



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, INGENIERÍA Y MEDICINA

**PROGRAMAS MULTIDISCIPLINARIOS DE POSGRADO EN CIENCIAS
AMBIENTALES**

EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A INCENDIOS FORESTALES EN SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO, UNA CONTRIBUCIÓN A LA GESTIÓN DEL RIESGO.

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES

PRESENTA:

GLORIA ISABEL LEÓN ROJAS

DIRECTOR DE TESIS:

DRA. PATRICIA JULIO MIRANDA

CODIRECTOR:

DRA. LILIA DE LOURDES MANZO DELGADO

ASESORES:

DR. JAVIER FORTANELLI MARTÍNEZ

DR. ALVARO GERARDO PALACIO APONTE

ENERO, 2014

CRÉDITOS INSTITUCIONALES

PROYECTO REALIZADO EN:

ESCUELA DE CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES, LA CUAL PARTICIPA EN EL PROGRAMA MULTIDISCIPLINARIO DE POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ.

CON FINANCIAMIENTO DE:

CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (CONACYT)

BECA PARA LA REALIZACIÓN DE ESTUDIOS DE MAESTRÍA (BECARIO NO. 258471)

Y

BECA MIXTA DE MOVILIDAD INTERNACIONAL PARA ESTANCIA DE INVESTIGACIÓN EN EL LABORATORIO DEL TERRITORIO DE LA UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE COMPOSTELA - CAMPUS LUGO, ESPAÑA, CON LA DIRECCIÓN DEL DR. URBANO FRA PALEO.

SANTANDER- ESPACIO COMÚN DE EDUCACIÓN SUPERIOR (ECOES)

BECA DE MOVILIDAD NACIONAL PARA ESTANCIA DE INVESTIGACIÓN EN EL INSTITUTO DE GEOGRAFÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, CON LA DIRECCIÓN DE LA DRA. LILIA DE LOURDES MANZO DELGADO.

CUERPO ACADÉMICO:

PROCESOS TERRITORIALES, CULTURA Y DESASTRES

LA MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES RECIBE APOYO A TRAVÉS DEL PROGRAMA NACIONAL DE POSGRADOS DE CALIDAD (PNPC)

Evaluación de la susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí, México, una contribución a la gestión del riesgo.

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de San Luis Potosí que a través del Programa Multidisciplinario de Posgrado en Ciencias Ambientales me permitió obtener una formación basada en el respeto a la diversidad, la inclusión y el trabajo en equipo.

Dra. Patricia Julio Miranda, muchas gracias por su dirección, apoyo y confianza. Así también por alentarme a superar los retos que se presentaron durante la realización de este trabajo.

A la Dra. Lilia Manzo por su atinada orientación, sus observaciones e ideas para mejorar el presente trabajo y también por su hospitalidad durante mi estancia en el Instituto de Geografía de la gran Universidad Nacional Autónoma de México.

Dr. Álvaro G. Palacio Aponte, Dr. Javier Fortanelli Martínez y Dr. Carlos Muñoz Robles: muchas gracias por su tiempo, sus aportaciones y valiosos comentarios.

Dr. Urbano Fra Paleo: gracias por mostrarme un nuevo enfoque sobre los incendios forestales y por integrarme a su equipo de trabajo durante mi estancia en la USC, fue sumamente enriquecedor.

A la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) Delegación San Luis Potosí, en especial al Ing. Benigno Almora Méndez por los datos proporcionados. De igual forma, al Laboratorio Nacional de Geoprocesamiento de Información Fitosanitaria (LaNGIF) por la información brindada.

A mis compañeros y amigos de la generación 2011-2013 del PMPCA por todos los momentos amenos y las aventuras vividas, gracias: Karina C., Sandra, Eduardo, Néstor, Escot, Sarah, Adriana, Diana, Victor, Martita, Paulina, Ángeles y Angélica. A Nathália y Aidé, mis amigas de las estancias, gracias por confortarme y hacerme sentir como en casa.

CONTENIDO

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES.....	II
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	IV
OBJETIVOS.....	V
<i>Objetivo general</i>	V
<i>Objetivos específicos</i>	V
ESTRUCTURA DEL TRABAJO.....	VI

CAPITULO 1. GESTIÓN DEL RIESGO

1.1. RIESGO, AMENAZA Y VULNERABILIDAD.....	1
1.2. ÁREAS EN EL PROCESO DE GESTIÓN DEL RIESGO	2
1.3. LA EVALUACIÓN DE LA AMENAZA	5
1.4. ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD A AMENAZAS.....	8

CAPITULO 2. INCENDIOS FORESTALES

2.1. GENERALIDADES SOBRE INCENDIOS FORESTALES	10
2.1.1. <i>Tipos y causas de los incendios forestales</i>	10
2.1.2. <i>Factores que influyen en el inicio y propagación de los incendios forestales</i>	11
2.2. IMPACTOS DE LOS INCENDIOS FORESTALES.....	18
2.3. INCENDIOS FORESTALES EN MÉXICO.....	21
2.4. INCENDIOS FORESTALES EN EL ESTADO DE SAN LUIS POTOSÍ.....	23
2.4.1. <i>Ley para la Prevención y Manejo Integral e Institucional de los Incendios Forestales en el Estado de San Luis Potosí (LPMIIFESLP)</i>	25

CAPITULO 3. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

3.1. LOCALIZACIÓN	27
3.2. FISIOGRAFÍA.....	28

Evaluación de la susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí, México, una contribución a la gestión del riesgo.

3.2.1.	<i>Provincia Mesa del Centro</i>	28
3.2.2.	<i>Provincia Sierra Madre Oriental</i>	28
3.2.3.	<i>Provincia Llanura Costera del Golfo Norte</i>	28
3.3.	CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS	29
3.4.	USO DEL SUELO Y TIPOS DE VEGETACIÓN	31
3.5.	ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS	38
3.5.1.	<i>Población total</i>	38
3.5.2.	<i>Localidades</i>	38
3.5.3.	<i>Indicadores de desarrollo humano y pobreza</i>	40
3.5.4.	<i>Actividades económicas</i>	41
CAPITULO 4. METODOLOGÍA		
4.1.	MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD A INCENDIOS FORESTALES.....	42
4.1.1.	<i>Evaluación multicriterio y sistemas de información geográfica</i>	42
4.1.2.	<i>Regresión logística</i>	46
4.2.	METODOLOGÍA EMPLEADA PARA EL ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD	48
4.2.1.	<i>Caracterización de incendios (2000-2012)</i>	48
4.2.2.	<i>Digitalización de áreas quemadas</i>	49
4.2.3.	<i>Evaluación multicriterio</i>	50
4.2.4.	<i>Regresión logística</i>	63
4.2.5.	<i>Edición de cartografía</i>	65
CAPITULO 5. RESULTADOS		
5.1.	CARACTERIZACIÓN DE INCENDIOS CON BASE EN LOS PUNTOS DE CALOR DEL FIRMS.....	66
5.1.1.	<i>Factores topográficos</i>	66
5.1.2.	<i>Factores climáticos</i>	68
5.1.3.	<i>Factor causal</i>	69
5.1.4.	<i>Factor vegetación</i>	69

Evaluación de la susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí, México, una contribución a la gestión del riesgo.

5.2.	DIGITALIZACIÓN DE ÁREAS QUEMADAS	72
5.3.	APLICACIÓN DE LA EVALUACIÓN MULTICRITERIO	73
5.3.1.	<i>Proceso de jerarquías analíticas.....</i>	73
5.3.2.	<i>Aplicación del modelo de susceptibilidad a incendios forestales obtenido mediante evaluación multicriterio</i>	79
5.3.3.	<i>Validación.....</i>	84
5.4.	REGRESIÓN LOGÍSTICA.....	87
5.4.1.	<i>Base de datos</i>	87
5.4.2.	<i>Generación de coeficientes</i>	87
5.4.3.	<i>Aplicación del modelo de susceptibilidad a incendios forestales obtenido mediante regresión logística.....</i>	89
5.4.4.	<i>Validación.....</i>	92
CAPITULO 6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES		
6.1.	DISCUSIÓN	95
6.2.	CONCLUSIONES.....	105
BIBLIOGRAFÍA		109
ANEXO 1		

Lista de Figuras

Figura 1. Componentes para la estimación del riesgo.	2
Figura 2. Áreas de la gestión del riesgo.....	3
Figura 3. Clasificación de amenazas naturales.....	6
Figura 4. Factores ambientales, variables y procesos más importantes que influyen en el inicio y propagación de los incendios forestales.	12
Figura 5. Número de incendios y superficie afectada en México en el periodo 1998-2012.	21
Figura 6. Causas de los incendios forestales en México en el año 2012.....	22
Figura 7. Número de incendios y superficie afectada en San Luis Potosí en el periodo 2000-2012.	23
Figura 8. Número de incendios por región administrativa en el período 2000-2012.....	24
Figura 9. Clasificación de vegetación afectada por incendios en el período 2000-2012.	24
Figura 10. Causas de los incendios forestales en San Luis Potosí en el período 2000- 2012.....	25
Figura 11. Porcentaje de ocupación por uso del suelo y vegetación en San Luis Potosí.	38
Figura 12. Clasificación de localidades por número de habitantes en San Luis Potosí.....	39
Figura 13. Población ocupada por sector económico en el tercer trimestre del 2013.....	41
Figura 14. Marco de trabajo del análisis espacial multicriterio.	44
Figura 15. Sistema de integración de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la Evaluación Multicriterio (EMC).....	45
Figura 16. Escala de medida de Saaty.	60
Figura 17. Metodología de la evaluación multicriterio por análisis jerárquico.	62
Figura 18. Metodología para la aplicación de la regresión logística.	65
Figura 19. Porcentaje de puntos de calor por rango altitudinal.	66
Figura 20. Porcentaje de puntos de calor por rango de pendiente.	67
Figura 21. Porcentaje de puntos de calor por orientación de ladera.	67

Evaluación de la susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí, México, una contribución a la gestión del riesgo.

Figura 22. Porcentaje de puntos de calor por tipo de clima.	68
Figura 23. Porcentaje de puntos de calor por rango de temperatura máxima anual.....	68
Figura 24. Porcentaje de puntos de calor por rangos de precipitación anual.	69
Figura 25. Porcentaje de puntos de calor por tipo de vegetación.	70
Figura 26. Valores normalizados de incidencia de puntos de calor por tipo de vegetación.	71
Figura 27. Descomposición de la susceptibilidad a incendios forestales en niveles jerárquicos.....	73
Figura 28. Obtención de pesos globales.	76
Figura 29. Proceso de obtención del modelo de susceptibilidad mediante evaluación multicriterio.	78
Figura 30. Susceptibilidad a incendios forestales del Altiplano potosino.....	80
Figura 31. Susceptibilidad a incendios forestales en la región Centro de San Luis Potosí.....	81
Figura 32. Susceptibilidad a incendios forestales en la región Media de San Luis Potosí.	82
Figura 33. Susceptibilidad a incendios forestales en la Huasteca potosina.	82
Figura 34. Sobreposición de puntos de calor con el modelo de susceptibilidad obtenido mediante EMC.	84
Figura 35. Intersección de puntos de calor por año respecto al modelo de susceptibilidad obtenido por EMC.....	85
Figura 36. Digitalización de áreas quemadas sobre imagen Landsat P27 R45, RGB 543.....	86
Figura 37. Polígono de área quemada sobre el modelo de evaluación multicriterio.	86
Figura 38. Susceptibilidad a incendios forestales en las regiones Altiplano y Centro.	90
Figura 39. Susceptibilidad a incendios forestales en las regiones Media y Huasteca.....	91
Figura 40. Sobreposición de puntos de calor al modelo de susceptibilidad de regresión logística..	93
Figura 41. Digitalización de áreas quemadas sobre imagen Landsat P27 R45, RGB 543.....	94
Figura 42. Polígono de área quemada sobre modelo de susceptibilidad de regresión logística.....	94

Evaluación de la susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí, México, una contribución a la gestión del riesgo.

Figura 43. Superficie por grado de susceptibilidad en cada modelo de susceptibilidad en el MEMC y el MRL.....	99
Figura 44. Diferencias en la asignación de grados de susceptibilidad entre el MEMC (izquierda) y el MRL (derecha).....	100
Figura 45. Porcentaje de superficie por grado de susceptibilidad en las regiones administrativas de San Luis Potosí.....	102
Figura 46. Municipios de alto riesgo según la LPMIIFESLP (2013) sobre el MEMC.....	104

Lista de mapas

Mapa 1. Localización y regiones administrativas de San Luis Potosí.....	27
Mapa 2. Provincias y subprovincias fisiográficas en San Luis Potosí.....	29
Mapa 3. Climas en San Luis Potosí.....	30
Mapa 4. Uso del suelo y vegetación en San Luis Potosí.....	35
Mapa 5. Localización espacial de las actividades agropecuarias en San Luis Potosí.....	37
Mapa 6. Localidades en San Luis Potosí.....	39
Mapa 7. Áreas quemadas por región administrativa en San Luis Potosí.....	72
Mapa 8. Valores normalizados para altitud.....	74
Mapa 9. Valores normalizados para tipo de vegetación.....	74
Mapa 10. Modelo de susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí (MEMC).....	79
Mapa 11. Susceptibilidad a incendios forestales por provincia fisiográfica mediante evaluación multicriterio.....	83
Mapa 12. Áreas quemadas por incendios en el año 2011 sobre el MEMC.....	86
Mapa 13. Susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí, México (MRL).....	89
Mapa 14. Susceptibilidad a incendios forestales por provincia fisiográfica mediante el modelo de regresión logística.....	92
Mapa 15. Áreas quemadas 2011 sobre el MRL.....	94

Evaluación de la susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí, México, una contribución a la gestión del riesgo.

Lista de tablas

Tabla 1. Climas de San Luis Potosí y porcentaje de ocupación territorial.	30
Tabla 2. Tipos de uso de suelo y vegetación y porcentaje de ocupación territorial estatal.	36
Tabla 3. Número de localidades por región administrativa en San Luis Potosí.	39
Tabla 4. Matriz de comparación de los factores principales.	75
Tabla 5. Matriz de comparación entre elementos topográficos.	75
Tabla 6. Matriz de comparación entre agentes causales.	76
Tabla 7. Puntos de calor por grado de susceptibilidad en el período 2000-2012.	84
Tabla 8. Densidad de puntos de calor por grado de susceptibilidad.	93

Lista de cuadros

Cuadro 1. Clasificación de municipios por riesgo de incendio según la LPMIIIFESLP.	26
Cuadro 2. Imágenes Landsat utilizadas para digitalizar áreas quemadas.	50
Cuadro 3. Factores utilizados para la evaluación del riesgo de incendios.	52
Cuadro 4. Tabla comparativa de factores para sustentar cada factor.	53
Cuadro 5. Cartas topográficas utilizadas para la construcción del MDE.	56
Cuadro 6. Características generales de las imágenes del satélite Landsat.	56
Cuadro 7. Carácter de los atributos incluidos en la base de datos.	63
Cuadro 8. Coeficientes para actividades agrícolas.	88
Cuadro 9. Coeficientes para orientación de la ladera.	88
Cuadro 10. Coeficientes para tipo de clima.	88
Cuadro 11. Coeficientes para tipo de vegetación.	88

RESUMEN

El fuego es un elemento natural de los ecosistemas, tiene efectos positivos como el reciclaje de nutrientes, la regulación de la sucesión vegetal y la cantidad de material combustible, entre otros. Sin embargo, cuando el fuego se propaga sin control sobre la vegetación se produce un incendio forestal. En el estado de San Luis Potosí, sus características climáticas y recurrentes periodos de sequía, favorecen la ocurrencia de incendios forestales. Por ello, la estimación de la susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí se torna imprescindible como una forma de caracterizar la amenaza y como parte esencial de la gestión del riesgo.

En el presente estudio se eligieron cuatro grupos de factores que, de acuerdo con la literatura consultada, inciden en el inicio de un incendio forestal, estos son: climáticos (tipo de clima, precipitación anual, temperatura máxima anual), topográficos (pendiente, orientación y altitud), agentes causales (camino, localidades y áreas agrícolas) y vegetación. Posteriormente, se recopiló la información y se procesó para construir una base de datos que alimentara la regresión logística y por otro lado, se homogeneizaron las capas de información necesarias para la aplicación de la evaluación multicriterio a través de un sistema de información geográfica.

Con el objeto de obtener datos confiables, se generaron dos modelos de susceptibilidad a incendios forestales, uno basado en la regresión logística y otro en la evaluación multicriterio. En ambos, las regiones Media y Huasteca de San Luis Potosí son las que concentran las áreas de alta susceptibilidad, mientras que el Centro y Altiplano muestran susceptibilidad de baja a media.

Entre los resultados obtenidos se encuentran, la identificación de zonas prioritarias de atención para la realización de programas de intervención de gestión integral del fuego. Este trabajo pretende aportar información confiable para las autoridades gubernamentales, los gestores del recurso forestal y los investigadores cuyo objeto de estudio sean los incendios forestales.

Palabras clave: susceptibilidad, amenaza, gestión del riesgo, incendios forestales, evaluación multicriterio, regresión logística.

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

Las comunidades vegetales en México son afectadas y modificadas por diversos factores como la expansión de las zonas urbanas, plagas y enfermedades derivadas de la escasa gestión forestal, tala ilegal, extracción excesiva de especies, entre otras; sin embargo, ninguna provoca cambios tan inmediatos como los incendios. El fuego afecta el entorno ecológico (destrucción de hábitats, pérdida de especies, emisiones de CO₂ a la atmósfera), socioeconómico (daños a la infraestructura de telecomunicaciones, pérdida de viviendas y vidas humanas) y político (manejo de recursos públicos para la prevención y extinción). No obstante, el fuego es un elemento más de los ecosistemas y la definición del carácter de su efecto sobre los mismos depende de su magnitud y las características propias del ecosistema en cuestión.

En México, anualmente se presentan incendios forestales de diversas magnitudes que tienen lugar principalmente durante la estación seca del año, aproximadamente entre enero y septiembre. La ocurrencia temporal y espacial varía en función de las características físicas y biológicas tanto locales como regionales, de las formas de apropiación de los recursos naturales y de la utilización del fuego en actividades productivas.

Los efectos de los incendios forestales varían según su intensidad y son tanto positivos como negativos. Entre más intenso y extenso sea el fuego, mayores los efectos negativos y menores los impactos positivos, y viceversa. Los incendios afectan la vegetación, la fauna, el suelo, el agua, el aire, y hasta las rocas, así como el clima a corto y largo plazo (Flores y Benavides, 2006). Para los seres humanos, los efectos son en su integridad física, económicos, políticos, sociales, culturales, legales e históricos (Rodríguez et al., 2002; Estrada, 2006).

Como impacto cultural e histórico figura la amenaza directa del fuego a sitios arqueológicos, a áreas con simbolismo para grupos de población e infraestructuras con importancia histórica. Los impactos legales, van desde la infracción de la ley al provocar incendios hasta los conflictos por la tenencia de la tierra; la sociedad puede ver afectadas sus actividades cotidianas y medios de producción; en el entorno político tienen impacto en el diseño de políticas, el destino de recursos públicos y el manejo mediático del fuego.

Según datos recopilados en 2013 por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), durante el año 2012 se registraron 7282 incendios forestales en todo el país, que afectaron una superficie de 347 901.37 ha, principalmente de áreas con arbustos, pastizales y matorrales (92.25%) y en menor proporción áreas arboladas (7.75%). En el estado de San Luis Potosí en el mismo año ocurrieron 33 incendios que afectaron 427 ha, principalmente en los municipios de Villa de Arista, Santa María del Río y Villa Hidalgo.

El año 1998 es emblemático por la cantidad de incendios forestales ocurridos alrededor del mundo. En las 32 entidades federativas de México todo tipo de vegetación terrestre fue combustible de las llamas (Rodríguez et al., 2002). Se registraron 14 445 siniestros que afectaron 850 000.00 ha; en el estado de San Luis Potosí, se quemaron 27 181.00 ha en 249 eventos (CONAFOR, 1999). Los municipios que presentaron mayores afectaciones fueron Santa María del Río (5885 ha) y Villa de Guadalupe (4070 ha).

El estado de San Luis Potosí, por sus características climáticas, es especialmente propenso a presentar altas temperaturas y periodos de sequía, lo que aumenta las posibilidades de ocurrencia de incendios forestales, al disminuir la humedad relativa y favorecer por ende, la pérdida de humedad en la vegetación y la acumulación de material combustible.

Se estima que en los próximos años, la cantidad e intensidad de incendios, así como sus afectaciones, aumentarán como consecuencia del cambio climático (Martínez, 2007). Por ello, la estimación de la susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí se torna imprescindible como componente de un sistema de evaluación del peligro y como un aspecto importante para la gestión del riesgo, pues constituye una forma de caracterizar la amenaza (evento físico latente), así como un suministro de información con base científica para los tomadores de decisiones.

El hecho de que los incendios forestales sean el resultado de la interacción de factores topográficos, climáticos, biológicos y sociales que pueden ser ubicados espacialmente, permite mediante un análisis espacial multicriterio y la aplicación de la regresión logística determinar la susceptibilidad del territorio potosino a este fenómeno.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

Los incendios forestales poseen características que dificultan su predicción pues son fenómenos complejos resultado de la interacción de factores físicos, biológicos y sociales, para ello se deben incluir las variables que caractericen a dichos factores; así como, la historia ambiental del sitio y el tipo de aprovechamiento de los recursos naturales que se realiza.

Bajo la premisa de complejidad de los incendios forestales, es necesario realizar un primer acercamiento al fenómeno y caracterizarlos como una amenaza a través de la evaluación de la susceptibilidad, en el entendido de que la susceptibilidad de un territorio a los incendios forestales varía en función de las condiciones ambientales, fisiográficas y sociales particulares.

En el año 2005, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y el Sistema Canadiense de Evaluación del Peligro de Incendios Forestales desarrollaron un sistema de identificación de zonas con peligro de incendios para cada temporada; con base en este sistema, se emiten reportes a las delegaciones estatales de la CONAFOR. La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) en sus páginas oficiales muestran la localización espacial de puntos de calor detectados por satélites de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de Estados Unidos (NOAA, por sus siglas en inglés). Sin embargo, estos sistemas solo proporcionan la ubicación espacial de las conflagraciones a nivel nacional, no así información sobre los factores que favorecen el inicio de un incendio forestal, que serían de gran utilidad para determinar las zonas más propensas.

En el estado de San Luis Potosí son escasas las investigaciones realizadas sobre incendios forestales. La instancia dedicada a la prevención y extinción de los incendios es la CONAFOR, la cual cuenta con cuadrillas de brigadistas, ingenieros y equipo especializado; Protección Civil del estado participa también en labores de extinción. Un avance en la legislación sobre incendios forestales en la entidad es la recientemente publicada Ley para la Prevención y Manejo Integral e Institucional de los Incendios Forestales que tiene por objeto regular el otorgamiento de permisos para quemas, la capacitación de las brigadas de extinción, la concurrencia entre los tres niveles de gobierno en el uso del fuego, así como las sanciones a que son acreedores las personas que usan fuego en áreas forestales.

Evaluación de la susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí, México, una contribución a la gestión del riesgo.

La determinación del grado de susceptibilidad a los incendios forestales ayudará a concentrar los recursos humanos y económicos en las labores de monitoreo, prevención y extinción en las zonas que así lo precisen reduciendo los costos de las acciones y las pérdidas causadas por los incendios. El estudio beneficiará a los gestores del recurso forestal y a las entidades gubernamentales, así como a los investigadores que quieran centrarse en el estudio de características y situaciones específicas del fenómeno en el estado. Así también, permitirá identificar las zonas prioritarias de atención en las que deberán enfocarse programas de prevención de incendios, gestión forestal y manejo integral del fuego de tal manera que se disminuya el riesgo de ignición. Cabe mencionar, que el éxito y la eficacia de los programas de gestión forestal que involucren aspectos de manejo del fuego, dependen en gran medida del conocimiento del territorio frente a la susceptibilidad y de la participación conjunta de los actores sociales involucrados.

