

**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE
CHIAPAS**

**INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN GESTIÓN
DE RIESGOS Y CAMBIO CLIMÁTICO**

LICENCIATURA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

TESIS:

Modelo espacial para la determinación de zonas de peligro a incendios forestales en la microcuenca “La Unión” en el municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas.

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

Licenciado en Ciencias de la Tierra

PRESENTA:

Alan Mauricio Pacheco Torres

DIRECTOR:

M. en C. Mauricio José Ríos

REVISORES:

M. en C. José Francisco Pinto Castillo

Dr. William Vázquez Morales



Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; marzo de 2022



Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas
Dirección de Servicios Escolares
Departamento de Certificación Escolar
Autorización de Impresión



Lugar: TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS
Fecha: Marzo 14, 2022

C. **ALAN MAURICIO PACHECO TORRES**

Pasante del Programa Educativo de: LICENCIATURA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:

Modelo espacial para la determinación de zonas de peligro a incendios forestales en la microcuenca "La Unión" en el municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas

En la modalidad de: TESIS PROFESIONAL

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

Revisores

DR. WILLIAMS VÁZQUEZ MORALES

MTRO. JOSÉ FRANCISCO PINTO CASTILL

MTRO. MAURICIO JOSÉ RÍOS

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN
EN GESTIÓN DE RIESGOS
Y CAMBIO CLIMÁTICO



LICENCIATURA EN CIENCIAS DE LA TIERRA
COORDINACIÓN DE TITULACIÓN

Firmas:

Ccp. Expediente

Revisión 1

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, por brindarme la oportunidad de formar parte de ella y desarrollarme profesionalmente.

A mi Director de proyecto, el Mtro. Mauricio José Ríos, por haberme brindado esta propuesta de investigación, así como la confianza y oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento para llevar acabo la labor conjunta del presente proyecto.

A mis revisores y asesores, el Mtro. José Francisco Pinto Castillo y el Dr. William Vázquez Morales, por su paciencia, conocimiento y apoyo en todo el proceso de la investigación.

Al personal académico del Instituto de Investigación en Gestión de Riesgos y Cambio Climático, quienes fueron una pieza fundamental en mi desarrollo como profesionista, por todo el apoyo durante mi estancia en la licenciatura.

A la Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural, que, a través del Centro Estatal de Control de Incendios Forestales, facilitó el acceso a los registros de datos históricos de incendios, los cuales fueron de gran utilidad en este estudio.

DEDICATORIA

A mi mamá, que siempre confió en mí y me motivó a seguir adelante en los momentos difíciles. Por todo su apoyo, amor, comprensión y paciencia.

A papá pin, que más que un abuelo, es un padre para mí. Por sus consejos, cariño y apoyo incondicional a lo largo de toda mi vida.

A mamá Lilia (+), quien fue mi segunda madre. Por su amor, sus cuidados y sus enseñanzas las cuales he tenido siempre presente.

A mi hermana, por crecer a mi lado y compartir tantos momentos, buenos y malos, de los cuales seguiremos aprendiendo juntos.

A mis amigos, que son irremplazables: Fer, Anahí, Carlos, Karel, Karim, Daniel y Mafer, por estar conmigo y apoyarme en todo momento.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	7
2	MARCO TEÓRICO	9
2.1	Cuenca.....	9
2.2	La cuenca como un sistema socioambiental.....	11
2.3	Incendios forestales	12
2.3.1	Tipos de incendio.....	13
2.3.2	Causas de los incendios forestales.....	15
2.3.3	Efectos de los incendios forestales.....	15
2.3.4	Factores que determinan un incendio forestal	17
2.4	Peligro a incendios forestales	19
2.5	Sistemas de información geográfica y los incendios forestales	20
2.6	Modelación espacial de los incendios forestales.....	21
2.7	Análisis multicriterio.....	22
3	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	24
4	JUSTIFICACIÓN	25
5	ANTECEDENTES	26
6	OBJETIVOS	32
6.1	Objetivo general	32
6.2	Objetivos específicos	32
7	MATERIALES Y MÉTODOS	33
7.1	Área de estudio	33
7.1.1	Aspecto hidrológico	34
7.1.2	Aspecto socio-económico.....	36

7.2	Materiales.....	39
7.3	Método	40
7.3.1	Modelo espacial.....	41
8	RESULTADOS	60
8.1	Iniciación de un incendio forestal	60
8.2	Propagación de un incendio forestal	64
8.3	Peligro a incendios forestales	68
9	DISCUSIÓN.....	72
10	CONCLUSIONES.....	75
11	REFERENCIAS	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Cuenca hidrográfica	10
Figura 2 Tipos de incendios forestales: a) Superficiales, b) Subterráneos y c) De copa.	14
Figura 3 La gran triada	18
Figura 4 Microcuenca "La Unión", Chiapa de Corzo, Chiapas	34
Figura 5 Red de ríos, microcuenca "La Unión", Chiapa de Corzo, Chiapas	35
Figura 6 Distribución de localidades y rangos de población, microcuenca "La Unión", Chiapa de Corzo, Chiapas	36
Figura 7 Red de caminos y carreteras, microcuenca "La Unión", Chiapa de Corzo, Chiapas	37
Figura 8 Mapa de áreas de influencia de acuerdo a la distancia a las localidades	42
Figura 9 Mapa de densidad de población por km ²	43
Figura 10 Mapa de zonas de influencia a las vías de comunicación	45
Figura 11 Mapa de zonas de influencia de acuerdo a la distancia a los puntos de ocurrencia de incendios	46
Figura 12 Mapa de densidades de acuerdo al número de eventos ocurridos por km ²	47
Figura 13 Esquema metodológico para del modelo de iniciación de incendios....	49
Figura 14 Mapa de uso de suelo y vegetación (2016).....	51
Figura 15 Mapa de orientación de laderas	53
Figura 16 Mapa de distribución espacial de las pendientes en porcentaje.....	54
Figura 17 Mapa de temperatura media anual.....	56
Figura 18 Mapa de precipitación media anual	57
Figura 19 Esquema metodológico para obtener el modelo de propagación de incendios	59
Figura 20 Modelo de iniciación de incendios forestales en la microcuenca "La Unión"	63
Figura 21 Modelo de propagación de incendios forestales en la microcuenca "La Unión"	67
Figura 22 Mapa de peligro a incendios forestales en la microcuenca "La Unión".	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Entidades federativas con mayor número de incendios en México (2016)	13
Tabla 2 Tipos de cultivo en la microcuenca “La Unión” y en el municipio de Chiapa de Corzo.....	38
Tabla 3 Información geográfica y tabular utilizada.....	39
Tabla 4 Ponderación establecidas por cada rango	47
Tabla 5 Ponderación de las variables de iniciación de un incendio	48
Tabla 6 Agrupación de la vegetación por la influencia del fuego	51
Tabla 7 Ponderación de las variables de propagación de un incendio	58
Tabla 8 Superficie ocupada por cada rango del modelo de iniciación de incendios	62
Tabla 9 Superficie ocupada por cada rango del modelo de propagación de incendios	66
Tabla 10 Superficie ocupada por cada rango del modelo de peligro a incendios forestales.....	68

1 INTRODUCCIÓN

El fuego desempeña un rol importante dentro del ciclo vital de todos los ecosistemas forestales que, al igual que otros fenómenos naturales, frecuentemente se convierte en problema a partir de la intervención humana (CONAFOR, 2010). Los incendios a nivel mundial generan grandes cambios en el medio y se les considera una de las principales causas en la pérdida de biodiversidad y degradación de grandes extensiones de terrenos. Estos también son una fuente significativa de emisiones de gases que provocan el calentamiento global y la pérdida de millones de toneladas de carbono almacenado en los ecosistemas (Gutiérrez et al., 2014).

Una de las principales causas que originan estos eventos, son las actividades humanas, siendo la agricultura y la ganadería una de las más frecuentes. El uso del fuego como herramienta agrícola sigue siendo una de las partes más importantes en la preparación del terreno para la producción de alimentos en el mundo (Huffman, 2013 citado en Gutiérrez et al., 2017), siendo este uno de los procedimientos más baratos usado por campesinos para desechar los residuos de las parcelas (CENAPRED, 2008).

En el año 2004, mediante el uso de imágenes satelitales, se detectaron en toda América Latina 14,446 polígonos correspondientes a áreas afectadas por el fuego, abarcando un poco más de 15,300 hectáreas (Chuvienco et al., 2008). Las sabanas de Colombia y Venezuela; el límite de bosques tropicales entre Brasil y Bolivia y las

provincias del centro y norte de Argentina, son las regiones con mayor área quemada.

En México, en los años de 1970 a 2006, ocurrieron un promedio de 7000 incendios por año, afectando 221,179 hectáreas. En este periodo ocurrieron las mayores afectaciones registradas (Ressler y Cruz, 2012).

En las regiones tropicales del sureste del país, este problema es mayor, debido a que existe una enorme biodiversidad (Mas y Sandoval, 2011). El estado de Chiapas, por su parte, genera una gran cantidad de combustibles forestales en un corto periodo de tiempo, que, junto al mal uso que se le da al fuego y la sensibilidad que existe dentro de los ecosistemas, hacen al estado vulnerable ante la ocurrencia de estos eventos (Torres, 2014), ocupando un lugar dentro de los 10 estados en el país con mayor número de incendios al año, al igual que, área afectada por estos mismos (CONAFOR, 2017).

La presente investigación tiene como objetivo principal identificar las áreas de peligro a incendios forestales y su relación con las actividades agrícolas mediante un modelo espacial, se llevó a cabo en la microcuenca “La Unión” ubicado en el municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas, realizado mediante una adaptación del método de Flores (2016), donde se tomaron en cuenta variables de tipo social (iniciación) y de tipo natural (propagación). Se aplicó un análisis multicriterio, evaluando cada una de las variables, analizando la relación y grado de influencia existente entre cada una de ellas ante la toma de decisiones, a través de los sistemas de información geográfica.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Cuenca

La cuenca (Figura 1) es un territorio definido para el manejo de los recursos naturales (Sánchez et. al, 2003), la cual se define como una unidad geomorfológica delimitada por líneas divisorias de aguas, donde queda comprendida una corriente principal, y a partir de su desembocadura se incluyen todos sus afluentes (Lugo, 2011).

Otra definición la describe como una superficie terrestre drenada por un sistema fluvial continuo y bien definido cuyas aguas vierten a otros cuerpos de agua, y sus límites están generalmente determinados por la divisoria principal según el relieve (González, 2000).

Cada autor adopta su propio significado usando diferentes palabras, pero realmente llegan a un mismo punto. En resumen, la cuenca es una unidad morfológica delimitada por parte aguas, esta capta y vierte el agua de lluvia a una red hidrográfica natural, formando así diferentes cauces que desembocan en un río principal o algún cuerpo de agua.



Figura 1 Cuenca hidrográfica
 Fuente: Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)

Las cuencas pueden ser clasificadas de muchas maneras, dependiendo de las características que presenten. De acuerdo a Sánchez et. al (2003), en términos de superficie, las que cubren un área mayor a 50 mil hectáreas se les considera cuencas hidrográficas; las que tienen una superficie entre cinco mil y 50 mil hectáreas se les denomina subcuencas; y dentro de ellas, las que van de tres mil a cinco mil hectáreas se le define como microcuencas.

En cuanto al sistema de drenaje que presentan, CONAGUA (2010) realizó una clasificación, denominando como exorreicas todas aquellas que su cauce desemboca directamente al mar; endorreicas, la que sus escurrimientos drenan hacia un cuerpo de agua interior; arreicas, aquellas que sus aguas se evaporan o se infiltran y por ende no tienen un escurrimiento; y criptorreicas, las que forma parte de un escurrimiento subterráneo (World Vision, 2004).

2.2 La cuenca como un sistema socioambiental

Las cuencas son un sistema complejo, humano-bio-físico integrado. La naturaleza y diversidad de los componentes que la integra hace que el comportamiento del agua en la cuenca no sólo sea producto de las leyes y procesos naturales, sino también de las leyes y procesos sociales (Maas, 2015). El cambio dentro de la cuenca es constante debido al uso que se les da a los recursos naturales, aprovechados en su mayoría por las comunidades que la habitan, establecen sistemas económicos que a su vez se asocian a los aspectos históricos, demográficos y a los cambios culturales de las poblaciones.

Los múltiples intereses por el aprovechamiento de los recursos naturales, ha ocasionado la degradación de los mismos. Los bosques arrasados, la acelerada pérdida de la biodiversidad, los problemas con el suelo a causa de la erosión, la compactación que tiene el suelo, los deslizamientos, la degradación que se presenta por el uso masivo de plaguicidas y fertilizantes sintéticos, los ríos contaminados y sedimentados, los acuíferos que se secan o son contaminados son consecuencia de ello (Rodríguez, 2005).

El conocer la integración y las interconexiones que se manifiestan espacialmente en una cuenca, permite utilizarla como base para articular procesos de gestión en el uso del territorio con miras a un desarrollo sustentable (FAO, 2007).

2.3 Incendios forestales

El fuego juega un papel muy importante en los ecosistemas terrestres, ya que mantiene su buen funcionamiento (Villers, 2006). Sin embargo, cuando este se produce y sale de control puede convertirse en un incendio forestal de consecuencias negativas para el ambiente (CONAFOR, 2010). Para que este pueda producirse se necesitan de tres elementos clave: calor, oxígeno y combustible.

Cada autor, desde su perspectiva propone un significado para el término "incendio",

La USAID/OFDA (2006) planteó que "un incendio forestal es un fuego que se da en un bosque producido por la acción del ser humano o causado por la naturaleza que avanza sin ningún control ocasionando daños ecológicos, climáticos, económicos y sociales". Por su parte, Villers y López (2004) lo describieron como una perturbación que es ocasionada por el fuego, tanto de manera natural como de manera antrópica.

Los incendios forestales son catalogados como los fenómenos que más daños causan a los ecosistemas, sin embargo, el fuego no solo provoca alteraciones a nivel ecológico, sino también social y económica (SEMARNAT, 2009).

En México, para el año 2016 se registraron 8,422 incendios forestales en el país, afectando una superficie de 272,776.34 hectáreas (Tabla 1); de esta superficie el 95.85% afectó a vegetación en los estratos herbáceo y arbustivo, y el 4.15 % a áreas con estrato arbóreo. Por su parte, Chiapas ocupó el séptimo lugar con mayor número de incendios en ese año, con un total de 417 ha; con respecto a áreas afectadas, ocupó el octavo lugar con el 3.63 % del área total (CONAFOR, 2017).

Tabla 1 Entidades federativas con mayor número de incendios en México (2016)

Fuente: CONAFOR, 2017

	Entidad federativa	Número de incendios	Superficie afectada (Ha)	Indicador Sup/Inc (Ha)
1	Edo. De México	1,483	5,935.45	4
2	Jalisco	991	68,264.57	68.88
3	Michoacán	826	18,097.78	21.91
4	Chihuahua	702	13,418.33	19.11
5	Ciudad de México	458	843.83	1.84
6	Puebla	456	9,174.09	20.12
7	Chiapas	417	9,907.90	23.76
8	Tlaxcala	402	1,497.88	3.73
9	Hidalgo	384	3,206.15	8.35
10	Oaxaca	278	21,287.69	76.57
	Subtotal	6,397	151,633.67	23.70
	Otros	2,025	121,142.68	59.82
	Total nacional	8,422	272,776.34	32.69

2.3.1 Tipos de incendio

De acuerdo a la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2010), existen tres tipos de incendios dependiendo de las características de cómo estos puedan presentarse en el entorno: superficiales, subterráneos y aéreos o de copa (Figura 2).

- a) **Los incendios superficiales** son aquellos que se propagan de forma horizontal sobre la superficie del terreno, estos alcanzan hasta metro y medio de altura, y afectan a los combustibles existentes dentro del área, como pastizales, hojas, ramas, ramillas, arbustos, troncos, humus, entre otros.

b) **Los incendios subterráneos**, se inician cuando un incendio superficial se propaga debajo del suelo, llegando a quemar toda la materia orgánica acumulada y las raíces de la vegetación, penetrando en las fracturas de grandes afloramientos rocosos (Villers, 2006). El fuego no se logra apreciar a simple vista en la superficie del terreno, pero se distingue con el humo saliendo del suelo.

c) **Los Incendios de copa o aéreos**, son considerados como los más destructivos, peligrosos y difíciles de controlar, debido a que las llamas consumen toda la vegetación, en este caso el fuego avanza a nivel del suelo y se propagan por continuidad vertical, expandiéndose así de copa en copa.

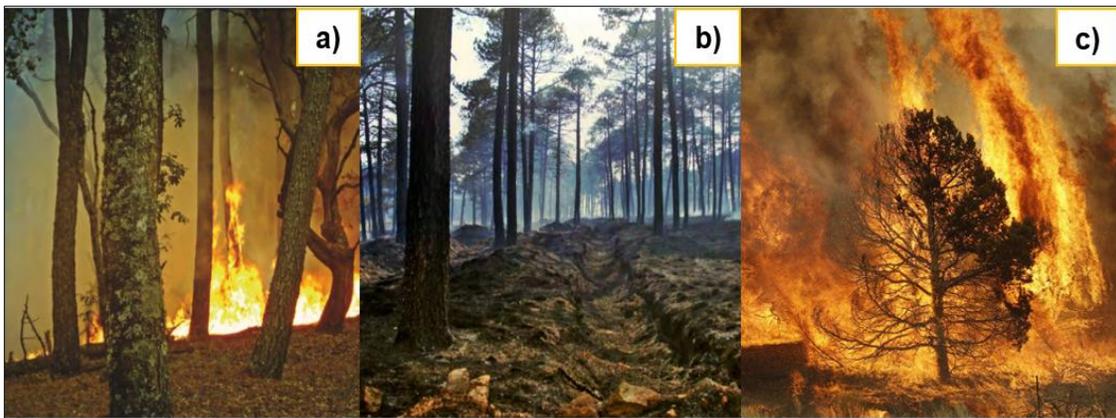


Figura 2 Tipos de incendios forestales: a) Superficiales, b) Subterráneos y c) De copa.
Fuente: Comisión Nacional Forestal (CONAFOR)

2.3.2 Causas de los incendios forestales

Las causas que originan los incendios forestales pueden ser naturales, o bien, inducidos. Los primeros son ocasionados principalmente por la incidencia de rayos y actividad volcánica; los incendios de tipo inducido pueden ser de tres tipos: accidental (accidentes automovilísticos, ferroviarios y aéreos, ruptura de líneas eléctricas, etc.); intencional (conflictos personales o de comunidades, tala ilegal) o bien, por negligencia en el uso del fuego (quemadas agropecuarias, fogatas, fumadores, quema de basura, uso del fuego en otras actividades productivas dentro de áreas forestales) (CONAFOR, 2009).

