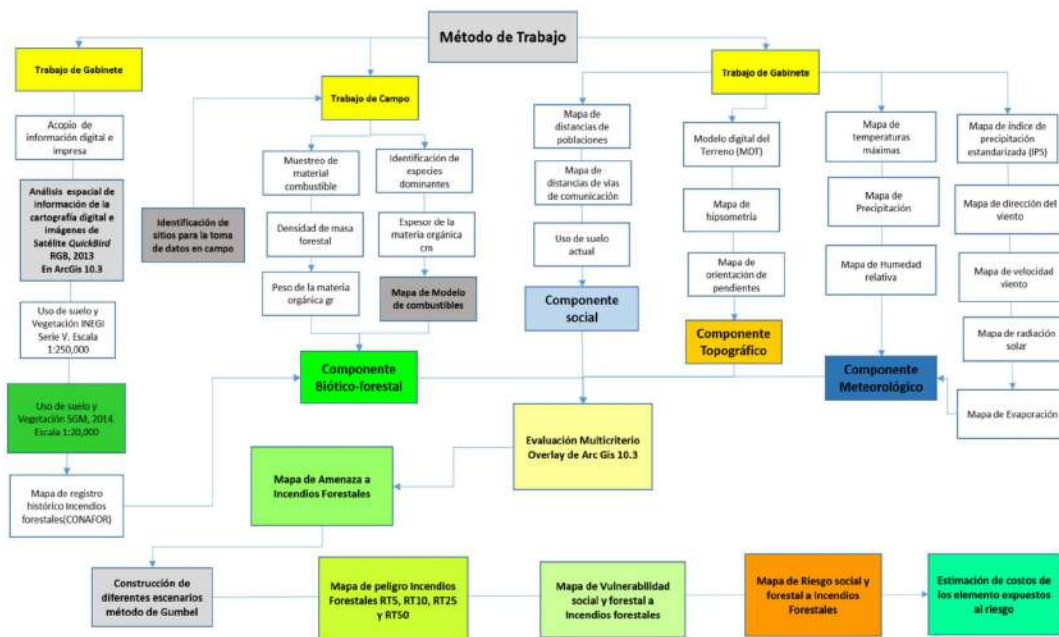


Figura 4. Diagrama del método de trabajo para la generación del modelo de Riesgo de Incendios forestales.

En la primera etapa, se revisó y analizó todo tipo de información relacionada con el tema, posteriormente, para el análisis de información del mapa base se tomaron de referencia: dos cartas topográficas digitales (F14D81 y F14D82) a escala 1: 50,000, el Marco Geoestadístico municipal de INEGI (2010a) y la carta del Inventario Nacional Forestal (CONAFOR, 2018) escala 1: 250,000.

Se continuó con la definición de cuatro componentes (biótico, topográfico, meteorológico y socioeconómico) que intervienen en un incendio forestal, cada uno de ellos están compuestos por variables específicas que serán definidas en su momento.

3.3.1. Análisis del componente topográfico

La topografía es el factor más constante de todos los componentes de comportamiento del incendio. Sin embargo, las características topográficas pueden variar enormemente con la distancia. Para el caso de estudio, en base al modelo digital de elevación se obtuvieron: la pendiente, orientación de laderas, la radiación solar y la altitud del relieve.

Hipsometría

El efecto de la altitud influye en el mayor o menor calentamiento de las masas de aire. Al aumentar la altura disminuye la capa de aire, y consecuentemente la presión atmosférica, el aire disponible absorbe menos calor solar, descendiendo la temperatura y aumentando la humedad. La temperatura va disminuyendo a mayor altitud aproximadamente unos 6.4 °C por cada 1000 metros de altura.

Pendientes y su orientación

Esta variable, tiene una gran influencia en el comportamiento de los incendios forestales, debido a que se puede favorecer la continuidad vertical del combustible y precalentamiento de los mismos, próximos a las llamas, como consecuencia de las corrientes de convección que van de forma ascendente, por tanto, la propagación de los incendios se da cuesta arriba (CONAFOR, 2010 y Plan INFOCA, 2015 citado en Flores Garnica et al., 2016).

La inclinación de la ladera está asociada principalmente con la litología y las condiciones ambientales, como densidad de vegetación y grado de saturación del suelo.

La exposición es la orientación de una ladera con respecto al sol. Puede ser hacia cualquiera de los puntos cardinales. Para el caso de México la exposición hacia el sur recibe mayor cantidad de luz y calor del sol. Generalmente las exposiciones sur y suroeste favorecen el inicio y propagación de incendios (Flores Garnica et al., 2016) por lo tanto, en esos flancos las temperaturas son las más

altas, hay menor humedad relativa y los combustibles son más ligeros y secos. La mayor exposición al sol se muestra hacia al suroeste.

3.3.2. Análisis del componente meteorológico

Los factores meteorológicos pueden cambiar rápidamente debido a los cambios en las masas de aire. Debido a ello, las condiciones no son iguales en todo el incendio. Es por esta razón que en este trabajo se enfoca en la sequía meteorológica, para ello se utiliza el Índice Estandarizado de precipitación (SPI) por ser el que mejor estima su severidad, duración y extensión, permitiendo un seguimiento de las sequías a distintas escalas temporales y la delimitación de su inicio y final (McKee et al., 1993 y Heim, 2002).

Índice de precipitación estandarizado (*Standardized Precipitation Index*)

Se define con base en la precipitación estandarizada, que es la diferencia de precipitación de la media para un periodo de tiempo específico dividido por la desviación estándar, donde la media y la desviación estándar se determinan a partir de registros pasados (Cortez-Villa, Quevedo-Nolasco, Arteaga-Ramírez y Carrillo-Flores, 2020). El SPI (McKee et al., 1993) se basa en la probabilidad de precipitación para cualquier escala temporal. Teniendo en cuenta la precipitación observada, la probabilidad de precipitación se transforma en un índice (OMM, 2012). El cálculo del SPI se basa en el registro de precipitación a largo plazo para el período deseado. Dicho registro se ajusta a una distribución de probabilidades, y a continuación esta se transforma en una distribución normal de modo que el SPI medio para la localidad y el período deseado sea cero (Edwards y McKee, 1997 citado en OMM, 2012)

Los valores positivos de SPI indican precipitaciones superiores al valor de la mediana, y los valores negativos indican precipitaciones inferiores al valor de la mediana. La sequía, empieza cuando el valor del SPI es igual o inferior a -1,0 y concluye cuando el valor se convierte en positivo (OMM, 2012).

Para obtener este dato, se realizó un análisis exhaustivo de los datos de precipitación media mensual de las cinco estaciones meteorológicas de la CONAGUA distribuidas en el municipio de Real del Monte y sus inmediaciones, en

un periodo de tiempo que fue de 1980 a 2014, equivalente a más de 30 años de información ininterrumpida con más del 80% de datos completos (OMM, 2012 y Cortez-Villa et al., 2020).

Precipitación

La precipitación también se obtuvo del análisis de las cinco estaciones hidrometeorológicas que se localizan dentro y en la periferia del municipio, los rangos de precipitación en el área de estudio oscilan entre 723 y 1181 mm.

Tabla 1. Estaciones hidrometeorológicas CONAGUA.

X	Y	ESTACION	NOMBRE
527885	2235511	13017	MINERAL DEL CHICO,
536600	2217052	13079	PRESA EL GIRON, EPAZOYUCA
538343	2229997	13100	OMITLAN, OMITLAN
534795	2233648	13115	REAL DEL MONTE, R. DEL M.
545257	2228139	13116	EL ZEMBO, HUASCA OCAMPO

Estaciones agrohidrométricas de INIFAP

La estación agroclimatológica automatizada genera datos certeros, eficaces y al instante de las condiciones climáticas de la zona donde se ubica, también permite disponer de información desde cualquier lugar y en cualquier momento, lo que representa una ventaja estratégica al momento de tomar decisiones (Infoclima, 2013 citado en Bravo-Mosqueda et al., 2014). Es por ello que se recurrió a las estaciones agroclimatológicas del Instituto de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Con ellas, se obtuvieron las variables meteorológicas: Precipitación (PRECIP) para hacer un comparativo con los datos de la CONAGUA, Precipitación (PRECIP) Temperaturas máximas (TEM MAX), velocidad máxima (VEL MAX) y dirección del viento (DIREC MAX), radiación solar (RAD GLOB), humedad relativa (HUME), evapotranspiración (EVOT) y evaporación (EVAPORA).

Tabla 2

Tabla 2. Estaciones hidrometeorológicas (INIFAP).

ESTACIÓN	X	Y	Z	PRECIP	TEM_MAX	VEL_MAX	DIREC_MAX	RAD_GLOB	HUME_	EVOT	EVAPORA
PACHUCA	526748	2220631	2360	361.50	23.24	18.64	200.34	396.20	59.82	92.23	100.80
HUASCA	548224	2235314	2186	786.89	21.34	15.44	202.34	468.31	66.35	106.45	107.29
MEZTITLAN	522319	2278266	1270	400.77	27.86	36.97	193.15	362.49	69.07	71.85	88.11
ZACUALTIPAN	539120	2276461	1960	1438.80	20.97	26.26	132.03	405.25	77.51	88.74	97.47

Temperaturas máximas

La temperatura atmosférica indica la cantidad de energía calorífica acumulada en el aire. Es importante tomar en cuenta la temperatura, porque, mientras sea más alta, existe un mayor peligro de incendio y ésta incrementa si se le añade la presencia de vientos fuertes y escasa humedad ambiental (Plan INFOCA, 2015 citado en Flores Garnica et al., 2016).

Evaporación

Definida como el cambio del estado físico del agua contenida en la superficie del territorio, es una variable importante pues está relacionada directamente con el material combustible (Gobierno de Aragón, 2001).

Humedad absoluta y relativa

La humedad absoluta se define como la masa total de agua en el aire (peso del vapor de agua) por unidad de volumen. La humedad relativa en cambio es la relación expresada en porcentaje de la cantidad de agua en el aire real y la máxima que podría absorber a la misma temperatura, por ejemplo, si la humedad relativa es del 70%, significa que el aire aún puede absorber hasta un 30% más de vapor de agua (Gobierno de Aragón, 2001 y Tejeda-Martínez et al., 2018)

Radiación solar

Las herramientas de análisis de radiación solar calculan la insolación en un paisaje o en ubicaciones específicas, basada en métodos de algoritmo de cuenca visual hemisférica desarrollados y ampliados por Fu y Rich (2002). La cantidad de radiación total calculada para una ubicación o un área en particular se proporciona como radiación global. El cálculo de la insolación directa, difusa y global se repite para la ubicación de cada sitio o ubicación de la superficie topográfica, lo que genera mapas de insolación para un área geográfica completa.

Velocidad del viento y dirección del viento

Para determinar los rangos de la velocidad y la dirección del viento se una interpolación con el método IDW (*Inverse Distance Weighted*) (Parks, 2014) con ello se hizo la configuración de valores de velocidad del viento y se encontró que

estos oscilan entre 15 y 18 km/h y la dirección del viento se concentra hacia el sur, sur-oeste.

3.3.3. Análisis del componente socioeconómico

Los incendios forestales causados por el hombre no son sucesos aleatorios, a menudo se localizan cerca de núcleos habitados y tienden a seguir patrones estacionales, semanales, e incluso diarios (Carrillo García et al., 2012).

Por ello, se tomaron en cuenta las actividades humanas que pueden provocar un incendio, tales como: agrícolas, forestales y turísticas. Así como una distancia de 50 m a cada lado de las vías de comunicación terrestres, como área de influencia potencial a la ignición de un incendio y 250 m de los poblados. Debido a que la superficie del municipio es pequeña, se hizo una modificación de las distancias de acuerdo con lo establecido por Chuvieco et al. (2010), Cáceres (2011) y DOF (2016).

Uso de suelo

Mientras que algunas especies o comunidades florecen después de un incendio, otras plantas son limitadas o eliminadas por el fuego (Hudson y Hudson y Salazar, 1981 citado en Jalisco, 2018), por lo que se recomienda hacer un análisis de los diferentes tipos de vegetación sobre los ecosistemas forestales y hacer énfasis referente al potencial de riesgo y peligro de incendio de estos.

Para esto se utilizó como base, la clasificación de uso de suelo y vegetación que hace INEGI, luego se asignó un valor conforme a la vulnerabilidad que tiene cada una de estas entidades, quedando en los extremos de la clasificación las áreas urbanas y cuerpos de agua (rango muy bajo), oyamel, pinos y pastizales, (rango muy alto), (Cáceres, 2011 y IDEAM, 2011).

Vías de comunicación

La apertura de caminos desencadena una serie de perturbaciones en los ecosistemas sobre los que atraviesa éste en el momento de su construcción, y

estas perturbaciones se proyectan en el corto, mediano y largo plazo (Castañeda, 2013). Para la clasificación de distancias de las vías de comunicación terrestre, se hizo una modificación, ya que la superficie del municipio es pequeña en relación con otras investigaciones, dicha modificación consistió en hacer buffers a 100, 80, 50, 20 y de 10 metros en cada vía de comunicación, considerándose rangos de muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo, respectivamente.

Centros urbanos

Para la clasificación de distancias de la población, se hizo una modificación a lo establecido por CENAPRED (2006), Cáceres (2011), IDEAM (2011), Chiuveco et al. (2012), debido a que la superficie del municipio es muy pequeña (77.1 km²) (INEGI, 2010 a), esta modificación consistió en hacer buffers a 250, 200, 150, 100 y 50 metros, en cada centro de población o localidad, y estos a su vez se clasificaron con rangos de muy alto a muy bajo, respectivamente.

3.3.4. Análisis del componente biótico-forestal

Uso actual del suelo e Inventario Nacional Forestal

Para obtener un mejor resultado, se digitalizó el uso actual de suelo y vegetación, a escala 1: 20,000 tomando como base al Inventario Nacional Forestal de la CONAFOR (2014), escala 1: 250,000.

Un inventario forestal obedece a la necesidad de efectuar evaluaciones continuas y periódicas de los recursos forestales, monitoreando mediante comparaciones de inventarios sucesivos, los cambios y tendencias de dichos recursos. Sus resultados proporcionan información de la situación que guardan los recursos forestales y los cambios que se presentan, para apoyar el diseño de políticas, planes y programas para su manejo, conservación y desarrollo sustentable (SEMARNAT, 2005 citado en CONAFOR, 2012). De ahí la importancia de tomar este trabajo como referencia, que fue un insumo básico de esta investigación.

Ahora bien, para la digitalización del Uso Actual del Suelo, además de tomar como referencia el Inventario Nacional Forestal y de Suelos 2004-2009, como ya se mencionó, se realizó una interpretación de imágenes satelitales *Quickbird*, *World View* RGB 2014 e Imagen *Google Earth* 2015. Para ello, se utilizaron los *softwares* ENVI 5.0 y ArcGIS 10.3.

Para identificar las áreas de vegetación, se usaron dos bandas del infrarrojo del espectro electromagnético, lo cual permitió apreciar el suelo expuesto, mientras que la infraestructura se visualizó en tonos rosados y azules, respectivamente, y la vegetación se muestra en diversas tonalidades de verde y rosa. Finalmente, con una cartografía preliminar se realizó una verificación en campo y se hizo el ajuste correspondiente.

Registro histórico de Incendios Forestales

Con los datos proporcionados por la CONAFOR, Delegación Hidalgo y la SEMARNATH, se identificaron espacialmente los incendios registrados en los años del 2009 al 2013. Se obtuvieron 51 registros, 15 de estos no cuentan con coordenadas geográficas, el resto contiene datos como: nombre del predio o paraje, causa del incendio, superficie afectada, tipo de vegetación afectada, tipo de incendio y costos por incendio combatido.

Obtención de datos en campo

Con los insumos anteriores y con el trabajo previamente realizado, para determinar el material combustible forestal se estableció un muestreo sistemático, en los sitios donde ocurrieron los incendios, en total se determinaron 21 sitios de muestreo para cubrir la superficie del municipio.

Para la obtención de los datos de campo se diseñó una cedula o bitácora técnica de campo, que integra dos tipos de datos: a) localización e identificación y, b) datos técnicos asociados al tipo de muestreo. Incluyó también un registro fotográfico de cada punto verificado. Figura 5.

El equipo utilizado para la colecta de datos fue un GPS (*Global Position System*) marca Trimble Nomand Modelo 800B, Brújula Brunton y cinta métrica. Los trabajos de campo se realizaron tomando como referencia la cartografía de INEGI, 2008 (cartas topográficas F14D81 y F14D82, escala 1: 50,000, edafológicas y de vegetación F1412, escala 1: 250,000).

MODELO DE RIESGO POR INCENDIOS FORESTALES EN MINERAL DEL MONTE, HIDALGO																																																															
BITACORA DE CAMPO																																																															
UBICACIÓN																																																															
LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA																																																															
CLAVE DEL PUNTO :IFMM16																																																															
FECHA: 07 JUNIO 2014	CARTA TOPOGRÁFICA:F14D81																																																														
ESTADO: HIDALGO	CLAVE DE LA CARTA:PACHUCA																																																														
MUNICIPIO: MINERAL DEL MONTE ESCALA:																																																															
LOCALIDAD:PUEBLO NUEVO	NÚMERO DE HABITANTES: 783																																																														
COORDENADAS																																																															
LATITUD X:532721																																																															
LONGITUD Y:2230463																																																															
ELEVACIÓN (m.s.n.m.):2923																																																															
VERIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL SITIO:																																																															
NOBRE DEL INVESTIGADOR: ISMAEL HERNÁNDEZ ARZATE																																																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">TIPO DE CLIMA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MUY FRIO</td> <td>TEMPLADO</td> <td>SEMIARIDO</td> </tr> <tr> <td>FRIO</td> <td>MUY ARIDO</td> <td>CALIDO</td> </tr> <tr> <td>SEMIFRIO</td> <td>ARIDO</td> <td>SEMICALIDO</td> </tr> </tbody> </table>		TIPO DE CLIMA			MUY FRIO	TEMPLADO	SEMIARIDO	FRIO	MUY ARIDO	CALIDO	SEMIFRIO	ARIDO	SEMICALIDO	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">GEOMORFOLOGÍA Y PENDIENTES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PLANICIE</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>VALLE</td> <td>4,6</td> </tr> <tr> <td>LOMERIO</td> <td>7,10</td> </tr> <tr> <td>MESETA</td> <td>11,15</td> </tr> <tr> <td>CAÑADA</td> <td>16,25</td> </tr> <tr> <td>SIERRA</td> <td>26,46</td> </tr> </tbody> </table>		GEOMORFOLOGÍA Y PENDIENTES		PLANICIE	3	VALLE	4,6	LOMERIO	7,10	MESETA	11,15	CAÑADA	16,25	SIERRA	26,46																																		
TIPO DE CLIMA																																																															
MUY FRIO	TEMPLADO	SEMIARIDO																																																													
FRIO	MUY ARIDO	CALIDO																																																													
SEMIFRIO	ARIDO	SEMICALIDO																																																													
GEOMORFOLOGÍA Y PENDIENTES																																																															
PLANICIE	3																																																														
VALLE	4,6																																																														
LOMERIO	7,10																																																														
MESETA	11,15																																																														
CAÑADA	16,25																																																														
SIERRA	26,46																																																														
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">TIPO DE VEGETACIÓN Y USO DE SUELO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA</td> <td>MATORRAL ESPINOSO TAMAUULPEC</td> </tr> <tr> <td>BOSQUE DE PINO</td> <td>MATORRAL SUBMONTAÑO</td> </tr> <tr> <td>BOSQUE DE ENCINO</td> <td>CHAPARRAL</td> </tr> <tr> <td>BOSQUE DE PINO- ENCINO</td> <td>PRADERA DE ALTA MONTAÑA</td> </tr> <tr> <td>BOSQUE DE OYAMEL</td> <td>PASTIZAL NATURAL</td> </tr> <tr> <td>BOSQUE DE CONIFERAS</td> <td>SABANA</td> </tr> <tr> <td>PLANTACIONES FORESTALES</td> <td>PASTIZAL INDUCIDO</td> </tr> <tr> <td>BOSQUE DE TASCATE</td> <td>PASTIZAL CULTIVADO</td> </tr> <tr> <td>SILVA ALTA Y MEDIANA PERENIFOLIA</td> <td>MANÍGLAR</td> </tr> <tr> <td>SILVA BAJA PERENIFOLIA</td> <td>POPAL</td> </tr> <tr> <td>SILVA ALTA Y MEDIANA SUBPERENIFOLIA</td> <td>TULAR</td> </tr> <tr> <td>SILVA MEDIANA CAUCUFIOLIA</td> <td>VEGETACIÓN DE GALERIA</td> </tr> <tr> <td>SILVA MEDIANA SUBCAUCUFIOLIA</td> <td>PALMAR</td> </tr> <tr> <td>SILVA CAUCUFIOLIA Y SUBCAUCUFIOLIA</td> <td>PALMAR INDUCIDO</td> </tr> <tr> <td>MATORRAL SUBTROPICAL</td> <td>VEGETACIÓN HIDRÓFILO</td> </tr> <tr> <td>SILVA BAJA ESPINOSA</td> <td>VEGETACIÓN HALÓFILO Y OIPSOFILO</td> </tr> <tr> <td>MEZQUITAL-HUIZACHAL</td> <td>VEGETACIÓN DE DUNAS COSTERA</td> </tr> <tr> <td>MATORRAL CRASICAULE</td> <td>VEGETACIÓN DE PETER</td> </tr> <tr> <td>MATORRAL SARCOCOLLE</td> <td>AGRICULTURA DE RIEGO</td> </tr> <tr> <td>MATORRAL SARCOCOLE</td> <td>AGRICULTURA DE RIEGO SUSPENDIDO</td> </tr> <tr> <td>MATORRAL SARCOCOLE DE HERBINA</td> <td>AGRICULTURA DE HUMEDAD</td> </tr> <tr> <td>MATORRAL DESERTICO MICROFILO</td> <td>AGRICULTURA DE TEMPORAL</td> </tr> <tr> <td>MATORRAL DESERTICO ROSETOFILO</td> <td>AGRICULTURA DE RIEGO</td> </tr> <tr> <td>MATORRAL ROSETOFILO COYFERO</td> <td>SIN VEGETACIÓN APARERTE</td> </tr> <tr> <td>PORTACION DE DEBENTOS A RIESGO</td> <td>ASENTAMIENTO S HUMANO S</td> </tr> </tbody> </table>		TIPO DE VEGETACIÓN Y USO DE SUELO		BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA	MATORRAL ESPINOSO TAMAUULPEC	BOSQUE DE PINO	MATORRAL SUBMONTAÑO	BOSQUE DE ENCINO	CHAPARRAL	BOSQUE DE PINO- ENCINO	PRADERA DE ALTA MONTAÑA	BOSQUE DE OYAMEL	PASTIZAL NATURAL	BOSQUE DE CONIFERAS	SABANA	PLANTACIONES FORESTALES	PASTIZAL INDUCIDO	BOSQUE DE TASCATE	PASTIZAL CULTIVADO	SILVA ALTA Y MEDIANA PERENIFOLIA	MANÍGLAR	SILVA BAJA PERENIFOLIA	POPAL	SILVA ALTA Y MEDIANA SUBPERENIFOLIA	TULAR	SILVA MEDIANA CAUCUFIOLIA	VEGETACIÓN DE GALERIA	SILVA MEDIANA SUBCAUCUFIOLIA	PALMAR	SILVA CAUCUFIOLIA Y SUBCAUCUFIOLIA	PALMAR INDUCIDO	MATORRAL SUBTROPICAL	VEGETACIÓN HIDRÓFILO	SILVA BAJA ESPINOSA	VEGETACIÓN HALÓFILO Y OIPSOFILO	MEZQUITAL-HUIZACHAL	VEGETACIÓN DE DUNAS COSTERA	MATORRAL CRASICAULE	VEGETACIÓN DE PETER	MATORRAL SARCOCOLLE	AGRICULTURA DE RIEGO	MATORRAL SARCOCOLE	AGRICULTURA DE RIEGO SUSPENDIDO	MATORRAL SARCOCOLE DE HERBINA	AGRICULTURA DE HUMEDAD	MATORRAL DESERTICO MICROFILO	AGRICULTURA DE TEMPORAL	MATORRAL DESERTICO ROSETOFILO	AGRICULTURA DE RIEGO	MATORRAL ROSETOFILO COYFERO	SIN VEGETACIÓN APARERTE	PORTACION DE DEBENTOS A RIESGO	ASENTAMIENTO S HUMANO S	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">USO DE SUELO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>FORESTAL</td> <td>URBANO</td> </tr> <tr> <td>AGRICOLA</td> <td>TURISTICO</td> </tr> <tr> <td>PECUARIO</td> <td>OTRO</td> </tr> </tbody> </table>		USO DE SUELO		FORESTAL	URBANO	AGRICOLA	TURISTICO	PECUARIO	OTRO
TIPO DE VEGETACIÓN Y USO DE SUELO																																																															
BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA	MATORRAL ESPINOSO TAMAUULPEC																																																														
BOSQUE DE PINO	MATORRAL SUBMONTAÑO																																																														
BOSQUE DE ENCINO	CHAPARRAL																																																														
BOSQUE DE PINO- ENCINO	PRADERA DE ALTA MONTAÑA																																																														
BOSQUE DE OYAMEL	PASTIZAL NATURAL																																																														
BOSQUE DE CONIFERAS	SABANA																																																														
PLANTACIONES FORESTALES	PASTIZAL INDUCIDO																																																														
BOSQUE DE TASCATE	PASTIZAL CULTIVADO																																																														
SILVA ALTA Y MEDIANA PERENIFOLIA	MANÍGLAR																																																														
SILVA BAJA PERENIFOLIA	POPAL																																																														
SILVA ALTA Y MEDIANA SUBPERENIFOLIA	TULAR																																																														
SILVA MEDIANA CAUCUFIOLIA	VEGETACIÓN DE GALERIA																																																														
SILVA MEDIANA SUBCAUCUFIOLIA	PALMAR																																																														
SILVA CAUCUFIOLIA Y SUBCAUCUFIOLIA	PALMAR INDUCIDO																																																														
MATORRAL SUBTROPICAL	VEGETACIÓN HIDRÓFILO																																																														
SILVA BAJA ESPINOSA	VEGETACIÓN HALÓFILO Y OIPSOFILO																																																														
MEZQUITAL-HUIZACHAL	VEGETACIÓN DE DUNAS COSTERA																																																														
MATORRAL CRASICAULE	VEGETACIÓN DE PETER																																																														
MATORRAL SARCOCOLLE	AGRICULTURA DE RIEGO																																																														
MATORRAL SARCOCOLE	AGRICULTURA DE RIEGO SUSPENDIDO																																																														
MATORRAL SARCOCOLE DE HERBINA	AGRICULTURA DE HUMEDAD																																																														
MATORRAL DESERTICO MICROFILO	AGRICULTURA DE TEMPORAL																																																														
MATORRAL DESERTICO ROSETOFILO	AGRICULTURA DE RIEGO																																																														
MATORRAL ROSETOFILO COYFERO	SIN VEGETACIÓN APARERTE																																																														
PORTACION DE DEBENTOS A RIESGO	ASENTAMIENTO S HUMANO S																																																														
USO DE SUELO																																																															
FORESTAL	URBANO																																																														
AGRICOLA	TURISTICO																																																														
PECUARIO	OTRO																																																														
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">CAUSAS DE INCENDIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>QUEMA AGRICOLA</td> <td>DECAIMIENTO FORESTAL</td> </tr> <tr> <td>QUEMA PASTOREO</td> <td>ACCIDENTES</td> </tr> <tr> <td>ROZA TUMBA Y QUEMA</td> <td>RAYOS</td> </tr> <tr> <td>FOGATAS</td> <td>FUMADORES</td> </tr> <tr> <td>SIMPJA DERECHO DE VIALINEA S ELECTRICAS</td> <td></td> </tr> <tr> <td>QUEMA DE BASURA</td> <td>OTROS</td> </tr> </tbody> </table>		CAUSAS DE INCENDIO		QUEMA AGRICOLA	DECAIMIENTO FORESTAL	QUEMA PASTOREO	ACCIDENTES	ROZA TUMBA Y QUEMA	RAYOS	FOGATAS	FUMADORES	SIMPJA DERECHO DE VIALINEA S ELECTRICAS		QUEMA DE BASURA	OTROS	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">TIPO DE SUELO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 ACRISOL</td> <td>17 KASTANOZEM</td> </tr> <tr> <td>2 ALBELUVISOL</td> <td>18 LEPTOSOL</td> </tr> <tr> <td>3 ALISOL</td> <td>19 LIXISOL</td> </tr> <tr> <td>4 ANDOSOL</td> <td>20 LUVISOL</td> </tr> <tr> <td>5 ANTHROSOL</td> <td>21 NITISOL</td> </tr> <tr> <td>6 ARENOSOL</td> <td>22 PHAEOZEM</td> </tr> <tr> <td>7 CALCISOL</td> <td>23 PLANOSOL</td> </tr> <tr> <td>8 CAMBISOL</td> <td>24 PLINTHOSOL</td> </tr> <tr> <td>9 CHERNOZEM</td> <td>25 PODZOL</td> </tr> <tr> <td>10 CRYOSOL</td> <td>26 REGOSOL</td> </tr> <tr> <td>11 DURISOL</td> <td>27 SOLONCHAK</td> </tr> <tr> <td>12 FERRALISOL</td> <td>28 SOLONETZ</td> </tr> <tr> <td>13 FLUVISOL</td> <td>29 STAGNOSOL</td> </tr> <tr> <td>14 GLEYSOL</td> <td>30 TECHNOSOL</td> </tr> <tr> <td>15 GYPSISOL</td> <td>31 UMBRISOL</td> </tr> <tr> <td>16 HISTOSOL</td> <td>32 VERTISOL</td> </tr> </tbody> </table>		TIPO DE SUELO		1 ACRISOL	17 KASTANOZEM	2 ALBELUVISOL	18 LEPTOSOL	3 ALISOL	19 LIXISOL	4 ANDOSOL	20 LUVISOL	5 ANTHROSOL	21 NITISOL	6 ARENOSOL	22 PHAEOZEM	7 CALCISOL	23 PLANOSOL	8 CAMBISOL	24 PLINTHOSOL	9 CHERNOZEM	25 PODZOL	10 CRYOSOL	26 REGOSOL	11 DURISOL	27 SOLONCHAK	12 FERRALISOL	28 SOLONETZ	13 FLUVISOL	29 STAGNOSOL	14 GLEYSOL	30 TECHNOSOL	15 GYPSISOL	31 UMBRISOL	16 HISTOSOL	32 VERTISOL												
CAUSAS DE INCENDIO																																																															
QUEMA AGRICOLA	DECAIMIENTO FORESTAL																																																														
QUEMA PASTOREO	ACCIDENTES																																																														
ROZA TUMBA Y QUEMA	RAYOS																																																														
FOGATAS	FUMADORES																																																														
SIMPJA DERECHO DE VIALINEA S ELECTRICAS																																																															
QUEMA DE BASURA	OTROS																																																														
TIPO DE SUELO																																																															
1 ACRISOL	17 KASTANOZEM																																																														
2 ALBELUVISOL	18 LEPTOSOL																																																														
3 ALISOL	19 LIXISOL																																																														
4 ANDOSOL	20 LUVISOL																																																														
5 ANTHROSOL	21 NITISOL																																																														
6 ARENOSOL	22 PHAEOZEM																																																														
7 CALCISOL	23 PLANOSOL																																																														
8 CAMBISOL	24 PLINTHOSOL																																																														
9 CHERNOZEM	25 PODZOL																																																														
10 CRYOSOL	26 REGOSOL																																																														
11 DURISOL	27 SOLONCHAK																																																														
12 FERRALISOL	28 SOLONETZ																																																														
13 FLUVISOL	29 STAGNOSOL																																																														
14 GLEYSOL	30 TECHNOSOL																																																														
15 GYPSISOL	31 UMBRISOL																																																														
16 HISTOSOL	32 VERTISOL																																																														
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">CALIFICACIÓN DE COMBUSTIBLES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CLASE</td> <td>DIÁMETRO</td> <td>TIPO DE COMBUSTIBLE</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>< 4.0 DECIM</td> <td>HOJAS Y RAMILLAS</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>4.0 A 7.5 CM</td> <td>RAMILLAS MEDIANAS</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>7.5 A 15.0 CM</td> <td>RAMAS</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>> 15.0 CM</td> <td>RAMA S GRUESA, TOCONES</td> </tr> </tbody> </table>		CALIFICACIÓN DE COMBUSTIBLES		CLASE	DIÁMETRO	TIPO DE COMBUSTIBLE	1	< 4.0 DECIM	HOJAS Y RAMILLAS	2	4.0 A 7.5 CM	RAMILLAS MEDIANAS	3	7.5 A 15.0 CM	RAMAS	4	> 15.0 CM	RAMA S GRUESA, TOCONES	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">TIPO DE VIVIENDA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>TIPO 1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>TIPO 2</td> <td></td> </tr> <tr> <td>TIPO 3</td> <td></td> </tr> <tr> <td>TIPO 4</td> <td></td> </tr> <tr> <td>TIPO 5</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		TIPO DE VIVIENDA		TIPO 1		TIPO 2		TIPO 3		TIPO 4		TIPO 5																																
CALIFICACIÓN DE COMBUSTIBLES																																																															
CLASE	DIÁMETRO	TIPO DE COMBUSTIBLE																																																													
1	< 4.0 DECIM	HOJAS Y RAMILLAS																																																													
2	4.0 A 7.5 CM	RAMILLAS MEDIANAS																																																													
3	7.5 A 15.0 CM	RAMAS																																																													
4	> 15.0 CM	RAMA S GRUESA, TOCONES																																																													
TIPO DE VIVIENDA																																																															
TIPO 1																																																															
TIPO 2																																																															
TIPO 3																																																															
TIPO 4																																																															
TIPO 5																																																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">TIPO VÍA DE COMUNICACIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CARRETERA FEDERAL</td> <td></td> </tr> <tr> <td>CARRETERA ESTATAL</td> <td></td> </tr> <tr> <td>AUTOPISTA</td> <td></td> </tr> <tr> <td>CAMINO RURAL</td> <td></td> </tr> <tr> <td>BRECHA</td> <td></td> </tr> <tr> <td>VEREDA</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		TIPO VÍA DE COMUNICACIÓN		CARRETERA FEDERAL		CARRETERA ESTATAL		AUTOPISTA		CAMINO RURAL		BRECHA		VEREDA		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">MODELO DE COMBUSTIBLE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SH8</td> <td>NB1</td> <td>TL2</td> </tr> <tr> <td>SH9</td> <td>NB2</td> <td>TL3</td> </tr> <tr> <td>SB2</td> <td>NB3</td> <td>TL4</td> </tr> <tr> <td>SB3</td> <td>NB10</td> <td>TL5</td> </tr> <tr> <td>GRG9</td> <td>GS2</td> <td>TL6</td> </tr> </tbody> </table>		MODELO DE COMBUSTIBLE			SH8	NB1	TL2	SH9	NB2	TL3	SB2	NB3	TL4	SB3	NB10	TL5	GRG9	GS2	TL6																												
TIPO VÍA DE COMUNICACIÓN																																																															
CARRETERA FEDERAL																																																															
CARRETERA ESTATAL																																																															
AUTOPISTA																																																															
CAMINO RURAL																																																															
BRECHA																																																															
VEREDA																																																															
MODELO DE COMBUSTIBLE																																																															
SH8	NB1	TL2																																																													
SH9	NB2	TL3																																																													
SB2	NB3	TL4																																																													
SB3	NB10	TL5																																																													
GRG9	GS2	TL6																																																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">OBSERVACIONES:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="4">Bosque de oyamel Abies religiosa M1: DPA 192-34-7.20, M2,DPA 225-38-6.5. Presenta un alto riesgo a incendios forestales.</td> </tr> </tbody> </table>				OBSERVACIONES:				Bosque de oyamel Abies religiosa M1: DPA 192-34-7.20, M2,DPA 225-38-6.5. Presenta un alto riesgo a incendios forestales.																																																							
OBSERVACIONES:																																																															
Bosque de oyamel Abies religiosa M1: DPA 192-34-7.20, M2,DPA 225-38-6.5. Presenta un alto riesgo a incendios forestales.																																																															