La complejidad de los incendios forestales, su dificultad de predicción, las características geográficas y socioeconómicas de San Luis Potosí y la escasa información sobre el riesgo de incendios en dicho estado hacen necesario realizar una aproximación para el conocimiento de esta amenaza. Para ello, se determinará la condición de susceptibilidad para identificar las zonas con mayor propensión a presentar incendios forestales.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar la susceptibilidad a la ocurrencia de incendios forestales en el estado de San Luis Potosí, mediante el análisis de variables biológicas, físicas y rasgos antropogénicos, que contribuyan a la gestión del riesgo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los factores biológicos, físicos y antropogénicos que intervienen en la susceptibilidad de incendios forestales en el estado.
- Caracterizar a los incendios forestales del estado con base en los factores biológicos y físicos identificados.
- Determinar la importancia relativa de cada variable elegida para construir el modelo de susceptibilidad.

Evaluación de la susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí, México, una contribución a la gestión del riesgo.

- Generar un modelo de susceptibilidad a partir de una evaluación multicriterio y las variables seleccionadas.
- Crear un modelo alternativo de susceptibilidad basado en la regresión logística.
- Elaborar mapas del grado de susceptibilidad a incendios forestales del estado de San Luis Potosí a partir de los resultados de los modelos.

ESTRUCTURA DEL TRABAJO

El primer capítulo retrata el estado del arte de la gestión de riesgo, las etapas que comprende, la definición de conceptos básicos, los tipos de evaluación de la amenaza y por último, algunos ejemplos de análisis de susceptibilidad a amenazas.

En el capítulo 2 se explican los aspectos generales de los incendios forestales, incluyendo los tipos, las causas más comunes, los factores que influyen en su inicio y propagación, y los impactos que provocan en los elementos del ambiente y en los seres humanos. Así también, se realiza un breve análisis de la frecuencia de incendios en México, en el periodo 1998-2012 y en el estado de San Luis Potosí, en el periodo 2000-2012.

En el capítulo 3 se presenta la caracterización ambiental y socioeconómica de la entidad en estudio. Se hace especial énfasis en la descripción de los tipos de vegetación y en los aspectos demográficos, incluyendo los Índices de Desarrollo Humano y Pobreza, y la población ocupada por sector económico.

En el capítulo 4 se enuncia la metodología, misma que ha sido dividida en dos secciones; la primera, contiene el bagaje teórico de los métodos considerados en el estudio; mientras que, la segunda sección contiene la metodología empleada en cada una de las etapas del trabajo.

Los resultados se muestran en el capítulo 5 en correspondencia con la estructura presentada en la metodología, mientras que la discusión de los mismos y las conclusiones del trabajo se expresan en el capítulo 6.

CAPITULO 1. GESTIÓN DEL RIESGO

1.1. RIESGO, AMENAZA Y VULNERABILIDAD

Se define como **riesgo**, a cualquier fenómeno de origen natural y humano que signifique un cambio en el medio ambiente que ocupa una comunidad determinada, que sea vulnerable a ese fenómeno (Wilches-Chaux, 1993). El Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) define al riesgo como la probabilidad de exceder un valor específico de daños sociales, ambientales y económicos, en un lugar específico y durante un tiempo determinado. El riesgo es el producto de la probabilidad de ocurrencia de un evento considerado como amenaza en una región, por las consecuencias esperadas de acuerdo al grado de vulnerabilidad de la comunidad asentada en dicha región (Soldano, 2009; Chardon y González, 2002).

Las definiciones anteriores consideran la existencia de vulnerabilidad, relacionada a las condiciones socioeconómicas de la población y una amenaza, generalmente relacionada a un fenómeno natural. El riesgo está en función de la amenaza y la vulnerabilidad.

$$Riesgo = Amenaza \times Vulnerabilidad$$

La **amenaza** corresponde a un fenómeno de origen natural, tecnológico o humano, definido por su naturaleza, ubicación, recurrencia, probabilidad de ocurrencia, magnitud e intensidad o capacidad de destrucción (Chardon y González, 2002). Según Sarmiento (2007), es un peligro latente que representa la probable manifestación de un fenómeno físico de origen natural, siconatural, o antropogénico que puede producir efectos adversos en las personas, las actividades productivas, la infraestructura, los bienes y servicios. Ambas definiciones incluyen la mención de los diferentes orígenes del fenómeno, pero Sarmiento, incluye la categoría de siconatural.

La **vulnerabilidad** puede definirse como la incapacidad de una comunidad para absorber, mediante el autoajuste, los efectos de un determinado cambio en su medio ambiente, o sea, su inflexibilidad o incapacidad para adaptarse a un cambio (Wilches-Chaux, 1993). Por su parte, Cardona (1993) señala que la vulnerabilidad es un factor de riesgo interno de un sujeto o un sistema expuesto a una amenaza, correspondiente a su predisposición intrínseca a ser afectado o

a ser susceptible de sufrir una pérdida. Diferentes grados de vulnerabilidad resultarán en diferente severidad del daño cuando la amenaza se presenta.

El riesgo puede minimizarse si se entiende como el resultado de relacionar la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos (Cardona, 1993). Analizando los puntos en común de las definiciones presentadas, observaremos que las amenazas están asociadas a fenómenos de origen natural, siconatural, tecnológico y humano; mientras que la vulnerabilidad está condicionada por el estado socioeconómico y político de una población. Sólo se considera un riesgo si el lugar donde se manifiesta la amenaza está ocupado por una comunidad vulnerable a la misma. En la Figura 1 se observa la íntima relación entre los componentes para la estimación del riesgo.

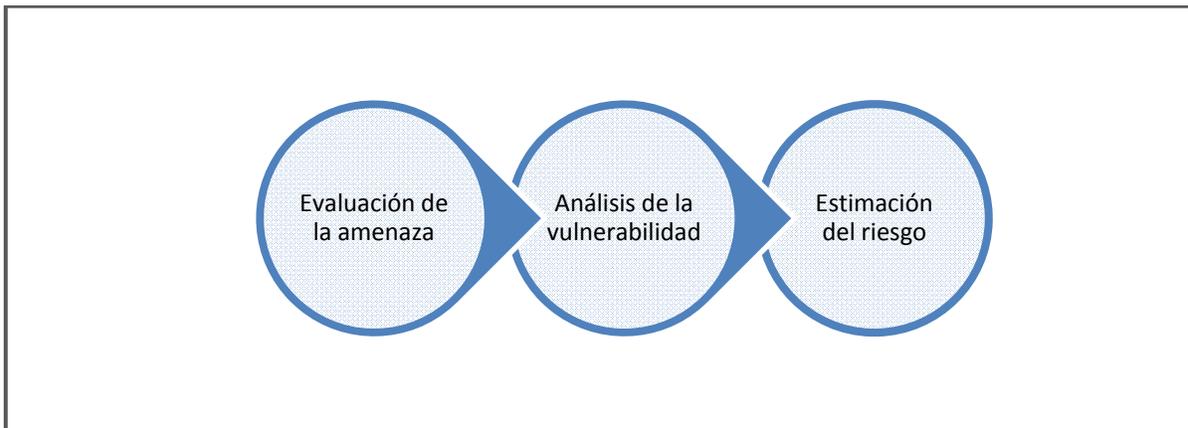


Figura 1. Componentes para la estimación del riesgo.

La concepción del riesgo involucra amenaza y vulnerabilidad como conceptos sinérgicos.

Fuente: Elaboración propia.

1.2. ÁREAS EN EL PROCESO DE GESTIÓN DEL RIESGO

Se denomina **gestión del riesgo** a la aplicación de un conjunto de medidas de planeación, de organización, de reglamentación y de intervención física y social, orientadas a reducir las condiciones de riesgo dentro de un territorio determinado, con la participación activa de la comunidad y de las diferentes instancias del estado, verificando su incorporación en la cultura de la población y sus efectos (Vargas, 2002 en Olvera, 2007).

Es un proceso eficiente de planificación, organización, dirección y control dirigido al análisis y la reducción de riesgos, el manejo de eventos adversos y la recuperación ante los ya ocurridos. Debe ser considerada como una estrategia, pues es el resultado de un comportamiento interdisciplinario y multisectorial, no es exclusivo de las instituciones, sino una actitud para la población en general (Sarmiento, 2007).

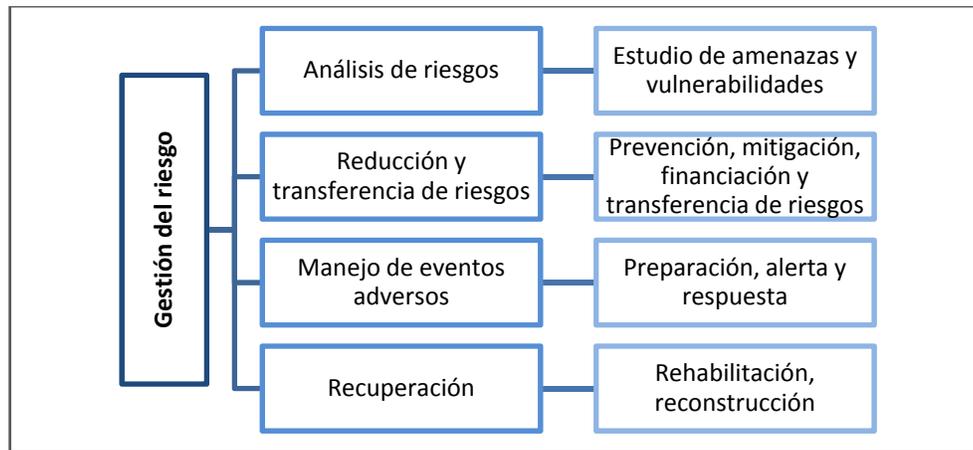


Figura 2. Áreas de la gestión del riesgo.

Cada área persigue objetivos particulares, para hablar de gestión del riesgo se requiere que todas estén desarrolladas aunque no necesariamente de manera secuencial.

Fuente: Sarmiento, 2007.

Al ser un proceso, la gestión del riesgo se compone de áreas íntimamente relacionadas entre sí que tienen una relación simbiótica y aunque están dispuestas de manera secuencial, en la práctica su aplicación puede no seguir ese orden necesariamente (Figura 2). A continuación se presenta una breve descripción de las áreas basado en lo escrito por Sarmiento (2007).

Análisis de riesgos: permite bajo un uso sistemático de la información disponible, determinar la probabilidad de ocurrencia de ciertos eventos adversos, así como la magnitud de sus posibles consecuencias. Entre las actividades que comprende se encuentran: identificar la naturaleza, extensión, intensidad y magnitud de la amenaza; determinar la existencia y grado de vulnerabilidad, construir escenarios de riesgo probables, desarrollar un enfoque multiamenaza, fijar prioridades en cuanto a tiempos y movimientos de recursos, diseñar sistemas de administración efectivos y apropiados para implementar y controlar los procesos anteriores. Hasta hace algunos años, esta etapa era delegada por el enfoque prevaleciente de atención a emergencias, pero ahora, se ha convertido en un componente esencial dentro del proceso de gestión de riesgos.

Reducción del riesgo: son todas aquellas actividades dirigidas a eliminar el riesgo o disminuirlo, en un esfuerzo por evitar la ocurrencia de desastres. Estas actividades son realizadas mayormente por instituciones educativas, universidades y organizaciones no gubernamentales. Los componentes de esta área son: (1) **prevención**, que es el conjunto de acciones cuyo objeto es impedir o evitar que sucesos socio-naturales o generados por la actividad humana causen efectos adversos; en general, las medidas de prevención son costosas y poco viables para los gobiernos bajo la realidad existente; (2) **mitigación**, es el resultado de una intervención dirigida a reducir riesgos e implementar acciones que disminuyan la magnitud del evento y por ende, disminuir al máximo los daños.

Transferencia de riesgos. Forma parte del componente de reducción del riesgo y está integrado por todas las actividades e instrumentos dirigidos a reducir al mínimo o eliminar las pérdidas económicas generadas por un evento. Estos mecanismos no reducen la vulnerabilidad y son ineficaces económicamente.

Manejo de eventos adversos. En esta etapa se prevé como enfrentar de la mejor manera el impacto de los eventos y sus efectos, abarca la realización de acciones oportunas durante el evento y la reducción de las pérdidas en las propiedades. Las actividades en atención a desastres se han centrado tradicionalmente en esta etapa. Se trabaja a la par de la reducción del riesgo de manera que mediante el trabajo en la reducción de riesgos se reduzca el potencial de desastre hasta el nivel de emergencia y por tanto, se tenga una apropiada capacidad de respuesta, lo que resultará en menos pérdida de vidas, bienes y servicios; generando que menos recursos se inviertan en el restablecimiento de las condiciones de vida de la población afectada.

El *manejo de eventos adversos* tiene tres componentes, el primero se denomina **preparación** y se refiere al conjunto de medidas para reducir al mínimo la pérdida de vidas humanas y otros daños, organizando oportunamente la respuesta y rehabilitación. Ejemplo de las actividades de preparación son los planes de búsqueda y rescate, y los planes de contingencia según la naturaleza del riesgo y su grado de afectación. Un segundo componente corresponde a la **alerta**, que es el estado declarado con el fin de tomar precauciones específicas debido a la cercana y probable ocurrencia del evento adverso. El aviso oportuno depende de la velocidad de evolución del evento, pues aunque en algunos casos el desarrollo es lento como en los ciclones, también existen

aquellos de súbita aparición como los sismos ante los cuales no es posible generar un estado de alerta con suficiente antelación. El último componente es la **respuesta** y está compuesto por acciones que se llevan a cabo ante el evento adverso y que tienen por objeto salvar vidas, reducir el sufrimiento y disminuir las pérdidas. En la respuesta se realizan las actividades planeadas durante la preparación como la búsqueda y rescate de personas, alojamiento temporal y suministro de alimentos.

Recuperación. En esta área el objetivo principal es recuperar las condiciones de vida de una comunidad afectada por un evento adverso. Está integrada por dos etapas, la primera busca restablecer en el corto plazo y en forma transitoria los servicios básicos indispensables y la segunda, restituir de forma permanente las condiciones de vida de la comunidad afectada. Es muy importante que el proceso de reconstrucción contribuya a disminuir la vulnerabilidad.

1.3. LA EVALUACIÓN DE LA AMENAZA

El análisis de la susceptibilidad a incendios forestales es un componente de la evaluación de la amenaza que a su vez forma parte del área de análisis de riesgos. Una amenaza es un factor de riesgo externo que representa un peligro latente para las personas, la infraestructura y el ambiente en un sitio y tiempo determinado. Los incendios forestales se consideran una amenaza porque son un factor de riesgo externo que puede dañar a las personas, los medios de producción, la infraestructura y el ambiente.

En el apartado 1.1 se mencionó el distinto origen de las amenazas, naturales, siconaturales y antropogénicas según Sarmiento (2007). Las amenazas naturales son aquellas cuya ocurrencia está asociada a la dinámica propia del planeta. Bajo amenazas naturales se agrupan todos los fenómenos atmosféricos, hidrológicos y geológicos. Chardon y González (2002) incluyen a los incendios como amenaza natural ya que por su ubicación, severidad y frecuencia tienen el potencial de afectar adversamente al ser humano, sus estructuras y actividades (Figura 3). No obstante, estos autores excluyen del calificativo natural, a los fenómenos causados exclusivamente por el hombre, como la contaminación y a aquellos eventos naturales que son inducidos por el hombre a partir de sus condiciones sociales. Con esta premisa, solo los incendios que tienen causas de ignición naturales como rayos y actividad volcánica pueden incluirse en esta categoría.

La gran mayoría de los incendios en México tienen como causa de inicio directa o indirectamente las actividades del hombre, esta participación los excluye de ser clasificados como amenazas naturales y los coloca como amenazas socionaturales, mismas que Sarmiento (2007) define como aquellos eventos en cuya ocurrencia influyen los fenómenos asociados a la dinámica propia del planeta y las intervenciones del ser humano sobre el medio. Mientras que las amenazas antropogénicas son las que se desencadenan por la acción directa del ser humano sobre el medio, de manera no intencional, como los accidentes industriales, la contaminación y hasta la liberación de agentes biológico infecciosos.

Atmosféricos	Hidrológicos	Sísmicos	Volcánicos	Incendios
<ul style="list-style-type: none">•Granizo•Huracanes•Tornados•Tormentas tropicales	<ul style="list-style-type: none">•Inundación costera•Desertificación•Salinización•Sequía•Erosión•Desbordamiento de ríos	<ul style="list-style-type: none">•Fallas•Temblores•Licuefacción•Tsunamis•Olas ciclonicas	<ul style="list-style-type: none">•Gases•Cenizas•Flujo de lava•Flujos piroclásticos	<ul style="list-style-type: none">•Matorrales•Bosques•Pastizales•Sabanas

Figura 3. Clasificación de amenazas naturales.

Los incendios como amenazas naturales se limitan a aquellos cuya causa de ignición es de origen natural ya sea por factores volcánicos o la caída de rayos.

Fuente: Chardon y González, 2002.

Los incendios pueden considerarse amenazas concatenadas pues la probabilidad de la ocurrencia aumenta ante la presencia de condiciones idóneas generadas por amenazas volcánicas como agente causal, hidrológicas como la sequía, la cual disminuye la humedad en las plantas y en el ambiente, y hasta atmosféricas como los huracanes y tornados que generan la acumulación de material combustible.

La evaluación de la amenaza de igual forma que el estudio y análisis de la vulnerabilidad representa un paso fundamental en la estimación del riesgo. Debido a la complejidad de los sistemas físicos en los cuales interaccionan un gran número de variables que condicionan la presencia de un evento, aun no hay técnicas generalizadas para evaluar cada una de las amenazas posibles. Actualmente, la evaluación de las amenazas se realiza mediante la combinación del análisis probabilístico con el análisis del comportamiento físico de la fuente generadora, con base

en la información de eventos que han ocurrido en el pasado para modelar con algún grado de aproximación a los sistemas físicos involucrados (Cardona, 1993).

La evaluación de la amenaza puede efectuarse a corto plazo, con base en la búsqueda e interpretación de señales; a mediano plazo, a partir de la información probabilística de indicadores y a largo plazo, con apoyo en la determinación del evento máximo probable en un periodo de tiempo que pueda relacionarse con la planificación del área potencialmente afectable.

El tipo de metodología para la evaluación de la amenaza depende de la escala del espacio geográfico, del tipo de decisiones de mitigación que se espera tomar, de la información disponible, de la importancia económica y social de los elementos expuestos y de la consistencia entre los niveles de resolución posibles de obtener en cada etapa de la evaluación.

Generalmente, los resultados se plasman en mapas donde se observa una zonificación de áreas con un grado de amenaza homogéneo. A este tipo de cartografía se le conoce como mapas de amenaza y son un insumo fundamental para la planificación física y la gestión territorial. En este sentido, los SIG han facilitado significativamente la evaluación de las amenazas, ya que además de la elaboración de mapas, permiten la integración de modelos, la realización de sobreposiciones y cálculos entre capas de información, la utilización de retículas y la obtención de áreas, entre otras.

Soldano (2009) considera que hay cuatro tipos de análisis para evaluar la amenaza:

- Análisis histórico. Permite determinar periodos de retorno y magnitud de los mismos.
- Análisis heurístico. La susceptibilidad del territorio ante un tipo particular de amenaza es determinada por uno o más especialistas de acuerdo con su experiencia.
- Análisis estadístico. Analiza las condiciones bajo las cuales ocurrieron los eventos generadores de amenazas con base en relaciones estadísticas entre los datos de los mismos.
- Análisis determinístico. Simula los eventos mediante modelos matemáticos basados en los fenómenos físicos involucrados.

1.4. ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD A AMENAZAS

Soldano (2009) considera que la susceptibilidad está referida a la mayor o menor predisposición de que un evento suceda sobre determinado espacio geográfico. Pittaluga y Suvires (2010) consideran a la susceptibilidad como la propensión o tendencia de una zona a ser afectada físicamente por un peligro. La susceptibilidad no considera la probabilidad temporal de un evento (cuando o con qué frecuencia ocurrirá el evento), ni la magnitud del evento esperado. Con base en lo anterior, en este estudio, se considera a la susceptibilidad como la propensión de un sitio a ser afectado físicamente por una amenaza, en este caso, un incendio forestal, dadas sus condiciones biológicas, físicas y geográficas particulares.

La gran variedad de tipos de amenazas origina que no haya un método general para el análisis de la susceptibilidad, pues cada fenómeno tiene factores específicos que lo condicionan. A grandes rasgos, los estudios sobre susceptibilidad incluyen determinar las variables que intervienen en la amenaza, clasificar los parámetros y atribuir un coeficiente, para posteriormente, integrarlos a través de un sistema de información geográfica.

Diversos autores han determinado la susceptibilidad a amenazas principalmente para fenómenos hidrológicos como inundaciones y erosión hídrica, y geológicos tales como deslizamientos y subsidencia.

Roa (2006) elaboró mapas de susceptibilidad a deslizamientos en una comunidad de Venezuela, a través de evaluación multicriterio con los factores geográficos asociados a la inestabilidad del área analizada y en un ambiente SIG. Arévalo y Parias (2013) analizaron la susceptibilidad a los fenómenos de remoción en masa, considerados como una amenaza geológica en una región de Colombia mediante el uso de un SIG. A través de la revisión de literatura identificaron las variables que determinan la estabilidad del terreno y la amenaza de la remoción en masa, ponderaron cada una y sumaron para obtener el mapa de zonificación.

Por su parte, Pittaluga y Suvires (2010) determinaron la susceptibilidad a las inundaciones por crecientes estivales y desbordes en la cuenca del Río Castaño, Argentina. Se zonificaron las áreas más susceptibles a las amenazas considerando la relación existente entre los rasgos geomorfológicos, climáticos y los peligros.

Evaluación de la susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí, México, una contribución a la gestión del riesgo.

En tanto, Ceballos y Toro (2012) evaluaron la susceptibilidad a la erosión en el municipio de Anori, Colombia por medio de la utilización de sistemas de información geográfica y con base en la evaluación espacial de diferentes variables hidrológicas, topográficas, geológicas y coberturas vegetales, las cuales componen la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo.

Así también, Herrera (2012) determinó el grado de susceptibilidad a la subsidencia ambiental en el estado de San Luis Potosí, a través de la identificación de los elementos que favorecen la ocurrencia del fenómeno mediante una metodología donde se asignó un peso específico a cada elemento de acuerdo a sus características y la suma del peso de cada variable permitió realizar la zonificación y plasmarla en un mapa.

El análisis de susceptibilidad es poco aplicado como tal en el estudio de los incendios forestales; no obstante, en Latinoamérica existen trabajos como el de Ramírez (1999) quien determinó la susceptibilidad de la Reserva de la Biósfera Maya en Guatemala utilizando imágenes AHVRR para determinar el Índice de Vegetación Normalizada (NDVI) y obtener las clases de vegetación que fueron caracterizadas mediante la frecuencia de puntos de calor. Para obtener la susceptibilidad, además de la vegetación utilizó frontera agrícola, vías de acceso y poblados. Estas variables se integraron con evaluación multicriterio y dividió al mapa resultante en tres categorías de susceptibilidad (alta, media, baja).

Gutiérrez (2004) analizó la susceptibilidad en una región de Nicaragua mediante la determinación de los factores que intervienen en el fenómeno a través de encuestas a la población, asignó pesos a cada factor y los integró en un SIG. Por su parte, Solarte (2009) obtuvo la susceptibilidad en un área de Colombia, utilizando imágenes satelitales Landsat para cartografiar el patrón de distribución de combustibles forestales en función del NDVI.