En México, más del 90% de los incendios forestales son causados por actividades realizadas por los seres humanos (Flores y Gómez, 2013).

El sistema de roza-tumba y quema es considerada una de las actividades predominantes en el medio rural, en el cual se realizan aclareos temporales del terreno, especialmente en ecosistemas forestales. Es un sistema de producción agrícola de orígenes milenarios, y un método usado por 250 millones de personas en el mundo, utilizado aproximadamente en el 30% de la tierra cultivada del planeta (Lara et al., 2012).

2.3.3 Efectos de los incendios forestales

Los incendios forestales afectan de manera importante a los ecosistemas, sobre todo los que son sensibles a ellos (Challenger y Dirzo, 2006). El efecto de los incendios sobre el ecosistema son el resultado de la interacción entre las

características del fuego y las propiedades del sitio (Flores y Gómez, 2013). Algunos de los efectos causados por estos eventos son: la pérdida de los recursos forestales y la disminución de los bienes y servicios ecológicos, lo cual trae consigo la fragmentación de los ecosistemas forestales (Flores et al., 2016),

Por otro lado, la variabilidad climática es otro de los efectos ocasionados por el fuego, debido a que este fenómeno se relaciona principalmente con las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos por la quema de diferentes tipos de combustibles forestales. La quema de biomasa supone casi el 40% de las emisiones totales de dióxido de carbono (CO_2), con un significativo aporte también de otros gases de efecto invernadero, como lo son el monóxido de carbono (CO), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) y dióxido de nitrógeno (NO_2) (Chuvieco et al., 2007).

Así como el fuego trae consecuencias negativas, también desempeña un rol importante dentro de la evolución de los ecosistemas forestales. Los incendios limpian la materia muerta o en descomposición, lo que permite que crezcan nuevas plantas. Otro beneficio es mantener un equilibrio en el ecosistema al eliminar insectos nocivos y plantas enfermas, al destruir árboles y arbustos también puede aumentar la luz que llega al suelo, lo que permite que germinen semillas. En algunos casos, los incendios forestales aumentan la cantidad de diversidad de plantas y animales en un ecosistema (Flores y Gómez, 2013).

2.3.4 Factores que determinan un incendio forestal

Una vez que un incendio forestal ha iniciado, su comportamiento se determina principalmente por tres componentes: a) topografía; b) tiempo atmosférico y c) combustibles. Estos tres componentes se les conoce como “la gran tríada” (Figura 3) (Flores, 2013).

- a) **La topografía** incluye elementos de pendiente, elevación y orientación de la ladera. Las variaciones que existan en este componente pueden causar cambios en el comportamiento del fuego sobre el terreno. Una pendiente muy pronunciada acelera la propagación del incendio debido a que los combustibles forestales se encuentran más cerca de las llamas; la elevación tiene una gran influencia, en las partes más bajas, las temperaturas son menores y generalmente hay mayor cantidad de combustibles (CONAFOR, 2008).

- b) **El tiempo atmosférico** posee una influencia decisiva en la iniciación y comportamiento de los incendios forestales. Las variables meteorológicas que influyen son: la humedad, ya que determina la cantidad de esta en los combustibles, entre menor humedad los combustibles estarán más secos y beneficiara a la propagación del incendio; el viento es una de las variables más dinámicas e influyentes en los incendios forestales ya que, a mayor intensidad, contribuye al aceleramiento de la desecación de los combustibles y aumenta el abastecimiento de oxígeno para mantener la combustión ya

iniciada, por otro lado, determina la dirección que tomará el incendio (Julio & Giroz, 1975); y finalmente, la temperatura, ya que el incremento de esta aumenta la velocidad de evaporación del agua en la vegetación y el suelo, convirtiéndolos en material disponible y vulnerable ante el fuego (CONAFOR, 2008).

- c) **Los combustibles forestales** son toda la biomasa existente en un ecosistema terrestre que pueden arder al entrar en contacto con una fuente de calor. Muchas de las características de los combustibles, como su condición, tamaño, cantidad, y contenido de humedad, son de gran importancia para conocer cómo reaccionan al fuego (Villers, 2006).

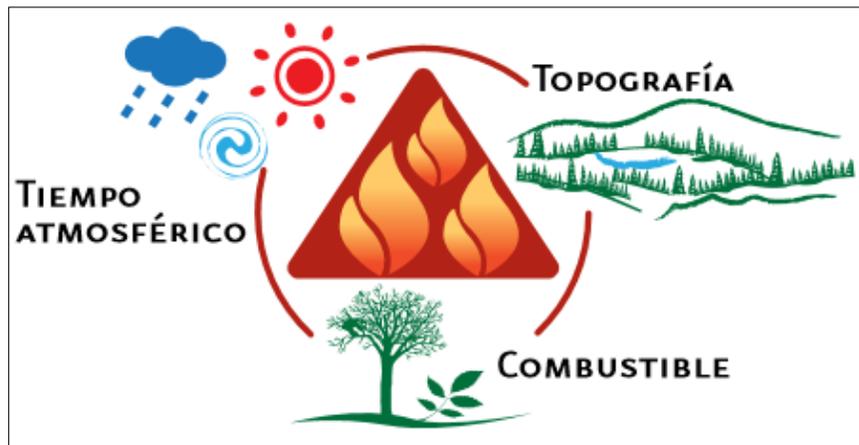


Figura 3 La gran triada
Fuente: CONAFOR, 2010

La adecuada caracterización de los combustibles, su distribución espacial y su humedad, así como el tiempo atmosférico en el momento de la combustión, son factores críticos o fundamentales para evaluar y predecir un incendio forestal.

2.4 Peligro a incendios forestales

En la actualidad el término “peligro” se maneja con frecuencia por parte de la población, donde cada persona lo comprende de diferente manera, trayendo como consecuencia confusión al momento de relacionar el término con otros conceptos.

Diversos autores lo definen como:

- a)** La probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino de cierta intensidad, durante un cierto periodo de tiempo y en un sitio dado (CENAPRED, 2006).

- b)** La posibilidad de ocurrencia de un acontecimiento natural o antrópico que afecte la vida de los seres humanos (Rojas y Martínez, 2011).

- c)** La probabilidad de que un agente agresor externo socio ambiental potencialmente destructivo con cierta magnitud ocurra dentro de un cierto lapso de tiempo y en una cierta área (Salazar et. al, 2002).

En el marco de los incendios forestales, se define al peligro como la probabilidad de que un evento de este tipo inicie, se propague y prospere, causando daños en la vegetación y en los diferentes sistemas expuestos (CONAFOR, 2010). Cabe mencionar que dicha probabilidad potencial de ocurrencia se encuentra íntimamente ligada a la presencia de ciertas condiciones ambientales y topográficas, así como con las características de los combustibles forestales (Flores, 2016).

2.5 Sistemas de información geográfica y los incendios forestales

Los sistemas de información geográfica (SIG) son considerados como un elemento complejo que encierra una serie de elementos interconectados, donde cada uno desempeña una función en específico, dentro de un sistema integrador de tecnologías, de personas e información geográfica, con el fin de capturar, analizar, almacenar y representar datos georreferenciados (Olaya, 2014).

La principal ventaja de los SIG, radica en su capacidad de procesar gran cantidad de información proveniente de diversas fuentes, facilitando su consulta y análisis para poder evaluar y resolver algún problema, y con base a ello tomar decisiones adecuadas (Flórez y Fernández, 2017).

El campo de aplicación es amplio, su rol como herramienta para la toma de decisiones abarca un sin número de disciplinas (Castillo et al., 2002). En las últimas décadas, el empleo de los SIG para el manejo del fuego en el ámbito forestal ha

experimentado un gran aumento debido a que son herramientas de gran valor dentro de este campo, brindan una visión más objetiva de la problemática, ya que ponen a disposición una serie de herramientas que facilitan la integración y análisis de todos los fenómenos que intervienen en el estudio de estos eventos (Álvarez, 2003).

Actualmente, conocer el comportamiento más previsible del fuego es de vital importancia para poder actuar anticipadamente sobre el medio, o bien, facilitar y/o disminuir los gastos en las acciones de combate. Para ello las técnicas universalmente aceptadas se centran en el estudio espacial, temporal y causal del origen de estos siniestros a través de la modelación (Álvarez, 2000)

2.6 Modelación espacial de los incendios forestales

Un modelo es una representación simplificada de la vida real, de una situación o de una realidad (Rentería, 2004); sin embargo, la modelación espacial se define como una forma de representación de la realidad sintetizando todas aquellas entidades espaciales definidos por un área geográfica y como estas se interrelacionan unas con otras, de acuerdo a una perspectiva temática (Pérez, 2020).

La aplicación de modelos espaciales en el campo de los incendios, ha sido un método que se ha venido realizando durante décadas, ya que gracias al análisis y procesamiento de datos relacionados a las características de un determinado sitio se pueden limitar áreas prioritarias de atención y así facilitar el diseño de estrategias

para la prevención y mitigación de estos eventos, lo cual trae consigo muchos beneficios, tales como la reducción de costos, daños y pérdidas (De los Santos, 2010).

Los modelos espaciales desarrollados para México en el tema de los incendios forestales han sido escasos y aislados, gran parte de estos modelos consideran únicamente la carga de combustibles forestales y algunas variables meteorológicas, sin tomar en cuenta la parte social, la cual es considerada como una variable muy importante, ya que determina las causas del inicio del fuego en el sitio. Por ello, es de gran relevancia desarrollar modelos espaciales que integren los factores de carácter socioeconómico, político y cultural, y con ello obtener resultados más concretos y fiables (Ibarra y Huerta, 2015).

2.7 Análisis multicriterio

El análisis o evaluación multicriterio es una herramienta metodológica que permite estudiar un problema de una manera multidimensional (Vargas, 2005). Considera de manera cuantitativa y simultáneamente una serie de parámetros que influyen y condicionan a un determinado fenómeno (Olaya, 2014). El principal objetivo de este análisis es la selección y toma de decisiones para la solución a diversos problemas en múltiples campos de investigación.

El fundamento del método de toma de decisión multicriterio se basa en descomponer un problema complejo en partes más simples, lo cual permite que el agente 'decisor' pueda estructurar un problema con múltiples criterios en forma

visual, mediante la construcción de un modelo jerárquico (Sainz, Álvarez & Henríquez, 2012).

Los SIG juegan un rol importante para la representación y visualización de las variables y resultados del análisis. Cada factor está representado por una capa de información cartográfica georreferenciada, donde todos los valores del área toman un grado de importancia con respecto al objeto de decisión (García et al., 2004).

3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el estado de Chiapas, es muy común que los campesinos hagan uso del fuego en sus actividades productivas. La preparación de sus terrenos para la siembra, quema de residuos de desmontes y quema de áreas para potrero, son las principales causas de los incendios forestales (Gutiérrez, 2015).

La microcuenca “La Unión” está experimentando una expansión de las actividades agropecuarias dentro del área (López, 2017). Esto puede ser uno de los principales factores que determinen los incendios dentro de ella, provocando el aumento de estos eventos, afectando así a la vegetación existente y una disminución considerable de ella.

El presente trabajo es de gran importancia, ya que se pretende responder por medio de un modelo espacial a los siguientes cuestionamientos: ¿cuáles son las áreas que representan mayor peligro a incendiarse? y ¿en qué medida se correlacionan con las áreas destinadas a actividades agropecuarias?

4 JUSTIFICACIÓN

El estado de Chiapas es poseedor de grandes riquezas naturales, estando dentro de los primeros lugares a nivel nacional. La causa de la mayoría de los incendios dentro del estado, está relacionada a la actividad agrícola. Los productores utilizan el fuego para la preparación de los terrenos para la siembra, los cuales, por descuidos provocan incendios forestales (CONAFOR, 2004 citado en Sarmiento, 2010).

La modelación espacial de incendios es de gran importancia ya que permite identificar las áreas donde existe una mayor probabilidad de que un incendio inicie y se propague, y con ello, detectar las zonas de mayor peligro.

Los resultados obtenidos a partir de estos modelos aportarán información que servirá para planear el territorio en la cuenca, y con ello, realizar medidas con el fin de mitigar la ocurrencia de estos eventos, debido a que no se cuenta con un estudio de este tipo dentro del área. De igual manera, serán empleados como parte del proyecto de gestión integral de la cuenca del río Santo Domingo, que permitirá la construcción de las bases para alcanzar la sostenibilidad de la cuenca a través de un manejo adecuado de esta.

5 ANTECEDENTES

Durante décadas se han desarrollado diferentes métodos para la aplicación de modelos en el campo de los incendios forestales y con ello poder realizar una planificación adecuada del territorio con el fin de prevenir y disminuir la afectación que estos eventos causan a los recursos naturales. Estos estudios se hacen con el propósito de conocer el comportamiento que los incendios tienen ante diferentes factores, tanto climáticos, como sociales, y así poder realizar las acciones y medidas correspondientes para el buen manejo de estos.

Chuvieco et al. (2007), generaron un modelo de peligro de incendios forestales mediante teledetección y SIG para estimar el peligro de ocurrencia de incendios forestales en cuatro regiones de España: Aragón, Madrid, Comunidad de Valencia y provincia de Huelva. Para ello utilizó: a) la probabilidad de ignición asociada a factores humanos, donde tomaron en cuenta algunas variables como las actividades e infraestructuras relacionadas con la sociedad; b) la probabilidad de ignición asociada a la ocurrencia de rayos, las variables que se tomaron en cuenta fueron: la Orografía, la polaridad de los rayos, de igual manera el tipo de vegetación; y c) la probabilidad de ignición asociada al estado hídrico de la vegetación y la probabilidad de propagación, donde se tuvo presente el contenido de humedad del combustible tomando en cuenta las variaciones de las condiciones atmosféricas, como la temperatura, lluvia, viento y humedad relativa; en cuanto a la propagación del incendio, los factores que más influyen son el tipo de combustible y la humedad relativa del combustible.

Por otro lado, De Vicente (2012), diseñó un modelo de riesgo integral de incendios forestales en España, para ello adoptó un enfoque de riesgo integrado que incluye dos componentes: a). El peligro de ignición; y b). La vulnerabilidad. El primero representó la probabilidad que existe para que se inicie un fuego y el peligro potencial para que se propague. Para el segundo componente se tomó en cuenta las características del territorio y los efectos potenciales que tiene el fuego sobre él. Para el cálculo del peligro potencial se identificaron indicadores relativos a los agentes naturales y antrópicos causantes de los incendios, de igual manera el historial de los incendios que han ocurrido y el estado de los combustibles forestales. Para el componente de la vulnerabilidad se emplearon indicadores representativos de los efectos potenciales de un incendio y las características que tiene el terreno.

En la microcuenca “Las Marías” ubicada en Nicaragua, Gutiérrez (2004) realizó un análisis de la susceptibilidad de incendios forestales. La metodología del estudio se organizó en dos actividades: a) Identificar los factores que intervienen en los incendios forestales. Para ello se requirió de la combinación de técnicas cualitativas y cuantitativas, como la encuesta; y b) determinar las áreas críticas en la presencia de incendios, se realizó una revisión cartográfica de la zona de estudio y con base a ello se estimaron tres factores fundamentales, cada uno se midió en cinco variables: 1) el factor de riesgo tomó como variables el número de incendios que han ocurrido, causas, poblaciones, vías de acceso, fuentes de agua; 2) el factor de peligro asignó como variables la topografía, el clima, los combustibles forestales, la

propagación del fuego y la resistencia al fuego; y por último, 3) el factor de daños, que tomo en cuenta el valor económico de los recursos presentes, el uso actual de la tierra, el valor ecológico, el valor cultural y la infraestructura.

En el estado de Nuevo León, México, se realizó un modelo espacial con el fin de detectar áreas susceptibles a incendios forestales en el ejido de Corona del Rosal, para ello, Muñoz (2001) hizo uso de un análisis de tipo multicriterio para poder realizar una evaluación e integración de las variables que determinan el grado de peligro a incendios dentro del área. Los componentes que se tomaron en cuenta fueron: a) el índice de combustible, el cual se generó a partir de la carga de combustibles forestales dentro de la zona de estudio tomando en cuenta los combustibles muertos terrestres y superficiales; y b) el índice meteorológico, que fue definida por dos variables: la temperatura media máxima y la precipitación total. Los factores socioeconómicos representaron el componente restante, ya que estos fueron evaluados de forma indirecta a través de rasgos geográficos y con ello se originó el índice de causa.

Los resultados obtenidos tuvieron una resolución temporal a nivel mensual, donde se generó un mapa para cada mes, donde representaban el grado de peligro.

De igual manera, en el estado de Jalisco, México, Ibarra y Huerta (2014) realizaron un modelo espacial que ayudó a determinar zonas potenciales de incendios en el bosque "La Primavera". El modelo integró diferentes variables: a) el componente meteorológico, donde se tomaron en cuenta la temperatura y la

humedad relativa; b) el componente de paisaje, constituido por pendiente, la altitud, la exposición y la fisiografía; c) el complejo de variables de combustibles; y d) el componente antropogénico y/o de causalidad, integrado por las variables de uso de suelo, tipo de suelo, tipo de vegetación existente, y la perturbación que estos tengan. De igual manera se utilizó el historial de incendios que se han presentado durante el periodo 1998-2012.