Figura 5. Bitácora de registro de datos obtenidos en campo

Los datos técnicos recabados son los siguientes: tipo de clima, geomorfología, tipo de suelo, tipo de vegetación y uso de suelo, uso actual de suelo, causas del

incendio, superficie afectada, distancia del incendio, tipo de vivienda, tipo de camino, tipo de combustible, medición del espesor de la materia orgánica, (deshechos frescos y parcialmente descompuestos, como hojas, ramas, musgos y líquenes que se han acumulado sobre la superficie), muestra del material acumulado en el punto de muestreo equivalente a un cuadro de 40 x 40 cm, peso al momento de la colecta, para después llevarla al laboratorio de edafología en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, donde se determinó el contenido de materia orgánica y se relacionó, con el tipo de vegetación predominante en el sitio en función al modelo de combustible (Scott y Burgan, 2005), altura de los árboles, diámetro del fuste y diámetro de la copa. A continuación, se muestran algunas actividades de labores en campo.



Fotografía 1. Conversación con pobladores para saber su opinión acerca de los incendios forestales.



Fotografía 2. Colecta de muestra de materia orgánica en el suelo.



Fotografía 3. Medición del diámetro del fuste de encino.



Fotografía 4. Estimación del peso de la muestra de materia orgánica.



Fotografía 5. Toma de datos en el Bosque de oyamel que fue impactado por un incendio.



Fotografía 6. Conversación acerca del incendio del 4 de abril de 2013.



Fotografía 7. MMIF02.
Bosque de oyamel,
representa un peligro
muy alto ante un
incendio.



Fotografía 8. MMIF03.
Muestra el bosque de
Pino-encino impactado
por un incendio.



Fotografía 9. MMIF07
Bosque de pino, tiene alta
probabilidad a incendiarse.



Fotografía 10. MMIF10
pastizal representa un
peligro alto ante
incendios.



Fotografía 11. MMIF015
Bosque de oyamel,
representa un peligro
muy alto a un incendio



Fotografía 12. MMIF021.
Muestra en bosque de
encino, el cual presentó un
incendio.

Modelo de combustible

Los combustibles se dividen en vivos y muertos. Los primeros incluyen hierbas, arbustos y árboles o plantas y los muertos están representados por los troncos, las ramas y las hojas que se localizan sobre el suelo (Porrero, 2001; Villers, 2006 en Chavez et al., 2017) para un bosque de clima templado con predominancia de *Pinus* consignan 41.3 t/ha de combustibles finos, 1.0 t/ha de livianos y 13.75 t/ha en el caso de los gruesos.

Las variables que se consideraron para el modelo de combustibles son: la relación del diámetro del combustible y su relación con la pérdida de humedad; Además de la relación superficie-área-volumen (SAV) por componente y clase de tamaño (Scott y Burgan, 2005). Se complementó con la toma de datos en campo de los 21 sitios y por último, se utilizó el mapa de uso de suelo escala 1: 20,000 en el cual se agruparon las comunidades vegetales de acuerdo con sus características físicas y morfológicas (Scott y Burgan, 2005), Tabla 3.

Tabla 3. Modelo de combustible conforme al tipo de vegetación.

TIPO DE VEGETACIÓN	MODELO DE COMBUSTIBLE	COMBUSTIBLE FINO	SAV	DIMENSIÓN	HUMEDAD	SUPERFICIE (Ha)	%
AFLORAMIENTO ROCOSO	NB10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.803	0.02
AGRICULTURA DE TEMPORAL	NB3	0.000	0.000	0.000	0.000	836.493	15.67
ASENTAMIENTO HUMANO	NB1	0.000	0.000	0.000	0.000	292.950	5.49
BANCO DE MATERIAL	NB10	0.000	0.000	0.000	0.000	7.431	0.14
BOSQUE DE ENCINO	TL6	2.400	1936.000	0.023	25.000	1153.599	21.61
BOSQUE DE ENCINO VEGETACIÓN SECUNDARIA	TL6	2.400	1936.000	0.023	25.000	470.966	8.82
BOSQUE DE OYAMEL	TU5	7.000	1224.000	0.020	25.000	1003.075	18.79
BOSQUE DE OYAMEL CON VEGETA SECUNDARIA	TU5	7.000	1224.000	0.020	25.000	25.743	0.48
BOSQUE DE PINO	TL5	1.150	1713.000	0.019	25.000	227.136	4.25
BOSQUE DE PINO CON VEGETACIÓN SECUNDARIA	TL3	0.500	1532.000	0.026	20.000	21.038	0.39
BOSQUE DE PINO-ENCINO	TL3	0.500	1532.000	0.026	20.000	478.559	8.96
BOSQUE DE PINO-ENCINO VEGETACIÓN SECUNDARIA	TL3	0.500	1532.000	0.026	20.000	13.631	0.26
BOSQUE DE TASCATE	SH7	6.900	1233.000	0.003	15.000	150.484	2.82
BOSQUE DE TASCATE CON VEGETACIÓN SECUNDARIA	SH7	6.900	1233.000	0.003	15.000	207.696	3.89
CUERPO DE AGUA	NB8	0.000	0.000	0.000	0.000	7.503	0.14
PASTIZAL INDUCIDO	GR9	10.000	1612.000	0.000	40.000	441.497	8.27

Esesor y contenido de materia orgánica

Para el análisis de esta variable se hizo la medición *in situ* del espesor de la materia orgánica, se colecto una muestra de aproximadamente 300 gramos en cada sitio, mismas que posteriormente fueron llevadas a la Universidad Autónoma de Hidalgo, donde en el laboratorio de la Facultad de Ciencias de la Tierra se realizó el procedimiento para determinar el contenido de materia orgánica por medio del método AS-07, de Walkley y Black, conforme a la NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis.

Análisis del registro de Incendios Forestales

Se hizo un análisis espacial de ponderación en función inversa de la distancia IDW (Wise, 2000 citado en Paredes Hernández et al., 2013). Este método es recomendado para superficies pequeñas, pues su técnica de interpolación es determinística y de mayor precisión. Es el promedio distancia-peso de valores a los puntos conocidos, sin un vecino definido alrededor del punto desconocido. Este método se utilizó para extrapolar los datos de 51 incendios ocurridos entre los años 2009 al 2013.

3.3.5. Integración de los componentes

Después de identificar las 18 variables de los 4 componentes, se procedió a realizar la ponderación por componente, para ello se utilizó el Proceso Analítico Jerárquico el cual se desarrolla en dos procedimientos principales: 1) estructura jerárquica, que contiene los elementos esenciales del análisis y 2) comparaciones pareadas por elemento, con el objetivo de realizar la comparación de un elemento con otro.

El proceso de comparaciones pareadas consta a su vez de cuatro fases. En la primera, se genera una matriz donde se colocan las variables. En este caso fueron los componentes que agrupan las variables analizadas, tanto en columnas como en renglones. Para llenarla, se utilizó una escala de 1 que corresponde al componente biótico, 2 para el meteorológico, 3 para el topográfico y 4 para el social. Con esta tabla, se evalúa la preferencia entre cada par de estos, utilizando esta misma escala se asigna un valor a cada uno de los atributos (SEMARNAT, 2006).

Tabla 4.

Tabla 4. Matriz PAJ con la estructura jerárquica y las comparaciones pareadas.

MATRIZ DE COMPARACIONES PAREADAS				
COMPONENTE	Componente forestal	Componente meteorológico	Componente topográfico	Componente social
Componente forestal	1	2	3	4
Componente meteorológico	1/2	1	2	3
Componente topográfico	1/3	1/2	1	2
Componente social	1/4	1/3	1/2	1

Después de haber realizado las comparaciones de todos los factores, estas matrices son normalizadas, divide cada término de la matriz sobre la suma de sus columnas, y en este caso se obtendría una nueva matriz, que arrojará el vector de prioridad del criterio al promediar los valores de las filas (Osorio y Orejuela, 2008). Ver Tabla 5 y Tabla 6.

Tabla 5. Resultados de la obtención de los pesos de la matriz PAJ.

CALCULO DE PESOS EN MATRIZ DE COMPARACIONES PAREADAS	
Promedio	COMPONENTE
Peso	
0.466	Componente forestal
0.277	Componente meteorológico
0.161	Componente topográfico
0.096	Componente social
1.000	

Tabla 6. Vector de suma ponderada

VECTOR DE LA SUMA PONDERADA				
COMPONENTE	Componente forestal	Componente meteorológico	Componente topográfico	Componente social
Componente forestal	0.466	0.554	0.483	0.384
Componente meteorológico	0.233	0.277	0.322	0.288
Componente topográfico	0.155	0.139	0.161	0.192
Componente social	0.116	0.092	0.081	0.096
I	4.051	4.042	4.016	4.015

Posteriormente se estima el vector de consistencia, al dividir el vector de la suma de peso entre los pesos de los atributos determinados en base a los resultados de la mediante la siguiente formula:

$$\lambda = (\lambda+n)/(n-4).$$

Dónde:

λ = Suma vector consistencia

n = Número de atributos

$$\lambda = (\lambda + n) / (n - 4) = (4.051+4.042+4.016+4.015) / (4) = 4.031$$

El cuarto paso es la estimación del Índice de Consistencia, que su vez determina la Proporción de Consistencia, mediante la fórmula:

$$IC = (\lambda - n) / (n - 1)$$

Dónde:

IC= Índice de consistencia.

λ = Suma vector consistencia

n = Número de atributos

$$IC = (\lambda - n) / (n - 1) = (4.031 - 4) / (4 - 1) = 0.010$$

El vector de la suma de pesos ponderada se obtiene multiplicando el peso del primer factor por la primera columna de la matriz de comparaciones pareadas. El peso del segundo atributo por la segunda columna y el peso del tercer atributo por la tercera columna de la matriz original, finalmente, se suman estos valores sobre los renglones.

Enseguida se calcula la proporción de consistencia (PC)

$$PC = IC / IA$$

$$PC = IC / IA = 0.010 / 1.24 = 0.008$$

Donde IA es el Índice de Aleatoriedad o de Inconsistencia Aleatoria, el cual se obtiene de un coeficiente establecido y depende del número de elementos (n). Un valor de $PC < 0.10$ indica un nivel razonable de consistencia en las comparaciones pareadas; $PC > 0.10$, indica inconsistencia en los juicios, en este caso, se debe reconsiderar y revisar los valores originales en la matriz. El coeficiente de consistencia valida que los juicios no tengan errores entre ellos, que no se haya producido contradicciones en los mismos. Un valor de este coeficiente inferior a 0.10 es considerado aceptable (Osorio y Orejuela, 2008).

Para el presente análisis el IC presentó un valor de 0.008, lo que indica consistencia en los juicios de valoración.

Debido a que existen diferencias entre las escalas sobre las cuales se miden las variables y factores, es necesario estandarizarlos antes de combinarlos y transformarlos para que todos ellos puedan ser correlacionados (IDEAM, 2011). El criterio de normalización empleado, se basa en los propuestos por la lógica difusa (*fuzzy*) utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Factor normalizado} = ((x - \text{Min})) / ((\text{Max} - \text{Min}))$$

Dónde:

X = valor que adquiere puntualmente en el espacio el factor

Min = Valor mínimo del factor en toda el área de estudio

Max = Valor máximo presentado por el factor en toda el área de estudio

Una vez normalizadas las variables y los factores, se agrupan bajo una distribución de frecuencias en cinco valores y rangos de manera acescente empezando por el 1 que significa muy bajo, 2 bajo, 3 medio, 4 alto y 5 muy alto.

Con este resultado se procedió a realizar los análisis espaciales por componente, Tabla 7, Tabla 8, Tabla 9 y Tabla 10.

Tabla 7. Variables del componente biótico.

COMPONENTE BIÓTICO											
MODELO DE COMBUSTIBLE			MATERIA ORGÁNICA			DATOS OBTENIDOS EN CAMPO			DATOS COMISION NACIONAL FORESTAL		
CLASES	COEF	RANGO	CLASES	COEF	RANGO	CLASES	COEF	RANGO	CLASES	COEF	RANGO
NB1	1	MUY BAJO	1.9 cm deep	1	MUY BAJO	Zea maiz	1	MUY BAJO	00:22 minutes	1	MUY BAJO
NB3	1	MUY BAJO	2.8 cm deep	2	BAJO	Juniperus deppeana	2	BAJO	00:45 minutes	2	BAJO
NB8	1	MUY BAJO	3.7 cm deep	2	BAJO	Cupressus lindleyi	3	MEDIO	60:00 minutes	3	MEDIO
NB10	2	BAJO	4.6 cm deep	3	MEDIO	Quercus crasifolia	3	MEDIO	01:30 hours	3	MEDIO
SH8	2	BAJO	5.5 cm deep	3	MEDIO	Quercus laurina	4	ALTO	02:30 hours	4	ALTO
SH9	2	BAJO	6.4 cm deep	4	ALTO	Pinus patula	5	MUY ALTO	03:30 hours	5	MUY ALTO
TL3	3	MEDIO	7.3 cm deep	4	ALTO	Pinus teocote	5	MUY ALTO	04:30 hours	5	MUY ALTO
TL5	3	MEDIO	8.2 cm deep	5	MUY ALTO	Abies religiosa	5	MUY ALTO	05:30 hours	5	MUY ALTO
TL6	4	ALTO	9.1 cm deep	5	MUY ALTO				06:00 hours	5	MUY ALTO
SB2	4	ALTO	10 cm deep	5	MUY ALTO						
SB3	5	MUY ALTO									
GR99	5	MUY ALTO									

Tabla 8. Variables componente meteorológico.

COMPONENTE METEOROLÓGICO																							
INDICE DE PRECIPITACIÓN ESTANRADARIZADA		PRECIPITACIÓN			TEMPERATURA MÁXIMA			EVAPORACIÓN			HUMEDAD RELATIVA			DIRECCIÓN DEL VIENTO			VELOCIDAD DEL VIENTO			RADIACIÓN SOLAR			
CLASES	COEF	RANGO	CLASES	COEF	RANGO	CLASES	COEF	RANGO	CLASES	COEF	RANGO	CLASES	COEF	RANGO	CLASES	COEF	RANGO	CLASES	COEF	RANGO	CLASES	COEF	RANGO
3.13-282	1	MUY BAJO	1438.40 mm	2	BAJO	20.87°C	2	BAJO	108.41 Lit/3 Mes	2	BAJO	77.61%	2	BAJO	132.01	2	BAJO	18.43 km/h	2	BAJO	362.49 kWh/m2	2	BAJO
1.87-2.12	2	BAJO	561.18 mm	3	MEDIO	21.34°C	3	MEDIO	82.22 Lit/3 Mes	3	MEDIO	89.05%	3	MEDIO	183.14	3	MEDIO	18.84 km/h	3	MEDIO	366.19 kWh/m2	3	MEDIO
1.37-1.86	3	MEDIO	463.77 mm	4	ALTO	23.24°C	4	ALTO	98.73 Lit/3 Mes	4	ALTO	86.38%	4	ALTO	306.34	4	ALTO	26.81 km/h	4	ALTO	465.24 kWh/m2	4	ALTO
0.44-1.36	4	ALTO	289.88 mm	5	MUY ALTO	22.88°C	5	MUY ALTO	171.84 Lit/3 Mes	5	MUY ALTO	98.81%	5	MUY ALTO	202.01	5	MUY ALTO	26.91 km/h	5	MUY ALTO	466.01 kWh/m2	5	MUY ALTO
0.35-0.43	5	MUY ALTO																					

Tabla 9. Variables del componente Topográfico.

COMPONENTE TOPOGRÁFICO								
PENDIENTE			DIRECCIÓN DE LAS PENDIENTES			ELEVACIÓN		
CLASES	COEF	RANGO	CLASES	COEF	RANGO	CLASES	COEF	RANGO
<3°	1	MUY BAJO	Norte	1	MUY BAJO	2259-2540 msnm	1	MUY BAJO
4-10°	2	BAJO	Noreste	2	BAJO	2540-2690 msnm	2	BAJO
11-20°	3	MEDIO	Noroeste	2	BAJO	2691-2782 msnm	3	MEDIO
21-30°	4	ALTO	Este	3	MEDIO	2783-2869 msnm	4	ALTO
31-44°	5	MUY ALTO	Sureste	4	ALTO	2870-3040 msnm	5	MUY ALTO
>45°	5	MUY ALTO	Sur oeste	5	MUY ALTO			
			Sur	5	MUY ALTO			

Tabla 10. Variables del componente social.

COMPONENTE SOCIAL								
USO DE SUELO			DISTANCIA A CARRETERAS			DISTANCIA A POBLADOS		
CLASES	COEF	RANGO	CLASES	COEF	RANGO	CLASES	COEF	RANGO
ZONA URBANA	1	MUY BAJO	< 100 m	1	MUY BAJO	> 250	1	MUY BAJO
CUERPOS DE AGUA	1	MUY BAJO	51-99 m	2	BAJO	151-200 m	2	BAJO
AREAS AGRICOLAS	1	MUY BAJO	26-50 m	3	MEDIO	101-150 m	3	MEDIO
PASTIZALES	2	BAJO	11-25 m	4	ALTO	51-100 m	4	ALTO
BOSQUE MIXTO	3	MEDIO	>10 m	5	MUY ALTO	>50 m	5	MUY ALTO
BOSQUE DE ENCINO	4	ALTO						
BOSQUE DE PINO	5	MUY ALTO						
BOSQUE DE OYAMEL	5	MUY ALTO						

Con los mapas de cada variable se hizo una ponderación por medio de una suma algebraica, el resultado parcial, se dividió entre el número de variables sumadas, para tal efecto se utilizó la herramienta *raster calculator*. Al resultado se le reclasificó por medio de la desviación estándar catalogado en cinco rangos y así se obtuvo cada mapa final para cada uno de los cuatro componentes. Figura 6, Figura 7, Figura 8, Figura 9.

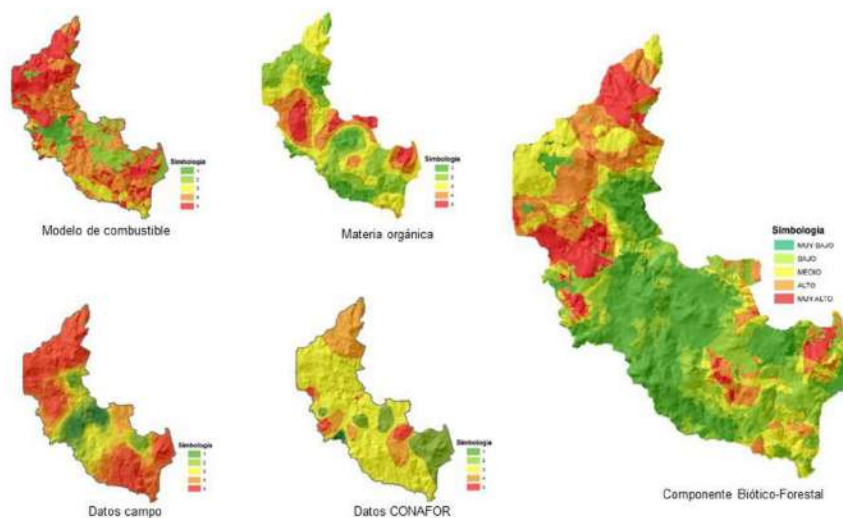


Figura 6. Ponderación de las variables del componente Biótico-forestal

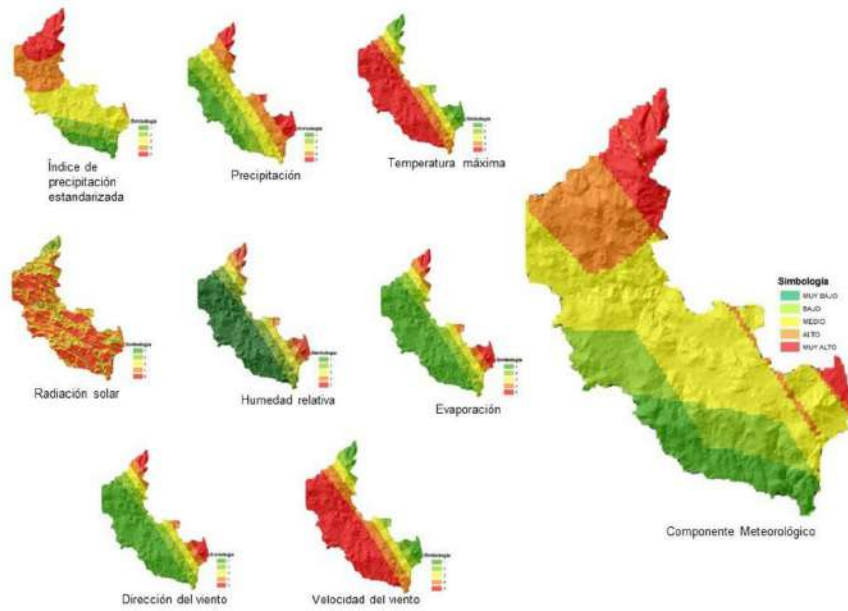


Figura 7. Ponderación de las variables del componente Meteorológico

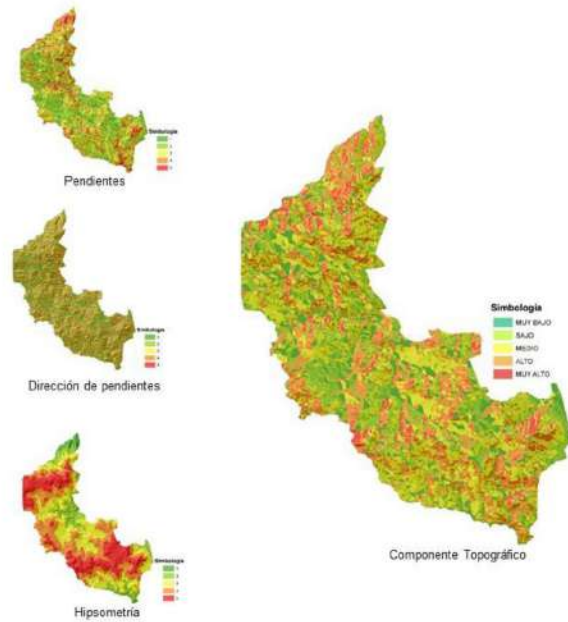


Figura 8. Ponderación de las variables del componente Topográfico

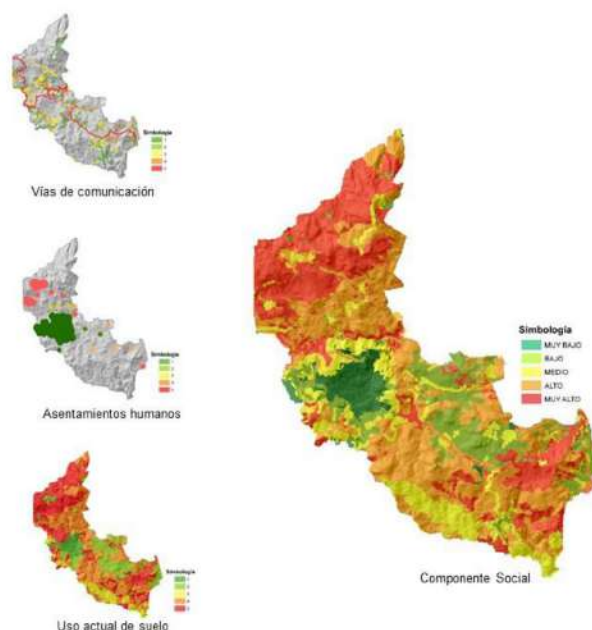


Figura 9. Ponderación de las variables del componente Social

Teniendo listos los cuatro mapas se procedió a utilizar la herramienta *Overlay Weight*, para asignarle los pesos a cada uno de los mapas: 30% componente forestal, 25% componente meteorológico, 25% componente topográfico y 20% componente socioeconómico.

3.3.6. Construcción de escenarios para la determinación del peligro

El IDEM, 2011 refiere que para la realización de la cartografía de riesgos por incendios forestales se deben considerar como mínimo dos escenarios posibles los cuales responden a temporadas climáticas y meteorológicas de gran impacto y que diferencian la aparición de este tipo de eventos. Para la elaboración de mapas probabilísticos de sequía, humedad relativa, evaporación, velocidad y dirección del viento, de los periodos de retorno a 5, 10, 25 y 50, se utilizó la Distribución de Gumbel (Ponce, 1989) para obtener los valores extremos, obteniendo los mapas para cada uno de los periodos, mediante la siguiente ecuación:

$$X = u - \text{Ln}(-\text{Ln}F(x))$$

Dónde:

X = Valores máximos

U y D = parámetros establecidos de acuerdo al tamaño de la población

F(x) = Función de los periodos de retorno

$F(x) = 1 - 1/T$

T: Periodo de retorno

Para el cálculo de los parámetros u y d se aplican las siguientes formulas:

$U = \bar{x} - 0.450047S$

$D = 1 \underline{\hspace{2cm}}$

0.779696S

Dónde:

\bar{x} =Media aritmética

S= Desviación típica

Los valores establecidos **0.450047** y **0.779696**, se utilizan para adquirir los valores de las variables identificadas aplicando la función de Gumbel, Tabla 11.

Tabla 11. Método de Gumbel

NOMBRE ESTACIÓN	PERIODOS DE RETORNO EN AÑOS			
	5 AÑOS	10 AÑOS	25 AÑOS	50 AÑOS
REAL DEL MONTE	15.665	22.191	30.436	36.553
EL CHICO	12.652	18.409	25.683	31.080
OMITLAN	15.390	22.176	30.752	37.113
PRESA EL GIRON	7.619	12.085	17.729	21.916
EL ZEMBO	14.437	20.515	28.196	33.894
PROMEDIO	13.152	19.075	26.559	32.111

3.3.7. Determinación de la Vulnerabilidad Social

Indicadores Socioeconómicos

Salud

El municipio presenta una vulnerabilidad media, ya que la relación de número de médicos es de 1.1 por mil habitantes (Secretaría de Salud, 2012) esta cifra está debajo conforme a la Organización Mundial de la Salud, 2006 cuyo estándar es de 2.8 médicos por cada mil habitantes.

Por otro lado, más del 80 % de la población cuenta con servicios de salud, lo cual representa una condición de vulnerabilidad muy baja. En cuanto a la mortalidad infantil se refiere, se tiene una respuesta del 24.20, lo cual significa que la posibilidad de un recién nacido de sobrevivir el primer año de vida es muy alta. Tabla 12.

Tabla 12. Condición de vulnerabilidad y valores de salud.

Factor	Indicador	Respuesta	Condición de vulnerabilidad	Valor	Resultado	Rango
Salud	Médicos por cada 1000 habitantes	0.4	Media	0.5	0.33	Muy Baja
	Tasa de mortalidad infantil	24.2	Baja	0.25		
	Porcentaje de la población no derechohabiente	13.3	Baja	0.25		

Educación

El nivel educativo es un elemento relevante en el crecimiento y desarrollo económico, así como el de la vulnerabilidad social (Vergara, 2011), ya que entre menor sea el nivel educativo, la vulnerabilidad social aumentará.