CAPITULO 2. INCENDIOS FORESTALES

2.1. GENERALIDADES SOBRE INCENDIOS FORESTALES

Flores (2009) define un incendio forestal como la propagación libre del fuego sobre la vegetación. El fuego es la liberación de luz y calor producto de la combustión (Rodríguez et al., 2002); y para que se origine se requiere de material combustible, calor y oxígeno.

Se denomina combustible forestal a todo material vegetal que por sus características físicas y químicas puede o no arder según los factores ambientales prevalecientes en ese momento o cuando es expuesta a una fuente de calor externa (Rodríguez et al., 2002; Villers, 2006). Por su composición pueden clasificarse en combustibles ligeros y pesados. Los ligeros están constituidos por ramillas muertas, hojarasca, hierbas y detritos. Generalmente, se acumulan por la caída natural de diferentes estratos vegetales. Los combustibles pesados están constituidos por ramas, tallos, troncos muertos, derivados de caídas naturales o producto del aprovechamiento de la vegetación. Lo inflamable de los combustibles depende de la cantidad, el tamaño y la forma de los mismos, el contenido de humedad y la presencia de sustancias químicas (Flores, 2009).

2.1.1. TIPOS Y CAUSAS DE LOS INCENDIOS FORESTALES

Los incendios forestales se catalogan genéricamente en función del combustible que facilita su avance y asegura su alimentación. Según la parte de la vegetación que se afecta, los incendios se pueden clasificar como se muestra a continuación (Arnaldos et al., 2004; CONABIO, 1998; Flores, 2009).

- Incendio subterráneo. Se produce en las capas orgánicas del suelo forestal debido a la escasez de oxígeno. Se desarrolla prácticamente sin llama y de manera lenta pero persistente, genera una gran cantidad de calor por lo que resulta muy destructivos para el suelo y sus componentes vivos. Este tipo de incendios son poco frecuentes en México. Generalmente se presentan en bosques de encino con abundantes afloramientos rocosos y en selvas.
- Incendio superficial. Es el que se desarrolla sobre el suelo forestal; sin alcanzar a quemar las copas de los arboles pero que consume el material combustible compuesto por los

troncos derribados, tocones, ramas, hojas, hierbas y renuevos. Daña la vegetación que se encuentra entre la superficie y hasta a 1.5 m de altura. Se propaga rápidamente y genera grandes llamas y humaredas. Son los más comunes en México, en pastizales, sabanas, bosques de pino-encino, entre otros.

- Incendio de copa, de corona o aéreo. En este incendio las llamas pasan de una copa a otra con gran rapidez. Es causado por un incendio superficial, en el que la resina que escurre de los árboles se incendia o en el que el viento aviva las llamas de tal manera que alcanzan el follaje. Son frecuentes en los bosques de coníferas y los matorrales debido a la acumulación de las hojas muertas y secas. Son nocivos para la fauna silvestre y poco habituales en México.
- Incendio integral. Es aquel que afecta todos los estratos del ecosistema vegetal.

2.1.2. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL INICIO Y PROPAGACIÓN DE LOS INCENDIOS FORESTALES.

Se denomina factores ambientales al conjunto de circunstancias en las que se inicia y desarrolla un incendio forestal (Arnaldos et al., 2004); estos se dividen en permanentes y transitorios. Los permanentes abarcan la composición de los combustibles, la estructura vegetal y la topografía; tienden a permanecer estables en periodos de tiempo relativamente largos. Los factores transitorios están relacionados con elementos meteorológicos como la temperatura, la humedad relativa, la dirección y velocidad del viento y la precipitación pluvial (Estrada, 2006; Flores, 2009).

Arnaldos et al. (2004), propone como los factores más significativos en el inicio y propagación de un incendio a los que se muestran en la Figura 4. Muchos de los elementos y procesos mostrados están interrelacionados, algunos en sentido sinérgico y otros como causa - efecto. Hay relaciones que son conocidas, por ejemplo la influencia de la precipitación en la vegetación o la relación entre la radiación solar y la temperatura del suelo pero en general, la relación entre los incendios forestales y el resto de los factores ambientales ha sido poco estudiada. Dada la intrincada red de interacciones entre los procesos y elementos, se considera a los incendios forestales como un fenómeno físico, químico y social complejo.

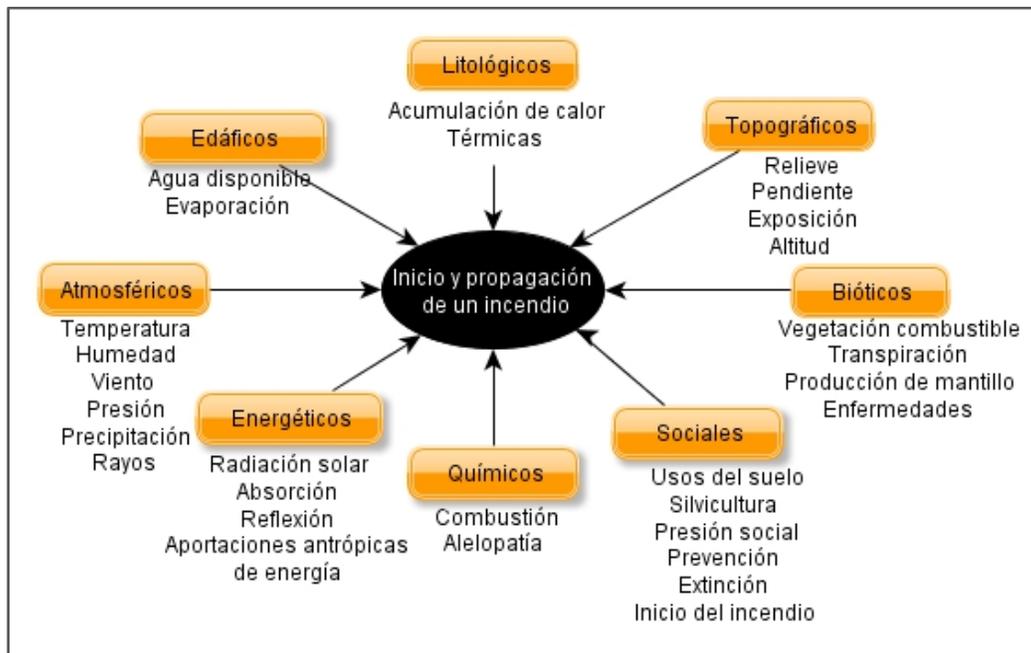


Figura 4. Factores ambientales, variables y procesos más importantes que influyen en el inicio y propagación de los incendios forestales.

Fuente: Arnaldos et al., 2004.

Los elementos más representativos señalados por diversos autores (Arnaldos et al., 2004; Villers, 2006; Flores y Benavides, 2006; Flores, 2009) como directamente relacionados con el inicio y propagación de un incendio forestal se enuncian en los siguientes apartados.

2.1.2.1. FACTORES PERMANENTES

2.1.2.1.1. TOPOGRAFÍA

Se denomina factores topográficos al conjunto de características físicas de la superficie de la Tierra ligadas al relieve. Las más importantes en relación con los incendios forestales son: altitud, pendiente, exposición y morfología. Se consideran estáticos y su efecto es el de modificar parte del resto de los factores ambientales.

ALTITUD

La presión atmosférica se reduce conforme aumenta la altitud. La reducción en la densidad de la atmósfera implica una reducción de la capacidad de retención de calor y en consecuencia, de la temperatura. El gradiente altitudinal determina las diferencias climáticas entre las zonas y es

responsable, de la estratificación altitudinal de los diferentes tipos de vegetación y la producción de material combustible. En altitudes bajas se presentan altas temperaturas que mantienen el combustible natural más seco y con riesgo de arder.

PENDIENTE

La inclinación del terreno es determinante ya que en combinación con el viento, influye directamente en la velocidad de propagación del incendio; en general a mayor pendiente mayor velocidad de propagación. En la ignición se relaciona directamente con la cantidad de radiación solar recibida.

ORIENTACIÓN

La orientación de la ladera en conjunción con la pendiente determina la cantidad de radiación solar recibida en la superficie. En el hemisferio norte las solanas con orientación sur reciben el máximo de radiación, en consecuencia su humedad relativa es menor ya que las temperaturas son más altas y la pérdida de humedad más rápida por lo que el combustible tiende a ser más seco y se favorece la ignición. Por lo anterior, la capacidad de autodefensa de la vegetación en estos sitios es menor en comparación con la vegetación de las umbrías. En las solanas, la propagación de los incendios es más rápida y los periodos de riesgo de propagación son más largos que en las umbrías. En México, los sitios con exposición sur y suroeste son los que reciben la mayor incidencia de radiación solar con las consecuencias antes mencionadas. Villers (2006) menciona que las laderas donde el material combustible estará más seco varían según la época del año, la hora del día y la latitud.

2.1.2.1.2. BIÓTICOS

VEGETACIÓN

La vegetación es uno de los factores principales en el inicio y la propagación de un incendio pues es la proveedora de material combustible. Arnaldos et al. (2004) mencionan que el conocimiento de la estructura, la composición, el funcionamiento y la respuesta de las comunidades vegetales frente a los incendios constituye la base sobre la que se califica su condición como material combustible. Diferentes tipos de vegetación producen distintos tipos de combustibles que condicionan la ocurrencia y el comportamiento de los incendios forestales (Brown y Smith, 2000

en Flores, 2009). La relación de los grupos genéricos de vegetación con la ocurrencia de incendios forestales según Flores (2009), Jardel et al. (2009), Golicher y Ramírez (2003) y Flores y Benavides (2006) se presenta a continuación.

- **CONÍFERAS**

Es el tipo de vegetación más susceptible al fuego, debido a la rapidez del proceso de deshidratación de sus hojas verdes; además, aporta constantemente hojarasca al suelo y una vez iniciado el incendio, el proceso de combustión se alimenta de esta hojarasca. La resina que producen representa un peligro ya que actúa como combustible y acelera la propagación del fuego. Los bosques con predominio de pino son los de mayor vulnerabilidad debido a que forman doseles abiertos que permiten que la energía solar llegue al suelo, lo que acelera la tasa de desecación del material combustible; por otro lado, los pinos durante su crecimiento compiten intensamente por la luz, de modo que hay un continuo aporte de hojas y ramas muertas al suelo, lo que favorece la acumulación de combustible y por ende el riesgo de ocurrencia de incendios forestales.

Entre los efectos positivos del fuego en los bosques templados de coníferas se mencionan los siguientes: favorece la apertura de conos y la emisión de semillas, controla ciertas plagas, contribuye a la renovación del pastizal haciéndolo apetecible para el ganado y para la fauna silvestre, abate el material combustible reduciendo riesgos de incendios mayores. Entre los efectos perjudiciales del fuego se encuentran: limita o afecta a la regeneración natural, afecta el arbolado comercial y ocasiona pérdidas económicas, predispone al arbolado adulto al ataque de plagas y enfermedades, favorece la invasión de especies no deseables y ocasiona daños severos a la capa de suelo superficial.

- **LATIFOLIADAS**

Este tipo de vegetación produce grandes cantidades de hojarasca y de combustibles pesados, pero no presenta estragos tan considerables como los ocurridos en los bosques con predominio de pinos. Sin embargo, el material combustible que genera representa un riesgo. Los efectos negativos del fuego son la alteración en la biodiversidad y la destrucción de especies comerciales, lo que genera a su vez pérdidas económicas. Como positivos mejora la disponibilidad de nutrimentos y favorece la regeneración de especies.

- **VEGETACIÓN CON PREDOMINANCIA DE ESPECIES HERBÁCEAS**

Aunque estos tipos de vegetación no aportan gran cantidad de material combustible, son consideradas riesgosas porque los incendios no comienzan en el arbolado, sino en estratos inferiores donde crecen hierbas, arbustos, matorrales y pastizales. El manejo de pastizales naturales e inducidos conlleva la utilización del fuego como una manera de incentivar la regeneración y el desarrollo vegetativo de las especies de interés para la alimentación del ganado; así como para evitar el desarrollo de plantas leñosas. En las praderas y pastizales, el fuego se propaga de manera rápida e intensa, al consumir la biomasa de las herbáceas, sin afectar a las raíces y rizomas, de modo que, como fue mencionado con anterioridad las plantas rebrotan y se recuperan rápidamente. A su vez, la frecuencia de incendios inhibe el establecimiento de plantas leñosas, al matar plántulas y juveniles y favorece la persistencia de pastos y hierbas.

- **MATORRALES**

Los matorrales de zonas áridas no aportan gran cantidad de material combustible, sin embargo, se ven afectados por el fuego en el proceso de regeneración, la riqueza y composición de especies. En general, el fuego modifica la abundancia relativa y cambia la composición de especies en los matorrales, y reduce fuentes de trabajo relacionadas con la recolección de especies vegetales (orégano, lechuguilla y jojoba). Entre las fortalezas de este tipo de vegetación ante el fuego está su alta capacidad de resiliencia, puesto que presentan una rápida regeneración después del disturbio y por otro lado vuelve comestibles para el ganado y la fauna silvestre algunas especies principalmente del género *Opuntia*.

2.1.2.1.3. CLIMA

El clima se define como el estado más frecuente de la atmósfera en un lugar específico y se determina con base en información estadística de variables atmosféricas en un lapso de tiempo. El tipo de clima puede considerarse dentro de los factores permanentes porque determina la vegetación dominante en una región y por lo tanto la cantidad y tipos de combustibles disponibles para propagar el fuego (Rivas, 1987 en Moreno, 2005).

2.1.2.2. FACTORES TRANSITORIOS

Los factores transitorios están constituidos principalmente por variables meteorológicas. Mérida (2000 citado por Moreno, 2005) menciona que la temperatura, la velocidad del viento, la humedad relativa y la estabilidad de la atmósfera son las variables meteorológicas que juegan un papel de gran importancia en el desarrollo de un incendio.

2.1.2.2.1. TIEMPO ATMOSFÉRICO

El tiempo atmosférico es el estado físico que adopta la atmósfera en un lugar específico en un momento determinado, tiene una gran influencia en el inicio y propagación de un incendio, es incontrolable y difícil de predecir. La temperatura, dirección y velocidad del viento son los elementos que modulan el inicio y la propagación de un incendio. La humedad relativa decrece rápidamente con el incremento de la radiación solar, esto puede reducir el calor necesario para la ignición y la combustión. La temperatura, humedad relativa, y consecuentemente, la conducta del fuego puede cambiar rápidamente con el viento, cobertura de nubes y movimientos de masas de aire.

VIENTO

El viento se origina como consecuencia de las diferencias de presión atmosférica entre la superficie de la Tierra. La influencia del viento sobre los incendios forestales se distingue previamente y durante el incendio. El viento puede favorecer el inicio y la propagación de los incendios al reducir los sistemas de autodefensa de los materiales combustibles. Los vientos cálidos y secos reducen la humedad relativa y por tanto incrementan la transpiración y el déficit hídrico de las plantas vivas. Por otro lado, vientos superiores a los 60 km por hora pueden afectar a la vegetación al romper ramas, desprender hojas o al arrancar individuos de raíz y con ello, incrementar la cantidad de material combustible.

Durante el incendio, la influencia del viento es variable. Por un lado, aporta una cantidad de oxígeno superior al necesario para la combustión completa y aumenta la velocidad del proceso; así también, inclina las llamas y las columnas convectivas que genera favorecen la transferencia de calor a la vegetación e infraestructuras circundantes; y por último, las turbulencias provocan cambios en la velocidad y dirección del incendio, lo que incrementa las dificultades de extinción y el riesgo de accidentes.

TEMPERATURA

Es la unidad de medida de la intensidad del calor, la cual desciende según aumenta la altitud, a razón de un grado por cada 180 m de elevación. Mientras más elevada es la temperatura, más baja es la humedad del ambiente (en condiciones de humedad absoluta constante) y por lo tanto, los combustibles forestales pierden humedad, se desecan y pueden arder con facilidad.

HUMEDAD RELATIVA

La humedad relativa es la relación que existe entre la cantidad de vapor de agua que contiene el aire y el máximo que puede contener a la misma temperatura. Los combustibles muertos, como las ramas desprendidas, hojarasca y mantillo tienen la capacidad de absorber humedad de la atmósfera y cuando el contenido de humedad de los combustibles muertos es mayor que la humedad del ambiente, el agua del material combustible se evapora. Por el contrario, cuando la humedad del ambiente es mayor que la humedad contenida en el material combustible, este absorbe la humedad del aire. La humedad relativa varía inversamente con la temperatura, es decir, a mayor temperatura, menor humedad relativa.

2.1.2.3. FACTORES SOCIALES

Sea cual sea la condición de los sistemas vegetales, estos no pueden iniciar el proceso de combustión si no existe una aportación exterior de energía superior a la que reciben del sol. Las condiciones para iniciar la combustión sólo se dan de forma natural cuando un rayo o una erupción volcánica impactan sobre la vegetación. El resto de las causas tiene directa o indirectamente origen humano, por lo que es fundamental incluir a los factores sociales relacionados con la ocurrencia de incendios forestales y con el uso y manejo del fuego en los índices de susceptibilidad y peligro.

El fuego es un elemento modificador del paisaje que ha desempeñado un papel importante a lo largo de la historia. La mayor parte de las comunidades vegetales del mundo tienen una larga historia de incendios de origen antropogénico que se asocian a las prácticas de conversión del uso del suelo y posteriormente a actividades agropecuarias, o simplemente a actitudes irresponsables.

Autores como Rodríguez et al. (2002), Golicher y Ramírez (2003) y Frausto (2006) han realizado un acercamiento a los procesos sociales que intervienen en la incidencia de incendios forestales. Rodríguez et al. (2002) considera que el crecimiento de la población y la pobreza son procesos que aumentan el riesgo de incendios, porque las personas tienden a hacer un mal uso del fuego en las zonas rurales, forzadas por la situación en la que viven y por la falta de una cultura forestal.

Por su parte, Frausto (2006) menciona que las comunidades campesinas e indígenas mantienen el uso del fuego para obtener alimentos y renovar sus recursos naturales conforme a determinados patrones socioculturales, tradiciones y recursos técnico-económicos disponibles. No obstante, con el incremento de la población, la disminución de la capacidad productiva y el quebrantamiento de la economía campesina, el uso del fuego en zonas rurales representa ahora una preocupación a nivel internacional.

Golicher y Ramírez (2003) consideran que la actividad humana también puede tener efectos positivos, principalmente en la reducción del material combustible. El aclareo de árboles jóvenes combinado con algunas formas de extracción como la recolección de leña, pueden reducir la acumulación de combustible y prevenir incendios graves; las quemadas controladas a nivel de suelo pueden tener el mismo efecto.

2.2. IMPACTOS DE LOS INCENDIOS FORESTALES

Los incendios forestales son percibidos por la población en general como dañinos; sin embargo, el fuego constituye un elemento más de los ecosistemas y forma parte de la dinámica ecológica de los mismos. Independientemente de su efecto positivo o negativo, los incendios son un fenómeno natural recurrente en los ecosistemas forestales (Flores, 2009).

La interacción entre el fuego y los ecosistemas se refleja en el reciclaje de nutrientes, la sucesión del hábitat de la vida silvestre, la manutención de la diversidad biológica, la reducción en la cantidad de biomasa, el control de plagas, entre otros. Asimismo, el fuego tiene efectos en otros elementos del ambiente como el aire, el suelo, el balance hidrológico y el paisaje.

Efectos en la fauna silvestre. El efecto directo es la mortalidad. En el caso de animales vertebrados el número es relativamente bajo, sin embargo, en las comunidades de invertebrados los impactos

son mayores tanto en las poblaciones, como en el suplemento de alimento y sus mecanismos de protección.

El impacto inmediato de un incendio es la drástica modificación de la estructura de los hábitats y del microclima local, lo cual puede tener un efecto negativo o positivo dependiendo de las especies animales (Millar, 1992 en Flores, 2009). Los efectos en la fauna silvestre son principalmente indirectos y van desde la disminución o incremento de alimento para ciertas especies hasta la pérdida y/o modificación de sitios de anidamiento y de refugio.

Impactos en la vegetación. La frecuencia natural y la intensidad del fuego varían de acuerdo con el tipo de comunidad vegetal. Mientras que algunas especies o comunidades florecen después de un incendio, otras son eliminadas o limitadas en su desarrollo por el fuego. El impacto del fuego cobra especial importancia por la relación de la vegetación con otros componentes del ecosistema como el suelo, la fauna y el agua (Flores, 2009).

Gran cantidad de plantas están adaptadas a los disturbios periódicos creados por el fuego. Muchos ecosistemas han evolucionado con la presencia del fuego y las especies han desarrollado adaptaciones como corteza gruesa, frutos serótinicos, agresividad en la regeneración, rápido crecimiento juvenil y floración temprana bajo ciertos regímenes de fuego que les permiten mitigar sus impactos y utilizar su presencia para su desarrollo (Komarek , 1967 en Flores, 2009). Por lo contrario, hay ecosistemas muy sensibles al fuego, donde las especies no poseen adaptaciones para hacer frente a los incendios.

Existen también comunidades dependientes del fuego pues necesitan a este elemento para propiciar condiciones favorables para su regeneración y desarrollo. Por ejemplo, la apertura de áreas para que se disperse la semilla, la reducción de la competencia con otras especies y la eliminación de la hojarasca para que la semilla germine en el suelo.

Impactos en el agua. Los efectos de los incendios en los cuerpos de agua se reflejan en el aumento en las escorrentías que transportan sedimentos, nutrientes y otros materiales que pueden disminuir la calidad del agua (Flores, 2009). El balance hidrológico de un ecosistema también puede verse alterado, pues se reduce la cobertura vegetal y minimiza la permeabilidad del suelo, por lo que la infiltración disminuye.

Impactos en el suelo. Los efectos de los incendios dependen de la intensidad del fuego, el tiempo de exposición, la frecuencia del fuego, las características del suelo y la cobertura vegetal (Flores, 2009). Debido a lo anterior, los efectos son variables en magnitud y sentido; por ejemplo, un incendio intenso puede afectar la productividad de un suelo al incinerar la materia orgánica, eliminar la humedad, alterar la estructura y eliminar a la población del edafón, pues el calor provoca un efecto de esterilización; en contraste, puede favorecer la disponibilidad de algunos elementos minerales.

Algunas propiedades y elementos del suelo como el pH, el fósforo, el potasio intercambiable, el calcio y el magnesio incrementan después de un incendio (DeBano, 1978 en Flores, 2009). Por otro lado, la erosionabilidad del suelo se ve potencialmente afectada, pues incrementa su susceptibilidad, aunque necesita conjugarse con otros factores como el grado de eliminación de la cobertura, la pendiente, la humedad disponible del suelo, las características climáticas y la rapidez de recuperación de las especies vegetales (Flores, 2009).

Impactos en el aire. Los incendios forestales afectan principalmente la calidad del aire al emitir grandes cantidades de partículas a través del humo, asimismo, constituye un reductor de la visibilidad, lo cual puede tornarse peligroso en áreas transitadas.

El humo es una mezcla compleja de dióxido de carbono, vapor de agua, monóxido de carbono, partículas materiales, hidrocarburos y otros compuestos químicos orgánicos, óxidos de nitrógeno y trazas de minerales; el contenido preciso dependerá de la fuente de combustible (Seltzer et al., 2007). La cantidad de humo emitido varía en función del tipo de combustible, el contenido de humedad, el comportamiento del fuego y la velocidad de propagación (Flores, 2009).

Impactos a la salud humana. El desarrollo de los problemas de salud como consecuencia de los incendios forestales depende del origen del combustible, la duración y el grado de la exposición, la edad y la salud del individuo expuesto. Según la OMS (2012) los incendios forestales pueden tener repercusiones sanitarias agudas y crónicas, tales como quemaduras, posible aumento del asma y de otras enfermedades respiratorias, alteraciones en la función pulmonar (en estos casos principalmente a causa del humo). Además, pueden causar la muerte de bomberos, brigadistas, y accidentes de tránsito debido al humo y la consecuente reducción de la visibilidad.