Vilchis et al. (2015) consideraron variables de tipo: topográficas, que corresponden a la pendiente y a la orientación de laderas; meteorológicas, como lo es el déficit de humedad y la velocidad máxima del viento, siendo una de estas una de las más importantes en la afectación por incendios; y antropogénicas, como la distancia a las vialidades, donde se tomaron en cuenta algunas de las causas humanas que provocan incendios como lo son las actividades agrícolas, actividades turísticas y actividades forestales. Esta información se usó para realizar un modelo espacial de peligro para incendios forestales en la cuenca del río Balsas, para ello se tomaron datos del año 2006 al 2009 para poder hacer la integración de dicho modelo.

Otro trabajo de investigación fue el de Alanís y Orozco (2000). Realizaron un índice de riesgo de incendios forestales, en la región central del macizo boscoso de Chihuahua, México. Todo se realizó mediante un análisis de estadísticas de incendios, donde se revisaron los lugares con mayor número de eventos de este tipo en un periodo de cinco años, también se hizo la cuantificación de las cargas de

combustibles forestales, donde se determinó esto únicamente en zonas donde hubo en promedio de dos incendios por año, y de igual manera un análisis de los tipos de vegetación para poder ubicar los lugares más susceptibles de incendiarse.

Los resultados indican los lugares que más se han incendiado en un periodo de cinco años dentro del área. Estas áreas que cuentan con un mayor peligro se encuentran ubicada en las cercanías de vías de comunicación.

Dentro del estado de Chiapas se han realizado diversos trabajos de investigación referentes al tema de los incendios forestales, o bien, relacionados a estos, como es el caso de Sarmiento (2010), quien realizó una evaluación de riesgos de incendios forestales en la reserva ecológica “El zapotal”, donde los mapas fueron generados a partir del análisis de la distribución espacial de las cargas de combustibles en los diferentes tipos de vegetación que existe en el área. La evaluación se realizó utilizando el método de muestreo aleatorio estratificado y se calcularon empleando como herramienta el sistema SICCO (Sistema para el Cálculo de Combustible) para que el análisis fuera más detallado; además de ello, se tomó en cuenta la cercanía a caminos, poblados y las actividades que ahí se practican.

Del mismo modo, Santos (2010) evaluó el riesgo por incendios para el área natural protegida “Parque Nacional Cañón del Sumidero. Realizó el estudio a partir de la caracterización del régimen de incendios, así como de las evaluaciones de peligro y vulnerabilidad. Para el primer caso se registraron las causas: frecuencia, extensión, tipo de incendios, tipo de vegetación y los estratos que fueron afectados

por los incendios registrados dentro del parque en el periodo de 1999 a 2009; el análisis de peligro se realizó a partir de cuatro variables: el uso de suelo, el tipo de clima, la proximidad a las comunidades y vías de comunicación; para la evaluación de la vulnerabilidad utilizó las variables de uso de suelo, carga de combustible y pendiente de la ladera.

En general, dentro de la microcuenca “La Unión”, se han desarrollado dos trabajos de investigación, sin embargo, estos no están enfocados al tema de los incendios forestales. De Coss (2017) realizó el cálculo del balance hídrico en dos temporadas (seca y lluvia) y para dos años (2005 y 2011) mediante el método precipitación-escurrimiento del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). El resultado obtenido demostró que la distribución espacial del balance hídrico cambió sustancialmente por la pérdida de vegetación, aumentando así la escorrentía superficial, disminuyendo la infiltración y aportación de agua al acuífero. La importancia de este trabajo radica en dar a conocer que la pérdida de cubierta vegetal tiene un impacto negativo en los componentes del balance hídrico, debido a que en la actualidad el agua está siendo altamente afectada por el aumento de las actividades antrópicas.

En fechas más recientes, López (2017) realizó un modelo tendencial del proceso de deforestación de la vegetación de selva baja caducifolia al año 2025. Consideró factores relacionados con las actividades humanas y su impacto en la dinámica de la cubierta vegetal y cambio de uso de suelo.

6 OBJETIVOS

6.1 Objetivo general

- Identificar las áreas de peligro a incendios forestales y su relación con las actividades agrícolas mediante un modelo espacial en la microcuenca “La Unión”, municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas.

6.2 Objetivos específicos

- Analizar las condiciones de iniciación y propagación de incendios.
- Identificar los diferentes niveles de peligro a incendios forestales.

7 MATERIALES Y MÉTODOS

7.1 Área de estudio

La microcuenca “La Unión” (Figura 4) tiene una extensión territorial de 238.76 km² y se ubica espacialmente dentro de gran parte del área del municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas, que limita al norte con los municipios de Soyaló y Usumacinta; al oeste con Tuxtla Gutiérrez, Suchiapa y Villaflores; al este con Ixtapa, Zinacantán y Emiliano Zapata; y al sur con El Parral (CEIEG, 2017). La altitud va de los 370 a los 1140 msnm y con un clima poco variable, puesto que el 99.74% es de tipo Cálido Subhúmedo y 0.26% Semicálido Subhúmedo.

Con base a los datos vectoriales realizados por el INEGI en el año 2005, se establece que la microcuenca cuenta con una litología compuesta de rocas sedimentarias, el tipo de roca que abunda mayormente es de tipo lutita-arenisca (39.61 %), además, existe la presencia de Caliza (30.89 %), caliza lutita (17.31 %) y limolita arenisca (12.17 %). Los tipos de suelo presentes dentro de la microcuenca son: Regosol (43.43 %), Litosol (26.82 %), Fluvisol (10.53 %), Feozem (9.69 %), Rendzina (7.99 %) y Luvisol (1.004 %). El uso del suelo y vegetación se conforma por agricultura de temporal anual (24.69 %), agricultura de riego anual y semipermanente (16.33 %), vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia (12.85 %), pastizal cultivado (10.05 %), vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia (9.07 %), agricultura de temporal anual y permanente (5.51 %), sabana (5.38 %), pastizal inducido (5.33 %), vegetación secundaria herbácea de selva baja caducifolia (3.95 %), bosque de encino (2.86 %), desprovisto de

vegetación (0.89 %), zona urbana (0.51 %) 27 asentamientos humanos (0.49 %), vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino (0.18 %), y agricultura de riego anual y permanente (0.03 %); con base a la serie V de la carta de uso de suelo y vegetación realizada por el INEGI (López, 2017).

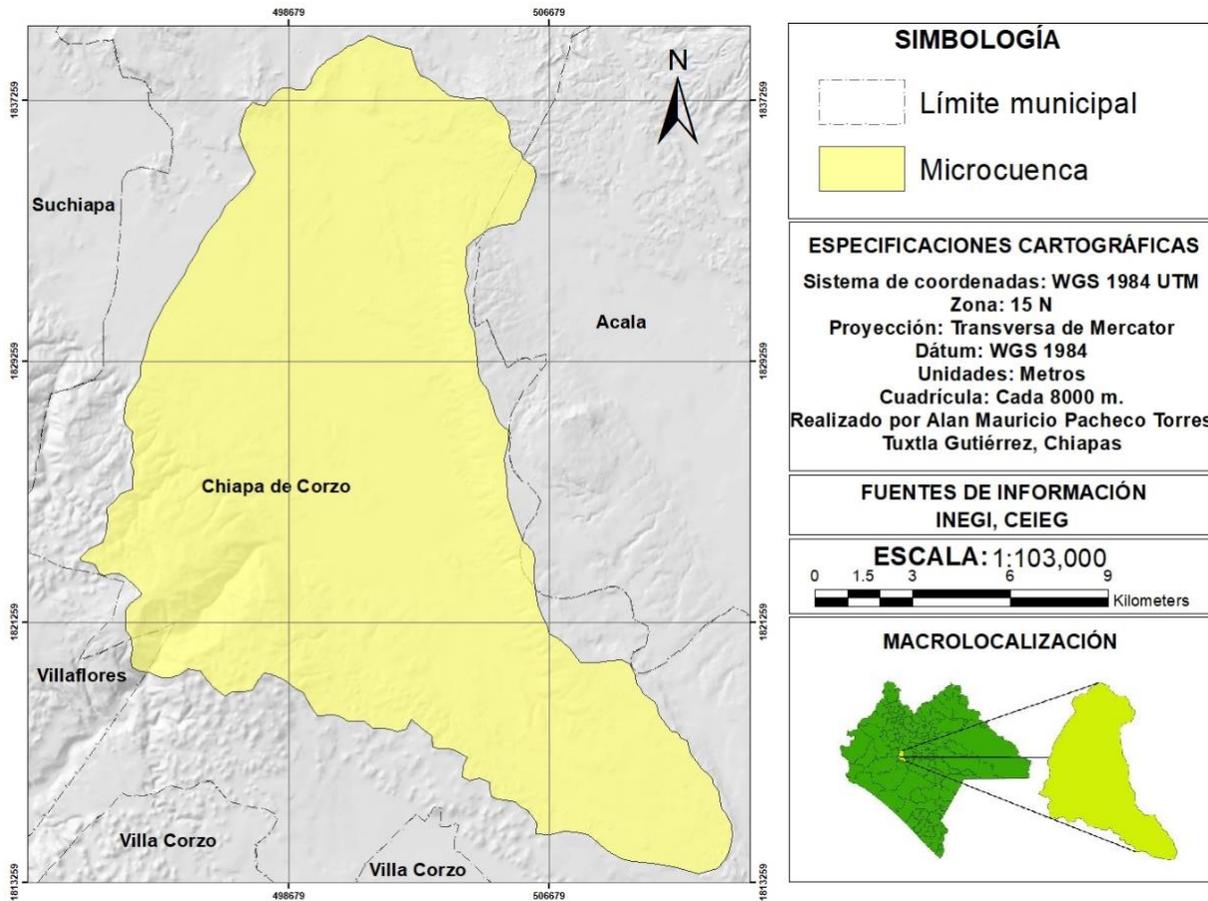


Figura 4 Microcuenca "La Unión", Chiapa de Corzo, Chiapas
 Fuente: Propia

7.1.1 Aspecto hidrológico

La Comisión Nacional del Agua mantiene un orden con respecto a las cuencas del país, se encuentran organizadas en 37 regiones hidrológicas (RH) que, a su vez, se

agrupan en 13 regiones hidrológicas-administrativas (RHA). El estado de Chiapas se encuentra en la RHA número XI Frontera Sur, ocupando así dos RH; la región 23 costa de Chiapas; y la región 30 Grijalva –Usumacinta (CONAGUA, 2015).

La microcuenca “La Unión”, forma parte de la subcuenca del río Santo Domingo, misma que complementa a la cuenca del río Grijalva-Tuxtla Gutiérrez en la Región hidrológica 30 Grijalva-Usumacinta. La microcuenca cuenta con varios cuerpos de agua, sin embargo, existen dos ríos principales importantes: Santo Domingo y Suchiapa (Figura 5) (CEIEG, 2015).

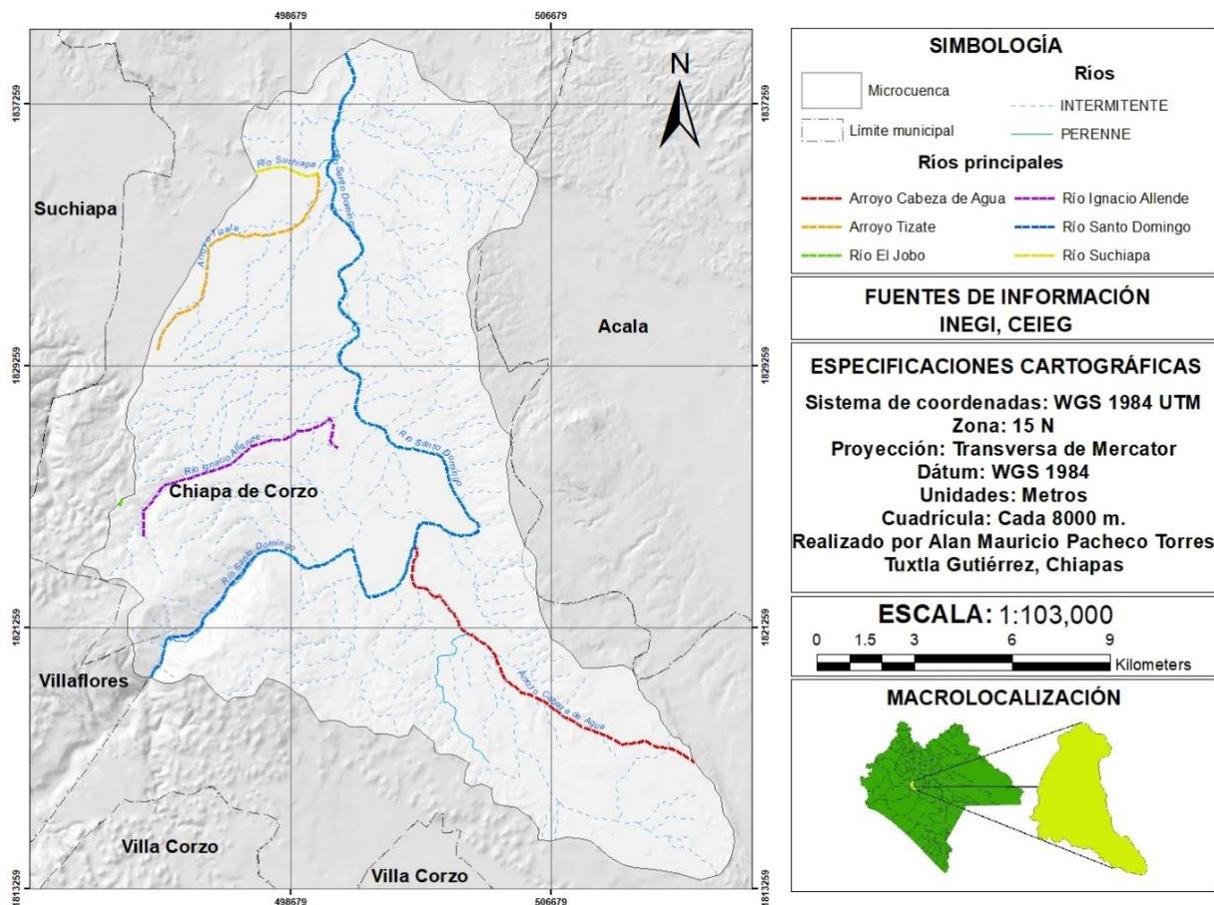


Figura 5 Red de ríos, microcuenca "La Unión", Chiapa de Corzo, Chiapas
 Fuente: Propia

7.1.2 Aspecto socio-económico

Con base al INEGI (2010), el municipio de Chiapa de Corzo cuenta con 284 localidades y una población total de 87,603 habitantes dentro de su territorio. La microcuenca “La Unión” alberga 148 localidades y una población de 13,660 habitantes en su totalidad, de las cuales 9 de las localidades presentan una población mayor a los 500 habitantes, entre ellos están: Ribera la unión, Distrito Federal, Francisco Sarabia, América Libre, Nicolás Bravo, Narciso Mendoza, Ignacio Allende, Galecio Narcía y Julián Grajales, siendo esta última la población con mayor número de habitantes dentro del área con 2394. La población total de la microcuenca representa el 15.59 % del municipio (Figura 6) (López, 2017).

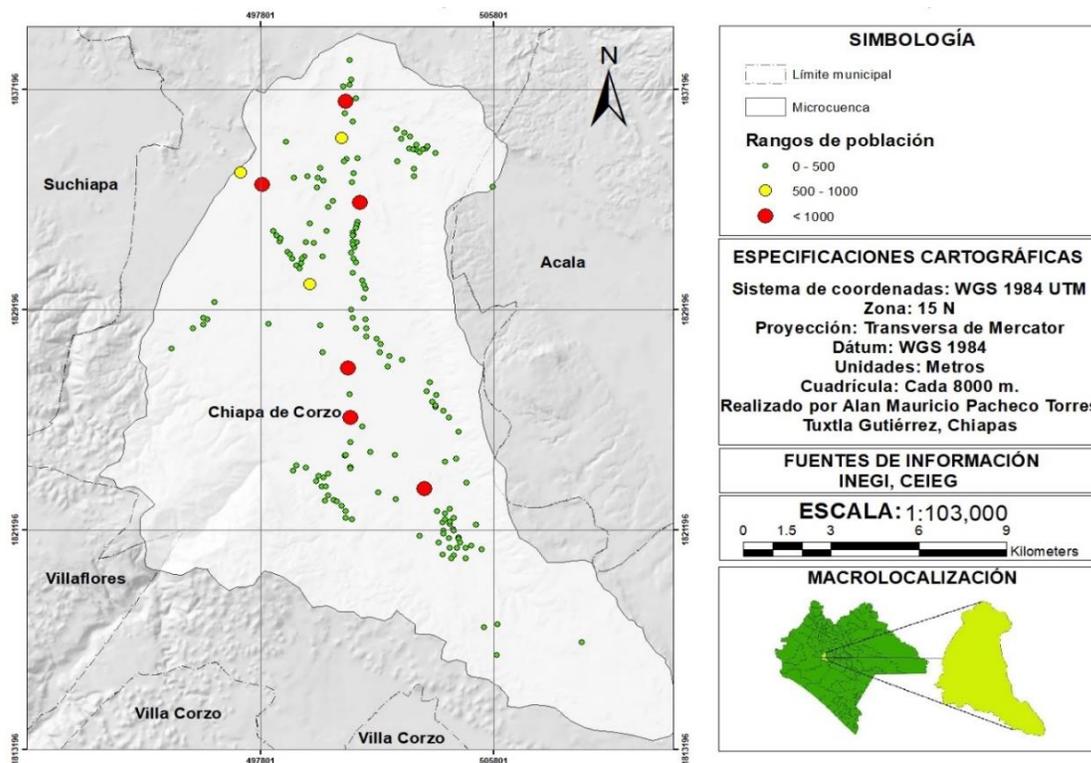


Figura 6 Distribución de localidades y rangos de población, microcuenca “La Unión”, Chiapa de Corzo, Chiapas
Fuente: Propia

Las principales vías de comunicación terrestres dentro de la microcuenca corresponden a la red de caminos y carreteras del estado, 43.10 km son de administración estatal y 8.42 km federal, de las cuales 51.52 km son pavimentadas, 10.09 km terracerías y 435.92 km entre brechas y veredas (Figura 7) (López, 2017).