En este contexto, la educación en el municipio es aceptable, al considerar este indicador con un rango de vulnerabilidad muy baja, donde el grado de escolaridad es de 8.8 y el porcentaje de analfabetismo es de 6.83%. Tabla 13. Las características educativas influyen directamente en la adopción de una cultura de prevención y autoprotección de la población ante una contingencia por un incendio forestal.

Tabla 13. Condición de vulnerabilidad y valores de nivel educativo.

Factor	Indicador	Respuesta	Condición de vulnerabilidad	Valor	Resultado	Rango
Educación	Porcentaje de analfabetismo	6.83	Baja	0.25	0.33	Muy Baja
	Porcentaje de población de 6 a 14 años que no asiste a la escuela	4.99	Baja	0.25		
	Grado promedio de escolaridad	8.8	Media	0.5		

Vivienda

Las condiciones de la vivienda en el municipio resultan ser bastante satisfactorias, pues se obtuvieron condiciones de vulnerabilidad muy baja. Ya que

el 60% de las viviendas cuenta con servicios básicos como agua entubada, 70% con drenaje y 90% cuenta con energía eléctrica (INEGI, 2010 y Plan de Desarrollo municipal, 2016-2020), Tabla 14.

Por otro lado, en cuanto los incendios forestales, la vivienda puede tener afectaciones y ello depende de las características constructivas y de los materiales utilizados. La condición precaria de una vivienda provoca el aumento en número e intensidad de los factores de riesgo por incendios forestales, y con ello las amenazas a la salud de sus habitantes por la dispersión del humo que estos ocasionan.

Tabla 14. Condición de vulnerabilidad y valores de vivienda.

Factor	Indicador	Respuesta	Condición de vulnerabilidad	Valor	Resultado	Rango
Vivienda	Porcentaje de viviendas sin servicio de agua entubada	8.9	Baja	0.25	0.25	Muy Baja
	Porcentaje de viviendas sin servicio de drenaje	4.37	Baja	0.25		
	Porcentaje de viviendas sin servicio de electricidad	0.2	Muy baja	0		
	Porcentaje de viviendas con paredes de material de desecho y láminas de cartón	0.79	Muy baja	0		
	Porcentaje de viviendas con piso de tierra	0.95	Muy baja	0		

Empleo e ingresos

La población económicamente activa (PEA) de 12 años y más reveló en las últimas cifras que asciende a 8250 personas, este dato revela una condición donde el 38% percibe menos de 2 salarios mínimos, lo que establece un rango de vulnerabilidad media. Es por ello que los recursos que posibilitan el sustento de las personas se ven afectados e la vulnerabilidad incrementa, Tabla 15.

Tabla 15. Condición de vulnerabilidad y valores de empleo e ingresos.

Factor	Indicador	Respuesta	Condición de vulnerabilidad	Valor	Resultado	Rango
Empleo e ingresos	Porcentaje de la población económicamente activa (PEA) que recibe ingresos de menos de 2 salarios mínimos	38.64	Media	0.5	0.33	Muy Baja
	Razón de dependencia	57.7	Baja	0.25		
	Tasa de desempleo abierto	4.4	Baja	0.25		

Población

Para este trabajo se optó por utilizar los datos de INEGI (2010) ya que se tenían completos los indicadores necesarios para hacer el análisis y obtener los valores de vulnerabilidad social del cual el 52.40% son mujeres y el 47.59% son hombres, en cuanto a rangos de edad el porcentaje el 10.76% son niños con un rango edad de los 0 a 5 años, el 34.87% adolescentes entre 6 y 17 años, 18.17% corresponde a jóvenes adultos entre 18 y 24 años, el 26% se encuentran los adultos de 24 a 59 años, el 5.52% adultos mayores y el 4.30% de personas con algún tipo de discapacidad, Tabla 16 y Tabla 17.

Tabla 16. Condición de vulnerabilidad y valores de población.

Factor	Indicador	Respuesta	Condición de vulnerabilidad	Valor	Resultado	Rango
Población	Densidad de población	167.12	Baja	0.25	0.25	Muy Baja
	Porcentaje de la población de habla indígena	0.45	Predominantemente indígena	0		
	Dispersión poblacional	20.55	Bajo	0.25		

Tabla 17. Distribución de la población por rango de edades de la población por grupos de edad.

GRUPO DE EDADES	NÚMERO DE HABITANTES	PORCENTAJE	VULNERABILIDAD
Menores de 5 años (Niños)	1492	10.76	Alta
Entre 6 y 17 años (adolescentes)	4835	34.87	Medio
Entre 18 y 24 años (jóvenes adultos)	2519	18.17	Bajo
Entre 24 y 59 años (adultos)	3657	26.38	Bajo
Mayores de 60 años (adultos mayores)	765	5.52	Alta
Población con algún tipo de discapacidad	596	4.30	Alta
Población Total	13864	100.00	

Respecto a la concentración poblacional en el Municipio de Mineral del Monte, éste tiene 20 localidades identificadas con un grado de vulnerabilidad media y alta, correspondientes a las comunidades de Ciénega Larga, Barrio el Hiloche, Pueblo Nuevo, San Pedro Huixotitla, Santa Rosalía, Tezoantla, San Felipe, El Jilguero, Palo Hueco, Rufina, Calicanto, Barrio Vizcaínas, Bosques de San Cayetano, Los Cajones, Rancho Valencia, Las Flores, Llano Grande, San Felipe y La Providencia (INEGI, 2010). Tabla 18.

Tabla 18. Distribución de las localidades del Municipio del Mineral del Monte.

Nombre de la Localidad	POB_TOT	POB_MAS	POB_FEM	VULNERABILIDAD
Barrio de Escobar	105	51	54	MEDIO
Barrio del Agua Escondida	10	2	8	MEDIO
Barrio Hiloche	721	336	373	ALTO
Barrio La Purísima	947	435	512	ALTO
Barrio Ocalos	269	130	139	ALTO
Barrio Vizcainas	176	82	94	ALTO
Cabrera	5	0	0	ALTO
Calicanto	14	0	0	ALTO
Ciénega Larga	276	132	144	MEDIO ALTO
El Jilguero	52	24	28	MEDIO ALTO
Bosques de San Cayetano	11	5	6	ALTO
Las Flores	2	0	0	ALTO
Llano Grande	30	18	12	MEDIO ALTO
Los Cajones	3	0	0	ALTO
Mineral del Monte	8902	3079	3710	BAJO
Palo Hueco	29	18	11	MEDIO
Pueblo Nuevo	753	372	381	MEDIO ALTO
Rancho Valencia	19	11	8	ALTO
Rufina	6	0	0	ALTO
San Felipe	36	18	18	MEDIO ALTO
San Felipe (La Providencia)	59	29	30	MEDIO ALTO
San Pedro Huixotitla	247	119	128	MEDIO ALTO
Santa Rosalía	468	234	234	MEDIO ALTO
Tezoantla	724	361	363	MEDIO ALTO
Total	13864	5456	6253	

Al realizar el análisis fue posible obtener el valor para cada indicador de los diferentes factores, estos valores son promediados para obtener un valor final por factor.

El procedimiento es el siguiente:

Dónde:

$$C = \frac{b}{a}$$

a = número de variables por factor.

b = valor obtenido de la suma de las variables por factor

c = promedio.

La Tabla 19 muestra los cinco factores analizados para la obtención del valor de los indicadores socioeconómicos que es de 1.50, este representa el 50% del resultado final.

Tabla 19. Resultados de los indicadores socioeconómicos.

Factor	Indicador	respuesta	condición de vulnerabilidad	valor	promedio
Salud	Médicos por cada 1000 habitantes	0.4	Media	0.5	0.33
	Tasa de mortalidad infantil	24.2	Baja	0.25	
	Porcentaje de la población no derechohabiente	13.3	Baja	0.25	
Educación	Porcentaje de analfabetismo	6.83	Baja	0.25	0.33
	Porcentaje de población de 6 a 14 años que no asiste a la escuela	4.99	Baja	0.25	
	Grado promedio de escolaridad	8.8	Media	0.5	
	Porcentaje de viviendas sin servicio de agua entubada	8.9	Baja	0.25	0.25
	Porcentaje de viviendas sin servicio de drenaje	4.37	Baja	0.25	
	Porcentaje de viviendas sin servicio de electricidad	0.2	Muy baja	0	
	Porcentaje de viviendas con paredes de material de desecho y láminas de cartón	0.79	Muy baja	0	
	Porcentaje de viviendas con piso de tierra	0.95	Muy baja	0	
Empleo e ingresos	Porcentaje de la población económicamente activa (PEA) que recibe ingresos de menos de 2 salarios mínimos	38.64	Media	0.5	0.33
	Razón de dependencia	57.7	Baja	0.25	
	Tasa de desempleo abierto	4.4	Baja	0.25	
Población	Densidad de población	167.12	Baja	0.25	0.25
	Porcentaje de la población de habla indígena	0.45	Predominantemente indígena	0	
	Dispersión poblacional	20.55	Bajo	0.25	
Resultado final de los indicadores socioeconómicos del municipio de Mineral del Monte.					1.50

Capacidad de respuesta

En la segunda etapa, se evaluó la capacidad de prevención y respuesta por parte de la Unidad de Protección Civil del municipio ante una contingencia ocasionada por un incendio forestal. Con ello fue posible estimar su capacidad de planeación, organización y condiciones para mitigar los impactos sociales que trae consigo un incendio forestal y que ponen en peligro y riesgo a la población.

Los problemas más comunes que pueden presentarse en el municipio, y a los que se enfrenta el grupo de Protección Civil, consisten en la falta del recurso humano especializado, carece de una oficina para tal efecto, no cuenta con especialistas en sistemas de información geográfica, tiene limitantes en vehículos de respuesta inmediata equipados para combatir y liquidar el incendio y para movilidad y reubicación de la población afectada por este fenómeno.

Para conocer lo anterior, se realizó un cuestionario que consta de 13 preguntas y permite evaluar la capacidad de prevención y respuesta del personal

de Protección Civil, (Tabla 20). La encuesta fue realizada a las cinco personas que integran este grupo, incluyendo al responsable del equipo.

Tabla 20. Cuestionario de capacidad de respuesta modificado para incendios forestales para Protección Civil del municipio de Mineral del Monte.

Cuestionario de Incendios Forestales			
Percepción de Protección Civil			
Municipio	Mineral del Monte		
Estado	Hidalgo		
El municipio cuenta con una unidad de protección civil?	SI		1
Cuenta con personal suficiente para atender emergencias?	NO		0
El personal tiene la capacitación necesaria para atender los incendios forestales?	SI		1
Cuenta con equipo de comunicación, radios fijos y móviles?	SI		1
Cuenta con equipo vehículos equipados para combatir y liquidar incendios forestales?	NO		0
Tienen un programa de capacitación manejo y control del fuego a escuelas y comunidades?	SI		1
Tiene establecidos los sitios que pueden funcionar como albergues temporales?	SI		0
Cuenta con un stock de alimentos, cobijas, colchonetas, servicios de salud emergentes?	SI		0
Tiene identificadas las rutas de evacuación?	SI		1
Cuenta con mapas para identificar las zonas de peligro y riesgo?	NO		0
Cuenta con un acervo de información histórica?	NO		0
Cuenta con un sistema de información geográfica para el manejo y uso de la información?	SI		1
Cuenta con especialista en sistemas de información geográfica para procesar y analizar la información?	NO		0

El rango de la suma de las respuestas arroja un valor de 7, lo que refleja una capacidad de prevención y respuesta muy alta. El valor asignado para la condición de vulnerabilidad media es de 0.5. Este valor representa el 25% del grado de vulnerabilidad social del municipio (Tabla 21).

Tabla 21. Resultado de capacidad de respuesta. Tomada de CENAPRED,2006

Rangos de suma de las respuestas	Capacidad de prevención y respuesta	Valor de vulnerabilidad	Suma de las respuestas
De 1 a 2	Muy Alta	0	0.5
De 3 a 5	Alta	0.25	
De 6 a 8	Media	0.5	
De 8 a 10	Baja	0.75	
De 11 a 13	Muy Baja	1	

Percepción local

El último factor a considerar para el cálculo de la vulnerabilidad social es la percepción local del riesgo, esto implica, la cultura que tiene la población con

respecto al peligro que existe en sus localidades. En muchas ocasiones la población no tiene una percepción clara del riesgo por incendios forestales, lo que incide directamente en la toma de decisiones de cada población ante un siniestro de esta naturaleza.

Para tal fin se aplicó un cuestionario de 10 preguntas a personas de diferentes edades y localidades, con lo que fue posible identificar la percepción que los pobladores del municipio de Mineral del Monte tienen acerca del riesgo que producen este tipo de fenómeno en su entorno, así como las acciones preventivas y de respuesta en caso de enfrentar una situación de emergencia. Tabla 22.

Tabla 22. Cuestionario de capacidad de respuesta.

Cuestionario de Incendios Forestales		
Percepción de la población		
Nombre de la localidad	Tezoantla	
Municipio	Mineral del Monte	
Estado	Hidalgo	
Sabe si existe una unidad de protección civil?	SI	1
Tiene conocimiento de algún incendio en los últimos años?	SI	1
Sabe qué tipo de vegetación se quemó?	SI	1
Tiene conocimiento de cuanta superficie fue afectada?	NO	0
Hubo daños materiales?	NO	0
Falleció alguna persona?	NO	0
Contaron con el apoyo de las autoridades para apagar el incendio?	SI	1
Ha recibido algún tipo de capacitación?	SI	1
Recibió apoyo de las autoridades después del incendio?	SI	1
En caso de ocurrir otro incendio sabe cómo actuar?	SI	1

En la Tabla 23, se presentan el resultado de vulnerabilidad catalogada como baja.

Tabla 23. Resultado del cuestionario de percepción local.

Rangos de suma de las respuestas	Capacidad de prevención y respuesta	Valor de vulnerabilidad	Resultado
De 1 a 2	Muy Alta	0	0.75
De 3 a 4	Alta	0.25	
De 5 a 6	Media	0.5	
De 7 a 8	Baja	0.75	
De 9 a 10	Muy Baja	1	

El resultado de este factor correspondiente a la percepción local es de 0.75. Este resultado refleja cierto desconocimiento por parte de los pobladores acerca de

las acciones preventivas y de respuesta que deben presentar en caso de una eventualidad ante un incendio forestal.

Cálculo para obtener el Grado de Vulnerabilidad Social

Después de llevar a cabo el análisis de los indicadores socioeconómicos, la capacidad de respuesta y la percepción local de riesgo, se realizó la evaluación del grado de vulnerabilidad social para el municipio de Mineral del Monte mediante la siguiente ecuación:

$$GVS = (R1*1.50) + (R2*0.25) + (R3*0.75)$$

Dónde:

GVS = Es el Grado de Vulnerabilidad Social.

R1 = Resultado de los indicadores socioeconómicos

R2 = Resultado del cuestionario de capacidad de prevención y respuesta

R3 = Resultado de percepción local del riesgo

Los resultados de cada factor de la ecuación fueron modificados para este trabajo, los cuales fueron definidos por CENAPRED, (2006) en su anexo sobre la Evaluación de la Vulnerabilidad Física y Social. Tabla 24

Tabla 24. Resultado final para determinar el Grado de Vulnerabilidad Social.

Indicadores	Valor	Resultado
Socioeconómicos	1.5	2.75
Percepción local de las poblaciones	0.75	
Capacidad de respuesta Protección Civil	0.5	

Al finalizar el análisis se obtuvo valor de vulnerabilidad social, el cual es de 2.75 y representa un rango de baja vulnerabilidad. Tabla 25.

Tabla 25. Rangos para determinar el Grado de Vulnerabilidad Social.

Valor final	Rango de vulnerabilidad social	Resultado
De 0 a 1.50	Muy Bajo	2.75
De 1.51 a 3.0	Bajo	
De 3.1 a 4.0	Medio	
De 4.1 a 5.0	Alto	
Más de 5.0	Muy Alto	

3.3.8. Determinación de la Vulnerabilidad Física (vivienda)

Dentro de las edificaciones que resultan con mayores daños, principalmente se encuentran las viviendas clasificadas como de bajo costo, que son consideradas como construcciones informales y que se caracterizan por emplear materiales de baja calidad y por no tener un diseño estructural formal, lo que las hace altamente susceptibles a ser dañadas (CENAPRED, 2014).

Para determinar la tipología de vivienda del área urbana y de las localidades del municipio en estudio, se realizó un análisis de la información contenida en las Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB) a nivel urbano y rural de (INEGI, 2010). También, se consideró la información característica de cada vivienda para su reclasificación de la tipología de vivienda según CENAPRED (2006).

- Viviendas particulares habitadas con un solo cuarto
- Viviendas particulares habitadas con dos cuartos
- Viviendas particulares habitadas con 3 cuartos y más

La clasificación por tipología de vivienda considerada se presenta en la Tabla 26 y ejemplifica los tipos de viviendas que existen en el municipio de Mineral del Monte, para su posterior estimación de los costos.

Tabla 26. Tipología de viviendas y costos por tipo de vivienda.

TIPO DE VIVIENDA	DESCRIPCIÓN	EJEMPLO
Precaria o provisional Tipo I	Son construcciones sin cimentación, que se elaboran mediante marcos estructurales de baja resistencia a las cargas (polines, palos, tubos, muros de adobe, etc.), estos a su vez son recubiertos con materiales flexibles como láminas metálicas. No se utiliza ningún tipo de cementante para unir las partes. Generalmente se construyen de una sola habitación. (Ciénega Larga)	
Semipermanente o no consolidadas Tipo II	Son construcciones que cuentan con cimentación o con algún tipo de estructura-base sin acabados, donde el aglutinante principal es el cemento. Los muros están hechos de materiales pétreos con cemento o con algún otro tipo de mortero. Cuentan con dalas de desplante, castillos y cadenas de concreto reforzados. El techo es rígido. Son construcciones de dos o tres habitaciones (Pueblo Nuevo)	
Permanentes o consolidadas Tipo III	Son construcciones con estructura totalmente terminadas con acabados que cuentan con los siguientes elementos estructurales: cimentación, muros de carga con castillos y cadenas o columnas y traves, losa de concreto o algún otro material de alta resistencia. (Barrio El Hiloche)	

A continuación, se muestra la reclasificación de las viviendas de acuerdo al grado de peligro para el municipio de Mineral del Monte.

Tabla 27. Vulnerabilidad según tipo de vivienda y peligro.

		VULNERABILIDAD				
			VIVIENDA TIPO III	VIVIENDA TIPO II	VIVIENDA TIPO I	
		MUY BAJO	BAJO	MEDIO	ALTO	MUY ALTO
PELIGRO	MUY BAJO	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Medio
	BAJO	Bajo	Bajo	Medio	Medio	Medio
	MEDIO	Medio	Medio	Medio	Alto	Alto
	ALTO	Medio	Medio	Alto	Alto	Muy Alto
	MUY ALTO	Medio	Alto	Alto	Muy Alto	Muy Alto

(CENAPRED, 2006)

3.3.9. Determinación de la Vulnerabilidad Ecológica (Forestal)

La vulnerabilidad ecológica, está definida por las condiciones ambientales y ecológicas del entorno. Los indicadores empleados para efectuar este tipo de valoración son: cobertura vegetal, uso del suelo, prácticas de conservación del suelo y el agua, erosión del suelo, contaminación en la zona de estudio, pendiente del terreno, actividades agrícolas y ganaderas, así como las características del suelo (Araya Ulloa y Calvo Brenes, 2017).

La vulnerabilidad de la cobertura vegetal se expresa como la susceptibilidad física dada por las características propias que tiene la vegetación como: carga de combustibles, disposición y combustibilidad, que le brindan cierto grado de probabilidad de incendiarse, propagar y mantener el fuego (adaptaciones de los ecosistemas al fuego), a sufrir daños o ser afectada por factores externos, o de resistir y de recuperarse ante un incendio (IDEAM, 2011).

Entre los cambios que provocan los incendios forestales, están los estructurales, composición y funcionamiento de los ecosistemas. Estos cambios, pueden ser parte de la dinámica histórica, o ajenos a esta, dependerá del régimen histórico de incendios en cada lugar, (Jardel, 2010 citado en Flores Garnica et al., 2016). Cómo la respuesta de cada ecosistema ante la presencia de fuego es distinta se deben tomar en cuenta ciertas características de las especies de cada sitio (CONAFOR, 2010 en Flores Garnica et al., 2016). En base a la respuesta que tiene cada tipo de bosque a la presencia del fuego, se clasificaron en tres categorías: dependientes, independientes y sensibles (Myers, 2006; Scott y Burgan, 2005 y CONAFOR, 2010).

Los ecosistemas dependientes del fuego favorecen las condiciones para que los incendios forestales prevalezcan. En México por ejemplo existe una gran abundancia de estos ecosistemas. Hacia el noreste del país hay ecosistemas que son mantenidos por incendios relativamente poco frecuentes.

Los ecosistemas sensibles al fuego son ecosistemas en los cuales los incendios forestales, tienen gran influencia (The Nature Conservancy, 2015 citado

en Flores Garnica et al., 2016) con resultados catastróficos generalmente. Para la recuperación de la vegetación original en estos sitios, tiene que transcurrir la sucesión ecológica a largo plazo (Flores Garnica et al., 2016). Algunos ejemplos de estos ecosistemas en México son los bosques tropicales, bosques de niebla y bosques templados.

Y finalmente, los ecosistemas independientes, son ecosistemas en los cuales predominan las condiciones climáticas muy secas, húmedas o frías. Además de que no existe una continuidad suficiente entre los combustibles forestales para que el fuego sea transmitido o siga avanzando. En México un ejemplo para estos ecosistemas son los desiertos y la tundra alpina (Flores Garnica et al., 2016), Tabla 28.

Tabla 28. Tipos de bosques vulnerables al fuego.

TIPO DE VEGETACIÓN	VULNERABILIDAD
BOSQUE DE ENCINO	Alta
BOSQUE DE TASCATE	Alta
BOSQUE DE OYAMEL	Muy alta
BOSQUE DE PINO	Muy alta
BOSQUE DE PINO-ENCINO	Muy alta

3.3.10. Determinación de los costos asociados a los sistemas expuestos (Riesgo)

Para poder estimar el costo del daño en el tipo de estructura que se analice (vivienda de mampostería en este caso) es necesario estimar el costo total del inmueble. En cada región del país se puede conocer el valor de las viviendas típicas y establecer tabuladores, de preferencia expresándolos en costos unitarios como en costo por metro cuadrado construido. Con el fin de tener un parámetro aproximado, y sin intención de que se tomen como valores definitivos, se proponen los siguientes costos unitarios por tipología de vivienda (CENAPRED, 2006), Tabla 29 y Tabla 30.

Tabla 29. Costos unitarios por tipo de vivienda.

Tipo de vivienda	Estimación de costo
Vivienda rural	500 -1,000 \$/m ²
Vivienda urbana de interés social	3,000 - 5,000 \$/m ²
Vivienda urbana de interés medio	6,000 -10,000 \$/m ²

Tabla 30. Costos unitarios por tipo de vivienda modificados.

TIPOLOGÍA	PELIGRO	VALOR ESTIMADO POR VIVIENDA PESO MEXICANO	VALOR ESTIMADO POR VIVIENDA DÓLAR AMERICANO
Tipo I	Alta	\$50,000.00	\$2,702.70
Tipo II	Media	\$450,000.00	\$24,324.32
Tipo III	Baja	\$1,200,000.00	\$64,864.86

3.3.11. Análisis y Modelo espacial con el SIG.

El SIG utilizado como herramienta de modelado espacial, en conjunto con el Proceso Analítico Jerárquico (Saaty, 1980) ayuda a obtener los pesos de las variables de los cuatro componentes, para ello se procedió a aplicar la Combinación Lineal Ponderada Binaria, la cual consiste en identificar y ponderar las variables de los componentes, después se generan los mapas binarios de las variables mediante la reclasificación en el SIG, luego, se procedió a estandarizarlos a una escala común, se asignó el valor de 1 al conjunto de clases favorables y 0 al resto que no son favorables, (a este tipo de mapas se le conoce como de ausencia-presencia).

Posteriormente se multiplican cada uno de los mapas binarios de las variables por su peso de importancia y finalmente se suman todos los mapas por medio del álgebra de mapas en el SIG ArcGIS 10.3. (ESRI, 2013).

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1. RESULTADOS

A partir del análisis de las 18 variables, la superficie identificada de amenaza a incendios forestales incluye las áreas de bosque, agricultura y asentamientos humanos (Figura 10).

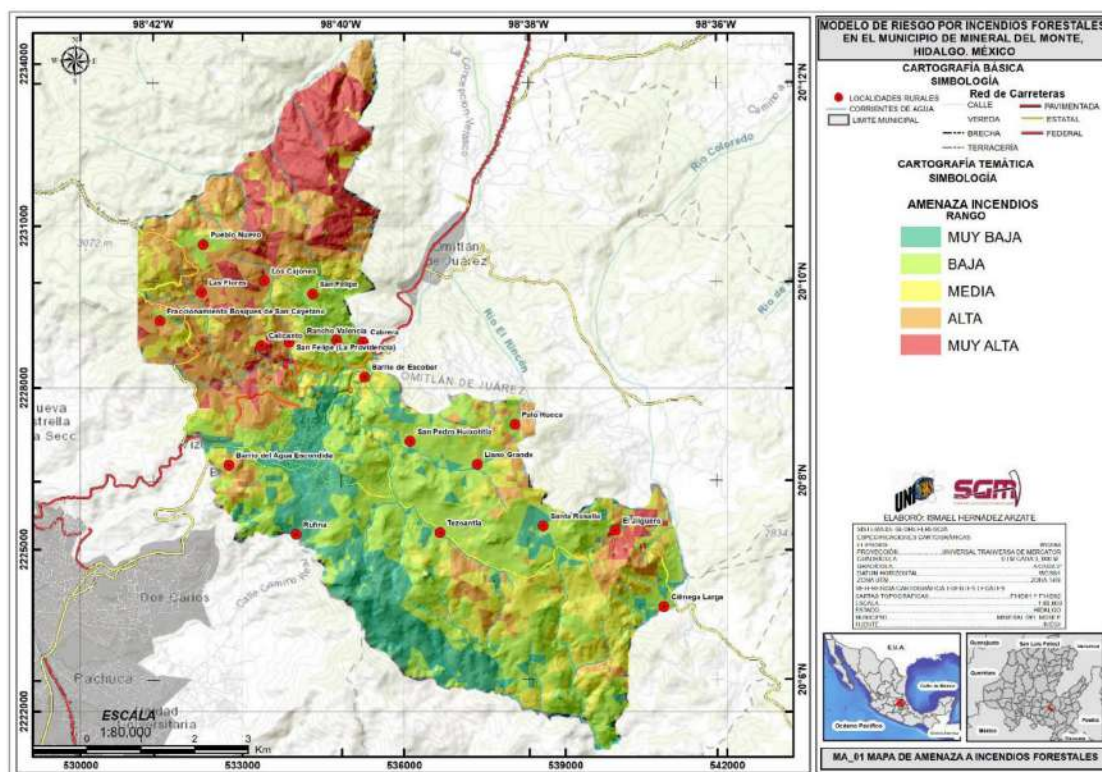


Figura 10. Mapa de amenaza por incendios forestales

Los porcentajes de la superficie del municipio obtenidos y los diferentes escenarios de peligro a 5, 10, 25 y 50 años, son: muy bajo, entre 13% y 20%, para bajo 34% y 18%, medio 19% mantiene esa tendencia, alto: 22% y asciende hasta 30% y muy alto 10% y aumenta a 11%, Tabla 31.

Tabla 31. Porcentajes de amenaza y peligro con periodos de retorno de 5 hasta 50 años

RANGO	AMENAZA		PELIGRO RT5		PELIGRO RT10		PELIGRO RT25		PELIGRO RT50	
	SUP_HA	PORCENTAJE	SUP_HA	PORCENTAJE	SUP_HA	PORCENTAJE	SUP_HA	PORCENTAJE	SUP_HA	PORCENTAJE
MUY BAJA	708.142	13.61	1304.84	24.75	760.13	14.40	986.53	18.69	1075.54	20.41
BAJA	1783.68	34.29	1196.07	22.68	1386.11	26.26	1341.41	25.41	990.25	18.79
MEDIO	995.063	19.13	892.38	16.92	787.88	14.93	794.12	15.04	1031.51	19.57
ALTA	1163.66	22.37	885.04	16.78	1356.63	25.71	1360.59	25.77	1582.97	30.04
MUY ALTA	551.344	10.60	994.61	18.86	986.82	18.70	796.22	15.08	583.53	11.19

Los resultados muestran la tendencia de afectación hacia al bosque de encino en un periodo de retorno a 5 años, donde la temperatura puede alcanzar los 23°C, con vientos 28 km/h con una dirección hacia el SE, una radiación solar de 501 kw/h, humedad relativa de 70% y evaporación de 118 L/m² mensual.

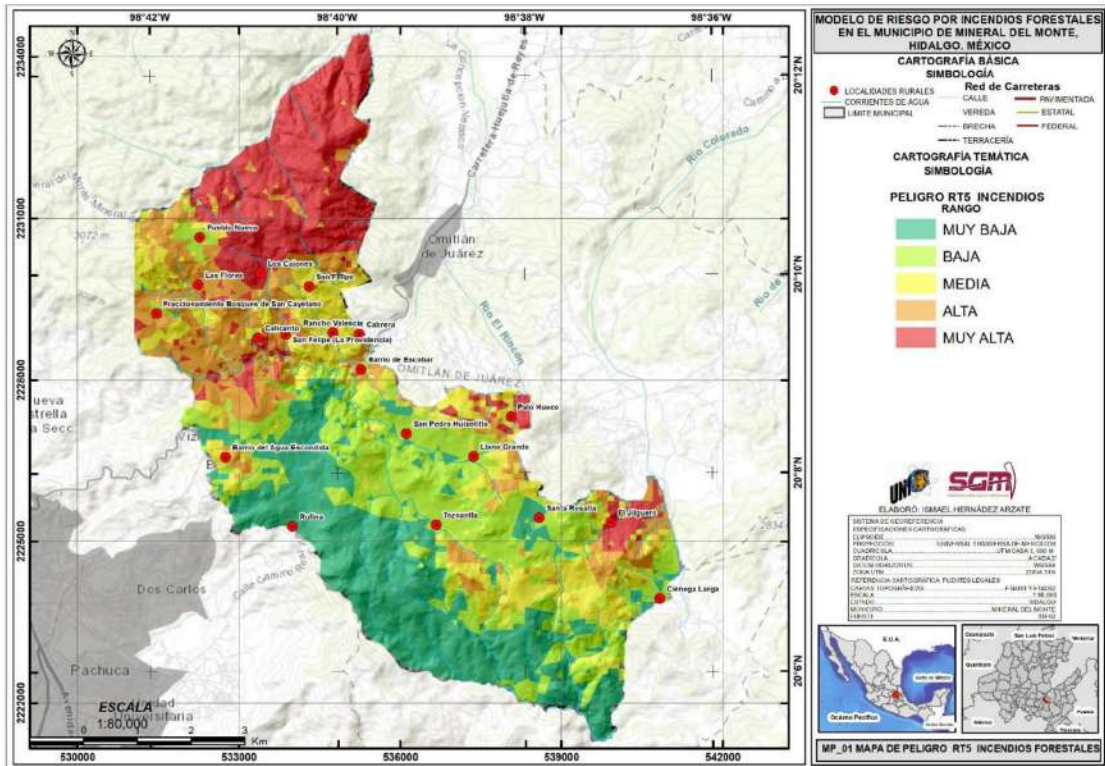


Figura 11. Mapa de peligro a 5 años por incendios forestales

Continúa la tendencia hacia al bosque de encino a un periodo de retorno de 10 años y en la que la temperatura puede alcanzar los 24°C, con vientos 40 km/h con una dirección predominante al NE, una radiación solar de 527 kw/h, humedad relativa, 73% y 126 L/m² mensual de evaporación.