2.3. INCENDIOS FORESTALES EN MÉXICO

Los incendios forestales han estado asociados a la vegetación de México desde tiempos inmemorables. Las civilizaciones mexicanas antiguas, establecieron sistemas de manejo de los recursos naturales basados en la rotación de áreas de cultivo y el uso del fuego (roza-tumba-quema) con las que lograron mantener la capacidad de producción de los suelos y satisfacer la demanda de alimentos de la población (Frausto, 2006).

En México existen dos temporadas de incendios, en la zona Centro, noreste, sur y sureste de enero a junio; mientras que en el noroeste de mayo a septiembre. En la Figura 5 puede observarse el comportamiento de los incendios forestales en relación con el número de incendios y superficie afectada en el periodo 1998-2012, mismo que se eligió básicamente por la disposición de información y porque un periodo superior a 10 años tiene un buen grado de representatividad. En promedio cada año en el país ocurren 8000 incendios que afectan en mayor o menor grado a todos los ecosistemas terrestres del país (CONAFOR, 2013).

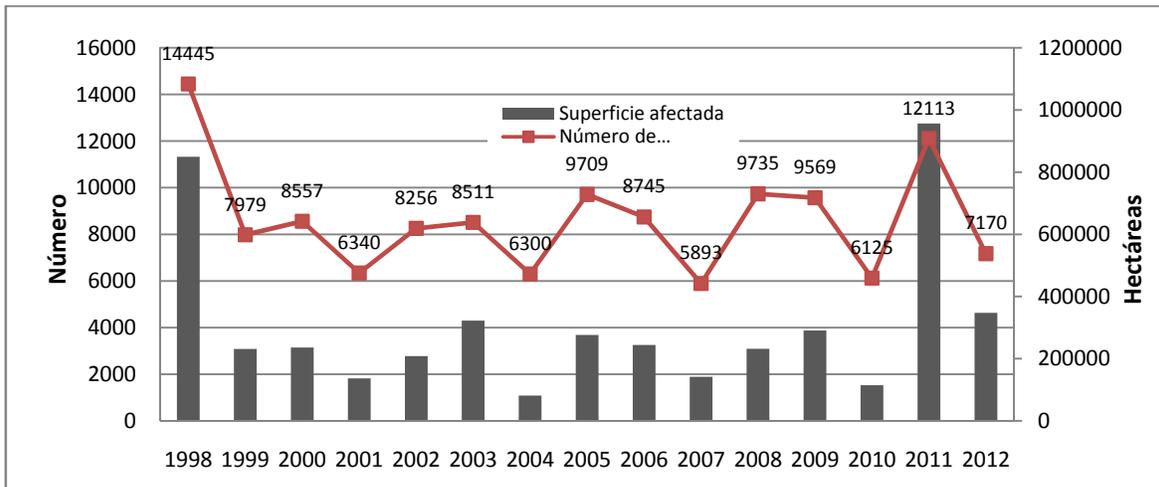


Figura 5. Número de incendios y superficie afectada en México en el periodo 1998-2012.

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAFOR, 2013.

Según los datos de CONAFOR (2013), el mayor número de incendios registrados ocurrió en 1998 con 14 445 que afectaron 849 633 ha, mientras que el año con menor número de incendios fue 2007 con 5893 incendios. El año 2011 destaca como el de máxima afectación histórica en cuanto a superficie quemada con 956 405 ha en 12 113 conflagraciones. Cabe mencionar, que el mínimo

Evaluación de la susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí, México, una contribución a la gestión del riesgo.

histórico registrado corresponde al año 1959, con 759 incendios que afectaron 23 000 ha (Rodríguez et al., 2002; CONAFOR, 2013).

La alta frecuencia de incendios del año 1998 de acuerdo con Flores y Gómez (2009) es el resultado de dos variables: (I) la presencia del huracán Paulina en 1997 que dejó a su paso gran cantidad de material combustible y (II) la presencia de condiciones climáticas favorecidas por el fenómeno de El Niño, mismas que provocaron circunstancias extremas de baja humedad relativa del aire, bajo contenido de humedad de la vegetación, altas temperaturas y vientos cálidos. En este año se conjugaron condiciones directas (sequías) e indirectas (producción y disponibilidad de combustibles) favorables para la ocurrencia de incendios forestales.

Las causas de los incendios forestales en México son atribuibles principalmente a actividades humanas (98%) y el resto a causas naturales derivadas de fenómenos como descargas eléctricas (Ressl y Cruz, 2012). Durante el año 2012, las actividades agrícolas fueron las causantes del 36% de las conflagraciones, seguidas de causas desconocidas con el 23%, las fogatas de paseantes y los fumadores, se ubican a continuación con 15% y 10%, respectivamente. Con menor porcentaje se encuentran la quema de basureros, los litigios por tenencia de la tierra, las rencillas o conflictos entre vecinos, los cultivos ilícitos, los cazadores furtivos y las descargas eléctricas. Esta última, es la única que se clasifica como causa natural y es la responsable de solo el 3% de los incendios en ese año (Figura 6).

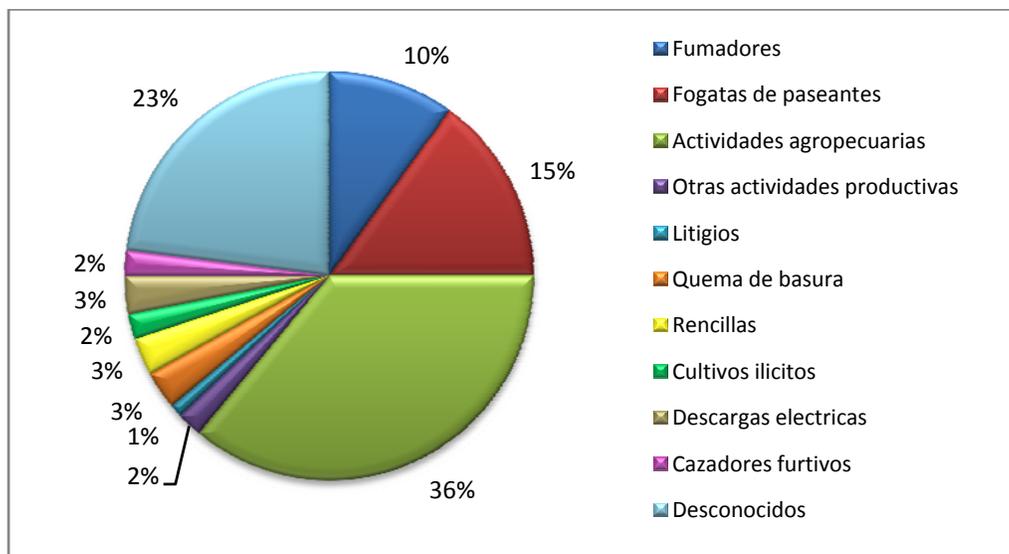


Figura 6. Causas de los incendios forestales en México en el año 2012.

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAFOR, 2013.

2.4. INCENDIOS FORESTALES EN EL ESTADO DE SAN LUIS POTOSÍ

San Luis Potosí se caracteriza por ubicarse dentro de los estados con menor incidencia de incendios a nivel nacional. En el año 2012 se ubicó entre las diez entidades con menor número de incendios y superficie afectada (CONAFOR - SLP, 2013). Sin embargo, sobresale como uno de los principales estados con afectaciones en matorrales, puesto que es la vegetación predominante en el estado. En el periodo 2000-2012 se presentaron 984 incendios que afectaron 38 085.11 ha, siendo los años 2008 y 2011 sobresalientes por el número de incendios, 157 y 136, respectivamente; mientras que 2011 se alza como el año con más superficie afectada con 13 496.75 ha (Figura 7).

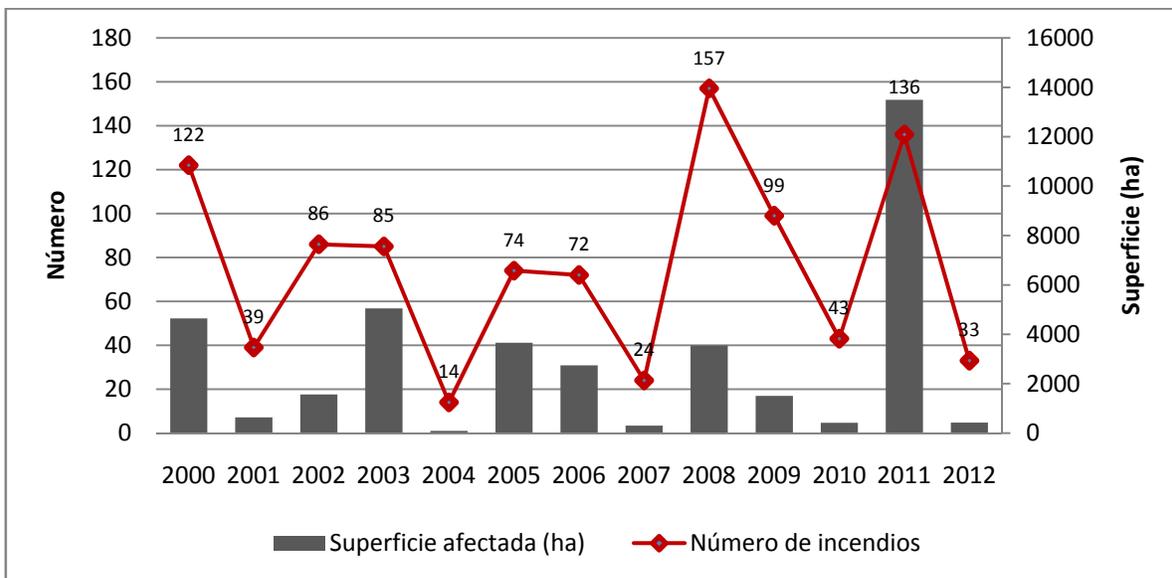


Figura 7. Número de incendios y superficie afectada en San Luis Potosí en el periodo 2000-2012.

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAFOR-SLP, 2013.

En la Figura 8 se observa que el número de incendios no tiene una relación proporcional con la superficie afectada, ya que el tamaño de los incendios varía en función de la cantidad de material combustible disponible, del tiempo atmosférico, de la accesibilidad al sitio y de la capacidad de los brigadistas para la respuesta y la extinción, entre otras.

Al agrupar el número de incendios por región administrativa, la Huasteca resulta con la mayor cantidad de conflagraciones con 478 a lo largo del periodo de estudio, sigue la zona Media con 239, la región Centro con 179 y el Altiplano con 88. En la Huasteca los municipios más afectados son Ciudad Valles, Tamasopo y El Naranjo; dentro de la zona Media sobresalen Rioverde y Ciudad

del Maíz; en la región Centro, Santa María del Río, Mexquitic y San Luis Potosí y en el Altiplano, Guadalcázar y Villa de Guadalupe (Figura 8).

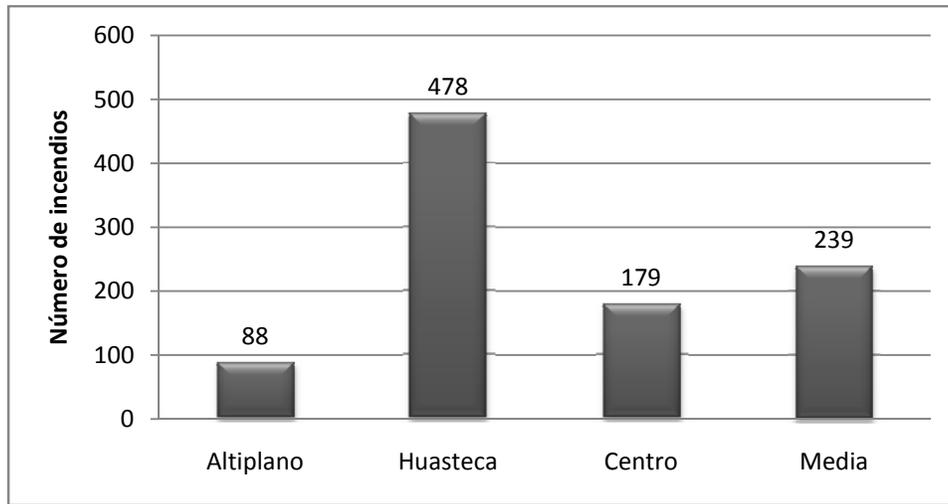


Figura 8. Número de incendios por región administrativa en el período 2000-2012.

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAFOR - SLP, 2013.

La CONAFOR clasifica en cuatro categorías a la vegetación afectada por incendios forestales. En el período 2000-2012 la vegetación arbustiva fue la más afectada con 26 786.25 ha, seguida del pastizal con 7133.33 ha, el renuevo (incluye arboles poco desarrollados) con 2791.00 ha y en menor proporción, el arbolado adulto con 1374.13 ha (Figura 9).

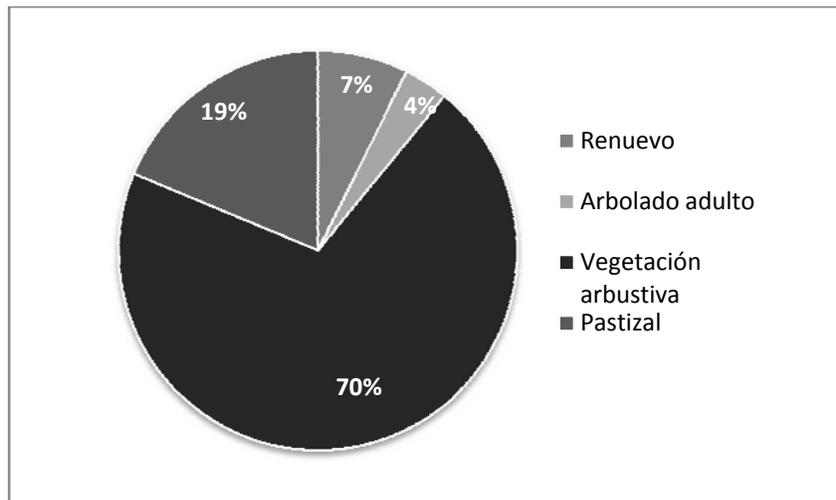


Figura 9. Clasificación de vegetación afectada por incendios en el período 2000-2012.

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAFOR - SLP, 2013.

En cuanto a las causas de inicio de los incendios forestales en el estado para el periodo de estudio, el 85% tienen su origen en las actividades humanas, entre ellas predominan las actividades

agrícolas, los fumadores que arrojan colillas mal apagadas, las fogatas y la quema de basura; el resto de los incendios es causado por descargas eléctricas y causas no determinadas (Figura 10).

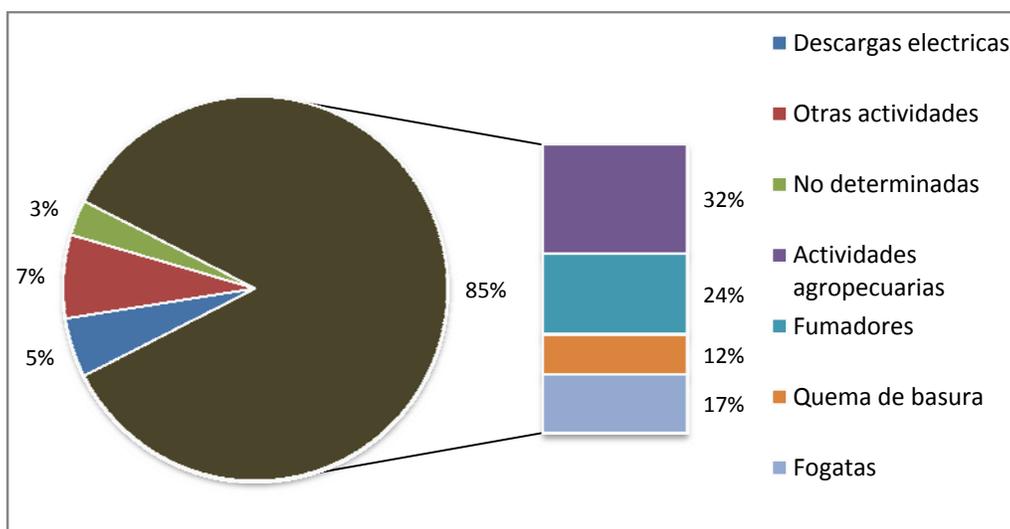


Figura 10. Causas de los incendios forestales en San Luis Potosí en el período 2000- 2012.

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAFOR-SLP, 2013.

2.4.1. LEY PARA LA PREVENCIÓN Y MANEJO INTEGRAL E INSTITUCIONAL DE LOS INCENDIOS FORESTALES EN EL ESTADO DE SAN LUIS POTOSÍ (LPMIIIFESLP)

Publicada el 07 de diciembre de 2013 en el Periódico Oficial del Estado Libre y Soberano de San Luis Potosí. Tiene por objeto: a) promover la participación social, la del gobierno del estado y los municipios en la prevención, detección, control y combate de los incendios forestales; b) regular el uso del fuego en las actividades agropecuarias y silvícolas; c) establecer las especificaciones técnicas para el manejo del fuego con el propósito de disminuir el impacto social, ambiental y económico de los incendios y, d) establecer las bases para el control y normatividad de las quemas controladas.

En esta ley se categoriza a los municipios del estado como de alto o bajo riesgo de incendios (Cuadro 1). Los municipios de alto riesgo se caracterizan por sus altas temperaturas, grandes cantidades de material combustible vegetal, orografía del terreno y uso frecuente del fuego en actividades agropecuarias; mientras que los municipios de bajo riesgo tienen poco material combustible y poca utilización del fuego en actividades agropecuarias (LPMIIIFESLP, 2013).

Cuadro 1. Clasificación de municipios por riesgo de incendio según la LPMIIIIFESLP.

Zona 1 (alto riesgo)	Zona 2 (bajo riesgo)
Región Centro: Santa María del Río, Mexquitic de Carmona, Villa de Reyes Región Media: Alaquines, Ciudad del Maíz, Rayón, Ríoverde, San Ciro de Acosta, Lagunillas, Santa Catarina Región Huasteca: Aquismón, Ciudad Valles, Ébano, El Naranjo, Tancanhuitz, Tamasopo, Tamazunchale, Tamuín, Xilitla.	Resto de los municipios

Fuente: Elaboración propia con datos de la LPMIIIIFESLP (2013).

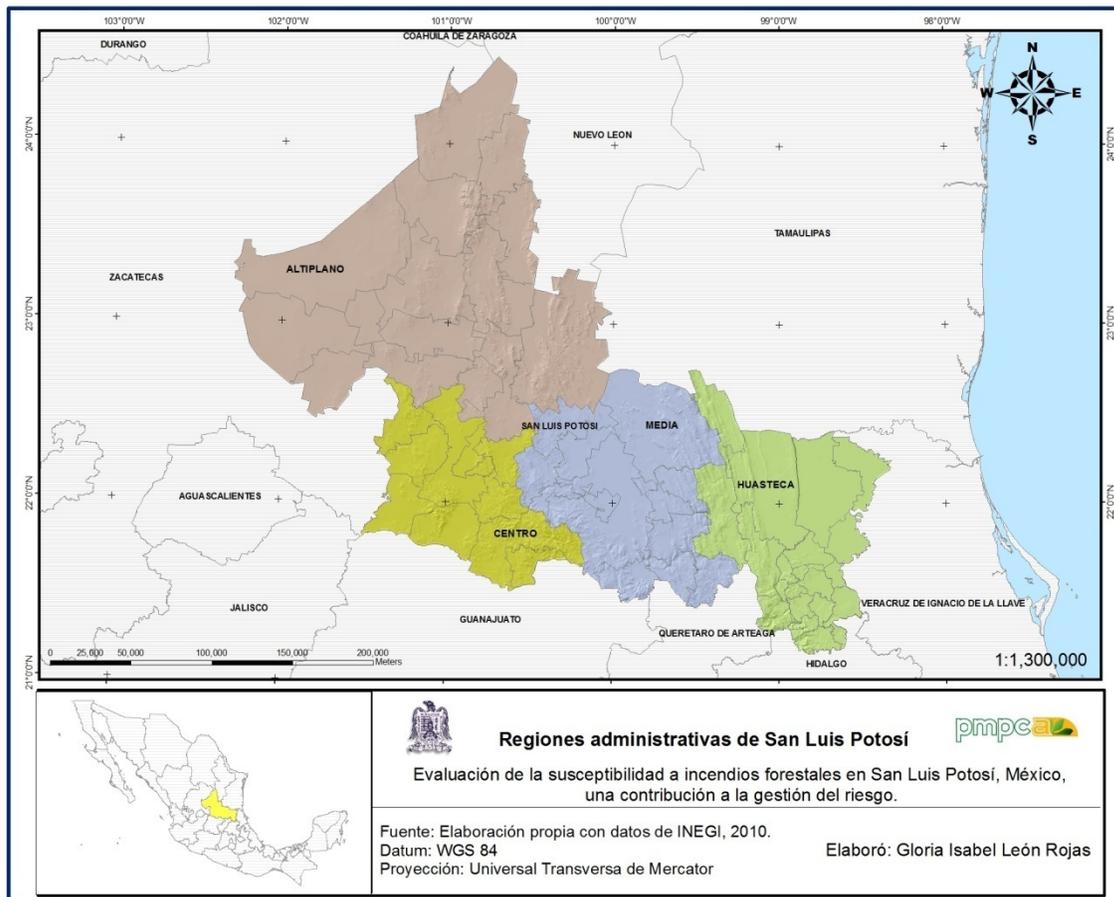
Contempla la instauración de un Comité Técnico de los Incendios Forestales integrado por miembros de dependencias estatales y federales, y define las competencias de cada uno. Limita las quemas con cualquier fin a la solicitud y aprobación del permiso correspondiente por parte de los ayuntamientos municipales, con opinión de la CONAFOR.

CAPITULO 3. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

3.1. LOCALIZACIÓN

El estado de San Luis Potosí se ubica en la región Centro – norte de México. Colinda al norte con los estados de Zacatecas, Nuevo León y Tamaulipas; al este con Tamaulipas y Veracruz; al sur con Hidalgo, Querétaro y Guanajuato; y al oeste con Zacatecas.

San Luis Potosí tiene una extensión territorial de 61 134 Km², lo que representa el 3.1 % del territorio nacional. Está dividido en 58 municipios, distribuidos en cuatro regiones administrativas: Huasteca, Media, Centro y Altiplano (Mapa 1).



Mapa 1. Localización y regiones administrativas de San Luis Potosí.

3.2. FISIOGRAFÍA

San Luis Potosí está inmerso en tres regiones fisiográficas, Mesa del Centro en la región occidental, Sierra Madre Oriental la cual atraviesa de norte a sur la porción central de la entidad y Llanura Costera del Golfo Norte en la zona sureste. Estas regiones se visualizan en el Mapa 2.

3.2.1. PROVINCIA MESA DEL CENTRO

Se localiza en la región central de la república mexicana. La provincia ocupa 35.03% de la extensión territorial de San Luis Potosí y está conformada por las subprovincias Llanuras y Sierras Potosino-Zacatecanas, Sierras y Llanuras del Norte de Guanajuato, Sierras y Lomeríos de Aldama y Río Grande y Llanuras de Ojuelos y Aguascalientes. Las altitudes varían de 1610 a 2870 m.s.n.m.