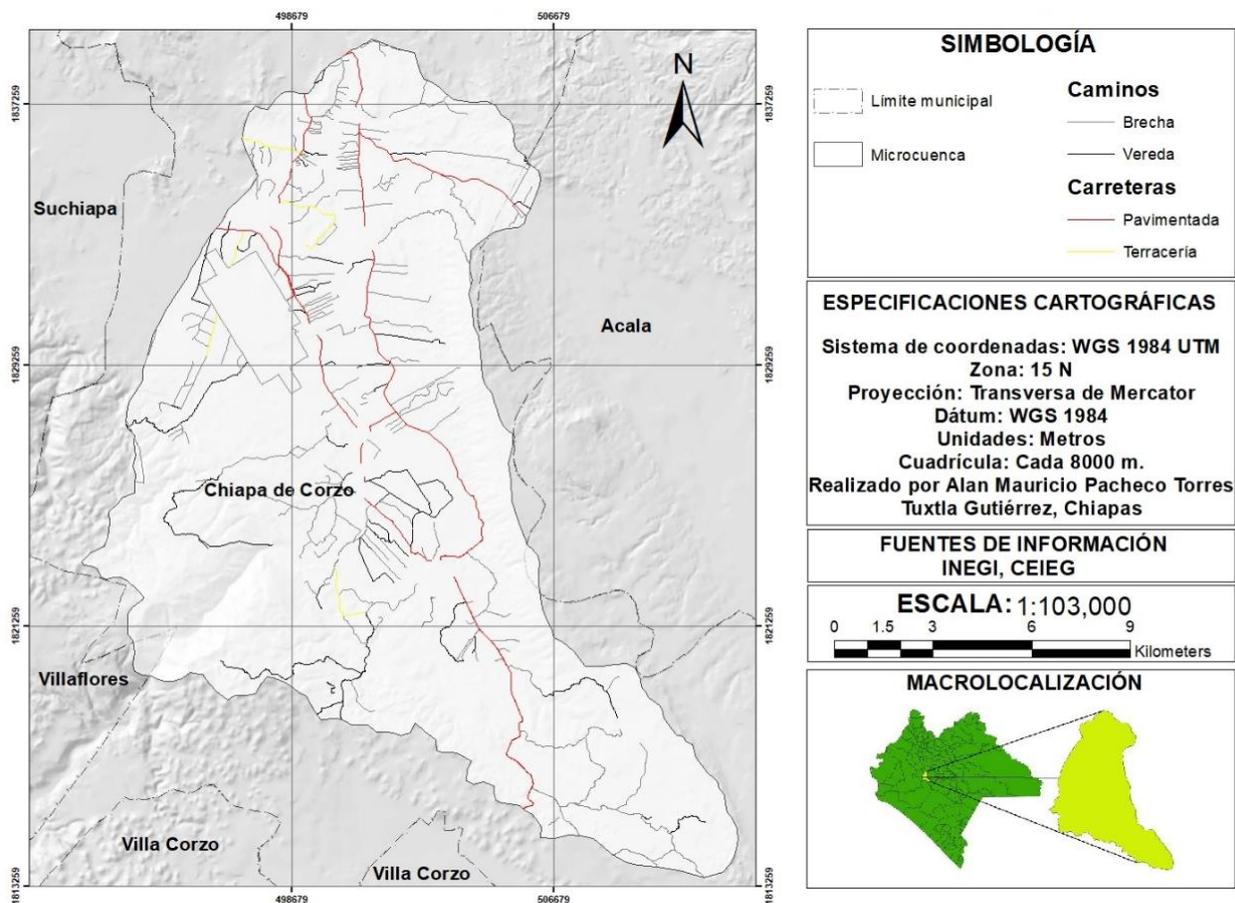


Figura 7 Red de caminos y carreteras, microcuenca "La Unión", Chiapa de Corzo, Chiapas
 Fuente: Propia

De acuerdo a las actividades realizadas en el municipio de Chiapa de Corzo, el Servicio de Información Agroalimentaria y pesquera (SIAP), órgano administrativo de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), hace referencia a los tipos de cultivos que se destinan en el territorio. De igual manera, con base a la información del Censo Agropecuario del año 2007 del Sistema de Consulta de Información Geoestadística Agropecuaria (SCIGA), se obtuvieron los tipos de cultivos y algunas actividades que se llevan a cabo dentro de la microcuenca “La Unión” (Tabla 2) (López, 2017).

Tabla 2 Tipos de cultivo en la microcuenca “La Unión” y en el municipio de Chiapa de Corzo
Fuente: López, 2017

Tipos de cultivo y actividades en la microcuenca "La Unión" (SCIGA, 2007)	Tipos de cultivo a nivel municipio (SIAP, 2015)
Cultivo de maíz grano temporal y riego	Cultivo de maíz de grano temporal y de riego
Explotación de bovinos para la producción de carne, leche y otros propósitos	Cultivo de ciruela
Cultivo de sorgo forrajero	Cultivo de sorgo grano
Explotación de porcinos en granja y traspatio	Cultivo de mango
Cultivo de mango, cebolla y limón	Cultivo de papaya
Explotación de ovinos para otros propósitos	Cultivo de guayaba
Cultivo de cebolla	Cultivo de cebolla
Cultivo de pastos y zacates	Cultivo de cebolla
Cultivo de otros frutales no cítricos y de nueces	Cultivo de café cereza
Cultivo de cacahuate	Cultivo de limón
Cultivo de melón y sandía	Cultivo de limón
Apicultura	Cultivo de limón
Cultivo de cebolla	Cultivo de limón
Tala de árboles y actividades agrícolas combinadas con aprovechamiento forestal	Cultivo de tomate rojo
Cultivo de tomate rojo	Cultivo de tomate rojo

7.2 Materiales

Para el desarrollo del modelo espacial de zonas de peligro a incendios forestales, se emplearon diferentes tipos de información cartográfica digital. Se utilizó información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), la Unidad de Informática para las Ciencias Atmosféricas y Ambientales (UNIATMOS) y del Centro Estatal de Información Estadística y Geográfica del Estado de Chiapas (CEIEG) (Tabla 3).

Tabla 3 Información geográfica y tabular utilizada

Tipo	Formato	Versión	Escala	Fuente	Nombre
Censo de población y vivienda 2015	Shapefile	2015	1: 50 000	CEIEG (2015)	Conjunto de datos vectoriales de localidades
Vías de comunicación	Shapefile	2015	1: 50 000	CEIEG (2015)	Conjunto de datos vectoriales de vías de comunicación (caminos y carreteras)
Datos de incendios forestales	Excel	2017	N/A	CONAFOR (2017)	Registro de incendios ocurridos
Uso de suelo y vegetación	Shapefile	2016	1: 20 000	López (2017)	Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación.
Topográfico	Shapefile	Serie III	1: 50 000	INEGI (2014)	Conjunto de datos vectoriales topográficos
Información climatológica	GeoTiff	2012	N/A	UNIATMOS (2012)	Información climatológica de temperatura media anual
Información climatológica	GeoTiff	2012	N/A	UNIATMOS (2012)	Información climatológica de precipitación media mensual

7.3 Método

El presente trabajo se basa en la construcción de un modelo espacial con enfoque de evaluación multicriterio para la identificación de zonas de peligro a incendios forestales. Se tomó como base el método propuesto por Flores (2016). El método considera dos factores que favorecen la ocurrencia de los incendios forestales: por un lado la iniciación, promovida por variables sociales e históricas, tales como: la presencia de localidades, vías de comunicación y ocurrencia histórica de incendios forestales; por otro, la propagación, el cual involucra variables ambientales (uso del suelo y vegetación), topográficas (pendiente y orientación de laderas) y climatológicas (precipitación y temperatura media anual), que favorecen el comportamiento de un incendio en el medio.

Para realizar la evaluación multicriterio se definieron rangos de valores para cada variable, además, cada rango definido se les otorgó un grado de importancia de acuerdo a lo sugerido por Flores (2016). Por otro lado, se le asignó un valor de ponderación, mediante porcentajes, a cada variable a través de un proceso participativo, con el objetivo de definir el grado de influencia que poseen con relación al fenómeno.

Para la georreferenciación de las variables y construcción del modelo espacial, se realizó el procesamiento de la información cartográfica digital, bajo el entorno de los sistemas de información geográfica ArcMap 10.3¹

¹ ESRI: Environmental Systems Research Institut. <http://www.esri.com/>

7.3.1 Modelo espacial

7.3.1.1 Iniciación de un incendio forestal

El modelo espacial de iniciación de incendios forestales identifica aquellas zonas en donde puede comenzar un evento por causas naturales o por la acción del ser humano. Para tal efecto, se consideraron tres variables:

I. Localidades

Esta variable considera los centros de población rurales ubicadas dentro de la cuenca. Expresa la cercanía de las sociedades a las áreas forestales y las actividades que realizan, haciendo o no uso del fuego, ya sea de tipo productivo (ganadería, agricultura, silvicultura), o de tipo recreativo, como fogatas. La probabilidad de iniciación de un incendio aumenta por dos factores:

- a) **La cercanía a los centros de población**, ejerce una influencia directa en las zonas forestales por causa de la presencia del hombre. A partir de la capa de localidades, se realizó el cálculo de áreas de influencia a través de la herramienta “Euclidian distance” del software ArcMap 10.3, la cual calcula la distancia desde el centro de un punto de origen hasta el centro de cada una de los pixeles vecinos. El resultado se reclasificó en 4 categorías o rangos de acuerdo a lo sugerido por Flores (2016), a cada rango se le otorgó un valor de ponderación con relación a las distancias establecidas. El rango que corresponde a las distancias menores a 500

metros se le asignó el valor de 4, dado a que las interacciones en esas zonas son mucho mayores; mientras que la distancia aumenta, la ponderación disminuye. A partir de ello, el rango entre los 500 a 1000 metros les corresponde una ponderación de 3, de 1000 a 1500 metros una ponderación de 2 y para las distancias mayores a 1500 metros una ponderación de 1 (Figura 8).

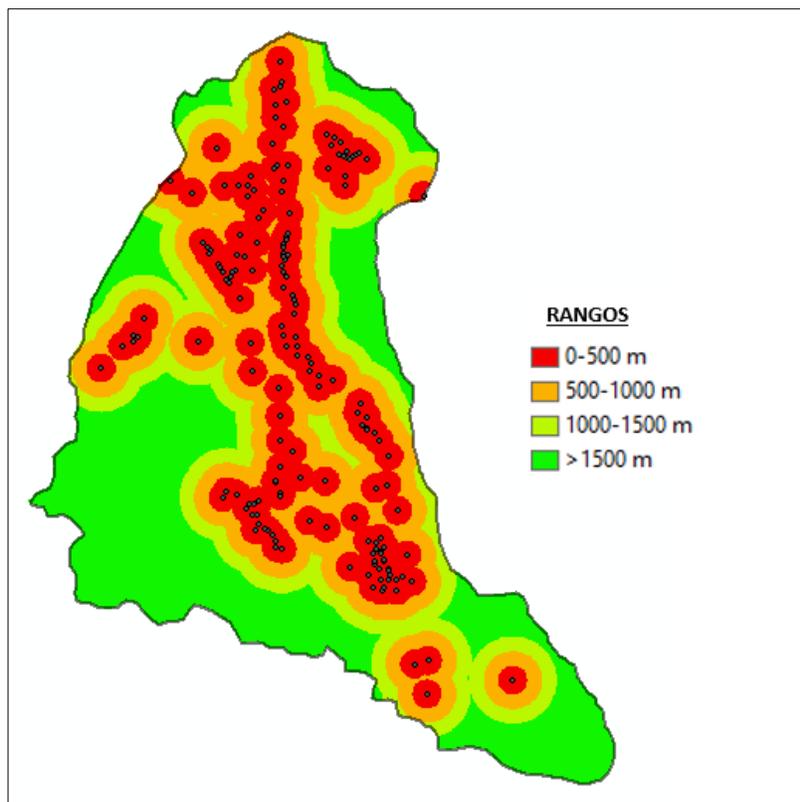


Figura 8 Mapa de áreas de influencia de acuerdo a la distancia a las localidades

- b) *Densidad de población.*** Una mayor demanda de recursos forestales y áreas destinadas a uso no forestal, existe si la concentración de habitantes por km² es mayor.

A partir de la capa de localidades, se realizó el cálculo de la densidad de población a través de la herramienta “Kernel density” del software ArcMap 10.3, la cual calcula la densidad de entidades de alrededor de cada pixel, para ello se evaluó la población total por cada localidad. El resultado de número de habitantes por km² se categorizó en 3 rangos, asignando los siguientes valores de ponderación: Para el rango de 300 a 587 habitantes por km² se asignó el valor de 3; el rango de 100 a 300 habitantes por km² le corresponde el valor de 2; por último, el rango de 0 a 100 habitantes por km² le corresponde el valor de 1 (Figura 9).

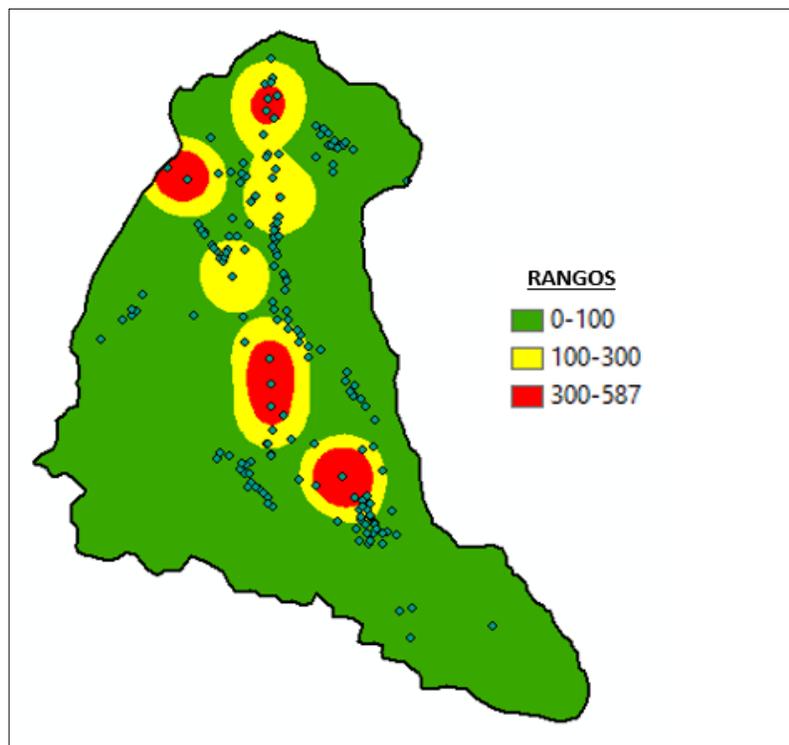


Figura 9 Mapa de densidad de población por km²

II. Vías de comunicación

La existencia de caminos y carreteras aumenta la probabilidad de que se inicie un incendio forestal, debido a que es común el desecho de residuos como colillas de cigarrillos, vidrios y cerillos, así como las chispas emitidas por los escapes de vehículos como consecuencia del tránsito sobre la infraestructura carretera de la microcuenca.

Para el análisis de proximidad o cercanía se crearon zonas de influencia a partir de la capa de vías de comunicación a través de la herramienta “Euclidian distance” del software ArcMap 10.3, el resultado se reclasificó en 4 rangos. El rango que corresponde a las distancias menores a 500 metros se le otorgó un valor de ponderación de 4; de 500 a 1000 metros un valor de 3; entre los 1000 a 1500 metros un valor de 2; por último, para las distancias mayores a 1500 metros se le asignó el valor de 1 (Figura 10).

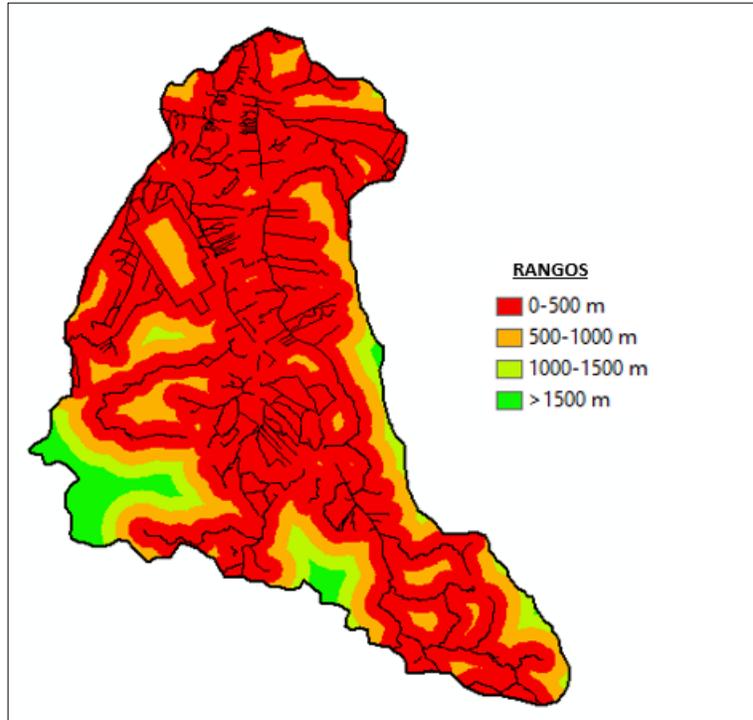


Figura 10 Mapa de zonas de influencia a las vías de comunicación

III. Ocurrencia histórica de incendios

El registro histórico informa sobre la distribución espacial, frecuencia y causas que han dado origen a los incendios forestales a través del tiempo. El análisis contribuye a la identificación y caracterización de patrones con que se han presentado los incendios en años anteriores. Para el desarrollo de esta variable, se tomaron en cuenta dos factores con base al régimen histórico de la cuenca:

- a) **Cercanía a los puntos de ocurrencia de incendios.** Se definieron zonas de influencia con base a la capa de puntos del registro histórico de incendios (CONAFOR, 2017) (Figura 11); para ello, se utilizó nuevamente la

herramienta “Euclidian distance” del programa ArcMap 10.3. El resultado se reclasificó en tres de acuerdo a la cercanía que existe a estos eventos. El valor de ponderación de 3 se les otorgó a las distancias menores a 500 metros; el rango de 500 a 1000 metros se le otorgó el valor de 2; por último, el valor de 1 se le asignó al rango de 1000 a 2000 metros.