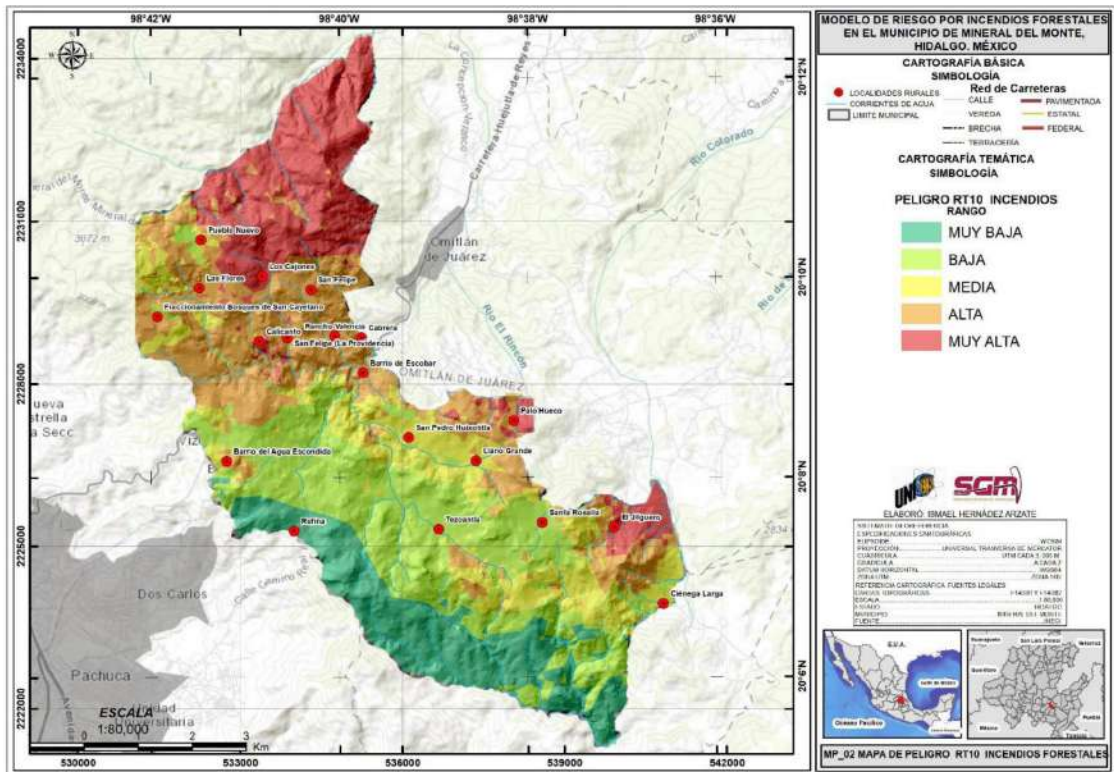


Figura 12. Mapa de peligro a 10 años por incendios forestales.

Sigue prevaleciendo una vez más la tendencia hacia al bosque de encino a un periodo de retorno a 25 años, en donde la temperatura puede alcanzar los 26°C, con vientos de 54 km/h con una dirección predominante al N, una radiación solar de 561 kw/h, humedad relativa, 78% y 138 L/m² mensual de evaporación.

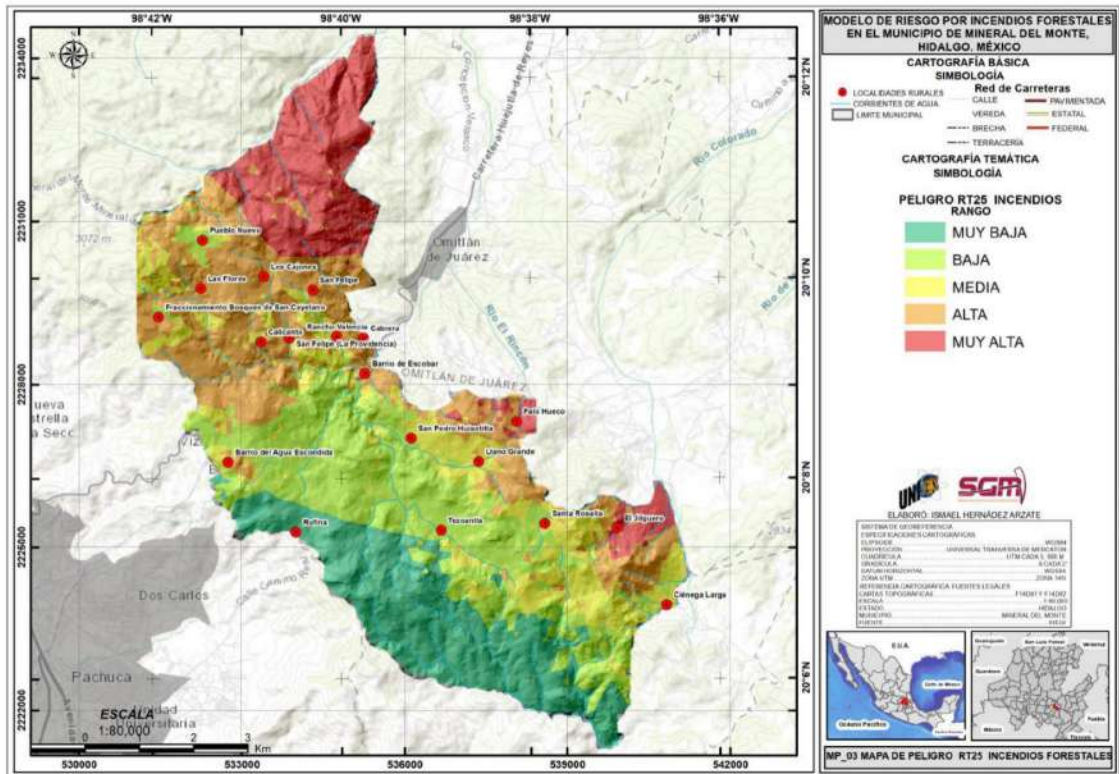


Figura 13. Mapa de peligro a 25 años por incendios forestales

El bosque de encino sigue mostrando la tendencia a un periodo de retorno de 50 años, donde la temperatura puede alcanzar los 27°C , con vientos 64 km/h con una dirección predominante al N, una radiación solar de 586 kw/h , humedad relativa, 81% y 146 L/m^2 mensual de evaporación.

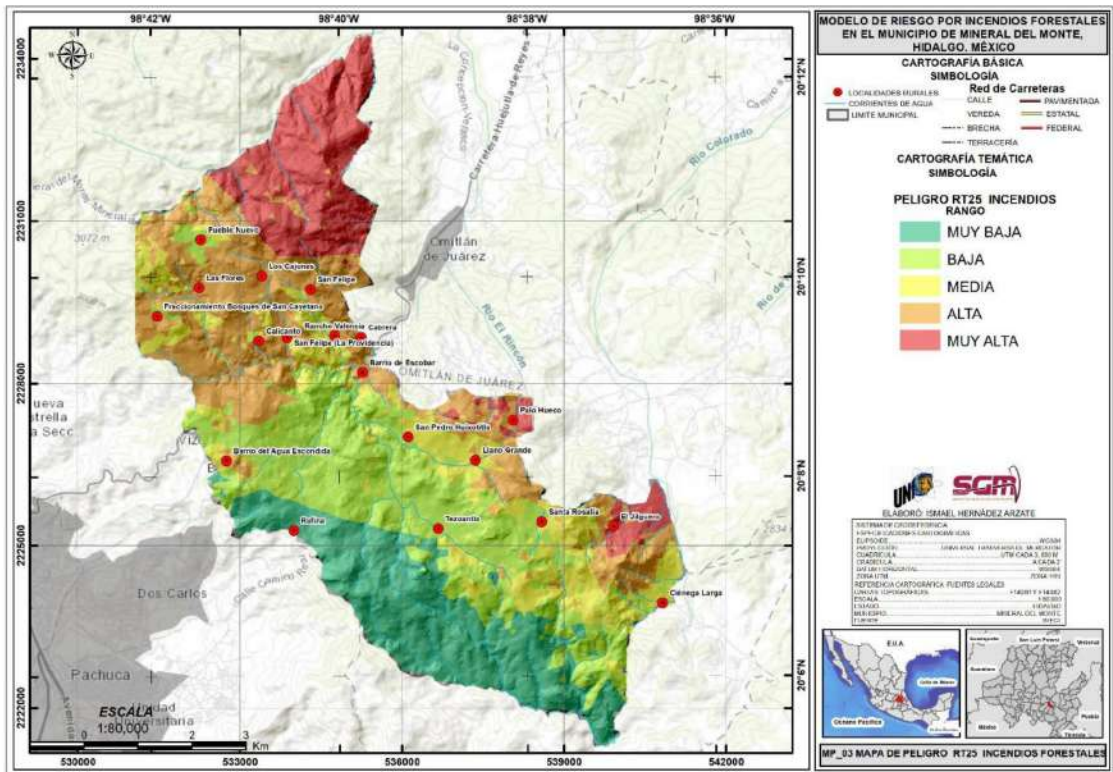
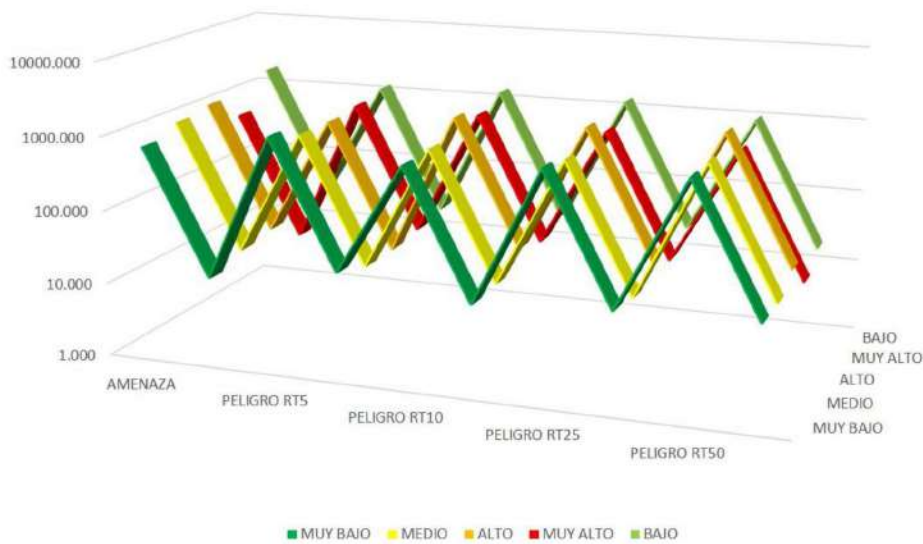


Figura 14. Mapa de peligro a 50 años por incendios forestales



Gráfica 1. Porcentajes de amenaza y peligro con periodos de retorno de 5 hasta 50 años. En cuanto a la vulnerabilidad física, se identificaron 14 localidades con 1,129 viviendas de las cuales 58 son de tipología I, 252 de tipo II y 819 de tipo III. Tabla 32.

Tabla 32. Localidades identificadas con alto grado de vulnerabilidad

Nombre de la Localidad	VIV 1 CUARTO	VIV 2 CUARTO	VIV 3 Y MAS CUARTOS	PELIGRO	VULNERABILIDAD
Barrio Hiloche	13	45	109	ALTO	ALTO
Barrio Ocalos	0	10	53	ALTO	ALTO
Barrio La Purísima	12	59	157	ALTO	ALTO
Barrio Vizcaínas	0	8	44	ALTO	ALTO
Bosques de San Cayetano	0	0	15	ALTO	ALTO
Palo Huevo	1	0	7	ALTO	ALTO
Ciénega Larga	1	9	58	ALTO	ALTO
El Jilguero	1	5	10	ALTO	ALTO
Llano Grande	1	3	7	ALTO	ALTO
Pueblo Nuevo	9	34	126	ALTO	ALTO
San Felipe	2	2	5	ALTO	ALTO
San Pedro Huixotitla	0	12	43	ALTO	ALTO
Santa Rosalía	6	31	75	ALTO	ALTO
Tezoantla	12	34	110	ALTO	ALTO
Total	58	252	819		

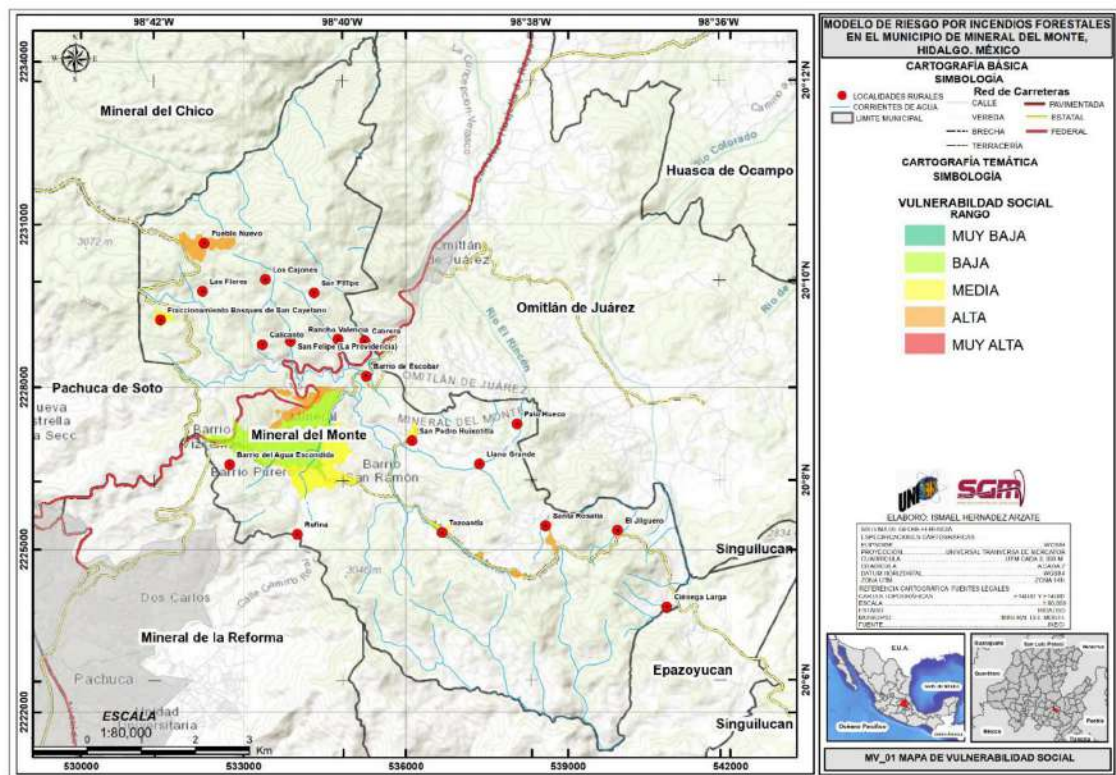


Figura 15. Mapa de vulnerabilidad Social.

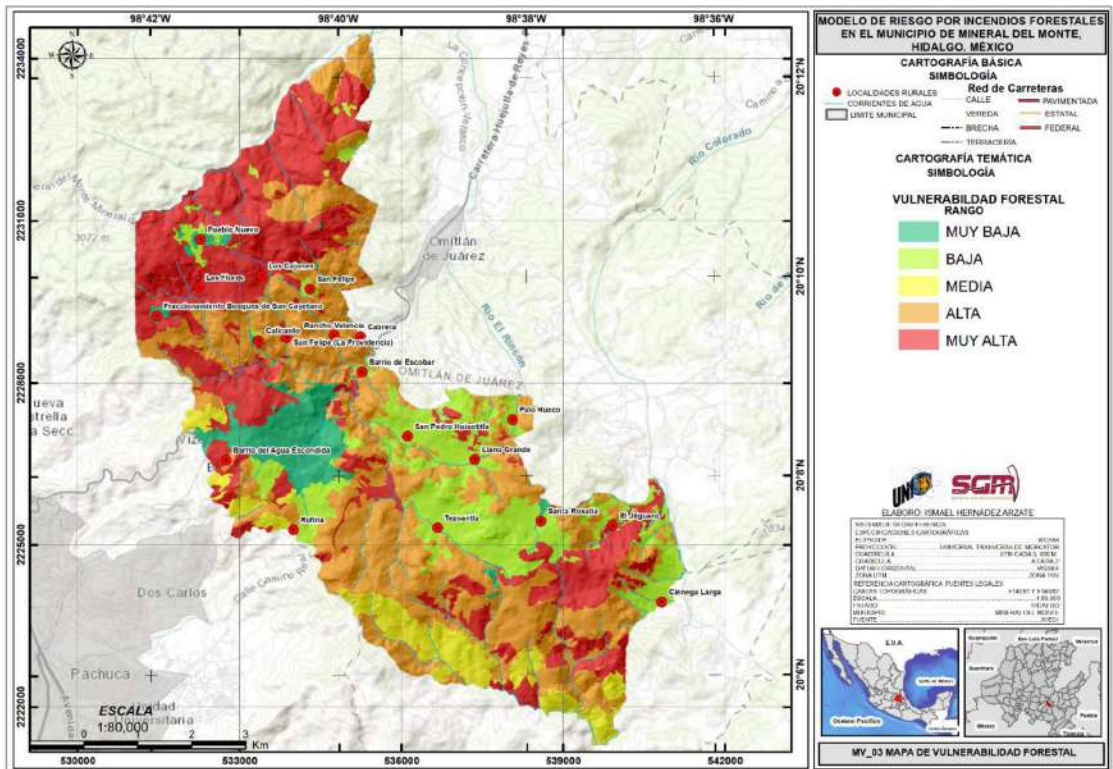


Figura 16. Mapa de vulnerabilidad Forestal.

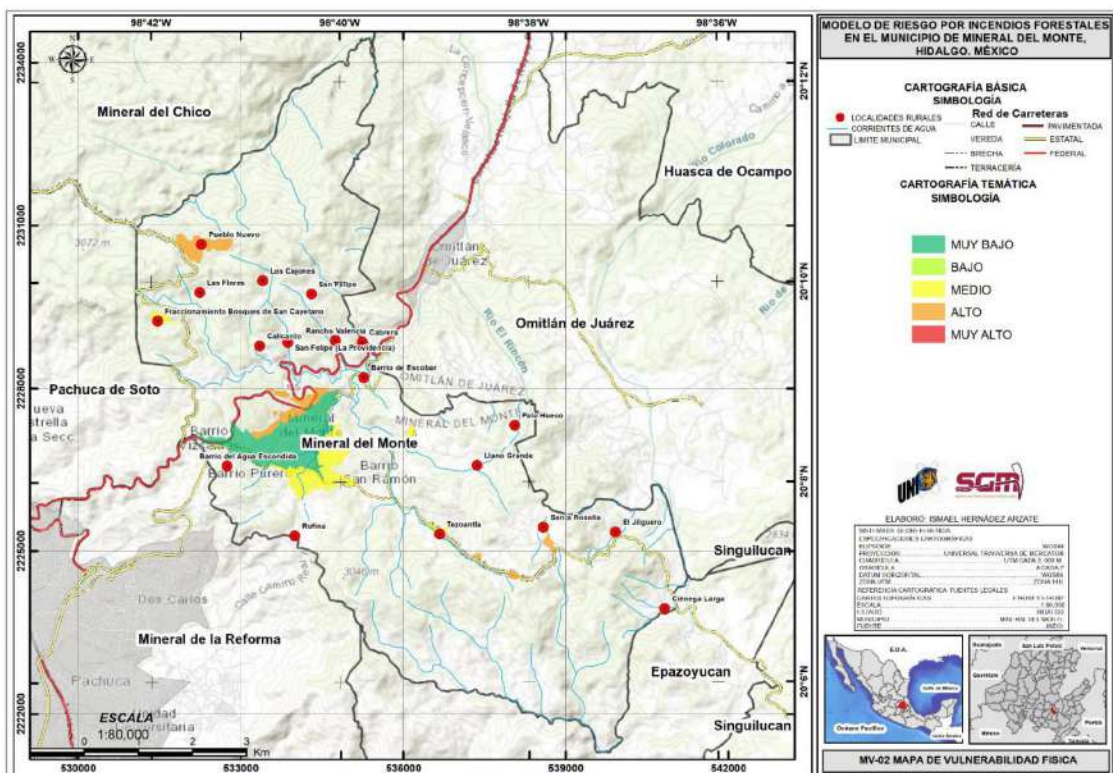


Figura 17. Mapa de vulnerabilidad física

4.1.1. Determinación de costos

La exposición o Grado de Exposición se refiere a la cantidad de personas, bienes y sistemas que se encuentran en el sitio y que son factibles de ser dañados. Por lo general se le asignan unidades monetarias puesto que es común que así se exprese el valor de los daños, aunque no siempre es traducible a dinero. El grado de exposición es un parámetro que varía con el tiempo, el cual está ligado al crecimiento y desarrollo de la población y su infraestructura. En cuanto mayor sea el valor de lo expuesto, mayor será el riesgo que se enfrenta. Si el valor de lo expuesto es nulo, el riesgo también será nulo, independientemente del valor del peligro (CENAPRED, 2006).

Ante esta situación se determinó el rango de riesgo, de acuerdo al grado de peligro y vulnerabilidad, esta correlación muestra los diferentes valores de riesgo que se obtienen al ponderar estos parámetros a partir de la matriz que se encuentra referida en el manual básico para la estimación del riesgo (DINAPRE, 2006 y DOF, 2016). Ver Tabla 33.

Tabla 33. Clasificación de los rangos de riesgo.

PELIGRO	VULNERABILIDAD				
		VIVIENDA TIPO I	VIVIENDA TIPO II	VIVIENDA TIPO II	
	MUY ALTA	ALTA	MEDIA	BAJA	MUY BAJA
MUY ALTO	RIESGO MUY ALTO	RIESGO MUY ALTO	RIESGO ALTO	RIESGO MEDIO	RIESGO MEDIO
ALTO	RIESGO MUY ALTO	RIESGO ALTO	RIESGO ALTO	RIESGO MEDIO	RIESGO BAJO
MEDIO	RIESGO ALTO	RIESGO ALTO	RIESGO MEDIO	RIESGO BAJO	RIESGO BAJO
BAJO	RIESGO MEDIO	RIESGO MEDIO	RIESGO MEDIO	RIESGO BAJO	RIESGO MUY BAJO
MUY BAJO	RIESGO MEDIO	RIESGO BAJO	RIESGO BAJO	RIESGO MUY BAJO	RIESGO MUY BAJO
GRADO DE MARGINACIÓN					
	MUY ALTO	ALTO	MEDIO	BAJO	BAJO

Por lo tanto, para determinar el riesgo se hizo la ponderación de los mapas de peligro a un periodo de retorno de 5 años, los mapas de vulnerabilidad social y forestal, dando como resultado, los mapas de riesgo social y riesgo forestal (CENAPRED, 2014; SEDATU, 2015 y DOF, 2016.) Figura 18.

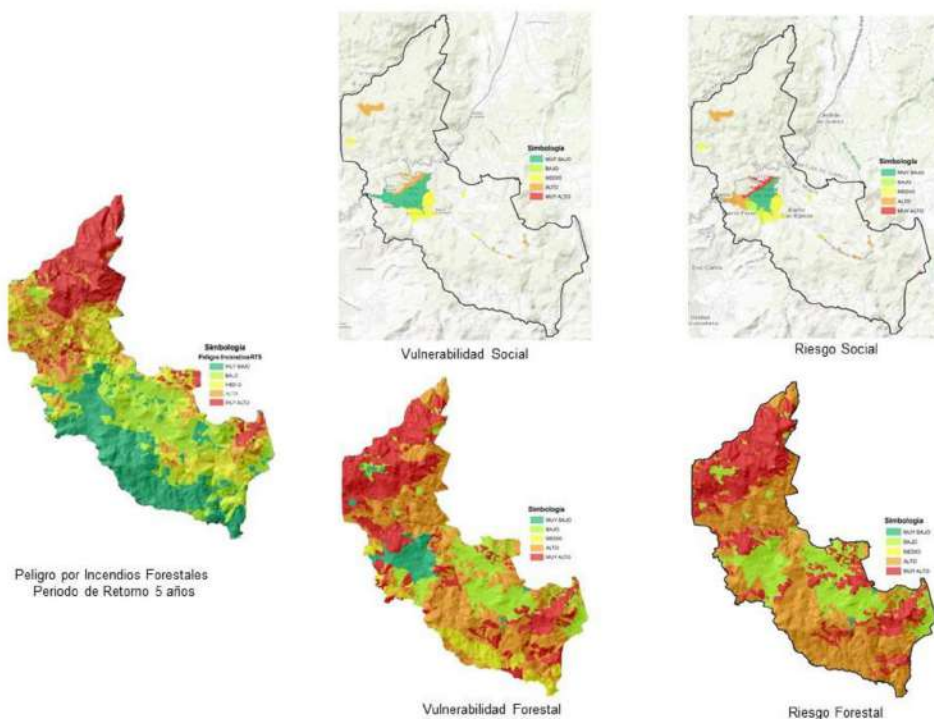
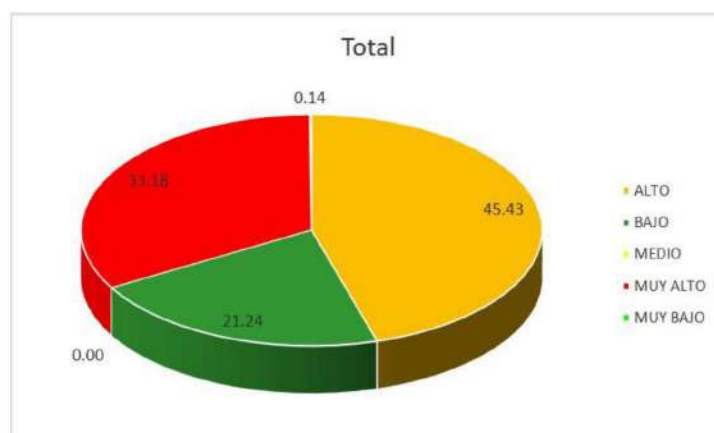


Figura 18. Ponderación de los mapas de peligro, vulnerabilidad, para obtener el mapa riesgo

El resultado muestra las superficies y porcentajes que tienen alguna probabilidad de que se suscite un incendio forestal. 7.39) Muy bajo, 17.67%, (1379.84 ha) bajo 26.30% (713.33 ha) medio 13.67%, (1254.04 ha) alto 23.90% y (968.89 ha) 18.46 % muy alto. Tabla 34 y Gráfica 2.

Tabla 34. Superficies y porcentajes mapa de Riesgo.

TIPO DE VEGETACIÓN	TIPO DE FORMACIÓN	SUP_HA	PORCENTAJE	RIESGO
AGRICULTURA DE TEMPORAL	AREAS NO FORESTALES	855.75	16.34	BAJO
CUERPO DE AGUA Y BANCO DE MATERIAL	AREAS NO FORESTALES	7.39	0.14	MUY BAJO
PASTIZAL INDUCIDO	ASENTAMIENTO HUMANO	432.2	8.25	ALTO
PUEBLO NUEVO	ASENTAMIENTO HUMANO	5.18	0.10	ALTO
SANTA ROSALIA	ASENTAMIENTO HUMANO	10.72	0.20	ALTO
TEZOANTLA	ASENTAMIENTO HUMANO	0.92	0.02	ALTO
MINERAL DEL MONTE	ASENTAMIENTO HUMANO	257.01	4.91	BAJO
SAN PEDRO HUIXOTITLA	ASENTAMIENTO HUMANO	0.12	0.00	MEDIO
BOSQUE DE TASCATE	CONIFERAS	343.74	6.56	ALTO
BOSQUE DE OYAMEL	CONIFERAS	1009.97	19.28	MUY ALTO
BOSQUE DE PINO	CONIFERAS	241.87	4.62	MUY ALTO
BOSQUE DE PINO-ENCINO	CONIFERAS Y LATIFOLIADAS	486.37	9.28	MUY ALTO
BOSQUE DE ENCINO	LATIFOLIADAS	1587.05	30.30	ALTO



Gráfica 2. Porcentajes del riesgo.

El modelo de riesgo, es un mapa predictivo que muestra la probabilidad de suscitarse un incendio forestal, debido a las condiciones físico, bióticas y geográficas que prevalecen en las zonas, a su vez se relacionaron con los tipos de vegetación, las localidades y los sitios donde se han registrado incendios forestales entre los años 2009 y 2013.

Riesgo muy bajo. Se ubica al sur, sur-este, donde el uso de suelo está conformado por áreas desprovistas de vegetación, bancos de material pétreo para la construcción y cuerpos de agua.

Riesgo bajo. Se identificaron zonas urbanas y de asentamientos humanos que comprende el 21%, de norte a sur del municipio, donde predominan los bosques de pino, bosques de encino, bosques de oyamel, bosques mixtos y pastizales, se localizan las poblaciones: San Pedro Huexotitla, Tezoantla y Santa Rosalía, hacia el norte: Fraccionamiento Bosque de San Cayetano y Pueblo Nuevo. En la cabecera municipal de Mineral del Monte, se registraron en las cercanías de los Barrios: Vizcaínas, Hiloche y Tlaxcalera. 5 incendios forestales 2 (2009), 1 (2011) y 2 (2013), afectando a 6 ha.

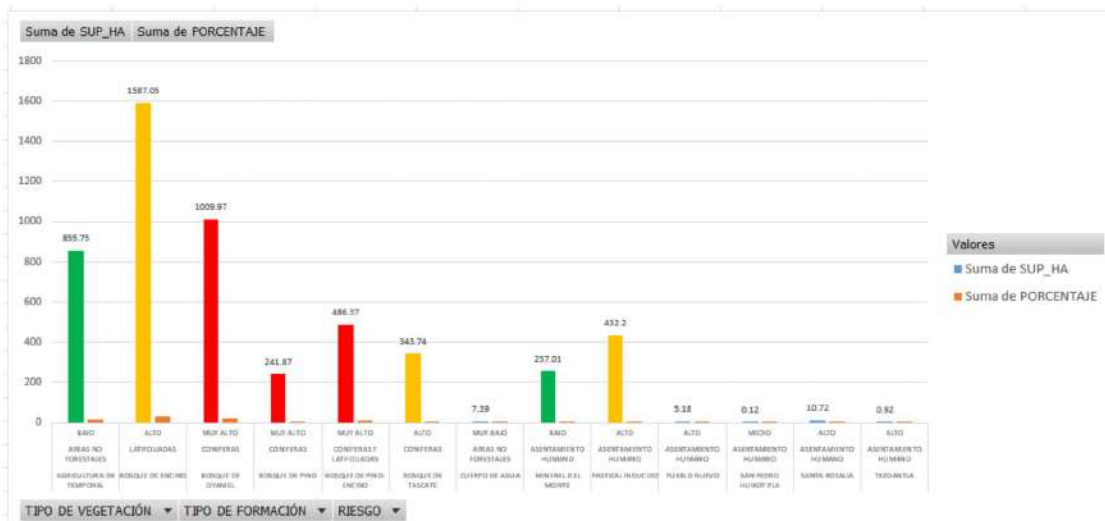
Riesgo medio. Las zonas identificadas con este grado de riesgo se localizan hacia el sureste del municipio, al norte de la comunidad de San Pedro Huexotitla donde prevalecen los bosques de encino y bosques de pino-encino,

las poblaciones ubicadas en estas zonas son y. Sólo se tiene un incendio forestal registrado en el 2013.