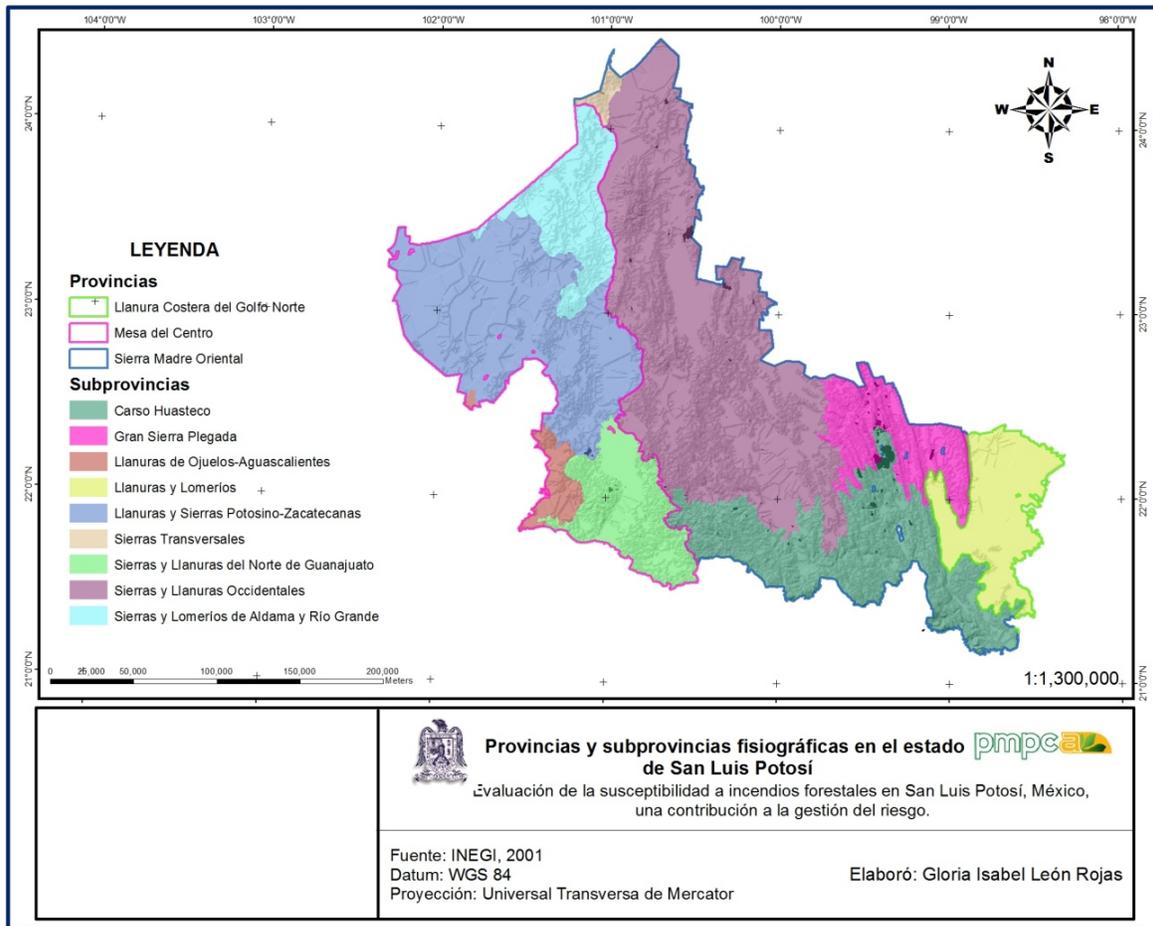
3.2.2. PROVINCIA SIERRA MADRE ORIENTAL

Es un conjunto de sierras menores con estratos plegados que producen una topografía de fuertes ondulados paralelos alargados. La provincia comprende el 57.08% del estado, por medio de fracciones pertenecientes a las subregiones Sierras y Llanuras occidentales, Carso Huasteco, Gran Sierra Plegada y Sierras Transversales.

3.2.3. PROVINCIA LLANURA COSTERA DEL GOLFO NORTE

El relieve característico es una topografía plana, con ligera inclinación hacia el golfo de México, interrumpida por prominencias y suaves lomeríos de material aluvial reciente. Las máximas elevaciones son de 100 a 150 m. Cubre una extensión que equivale al 7.89% de la superficie estatal con la subprovincia Llanuras y Lomeríos.

Evaluación de la susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí, México, una contribución a la gestión del riesgo.

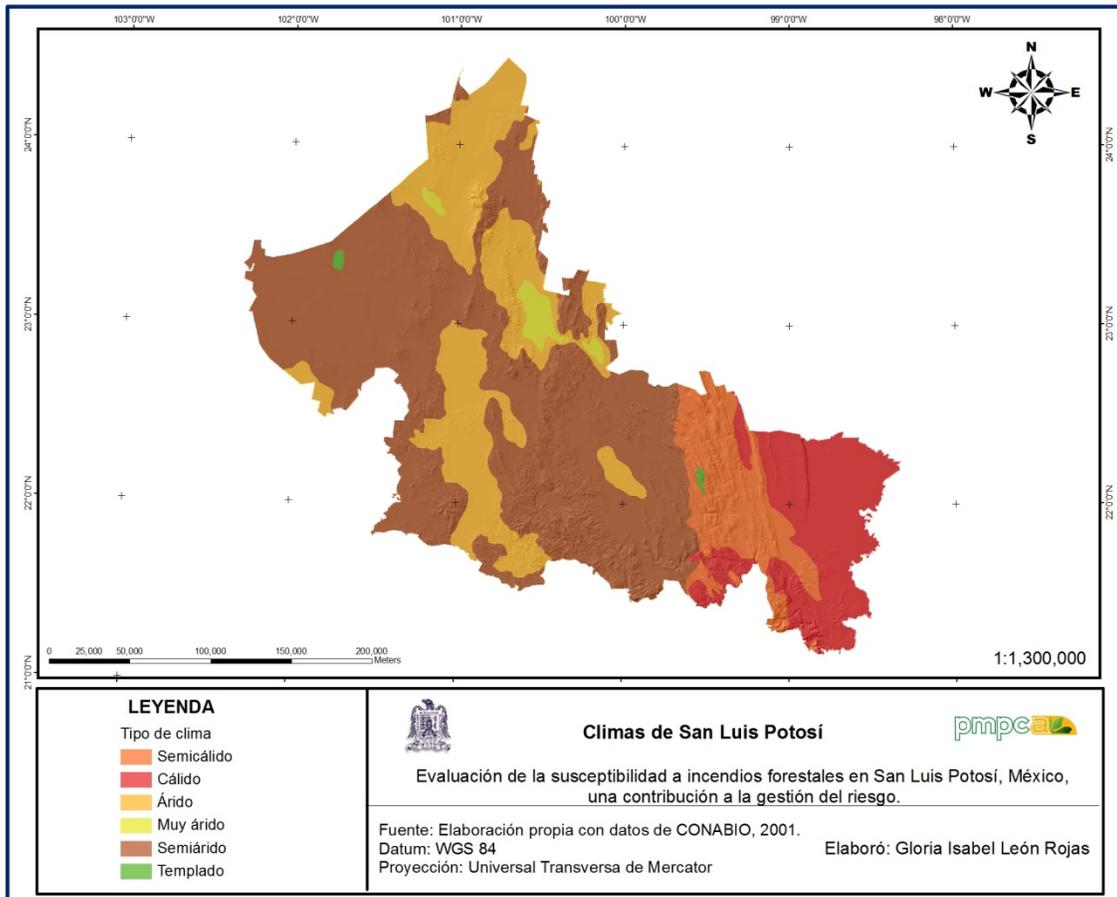


Mapa 2. Provincias y subprovincias fisiográficas en San Luis Potosí

3.3. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

La distribución de los climas en el estado obedece a sus condiciones geográficas de latitud, longitud, altitud y relieve. Los climas predominantes son los áridos y semiáridos distribuidos en más del 75% del territorio del estado en las regiones Altiplano, Media y Centro (Mapa 3). Los climas cálidos y semicálidos se ubican en la región Huasteca, mientras que los climas templados abarcan menos del 1% de la superficie estatal y se localizan en pequeñas zonas serranas de las provincias Mesa del Centro y de la Sierra Madre Oriental (Tabla 1).

Evaluación de la susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí, México, una contribución a la gestión del riesgo.



Mapa 3. Climas en San Luis Potosí.

Tabla 1. Climas de San Luis Potosí y porcentaje de ocupación territorial.

Clima	Área (km ²)	%
Semicálido	5802.91	9.49
Cálido	8108.44	13.26
Semiárido	32 806.93	53.66
Árido	13 422.55	21.96
Muy árido	863.2	1.41
Templado	130.46	0.21
Total	61 134.48	100

Fuente: Elaboración propia con datos de CONABIO, 2001.

El régimen de lluvias es de verano y la precipitación media anual para el estado es de 950 mm anuales (INEGI, 2012). Al presentarse una amplia gama de climas, la precipitación varía considerablemente en cada región del estado, mientras que en el Altiplano llueven entre 300 y 400 mm anuales, en la región Huasteca puede haber precipitaciones mayores a 3,000 mm anuales.

En el resto de las regiones la precipitación se mantiene dentro de esos rangos, a excepción de pequeñas porciones en el estado con clima muy árido donde llueven menos de 300 mm anuales.

La temperatura media anual es de 21°C, la temperatura mínima promedio es de 8.4°C y la máxima promedio es de 32°C, que se presentan en los meses de enero y mayo, respectivamente. Es importante mencionar, que en el estado se presentan temperaturas extremas a lo largo del año y la oscilación térmica entre los climas cálidos y desérticos es muy alta. En los climas áridos del Altiplano durante el invierno se presentan temperaturas menores a 9 °C y en el verano, se elevan hasta cerca de 40 °C.

3.4. USO DEL SUELO Y TIPOS DE VEGETACIÓN

Los tipos de usos del suelo y vegetación referidos en esta sección corresponden con la clasificación que utiliza el INEGI en la cartografía de uso de suelo y vegetación escala 1:250 000 Serie IV, que a su vez se basa en los trabajos de Rzedowski (1978, 2006) y de Miranda y Hernández (1963), cuyas propuestas han sido adaptadas a los criterios cartográficos y las necesidades de información del INEGI. La descripción se realizó mediante las guías para la interpretación de la Cartografía de Uso Del Suelo y Vegetación Series III y IV del INEGI (2009 y 2012) y lo escrito por Rzedowski (2006) (Mapa 4 y Tabla 2).

Bosque de coníferas. Formación vegetal arbórea constituida principalmente por géneros de gimnospermas con follaje perenne. Se ubican a partir de los 300 m.s.n.m. hasta el límite altitudinal de la vegetación arbórea. En el estado los bosques de coníferas están representados por bosque de pino, pino-encino y táscate en el 1.99% de la superficie. Las especies de pino representativas son *Pinus greggi*, *P. teocote*, *P. arizonica*, *P. flexilis* y *P. devoniana*. En cuanto al bosque de táscate, hay bosquecillos abiertos de *Juniperus flaccida*, de 4 a 6 m de alto ubicados en las zonas de transición.

Bosque de encino. Comunidad vegetal constituida por el género *Quercus* (encinos). Se localiza al sur de la entidad en altitudes entre 1,500 y 2,700 m.s.n.m., y ocupa el 7.33% de la superficie del estado. Frecuentemente se encuentra asociado con bosques de pino; el nombre que reciben estos bosques mixtos (pino-encino o encino-pino) obedece al predominio de una especie sobre la otra. Las especies de *Quercus* en la Sierra de Catorce son *Q. mexicana*, *Q. potosina*, *Q. eduardii* y *Q.*

sideroxylla; en la Sierra Madre Oriental las especies más abundantes son *Q. laeta*, *Q. polymorpha* y *Q. sartorii*.; mientras que en Xilitla se encuentran *Q. mexicana*, *Q. crassifolia*, *Q. sapotifolia*, *Q. affinis* y *Q. obtusata*.

Bosque mesófilo de montaña. Comunidad vegetal caracterizada por la presencia de vegetación arbórea densa, con epifitas y helechos que se localiza en montañas, barrancas y sitios que presentan condiciones de humedad y neblinas frecuentes. Está presente en el 0.13% de la superficie de la entidad, en altitudes de 1,100 a 1,850 m.s.n.m. Las especies características del bosque mesófilo de montaña en el estrato arbóreo son *Liquidambar styraciflua* (especie típica), *Quercus rysophyla*, *Q. polymorpha*, *Quercus canbyi*, *Clethra mexicana* y *Magnolia schiedeana*. En el estrato medio *Clethra mexicana*, *Ternstroemia sylvatica*, *Eugenia xalapensis* y *Juglans mollis*.

Matorral xerófilo. Comunidad vegetal propia de zonas áridas y semiáridas, constituida por comunidades arbustivas, micrófilas y espinosas. Esta categoría agrupa al chaparral, matorral crasicaule, matorral desértico micrófilo, matorral desértico rosetófilo, matorral submontano, mezquital desértico y vegetación halófila xerófila; y ocupan en conjunto el 48.82 % del territorio estatal. Debido a que existen diferencias representativas entre las vegetaciones agrupadas como matorral xerófilo, se describen a continuación sus principales características.

- Chaparral. Comunidad arbustiva densa, con presencia de especies caducifolias. Frecuentemente con alturas entre 1 y 2.5 m. Se presenta en altitudes superiores a 1500 m.s.n.m. y exclusivamente en la región del Altiplano. Se incluye a los encinares arbustivos de *Quercus potosina*, *Q. tinkhamii*, *Q. pringlei*, *Q. striatula* que pueden ser masas puras o estar asociados a *Brahea*, *Casimiroa*, *Citharexylum*, *Dodonaea*, entre otras.
- Matorral crasicaule. Predominan plantas conspicuas de tallo suculento, alcanzan alturas de 2 a 4 m. En San Luis Potosí está representado con especies del género *Opuntia* como *O. streptacantha*, *O. robusta* y *O. leucotricha*.
- Matorral desértico micrófilo. Vegetación caracterizada por tener arbustos con hojas o foliolos pequeños. Se distribuye en la parte norte y oeste del territorio potosino, y se extiende hasta la porción central, en altitudes de 1000 a 2300 m.s.n.m. La altura de sus elementos varía entre 0.5 y 2.4 m y están representados por *Larrea tridentata*, *Flourensia*

cernua y algunas especies de *Opuntia*. Aisladamente se presentan especies que sobrepasan los 6 m, como *Prosopis laevigata* y *Yucca filifera*.

- Matorral desértico rosetófilo. Predominan especies con hojas agrupadas en forma de roseta como *Agave*, *Hechtia* y *Dasyllirion*. Prospera desde los 1500 hasta los 2000 m.s.n.m. Las especies dominantes de este matorral son *Agave lechuguilla*, *A. striata*, *Hechtia glomerata* y *Dasyllirion sp.*, con frecuente participación de *Yucca carnerosana*, *Euphorbia antisiphilitica* y *Parthenium argentatum*.
- Matorral submontano. Es una comunidad arbustiva, en ocasiones muy densa, que está conformada por especies inermes o espinosas que se desarrollan en laderas y pie de monte de las sierras, en altitudes de 800 a 1700 m.s.n.m. Es una comunidad de transición entre los matorrales de zonas áridas y los bosques templados. Está conformada por arbustos leñosos subperennifolios como *Celtis ehrenbergiana*, *Cordia boissieri* y *Helietta parvifolia*; también son frecuentes *Stenocereus sp.*, *Mystillocactus sp.*, y *Neopringlea integrifolia*.
- Mezquital desértico. Está representado por *Prosopis laevigata* y *P. glandulosa*, tiene elementos arbustivos y subarbóreos de géneros como *Celtis*, *Koerberlinia* y *Opuntia*.
- Vegetación halófila xerófila. Comunidad caracterizada por especies de baja altura, con predominio de hierbas y poca cobertura de especies arbustivas. Las especies representativas son *Atriplex spp.* y *Suaeda spp.*

Pastizal. Comunidad constituida por c herbáceas en las que predominan las gramíneas. El 7.17% del territorio del estado está cubierto por pastizales naturales, gipsófilos y halófilos.

- Pastizal natural. Aparece hacia el oeste y suroeste del estado, en altitudes de 1,800 a 3,000 m.s.n.m., con especies como *Chondrosum gracile*, *C. hirsutum* y *C. scorpioides*, en las laderas de los cerros especies de *Aristida*, *Bouteloua* y *Andropogon*.
- Pastizal gipsófilo. Se desarrollan en suelos con gran cantidad de sulfato de calcio (yeso). Se localiza en sitios al norte de la entidad y las especies características son *Chondrosum chasei*, *Muhlenbergia purpusii*, *M. villiflora* y *Sporobolus nealleyi*.
- Pastizal halófilo. Crece en suelos salino-sódicos, con gramíneas de hasta 80 cm de altura, generalmente de consistencia rígida y cobertura densa. Las especies dominantes son

Evaluación de la susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí, México, una contribución a la gestión del riesgo.

Distichlis spicata, *Isocoma veneta*, *Atriplex sp.*, *Sporobolus nealleyi*, *Buchloe dactyloides*, *Zinnia acerosa*, *Rhus microphylla*, y *Berberis trifoliolata*.

Selva baja caducifolia. Formación vegetal arbórea con adaptaciones a las condiciones de aridez estacional. Se caracterizan porque más del 75% de las especies que la integran pierden sus hojas en la época seca del año. Se distribuye al sureste del estado en altitudes mayores a 100 m.s.n.m. y ocupa el 3.06% de la superficie del estado. Se señalan como especies dominantes *Bursera simaruba*, *Lysiloma divaricatum* y *Ocotea tampicensis*. Se encuentran frecuentemente *Acacia coulteri*, *Beaucarnea inermis*, *Cedrela odorata*, *Lysiloma acapulcense*, *Zuelania guidonia* y *Piscidia piscipula*.

Selva perennifolia (incluye selva alta perennifolia y selva mediana subperennifolia). Formaciones vegetales de climas tropicales y húmedos que se caracterizan porque del 50 al 75% de sus elementos conservan sus hojas durante la época más seca del año. Predominan arboles siempre verdes de más de 25 m de altura. En San Luis Potosí tiene un límite altitudinal de 600 m.s.n.m. La especie dominante es *Brosimum alicastrum* y en ocasiones comparte dominancia con *Aphananthe monoica*. Otras especies características son *Bursera simaruba*, *Dendropanax arboreus*, *Sideroxylon capiri* subsp. *tempisque*, *Cojoba arorea*, *Pouteria glomerata* subsp. *glomerata*, *Carpodiptera cubensis*, *Protium copal*, *Pimenta dioica* y *Ficus* spp. Se encuentra en el 3.05% de la superficie del estado.

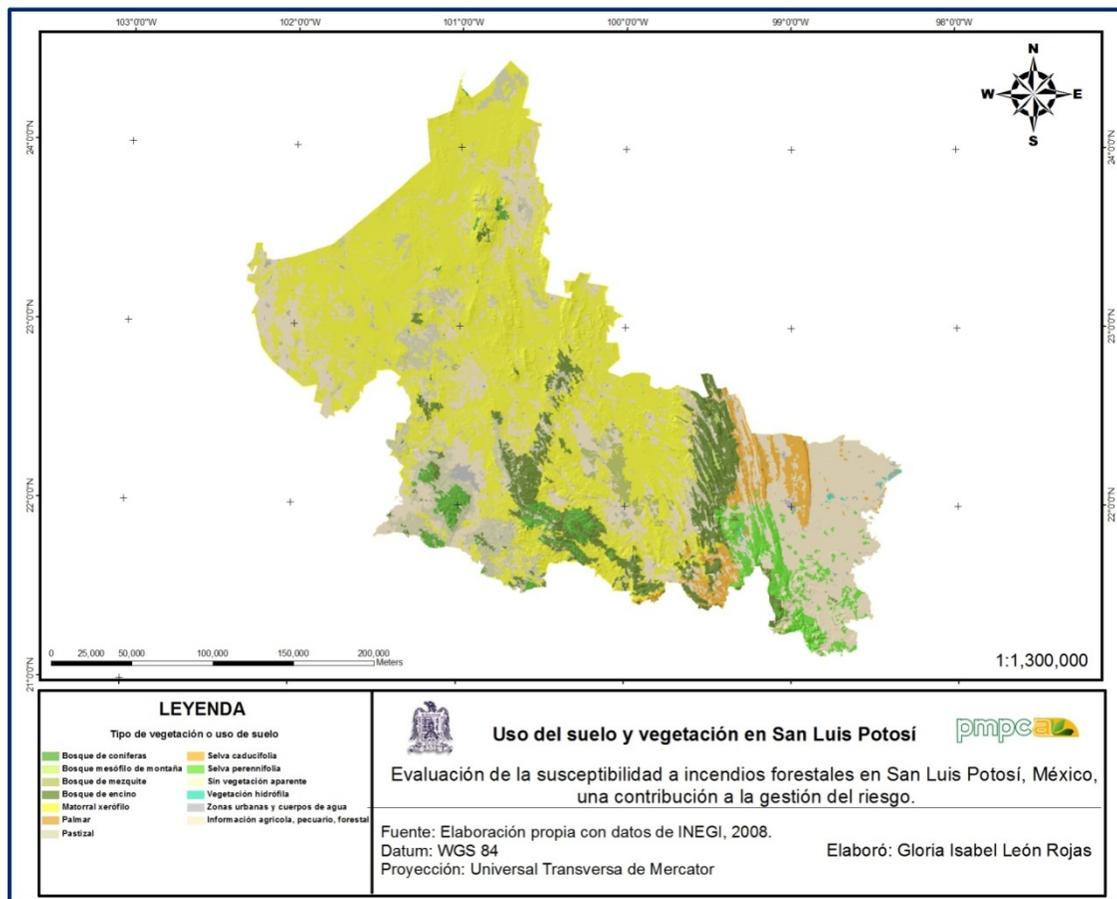
Vegetación hidrófila. Constituida básicamente por comunidades vegetales que habitan terrenos pantanosos e inundables de aguas salobres o dulces poco profundas. Los tipos de vegetación hidrófila que se encuentran en el estado son tular, vegetación halófila hidrófila y bosque de galería; ocupan el 0.08% de la superficie.

- Bosque de galería. Comunidad arbórea que se encuentra en las márgenes de los ríos o arroyos. Frecuentemente formada por *Pachira aquatica* y *Ficus* spp.
- Tular. Comunidad de plantas acuáticas arraigadas en el fondo, constituidas por monocotiledoneas de 0.80 hasta 2.5 m de altura, con hojas largas y angostas, o bien, carentes de ellas. Los géneros característicos son *Typha* y *Scirpus*.
- Vegetación halófila hidrófila. Desarrollada en agua con alto contenido de sales.

Evaluación de la susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí, México, una contribución a la gestión del riesgo.

Palmar. Comunidad vegetal con predominio de especies pertenecientes a la familia *Arecaceae*. En muchos casos son comunidades determinadas por las características de suelo y otras veces, prosperan en función de incendios históricos u otro tipo de disturbios. Se localizan en la parte oriental del estado como pequeños manchones intercalados entre la selva baja caducifolia y el bosque de encino, en altitudes alrededor de los 500 m.s.n.m. En los palmares en San Luis Potosí predomina *Sabal mexicana* y ocupan menos del 1% del territorio estatal.

Bosque de mezquite. Vegetación dominada por arboles espinosos, principalmente mezquites (*Prosopis* spp.), de 5 a 10 m de altura. En San Luis Potosí se presenta en el 1% del territorio. Es común que estén asociados a *Acacia* spp., *Olneya tesota*, *Cercidium* spp. y *Pithecellobium dulce*.



Mapa 4. Uso del suelo y vegetación en San Luis Potosí.

Tabla 2. Tipos de uso de suelo y vegetación y porcentaje de ocupación territorial estatal.