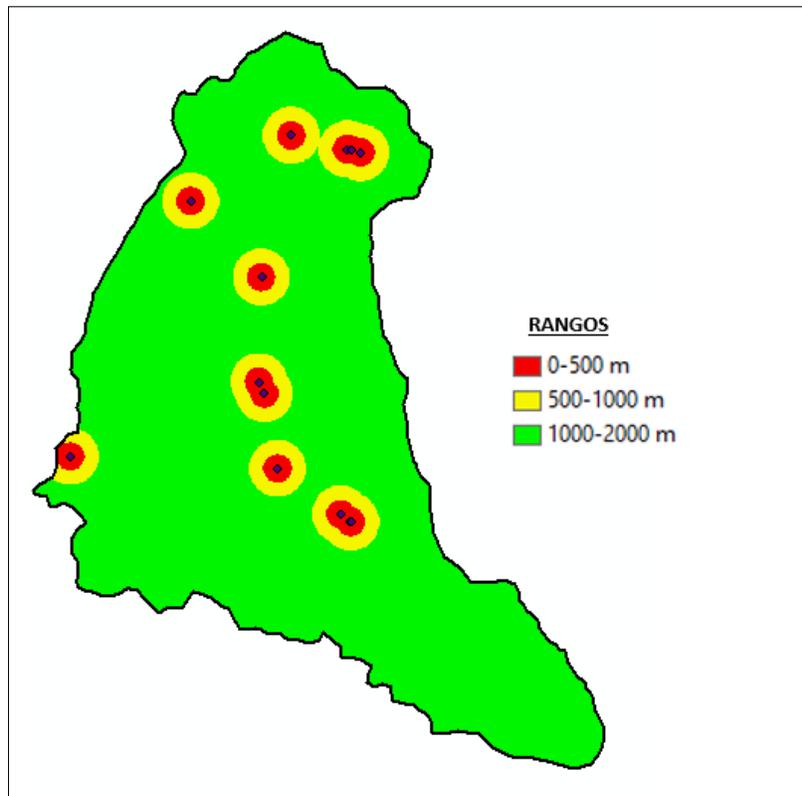


Figura 11 Mapa de zonas de influencia de acuerdo a la distancia a los puntos de ocurrencia de incendios

b) **Densidad de ocurrencia de incendios.** A partir de la capa de puntos del registro histórico de incendios (CONAFOR, 2017) se calculó la densidad de ocurrencias por km², para ello, se utilizó la herramienta “Kernel density”. El resultado se reclasificó en 4 rangos (Figura 12), a cada rango se le otorgó un valor de ponderación (Tabla 4).

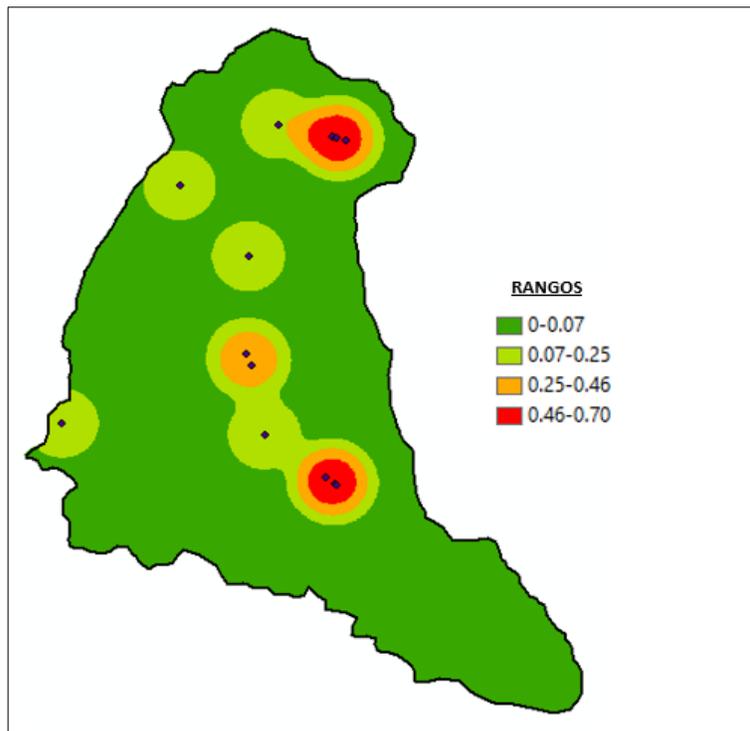


Figura 12 Mapa de densidades de acuerdo al número de eventos ocurridos por km²

Tabla 4 Ponderación establecidas por cada rango

Rango	Ponderación
0-0.07 incendio/km ²	1
0.07-0.25 incendio/km ²	2
0.25-0.46 incendio/km ²	3
0.46-0.70 incendio/km ²	4

7.3.1.2 Grado de influencia de las variables para el modelo espacial de iniciación de un incendio forestal

Para poder determinar el grado de importancia se estableció una mesa de dialogo mediante un proceso participativo, con base a la experiencia del personal de la CONAFOR, en el tema. El grupo se conformó por integrantes de las brigadas de combate a incendios forestales.

Los resultados obtenidos que se representan en la tabla 5, bajo el argumento de los expertos, indican que las variables con mayor influencia son: cercanía a las vías de comunicación y densidad de incendios ocurridos, con el 25 y 30% respectivamente.

Tabla 5 Ponderación de las variables de iniciación de un incendio

Variable	Ponderación (%)
Cercanía (Localidades)	15
Densidad de población	15
Cercanía (Vías de comunicación)	25
Cercanía (Ocurrencias)	15
Densidad de incendios (ocurrencias)	30

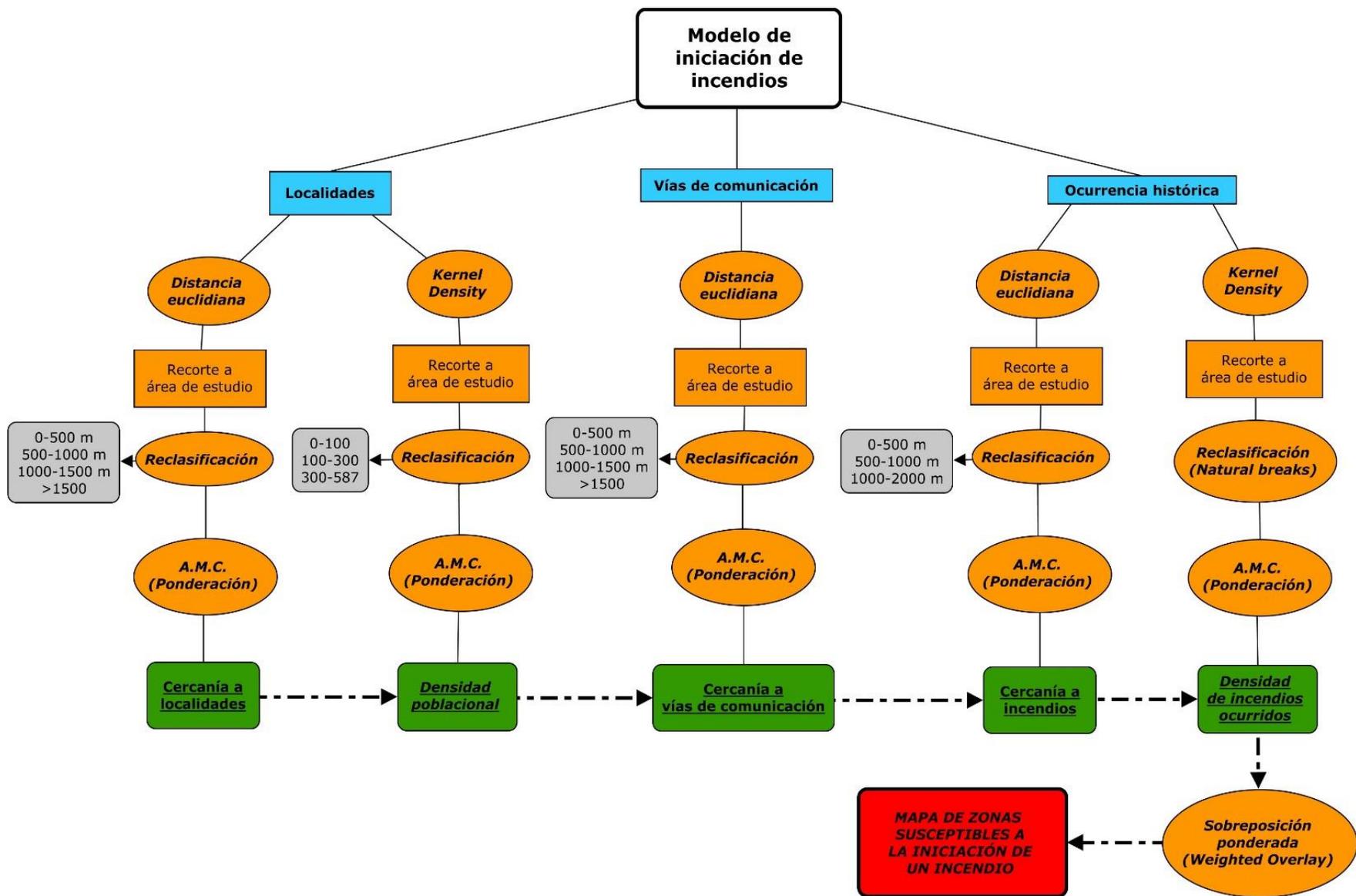


Figura 13 Esquema metodológico para del modelo de iniciación de incendios.

7.3.1.3 Propagación de un incendio forestal

El modelo espacial de propagación de incendios forestales identifica aquellas zonas que son más propensas a que un evento de este tipo pueda desarrollarse y propagarse, esto se determina de acuerdo a las condiciones topográficas y climatológicas que presenta el medio, al igual que la presencia de combustibles forestales. Para tal efecto, se tomaron en cuenta cinco variables:

I. Comportamiento y efecto del fuego en los ecosistemas

Esta variable hace referencia a la vegetación existente dentro de la microcuenca. Expresa el grado de impacto que genera el fuego en función a las características y condición de los combustibles forestales.

Para ello, se utilizó la capa de uso de suelo y vegetación (USV) para el año 2016 (López, 2017), dado a que es la información más actualizada que se tiene de la microcuenca hasta el momento (Figura 14).

La asignación de valores de ponderación se determinó con base al comportamiento del fuego y el daño que ocasiona a la cubierta vegetal. Para ello, los tipos de vegetación se organizaron en tres grupos como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6 Agrupación de la vegetación por la influencia del fuego

Tipo de vegetación
VPSB, VSSB, VPSM, VSSM.
Pastizal inducido (PI)
Vegetación riparia (VR)

El valor de ponderación de 3 corresponde a la vegetación primaria y secundaria de selva baja caducifolia y selva media; las áreas con pastizal inducido se le otorgó un valor de ponderación de 2; por último, la vegetación riparia se le asignó el valor de 1, debido a la cercanía a cuerpos de agua.

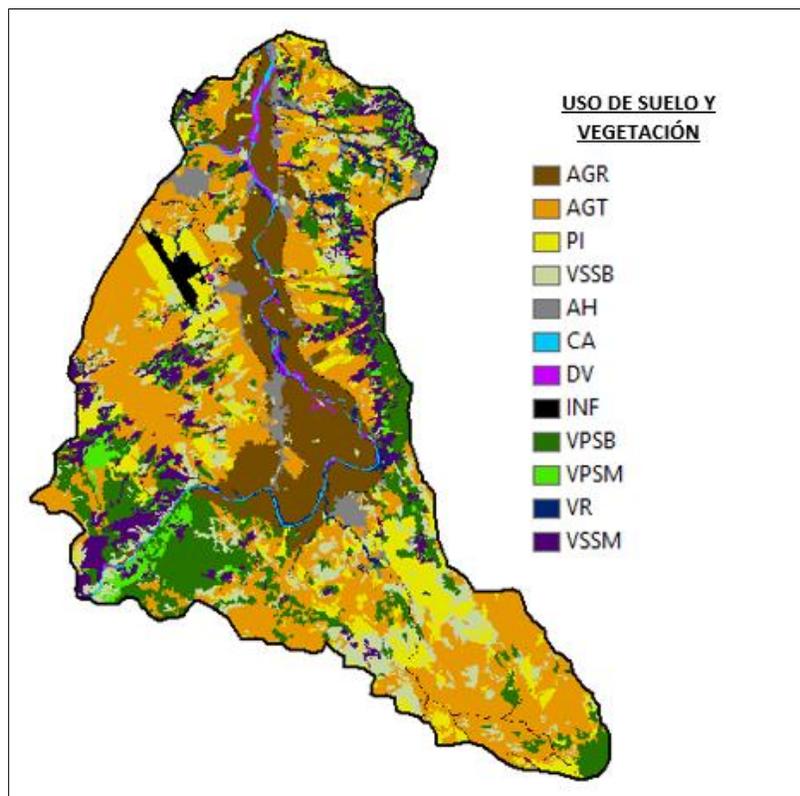


Figura 14 Mapa de uso de suelo y vegetación (2016)
Fuente: López, 2017

II. Exposición

La exposición o incidencia solar es un factor importante para conocer el comportamiento de un incendio, esta variable determina las zonas más expuestas a la radiación solar y al viento.

Para el procesamiento de esta variable, se generó un modelo digital de elevación a una resolución de 15 metros; posteriormente, se realizó el cálculo de orientación de laderas mediante la herramienta "Aspect" del programa ArcMap 10.3, la cual, a través del valor de pixel en el plano, identifica la dirección de cada uno de ellos con respecto a su ubicación. Se obtuvo como resultado la dirección de las pendientes dentro del territorio (Figura 15).

Los valores de ponderación se otorgaron de acuerdo a la orientación de la ladera. Posteriormente, se formaron 5 grupos de acuerdo al grado de influencia que se tiene ante esta variable. El valor de ponderación de 4 corresponde a las direcciones sur y suroeste, dado a que en esas zonas existe una mayor influencia de los rayos del sol y del viento, a consecuencia de ello, la vegetación presenta una menor cantidad de humedad y una incidencia mayor del viento haciendo más fácil la combustión del combustible; el valor de 3 a las direcciones oeste, este y sureste; el valor de 2 a las direcciones norte y noreste; el valor de 1 a la dirección noroeste; por último, el valor más bajo se les otorgó a las zonas planas.

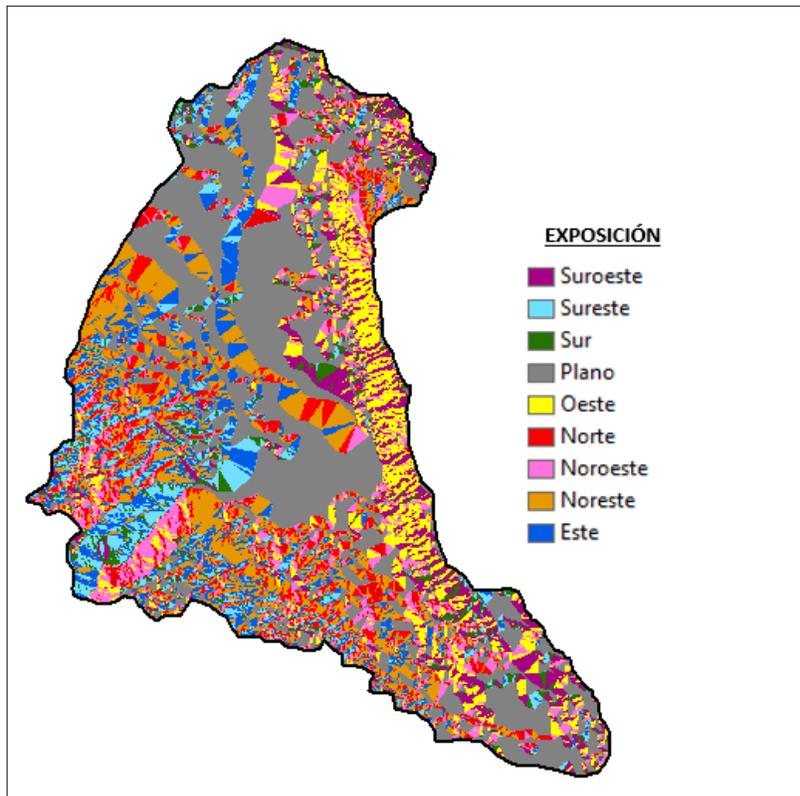


Figura 15 Mapa de orientación de laderas

III. Pendiente

Esta variable es uno de los factores topográficos con gran influencia en el comportamiento de los incendios forestales, entre más abrupta sea la pendiente más favorece al precalentamiento de los combustibles próximos al fuego, donde se tiene como consecuencia la expansión y desarrollo del fuego sobre el terreno.

Para el procesamiento de esta variable, se utilizó el modelo digital de elevación a una resolución espacial de 15 metros. Mediante la herramienta "Slope" del programa ArcMap 10.3, se realizó el cálculo de los valores de pendiente expresadas en

porcentaje (Figura 16). El resultado se reclasificó en 5 rangos y se designó los valores de ponderación para cada uno de ellos, el cual se presenta de la siguiente manera:

Las pendientes mayores o iguales al 55% se le otorgó el valor de 4; las que van de 30% a 55% se le otorgó un valor de 3; el valor de 2 se les otorgó a las pendientes que van de 5% a 30%; las pendientes de 1% a 5% se les asignó el valor de 1; y, por último, a las zonas planas le correspondió el valor de 0.