Riesgo alto. Estas zonas se ubican hacia el centro-norte y sur-oeste del municipio, donde existen bosques de encino, bosques de pino-encino y pastizales, las poblaciones identificadas en estas zonas son: San Felipe (La Providencia) Barrio La Escondida, Barrio Escobar, San Jose Acosta, Calicanto, Llano Grande, Rancho Valencia y Ciénega Larga. Se registraron 24 incendios forestales 10 (2009), 1 (2010), 5 (2011) y 8 (2013), con 14.77 ha., siniestradas.

Riesgo muy alto. Esta zona se localiza al norte del municipio, al norte de la cabecera municipal, donde predominan los bosques de Oyamel, pino y pino-encino. Aquí se ubica las localidades y barrios: Las Flores, Palo Hueco, El Jilguero, Cabrera, Pueblo Nuevo, Los cajones y Rufina. Barrios Vizcaínas, Hiloche, Ócalos En estas Se registraron 9 incendios y sólo se tiene un registro de un incendio forestal en el año de 2013. Figura 19

Respecto al análisis de los tipos de vegetación que pudieran afectarse en caso de ocurrir un incendio, se identificaron en riesgo alto y muy alto; al bosque de táscate, bosque de encino, bosque de oyamel, bosque de pino y bosque de pino-encino, respectivamente. Gráfica 3



Gráfica 3. Tipos de vegetación por rango de riesgo

Barrio Ócalos	269	130	139	MUY ALTO
Barrio La Purísima	947	435	512	MUY ALTO
Barrio Vizcainas	176	82	94	MUY ALTO
Bosques de San Cayetano	11	5	6	MUY ALTO
Rufina	6	0	0	MUY ALTO
El Jilguero	52	24	28	MUY ALTO
Pueblo Nuevo	753	372	381	MUY ALTO
Total	15977	7569	8366	

4.2.2. Costos asociados a los sistemas expuestos

Se identificaron 58 viviendas de tipo I, con un costo unitario de \$50,000, así como 252 viviendas de tipo II, cuyo costo es de \$450,000 y 819 viviendas de tipo III, con costo estimado de \$1, 200,000. Tabla 36.

Tabla 36. Estimación de costos por tipo de vivienda modificado.

TIPOLOGÍA	PELIGRO	VULNERABILIDAD	RIESGO	NÚMERO DE VIVIENDAS	VALOR ESTIMADO POR VIVIENDA	COSTO TOTAL POR VIVIENDAS	COSTO TOTAL U.S\$
Tipo I	Alta	Alta	Alta	58	\$50,000.00	\$2,900,000	\$156,756.76
Tipo II	Media	Media	Media	252	\$450,000.00	\$113,400,000	\$6,129,729.73
Tipo II	Baja	Baja	Baja	819	\$1,200,000.00	\$982,800,000	\$53,124,324.32
TOTAL				1,129	\$1,700,000.00	\$1,099,100,000	\$59,410,810.81

En cuanto a las localidades identificadas con un grado de riesgo alto, El Barrio La Purísima, Pueblo Nuevo, Tezoantla y El Barrio del Hiloche, cuentan con: 157,126,110 y 109 viviendas de tipo III, respectivamente. Entre estas 4 localidades suman 502 viviendas, cuyo monto estimado es de \$602, 400,000. Tabla 37.

Tabla 37. Evaluación de costos por tipo de vivienda modificado.

Nombre de la Localidad	VIV1 CUARTO	COSTO TIPO I	VIV 2 CUARTOS	COSTO TIPO II	VIV 3 Y MAS CUARTOS	COSTO TIPO III	COSTO TOTAL	COSTO DÓLAR	RIESGO
Barrio Hiloche	13	650,000	45	20,250,000	109	49,050,000	69,950,000	3,781,081	ALTO
Barrio Ócalos	0	0.00	10	4,500,000	53	23,850,000	28,350,000	1,532,432	ALTO
Barrio La Purísima	12	600,000	59	26,550,000	157	70,650,000	97,800,000	5,286,486	ALTO
Barrio Vizcainas	0	0.00	8	3,600,000	44	19,800,000	23,400,000	1,264,864	ALTO
Fraccionamiento Bosques de San Cayetano	0	0.00	0	0.00	15	18,000,000	18,000,000	972,972	ALTO
Palo Hueco	1	50,000	0	0.00	7	3,150,000	3,200,000	172,972	ALTO
Ciénega Larga	1	50,000	9	4,050,000	58	26,100,000	30,200,000	1,632,432	MEDIO ALTO
El Jilguero	1	50,000	5	2,250,000	10	4,500,000	6,800,000	367,587	MEDIO ALTO
Llano Grande	1	50,000	3	1,350,000	7	3,150,000	4,550,000	245,945	MEDIO ALTO
Pueblo Nuevo	9	450,000	34	15,300,000	126	56,700,000	72,450,000	3,916,216	MEDIO ALTO
San Felipe	2	100,000	2	900,000	5	2,250,000	3,250,000	175,675	MEDIO ALTO
San Pedro Huixotitla	0	0.00	12	5,400,000	43	19,350,000	24,750,000	1,337,837	MEDIO ALTO
Santa Rosalía	6	300,000	31	13,950,000	75	33,750,000	48,000,000	2,594,594	MEDIO ALTO
Tezoantla	12	600,000	34	15,300,000	110	49,500,000	65,400,000	3,535,135	MEDIO ALTO

Los costos estimados se consideran, el valor de la estructura, acabados e instalaciones: eléctricas e hidráulica, en caso de una pérdida de más del 50% se debería considerar la pérdida de los contenidos (menaje). Así, si la función de vulnerabilidad toma un valor de cero, el daño esperado es nulo, y uno si el daño es total (CENAPRED, 2006) Tabla 38.

En cuanto a la población, de las 14 localidades identificadas de alto riesgo, habitan 4,822 de los cuales 2,324 son hombres y 2,481 son mujeres. Tabla 39 y Figura 20.

Tabla 38. Relación de Estimación daño físico-costo de reparación.

Clasificación de daño	Daño estructural	Daño en acabados	Costo de reparación valor original
Sin daño	Ninguno	Ninguno	0
Daño ligero	Pérdida significativa de espesor del recubrimiento del hormigón, o desprendimiento por explosión del concreto	Ligero en acabados de muros	0.15
Daño medio	Una disminución de la resistencia del hormigón cuando su temperatura supera los 380°C durante períodos prolongados. Una disminución de la resistencia de las armaduras de acero cuando la temperatura supera los 250°C.	Medio en acabados de muros	0.35
Daño severo	Daño o destrucción de las juntas y sellados, lo que en determinadas estructuras puede conducir al colapso.	Severo en acabados de muros, rotura de vidrios y distorsión de puestas y ventanas	0.50
Daño total	Falla de la construcción	Daño total	1.0

Tabla 39. Localidades y población identificada en riesgo.

Nombre de la Localidad	POBTOT	POBMAS	POBFEM	VULNERABILIDAD	RIESGO
Barrio Hiloche	721	336	373	ALTO	ALTO
Barrio La Purísima	947	435	512	ALTO	ALTO
Barrio Ócalos	269	130	139	ALTO	ALTO
Barrio Vizcainas	176	82	94	ALTO	ALTO
Cabrera	5	0	0	ALTO	ALTO
Ciénega Larga	276	132	144	MEDIO ALTO	ALTO
El Jilguero	52	24	28	MEDIO ALTO	ALTO
Bosques de San Cayetano	11	5	6	ALTO	ALTO
Llano Grande	30	18	12	MEDIO ALTO	ALTO
Palo Hueco	29	18	11	MEDIO	ALTO
Pueblo Nuevo	753	372	381	MEDIO ALTO	ALTO
Rancho Valencia	19	11	8	ALTO	ALTO
San Felipe	36	18	18	MEDIO ALTO	ALTO
San Felipe (La Providencia)	59	29	30	MEDIO ALTO	ALTO
San Pedro Huixotitla	247	119	128	MEDIO ALTO	ALTO
Santa Rosalía	468	234	234	MEDIO ALTO	ALTO
Tezoantla	724	361	363	MEDIO ALTO	ALTO
Total	4822	2324	2481		

4.2.3. Determinación de costo de los servicios ecosistémicos

Los Incendios forestales pueden provocar impactos significativos y duraderos a sistemas ecológicos, sociales y económicos; por lo tanto, es necesario identificar y cuantificar los riesgos planteados por los incendios forestales y, posteriormente, desarrollar estrategias de mitigación rentables (Scott, Thompson y Calvin, 2013).

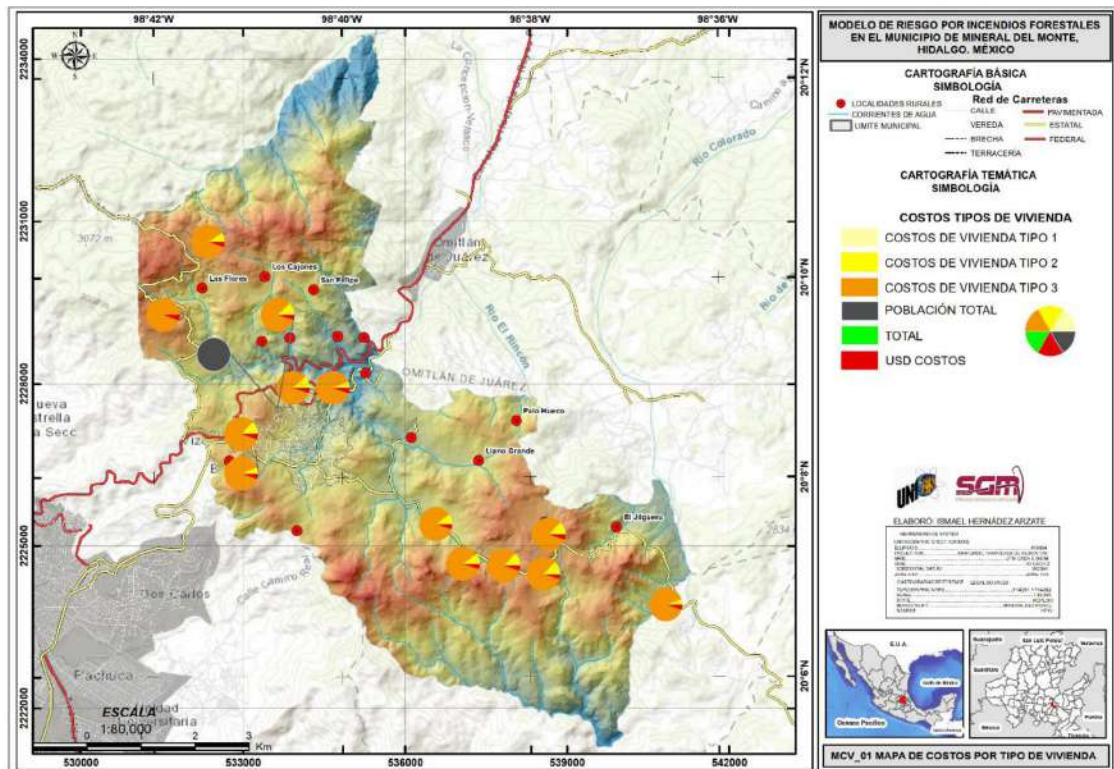


Figura 20. Mapa de costos de riesgo a viviendas por incendios forestales.

La Evaluación de Riesgo de Incendios Forestales, ha demostrado ser una herramienta muy valiosa para cuantificar la magnitud del problema con resultados comparables en todas las áreas geográficas. Identifica claramente el nivel de riesgo para las comunidades u otras áreas de interés y mejora la comunicación del riesgo de incendios forestales al público (State of Oregon, Department of Forestry, 2013).

Por otra parte, los servicios ecosistémicos son beneficios que se obtiene de procesos ecológicos y funciones. Ejemplos de los bosques afectados por

incendios forestales incluyen productos maderables y no maderables (hongos, carbón, resina, tierra, piñas de los pinos, hojarasca y especies vegetales medicinales), biodiversidad de fauna, regulación la calidad y cantidad de agua, captura de carbono, y almacenamiento, conservación de suelos, evitan las inundaciones en las ciudades aledañas a los bosques. También brindan beneficios que dependen de las percepciones colectivas de los humanos acerca de los ecosistemas y de sus componentes. En este caso se habla de servicios culturales, los cuales pueden ser materiales o no materiales, tangibles o intangibles. Los beneficios espirituales, recreativos o educacionales que brindan los ecosistemas se consideran en esta categoría (Balvanera y Cotler, 2009).

La determinación del riesgo implica la conjunción del peligro y la vulnerabilidad. Tabla 40. El cual desencadena la alteración que produce un incendio forestal y el impacto económico, así como el impacto recreativo y ambiental en los sistemas expuestos (DOF, 2016).

Tabla 40. Clasificación de los rangos de riesgo.

PELIGRO	VULNERABILIDAD				
	MUY ALTA	ALTA	MEDIA	BAJA	MUY BAJA
MUY ALTO	RIESGO MUY ALTO	RIESGO MUY ALTO	RIESGO ALTO	RIESGO MEDIO	RIESGO MEDIO
ALTO	RIESGO MUY ALTO	RIESGO ALTO	RIESGO ALTO	RIESGO MEDIO	RIESGO BAJO
MEDIO	RIESGO ALTO	RIESGO ALTO	RIESGO MEDIO	RIESGO BAJO	RIESGO BAJO
BAJO	RIESGO MEDIO	RIESGO MEDIO	RIESGO MEDIO	RIESGO BAJO	RIESGO MUY BAJO
MUY BAJO	RIESGO MEDIO	RIESGO BAJO	RIESGO BAJO	RIESGO MUY BAJO	RIESGO MUY BAJO
	TIPO DE VEGETACIÓN Y USO DE SUELO				
	CONIFERAS Y BOSQUE MIXTO	LATIFOLIADAS Y PASTIZALES	MATORRAL	AGRICULTURA	ZONAS URBANAS Y CUERPOS DE AGUA

Producción Maderable

El volumen de la producción forestal en México se subdivide en dos grandes categorías: maderable y no maderable; el primero está constituido por materiales leñosos. El segundo está compuesto por: semillas, resinas, fibras, gomas, ceras, rizomas, hojas, pencas, tallos, tierra de monte, etc. Los productos maderables son presentados por género y/o grupo (Coníferas (pino y oyamel) y Latifoliadas (encino)) (SEMARNAT, 2016).

Es por esta razón que se estimaron los costos de los algunos servicios ecosistémicos de los bosques de coníferas y latifoliadas, que comprende los bosques de oyamel, pinos, táscate y encinos, correspondiente a los géneros: *Abies*, *Pinus*, *Juniperus* y *Quercus* respectivamente.

Estimación de costos de madera en metros cúbicos (m³).

El estado de Hidalgo cuenta con una superficie forestal de 876,652.99 ha. Equivalente al 42.44% (CONAFOR, 2014). Situación que hace tener un potencial para el aprovechamiento sustentable de los recursos forestales.

En ese sentido, durante el año de 2016 el estado tuvo una producción forestal maderable de 94.24 m³r de pino, 6,397 m³r de oyamel y 23,135 m³r de encino (SEMARNAT, 2016).

Para la estimación de los costos en pesos mexicanos y dólares americanos, en caso de que se suscite un incendio forestal, se determinó por hectárea siniestrada, especie representativa, y datos obtenidos en campo, como diámetro de árbol, altura del fuste y densidad por hectárea. Para tal efecto se apoyó con la información de los indicadores dasométricos por tipo de vegetación (Coníferas y Latifoliadas) vertida en el Inventario Forestal y de Suelos del Estado de Hidalgo (CONAFOR, 2014). Los indicadores dasométricos del arbolado con diámetro a la altura del pecho (DAP) >7.5 centímetros y una altura promedio estimada de 6.9 m, con un intervalo de confianza al 95 % de 6.8 a 7.0 m y 2.0 % de error de muestreo relativo, y una altura máxima de 32.0 m. El mayor número de individuos (35.3 %) se presenta en la clase de 5 m de altura, y el rango entre 2.5 y 7.5 m. (CONAFOR, 2014). Con estos datos se estimó el volumen en metros cúbicos (M³) por hectárea. Es por ello, la importancia de estimar los costos en caso de que suscitarse un incendio. Para tal fin, se obtuvo el resultado del mapa de riesgo, cuya superficie de las formaciones forestales (Coníferas, Latifoliadas y bosque mixto entre ambas) es de 1,574.54, 1587.05 y 486.37 hectáreas. Respectivamente. A partir de este resultado se hizo la estimación del volumen maderable, en base a los datos del Inventario Estatal Forestal y de Suelos (IEFYS). CONAFOR, (2014). Como son la densidad del arbolado, para coníferas de los géneros *Pinus* y *Abies* y para latifoliadas del género *Quercus*. Los costos

se estimaron a partir de los datos del reporte trimestral julio-septiembre 2017 (SIPRE) (CONAFOR ,2017). Sistema de precios de productos forestales maderables. Operado por el Centro de Negocios Forestales es una herramienta que recopila, analiza y publica precios de madera de Pino en pie y en rollo. Para este caso se utilizaron los costos de madera en rollo. Tabla 41

Tabla 41. . Costos unitarios del volumen m³.

FORMACION VEGETAL	COSTO UNITARIO POR HECTAREA M3
CONIFERAS	2,361,810.00
LATIFOLIADAS	1,110,935.00
CONIFERAS Y LATIFOLIADAS	583,644.00
TOTAL	4,056,389.00

La estimación del costo, en caso de la pérdida de 109,994.21 m³, el costo ascenderá a \$104,787.00 y \$5,664.16 USD/ha. Tabla 42.

Tabla 42. Cuantificación de superficies y estimación del volumen m³, número de árboles y costos de afectación

FORMACION VEGETAL	SUPERFICIE HECTAREAS TOTAL	NUMERO DE ARBOLES /HECTAREA	NUMERO TOTAL DE ARBOLES	ESTIMACION VOLUMEN M3	ESTIMACION VOLUMEN M3/HA	PRECIO UNITARIO M3/ HÉCTAREA	PRECIO UNITARIO M3/ HÉCTAREA DÓLAR AMERICANO
CONIFERAS	1,574.54	677.00	1,065,963.58	109,994.21	69.86	104,787.00	5,664.16
LATIFOLIADAS	1,587.05	810.30	1,285,986.62	97,047.50	61.15	42,804.73	2,313.77
CONIFERAS Y LATIFOLIADAS	486.37	716.99	348,722.43	32,706.19	67.25	86,192.32	4,659.04
CONIFERAS1	340.46	677.00	230,490.74	23,783.78	48.90	73,350.90	3,964.91
LATIFOLIADAS1	145.91	810.30	118,231.68	8,922.40	18.34	12,841.42	694.13

Producción No Maderable

Dentro del rubro de los no maderables predominan las actividades de recolección, cuyos productos son: plantas vivas, frutos y semillas en estado silvestre entre otros, los cuales se clasifican como sigue: resinas, rizomas, fibras, gomas, tierra de monte, ceras y otros (SEMARNAT, 2016).

Estimación de costos por kilogramo de hongos.

Los bosques de pinos (coníferas) son los sitios en donde se han encontrado el mayor número de hongos, seguidos por los bosques de encino del género *Quercus* (Guzmán, 1994 y Hernández, 2007).

Los hongos forman parte de la dieta humana desde tiempos inmemorables. Entre los pobladores del México antiguo, los hongos jugaron un papel importante, quedando testimonio en una buena cantidad de figurillas de piedra y barro, pinturas y frescos en casi todas las culturas mesoamericanas (Wasson, 1983 citado en Mariaca Méndez, Silva Pérez y Castaños Montes, 2001).

En el estado de Hidalgo ocupa el tercer lugar a nivel nacional en cuanto al número de especies de hongos silvestres comestibles con 127, las familias más representativas son Helvelaceae, Polyrporaceae, Agaricaceae, Amaticaeae (Plutaceae) Tricholomataceae (Romero- Bautista, 1998, Villareal y Pérez – Moreno citado en Hernández, 2007). Algunas especies de hongos producen una sustancia llamada “taxol”, la cual es considerada un excelente antibiótico y anti-cancerígeno (CONAFOR, 2006). De ahí la importancia en conservar los recursos micológicos (hongos), por esta razón se estimaron los costos por kilogramo de hongos, de las especies que comúnmente se consumen en el municipio de Mineral del Monte, como son el durazno (*Cantharellus cibarius*), orejita blanca (*Helvella crispa*), chilito (*Lactarius deliciosus*) y babosito (*Armillaria mellea*), en base al cálculo de la producción de biomasa por hectárea (Garibay Orijel et al., 2009 y CONAFOR, 2018).

Para estimar los costos por kilogramo de hongos, estos tienen valor en el mercado nacional de las especies *Amanita caesarea*, *Cantharellus cibarius*, *Boletus edulis*, *Lyophyllum decastes*, *Lactarius deliciosus*, cuyo costo al consumidor varía entre 20 y 50 pesos/kg. Son también especies apreciadas en el mercado europeo y que México importa, principalmente para surtir a restaurantes (UNEP–WCMC / METHODUS Consultora S.C, 2003). A su vez se hicieron algunas entrevistas informales a las mujeres que se dedican a coleccionar este tipo de hongos. El costo oscila entre 50 y 60 pesos por kilogramo (3.24) USD. En caso de las coníferas, se estimó \$16, 532,670.0 y \$893,657.84, USD/ha. Tabla 43 y Tabla 44.

Tabla 43. Costos unitarios de producción de hongos por hectárea.

FORMACION VEGETAL	COSTO UNITARIO POR HECTÁREA HONGOS
CONIFERAS	16,532,670.00
LATIFOLIADAS	9,522,300.00
CONIFERAS Y LATIFOLIADAS	4,450,285.50
TOTAL	30,505,255.50

Tabla 44. Costos de afectación de la producción de hongos por hectárea.

FORMACION VEGETAL	SUPERFICIE HECTAREAS TOTAL	NUMERO DE ARBOLES TOTALES/HA	ESTIMACION VOLUMEN M3	PRODUCCIÓN DE HONGOS KG PROMEDIO POR HÉCTAREA	ESTIMACION AFECTADO DE HONGOS TOTAL KG	ESTIMACION DE HONGOS POR ARBOL KG	COSTO PROMEDIO POR KG DE HONGO	COSTO UNITARIO POR HECTAREA	VALOR AFECTACION PESO MEXICANO/ HA	VALOR DE LA AFECTACION DOLAR AMERICANO/HA
CONIFERAS	1,574.54	677.00	109,994.21	175.00	275,544.50	0.26	60.00	10,500.00	16,532,670.00	893,657.84
LATIFOLIADAS	1,587.05	810.30	97,047.50	100.00	158,705.00	0.12	60.00	6,000.00	9,522,300.00	514,718.92
CONIFERAS Y LATIFOLIADAS	486.37	716.99	32,706.19	152.50	74,171.43	0.21	60.00	9,150.00	4,450,285.50	240,555.97

Estimación de costos de producción de resina por hectárea.

La resina de pino es un PFNM. Es una sustancia viscosa que fluye del tronco de algunas especies de *Pinus* y *Abies.*, de la cual se obtiene la trementina, aguarrás y la brea o colofonia, son productos utilizados en la industria de pinturas, perfumería, ceras, pinturas, gomas, jabones, adhesivos y productos farmacéuticos; barnices, tintas, insumos para la elaboración de refrescos y breas modificadas para la fabricación de llantas (La producción de Resina de Pino en México, 2013)

En México la producción de resina se concentra principalmente en cinco Estados que son: Michoacán (85%), México, Jalisco, Oaxaca y Guerrero. Par el estado de Hidalgo cuyo potencial es muy alto, lamentablemente no se ha aprovechado este valioso recurso forestal.

Para estimar los costos de producción de resina en promedio por hectárea, se basó en los datos propuestos por (Forestal, 2013). En caso de las coníferas y del bosque mixto (coníferas y latifóliadas), se estimó un costo unitario por hectárea de \$ 54,160.00 y el valor de afectación ascendió a \$125,963.20 igual a \$6,808.82. USD/ha. Tabla 45 y Tabla 46.

Tabla 45. Costos unitarios de producción de resina por hectárea.

FORMACION VEGETAL	COSTO UNITARIO POR HÉCTAREA RESINA
CONIFERAS	54,160.00
LATIFOLIADAS	0
CONIFERAS Y LATIFOLIADAS	19,866.07
TOTAL	74,026.07

Tabla 46. Costos de afectación de la producción de hongos por hectárea.

FORMACION VEGETAL	SUPERFICIE HECTAREAS TOTAL	NUMERO DE ARBOLES TOTALES/HA	ESTIMACION VOLUMEN M3	PRODUCCIÓN DE RESINA KG PROMEDIO POR HÉCTAREA	ESTIMACION RESINA POR INDIVIDUO KG	COSTO DE RESINA PROMEDIO POR HÉCTAREA	COSTO UNITARIO POR HECTAREA	VALOR AFECTACION PESO MEXICANO/HA	VALOR DE LA AFECTACION DÓLAR AMERICANO/HA
CONIFERAS	1,574.54	677.00	126,795.76	150.00	0.22	80.00	54,160.00	125,963.20	6,808.82
LATIFOLIADAS	1,587.05	810.30	113,504.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CONIFERAS Y LATIFOLIADAS	486.37	248.33	34,784.65	150.00	0.60	80.00	19,866.07	38,909.60	2,103.22
TOTAL	3,647.96	1,735.63	275,084.49	300.00	0.83	160.00	74,026.07	583,673.60	31,549.92

Estimación de costos de producción de semilla por hectárea.

La conservación de los recursos forestales, depende de su germoplasma, es por ello que la Secretaría de Medioambiente y Recursos Naturales a través de la Comisión Nacional Forestal proponer la creación de Las Unidades Productoras de Germoplasma Forestal (UPGF): Rodales Semilleros, y selección y mantenimiento de individuos superiores bajo ciertos esquemas de apoyo técnico y financiamiento, cuyo fin es la producción de semillas de alta calidad para abastecer los programas de plantaciones y de restauración (CONAFOR, 2016).

La UPGF es determina por áreas establecidas en rodales naturales, plantaciones o viveros, con individuos pertenecientes a una especie forestal y seleccionados por su genotipo y/o fenotipo que posee bien identificada su procedencia, usada para la producción de frutos, semillas o material vegetativo. Norma Mexicana NMX-AA-169-SCFI-2016.

Para estimar los costos por producción de semilla por hectárea, se determinaron en base a los datos de (PROBOSQUE, 2018) y (CONAFOR, Inventario Nacional Forestal y de Suelos Informe de Resultados 2009-2014, 2018) se estimó un costo unitario por hectárea de \$116,000.00., en cuanto el

valor de afectación ascendió a \$3, 149,080.00., equivalente a \$ 170,220.54. USD/ha. Tabla 47 y Tabla 48.

Tabla 47. Costos unitarios de producción de semilla por hectárea.

FORMACION VEGETAL	SUPERFICIE HECTAREAS TOTAL	NUMERO DE ARBOLES TOTALES/HA	COSTO UNITARIO POR HÉCTAREA SEMILLA
CONIFERAS	1,574.54	677.00	116,000.00
LATIFOLIADAS	1,587.05	810.30	69,600.00
CONIFERAS Y LATIFOLIADAS	486.37	248.33	102,080.00
TOTAL	3,647.96	1,735.63	287,680.00

Tabla 48. Costos de afectación de la producción de producción de semilla por hectárea.

FORMACION VEGETAL	SUPERFICIE HECTAREAS TOTAL	NUMERO DE ARBOLES TOTALES/HA	ESTIMACION VOLUMEN M3	PRODUCCIÓN N DE SEMILLA	PRODUCCIÓN N DE SEMILLA KG /ARBOL(HA)	PRODUCCIÓN N TOTAL DE SEMILLA KG	COSTO PROMEDIO POR KG DE SEMILLA	COSTO UNITARIO POR HECTAREA	VALOR AFECTACION PESO MEXICANO/ HA	VALOR DE LA AFECTACION DOLAR AMERICANO/
CONIFERAS	1,574.54	677.00	109,994.21	58.00	0.0856721	91,323.32	2,000.00	116,000.00	3,149,080.00	170,220.54
LATIFOLIADAS	1,587.05	810.30	97,047.50	58.00	0.0715784	92,048.90	1,200.00	69,600.00	1,904,460.00	102,943.78
CONIFERAS Y LATIFOLIADAS	486.37	716.99	32,706.19	58	0.0808937	28,209.46	1760	102,080.00	856,011.20	46,270.88

Estimación de costos de producción de carbón vegetal por hectárea.

El carbón vegetal representa una fuente importante de energía a nivel mundial y en México se utiliza principalmente en el sector residencial y restaurantero (Camou-Guerrero et al., 2014). Para el país se estiman consumos promedio per cápita de leña que varían de 1.5 kg/día de materia seca (kgMS/día) en zonas semi-áridas a 3.0 kgMS/día para las zonas templadas (Díaz, 2000 citado en Camou-Guerrero et al., 2014).

Para estimar los costos por producción de carbón de encino (latifoliadas) y bosque mixto (pino-encino) por hectárea, se determinaron en base a los datos de Pérez Olvera, Dávalos Sotelo y Guerrero Cuacuil (2000) y FAO (2014) se estimó un costo unitario por hectárea de \$23,805.75., en cuanto el valor de afectación ascendió a \$23,805.75., equivalente a \$ 1,286.80 USD/ha. Tabla 49 y Tabla 50.

Tabla 49. Costos unitarios de producción de carbón vegetal por hectárea.

FORMACION VEGETAL	SUPERFICIE HECTAREAS TOTAL	NUMERO DE ARBOLES TOTALES/HA	ESTIMACION VOLUMEN M3	COSTO UNITARIO POR HÉCTAREA PRODUCCIÓN DE CARBON
CONIFERAS	1,574.54	677.00	126,795.76	0.00
LATIFOLIADAS	1,587.05	810.30	113,504.08	23,805.75
CONIFERAS Y LATIFOLIADAS	486.37	248.33	34,784.65	7,295.55
TOTAL	3,647.96	1,735.63	275,084.49	31,101.30

Tabla 50. Costos de afectación de la producción de producción de carbón vegetal a por hectárea.

FORMACION VEGETAL	SUPERFICIE HECTAREAS	NUMERO DE INDIVIDUOS	ESTIMACION VOLUMEN M3	ESTIMACION PRODUCCION N DE CARBON TONELADAS	ESTIMACION CARBON KG/ARBOL	VALOR CARBON KG	COSTO UNITARIO POR HECTAREA DE CARBON	VALOR AFECTACION PESO MEXICANO/ HA	VALOR DE LA AFECTACION DOLAR AMERICANO/ HA
LATIFOLIADAS	1,587.05	810.30	113,504.08	25,223.13	19.61	15.00	238,396.35	23,805.75	1,286.80
CONIFERAS Y LATIFOLIADAS	486.37	716.99	32,706.19	7,268.04	20.84	15.00	224,151.61	7,295.55	394.35

Estimación de costos de captura de carbono por hectárea.