Tipo de vegetación	Área (km ²)	%
Bosque de coníferas	1218.06	1.99
Bosque de encino	4481.02	7.33
Bosque mesófilo de montaña	80.7	0.13
Matorral xerófilo	29 847.58	48.82
Pastizal	4383.62	7.17
Selva baja caducifolia	1872.02	3.06
Selva perennifolia	1866.97	3.05
Vegetación hidrófila	49.94	0.08
Palmar natural e inducido	51.13	0.08
Bosque de mezquite	567.58	0.93
Sin vegetación aparente	1.52	0
Agrícola-Pecuaría-Forestal	16 138.58	26.4
Zona urbana y cuerpos de agua	575.76	0.94
Total	61 134.48	100

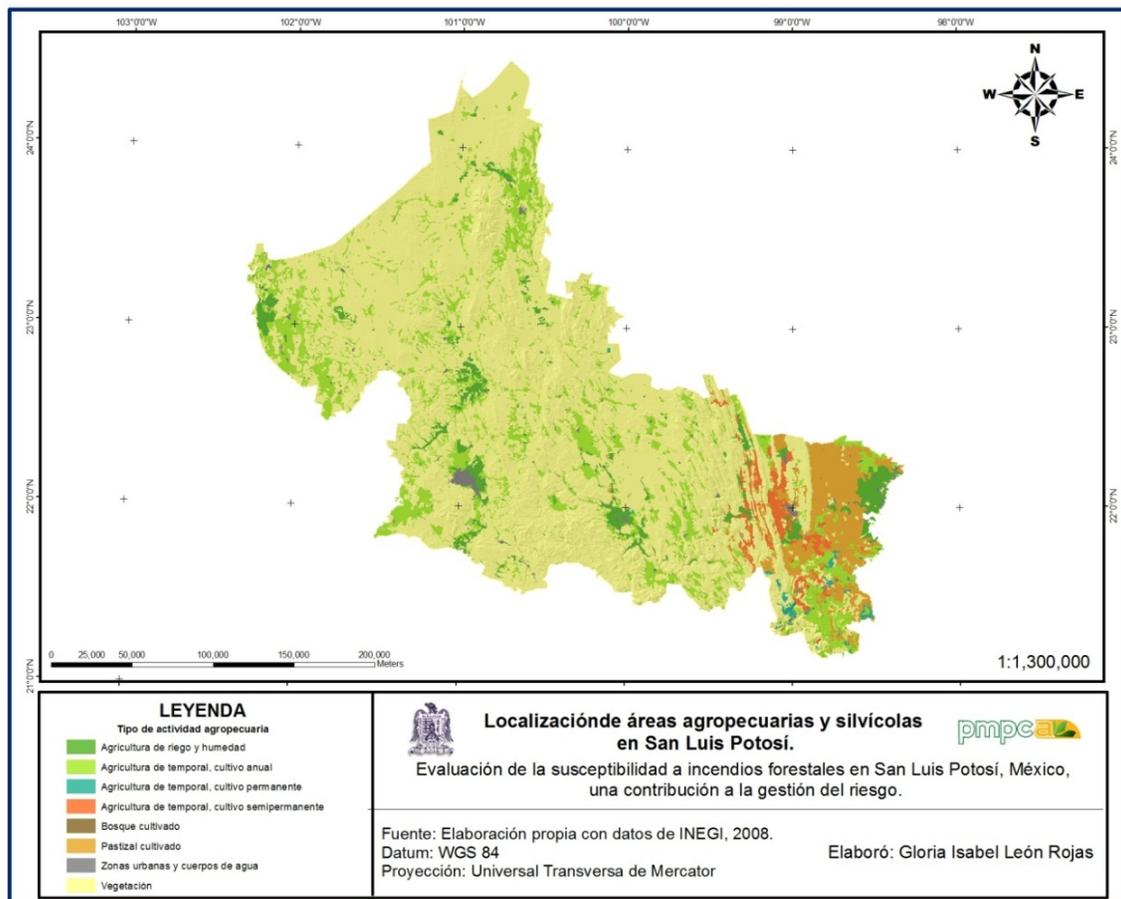
Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 2008.

La superficie destinada a actividades agrícolas es de 16 138.58 km², lo que corresponde a alrededor del 26% del territorio estatal (Mapa 5 y Figura 11). La agricultura de riego y de humedad ocupan solo el 3.7% de la superficie del estado. Los cultivos de ciclo primavera -verano son maíz, frijol, jitomate, algodón, tomate verde, lechuga, calabacita, cebolla, sorgo, arroz y chile; mientras que en otoño – invierno se cultiva soya, arroz, trigo, maíz, sorgo, cártamo, avena, cebada, cebolla, lechuga, col, ajo, garbanzo y jitomate, entre otros. Los cultivos permanentes y semipermanentes son caña de azúcar, alfalfa, naranja y pastos; menores superficies se destinan a mango, papaya, mandarina, limón y aguacate, además de durazno, manzana, toronja, granada, membrillo y uva. De acuerdo con los datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) en el año 2012 los cultivos más importantes por superficie sembrada en agricultura de riego fueron pastos (26 114.00 ha), maíz (20 625.85 ha) y caña de azúcar (17 155.00 ha).

La agricultura de temporal se practica en el 17.5% de la superficie. Entre los cultivos anuales destacan avena, cebada, frijol, garbanzo, maíz, lenteja, soya, trigo, cacahuate y calabaza. Entre las especies perennes se encuentran naranja, café, alfalfa, pastos, nopal verdura, mamey, maguey, papaya, mango, mandarina, , aguacate, durazno, toronja, limón, litchi, guayaba, palma, membrillo y lima. En el año agrícola 2012 los cultivos más representativos por la superficie sembrada fueron

Evaluación de la susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí, México, una contribución a la gestión del riesgo.

maíz (169 420.50 ha), frijol (97 546.00 ha), sorgo (49 346.00) y caña de azúcar (47 003.00 ha). El pastizal cultivado cubre el 5.4% de la superficie y el bosque cultivado se presenta en una superficie poco representativa.



Mapa 5. Localización espacial de las actividades agropecuarias en San Luis Potosí.

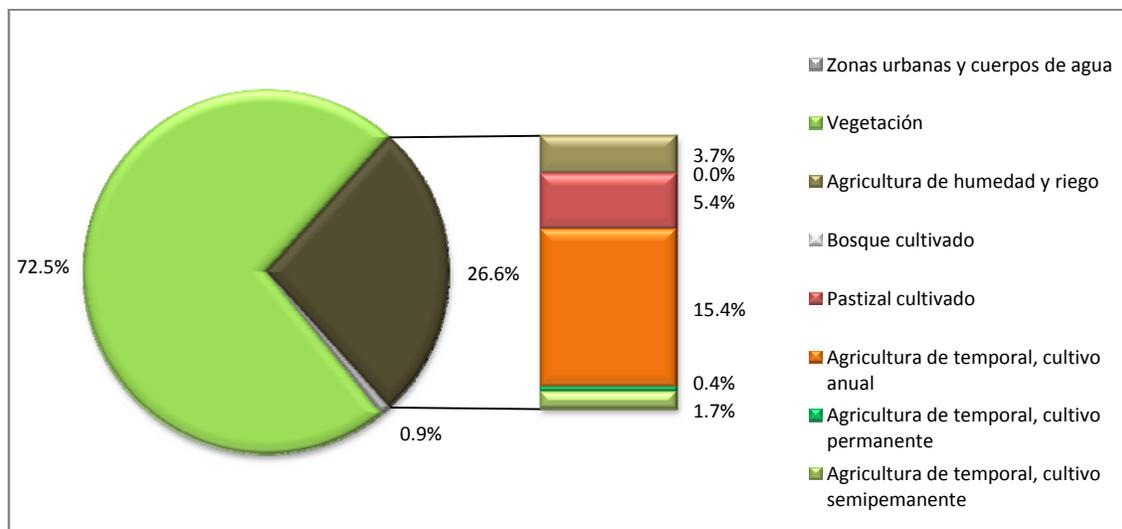


Figura 11. Porcentaje de ocupación por uso del suelo y vegetación en San Luis Potosí.

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 2009.

3.5. ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS

3.5.1. POBLACIÓN TOTAL

El Censo de Población y Vivienda del año 2010, reporta que la población total de San Luis Potosí es de 2 585 518 habitantes, de los cuales 51.2% son mujeres y 47.8% hombres, y que su tasa de crecimiento anual es 1.8%.

3.5.2. LOCALIDADES

INEGI (2011) reporta que en San Luis Potosí existen 6829 localidades distribuidas según el número de habitantes como se muestra en la Figura 12. Del total, el 96.8% corresponde a localidades con menos de 1000 habitantes, el 2.7% a localidades de 1000 a 5000 habitantes y el 0.5% a localidades con más de 5000 habitantes. La mayoría de las localidades de la entidad son rurales; sólo hay tres ciudades con más de 100 000 habitantes, San Luis Potosí, Soledad de Graciano Sánchez y Ciudad Valles. El 45% de las localidades se concentran en la región Huasteca, el resto se divide prácticamente de manera proporcional en el resto de las regiones administrativas (Mapa 6 y Tabla 3).

Evaluación de la susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí, México, una contribución a la gestión del riesgo.

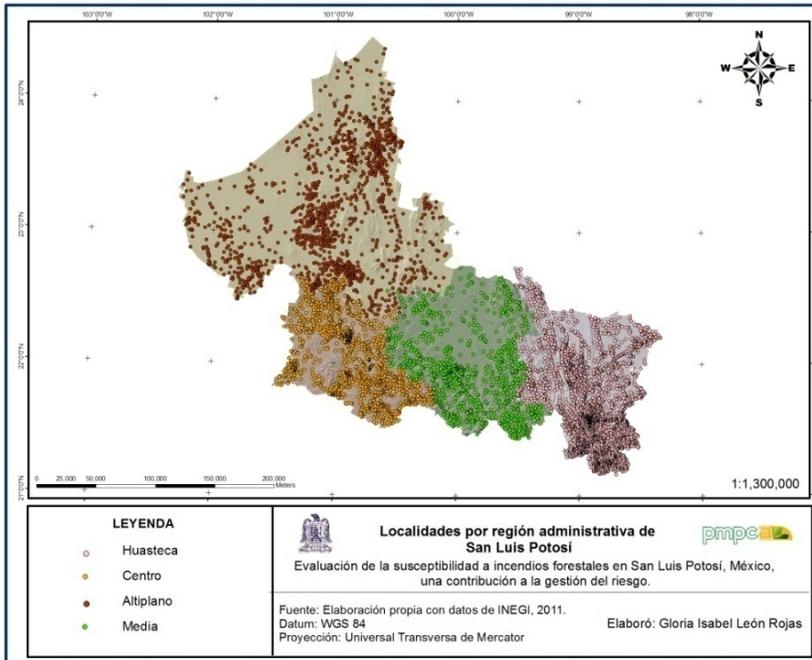


Tabla 3. Número de localidades por región administrativa en San Luis Potosí.

Región	Localidades
Altiplano	1424
Centro	1360
Huasteca	3104
Media	941
Total	6829

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 2011.

Mapa 6. Localidades en San Luis Potosí.

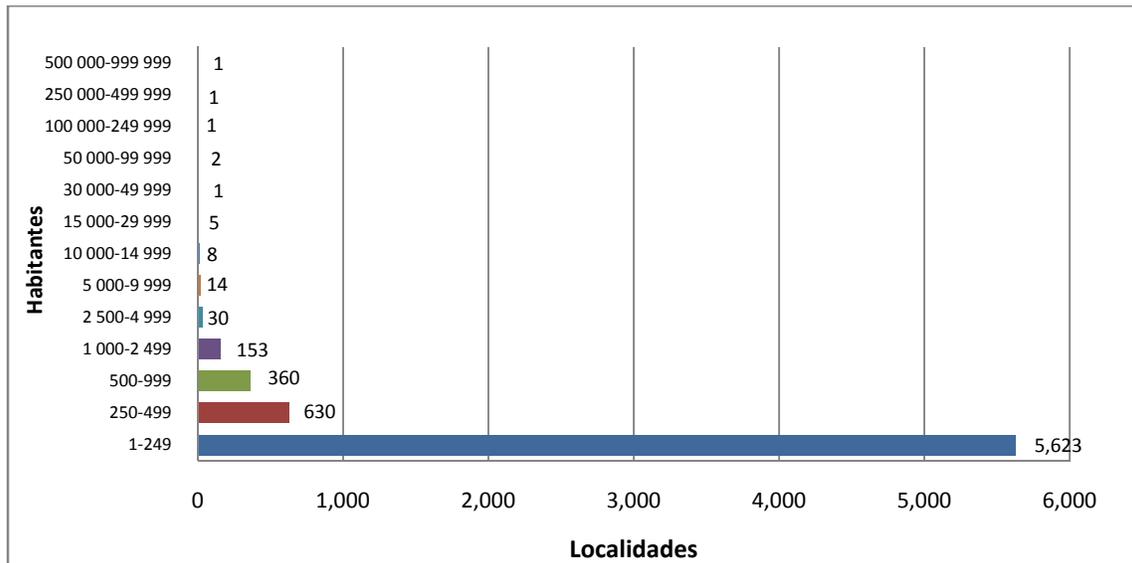


Figura 12. Clasificación de localidades por número de habitantes en San Luis Potosí.

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 2011.

3.5.3. INDICADORES DE DESARROLLO HUMANO Y POBREZA

El Índice de Desarrollo Humano per cápita es de 0.7894, éste se basa en tres indicadores: longevidad, nivel educacional y nivel de vida. En el estado el índice de agua entubada¹ es de 0.8262, el índice de drenaje² es de 0.7414 y el de electricidad³ de 0.9386. Los índices anteriores fueron calculados con base en datos de II Censo de Población y Vivienda 2005 y publicados por el INEGI (2012).

El Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL) estimó que en el 2012 en el estado habitaban 1 354 200 (50.5%) personas en situación de pobreza, de las cuales 1 011 200 están en situación de pobreza moderada y 342 900 en pobreza extrema. En cuanto a los indicadores de carencia social, el 21.2% tiene carencia por rezago educativo⁴, 14% por acceso a servicios de salud⁵, 61.6% por acceso a la seguridad social⁶, 13.5% por carencia de calidad y espacios en la vivienda⁷, 32.5% de carencias por acceso a los servicios básicos de la vivienda⁸ y 24.7% por acceso a la alimentación⁹.

¹ Se refiere a la proporción de la población en las viviendas particulares que disponen de agua entubada, sin considerar la frecuencia con que se suministra.

² Se refiere a la proporción de la población en las viviendas particulares que disponen de algún tipo de drenaje, conectado a la red pública, fosa séptica, con desagüe a grieta o barranca y con desagüe al río, lago o mar.

³ Se refiere a la proporción de la población en viviendas particulares que disponen de electricidad.

⁴ Población de 3 a 15 años y no asiste a la escuela, mayor a 15 años que no cuenta con el nivel de educación obligatoria

⁵ Población que no cuenta con adscripción para recibir servicios médicos de instituciones públicas.

⁶ Población que no tiene acceso a jubilación o pensión.

⁷ Viviendas con piso de tierra, techo de cartón o desechos, muros de carrizo, bambu, palma, lámina o material de desecho y más de 2.5 personas por cuarto.

⁸ El agua se obtiene de un pozo, río, pipa o por acarreo, no cuentan con servicio de drenaje, no disponen de energía eléctrica, el combustible utilizado es leña o carbón.

⁹ Las personas presentan carencia al acceso de alimentación si los hogares en los que residen tienen un grado de inseguridad alimentaria moderado (poca variedad en la dieta y que se saltaron alguna comida por falta de recursos económicos) o severo (se han ido a dormir sin probar una comida durante el día).

3.5.4. ACTIVIDADES ECONÓMICAS

Para el tercer trimestre del 2013, la población económicamente activa en la entidad era de 1 065 610 personas; de ellas, cuentan con empleo 1 029 806. En el sector primario (agricultura, ganadería, silvicultura, caza y pesca) se emplea el 18.5%; en el secundario (industrial, minero, construcción y energético) el 25.5% y en el terciario (servicios) el 56.0% (Figura 13).

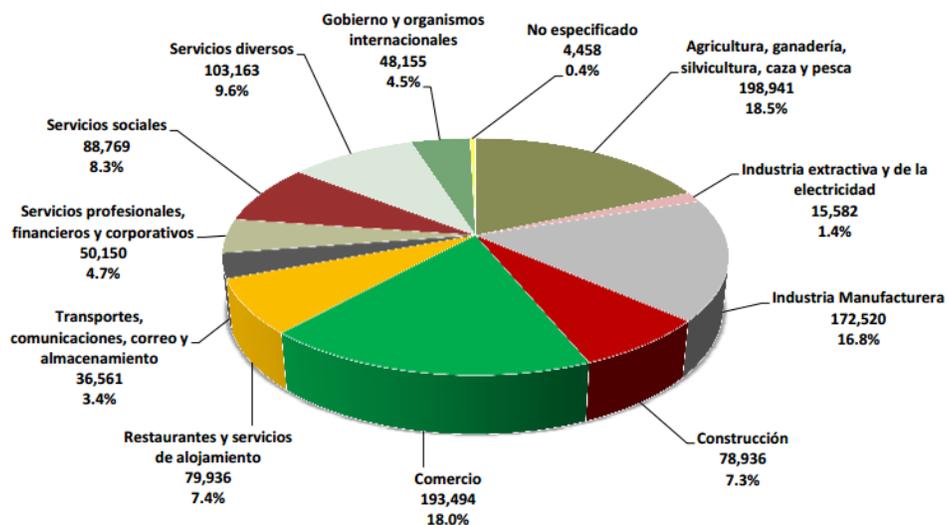


Figura 13. Población ocupada por sector económico en el tercer trimestre del 2013.

Fuente: SDE- SLP, 2013.

CAPITULO 4. METODOLOGÍA

4.1. MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD A INCENDIOS FORESTALES

4.1.1. EVALUACIÓN MULTICRITERIO Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

La evaluación multicriterio (EMC) puede definirse como un conjunto de técnicas orientadas a asistir en los procesos de toma de decisiones (Gómez y Barredo, 2006) y debe ser entendida como un sistema de conceptos, aproximaciones, modelos y métodos, para auxiliar a los tomadores de decisiones a describir, evaluar, ordenar, jerarquizar, seleccionar o rechazar objetos, con base en una evaluación (expresada por puntuaciones, valores o intensidades de preferencia) de acuerdo a varios criterios: objetivos, valores de referencia, niveles de aspiración o utilidad (Colson y De Bruin, 1989 en Gómez y Barredo, 2006).

Los elementos de la evaluación multicriterio son seis:

1. **Objetivo.** Función a desarrollar que determinará la estructuración de la regla de decisión. El número de objetivos dependerá del problema a tratar.
2. **Alternativas.** Están representadas por objetos o unidades espaciales, que representan un lugar individual, siendo la capa temática de objetos espaciales el conjunto global de alternativas de selección.
3. **Decisor.** Constituido por un solo individuo o un grupo de personas.
4. **Criterios.** Atributos en los cuales los decisores basan la evaluación de las alternativas y por ende, la decisión. Son aspectos medibles y que pueden ser evaluados. Con base en el sentido del aporte al objetivo se dividen en factores y limitantes.

Los factores son criterios que realzan o minimizan la capacidad de asentamiento de una alternativa específica para la actividad en consideración y deben ser medidos en escala continua (Eastman, 1993 citado por Gómez y Barredo, 2006). Las limitantes, como su nombre lo indica, restringen la disponibilidad de algunas alternativas para la actividad evaluada. Se integran como capas binarias, 0 y 1.

5. **Regla de decisión.** Es el procedimiento a través del cual se obtiene una evaluación particular. Comprende los procedimientos para combinar los criterios en un índice de

composición simple y la manera en que los valores de este índice serán comparados en cada alternativa.

Las capas resultantes de los criterios son el insumo de la regla de decisión, la cual las integra en un solo conjunto de datos, evaluándolos de modo que se genera una capa final (modelo de decisión) donde cada dato o alternativa espacial ha recibido un valor, orden o rango de capacidad de acuerdo con la actividad evaluada.

La regla de decisión puede conducirse en dos sentidos: selección simple y selección heurística. El primer procedimiento intenta clasificar las alternativas, en función de una o más características medibles; mientras que la selección heurística persigue obtener una selección de sólo algunas alternativas del conjunto global (Gómez y Barredo, 2006).

6. Evaluación. Aplicación de la regla de decisión sobre las capas criterio. La regla de decisión está planteada en función de los objetivos propuestos inicialmente.

Malczewski (1999) determina que las fases de trabajo en el análisis espacial multicriterio son las que se enuncian a continuación (Figura 14).

1. Definición del problema. Es la diferencia entre el estado deseado y el estado actual del sistema y es definido por los decisores. Esta fase involucra la búsqueda de información de las condiciones ambientales del sitio de estudio. Los sistemas de información geográfica son un apoyo en la definición del problema porque permiten la delimitación espacial y la visualización de sus componentes.
2. Criterios de evaluación. Esta fase involucra la comprensión de un conjunto de objetivos que reflejen todo lo concerniente al problema de decisión y las medidas para lograr estos objetivos. Los criterios de evaluación son asociados a entidades geográficas y por lo tanto pueden ser representados en forma de mapas.
3. Alternativas. Esta etapa debe basarse en una estructura de valores y estar relacionada con el conjunto de criterios de evaluación. A cada alternativa se le asigna una variable de decisión. Las variables son usadas por el decisor para medir el desempeño de las alternativas de decisión.
4. Pesos de los criterios. Durante este paso se incorporan al modelo de decisión las preferencias de los decisores con respecto a los criterios de evaluación. Se expresan en

término de pesos de importancia relativa de un criterio sobre otro. El conjunto de atributos y alternativas pueden organizarse en matrices o tablas.

5. Regla de decisión. Se integran los criterios de evaluación y los pesos asignados para proveer una evaluación general de las alternativas. Con la regla de decisión se obtiene un ranking de alternativas o se elige una alternativa que sea dominante sobre otras.
6. Análisis de sensibilidad. Se utiliza para determinar la robustez. Es definido como el procedimiento para identificar los efectos de los cambios en las entradas (datos geográficos y preferencias de los decisores) y en las salidas (ranking de alternativas). Si estos cambios no afectan significativamente los resultados, el ranking es considerado robusto.
7. Recomendaciones. Son el paso final del proceso de toma de decisiones. Se basan en el ranking de alternativas y el análisis de sensibilidad e incluyen la descripción de la mejor alternativa. Aquí las técnicas de visualización (mapas) son muy importantes para presentar y comunicar los resultados a los grupos de interés.

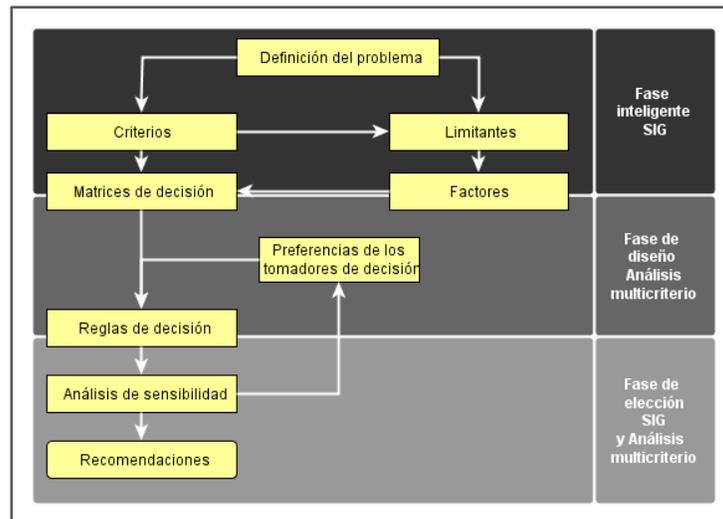


Figura 14. Marco de trabajo del análisis espacial multicriterio.

Fuente: Malczewski, 1999.

El papel de los sistemas de información geográfica en la evaluación multicriterio es apoyar la toma de decisiones para lograr una mayor eficiencia y eficacia, a partir de la combinación de las capacidades de los SIG en todas las etapas de la toma de decisiones, es decir, en la inteligencia, diseño y elección.

El análisis multicriterio espacial es un proceso que combina y transforma datos geográficos en un mapa final que contribuya a la toma de decisiones. Los procedimientos a realizar durante el análisis involucran la utilización de datos geográficos, la integración de preferencias de los decisores y la manipulación de los datos de acuerdo con las reglas de decisión específicas. Los datos e información geográfica multidimensional se agregarán como valores unidimensionales a las alternativas de decisión.