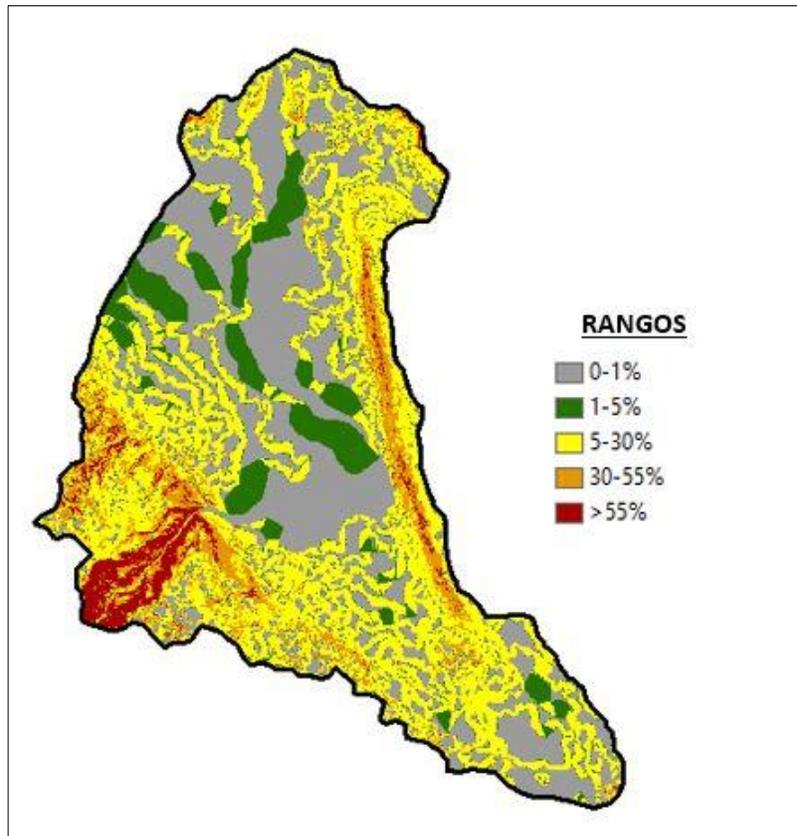


Figura 16 Mapa de distribución espacial de las pendientes en porcentaje

IV. Temperatura media anual

La temperatura es una de las variables climatológicas que se toman en cuenta para determinar el comportamiento de un incendio, debido a que guarda gran relación con la humedad que se presenta en el ambiente. Entre mayor sea la temperatura, la humedad disminuirá, de tal manera, aumenta la probabilidad a que un incendio se propague.

Como consecuencia de la falta de datos de las estaciones climatológicas que se encuentran dentro y en zonas aledañas a la microcuenca, se utilizó información del portal de UNIATMOS, se descargó la capa de temperatura media anual con información que van de los años 1902 al 2011, a una resolución espacial de 926 metros.

Para mejorar la resolución espacial, se llevó a cabo un proceso en el que se crearon puntos al azar dentro de la microcuenca, cada punto tomo un valor de la capa original y posteriormente, mediante el programa Surfer 9, se realizó una interpolación de la distancia inversa ponderada (IDW). El resultado se reclasificó en 3 categorías de acuerdo a como lo establece Flores (2016) (Figura 17). El valor de ponderación de 3 se le otorgó al rango de temperatura de 25 a 25.5°C; el valor de 2 al rango de 24.5 a 25°C; y, al rango de 23.95 a 24.5°C se les asignó el valor de 1.

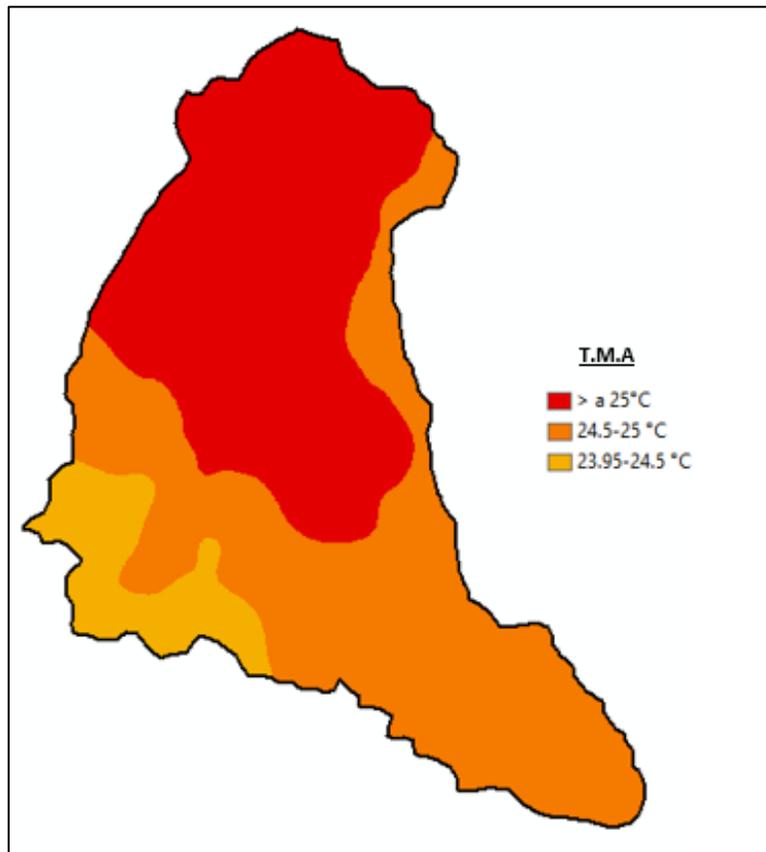


Figura 17 Mapa de temperatura media anual
Fuente: Propia basada en información climatológica de UNIATMOS

V. Precipitación media anual

La precipitación es una variable climatológica que se toma en cuenta para el análisis de un incendio forestal. En temporadas de estiaje existe una mayor probabilidad de que se presente un incendio forestal, debido a la falta de humedad en los combustibles forestales.

Debido a la disponibilidad de datos de precipitación, se utilizó la información proporcionada en la plataforma de UNIATMOS, por lo tanto, se realizó el mismo proceso efectuado para los datos de temperatura (Figura 18).

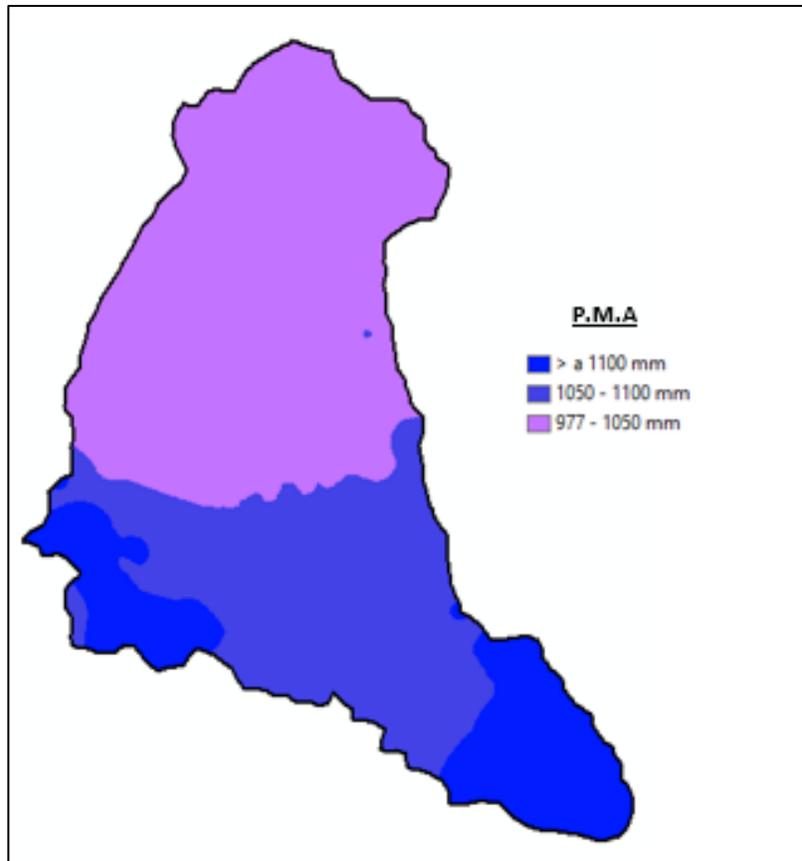


Figura 18 Mapa de precipitación media anual
Fuente: Propia basada en información climatológica de UNIATMOS

7.3.1.4 Grado de influencia de las variables para el modelo espacial de propagación de un incendio forestal

Para determinar el grado de importancia de las variables, al igual que para el modelo de iniciación, se realizó una mesa de dialogo participativa integrada por personal de la CONAFOR.

Los resultados obtenidos, de acuerdo a los expertos, indican que la variable con mayor influencia es el tipo de vegetación, con el 40 %, dado a que es un factor fundamental para que un incendio pueda iniciar y desarrollarse (Tabla 7).

Tabla 7 Ponderación de las variables de propagación de un incendio

Variable	Ponderación (%)
Tipo de vegetación	40
Pendiente	20
Orientación de laderas	10
Temperatura media anual	20
Precipitación media anual	10

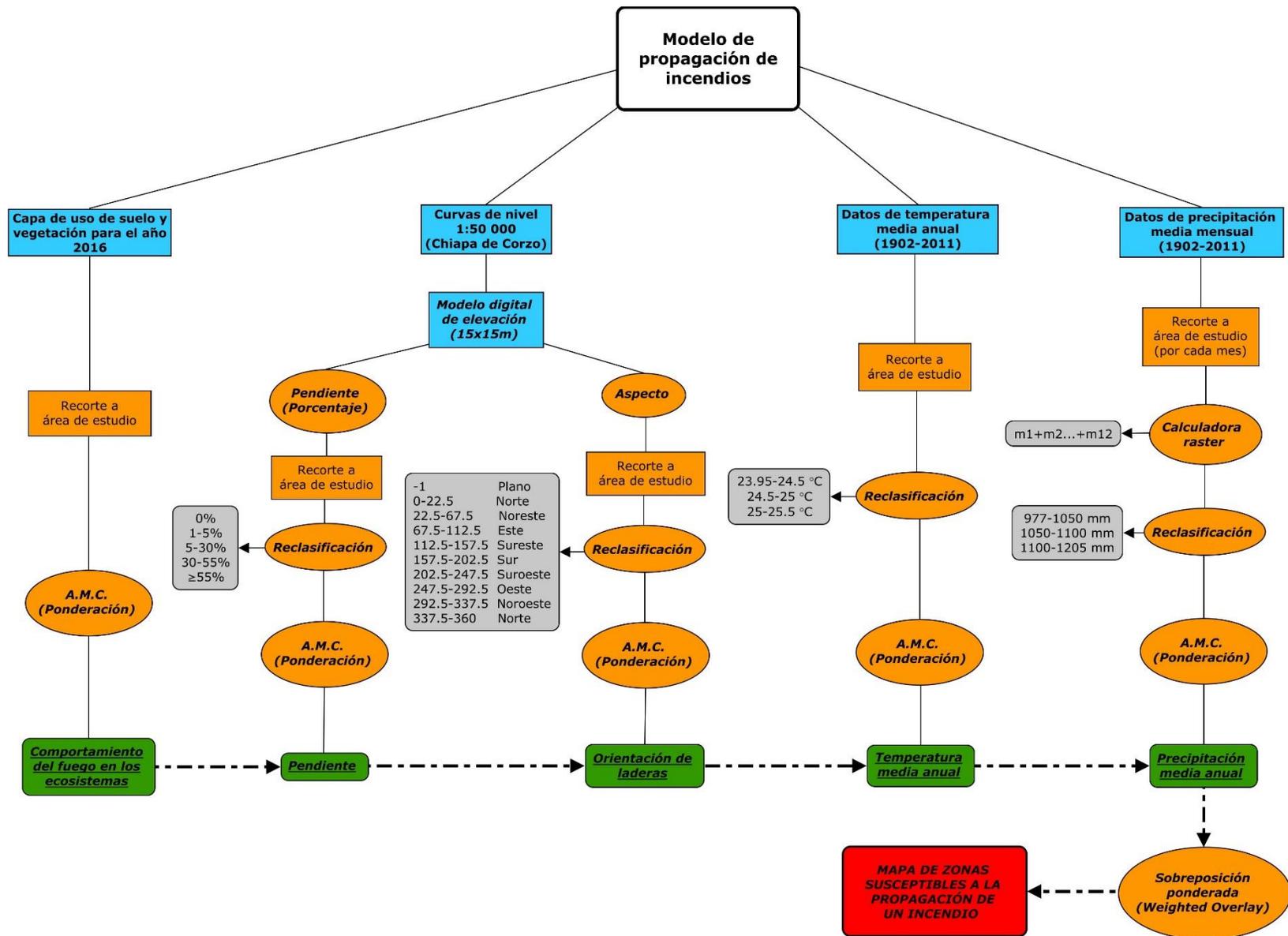


Figura 19 Esquema metodológico para obtener el modelo de propagación de incendios

8 RESULTADOS

8.1 Iniciación de un incendio forestal

Los resultados obtenidos en el proceso de análisis espacial con el enfoque de análisis multicriterio, se muestran gráficamente en el mapa de iniciación de incendios forestales (Figura 20). Se cuantificó la superficie ocupada por cada clase (Tabla 8) y a continuación se describe a detalle cada una de ellas:

Las zonas con muy alta probabilidad a la iniciación de incendios forestales (rojo) están influenciadas principalmente por el régimen histórico de incendios, dado a que existe un mayor número de registros de ocurrencias. Esta zona se extiende en un promedio de 700 metros aproximadamente en dirección sur, sureste y oeste, de la localidad Julián Grajales, abarcando en su totalidad una superficie equivalente al 0.78% del área total de la microcuenca.

Las zonas definidas con probabilidad alta (naranja), cuenta con una extensión correspondiente al 15.97% y se visualizan en color anaranjado dentro del mapa (Figura 20). Se extiende a través de las áreas en donde se presenta una concentración mayor de habitantes por km², a saber: Julián Grajales, El ranchito, Nicolás Bravo, El Tejar, Ignacio Allende, El Paraíso, Francisco Sarabia, Galecio Narcía, Distrito Federal, Ribera La Unión y América libre. Así mismo, las vías de comunicación juegan un rol importante, debido a la concentración de caminos y carreteras en esta zona. También se localizó en la parte central de la microcuenca, ampliándose desde la localidad Cabeza de Agua (San Antonio), sobre la carretera

pavimentada Tuxtla Gutiérrez - El Parral, hasta la localidad El Paraíso, ubicada sobre el tramo carretero Julián Grajales – Galecio Narcía. De igual manera, se localizaron dos áreas espacialmente separadas entre ellas, aledañas a las localidades de Francisco Sarabia, Galecio Narcía y Distrito Federal. Estas presentan particular importancia debido a que una de ellas se localiza sobre el asentamiento Francisco Sarabia, a 70 metros del límite sureste del polígono que corresponde al aeropuerto internacional de Tuxtla Gutiérrez “Ángel Albino Corzo”; mientras que, la segunda, se traslapa en aproximadamente 380 metros sobre la esquina noreste de dicho polígono donde se ubican Galecio Narcía y Distrito Federal. Otra de las áreas se localiza en la zona norte de la microcuenca, influenciada por las localidades de América libre y Ribera la Unión, extendiéndose hasta la localidad El Zapote sobre el tramo carretero América Libre – Cruz Chiquita.

En lo respectivo a la zona con probabilidad media (amarillo), esta se distribuye casi en la totalidad de la microcuenca, con una superficie total de 177.92 km², lo equivalente al 74.52% de la superficie total de la microcuenca. Esto se debe a que el uso de suelo que predomina en el territorio corresponde a actividades agropecuarias, lo cual trae como consecuencia el uso del fuego para limpieza de potreros y quema de residuos en los terrenos.

Las zonas con probabilidad baja (verde) se ubican en los límites sur, sureste, este y oeste de la microcuenca, adyacentes al parteaguas y abarcan una superficie que atribuye al 8.74% del territorio, las cuales se presentan en color verde (Figura 20). Estas áreas se caracterizan por ubicarse en zonas cubiertas por vegetación primaria y secundaria de selva baja y selva media. De igual manera, las distancias que

existen entre esta categoría con relación a las localidades y la infraestructura carretera son considerablemente altas (>1000 m), trayendo como efecto el difícil acceso a estas zonas.

Tabla 8 Superficie ocupada por cada rango del modelo de iniciación de incendios

Rango	Superficie (Km ²)	Porcentaje (%)
Muy Alto	1.85	0.78
Alto	38.14	15.97
Medio	177.92	74.52
Bajo	20.86	8.74

SUSCEPTIBILIDAD A LA INICIACIÓN DE UN INCENDIO FORESTAL MICROCUEENCA "LA UNIÓN", MUNICIPIO DE CHIAPA DE CORZO, CHIAPAS.