El ciclo de carbono en la vegetación comienza con la fijación del CO₂ por medio de los procesos de fotosíntesis, realizada por las plantas y ciertos microorganismos. En este proceso, catalizado por la energía solar, el CO₂ y el agua reacciona para formar carbohidratos y liberar oxígeno a la atmósfera. Parte de los carbohidratos se consumen directamente para suministrar energía a la planta, y el CO₂ liberado como producto de este proceso lo hace a través de las hojas, ramas, fuste o raíces. Otra parte de los carbohidratos son consumidos por los animales, que también respiran y liberan CO₂ (De Jong , Macera y Hernández Tejeda, 1995).

Durante el tiempo en que el CO₂ se encuentra constituyendo alguna estructura de la planta o el suelo y hasta que es enviado nuevamente a la atmósfera se considera "capturado". En el momento de su liberación (ya sea por la descomposición de la materia orgánica y/o por la quema de la biomasa), el CO₂ fluye para regresar al ciclo de carbono.

La mayor parte de los procesos productivos y actividades domésticas que requieren de energía derivada de combustibles fósiles. Esta combustión emite óxidos de carbono principalmente CO₂ y otros gases que contribuyen al calentamiento atmosférico global (Loa et al., 1996 citado en Torres y Guevara, 2002)

A nivel mundial se estima que se emite de 4.02 toneladas de CO₂ por habitante, por su parte en México emite aproximadamente 3.70. Aunado a ello, existen diversos procesos energéticos como: industrial, transporte, deforestación el uso de leña para uso doméstico, que contribuyen al incremento de CO₂ a la atmosfera.

Los ecosistemas forestales pueden absorber cantidades significativas de bióxido de carbono (CO₂) principal gas de efecto invernadero (GEI). Como producto de este hecho, en las últimas décadas ha surgido un interés considerable por incrementar el contenido de carbono en la vegetación terrestre mediante la conservación forestal, la reforestación, la agroforestería y otros métodos de manejo del suelo. (De Jong et al., 1995).

El Estado de Hidalgo cuenta con una superficie forestal de 876,852.99 ha, cuyo potencial de captura de carbono se estimó en 111,392 miles de toneladas de CO₂ (Torres y Guevara, 2002). Con el fin de tener una estimación sobre el potencial de captura de carbono en el municipio, los indicadores para estimar los costos de captura de carbono por hectárea se obtuvieron de las investigaciones de The carbon basis company, ISOGIS Corporation, Instituto Tecnológico de El Salto, & The pembina Institute (2010), Torres Rojo y Guevara Sanginés (2002) Bolaños (2007), Torres y Guevara (2002) y PROBOSQUE (2018) donde se definió el valor por hectárea de \$129.50, equivalente a 7 dolares americanos. Conforme a las reglas de operación para el pago de servicios hidrológicos del Estado de México. Tabla 51. Para la estimación de captura de carbono se utilizaron un precio \$129.50, \$ 7.00 USD/t CO₂ (Bolaños, 2007). Tabla 51.

Tabla 51. Costos unitarios de captura de carbono por hectárea.

FORMACION VEGETAL	SUPERFICIE HECTAREAS TOTAL	NUMERO DE ARBOLES TOTALES/HA	ESTIMACION VOLUMEN M3	COSTO UNITARIO POR ALMACENAMIENTO CAPTURA DE CARBONO/HA
CONIFERAS	1,574.54	677.00	109,994.21	129.50
LATIFOLIADAS	1,587.05	810.30	97,047.50	129.50
CONIFERAS Y LATIFOLIADAS	486.37	716.99	32,706.19	129.50

El resultado del valor de captura de carbono para el bosque de coníferas fue de \$147, 539,878.19 a \$7, 975,128.55 USD, para bosques de latifoliadas \$104,105,402.23 es igual a \$5,627,319.04 USD., en cuanto para los bosques de coníferas y latifoliadas \$54,105,742.58 equivalente a \$2,924,634.73 USD. Tabla 52.

Tabla 52. Costos de afectación de la captación de carbono por hectárea.

FORMACION VEGETAL	SUPERFICIE HECTAREAS TOTAL	NUMERO DE ARBOLES TOTALES/HA	ESTIMACION VOLUMEN M3	CAPTACION DE CO2/KG/HA	CAPTACION DE CO2/TON/HA	PRODUCCION TON/HA POR ARBOL	CAPTACION DE CO2/SUP/TOTA L	COSTO UNITARIO POR ALMACENAMIE	COSTO UNITARIO POR ALMACENAMIE NTO CAPTURADO	VALOR AFECTACION MEXICANO/ TOTALES HA	VALOR DE LA AFECTACION AMERICANO/HA
CONIFERAS	1,574.54	877.00	109,984.21	723,579.00	723.58	6.58	1,139,304.08	129.50	83,703.48	147,539,878.19	7,975,128.55
LATIFOLIADAS	1,587.05	810.30	97,047.50	506,539.00	506.54	5.22	803,902.72	129.50	65,596.80	104,105,402.23	5,827,319.04
CONIFERAS Y LATIFOLIADAS	486.37	716.99	32,706.19	859,027.00	859.93	26.26	417,804.96	129.50	111,244.00	54,105,742.58	2,924,634.73

Estimación de costos de almacenamiento de agua por hectárea.

Los ecosistemas forestales prestan valiosos servicios hidrológicos entre los que se encuentra: el mantenimiento de la capacidad de recarga de los mantos acuíferos, el mantenimiento de la calidad de agua, la reducción de la carga de sedimentos cuenca abajo, la reducción de las corrientes durante los eventos extremos de precipitación, la conservación de manantiales, el mayor volumen de agua superficial disponible en época de secas y reducción del riesgo de inundaciones (Pagiola et al., 2006 y SEMARNAT, 2003 citado en Bolaños, 2007).

La captura de agua o desempeño hidráulico es el servicio ambiental que producen las áreas arboladas al impedir el rápido escurrimiento del agua de lluvia precipitada, propiciando la infiltración de agua que alimenta los mantos acuíferos y la prolongación del ciclo del agua. México es un país con un fuerte problema de distribución de agua. El agua de escurrimiento representa un porcentaje bajo del total de la precipitación. Este monto no se puede considerar como parte del servicio ambiental, dado que es el volumen que no puede capturar el bosque. Por su parte, el agua infiltrada o percolada corresponde a la cantidad de agua que en realidad está capturando el bosque y que representa la oferta de agua producida por éste (Torres y Guevara, 2002).

La estimación de los volúmenes de almacenamiento de agua se obtuvo de Torres y Guevara, 2002) y Los valores del recurso hidrológico se consideró de \$ 98 USD/ha (Bolaños, 2007) sin contar los costos de administración, conducción del agua costo. Se estimó \$1,813.0 USD, el costo unitario de almacenamiento de agua m³/ha de los bosques que cubre el municipio. Tabla 53.

Tabla 53. Costos unitarios de captura de carbono por hectárea.

FORMACION VEGETAL	SUPERFICIE HECTAREAS	NÚMERO DE INDIVIDUOS	ESTIMACION VOLUMEN M3	COSTO UNITARO POR ALMACENAMIENTO DE AGUA M3/HA USD	COSTO UNITARO POR ALMACENAMIENTO DE AGUA M3/HA
CONIFERAS	1,574.54	677.00	109,994.21	98.00	1,813.00
LATIFOLIADAS	1,587.05	810.30	97,047.50	98.00	1,813.00
CONIFERAS Y LATIFOLIADAS	486.37	716.99	32,706.19	98.00	1,813.00

Elaboración propia con datos de (Bolaños, 2007 y Torres y Guevara, 2002).

El resultado del valor de almacenamiento de agua para el bosque de coníferas fue de \$2,854,641.02 a \$154,304.92 USD, para bosques de coníferas, \$2,877,321.65 para latifoliadas, igual a \$155,530.90 USD., en cuanto para los bosques de coníferas y latifoliadas \$881,788.81 equivalente a \$47,664.26 USD. Tabla 54.

Tabla 54. Costos de afectación de almacenamiento de agua por hectárea.

FORMACION VEGETAL	SUPERFICIE HECTAREAS	NÚMERO DE INDIVIDUOS	ESTIMACION VOLUMEN M3	SUPERFICIE ESTIMADA AFECTADA HA	NÚMERO DE INDIVIDUOS AFECTADOS	SUPERFICIE FORESTAL ESTATAL HA	CAPTACION DE AGUA ESTATAL MILLONES DE M3	SUPERFICIE FORESTAL MUNICIPAL HA	CAPTACION DE AGUA MUNICIPAL MILLONES DE M3 TOTAL BOSQUES	CAPTACION DE AGUA MUNICIPAL MILLONES DE M3	PRODUCCION M3 DE AGUA/ POR HECTAREA	ALMACENAMIENTO DE AGUA M3 POR ARBOL	COSTO UNITARO POR ALMACENAMIENTO DE AGUA M3/HA USD	COSTO UNITARO POR ALMACENAMIENTO DE AGUA M3/HA	VALOR AFECTACION PESO MEXICANO/ HA	VALOR DE LA AFECTACION DOLAR AMERICANO/HA
CONIFERAS	1,574.54	677.00	109,994.21	116.00	78,532.00				0.99	625.9113351	0.92	98.00	1,813.00	2,854,641.02	154,304.92	
LATIFOLIADAS	1,587.05	810.30	97,047.50	116.00	93,994.80	87,652.99	54.86	3,647.96	1.98	0.99	625.9113351	0.77	98.00	1,813.00	2,877,321.65	155,530.90
CONIFERAS Y LATIFOLIADAS	486.37	716.99	32,706.19	116.00	83,170.84				0.31	633.4009658	0.88	98.00	1,813.00	881,788.81	47,664.26	

Valoración de los servicios ambientales.

Considerando que en los últimos 50 años se han transformado los ecosistemas rápida y extensamente, en gran parte para resolver la demanda creciente de alimento, agua, madera, fibra y combustible; lo que ha generado una pérdida irreversible de la diversidad de la vida sobre la tierra. Los cambios en los ecosistemas han contribuido al bienestar humano y al desarrollo económico, pero con un alto costo, que implica un mayor riesgo de cambios no lineales y la acentuación de la pobreza, disminuyendo los beneficios para las generaciones venideras (PROBOSQUE, 2018).

Los servicios ambientales se pueden definir como el conjunto de condiciones y procesos naturales (incluyendo especies y genes) que la sociedad puede utilizar y que ofrecen las áreas naturales por su simple existencia. Dentro de este conglomerado de servicios se pueden señalar la biodiversidad mantenimiento de germoplasma con uso potencial para el beneficio humano, el mantenimiento de valores estéticos y filosóficos, la estabilidad climática, la

contribución a ciclos básicos (agua, carbono y otros nutrientes) y la conservación de suelos (Torres- Guevara, 2002).

Uno de los principales problemas es la pérdida de biodiversidad y degradación de los ecosistemas forestales se debe a que no se reconoce el valor económico de la naturaleza y su contribución al bienestar de la humanidad, a través de los bienes y servicios ambientales que ésta provee. Es por ello, que resulta necesario asignar un valor a los servicios ambientales de los bosques y selvas, de forma que, los costos asociados a los impactos por la actividad humana sean internalizados por quienes los causan (INECC, 2015).

Los valores ambientales se pueden dividir en valores de uso y los valores de no uso. En los valores de uso la persona utiliza el bien, y es afectada por cualquier cambio que ocurra con respecto al mismo (Azqueta, 1994 en Cristeche y Penna, 2008). Los valores de uso se pueden dividir en valor de uso directo e indirecto. Un valor de uso directo puede ser, por ejemplo, el que tiene la madera extraída de un bosque o los usos recreacionales de un parque natural. El valor de uso indirecto puede ser ejemplificado por medio de las funciones ecológicas (servicios ambientales) provistas por un ecosistema, como la protección de cuencas hidrográficas (Herrador y Dimas, 2001 citado en Bolaños, 2007).

Uno de los instrumentos económicos que pretende reconocer el valor de los servicios ambientales es el Pago por Servicios Ambientales (PSA) que son los mecanismos de transacción voluntaria bajo los cuales el valor de un servicio ambiental es reconocido por quien se beneficia de ellos hacia su proveedor, siempre y cuando éste último asegure su provisión (Wunder, 2005). La justificación de este mecanismo reside en que el proveedor de algún servicio ambiental no recibe compensación alguna por su conservación (INECC, 2015).

Así, que se determinó el valor económico total de los bosques de coníferas, latifoliadas y mixtos del municipio de Mineral del Monte sumando valores de producción de madera en rollo por M³, producción de resina de coníferas, producción de semilla, producción de hongos, producción de carbón de latifoliadas, captura de Carbono y almacenamiento de agua. Tabla 55. Lo cual se

le considera en la categoría de valor de uso Indirecto (Bolaños, 2007 y CONAFOR, 2018).

$$\text{BSA} = \text{Pm} + \text{Pr} + \text{Ps} + \text{Ph} + \text{Pc} + \text{Pcc} + \text{Paa}$$

Tabla 55. Estimación de costos de los Bienes y Servicios Ambientales

BSA= Bienes y Servicios Ambientales	Símbolo	Costos
M3	Pm=	4,056,389.00
Resina	Pr=	214,137.44
Semilla	Ps=	5,909,551.20
Hongos	Ph=	30,505,255.50
Carbón	Pc=	31,101.30
Captura carbono	Pcc=	472,410.82
Almacenamiento de agua	Paa=	8,739,600.17
Total		49,928,445.43

La Tabla 56 presenta un resumen de las variables que integran los BSA con sus respectivos valores con los que se estimaron los costos que se presenta por tipo de servicio, por bosque y por unidad de medida.

Tabla 56. Resumen de la estimación de costos de las 7 variables que integran los Bienes y Servicios Ambientales.

FORMACION VEGETAL	SUPERFICIE HECTAREAS TOTAL	NUMERO DE ARBOLES TOTALES/HA	ESTIMACION VOLUMEN M3	COSTO UNITARIO POR HECTAREA M3	COSTO UNITARIO POR HECTAREA RESINA	COSTO UNITARIO POR HECTAREA SEMILLA	COSTO UNITARIO POR HECTAREA HONGOS	COSTO UNITARIO POR HECTAREA PRODUCCION DE CARBON	COSTO UNITARIO POR HECTAREA CAPTURA DE CARBONO	COSTO UNITARIO POR HECTAREA ALMACENAMIENTO DE AGUA	VALOR AFECTACION PESO MEXICANO/ HA	VALOR DE LA AFECTACION DOLAR AMERICANO/HA
CONIFERAS	1,574.54	677.00	126,795.76	2,381,610.00	125,963.20	3,149,080.00	16,532,670.00	0.00	203,902.93	3,772,204.21	26,145,630.34	1,413,377.32
LATIFOLIADAS	1,587.05	810.30	113,504.08	1,110,935.00	0.00	1,004,460.00	9,522,300.00	23,805.75	205,522.98	3,802,175.04	16,560,108.70	895,632.37
CONIFERAS Y LATIFOLIADAS	486.57	248.33	34,784.65	303,044.00	88,174.24	858,611.20	4,830,265.50	7,295.55	62,984.92	1,165,220.93	7,213,616.33	389,925.21
TOTAL	3,647.96	1,735.63	275,084.49	4,056,389.00	214,137.44	5,909,551.20	30,505,255.50	31,101.30	472,410.82	8,739,600.17	49,928,445.43	2,696,834.89

Así mismo se estimaron costos por género, para tal efecto, se utilizaron los datos de los planes de manejo forestal realizados por la Asociación de Silvicultores de La Región Pachuca- Tulancingo (2010). Tabla 57.

Tabla 57. Estimación de costos por género, superficie en volumen m³ /ha restauración y combate de incendios

TIPO DE VEGETACION	SUPERFICIE HÉCTAREAS	ESTIMACION VOLUMEN M3	VALOR AFECTACION PESO MEXICANO/ HA	VALOR DE LA AFECTACION DÓLAR AMERICANO/HA	COSTO DE RESTAURACION PESOS MEXICANOS HA	COSTO DE RESTAURACION DÓLAR AMERICANO/ HA	COSTO POR COMBATIR UN INCENDIO HÉCTAREA
BOSQUE DE ENCINO	1588.83	238,324.50	357,486,750.00	6,434,761,500.00	42,118,215.03	758,127,870.51	23,832,450.00
BOSQUE DE OYAMEL	1020.94	1,020,940.00	1,531,410,000.00	27,565,380,000.00	27,064,047.41	487,152,853.43	15,314,100.00
BOSQUE DE PINO	242.2	72,660.00	108,990,000.00	1,961,820,000.00	6,420,467.69	115,568,418.42	3,633,000.00
BOSQUE DE PINO-ENCINO	486.37	194548	291,822,000.00	5,252,796,000.00	12,893,158.01	232,076,844.21	7,295,550.00

Estimación de costos por restauración de servicios ambientales.

Mediante la restauración forestal se pretende revertir el impacto ocasionado por un incendio forestal y lograr establecer las condiciones a las condiciones naturales de la cubierta forestal antes del incendio y lograr la conservación de la biodiversidad.

De acuerdo con la LGDFS tiene por objeto regular y fomentar la conservación, protección, restauración, producción, ordenación, cultivo, manejo y aprovechamiento de los ecosistemas forestales del país y sus recursos

Tabla 58. Costos de los Bienes y Servicios Ambientales

CONCEPTO.	COSTOS DE REFERENCIA, EN PESOS POR HECTÁREA, PARA LAS DIFERENTES ZONAS ECOLÓGICAS				
	TEMPLADA	TROPICAL	ÁRIDA Y SEMIÁRIDA	ZONA INUNDABLE O TRANSICIÓN TIERRA MAR (HUMEDALES)	
Actividades y obras de restauración o reforestación y su mantenimiento.	26,508.95	18,363.30	14,002.49	Manglares	Otros
					Humedales
				59,992.23	188,556.75

Los costos de referencia para reforestación restauración y su mantenimiento para compensación ambiental por cambio de uso de suelo en terrenos forestales (DOF, 2014). Los cuales ascienden a \$167,620,862.46, equivalente a \$9,060,587.16. USD. Tabla 59 y Figura 21.

Tabla 59. Estimación de costos de restauración los Bienes y Servicios Ambientales.

FORMACION VEGETAL	SUPERFICIE HECTAREAS TOTAL	COSTO DE RESTAURACION HA	COSTO DE RESTAURACION DÓLAR AMERICANO/ HA
CONIFERAS	1,574.54	41,739,402.13	2,256,183.90
LATIFOLIADAS	1,587.05	42,071,029.10	2,274,109.68
CONIFERAS Y LATIFOLIADAS	486.37	83,810,431.23	4,530,293.58
TOTAL	3,647.96	167,620,862.46	9,060,587.16

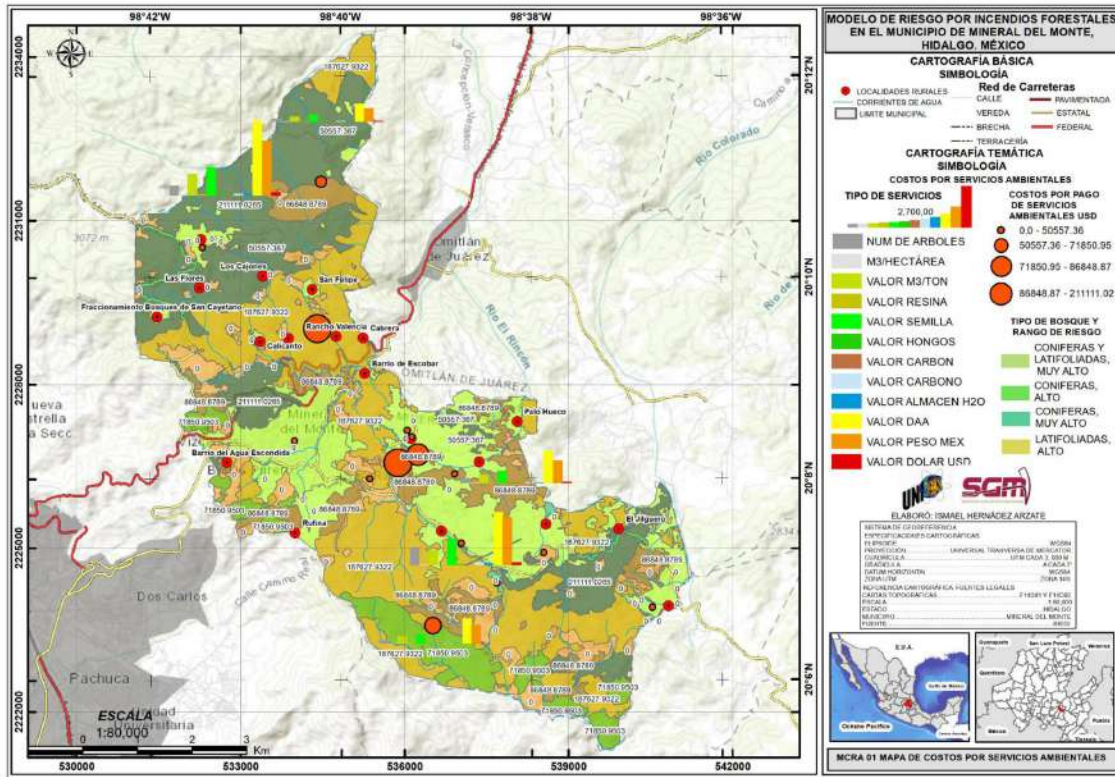


Figura 21. Mapa de costos asociado al modelo de riesgo por incendios forestales.

Estimación de costos por supresión de incendios forestales.

Para estimar los costos del combate y liquidación (extinción) de un incendio forestal, se empleó la información relativa a los recursos materiales y humanos (Solo se consideraron los salarios y los gastos de operación) que intervinieron en el ejercicio de un incendio real simulado durante el curso Sistema de Mando de Incidencias (SMI) SMI-100. Introducción al Sistema de Mando de Incidentes Impartido por la CONAFOR. Delegación Hidalgo y La Secretaria de Medioambiente y Recursos Naturales de Hidalgo. En la Ciudad de Pachuca, Hidalgo. Enero 2018. Fotografía 13 y Figura 22.



Fotografía 13. Capacitadores e integrantes del curso d SMI-100.



Figura 22. Equipamiento para el combate y extinción de los incendios forestales.
Tomado de (Gobierno de Aragón, 2001)

Se utilizaron los siguientes recursos: 4 Cuadrilla de 7 personas, 4 Técnicos, 4 Mandos medios, 1 Conductor autobomba, 7 Vehículos y 1 Autobomba.

La lista anterior no es limitativa, solo se utilizó con fines de estimación de valorización económica. Así que estableció \$15,000 igual a \$ 810.0 USD. Como

indicador del costo por hectárea del combate y extinción de un incendio forestal. Por lo cual se estimó en \$94, 847,700.0 equivalentes a \$ 5, 126,902.70 USD. De las 3,647.96 ha, de los bosques de coníferas, latifoliadas y bosques mixtos que cubren en municipio de Mineral del Monte. Tabla 60.

Tabla 60. . Estimación de costos de combate de incendios forestales.

FORMACION VEGETAL	SUPERFICIE HECTAREAS TOTAL	COSTO POR COMBATIR UN INCENDIO HÉCTAREA	COSTO POR COMBATIR UN INCENDIO DÓLAR AMERICANO/ HA
CONIFERAS	1,574.54	23,618,100.00	1,276,654.05
LATIFOLIADAS	1,587.05	23,805,750.00	1,286,797.30
CONIFERAS Y LATIFOLIADAS	486.37	47,423,850.00	2,563,451.35
TOTAL	3,647.96	94,847,700.00	5,126,902.70

4.2.4. Análisis estadístico

El análisis de componentes principales es un método estadístico, el cual permite agrupar las variables analizadas, para identificar, que variables se pueden relacionar entre sí.

Para determinar la relación que existe entre las 18 variables que integran los 4 componentes: Biótico-forestal, Meteorológico, Topográfico y social, se realizó un análisis estadístico, mediante el método de componentes principales, para tal fin se utilizó el software SPSS 23.0 (IBM Corp, 2015) para hacer comparaciones, fortalecer y validar el modelo de riesgo.

Se inició con el diseño una matriz en Excel en la cual se asignó una clave y valor, conforme a los valores y rangos establecidos para determinar el grado de riesgo por incendios forestales rangos, estos son: 1 es igual a muy bajo, 2 bajo, 3 medio, 4 alto y 5 muy alto, del de, posteriormente se importó al software SPSS 23.0 que la integra (columna1) de tipo numérico (columna 2), valores establecidos del 1 al 5 (columna 5).Tabla 61.

El objetivo de este método es identificar las variables que pueden relacionarse entre sí, agrupándolas en componentes por medio de la extracción de las mismas.

Tabla 61. . Diseño de la matriz homologada para el análisis de componentes principales.

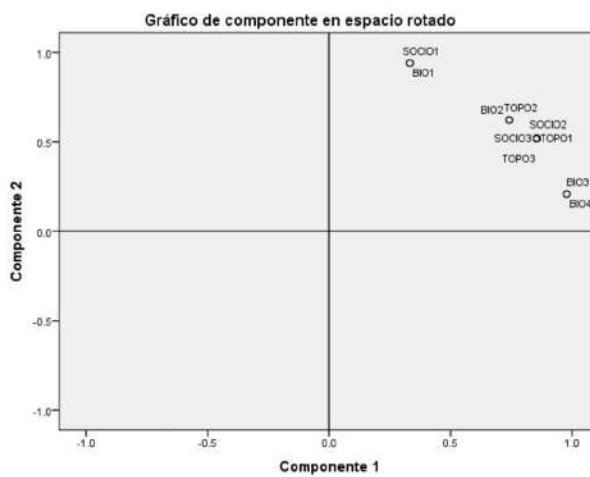
	Nombre	Tipo	Anchura	Decimales	Etiqueta	Valores	Perdidos	Columnas	Alineación	Medida	Rol
1	BIO1	N Numérico	2	1		1.0, MUY BAJO...	Ninguno	12	Derecha	Nominal	Entrada
2	BIO2	N Numérico	2	1		1.0, MUY BAJO...	Ninguno	12	Derecha	Nominal	Entrada
3	BIO3	N Numérico	2	1		1.0, MUY BAJO...	Ninguno	12	Derecha	Nominal	Entrada
4	BIO4	N Numérico	2	1		1.0, MUY BAJO...	Ninguno	12	Derecha	Nominal	Entrada
5	SOCIO1	N Numérico	2	1		1.0, MUY BAJO...	Ninguno	12	Derecha	Nominal	Entrada
6	SOCIO2	N Numérico	2	1		1.0, MUY BAJO...	Ninguno	12	Derecha	Nominal	Entrada
7	SOCIO3	N Numérico	2	1		1.0, MUY BAJO...	Ninguno	12	Derecha	Nominal	Entrada
8	TOPO1	N Numérico	2	1		1.0, MUY BAJO...	Ninguno	12	Derecha	Nominal	Entrada
9	TOPO2	N Numérico	2	1		1.0, MUY BAJO...	Ninguno	12	Derecha	Nominal	Entrada
10	TOPO3	N Numérico	2	1		1.0, MUY BAJO...	Ninguno	12	Derecha	Nominal	Entrada
11	METEO1	N Numérico	2	1		1.0, MUY BAJO...	Ninguno	12	Derecha	Nominal	Entrada
12	METEO2	N Numérico	2	1		1.0, MUY BAJO...	Ninguno	12	Derecha	Nominal	Entrada
13	METEO3	N Numérico	2	1		1.0, MUY BAJO...	Ninguno	12	Derecha	Nominal	Entrada
14	METEO4	N Numérico	2	1		1.0, MUY BAJO...	Ninguno	12	Derecha	Nominal	Entrada
15	METEO5	N Numérico	2	1		1.0, MUY BAJO...	Ninguno	12	Derecha	Nominal	Entrada
16	METEO6	N Numérico	2	1		1.0, MUY BAJO...	Ninguno	12	Derecha	Nominal	Entrada
17	METEO7	N Numérico	2	1		1.0, MUY BAJO...	Ninguno	12	Derecha	Nominal	Entrada
18	METEO8	N Numérico	2	1		1.0, MUY BAJO...	Ninguno	12	Derecha	Nominal	Entrada

Al observar la matriz de correlación los valores en general son cercanos a 1, es un buen indicador para aplicar el análisis factorial.

Posteriormente se analiza la matriz de las nominalidades de las variables. Si el valor es 1, indica que la variable está totalmente explicada por los factores comunes que aparecen en la matriz factorial. Donde representa el valor de la comunidad de cada variable. Se observa que El modelo de combustible (BIO1) y la Materia orgánica (BIO2) tienen alguna asociación. La varianza total explicada por cada variable. En su conjunto representa el 99.19% de la varianza total. Lo que indica la validez de estos dos nuevos componentes.

El resultado de la matriz de componentes rotados identifica 2 componentes, el integrado por (BIO3) análisis de los tipos de vegetación mediante los datos tomados en campo y (BIO4) el registro de los incendios forestales de los años 2009-2013, y el segundo por (BIO2) materia orgánica y (TOPO2) orientación de las pendientes. Se observa una asociación con (BIO1) modelo de combustible y (SOCIO1) uso de suelo. Muestra a los 2 primeros componentes tiene valores mayores a 1, entre los dos acumula el 93.46% de la varianza de las variables originales. Lo que puede interpretarse la relación entre los tipos de vegetación y el uso actual de suelo, incluye las actividades realizadas en el municipio de Mineral del Monte. El gráfico de componente en el espacio rotado ilustra los factores (variables agrupadas). Siendo estas variables las preponderantes en la

intervención de un incendio forestal como son las actividades antrópicas, el tipo de combustible y la orientación de las pendientes. Gráfica 4.



Gráfica 4. Componentes en espacio rotado.

5. CONCLUSIONES

5.1. RESUMEN DE RESULTADOS

De las variables identificadas, las que se relacionan estrechamente con las actividades humanas siguen una tendencia continúa, la falta de precaución de un sector de la población hacia la protección de los bosques, donde prevalece el uso de las fogatas, las cuales son la principal causa de propagación de los incendios, aunado a los altos costos de supresión de los incendios.

El tipo de vegetación más afectada fue el bosque de pino-encino, se estimó en un 27% de las actividades agropecuarias las causantes de los incendios, afectando a los bosques de pino. Entre los años 2009 y 2013, se registraron 51 incendios, siendo el año 2013 con más incendios registrados en la última década con 16, uno de ellos se suscitó en abril, el cual ha sido el más devastador en la historia del estado de Hidalgo, afectó 1,200 hectáreas de bosque de pino, pino-encino y oyamel, derivado de este acontecimiento, se tuvieron que evacuar a aproximadamente 1500 habitantes de las localidades: Ciénega Larga, Santa Rosalía y Tezontle.

La conjugación de los factores propicios para la detonación del incendio a causa de actividades antropogénicas permitió identificar las posibles causas y variables que intervinieron en la propagación de este gran incendio. Estas fueron, el indebido uso del fuego por una fogata que no extinguieron (no se liquidó), temperatura de 21° C, la velocidad y dirección del viento fue de 18 km/h (a esta velocidad en lugares planos el fuego puede avanzar a una velocidad de 33 segundo cada 100 metros). Con una dirección NE-SW. Las pendientes oscilan entre los 35 y 60°. Este hecho solo se registró pérdidas materiales, se estimó un costo por el combate del incendio fue de \$112, 880 pesos; \$6, 097.33 USD. (CONAFOR, Inventario Estatal Forestal y de Suelos, 2014). Esta inclinación a las actividades desarrolladas en el municipio, se identificó que, el 29 % de incendios forestales, se registraron en un radio de 50 metros de distancia de una vía de comunicación terrestre, de terracería y veredas poco transitadas. Y el 35% de los incendios forestales registrados en un radio de distancia de 250 metros

de los poblados, principalmente en la cabecera municipal cercanos a los Barrios El Hiloche, La Vizcaína y Barrio San José Acosta.