El aspecto crítico del análisis espacial multicriterio es que involucra la evaluación de los eventos geográficos basada en el valor del criterio y también, en las preferencias del decisor con respecto al conjunto de criterios de evaluación. Esto implica que el resultado del análisis no dependa solo de la distribución geográfica de los criterios sino también de los juicios de valor involucrados en el proceso de la toma de decisiones. En la Figura 15 se muestra el esquema general de integración de los SIG y la evaluación multicriterio. Las capas temáticas constituyen los criterios de decisión (factores o limitantes), la regla de decisión se plantea acorde al objetivo y es una manera de integrar todas las capas criterio para la obtención de una capa de resultados en la que se califiquen las opciones en un ranking o se delimite una en particular.

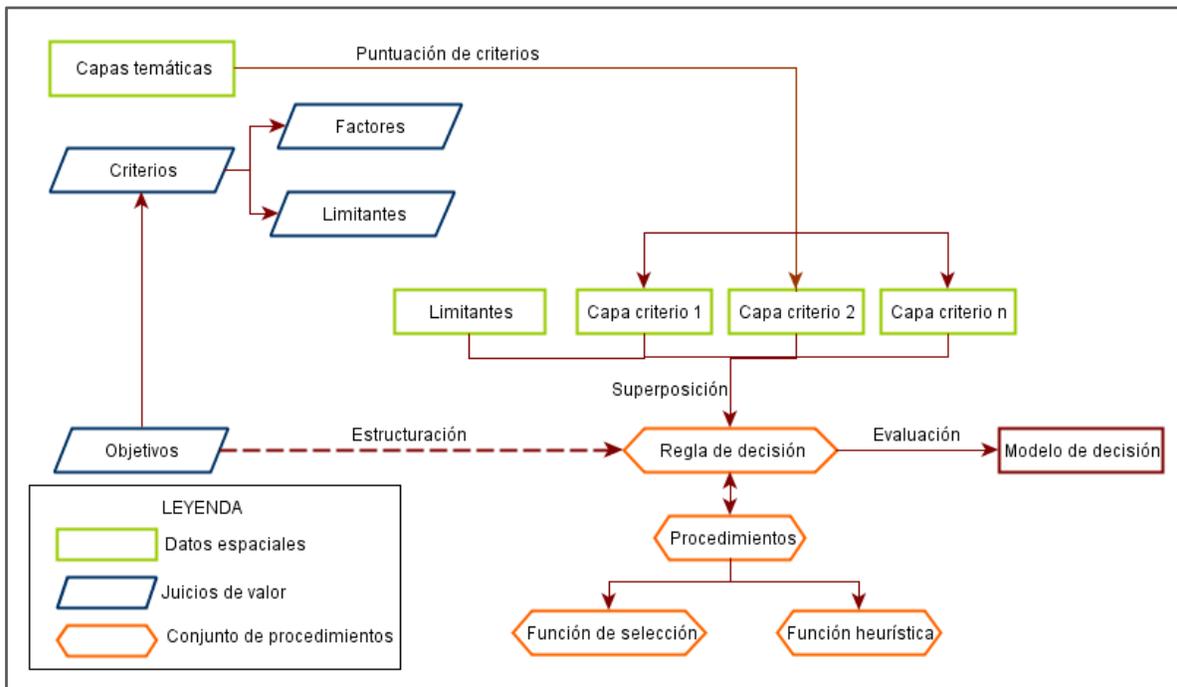


Figura 15. Sistema de integración de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la Evaluación Multicriterio (EMC).

Fuente: Gómez y Barredo, 2006

La EMC consta de diferentes técnicas que básicamente se diferencian en los procedimientos aritméticos y estadísticos que realizan sobre las matrices de evaluación y de prioridades con las cuales se obtiene una evaluación final de las alternativas. Los distintos métodos de EMC cuentan con una serie de características, requerimientos y propiedades que los definen individualmente. El tipo de evaluación, los datos a considerar, las características de los objetivos, así como el punto de vista de los decisores inciden en la elección de un determinado método.

Los métodos de EMC pueden clasificarse de acuerdo con el nivel de demanda cognitiva y el método de agregación de puntuaciones de criterios. Se diferencian dos grupos de técnicas: compensatorias, las cuales demandan un mayor proceso cognitivo pues requiere que los decisores especifiquen los pesos de los criterios como valores cardinales o funciones de prioridad; mientras que las no compensatorias demandan un menor proceso cognitivo del decisor, ya que requieren una jerarquización ordinal de los criterios, basada en las prioridades de los decisores. En resumen, en el primer grupo, los pesos de los criterios tienen una escala de razón numérica; mientras que en las no compensatorias, los procedimientos se pueden llevar a cabo indicando un valor ordinal o bien el orden de importancia de los criterios, sin establecer un peso de manera cuantitativa.

Las técnicas compensatorias se dividen en dos subclases: aditivas y basadas en la aproximación del punto ideal. En los procedimientos aditivos, el valor obtenido por cada alternativa es el producto del peso del criterio y las puntuaciones de los criterios, la alternativa que obtenga el valor más alto será la más adecuada o la mejor para la actividad evaluada. En las técnicas basadas en la aproximación del punto ideal, los decisores ubican en un espacio n-dimensional una alternativa que se considera ideal o mejor posible, especificando sus coordenadas como el valor más alto en cada uno de los criterios establecidos (Gómez y Barredo, 2006).

4.1.2. REGRESIÓN LOGÍSTICA

La regresión logística es una técnica comúnmente utilizada para el análisis estadístico multivariante. En estadística aplicada es muy frecuente tener que calcular la probabilidad de que ocurra o no determinado evento. Cuando un evento sólo tiene estas dos opciones se denomina dicotómico. Se designa como suceso de interés a la opción para la cual conocer su probabilidad constituye el principal objetivo de una investigación. Si el suceso de interés (Y) ocurre se codifica como $Y=1$ y en el caso contrario, $Y=0$.

Es muy importante conocer cuáles son las condicionantes que influyen para que el suceso ocurra o no ocurra. Se denomina $P(Y)$ a la probabilidad de que ocurra un evento, asimismo X_1, X_2, \dots, X_k son las variables que pueden influir en dicha probabilidad. Dado que $P(Y)$ es una probabilidad sus valores pueden oscilar entre 0 y 1. La función relacional también debe oscilar entre 0 y 1. El modelo matemático que cumple las exigencias anteriores es el logístico que se presenta en la ecuación 1.

$$P(Y) = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_k X_k)}} \quad (1)$$

Dónde:

$P(Y)$ es la probabilidad de que ocurra el suceso; e es el número "e" base de los logaritmos naturales cuyo valor es 2.71182..., β_0 es la constante, también llamada intercepto; β_1 es el coeficiente de regresión logística correspondiente X_1 y β_k es el coeficiente de regresión logística de X_k .

Las variables independientes del modelo tienen que ser cuantitativas y dicha cuantificación tiene que corresponder con una medida numérica continua, no con una simple codificación. Las variables cualitativas se integran al modelo a través de variables ficticias denominadas *dummy*, porque sus valores no son observaciones directas, sino una codificación generalmente dicotómica. Una vez codificada puede integrarse al modelo y será tratada como cualquier otra variable.

El exponente del número $e(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_k X_k)$ es una función lineal y es la más utilizada en los modelos de regresión. El modelo lineal implica que el efecto de cada una de las variables independientes sobre la probabilidad del suceso Y , es independiente de las demás.

Las recomendaciones para realizar una regresión logística consideradas por Álvarez (2007) son:

- Seleccionar las variables con lógica técnica de cada caso y teniendo en cuenta sus relaciones y la experiencia disponible.
- Seleccionar una muestra aleatoria con el tamaño adecuado, al menos diez veces el número de variables que tenga el modelo, incluyendo la variable dependiente.

- Comprobar mediante la t de Student o de Wald, si los coeficientes de regresión logística son significativos para asegurar que todas las variables incluidas en el modelo sean significativas desde el punto de vista técnico y estadístico.

Existe en el mercado varios programas estadísticos que permiten realizar regresiones logísticas de manera práctica, como IBM SPSS Statistics, Sistema de Análisis Estadístico (SAS, por sus siglas en inglés) y algunos de distribución libre, como R, el cual fue el utilizado en este trabajo.

4.2. METODOLOGÍA EMPLEADA PARA EL ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD

4.2.1. CARACTERIZACIÓN DE INCENDIOS (2000-2012)

Con la finalidad de tener conocimiento sobre las particularidades de los incendios en el estado se realizó una caracterización de los puntos de calor generados por el programa Información sobre Incendios del Sistema de Gestión de Recursos (FIRMS, por sus siglas en inglés) detectados por el sensor MODIS a bordo de los satélites Terra y Aqua. Estos puntos de calor son procesados y proporcionados a través de una solicitud vía e-mail por el Sistema de Información y Observación de la Tierra (EOSDIS), un organismo dependiente de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA, por sus siglas en inglés). Los FIRMS se encuentran disponibles en <https://earthdata.nasa.gov/data/near-real-time-data/firms>.

Los FIRMS son puntos de calor de incendios, cuya detección se realiza utilizando un algoritmo contextual que aprovecha la fuerte emisión de radiación infrarroja media de los incendios. El algoritmo examina cada píxel de la franja del sensor MODIS y en última instancia asigna una clase. Se utilizan pruebas adicionales para eliminar las falsas detecciones causadas por el brillo del sol y los límites entre el desierto y el agua. La información fue obtenida como base de datos y fue exportada a ArcGis 10.1 en formato *shapefile*. Para la caracterización, se utilizaron solo aquellos puntos con una confiabilidad mayor a 65%, que son clasificados como alta confianza de fuego. Así también, se procedió a excluir los puntos de calor que se situaban dentro de predios agrícolas o ganaderos con base en la cobertura de uso de suelo y vegetación serie IV del INEGI; aquellos que se ubicaban en pastizales naturales si fueron incluidos.

Finalmente, y después de la aplicación de las condicionantes antes mencionadas, se obtuvieron 1561 registros (de 7195) correspondientes al periodo que comprende del 28 de noviembre de

2000 al 31 de diciembre de 2012, mismo periodo que se utilizó en el análisis de la ocurrencia de incendios en el estado presentado en el apartado 2.4. Los registros de puntos de calor se caracterizaron con base en la información temática de uso de suelo y vegetación, tipo de clima, temperatura máxima anual, precipitación anual, altitud, pendiente, orientación de la ladera, distancia a la frontera agrícola, distancia a localidades y distancia a vías de comunicación que forman parte de la batería de factores a utilizar en los modelos para evaluar la susceptibilidad. Esta caracterización se realizó utilizando la herramienta *Extract values to point* del software ArcGis 10.1 que utiliza archivos raster de las capas de información disponibles.

4.2.2. DIGITALIZACIÓN DE ÁREAS QUEMADAS

La detección de áreas quemadas utilizando técnicas de percepción remota e imágenes de satélite se basa en la respuesta espectral de los depósitos de ceniza y carbón, derivados de la combustión del material vegetal (Manzo y López, 2013). Actualmente se encuentran disponibles varios productos de áreas quemadas a escala global, destacando el producto MCD45, con 500 m de resolución espacial, generado a partir de imágenes MODIS desde el año 2000 hasta la fecha (Roy et al., 2005). A escala regional y local, la detección de áreas quemadas requiere de imágenes de alta resolución espacial como Landsat y SPOT, entre otras (Bastarrika et al., 2011).

Las áreas quemadas son relativamente fáciles de discriminar visualmente, la complejidad aumenta cuando se requiere hacerlo de manera automática. Generalmente la cartografía de áreas quemadas se realiza con el apoyo de índices de vegetación como el Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) o de áreas quemadas como Normalized Burn Ratio (NBR) y Burned Area Index (BAI). En este estudio se realizó de manera visual, utilizando una combinación RGB 543, la cual muestra una gran cantidad de información con alto contraste de color (Espinoza y Vargas, 2013) y es usualmente utilizada en estudios sobre vegetación. Con esta combinación las áreas quemadas aparecen en tonos púrpuras y morados, lo que facilita su identificación y posterior digitalización.

La digitalización de áreas quemadas se realizó a partir de las coordenadas de incendios detectados y atendidos por la CONAFOR en la temporada 2011. Todas las imágenes Landsat fueron descargadas del sitio del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) en el link <http://glovis.usgs.gov/>. La lista de imágenes utilizadas se muestra en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Imagenes Landsat utilizadas para digitalizar áreas quemadas.

Path	Row	Fecha	Path	Row	Fecha
26	45	04/03/2011	28	43	26/03/2011
26	45	13/04/2011	28	43	27/04/2011
27	44	03/03/2011	28	43	11/05/2011
27	44	12/04/2011	28	44	14/02/2011
27	44	28/04/2011	28	44	02/03/2011
27	44	15/06/2011	28	44	18/03/2011
27	45	11/03/2011	28	44	27/04/2011
27	45	04/04/2011	28	44	21/05/2011
27	45	12/04/2011	28	44	14/06/2011
27	45	28/04/2011	28	45	21/01/2011
27	45	15/06/2011	28	45	02/03/2011
			28	45	05/05/2011

Fuente: Elaboración propia

4.2.3. EVALUACIÓN MULTICRITERIO

Existen distintos tipos de EMC clasificados según sus características, requerimientos y propiedades. La elección depende del tipo de evaluación a realizar, los datos a considerar, las características de los objetivos y las preferencias del decisor. En este trabajo se decidió utilizar el proceso de jerarquías analíticas (AHP, por sus siglas en inglés) que es clasificada como técnica compensatoria aditiva.

El proceso de jerarquías analíticas desarrollado por Saaty (1980) se basa en tres principios fundamentales: descomposición, juicios de comparación y síntesis de prioridades. El principio de descomposición requiere que el problema de decisión, en este caso la susceptibilidad sea “descompuesto” en una jerarquía que capture los elementos esenciales del problema. El principio de juicios de comparación pretende que los juicios de valoración entre los pares de elementos dentro de un nivel dado de jerarquía sean consistentes con respecto a su correspondiente en un nivel más alto. El principio de síntesis toma cada uno de los pesos de cada criterio en los distintos niveles de jerarquía para construir un peso global (Malcewski, 1999).

Moreno (2002) menciona que el proceso analítico jerárquico (AHP) es una técnica que permite la resolución de problemas multicriterio, multientorno y multiactores, incorporando modelos

tangibles e intangibles, así como el subjetivismo y la incertidumbre inherente al proceso de decisiones. También es una teoría matemática de la medida, generalmente aplicada a la dominación de la influencia entre alternativas respecto a un criterio o atributo y por último, es una filosofía para abordar la toma de decisiones.

4.2.3.1. DESCOMPOSICIÓN

En esta primera etapa se construyó un modelo o estructura en la que estuvieron representados jerárquicamente los aspectos considerados relevantes en la susceptibilidad de incendios forestales en el estado. El primer paso fue seleccionar los factores y recopilar la información que sustenta la elección y alimenta a cada uno de ellos.

REVISIÓN DE LITERATURA Y SELECCIÓN DE FACTORES

Esta fase se centró en identificar los factores que intervienen en la ocurrencia de incendios a partir de estudios previos sobre índices de peligro, riesgo, lecturas sobre características de los incendios, estadísticas gubernamentales de ocurrencia de incendios en México y particularmente, en San Luis Potosí. Esta revisión permitió conocer las generalidades del fenómeno y por tanto, facilitó la selección de factores.

En el Cuadro 3 se presentan los factores a considerar y que se obtuvieron mediante la revisión de trabajos sobre la construcción de índices de peligro y riesgo de incendios. Estos factores, básicamente pueden agruparse en cinco grupos: climáticos, topográficos, vegetación, rasgos antropogénicos y ocurrencia histórica de incendios.

Cuadro 3. Factores utilizados para la evaluación del riesgo de incendios.

Factor/Autor	Hong y Minnich (1993)	VAERSA (2006)	Muñoz (2001)	Ramírez (1999)	Juárez (2008)	Manzo et al. (2009)
Climáticos	Precipitación Temperatura	Condiciones meteorológicas extremas	Precipitación Temperatura		Temperatura Precipitación	Precipitación Cobertura de nubes Temperatura de la superficie de la tierra
Vegetación	Tipo de vegetación	Carga de combustible	Carga de combustibles	NDVI	Tipo de vegetación	Tipo de vegetación NDVI
Topográficos		Topografía	Orientación		Altitud Pendiente Orientación	Altitud Pendiente Orientación
Rasgos antropogénicos	Edificaciones	Estadísticas de actividades agrícolas	Actividades humanas	Frontera agrícola	Distancia a caminos	
	Vías de comunicación	Densidad poblacional	Actividades agropecuarias	Poblados	Distancia a ciudades	
			Infraestructura de caminos Cercanía a poblados	Vías de acceso	Distancia a pastizales Distancia a áreas agrícolas	
Ocurrencia histórica de incendios		Estadísticas de incendios		Puntos de calor		

Fuente: Elaboración propia con datos de Hong y Minnich et al. (1993), VAERSA (2006), Muñoz (2001), Ramírez (1999) y Juárez (2008), Manzo et al. (2009).

Evaluación de la susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí, México, una contribución a la gestión del riesgo.

Con base en la información analizada los factores elegidos para integrar el modelo de evaluación multicriterio fueron: Climáticos (tipo de clima, precipitación, temperatura máxima anual), topografía (orientación, altitud y pendiente), rasgos antropogénicos (densidad de caminos, densidad de localidades y actividades agrícolas) y vegetación (tipo de vegetación).

RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Una vez elegidos los factores, se procedió a recopilar la información, básicamente constituida por archivos digitales en formato *shapefile* y bases de datos. Esta información fue proporcionada por instancias de la UASLP y dependencias gubernamentales ya sea mediante solicitudes escritas o descarga directa de la información de los sitios de internet oficiales (Cuadro 4).

Cuadro 4. Tabla comparativa de factores para sustentar cada factor.

Nombre	Tipo de archivo	Geometría	Escala original	Fuente	Proporcionada por:
Uso de suelo y vegetación Serie IV	Shapefile	Polígonos	1:250 000	INEGI, 2008	Laboratorio Nacional de Geoinformación Fitosanitaria (LANGIF)-UASLP
Curvas de nivel	Shapefile	Líneas	1:250 000	INEGI, 2004	Centro de Información del INEGI, Balderas, D.F.
Vías de comunicación	Shapefile	Líneas	1:250 000	CTRIEG, 2005	Laboratorio de Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica de la Escuela de Ciencias Sociales y Humanidades (ECSyH)-UASLP
Climas	Shapefile	Polígonos	1:1 000 000	CONABIO, 2001	http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/
Localidades	Base de datos			Censo de Población y Vivienda 2010. INEGI, 2011	http://www.inegi.org.mx/
Incendios 2011, 2012, 2013	Base de datos			Documentos internos CONAFOR	Delegación CONAFOR SLP
Normales climatológicas de SLP (1981-2010)	Bases de datos			CONAGUA, 2011	http://www.cna.gob.mx/
Imágenes Landsat	Tiff			Landsat , 2011	http://glovis.usgs.gov/

Fuente: elaboración propia.

PROCESAMIENTO

Durante esta etapa, la información proveniente de las distintas fuentes se homogeneizó en parámetros geográficos (Datum: WGS84 Proyección: UTM 14N), de tal manera que pudiese ser comparada e integrada a un SIG. El software en el que se realizó el trabajo cartográfico fue ArcGis 10.1

MALLA PARA LA PONDERACIÓN DE FACTORES

Para procesar los factores de vías de comunicación y localidades se utilizó una cuadrícula auxiliar que permitió comparar puntos y líneas con polígonos. Esta cuadrícula divide al estado de San Luis Potosí en 265 cuadrantes de 300 km² cada uno y previamente fue empleada por Lara (2010) en su trabajo sobre valoración ambiental a través de niveles de asimilación económica y por Herrera (2012), para determinar la susceptibilidad del territorio potosino al fenómeno de la subsidencia del terreno.

LOCALIDADES

La base de datos de las localidades de San Luis Potosí proviene del Censo Nacional de Población y Vivienda del año 2010 realizado y publicado por el INEGI (2011), el cual se encuentra disponible para su descarga gratuita en <http://www.inegi.org.mx/>. Con esta base de datos se construyó una capa de puntos en formato *shapefile*.

Las localidades de San Luis Potosí fueron clasificadas según los criterios de Unikel en 1978 descritos por el INEGI (2005). Este autor plantea que es necesario romper la visión dicotómica urbano-rural y propone una clasificación de tipo continuo. Define población rural como aquella que habita en localidades de menos de 5000 habitantes; mixta-rural, la que reside en localidades entre 5000 y 9999; mixta-urbana, en comunidades entre 10 000 y 14 999 habitantes; y urbana, en ciudades con más de 15 000 habitantes. Cabe mencionar, que el INEGI denomina localidades rurales a aquellas que son habitadas hasta por 2500 personas.

Las localidades que fueron empleadas en este trabajo son sólo las clasificadas como rurales bajo los criterios de Unikel, es decir, en las que habitan menos de 5000 personas. Esta elección se realizó con el argumento de que en estas comunidades generalmente no existe un servicio de recolección de residuos sólidos, ni sitios para la disposición adecuada de los mismos, donde la

práctica de la quema de basura es algo común y por otro lado, hay un predominio de actividades agropecuarias como fuente de ingresos.

El número de localidades en San Luis Potosí, hasta el año 2010 era de 6829, de ellas, 6726 se categorizaron como rurales. Dada la gran cantidad, se optó por procesarlas con la ayuda de la malla descrita con antelación, así hubo que determinar el número de localidades contenidas por cuadrante a través de una tabla de frecuencia.

VÍAS DE COMUNICACIÓN

La cobertura de vías de comunicación escala 1:250 000 del Comité Técnico Regional de Información Estadística y Geografía (CTRIEG) del año 2005, engloba a brechas, carreteras pavimentadas, caminos de terracería y vías férreas. Esta información fue proporcionada por el Laboratorio de PR y SIG de la Escuela de Ciencias Sociales y Humanidades de la UASLP.

La probabilidad de que inicie un incendio en las áreas que circundan a las vías de comunicación varía según la anchura de la vía y el derecho de vía, generalmente, a mayor cercanía a la vía mayor será el peligro de ignición. Muñoz et al. (2005) utilizó 50 m de buffer para las carreteras y las brechas para la extracción de madera; y 20 m para las veredas. Palacio y Zetina (2010) generaron un buffer de 100 m en la cobertura de vías de comunicación.

En el presente estudio y con base en los criterios de los autores ya mencionados, la distancia del buffer para el caso de las carreteras pavimentadas, brechas y vías férreas fue de 50 m, mientras que para las carreteras de terracería se utilizaron 20 m. En la cobertura creada se calculó el área de los polígonos generada por los buffers y esta área se utilizó como insumo para elaborar la capa de densidad de vías de comunicación por cada cuadrante con un procedimiento similar al realizado para las localidades.

TOPOGRAFÍA

Los elementos topográficos se procesaron con base en las curvas de nivel escala 1:250 000 del INEGI (2004) con cotas a cada 100 m. Esta información fue proporcionada directamente por el Centro de Información Balderas del INEGI en la ciudad de México.

Evaluación de la susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí, México, una contribución a la gestión del riesgo.

Se unieron las curvas de nivel de ocho cartas (Cuadro 5) 1:250 000 y con ellas se construyó un Modelo Digital de Elevación (MDE) con un tamaño de píxel de 250 m. A partir de éste, se calculó la pendiente (en porcentaje) y la orientación de la ladera.

Cuadro 5. Cartas topográficas utilizadas para la construcción del MDE.