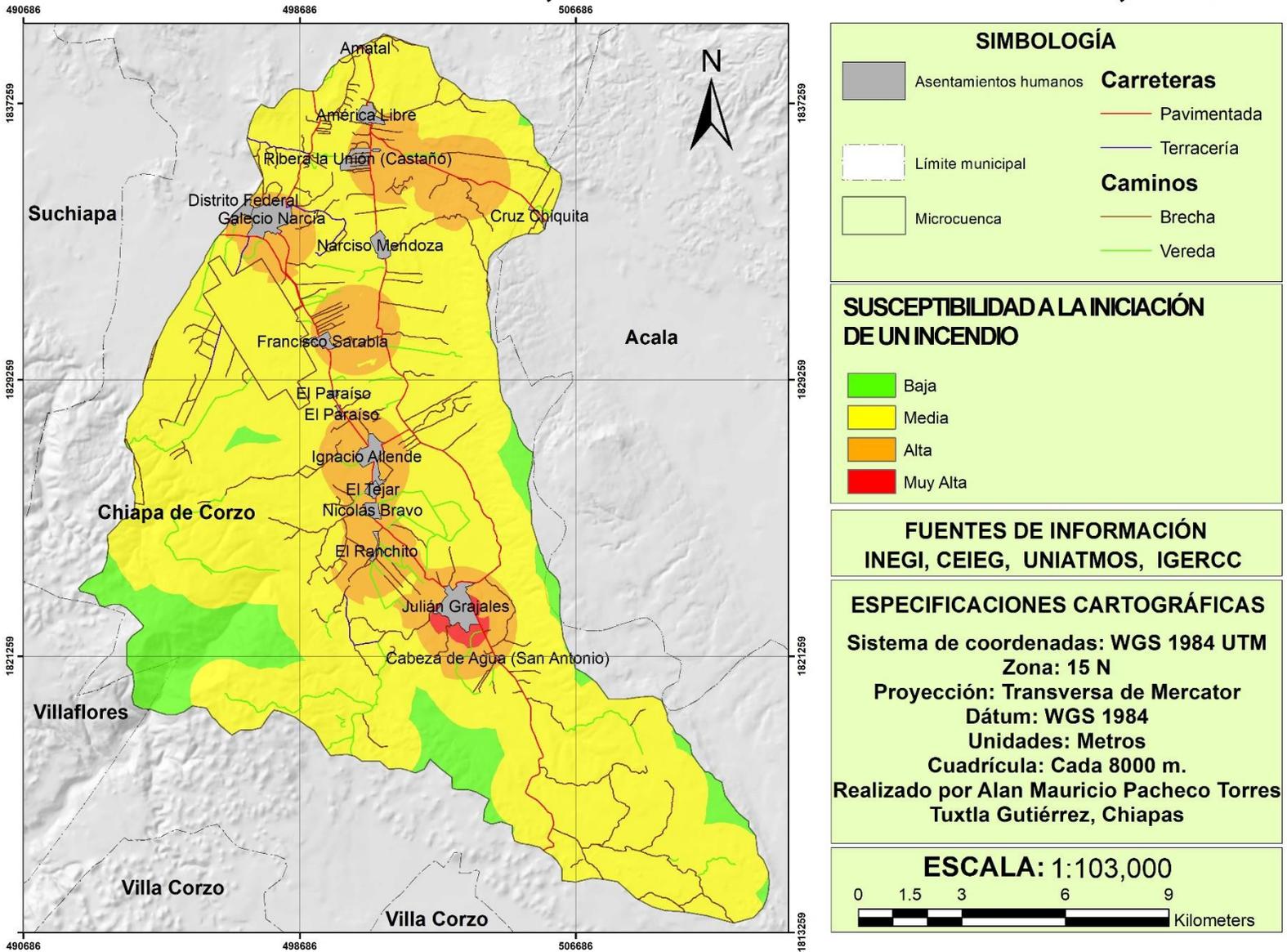


Figura 20 Modelo de iniciación de incendios forestales en la microcuenca "La Unión"

8.2 Propagación de un incendio forestal

Del modelo de propagación se obtuvieron como resultado zonas con probabilidad muy alta (rojo) para que un incendio se propague (Tabla 9) (Figura 21). Esta categoría se encuentra influenciada principalmente por el uso del suelo y el tipo de vegetación, dado a que los pastizales y la vegetación primaria y secundaria de selva baja, son los que en su mayoría ocupan esta área. Esta categoría abarca una superficie total correspondiente al 19.65% de la microcuenca “La Unión”, comprende principalmente el parteaguas del lado este de la microcuenca, extendiéndose hacia el norte, con rumbo a las localidades Narciso Mendoza y Cruz Chiquita; se localiza en el límite noroeste de la microcuenca y aproximadamente a 420 metros al norte y 900 metros al oeste de la localidad América Libre; de igual manera, pequeños fragmentos de esta categoría se localizan aproximadamente 100 metros en el límite sur y 340 metros en el límite oeste hacia el interior del polígono del aeropuerto internacional “Ángel Albino Corzo”; por último, en la parte central de la microcuenca, al oeste de las localidades El Paraíso, Ignacio Allende, El Tejar, Nicolás Bravo y El Ranchito, se localizan áreas cubiertas de vegetación secundaria de selva baja y selva mediana con temperaturas medias anuales que oscilan de 25 a 25.5 °C.

Las zonas con probabilidad alta (naranja) ocupan una superficie correspondiente al 32.11% del área de estudio. Presentan características similares a las descritas para las áreas con probabilidad muy alta, influenciada principalmente por la vegetación de selva mediana y selva baja caducifolia. Sin embargo, se diferencia por presentar

características topográficas de pendientes menores al 30%. Los factores climáticos juegan un rol importante, dado a que esta categoría se localiza principalmente al centro de la microcuenca, en las que se registran temperaturas de 24.5 a 25°C y lluvias que van de 977 a 1050 mm anuales. Estas zonas se localizan en las partes bajas del parteaguas del lado este de la microcuenca. Se extiende con rumbo a las localidades Narciso Mendoza, Cruz Chiquita, Ribera La Unión, América libre y Amatal; parte de esta categoría se extiende al sur de la localidad Julián Grajales, sobre la carretera pavimentada en dirección al municipio de Villa Corzo; también se ubica en la porción suroeste de la microcuenca; ocupa casi en su totalidad, la zona perimetral al interior del polígono del aeropuerto internacional “Ángel Albino Corzo” dado a que, en esa zona los pastizales son predominantes.

Con respecto a las zonas con probabilidad media (amarillo), su distribución se observa en casi toda la microcuenca con una superficie total de 114.10 km², lo equivalente al 47.83% del área total del territorio. Esta zona se caracteriza por ubicarse en áreas donde la vegetación es escasa o nula, dado a que son zonas donde los principales usos del suelo son de tipo agrícola, o bien, para asentamientos humanos. Las características topográficas presentes corresponden a pendientes menores al 5%, es decir, se encuentran en zonas con poca inclinación del terreno.

Por último, las zonas con probabilidad baja (verde) ocupan el 0.41% del área total y se ubican al suroeste de la microcuenca. Esta área se caracteriza principalmente por localizarse en zonas con precipitación que van de 1100 a 1250 mm anuales y temperaturas menores a 24.5°C. En cuanto a características topográficas se refiere, se localiza en pendientes menores al 1%, lo que representa terrenos casi planos.

Tabla 9 Superficie ocupada por cada rango del modelo de propagación de incendios

Rango	Superficie (Km²)	Porcentaje (%)
Muy Alto	46.87	19.65
Alto	76.61	32.11
Medio	114.10	47.83
Bajo	0.98	0.41

SUSCEPTIBILIDAD A LA PROPAGACIÓN DE UN INCENDIO FORESTAL MICROCUEENCA "LA UNIÓN", MUNICIPIO DE CHIAPA DE CORZO, CHIAPAS.

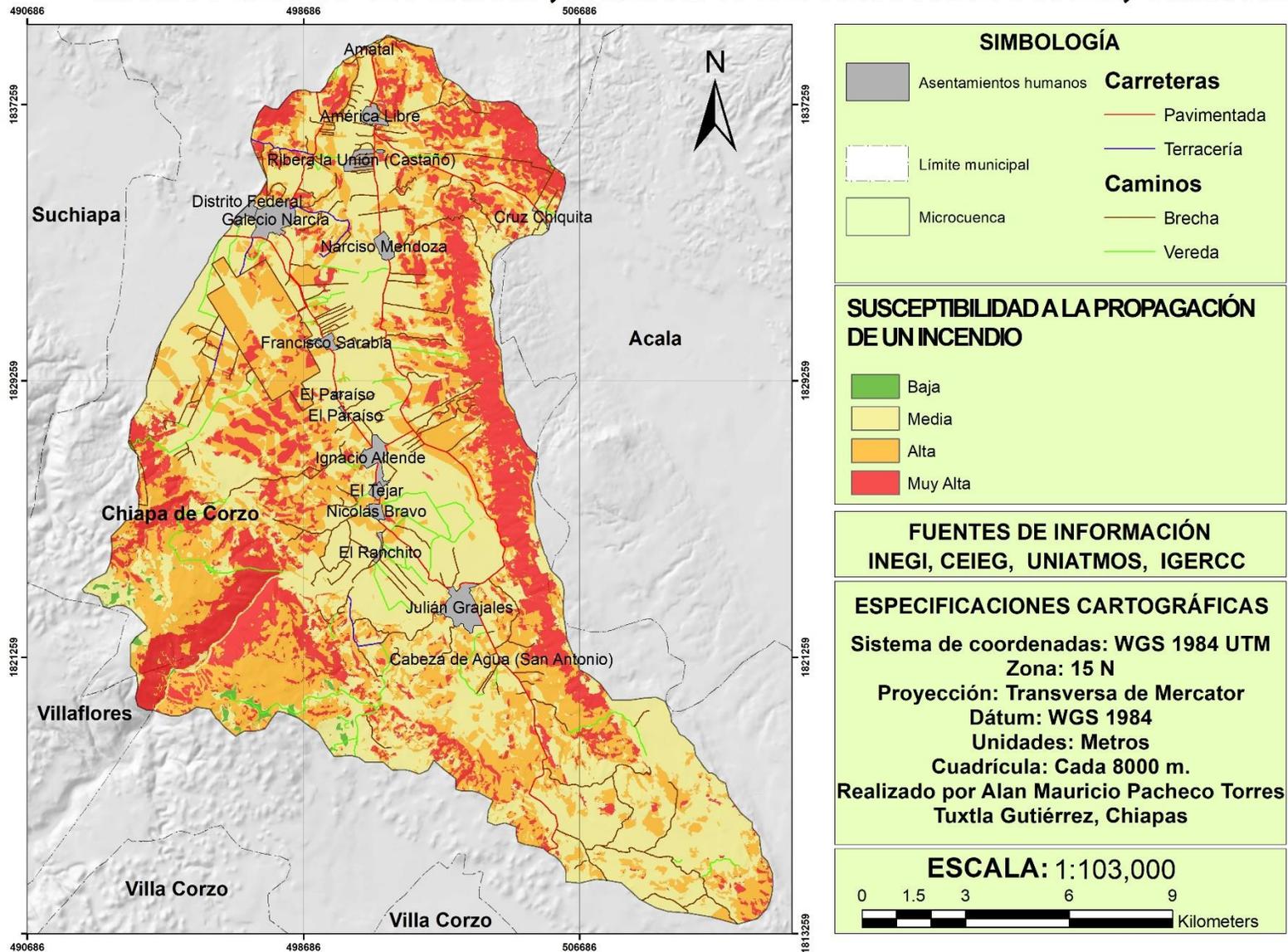


Figura 21 Modelo de propagación de incendios forestales en la microcuenca "La Unión"

8.3 Peligro a incendios forestales

Con base a los resultados obtenidos se realizó una suma ponderada, para la cual se tomaron en cuenta los modelos de iniciación y propagación de un incendio forestal, asignándoles un grado de importancia del 60% y 40%, respectivamente con el fin de realizar la integración de las diferentes dinámicas de un incendio y así poder visualizar de manera más concreta las zonas de peligro ante estos eventos (Figura 22). Para lo anterior, se consideró que el modelo de iniciación debía contener mayor peso dado a que el fuego no puede propagarse sin antes ser iniciado. El producto final se zonificó en cuatro categorías de peligro (Tabla 10).

Tabla 10 Superficie ocupada por cada rango del modelo de peligro a incendios forestales

Rango	Superficie (km ²)	Porcentaje (%)
Muy Alto	0.34	0.14
Alto	75.48	31.64
Medio	157.63	66.08
Bajo	5.10	2.14

Las zonas con peligro muy alto (rojo) se encuentran relacionados con el modelo de iniciación de incendios forestales, ya que estas áreas se sitúan principalmente en aquellas zonas donde el registro de siniestros es mayor, posicionándose en pequeñas porciones cercanas a la localidad Julián Grajales, en un promedio de 100

metros al este, suroeste y oeste, y, aproximadamente a 300 metros al sur y sureste. Esta categoría abarca una extensión correspondiente al 0.14% del área total de la zona de estudio.

Respecto al nivel de peligro alto (naranja), ocupa una superficie del 32.64%, se encuentra influenciada principalmente por el uso del suelo, el tipo de vegetación, la densidad poblacional y la densidad de vías de comunicación, ya que esta categoría se establece principalmente en las partes donde existe mayor concentración de vegetación primaria y secundaria de selva baja, pastizales, caminos y zonas donde la población es mayor a 100 habitantes por km², como es el caso de las localidades: Julián Grajales, El ranchito, Nicolás Bravo, El Tejar, Ignacio Allende, El Paraíso, Francisco Sarabia, Galecio Narcía, Distrito Federal, Ribera La Unión y América libre. Así mismo, se extiende sobre el tramo carretero Tuxtla Gutiérrez - El Parral, desde la localidad Cabeza de Agua (San Antonio), hasta la localidad El Paraíso donde existe mayor tránsito de vehículos y personas. De igual manera, se emplaza en el parteaguas del lado este de la microcuenca debido a que en estas zonas la vegetación es abundante. Por su parte, la región norte de la microcuenca, pertenece a esta categoría, influenciadas principalmente por las localidades de América libre y Ribera la Unión, y se extiende hasta la localidad El Zapote sobre el tramo carretero América Libre – Cruz Chiquita.

En cuanto al nivel de peligro medio (amarillo), ocupa el 66.08% de la superficie respecto al área total de la microcuenca. Fue influenciada en mayor medida por el modelo de iniciación de incendios forestales, dado a que se establece en zonas donde el uso del suelo corresponde principalmente a zonas de uso agropecuario.

Por último, el nivel de peligro bajo (verde) se emplazan en pequeñas áreas en el límite sur, sureste, este y oeste de la microcuenca, dada a la poca interacción que existe con la iniciación y propagación de un incendio forestal. Esta categoría se extiende en una superficie del 2.14%.

PELIGRO A INCENDIOS FORESTALES

MICROCUENCA "LA UNIÓN", MUNICIPIO DE CHIAPA DE CORZO, CHIAPAS.

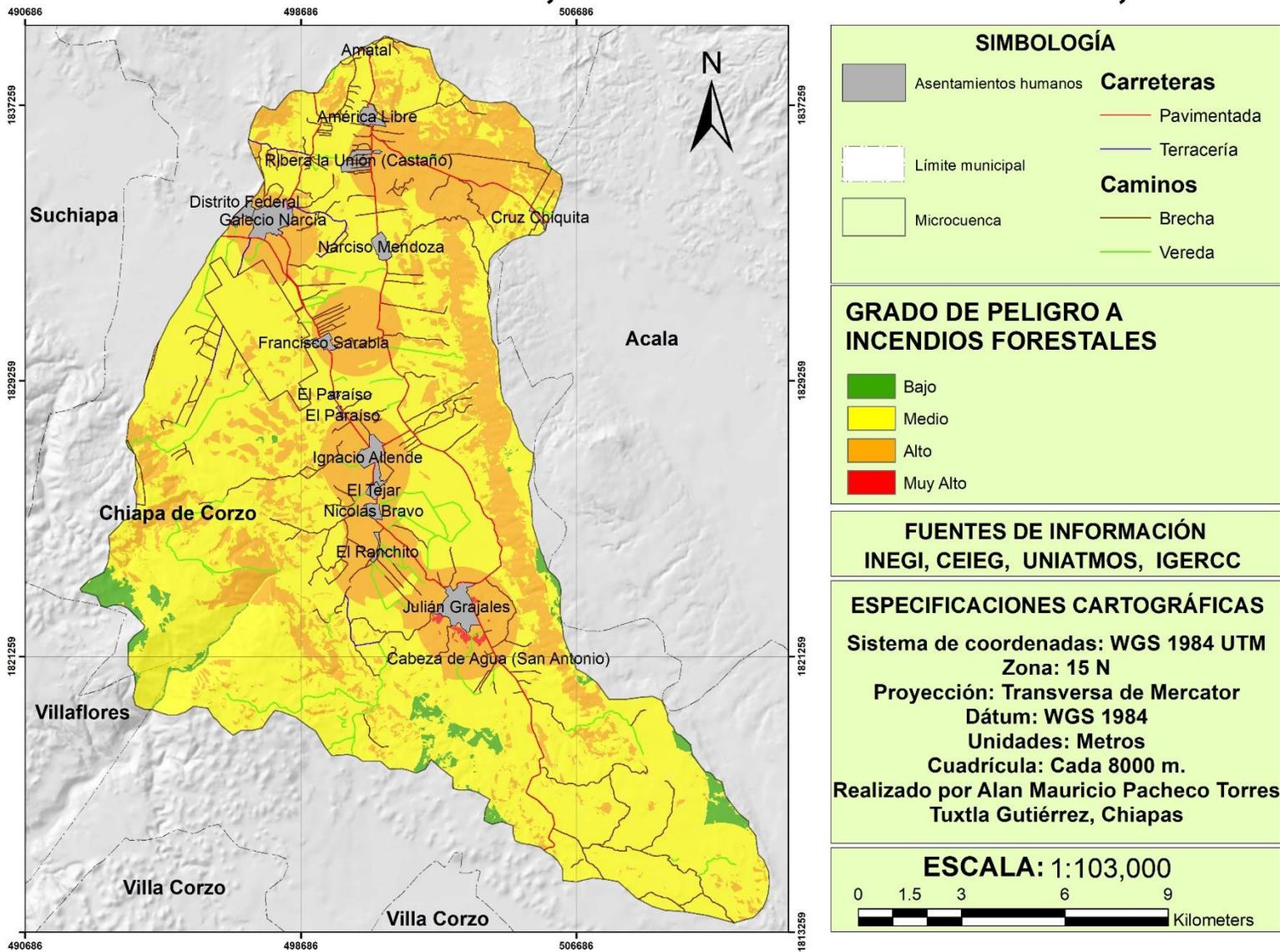


Figura 22 Mapa de peligro a incendios forestales en la microcuenca "La Unión"

9 DISCUSIÓN

De acuerdo con los resultados, la microcuenca La Unión presenta ciertas características que propician en gran parte el inicio y propagación del fuego en determinadas zonas. El uso del suelo influye de manera considerable en el territorio ya que las principales actividades corresponden a actividades agrícolas y ganaderas; Sarmiento (2010) determinó en su estudio que el peligro a incendios forestales se encuentra asociados en gran parte a las actividades humanas, ya que, de acuerdo con su investigación, la mayoría de los incendios registrados se deben principalmente a actividades de este tipo; de igual manera, Vargas & Campos (2018), al igual que este trabajo, mencionan que las zonas con mayor probabilidad al inicio del fuego son en zonas cercanas a vías de comunicación y poblados, debido a la alta acumulación de material combustible y actividades realizadas por los pobladores de las comunidades en un área de conservación en Costa Rica; Sin embargo, Muñoz *et al.* (2005) consideró lo contrario, los factores socioeconómicos fueron las variables que recibieron el menor valor en su modelo, debido a las particularidades en el área de estudio los cuales indican zonas con poca densidad de población, nulas actividades de recreación, y nula existencia de problemáticas relacionadas al litigio de propiedades.