En términos económicos, es muy complejo estimar los costos por la pérdida de productos forestales, ya que merma el potencial comercial, esta propuesta abordó la estimación de los valores monetarios de los servicios ambientales de los bosques, de coníferas, latifoliadas y mixtos, tomado en consideración la superficie de cada uno de los bosques, en el caso hipotético que se vieran afectado el total de la superficie determinada. Los valores económicos se tomaron de diferentes investigaciones, lo cual proporcionó un indicador para la estimación de costos unitarios por hectárea. Los servicios ecosistémicos identificados fueron: madera en rollo por m³, producción de resina, producción de semilla, producción de hongos silvestres, producción de carbón vegetal, captura de carbono y almacenamiento de agua, la suma de los valores, dio como resultado el costo por servicios ecosistémicos el cual fue de: \$41,199,834.26 equivalente a \$3,799,759.55 USD.

En cuanto a los costos por restauración ecológica se tomó de referencia los valores por tipo de ecosistema del (DOF, Diario Oficial de la Federación, 2014). Por concepto de compensación ambiental.

El costo ascendió a \$167,620,862.46 igual a \$9,060,587.16. USD. En cuanto al costo por combate de un incendio forestal, los valores se obtuvieron de la CONAFOR, Hidalgo y del curso MSI 100, llevado al cabo en enero del 2018, el cual alcanzo una cifra de \$94,847,700.00 y \$5,126,902.70. USD.

Por otro lado, la evaluación de daños ocasionado por un incendio forestal, no solo incluye las pérdidas materiales en productos. También debe considerarse otro tipo de servicios ambientales, incluidos suelos, ríos, tenencia de la tierra, pérdidas de especies de flora y fauna, valores ecológicos, históricos, políticos y escénicos y en algunos casos históricos y culturales.

En cuanto al análisis estadístico de los componentes principales, se observó la relación entre las actividades antropogénicas, el tipo de combustible, acumulación de materia orgánica y la orientación de las pendientes.

Por otra parte, la CONAFOR, otorga apoyos financieros para la conservación de los bosques en México, a través del programa de Pago de Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH) por medio de un incentivo económico a los propietarios de los terrenos con recursos forestales para recompensar los servicios ambientales que brindan. Además del Programa para Desarrollar el Mercado de Servicios Ambientales por Captura de Carbono y los derivados de la Biodiversidad. Este recurso económico, es insuficiente por todos los servicios que se aprovecha de los bosques.

Si bien es cierto el principal producto que comercializan en los bosques de La sierra de Pachuca es su madera, al verse afectado su principal insumo por un incendio forestal, no tienen garantía alguna de recuperar su inversión y quedan sin respaldo financiero, por la falta de interés de aseguradoras hacia el sector forestal, ya que muchas familias dependen del aprovechamiento de sus recursos forestales, se tiene que establecer mecanismos que fortalezcan este escenario inexistente en el sector forestal.

5.2. VALORACIÓN DE LAS APORTACIONES

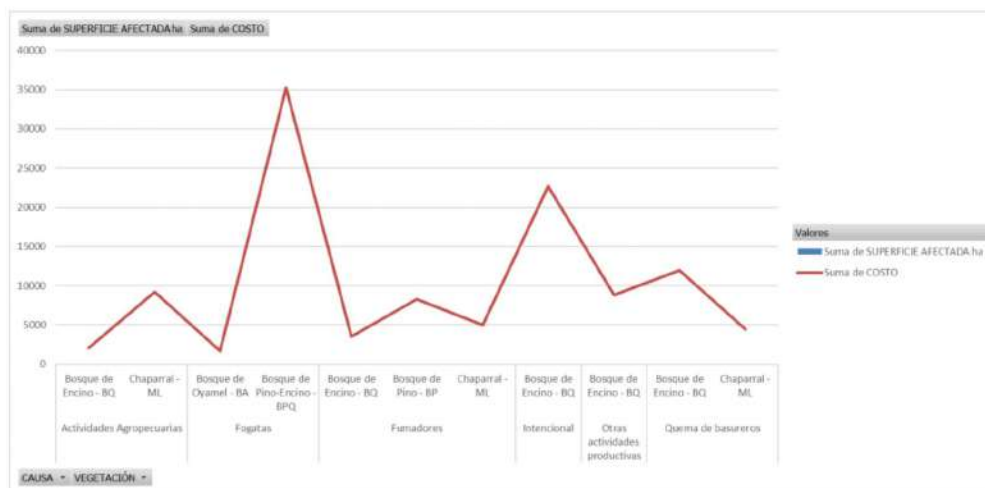
De acuerdo con los datos de los registros históricos de CONAFOR (2014). Se identificaron las causas que ocasionan y costos por combatir los incendios forestales.

Las actividades agropecuarias, por medio del uso del fuego para esta actividad, es común que las autoridades en materia de protección civil, no tengan conocimiento de ello, por lo cual, en la mayoría de los casos, se sale de control y se convierte en un incendio. La vegetación que más afectado, fue el bosque de encino.

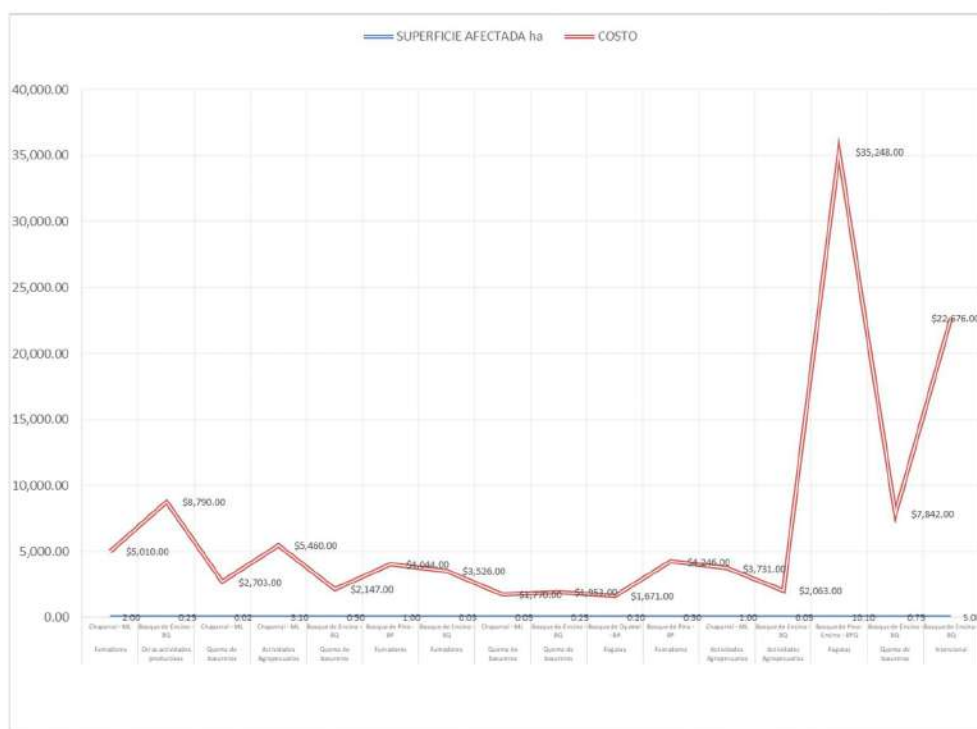
Otras actividades comunes en el municipio es la quema de basura, quemas intencionales, fogatas y fumadores, los bosques de encino son seriamente afectados, seguidos de los bosques de pino y oyamel. Tabla 62, Gráfica 5 y Gráfica 6.

Tabla 62. . Causas que ocasionan los incendios tipos de vegetación y costos durante el año 2013.

ACTIVIDADES	SUPERFICIE AFECTADA (ha)	COSTO
Actividades Agropecuarias	4.15	11254
Bosque de Encino – BQ	0.05	2063
Chaparral – ML	4.1	9191
Fogatas	10.3	36919
Bosque de Oyamel – BA	0.2	1671
Bosque de Pino-Encino - BPQ	10.1	35248
Fumadores	3.325	16826
Bosque de Encino – BQ	0.025	3526
Bosque de Pino – BP	1.3	8290
Chaparral – ML	2	5010
Intencional	5	22676
Bosque de Encino – BQ	5	22676
Otras actividades productivas	0.25	8790
Bosque de Encino – BQ	0.25	8790
Quema de basureros	1.57	16415
Bosque de Encino – BQ	1.5	11942
Chaparral – ML	0.07	4473
Total general	24.595	112880



Gráfica 5. Causas que ocasionan los incendios tipos de vegetación y costos durante el año 2013



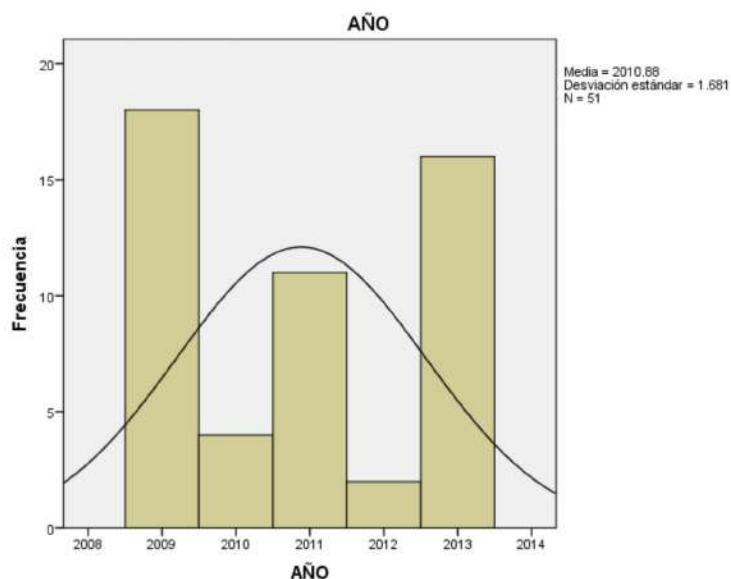
Gráfica 6. Costos por incendios tipos de vegetación y costos durante el año 2013

La frecuencia con la que se han suscitado los incendios forestales en el municipio de Mineral del Monte, en un periodo de tiempo del año 2009 a 2013, fueron 51 incendios con una afectación de 1,287 ha. La frecuencia con que se registraron en el año 2009, 22. %, seguido del año 2013 con 20.3%. Tabla 63, Gráfica 7 y Gráfica 8.

Tabla 63. Frecuencia de incendios forestales de los años 2009 a 2013

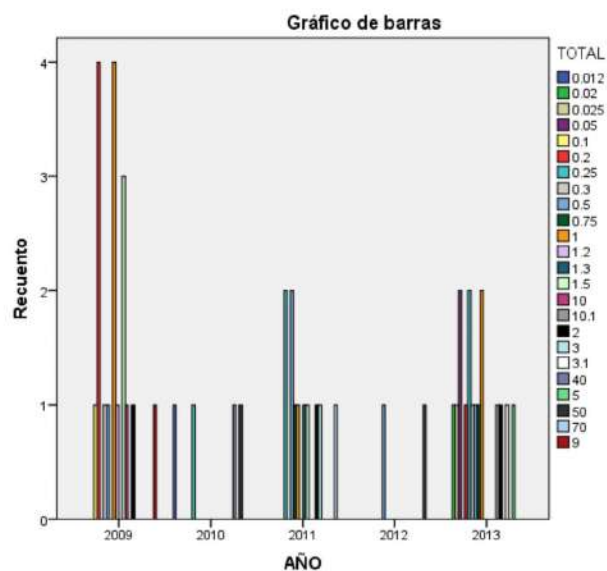
		AÑO			
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	2009	18	22.8	35.3	35.3
	2010	4	5.1	7.8	43.1
	2011	11	13.9	21.6	64.7
	2012	2	2.5	3.9	68.6
	2013	16	20.3	31.4	100.0
	Total	51	64.6	100.0	
Perdidos	Sistema	28	35.4		
Total		79	100.0		

Gráfica 7. Muestra el número de incendios registrados en un lapso de 5 años fue de 18 y 16, 2009 y 2013 respectivamente.



Gráfica 8. Histograma de la frecuencia de incendios durante los años 2009 a 2013.

Así mismo la Gráfica 9, muestra la distribución de los incendios vs superficie afectada el año 2013, fue el más afectado con 1200 ha.



Gráfica 9. Gráfica cruzada de la frecuencia de incendios durante los años 2009 a 2013 vs superficie afectada.

Los resultados indican que los SIG y AHP son instrumentos útiles para conocer la distribución espacial de los impactos potenciales del fuego. Los cuales

muestran un modelo descriptivo ante el fenómeno de los incendios forestales, donde se establece una estrecha relación, entre las actividades antrópicas y los bosques templados, que tienen una clara manifestación espacio-temporal dentro del territorio que demarca al Municipio de Mineral del Monte.

En cuanto a la valorización económica por incendios forestales, sigue siendo un tema muy complejo de evaluar, a pesar de los esfuerzos hechos por la (CONAFOR, Inventario Nacional Forestal y de Suelos Informe de Resultados 2009-2014, 2018) y (PROBOSQUE, 2018) se tiene como limitante la obtención de datos, que proveen indicadores tangibles para la estimación de costos unitarios por pérdidas de servicios ecosistémicos por hectárea, costos de restauración y conservación de los recursos forestales y costos de combate a incendios.

Los resultados obtenidos permiten hacer otros cuestionamientos, en el sentido de conocer a nivel local y regional los recursos forestales y ecosistémicos que posee un municipio o un estado, además de evaluar las variables meteorológicas en tiempo real, evaluar las emisiones a la atmósfera y el impacto que pueden ocasionar a la fauna, así como la obtención de los costos reales posterior a un incendio.

Derivado de la complejidad de evaluar el riesgo de los incendios forestales, se siguen duplicando esfuerzos para llegar al mismo objetivo. Ante esta necesidad, es prioritario homologar criterios en cuanto a las variables a evaluar. Se han hecho grandes esfuerzos por parte de CENAPRED (2006), Flores et al. (2016) y DOF (2016), en su guía de contenido mínimo para la Elaboración del Atlas Nacional de Riesgos, establecen las variables a evaluar, sin embargo, hay que tomar en cuenta, que los datos meteorológicos, bióticos y socioeconómicos son muy dinámicos y están en constante cambio. Por ello, la necesidad de intercambiar experiencias con especialistas, para que exista una similitud entre el mínimo de variables a evaluar por parte de los investigadores de las diferentes instancias, ya sea gubernamentales o de la academia, para desarrollar un mapa de riesgo por incendios forestales de México.

Sistema de Información Geográfica. Se diseñó una interfaz gráfica de fácil visualización utilizando *Add-in* en *Python*, organizando los comandos de los botones en la barra de herramientas, que permita agregar las capas de información al menú, de los insumos requeridos para la generación de los mapas de amenaza, peligro y riesgo por incendios forestales, con el software comercial ArcGIS Versión 10.3 (ESRI, 2013) Figura 23 y Figura 25.

Este mismo proceso se hizo con el *software* de código libre QGIS VERSIÓN 2.18 (QGIS.org, 2017) Figura 24, para su fácil visualización, manipulación e imprimir los mapas que sean necesarios y a su vez una constante actualización, para reproducir mapas predictivos de riesgo, que pueda conectarse vía web con Centro Estatal de Control de Incendios Forestales, a cargo de la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales del Estado de Hidalgo (SEMARNATH) para emitir reportes constantes cuando las condiciones sobre los incendios forestales se consideran extremas o peligrosas.

Compartir el mapa a través de una historia. En la actualidad el uso del internet es indispensable, puesto que es una herramienta muy poderosa de comunicación, es por ello que muchas empresas brindan servicios de resguardo de información digital para ser compartida en la nube, con otros usuarios, tal es el caso de las aplicaciones web de ArcGIS *online*. Esta plataforma permite compartir con otros usuarios los mapas generados convencionalmente desde ArcGIS Desktop, es por ello que se compartió este mapa por medio de History Maps, con el fin de interactuar con otras personas interesadas en la conservación de los bosques y del medioambiente. Figura 26 y Figura 27.

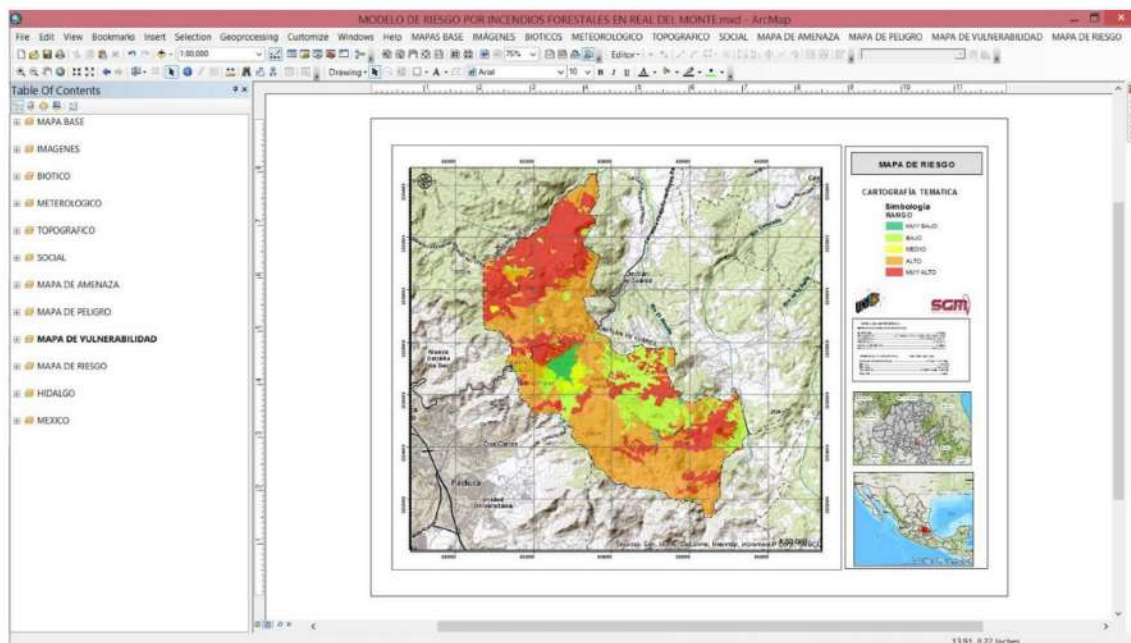


Figura 23. Visualización personalizada del mapa para imprimir en ArcGIS 10.3

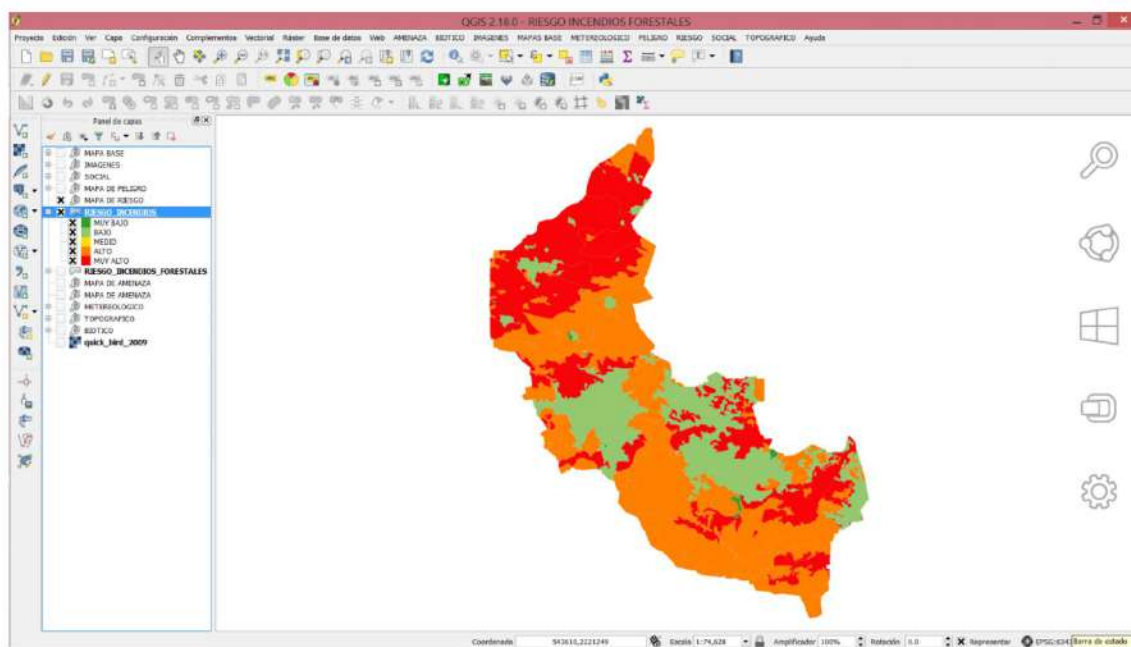


Figura 24. Visualización personalizada del mapa de riesgo en QGIS 2.18.

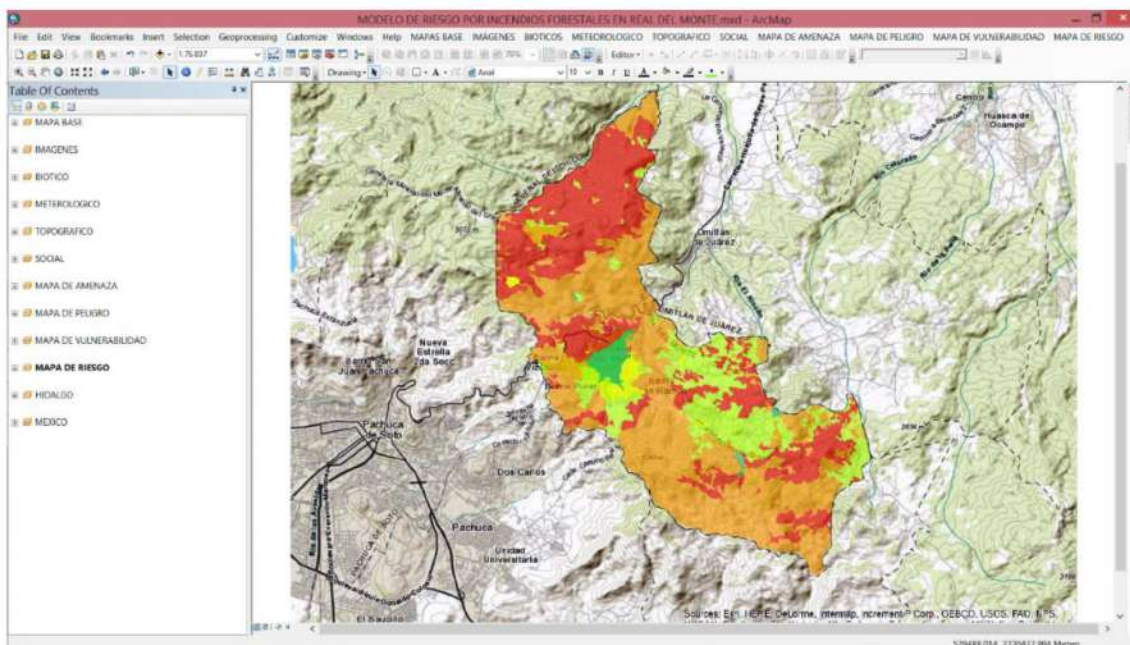


Figura 25. Visualización personalizada del mapa de riesgo en ArcGIS. 10.3.

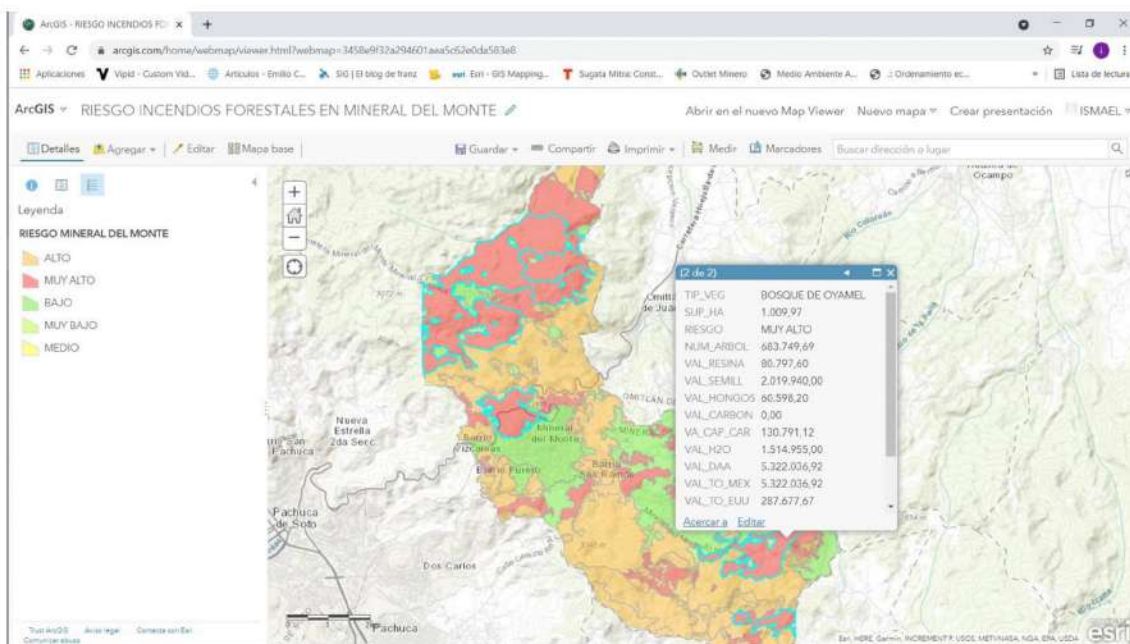


Figura 26. Mapa de incendios forestales compartido en la plataforma ArcGIS online.
 (<https://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=3458e9f32a294601aea5c62e0da583e8>)

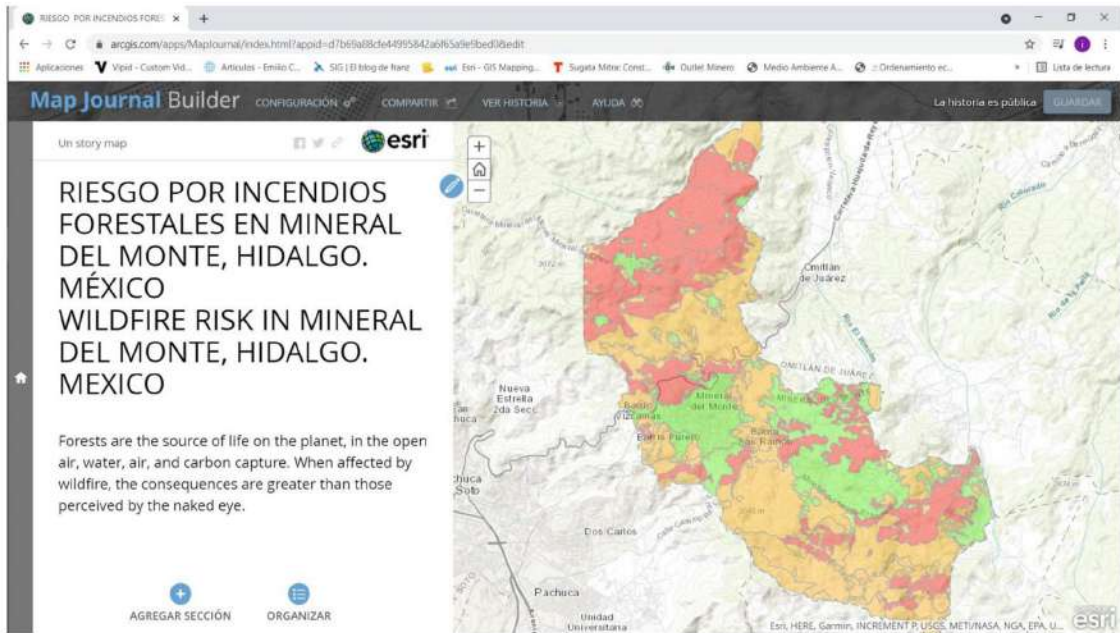


Figura 27. Creación del mapa de incendios forestales, para compartirlo online for ArcGIS (History Maps)

<https://www.arcgis.com/apps/MapJournal/index.html?appid=d7b69a88cfe44995842a6f65a9e9bed0>

5.3. RECOMENDACIONES

A continuación, se proponen algunas acciones para prevenir los incendios forestales. Los cuales consisten en:

El municipio de Mineral del Monte requiere de la gestión y uso de la información geoespacial, para la de la planificación y manejo del uso del fuego y de sus recursos naturales. Esto conlleva a adquirir un Sistema de Información Geográfica (SIG) de software comercial (ArcGIS) o libre (QGIS, GVGIS o SAGAGIS, Mapping GIS y Global Mapper) que integré bases de datos en formato vector y raster con referencia espacial en coordenadas UTM y DATUM WGS1984, así como especialistas en el uso y manejo de esta información

Actividades educativas para que las personas revaloren la importancia de los recursos naturales y adquieran hábitos de cuidado a las zonas forestales.

Campañas de difusión e información. Capacitación y asistencia técnica para el uso del fuego en poblaciones rurales y urbanas, etcétera. Supervisión

legal para verificar que se cumplan las leyes, reglamentos y normas relativas al uso del fuego en el territorio municipal.

Capacitación de especialistas en manejo de SIG. Crear alianzas con instituciones académicas UNIGIS- AMERICLATINA en México, para formar especialistas en manejo y análisis de información para fortalecer la prevención y combate de incendios forestales mediante la plataforma SIG aplicado a multidispositivos.

Obras de ingeniería para reducir la acumulación de material combustible o modificar su continuidad, tanto en forma horizontal como vertical: brechas cortafuego, líneas negras, podas, chaponeos, aclareos y quemas prescritas, entre otras

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araya Ulloa, A., y Calvo Brenes, G. (2017). Diagnóstico sobre la vulnerabilidad ecológica y calidad del agua en la quebrada la central Acayas de Alvarado Costa Rica. *Tecnología en marcha* Vol 30 No. 3, 48-58.
- Asociación de Silvicultores de la Región Tlahuiltepa-Jacala.A.C. (2010). Estudio Regional Forestal de la Unidad de Manejo Forestal 1305 "Jacala-Tlahuiltepa. Hidalgo, México. Pachuca de Soto, Hidalgo.
- Ávila Flores, D., Pompa García, M., y Vargas Pérez, E. (2010). Factores impulsores de la ocurrencia de incendios forestales en el estado de Durango de México: una perspectiva geoespacial. *Chapingo*, 491–497.
- Balvanera, P., y Cotler, E. (2009). Estado y Tendencia de los Servicios Ecosistémicos en Capital Natural de México. *Estado de Conservación y Tendencia de Cambio* Vol. 2, 185-245.
- Barco, J., Cuartas, A., Mesa, O., Poveda, G., Vélez, J., Mantilla, R., . . . Montoya, M. (2000). Estimación de la Evaporación en Colombia. *Avances en Recursos Hdraulicos*, 43-51.
- Bolaños Orozco M. A. (2007). Estimación del valor económico de los servicios ambientales de captura de carbono e hidrológicos en la sierra gorda de querétaro. Tesis de maestría. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Monterrey, Nuevo León. México.
- Bravo-Mosqueda, E., Cano-García, M. A., López-López, P., Mariles-Flores, V., Maciel-Pérez, L. H., . González-González, M. A., y González Jasso, L. A. (2014). Aplicaciones de la Red de Estaciones Agroclimatológicas Automatizadas del Estado de Oaxaca. *Campo Experimental Valles Centrales de Oaxa: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Pacifico Sur.*
- Burgan, R., Klaver, R., y Klaver, J. (1998). Fuel Models and Fire Potential from Satellite and Surface Observations. *International Journal of Wildland Fire*, 8, 159-170. Recuperado el 12 de Junio de 2019, de <https://doi.org/10.1071/WF9980159>
- Cáceres, C. F. (2011). Using GIS in Hotspots Analysis and for Forest Fire Risk Zones Mapping in the Yeguaré Region, Southeastern Honduras. *Papers in Resource Analysis. Saint Mary's University of Minnesota University Central Services Press.*, Volume 13, 14. Recuperado el 10 de Marzo de 2019, de <http://140.190.136.236/GradProjects/CaceresC.pdf>
- Camou-Guerrero, Ghilardi A., Mwampamba T, Serrano M, Ortiz Avila T, Vega E, Oyama Ken y Masera O. (2014). Análisis de la producción de carbón vegetal en la Sección: Investigación Cuenca del Lago de Cuitzeo,

Michoacán, México: implicaciones para una producción sustentable. *Investigación Ambiental* 6(2) .

Carrillo García, R. L., Rodríguez Trejo, D. A., Tchikoué, H., Monterroso Rivas, A. I., y Santillán Pérez, J. (2012). Análisis Espacial de Peligro de Incendios Forestales en Puebla, México. *Interciencia*, 678-683.

Castañeda Rojas, M. F. (2013). EVALUACIÓN DE ZONAS VULNERABLES A INCENDIOS FORESTALES EN BOSQUES DE ALTA MONTAÑA DEL ESTADO DE MÉXICO. (U. A. México, Ed.) Toluca, Estado de México, México: Tesis de Maestría.

CENAPRED, Centro Nacional de Prevención de Desastres. (2008). Incendios Forestales. Distrito Federal, México: CENAPRED.

CENAPRED, Centro Nacional de Prevención de Desastres. (2014). Guía Básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligro y Riesgo. Mexico: www.cenapred.gob.mx. Recuperado el Febrero de 15 de 2018, de <http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/44.pdf>

Chiuvenco, E., y Russell G., C. (1989). Application of Remote Sensing and Geographic information Systems to Forest Fire Hazard Mapping. *Remote Sens. Environ.* Vol. 29, 147-159.

Chiuvenco, E., Aguado, I., Jurdao, S., Pettinari, M. L., Yebra, M., Salas, J., ... y Martínez-Vega, F. J. (2012). Integrating geospatial information into fire risk assessment. *International Journal of Wildland Fire* 23(5), 606-619.. Recuperado el 12 de Abril de 2019. https://www.researchgate.net/publication/236942076_Integrating_geospatial_information_into_fire_risk_assessment

Chiuvenco, E., Inmaculada, A., Martha, Y., Hector, N., Javier, S., M. Pilar, M., . . . Zamor. (Enero de 2010). Development of a framework for fire risk assessment using remote sensing and geographic information system technologies. *Ecological Modelling*, 221(1), 46-58. Recuperado el 20 de Febrero de 2019, de <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2008.11.017>

COEDE, Consejo Estatal De Ecología del Estado de Hidalgo. (2001). Ordenamiento Ecológico del Territorial del Estado de Hidalgo., . Pachuca de Soto: Consejo Estatal de Ecología Hidalgo.

CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Sistema de Alerta de Incendios. Obtenido de <http://incendios.conabio.gob.mx/>
Fecha de consulta 22 de Junio de 2020

CONAFOR, Comisión Nacional Forestal. (01 de 15 de 2010a). Conceptos Básicos de Incendios Forestales. Recuperado el 12 de FEBRERO de 2018, de

<http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/10/1076Conceptos%20b%C3%A1sicos%20-%20Incendios%20Forestales.pdf>

CONAFOR, Comisión Nacional Forestal. (2010b). Guía práctica para comunicadores. Recuperado el 12 de Febrero de 2018, de <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/10/236Gu%C3%ADa%20pr%C3%A1ctica%20para%20comunicadores%20-%20Incendios%20Forestales.pdf>

CONAFOR, Comisión Nacional Forestal. (2012). Caracterización y cuantificación de combustibles forestales. CONAFOR.

CONAFOR, Comisión Nacional Forestal. (2014). Inventario Estatal Forestal y de Suelos. Zapopan, Jal.: CONAFOR.

CONAFOR, Comisión Nacional Forestal. (2015). Reporte Semanal de Resultados de Incendios Forestales 2014. CONAFOR.

CONAFOR, Comisión Nacional Forestal. (2018). Inventario Nacional Forestal y de Suelos Informe de Resultados 2009-2014. Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). Zapopan: Comisión Nacional Forestal . Recuperado el 3 de Marzo de 2018, de <https://snigf.cnf.gob.mx/wp-content/uploads/Resultados%20Hist%C3%B3ricos%20INFyS/2009%20-%202014/Informe%20de%20resultados/Informe%20inventario%202009%20-%202014.pdf>

CONAGUA, Comisión Nacional del Agua. (2015). Atlas del Agua en México. México. D.F.: Comisión Nacional del Agua. SEMARNAT.

Cortez-Villa, J., Quevedo-Nolasco, A., Arteaga-Ramírez, R., y Carrillo-Flores, G. (2020). Tendencia de la sequía meteorológica en el estado de Durango, México, por el método de Rodionov. *Tecnología y ciencias del agua*, 85-131. Recuperado el 2 de Abril de 2020, de <http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v11n1/2007-2422-tca-11-01-85.pdf>

Cristeche, E., y Penna, J. A. (2008). Método de Valoración Económica de los Servicios Ambientales. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

Cruz Espíndola, M. Á., Rodríguez Trejo, D. A., Villanueva Morales, A., y Santillán Pérez, J. (2017). Factores sociales de uso del suelo y vegetación asociados a los incendios forestales en Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 139-163.

Cruz López, M. I. (2013). Sistema de alerta temprana de incendios forestales. *ANAIS XVI Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 6807-6813.

De Jong , B., Macera, O., y Hernández Tejeda, T. (1995). Opciones de captura de carbono en el sector forestal. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

- DOF, Diario Oficial de la Federación. (16 de 01 de 2009).. Norma Oficial Mexicana NOM-015-SEMARNAT/SAGARPA-2007. Distrito Federal.
- DOF, Diario Oficial de la Federación. (31 de Julio de 2014). Acuerdo mediante el cual se expiden los costos de referencia para reforestación o restauración y su mantenimiento para compensación ambiental por cambio de uso de suelo en terrenos forestales y la metodología para su estimación. Recuperado el 12 de Octubre de 2018, de: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5354722&fecha=31/07/2014
- DOF, Diario Oficial de la Federación. (28 de 04 de 2014).. Programa Nacional Forestal 2014-2018. Distrito Federal.
- DOF, Diario Oficial de la Federación. (21 de 12 de 2016).. Acuerdo por el que se emite la guía de contenido mínimo para la elaboración del Atlas Nacional de Riesgos. Distrito Federal, México: SEDATU.
- DOF, Diario Oficial de la Federación. (05 de 06 de 2018).. Decreto por el se se abroga la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. Distrito Federal.
- ENAREDD, Estrategia Nacional para la Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación Forestal. (2017). ESTRATEGIA NACIONAL PARA REDD+ 2017-2030. Recuperado el 12 de Febrero de 2018, de <http://www.enaredd.gob.mx/wp-content/uploads/2017/09/Estrategia-Nacional-REDD+-2017-2030.pdf>
- Estrada Contreras, I. (2006). Identificación de Áreas susceptibles de Incendio Forestal en el Parque Nacional "El Chico", Hidalgo. UNAM. México: Facultad de Estudios superiores Zaragoza. Recuperado el 10 de Septiembre de 2019, de https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB_UNAM/TES01000611109
- ESRI, 2013. ArcGIS Desktop. Version 10.3.Environmental Systems Research Institute, Inc., Redlands, California. EU.
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2014). Base referencial mundial del recurso suelo 2014. Informes sobre el recurso suelo, Roma. Recuperado el 9 de Octubre de 2019, de <http://www.fao.org/3/i3794es/i3794es.pdf>
- Fernández Morís, I. (02 de 2015). Master en Teledetección y Sistemas de Información Geográfica. Aplicaciones SIG en proyectos de ordenación de montes. Universidad de Oviedo.
- Flores Garnica, J. G., Benavides Solorio, J., Valdés Ramírez, C., Vega Montes de Oca, D. G., y Casillas Díaz, U. D. (2016). Descripción de Variables para definición de riesgo de Incendios Forestales en México. Tepatitlán de Morelos, Jal.: INIFAP.

- Flores, J. G., Benavides, J. d., Vega, D. G., Núñez, E. L., Leal, H., Macias, A., . . . Efrén, H. (2017). ANÁLISIS PARTICIPATIVO PARA LA DEFINICIÓN DE ÁREAS PRIORITARIAS CONTRA INCENDIOS FORESTALES EN JALISCO. INIFAP, Centro de Investigación Regional Pacífico Centro. Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Zapopan: INIFAP.
- Forestal, C. N. (2013). La producción de Resina de Pino en México. ZAPOPAN JALISCO: SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES.
- Fu, P., y Rich, P. (2002). A geometric solar radiation model with applications in agriculture and forestry. , pp. . Computers and Electronics in Agriculture 37., 25–35.
- García, E. (2014). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. México D.F: Instituto de Geografía UNAM.
- García-Soldado, M., y Chica-Olmo, M. (19-21 de 19-21 de 2012). Comparación de los métodos de evaluación multicriterio AHP y OWA para el análisis de la vulnerabilidad de un acuífero detrítico. XV Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica, Madrid, AGE-CSIC, 19-21 de Septiembre de 2012 . Recuperado el 10 de Agosto de 2019, de http://tig.age-geografia.es/2012_Madrid/ponencia4/GarciaSoldado_rfinal_imppdf.pdf
- Garibay Orijel, R., Cordova , J., Sifuentes, J., Valenzuela, R., Estrada Torres, A., y Kong, A. (2009). Integrating wild mushrooms use in to a model sustainable management for indigenous community forest. Forest Ecology and Management 258 , 122-131.
- Geyne, A., Fries, C., Segerstrom, K., Black, R., y Wilson, I. (1963). Geología y yacimientos minerales del distrito de Pachuca-Real del Monte, Hidalgo México. Consejo de Recursos Naturales no Renovables. Consejo de Recursos Naturales no Renovables.
- Gobierno de Aragón. (2001). Manual de formación de incendios forestales para cuadrillas Departamento de Mediambiente. 2da, edición revisada. . Gobierno de Aragón, de Medioambiente. Aragón. España.: Natural de Aragón. Recuperado el 12 de abril de 2018, de https://www.aragon.es/documents/20127/674325/MANUAL_INCENDIOS_CUADRILLAS.pdf/7a477952-318e-3110-a2df-94692725ab98
- Gobierno de Aragón. (2016a). Aprendemos sobre incendios forestales en Aragón. Manual didáctico para el profesor. Aragón. https://www.aragon.es/documents/20127/674325/MANUAL_PROFESOR.pdf/23efc688-1120-d1b6-87d5-af45a060b0a8. Recuperado el 18 de abril de 2019
- Gobierno de Aragón (2016b)

Prevención de incendios forestales en trabajos de mantenimiento, conservación y construcción de obras e infraestructuras en el medio rural (Primera ed.). (Departamento de Desarrollo Rural y Sostenibilidad, Ed.) Aragón, España: Gobierno de Aragón. Obtenido de https://www.aragon.es/documents/20127/674325/INCENDIOS_MANUAL_CONTRATAS.pdf/164efb2e-52ce-2740-ad21-e8f97da83ca1
Recuperado el 18 de abril de 2019

Groot, W. J., Flannigan, M. D., y Stocks, B. J. (2012). El Cambio Climático y los Incendios Forestales. Cuarto Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación y Economía de Incendios Forestales: Cambio Climático e Incendios Forestales, (págs. 1-12). Ciudad de México, México. Recuperado el 2 de Mayo de 2019, de https://www.fs.fed.us/psw/publications/documents/psw_gtr245/es/psw_gtr245_001.pdf

Gutiérrez Martínez, G., Orozco Hernández, M., Ordoñez Díaz, J. B., y Camacho Sanabria, J. M. (2014). Régimen y Distribución de los Incendios Forestales en el Estado de México (2000 a 2011). *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 92-107.

Guzmán, G. (1994). Las colecciones de hongos en México y su problemática en la diversidad del país. *Boletín Botánica de México*, 55 pp 35-37.

Hernández Velazquez Hector. (2007). Macromicetos de una región de Mineral del Chico, Hidalgo. Una aproximación a la Etnomicología. Tesis de Licenciatura en Biología. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca de Soto, Hidalgo.

Heim, R. R. (1 de Agosto de 2002). A Review of Twentieth-Century Drought Indices Used in the United States. (B. A. Soc, Ed.) *AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY*, 83(8), 1149-1166. Recuperado el 2 de Marzo de 2018, de <https://doi.org/10.1175/1520-0477-83.8.1149>

IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2011). Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal - Escala 1:100.000. (M. y. Instituto de Hidrología, Ed.) Bogotá, D. C., Colombia: IDAEM. Recuperado el 19 de Marzo de 2019, de <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/zonificacion-del-riesgo-a-incendios>

INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2004). Guías para la Interpretación de Cartografía Edafología. Aguascalientes, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2 de Febrero de 2010 a). Marco geoestadístico 2010 versión 5.0 (Censo de Población y Vivienda 2010). Obtenido de INCLUIR FECHA DE CONSULTA: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825292812>
Consulta 12 de febrero 2015

- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2010b). II Censo de Población y Vivienda. INEGI.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2017). Anuario Estadístico y Geográfico de Hidalgo 2017. Comisión Nacional Forestal, Gerencia de Protección contra Incendios Forestales. Hidalgo: INEGI. Recuperado el 8 de Febrero de 2014, de <http://187.218.230.5/media/library/get/004/4103/informe-final-de-incendi.pdf>
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. (19 de Junio de 2007). IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 . Consultado 15 de marzo 2018 de : https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/es/spms1.html
- Jalisco, S. d. (2018). Plan de Manejo del Fuego. Terminos de Referencia. Jalisco.
- Laxmi Kant, S., Shruti, K., Mahendra Singh, N., Suman, S., y Prem, C. P. (2012). "Fuzzy AHP for forest fire risk modeling", *Disaster Prevention and Management*, Emerald, 21 , 160 - 171. Recuperado el 22 de octubre de 2019, de <http://dx.doi.org/10.1108/09653561211219964>
- Mariaca Méndez, R., Silva Pérez, L. D., y Castaños Montes, C. A. (2001). Proceso de Recolección y Comercialización de Hongos Comestibles Silvestres en el Valle de Toluca, México. *Ciencia Ergosum* Vol 8 No. 1, 30-40.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., y Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration of time scales. Eighth Conference on Applied Climatology, American Meteorological, (pág. 6). Anaheim, CA. Recuperado el 23 de Marzo de 2018, de <https://scinapse.io/papers/2153179024>
- Moreno González E. 2008. Manual de Uso de SPSS. Universidad Nacional de Educación a Distancia. 1ªEdición: Madrid, octubre de 2008.
- NFPA, National Fire Protection Association. (2013). Community Wildfire Safety. A Best Practices Guide for Planners and Regulators. Massachusetts.. Recuperado el 25 de Septiembre de 2019, de <https://www.nfpa.org/-/media/Files/Public-Education/By-topic/Wildland/WildfireBestPracticesGuide.ashx>
- OMM, Organización Meteorológica Mundial. (2012). Índice normalizado de precipitación. Guía del usuario. OMM-No 1090, Ginebra. Recuperado el 22 de Marzo de 2018, de https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=7769
- Paredes Hernández, C. U., Salinas Castillo, W. E., Martínez Becerra, X., y Jimenez Hernández, S. B. (2013). Evaluación y comparación de métodos

de interpolación determinísticos y probabilísticos para la generación de modelos digitales de elevación. *Investigaciones Geográficas Boletín del Instituto de Geografía UNAM*, 118-130.

- Parks, S. A. (3 de Febrero de 2014). Mapping day-of-burning with coarse-resolution satellite. *International Journal of Wildland Fire*, 215–223. Recuperado el 5 de Noviembre de 2019, de <http://dx.doi.org/10.1071/WF13138>
- Pérez Olvera, C. d., Dávalos Sotelo, R., y Guerrero Cuacuil, E. (2000). Aprovechamiento de la madera de pino-encino en México. *Madera y Bosques Vol 6*, 3-13.
- Pérez-verdin, G., Linares, M., y Salmeron-Macias, M. (2013). Análisis espacio-temporal de la ocurrencia de incendios forestales en Durango, México. *Madera y Bosques Vol.19*, 37-59.
- PROBOSQUE. (2018). Costos de semilla forestal. Estado de México: Gobierno del Estado de México.
- QGIS.org (2017) QGIS User Guide. Release 2.14. QGIS Geographic Information System. QGIS Association [fecha de Consulta 10 de agosto de 2017] Disponible https://docs.qgis.org/2.14/es/docs/user_manual/index.html
- Rich, P., Dubayah, R., Hetrick, W., Saving, S. (1994). Using Viewshed models to calculate intercepted solar radiation: applications in ecology. *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Technical Papers.*, 524-529.
- Rincón, E., Tonantzín, P., García Tinoco, M., y Notimex. (14 de 04 de 2013). Desalojan a mil 200 en Hidaalgo por incendios. *Excelsior*.
- Rodríguez Trejo, D. A. (2012). Génesis de los Incendios Forestales. *Chapingo*, 357-373.
- Rodríguez Trejo, D. A. (2014). Incendios de Vegetación: su ecología, manejo e historia. Distrito Federal: Colegio de Postgraduados.
- Rodríguez Trejo, D. A., Ramírez Maldonado, H., Tichikoué, H., y Santillán Pérez, J. (2008). Factores que Inciden en la siniestralidad de los Incendios Forestales. *Ciencia Forestal en México. Vol. 33 Num. 104*, 37-58.
- Rodríguez-Trejo, D. (2017). Incendios de Vegetación. Su Ecología, Manejo e Historia. Vol 1, Resúmenes.
- Román Cuesta, M., y Martínez Vilalta, J. (2006). Effectiveness of protected areas in mitigating fire within their boundaries: case study of Chiapas, México. *Conservation Biology: the journal of the Society for Conservation Biology*, 1074-1086.

- Rothermel, R. C. (1972). A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. . Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range. Res. Pap. INT115. Ogden, UT: U.S.
- Rzedowski, J. (2006). Vegetación de México. 1ra edición digital. México, D.F.: CONABIO.
- Saaty, T. (1980). The Analytic Hierarchy Process. New York: McGraw Hill.
- Sánchez Rojas, G., Ballesteros Barrera, C., y P.Pavón, N. (2011). CAMBIO CLIMÁTICO Aproximaciones para el estudio de su efecto sobre la biodiversidad (Primera ed.). Pachuca, Hidalgo, México: UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO. Recuperado el 25 de Junio de 2019, de https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/icbi/LI_EcologiaCambGlobal/numa_pavon/niniolncen.pdf
- Scott , J. H., Thompson , M., y Calvin , D. E. (2013). A wildfire risk assesment framework for land and resource management. USA: USA Forest Service.
- Secretaría de Turismo. (28 de Abril de 2014). Real de Monte, Hidalgo. Secretaría de Turismo. Recuperado el 25 de Noviembre de 2018, de: <http://www.sectur.gob.mx/gobmx/pueblos-magicos/real-de-monte-hidalgo/>
- SEDATU, Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano. (2014).. Terminos de Referencia para la Elaboración de Atlas de Peligros y/o Riesgos 2014. Distrito Federal: SEDATU.
- SEMARNAT, Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2016). Programa de Gestión para mejorar la calidad del aire del Estado de hidalgo. Pachuca, Hidalgo: SEMARNAT.
- SEMARNATH, Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales del Estado de Hidalgo. (10 de 2008). Programa de Desarrollo Forestal del Estado de Hidalgo. Pachuca, Hidalgo, México.
- SGM, Servicio Geológico Mexicano. (2007). Carta geológico-minera Pachuca (F14-D81) Hidalgo y Estado de México, escala 1:50 000. Pachuca: Servicio Geológico Mexicano.
- SGM, Servicio Geológico Mexicano. (2013). Atlas de Peligros del Estado de Yucatán. Pachuca, Hgo.: SGM.
- State of Oregon, Department of Forestry. (2013). West Wide Wildfire Risk Assessment Final Report. March 31. [Consultado el 25 de abril de 2017] Disponible en https://www.thewflc.org/sites/default/files/WWA_FinalReport_3-6-2016-1.pdf

- Tejeda-Martínez, A., Méndez Pérez, M., Rodríguez Catalina y Tejeda Zacarias, E. (2018). La Humedad en la Atmósfera. Bases físicas, instrumentos y aplicaciones. Colima, Colima, México: Universidad de Colima. Recuperado el 18 de Marzo de 2019, de http://ww.ucol.mx/content/publicacionesenlinea/adjuntos/La-humedad-en-la-atmosfera_466.pdf
- The carbon basis company, ISOGIS Corporation, Instituto Tecnológico de El Salto, y The pembina Institute. (2010). Evaluación de la madera, la biomasa y el carbono de bosques y las tecnologías potenciales de producción de energía a partir de biomassa en Durango, México. Durango: CONAFOR.
- Thomas Bohórquez, J. E. (2013). Evaluación de la vulnerabilidad social ante amenazas naturales. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM(81), 79-93. Recuperado el 15 de Septiembre de 2019, de https://www.researchgate.net/publication/260769823_Evaluacion_de_la_vulnerabilidad_social_ante_amenazas_naturales_en_Manzanillo_Colima_Un_aporte_de_metodo
- Torres Rojo, J. M., y Guevara Sanginés, A. (2002). El Potencial de México para la Producción de Servicios Ambientales: Captura de Carbono y Desempeño Hidráulico. Gaceta Ecológica No. 63, 40-59.
- Toskano H., G. B. (2005). El proceso de Análisis Jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores. Perú, 2005
- Trejo, I., Hernández, J., y Villers, L. (2010). Aafectación de las comunidades vegetales de México al Cambio Climatico. (UNAM, Ed.) Observatorio geografico americalatina. Recuperado el 15 de Julio de 2019, de <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal11/Procesosambientales/Climatologia/02.pdf>
- UNEP–WCMC / METHODUS Consultora S.C, Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente - Centro Mundial de Vigilancia de la Conservación/ METHODUS Consultora S.C. (2013) El Mercado de Los Hongos Silvestres en México. [fecha de Consulta 5 de Mayo de 2020]. ISSN: 0122-1701.Disponible en:<https://studylib.es/doc/8588300/proyecto-de-comercializaci%C3%B3n-de-productos-forestales>
- Vaillant, M. N., Ager, A. A., y Anderson, J. (2013). Arcs Fuels 10 System Overview. General Technical Report, The Forest Service of the U.S, Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. Recuperado el 1 de Mayo de 2019, de https://www.fs.fed.us/pnw/pubs/pnw_gtr875.pdf
- Valencia , S. (2004). Diversidad del género Quercus (Fafaceae) en México. Boletín de la Sociedad Botánica de México, 33-53.

- Villers Ruíz, L., y Hernández Lozano, j. (2007). Incendios Forestales y el fenómeno de El Niño en México. *Wildfire*.
- Villers Ruíz, L., y López Blanco, J. (2006). Comportamiento del fuego y evaluación del riesgo por incendios en las áreas forestales de México: un estudio en el Volcán la Malinche. . 57-74.
- Villers Ruíz, M. (2006). Incendios Forestales. *Ciencias*, 60-66.
- Villers-Ruiz, L., y Hernández Lozano, J. (2008). Incendios Forestales y La Variabilidad Climática en México. Observatorio geográfico americano. Recuperado el 25 de Junio de 2019, de <http://observatoriogeograficoamericano.org.mx/>
- Wunder Sven. (2005). Payments for environmental services: Some nuts and bolts [fecha de Consulta 15 de abril de 2020] Disponible en: https://www.cifor.org/publications/pdf_files/OccPapers/OP-42.pdf
- Yakubu, I., Mireku Gyimah, D., y Duker, A. (2015). Review of methods for modelling forest fire risk and hazard. *African Journal of Environmental Science and technology*, 155-165.
- World Meteorological Organization, -(2012). Standardized Precipitation Index User Guide. Switzerland. [fecha de Consulta 15 de abril de 2020] Disponible en: https://www.droughtmanagement.info/literature/WMO_standardized_precipitation_index_user_guide_en_2012.pdf

7. ANEXO A

A continuación, se hace una descripción de las características de las localidades identificadas en riesgo.

Barrio El Hiloche

Se localiza al Norte de la cabecera del municipio de Mineral del Monte, entre las coordenadas 20°14'12.2" de latitud norte y 98°68'24.1" longitud esta, a una altitud de 2857 msnm. Cuenta con una población de 721 habitantes y 167 viviendas. Fotografía 1 y Fotografía 2.



Fotografía 1. Vista del tipo de vivienda del Barrio Hiloche.



Fotografía 2. Vista panorámica del Barrio Hiloche.

Pueblo Nuevo

Se localiza al Noroeste del municipio de Mineral del Monte, a la entrada del municipio de Mineral del Chico. Cuenta con 506 habitantes, entre las coordenadas 20°10'22.9" de latitud norte y 98°41'28.1" longitud esta, a una altitud de 2900 msnm. Cuenta con una población de 753 habitantes y 250 viviendas. Fotografía 3

Tezoantla

Se localiza al sur del municipio de Mineral del Monte entre las coordenadas 20°07'29" de latitud norte y 98°38'57" de longitud este, a una altitud de 2780 m.s.n.m. Cuenta con 222 viviendas y un total de 724 habitantes, en su mayoría mujeres. Del total de las viviendas 19 tienen piso de tierra y solo 13 cuentan con una sola habitación. Fotografía 4.

Santa Rosalía

La localidad de Santa Rosalía se localiza al sureste del municipio y es la tercera localidad más grande, Se localiza al sur del municipio de Mineral del Monte entre las coordenadas 20°07'33" de latitud norte y 98°37'51" de longitud este, a una altitud de 2879 m.s.n.m. ya que cuenta con 468 viviendas y 468 habitantes, se encuentra entre las localidades con alto índice de marginación, aunque en rezago social se encuentra en un nivel medio. Fotografía 5.

San Pedro Huixotitla

Se localiza en la parte centro del municipio entre las coordenadas geográficas 20°08'23.09" de latitud norte y 98°39'16" de longitud este, a una altitud de 2709 m.s.n.m. La población es de 247 habitantes, con 77 viviendas. Fotografía 6. Fotografía 76.

Ciénega Larga

Se localiza al sur del municipio entre las coordenadas geográficas 20°06'43.9" de latitud norte y 98°36'34" longitud esta, a una altitud de 2700 m.s.n.m. Se trata de una localidad rural con 276 habitantes y un total de 90 viviendas, en su mayoría mujeres. Fotografía 7.

Barrio Escobar

Se localiza a 613 m en línea recta de la cabecera municipal entre las coordenadas geográficas 20°09'03.0" latitud norte y 98°39'45.0" longitud este. Con 38 viviendas y 105 habitantes, en esta localidad se ubica el Hotel Spa Holístico, que tiene techo de madera cubierto con lámina de asbesto, lo que lo vuelve vulnerable. El 77% de las viviendas cuentan con techos de lámina, por lo que se determinó una alta vulnerabilidad ante un incendio forestal. Fotografía 8.

San Felipe el Alto

La localidad de San Felipe, conocida como San Felipe El Alto se localiza al norte del municipio entre las coordenadas geográficas 20° 09' 53.2" de latitud norte y 98° 40' 18.0" longitud oeste, a una altitud de 2780 m.s.n.m. Tiene 36

habitantes y 10 viviendas. El índice de marginación de la localidad es alto, determinando una vulnerabilidad media. Fotografía 9.

San Felipe el Bajo

La localidad de San Felipe el bajo (La Providencia) se encuentra al noreste del municipio entre las coordenadas 20° 09' 23.8" de latitud norte y 98° 40' 33.1" longitud oeste, a una altitud de 2640 m.s.n.m. Cuenta con 59 habitantes y 13 viviendas. Fotografía 10.

Bosques de San Cayetano

En la localidad Fraccionamiento Bosques de San Cayetano, se localiza al noroeste del municipio, entre las coordenadas geográficas 20° 09' 37.2" de latitud norte y 98° 41' 56.1" de longitud oeste, a una elevación de 2909. m.s.n.m con 43 viviendas y 11 habitantes, estas cuentan con una buena infraestructura. Fotografía 11.

Calicanto

La localidad de Calicanto se localiza al noreste del municipio, entre las coordenadas geográficas 20° 09' 22.2" de latitud norte y 98° 40' 51.1" de longitud oeste, a una elevación de 2740 m.s.n.m. En él no se tiene ningún registro sobre el número de viviendas habitadas, existen 7 viviendas.

Las Flores

Con 5 viviendas y 2 habitantes se ubica entre las coordenadas geográficas 20° 09' 54.5" de latitud norte y 98° 41' 29.1" de longitud oeste, a una elevación de 2824. m.s.n.m., en una zona de Bosque de oyamel, lo cual podría sufrir algún tipo de afectación.

Barrio del Agua Escondida

La localidad de Barrio del Agua Escondida se localiza en la parte sur del municipio entre las coordenadas 20° 08' 10.2" de latitud norte y 98° 41' 12.2" de longitud oeste, a una elevación de 2840 m.s.n.m. Se encuentra en un alto índice de marginación; cuenta con 10 habitantes y 3 viviendas.

Llano Grande

La localidad de Llano Grande se localiza hacia el sureste del municipio entre las coordenadas 20° 08' 10.5" de latitud norte y 98° 38' 33.0" de longitud oeste, a una elevación de 2760 m.s.n.m. Cuenta con 30 habitantes y 11 viviendas habitadas, colocándola en una posición de vulnerabilidad media. Es una de las localidades que se encuentran en un índice alto de marginación.

Palo Hueco

La localidad de Palo Hueco se localiza al límite con el municipio de Omitlán de Juárez entre las coordenadas 20° 08' 34.3" de latitud norte y 98° 38' 09.3" de longitud oeste, a una elevación de 2800 m.s.n.m. Cuenta con 29 habitantes y 10 viviendas, colocándola en una posición de vulnerabilidad alta.

El Jilguero

La localidad del Jilguero se localiza al sur del municipio entre las coordenadas 20° 07' 30.3" de latitud norte y 98° 37' 05.1" de longitud oeste a una altitud de 2800 m.s.n.m. Cuenta con una población total de 11 habitantes y 8 viviendas tiene vulnerabilidad muy alta y riesgo muy alto.



Fotografía 3. Vista del tipo de vivienda de la localidad de Pueblo Nuevo



Fotografía 4. Tipo de viviendas de la localidad de Tezoantla.



Fotografía 5. Vista panorámica de la localidad de Santa Rosalía.



Fotografía 6. Vista panorámica de la localidad de San Pedro Huixotitla.



Fotografía 7. Vista panorámica de la localidad de Ciénega Larga.



Fotografía 8. Vista panorámica de la localidad de Barrio Escobar.



Fotografía 9. Tipo de viviendas de la de la localidad de San Felipe el alto.



Fotografía 10. Tipo de viviendas de la de la localidad de San Felipe el bajo.



Fotografía 11. Tipo de viviendas del fraccionamiento Bosques de San Cayetano.