Por otro lado, la vegetación juega un rol importante para el comportamiento del fuego, las zonas de mayor peligro dentro de la microcuenca “La Unión” se encuentran constituidas por selvas bajas caducifolias, las cuales se caracterizan por presentar bajos índices de humedad en temporada de estiaje lo cual aumenta

considerablemente la probabilidad de inicio y expansión del fuego dentro del territorio; de acuerdo con Vilchis et al (2015) esta característica representa una alta probabilidad de ocurrencia de un incendio, de igual manera, tomó en cuenta la exposición solar como uno de los factores que aumentan esta probabilidad, principalmente aquellas laderas que se encuentran expuestas al sur, lo cual coincide con el modelo de propagación de incendios para la microcuenca “La Unión”, debido a que las zonas de mayor peligro presentan exposiciones al sur y suroeste, al igual que el estudio realizado por Juárez (2008) en Michoacán, México, en el cual las áreas quemadas predominantes corresponden a laderas con orientación sur, debido a que presentan menor nivel de humedad.

El factor topográfico en el modelo de peligro por incendios forestales en la microcuenca “La Unión” tuvo gran influencia en los resultados, ya que las zonas de mayor peligro presentan pendientes mayores a 55%, similar a lo encontrado por Gutiérrez (2004) en la microcuenca “Las Marías” en Managua, Nicaragua. En dicha zona las características son parecidas, ya que las pendientes van de 5 a 60%, siendo el rango de pendiente de 46 a 60% las zonas más propensas a la propagación del fuego, de acuerdo con los resultados del estudio; por otro lado, Ramos (2020) menciona en su estudio, realizado en el municipio de San Francisco en Bogotá, Colombia, que el grado de pendiente del terreno es un factor determinante en la propagación de un incendio y es directamente proporcional al nivel de amenaza por dicho evento. De acuerdo a la característica de su zona de estudio, las áreas que presentan mayor peligro corresponden a pendientes que oscilan entre 25% y pendientes mayores al 75%. En conclusión, gran parte de los

estudios coinciden con los resultados encontrados en esta investigación, las zonas de peligro alto se ubican en las zonas que presentan mayor grado de pendiente. Esta investigación tomó en cuenta características meteorológicas para la determinación de las zonas de peligro por incendios forestales. Las áreas de mayor peligro presentan una temperatura media anual (TMA) que oscilan entre los 25° y 25.5°C; por otro lado, el régimen de precipitación en estas zonas corresponde a 977 a 1050 mm anuales, comparando los resultados con el estudio de Ramos (2020), las zonas de peligro alto en su zona de estudio presentan temperaturas menores que van de lo 18° a los 24°C y un rango de precipitación de 1000 a 2000 mm anuales, sin embargo, estos valores se encuentran relacionados con la altitud del sitio, ya que el municipio cuenta con una elevación mayor, correspondiente a 1520 m.s.n.m., a comparación de la microcuenca “La Unión” que tiene una altitud que van de los 370 a los 1140 m.s.n.m.

En este estudio se utilizó un enfoque de análisis multicriterio para la elaboración del modelo, haciendo uso de los Sistemas de Información Geográfica, principalmente el software ArcMap. En Chiapas, se han elaborado algunos trabajos similares con relación al tema de los incendios forestales, tal es el caso de De Los Santos (2010) quien evaluó el riesgo por incendios a partir de factores causales del fuego y características físicas del sitio, el cual tuvo resultados similares al presente trabajo a pesar de utilizar un método diferente.

10 CONCLUSIONES

Con base al método aplicado y la implementación de los sistemas de información geográfica se obtuvieron cuatro categorías de peligro por incendios forestales en la microcuenca “La Unión”. Lo anterior garantiza que el modelo presenta buenos resultados ya que existe una relación directa de incendios con los diferentes rangos establecidos.

El aumento a futuro de áreas destinadas a las actividades agropecuarias trae como consecuencia el uso del fuego para la eliminación de la vegetación en las parcelas, y, en algunos casos, los residuos sólidos que en ocasiones se genera. Es por ello la importancia del buen manejo del fuego y la implementación de técnicas efectivas que reduzcan las afectaciones a la vegetación y las emisiones que se generan a la atmosfera a través de la quema de los combustibles forestales en la zona.

Las condiciones atmosféricas juegan un rol importante antes, durante y después de un incendio forestal, ya que esta condiciona el comportamiento del fuego en un sitio determinado, tal como en la intensidad, como en la velocidad de propagación del mismo. Dichos eventos ocurrirán siempre y cuando los combustibles forestales se encuentren disponibles, en otras palabras, no presenten humedad. Por ende, las temporadas más propensas, o mejor conocidas como temporada de incendios, corresponden a la temporada de estiaje (seca) que abarcan los meses de noviembre a abril. Sin embargo, en los meses de mayo a septiembre la probabilidad de ocurrencia de estos eventos es poca o nula.

El método de análisis multicriterio fue de gran ayuda para el estudio de las variables utilizadas; además, demostró requerir de una operación relativamente sencilla y con resultados suficientemente robustos para la estimación de los índices de peligro por incendios forestales, los cuales fueron acordes a eventos ocurridos en el pasado.

Si bien es cierto, la modelación de incendios forestales no predice, ni da información con exactitud de lo que sucederá; sin embargo, puede considerarse como una alternativa para los tomadores de decisiones, ya que, gracias a ello, se pueden realizar planes de manejo de incendios en el área y establecer áreas prioritarias de protección con el fin de reducir las afectaciones ocasionadas por el fuego. De igual manera, con ello, se pretenden buscar nuevos planes y estrategias para prevenir, controlar y combatir los futuros eventos que se presenten, de tal forma, que los recursos humanos y materiales sean utilizados de manera más eficiente y existan mayores resultados.

11 REFERENCIAS

- Alanís, H. E., Orozco, F. (2000). Índice de riesgo de incendios forestales, en la región central del macizo boscoso de Chihuahua. Núm. 11. INIFAP. Campo experimental Madera. México.
- Álvarez, M. F., Rodríguez, J. R., Fernández, N., y Gil, S. (2003). Los sistemas de información geográficos aplicados a la prevención de incendios forestales. Propuesta para la planificación de quema de rastrojos en la Comarca de Aranda de Duero (Burgos). Escuela Superior y Técnica de Ingenieros de Minas. España.
- Carmona, J., Flores, J. G., y Chávez, A. A. (2011). Análisis comparativo de cargas de combustibles en ecosistemas forestales afectados por incendios. Revista mexicana científica. Vol.2 (3). México.
- Castillo, M., Pedernera, P., y Julio, G. (2002). Aplicaciones de los SIG en la lucha contra los incendios forestales, Laboratorio de incendios forestales. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile. Chile.
- Comité Estatal de Información Estadística y Geográfica de Chiapas (CEIEG)
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). (2006). Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos: Conceptos básicos sobre peligros, riesgos y su representación geográfica. Serie: Atlas Nacional de Riesgos. 1ª edición. México.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). (2008). Incendios Forestales. 3ª edición. México.
- Challenger, A., R. Dirzo et al. (2009). Factores de cambio y estado de la biodiversidad, en Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. CONABIO. pp. 37-73. México.

- Chuvienco, E., Aguando, I., Yebra, M., Nieto, H., Martín, M., ... Salas, J. (2007). Generación de un modelo de peligro de incendios forestales mediante teledetección y SIG. *TELEDETECCIÓN: Hacia un mejor entendimiento de la dinámica global y regional*. Martín. pp. 19-25.
- Chuvienco, E., Opazo, S., Sione, W., del Valle, H., Anaya, J., ... y Libonati, R. (2008). Global Burned Land Estimation in Latin America using MODIS Composite Data. *Ecological Applications*. Vol. 18 (1). pp.64-79.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2010). Atlas del agua en México.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2015). Atlas del agua en México.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2010). Incendios forestales: guía práctica para comunicadores. 3ª edición. Zapopan, Jalisco. México.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2010). Procedimiento para elaboración de un mapa de áreas de atención prioritaria contra incendios forestales. CONAFOR, México.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2008). Incendios Forestales. Serie fascículos. CENAPRED. 3ª edición. México.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2017). Reporte Final de resultados de incendios forestales 2017. México.
- Cotler, H., y Caire, G. (2009). Lecciones aprendidas del manejo de cuencas en México. 1ª Edición. México.
- De Coss, A. J. (2017). Impacto de la pérdida de cobertura vegetal en el balance hídrico en la microcuenca la unión, en el municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas (Tesis de licenciatura). Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. México.
- De los Santos, I. (2010). Modelo de riesgo a incendios para el parque nacional cañón del sumidero (Tesis de licenciatura). Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. México.

- De Vicente, F. J. (2012). Diseño de un modelo de riesgo integral de incendios forestales mediante técnicas multicriterio y su automatización en sistemas de información geográfica: Una aplicación en la comunidad valenciana (Tesis de doctorado). Universidad Politécnica de Madrid. España.
- Flores, J. G., Benavides, J., ...& Casillas, U. (2016). Descripción de variables para definición de Peligro de Incendios Forestales en México Núm.3. INIFAP-CIRPAC, Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco. 58 p. México.
- Flores, J.; Benavides, J., ...& Casillas, U. (2016). Descripción de variables para definición de Riesgo de incendios forestales en México. Folleto Técnico. Núm. 1. INIFAP-CIRPAC. Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco. p.61. México.
- Flores J. G. y Gómez M. L. (2013). Programa Nacional de Investigación Incendios Forestales. Núm. 3. INIFAP-CIRPAC. Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco. 93 p. México.
- Flórez, D. F., y Fernández, D. K. (2017). Los Sistemas de Información Geográfica: Una revisión. FAGROPEC. Universidad de la Amazonia. *Vol.9 (1)*.
- González, J.I. (2000). Guía metodológica para el estudio de cuencas hidrológicas superficiales con proyección de manejo. Universidad de La Habana. Cuba.
- Gutiérrez, A. (2004). Análisis de susceptibilidad de incendios forestales en la microcuenca Las Marías León – Chinandecuenca (Trabajo de diplomado). Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua.
- Gutiérrez, A., García, L. E., Parra, M., y Rosset, P. (2017). De la supresión al manejo del fuego en la Reserva de la Biosfera La Sepultura, Chiapas: Perspectivas campesinas. México.
- Gutiérrez, A. (2015). Perspectivas campesinas sobre el uso y manejo del fuego en la Reserva de la Biosfera de la Sepultura, Chiapas (Tesis de maestría). El Colegio de la Frontera Sur. Chiapas. México.

- Gutiérrez, G., Orozco, M. E., Ordóñez, J., y Camacho, J. M. (2014). Régimen y distribución de los incendios forestales en el estado de México (2000 a 2011). *Revista mexicana de Ciencias Forestales*. Vol.6 (29). pp 92-107. México.
- Ibarra, J. L., Huerta, F. M. (2014). Modelado espacial de incendios: una herramienta predictiva para el Bosque La Primavera, Jalisco, México. *Revista Ambiente y Agua*. Vol.11 (1). pp.35-49. México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)
- Juárez, S. (2008). Un modelo de incendio en Michoacán, México (Tesis de Posgrado). Universidad Autónoma de México. México.
- Lara, E., Caso, L., y Aliphath, M. (2012). El sistema milpa roza, tumba y quema de los maya itzá de San Andrés y San José, Petén Guatemala. *Ra Ximhai*. México. Vol.8 (2). pp.69-90. Guatemala.
- López, A. (2017). Modelación de la vegetación y cambio de uso de suelo 2005 al 2025, en la microcuenca la Unión, municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas (Tesis de licenciatura). Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. México.
- Lugo, J. (2011). *Diccionario Geomorfológico*. Universidad Autónoma de México. Serie: Textos universitarios. 478 p. D.F., México.
- Maass, J. M. (2015). El manejo de cuencas desde un enfoque socioecosistémico. *En Cuencas de México, 2015*. Cuencas de México. pp.3-8. México.
- Mas, J.F. y Sandoval, A. (2011). Modelación de los cambios de coberturas/uso del suelo en una región tropical de México. *GeoTropico*, vol.5 (1), Artículo 1: 1-24. México.
- Maskrey, A. (1998). *Navegando entre brumas: La aplicación de los sistemas de información geográfica al análisis de riesgo en América latina*. TM editores. 344 p. Colombia.

- Muñoz, C. A. (2001). Elaboración de un modelo espacial de peligro de incendios forestales (Tesis de maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares. México.
- Muñoz, R., Treviño, E., Verástegui, J., Jiménez, J. y Aguirre, O. (2005). Desarrollo de un modelo espacial para la evaluación del peligro de incendios forestales en la Sierra Madre Oriental de México. Investigaciones geográficas, boletín no.56. México.
- Olaya, V., (2014). Sistemas de información geográfica. 854 p. España.
- Ordoñez, J., (2011). Balance Hídrico Superficial: Contribuyendo al desarrollo de una cultura del Agua y la Gestión Integral de Recurso Hídrico. SENAMHI. IBEGRAF. 1ª Edición. 41 p. Lima, Perú.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), (2007). La nueva generación de programas y proyectos de gestión de cuencas hidrográficas. 143 p. Roma, Italia.
- Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura (FAO), (2009). ¿Por qué invertir en ordenación de las cuencas hidrográficas? Cuestiones de Escala. Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación. 31 p. Roma, Italia.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2010). Perspectivas del medio ambiente: América Latina y El Caribe. Ciudad de Panamá, Panamá.
- Ramos, O. (2020). Mapeo y Análisis espacial de riesgos por incendios forestales en el municipio de San Francisco, Cundimarca (Tesis de posgrado). Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia.
- Rentería, J. B. (2004). Desarrollo de modelos para el control de combustibles en el manejo de ecosistemas forestales en Durango, México (Tesis de doctorado). Universidad Autónoma de Nuevo León. Nuevo León, México.

- Ressl, R. y Cruz, I. (2012). Detección y monitoreo de incendios forestales mediante imágenes de satélite. CONABIO. Biodiversitas, 100:12-13. México.
- Rojas, O., Martínez, C. (2011). Riesgos naturales: Evolución y modelos conceptuales. Revista Universitaria de Geografía. Núm. 20. pp. 83-116.
- Sainz, R., Álvarez, R. y Henríquez, F. (2012). Objetivos múltiples para la evaluación del desempeño de centros de investigación. Ide@s CONCYTEG, 7 (86), pp. 1049-1072.
- Salazar, L., Cortez, L., y Mariscal, J. (2002). Manual No. 2: Gestión comunitaria de riesgos. Foro Ciudades para la vida. 21 p. Lima, Perú.
- Sánchez, A. S., García, R. M., y Palma, A. (2003). La cuenca hidrográfica: Unidad básica de planeación y manejo de recursos naturales. SEMARNAT. 1ª edición. 49 p. México.
- Sarmiento, Y. (2010). Evaluación de riesgos de incendios forestales en la reserva ecológica "El Zapotal" (Tesis de licenciatura). Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. México.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT. (2009). Cuarto Informe Nacional de México al Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB). 1ª edición. 189 pp.
- Torres, E. (2014). Análisis estadístico del índice de riesgo local a incendios forestales en el estado de Chiapas (Tesis de licenciatura). Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. México.
- Unidad de Informática para las Ciencias Atmosféricas y Ambientales (UNIATMOS)
- USAID/ OFDA. (2006). Curso de operaciones de prevención y control de incendios forestales. Planes de lecciones y material del instructor. Oficina de Asistencia para Desastres en América Latina y el Caribe. San José de Costa Rica. 85 p. Costa Rica.

- Vargas, O. (2005). La evaluación multicriterio social y su aporte a la conservación de los bosques. *Revista Fac. Nal. Agr., Vol.58 (1)*. pp. 2665-2683. Medellín, Colombia.
- Vargas, D. & Campos, C. (2018). Modelo de vulnerabilidad ante incendios forestales para el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica. *Cuadernos de Investigación UNED, 10(2)*. Costa Rica.
- Vega, C., Woodard, P.M., Titus, S.J., Adamowicz, W. L., y Lee, B. S. (1999). Dos modelos para la predicción de incendios forestales en Whitecourt forest, Canadá. *Investigación Agr: Sistema de recursos forestales. Vol.8 (1)*. pp.6-23. Canadá.
- Vilchis, A. Y., Díaz, C., Magaña, D., Ba, K. M., y Gómez, M. A. (2015). Modelado espacial para peligro de incendios forestales con predicción diaria en la cuenca del río balsas. *Agrociencias. Núm. 49*. pp. 803-820. México.
- Villers, M. L. (2006). INCENDIOS FORESTALES. Red de revistas científicas de América Latina y El Caribe, España y Portugal. Núm. 81. Universidad Autónoma de México. 66 p. Distrito Federal, México.
- Villers, L., López, J. (2004). Comportamiento del fuego y evaluación del riesgo por incendios en las áreas forestales de México: un estudio en el volcán la Malinche. En su: *Incendios forestales en México, Métodos de evaluación*. UNAM, Universidad Autónoma de México 1ª Edición. pp. 61-78. México
- Wong, J. C., Villers, M. L. (2006). Evaluación de combustibles y su disponibilidad en incendios forestales: Un estudio en el Parque Nacional La Malinche. *Boletín del instituto de geografía. Universidad Autónoma de México. Núm. 62*. pp.87-103. México.
- World Vision. (2004). Manual de manejo de cuencas. 2da edición. Visión Mundial-El Salvador. 154 p. El Salvador.