Clave	Carta
G14-10	Concepción del oro
F14-1	Matehuala
F13-3	Fresnillo
F14-5	Ciudad Mante
F13-6	Zacatecas
F14-4	San Luis Potosí
F14-8	Ciudad Valles
F14-7	Guanajuato

Fuente: Elaboración propia

USO DE SUELO Y VEGETACIÓN

De la página glovis.usgs.gov/ se descargaron las imágenes satelitales Landsat que cubren al estado de San Luis Potosí, con la finalidad de generar un mosaico. Las características de las imágenes se muestran en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Características generales de las imágenes del satélite Landsat.

No.	Path	Row	Satélite	Fecha de toma	Proyección
1	26	45	Landsat 5	13-abr-11	UTM 14
2	27	44	Landsat 5	04-abr-11	UTM 14
3	27	45	Landsat 5	04-abr-11	UTM 14
4	28	43	Landsat 5	06-mar-11	UTM 14
5	28	44	Landsat 5	11-abr-11	UTM 14
6	28	45	Landsat 5	21-ene-11	UTM 14
7	29	44	Landsat 5	02-abr-11	UTM 13

Fuente: Elaboración propia.

Las imágenes se procesaron en el software ENVI y posteriormente se construyó un mosaico. La combinación de bandas utilizada fue RGB 453, la cual se eligió porque permite discriminar entre el suelo y el agua, distinguir los diferentes tipos de vegetación en tonos marrones, verdes y naranjas y realzar las condiciones de humedad en la vegetación y el suelo (Fernández y Herrero, 2001).

Por otro lado, el LaNGIF proporcionó la cobertura de uso de suelo y vegetación del INEGI Serie IV, publicada en el 2008. Debido a los pocos años de diferencia entre las imágenes de satélite y la

cobertura de INEGI se optó por verificar el grado de correspondencia entre ambas. Así, se generaron 100 puntos de control aleatorios y se procedió a comparar el uso de suelo en el mosaico de imágenes satelitales y en la cobertura. Los resultados arrojaron una correspondencia del 95%, por tanto, se optó por emplear la cobertura del INEGI, que además tiene mayor grado de detalle en la descripción de la vegetación y los usos de suelo en el estado.

CLIMA

La capa de información climática fue realizada por la CONABIO, en 2001 y está disponible para su descarga en <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>. Los datos de precipitación anual y temperatura máxima provienen de las normales climatológicas de la CONAGUA. Se obtuvieron los registros de 164 estaciones del estado de San Luis Potosí con datos del periodo 1981-2010.

TIPO DE CLIMA

El procesamiento de la cobertura de tipo de clima, básicamente consistió en recategorizar los 33 tipos de clima de la entidad según CONABIO (2001) en seis grupos principales: templados, semicálidos, cálidos, semiáridos, áridos y muy áridos.

PRECIPITACIÓN

Una vez finalizada la descarga de datos de precipitación, se procedió a conformar una base de datos en Excel y a transformar las coordenadas de grados sexagesimales a grados decimales, para así poder elaborar un mapa de puntos.

Con la herramienta *Interpolation* del módulo *Spatial Analyst Tools* se interpolaron los puntos de las estaciones climatológicas con base en el valor de la precipitación anual. El método empleado fue *Kriging*, que es un procedimiento geoestadístico avanzado que genera una superficie estimada a partir de un conjunto de puntos dispersados con valores z .

TEMPERATURA

La construcción de isotermas se realizó acorde con lo descrito por Fries et al. (2011) quienes generaron un mapa de isotermas considerando el gradiente altitudinal. Para ello, además de los datos de temperatura máxima se utilizó el MDE del estado de San Luis Potosí. El método consistió en determinar el gradiente altitudinal, calcular los nuevos valores de temperatura a una altitud

determinada con base en ese gradiente y finalmente, interpolar los datos de temperatura de acuerdo con la altitud.

ESTANDARIZACIÓN DE FACTORES

En cualquier estudio en el que se pretenda integrar distintos factores, variables o criterios e independientemente del método de evaluación a utilizar, es deseable que dicha evaluación se realice sobre escalas comparables en tipo, rango de extensión, eventual posición del cero, dispersión, etcétera (Gómez y Barredo, 2006).

Los factores elegidos para construir el modelo de susceptibilidad son de distinta naturaleza y por ello, difieren en sus unidades de medida y en el tipo de variables que representan. Factores como el tipo de clima y el tipo de vegetación son de carácter categórico, es decir, son variables cuyos posibles valores no son susceptibles de medición cuantitativa directa pero si pueden ser clasificados (Alvarado y Obaji, 2008). Por otro lado, se encuentran variables como la altitud, pendiente, densidad de localidades y de caminos que se clasifican como numéricas continuas pues pueden tomar cualquier valor dentro de un intervalo determinado de números reales. Por esa razón, cada variable fue normalizada con un tratamiento específico, mismo que se describe a continuación.

VARIABLES NUMÉRICAS CONTINUAS

Las variables numéricas se normalizaron mediante la transformación escalar lineal. De acuerdo con Malczewski (1999) este método convierte los datos crudos en un criterio de puntuación estandarizado y es el más usado para crear mapas determinísticos, donde se asigna un solo valor a cada objeto (punto, línea, polígono o píxel) El valor de la puntuación normalizada oscila en un rango de 0 a 1, donde el valor más alto corresponde al criterio más atractivo, lo cual aplicado a este trabajo, se refiere a la condición de mayor susceptibilidad.

Los dos procedimientos utilizados son máxima puntuación (ecuación 2) y rango de puntuación (ecuaciones 3 y 4).

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^{max}} \quad (2)$$

$$x'_{ij} = \frac{x_j^{max} - x_{ij}}{x_j^{max} - x_j^{min}} \quad (3)$$

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{min}}{x_j^{max} - x_j^{min}} \quad (4)$$

Dónde:

x'_{ij} : puntuación estandarizada en el i -ésimo objeto en el j -ésimo atributo

x_{ij} : dato crudo

x_j^{max} : máxima puntuación en el j -ésimo atributo.

x_j^{min} : mínima puntuación en el j -ésimo atributo

$x_j^{max} - x_j^{min}$: rango del criterio

La desventaja del método de máxima puntuación es que no necesariamente el valor más bajo de cada criterio es igual a 0 y esto dificulta la estimación de los criterios menos atractivos. Cuando ese sea el caso, se utiliza alternativamente el procedimiento de rango de puntuación. El peor valor estandarizado siempre es 0 y el mejor 1. A diferencia del procedimiento de máxima puntuación el método de rango de puntuación no produce cambios proporcionales en los resultados.

Las variables de altitud, temperatura, precipitación, densidad de vías de comunicación y densidad de localidades se normalizaron por este método.

VARIABLES CATEGÓRICAS

La normalización de las variables categóricas se efectuó a través del método de comparación de pares de Saaty.

En este procedimiento, primero se establece una matriz cuadrada en la cual el número de filas y columnas está definido por el número de factores a ponderar (en este caso, el número de tipos de clima o de vegetación), así se establece la matriz de comparación entre pares de factores, comparando la importancia de cada uno sobre los demás (Gómez y Barredo, 2006). La escala de medida para la asignación de los juicios de valor es de tipo continuo y va desde un valor mínimo de 1/9 hasta 9 (Figura 16).

Evaluación de la susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí, México, una contribución a la gestión del riesgo.

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extrema	Fuerte	Moderada	Igual	Moderada	Fuerte	Extrema		
Menos importante				Más importante				

Figura 16. Escala de medida de Saaty.

El segundo paso es calcular el peso de cada criterio a través de una serie de operaciones que implican la suma de cada columna de comparación de pares, dividir cada elemento en la matriz entre la suma total de cada columna y calcular el promedio de los elementos en cada fila de la matriz normalizada, esto es, dividir la suma de los puntajes normalizados de cada fila entre el número de criterios comparados. Estos promedios constituyen el peso relativo de los criterios que hayan sido comparados.

Por último, se estima la razón de consistencia, que como su nombre lo indica determina si los juicios de valor de la comparación son consistentes, para ello debe determinarse el vector de consistencia (λ), el índice de consistencia (IC) y la razón de consistencia (RC), como se muestra en las ecuaciones 5 y 6. RI , es un índice aleatorio de consistencia definido expresamente para esta metodología. Es importante mencionar que la razón de consistencia obtenida debe ser menor a 0.10 para poder considerar satisfactorios los juicios de valor asignados.

$$IC = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (5)$$

$$RC = \frac{IC}{RI} \quad (6)$$

Con este método, la suma del peso de cada criterio debe ser 1 por lo que la normalización no arroja este valor. Por esa razón, una vez obtenidos los pesos de las variables categóricas a través de la comparación de pares, se sometieron a una transformación escalar lineal para garantizar que los valores de todos los factores normalizados oscilen entre 0 y 1, siendo 1 el valor que indica mayor susceptibilidad.

Los factores de tipo de vegetación, áreas agrícolas, tipo de clima y orientación de la ladera se normalizaron con este procedimiento, auxiliados por los resultados de las tablas de frecuencia obtenidas con la caracterización de puntos de calor.

4.2.3.2. JUICIOS DE COMPARACIÓN

PONDERACIÓN DE LOS FACTORES

El objetivo de la ponderación de las variables es expresar en términos cuantitativos la importancia de los distintos elementos que se manifiestan en un problema específico. El método de ponderación aplicado fue el Comparación por Pares de Saaty. Este procedimiento ha sido descrito detalladamente en el apartado anterior, puesto que se utilizó también para normalizar las variables categóricas.

La asignación de los juicios de valor en los factores, se realizó mediante la opinión de seis especialistas en distintos aspectos de los incendios forestales. Cada uno, emitió sus juicios en las matrices de comparación. Los valores de los juicios emitidos fueron promediados y los resultados constituyeron la ponderación a utilizar en el modelo multicriterio.

4.2.3.3. SÍNTESIS DE PRIORIDADES

La integración de los criterios se realizó con base en la técnica compensatoria aditiva de jerarquías analíticas, esta se aplica frecuentemente en modelos desarrollados en Sistemas de Información Geográfica que trabajan con datos raster (Mena et al., 2006). La ecuación 7 permite integrar los factores elegidos y previamente ponderados.

$$Ri = \sum_k w_k r_{ik} \quad (7)$$

Donde:

Ri : Nivel de adecuación

w_k : Vector de prioridades (peso) asociado a cada elemento k de la estructura jerárquica de criterios.

r_{ik} : Vector de prioridades de la alternativa i en el criterio k

4.2.3.4. VALIDACIÓN

El primer método es similar al empleado por Moraga (2010), Juárez (2011) y Muñoz (2001) quienes validaron sus respectivos índices de riesgo ante incendios forestales sobreponiendo una capa de puntos de calor (independientes a los utilizados para construir el modelo) con el modelo

correspondiente y realizando una tabulación cruzada, para determinar la cantidad de puntos de calor en cada grado de susceptibilidad.

Un método alternativo utilizado Juárez (2011) y Moraga (2010) fue la sobreposición de una cobertura de áreas quemadas en el modelo. La premisa de este procedimiento es que hay una coincidencia entre los polígonos más representativos de áreas quemadas y las zonas con alta susceptibilidad a los incendios forestales.

A manera de resumen, la Figura 17 muestra las tres etapas de la EMC denominada jerarquías analíticas que es la utilizada para la obtención del modelo de susceptibilidad a incendios forestales en el presente estudio.

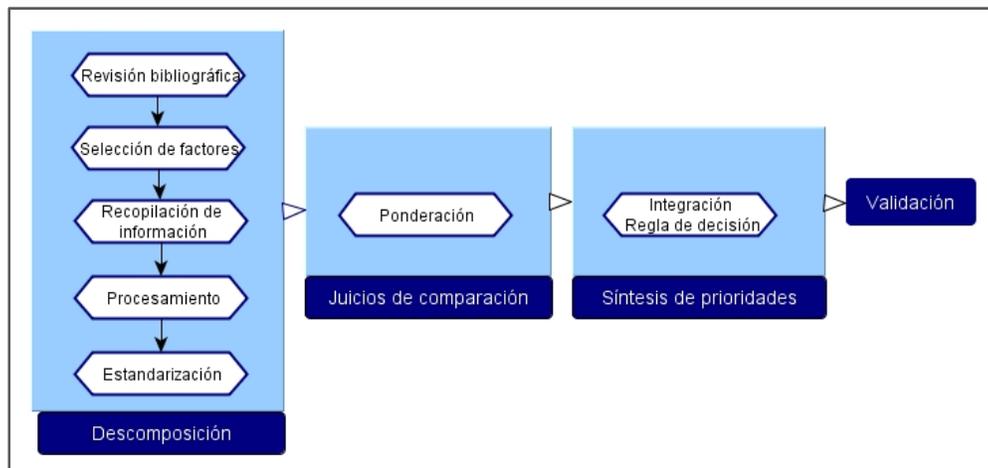


Figura 17. Metodología de la evaluación multicriterio por análisis jerárquico.

La etapa de descomposición implica mayor trabajo ya que se debe entender y caracterizar el problema de estudio para poder desintegrarlo de manera jerárquica de tal manera que se represente lo más fidedignamente posible. En el resto de las etapas el trabajo disminuye pero la complejidad aumenta.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.4. REGRESIÓN LOGÍSTICA

4.2.4.1. CONSTRUCCIÓN DE BASE DE DATOS

La base de datos se construyó en el módulo Excel 2010 de Microsoft Office, utilizando la información resultante de la caracterización de los puntos de calor FIRMS realizada previamente. Sin embargo, se decidió emplear solo los puntos de calor del período 2000-2009, con la finalidad de dejar un margen de 3 años (2010 - 2013) para la posterior validación del modelo.

Se hicieron algunas adecuaciones a la base de datos para que esta pudiera ser reconocida por el software estadístico. A las variables categóricas se les asignó una clave de texto, en lugar de una numérica, para que el programa pudiera detectarlas como factor. Las variables numéricas conservaron sus características. De los 11 atributos con los que cuenta la base de datos, seis son variables categóricas y cinco variables numéricas (Cuadro 7). La distancia a vías de comunicación, localidades y frontera agrícola fue de 250 m, obedeciendo al tamaño de píxel manejado.

Cuadro 7. Carácter de los atributos incluidos en la base de datos

Campo	Carácter
Tipo (Variable dependiente)	Binario
Agricultura	Categórica
Vegetación	Categórica
Clima	Categórica
Temperatura	Numérica continua
Precipitación	Numérica continua
Orientación	Categórica
Altitud	Numérica continua
Pendiente	Numérica continua
Distancia a frontera agrícola	Categórica
Distancia a localidades	Categórica
Distancia a vías de comunicación	Categórica

Fuente: Elaboración propia

4.2.4.2. GENERACIÓN DE COEFICIENTES

Para aplicar la regresión logística se utilizó el programa R versión 3.0.1 disponible para su descarga gratuita en <http://www.r-project.org/>. R es un conjunto integrado de servicios de software para el

manejo de datos, cálculos estadísticos y representación gráfica. El módulo utilizado se denomina *Rcmdr* y es una plataforma independiente para estadística básica.

El archivo Excel fue importado desde el módulo *Rcmdr* y allí se seleccionaron las opciones ajuste de modelos, modelo lineal generalizado, familia binomial y función de enlace logit, en ese orden. El Logit es un modelo de regresión pensado para realizar regresiones con variables categóricas. El resultado de esta acción muestra la magnitud de la influencia de las variables independientes en la variable dependiente, en este caso, la probabilidad de ocurrencia de incendios.

Posteriormente, a los resultados del modelo de regresión, se les aplicó la herramienta de selección de modelo paso a paso con Criterio de Información de Akaike (AIC), para elegir sólo aquellos elementos (variables categóricas o numéricas) estadísticamente significativos en la determinación de la probabilidad de ocurrencia de un incendio forestal y así, obtener el coeficiente correspondiente para cada uno.

El AIC es una medida de la calidad relativa de un modelo estadístico. Es el resultado de la bondad del ajuste y la complejidad del modelo. El modelo a elegir es el que presente un menor AIC. Caballero (2011) menciona que el AIC no pretende identificar al modelo verdadero, más bien, significa que el modelo es el mejor entre los modelos candidatos, en el sentido de que proporciona la aproximación más cercana a la realidad o al modelo verdadero y es el que mejor se ajusta a los datos.

4.2.4.3. APLICACIÓN DEL MODELO

En el software ArcGis 10.1 se realizó la integración de los coeficientes de las variables de la regresión logística. A cada capa temática se le agregó un campo con el coeficiente correspondiente y con base en él, se transformó de vector a raster. Estas capas raster poseen un tamaño de píxel de 250 m, datum WGS84 y proyección UTM 14N.

El modelo de regresión logística obtenido se aplicó de acuerdo a las ecuaciones 8 y 9.

$$P_i = \frac{1}{1+e^{-z}} \quad (8)$$

$$z = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p \quad (9)$$

Evaluación de la susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí, México, una contribución a la gestión del riesgo.

Donde P_i , es la probabilidad de ocurrencia del fenómeno, z la combinación de variables independientes con sus coeficientes de regresión (β), X el valor de cada variable independiente y e la base de los logaritmos naturales.

4.2.4.4. VALIDACIÓN

La validación se realizó con los mismos métodos que en el caso de la evaluación multicriterio, es decir, (1) Sobreposición de los puntos de calor FIRMS de los años 2011 al 2013 y (2) Sobreposición de la capa vectorial de áreas quemadas del año 2011 al modelo.

El resumen de la metodología para la determinación de la susceptibilidad a incendios forestales mediante regresión logística se observa en la figura 18.

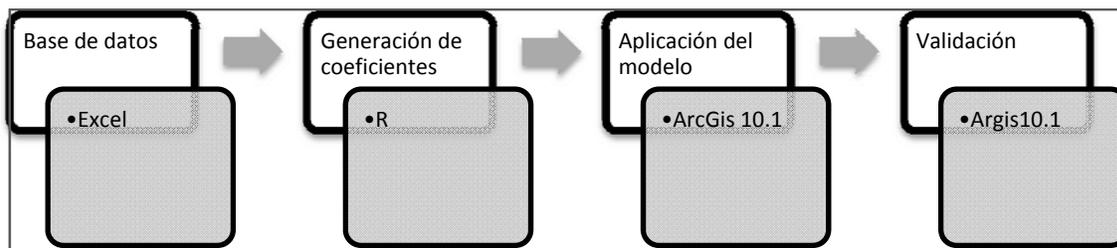


Figura 18. Metodología para la aplicación de la regresión logística.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.5. EDICIÓN DE CARTOGRAFÍA

La edición de los mapas finales de cada variable considerada y de los modelos finales de susceptibilidad se realizó en ArcGis 10.1

CAPITULO 5. RESULTADOS

5.1. CARACTERIZACIÓN DE INCENDIOS CON BASE EN LOS PUNTOS DE CALOR DEL FIRMS.

Después de la aplicación de las condicionantes de confiabilidad mayor a 65% y exclusión de puntos de calor sobre áreas agrícolas, se obtuvieron 1561 registros correspondientes al periodo del 28 de noviembre de 2000 al 31 de diciembre de 2012. Los resultados de la caracterización se muestran a continuación.

5.1.1. FACTORES TOPOGRÁFICOS

ALTITUD

De acuerdo al modelo digital de elevación construido con curvas de nivel cada 100 m, San Luis Potosí tiene una altitud mínima de 50 m.s.n.m. y una máxima de 3,100 m.s.n.m. El 87.1% de los puntos de calor se ubican en altitudes de 0 a 1500 m.s.n.m. y disminuyen gradualmente conforme aumenta la altitud, correspondiendo la menor frecuencia a los ubicados de 2001 a 2600 m.s.n.m. (Figura 19).

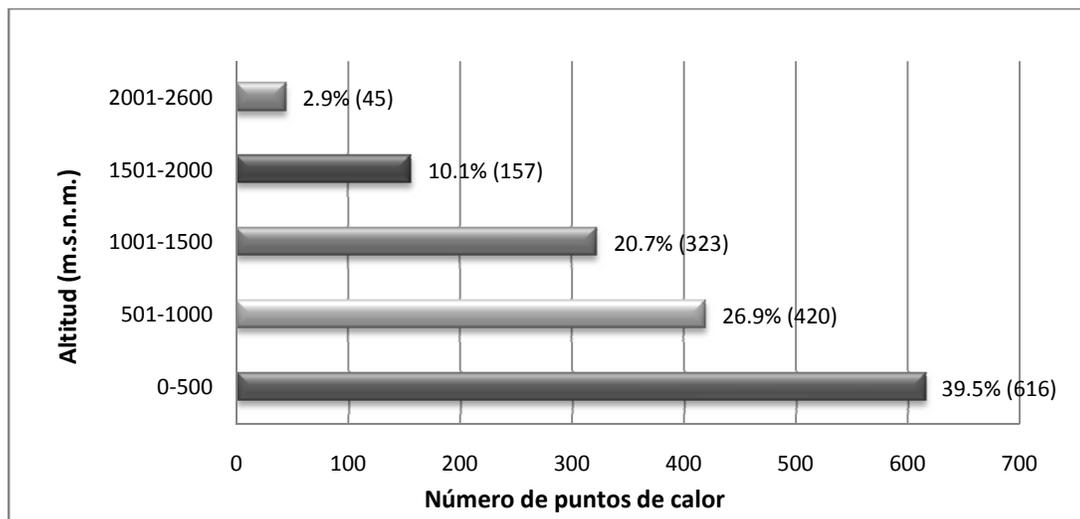


Figura 19. Porcentaje de puntos de calor por rango altitudinal.

Fuente: Elaboración propia.

PENDIENTE

El mayor número de puntos de calor (70.14%) se agrupa en pendientes de 0 a 8% y en menor cantidad en pendientes de 9 a 16% (24.09%). En pendientes superiores a 16% el número de puntos de calor es considerablemente menor (Figura 20).

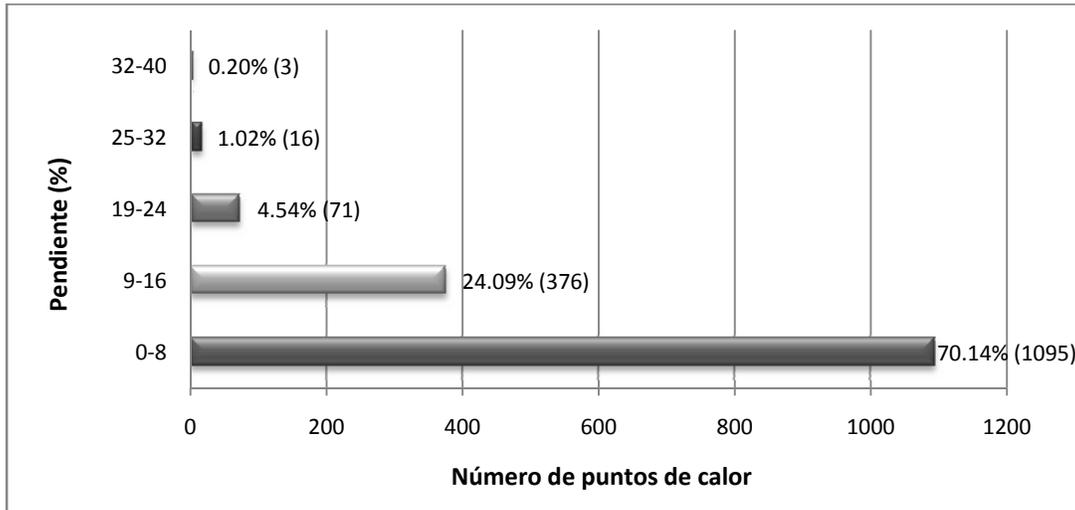


Figura 20. Porcentaje de puntos de calor por rango de pendiente.

Fuente: Elaboración propia.

ORIENTACIÓN

El 31.32% de los puntos de calor se localizan en laderas con orientación este y el 21.72% en terrenos planos. En las exposiciones oeste, sur y norte se ubican cantidades equiparables de puntos de calor (Figura 21).

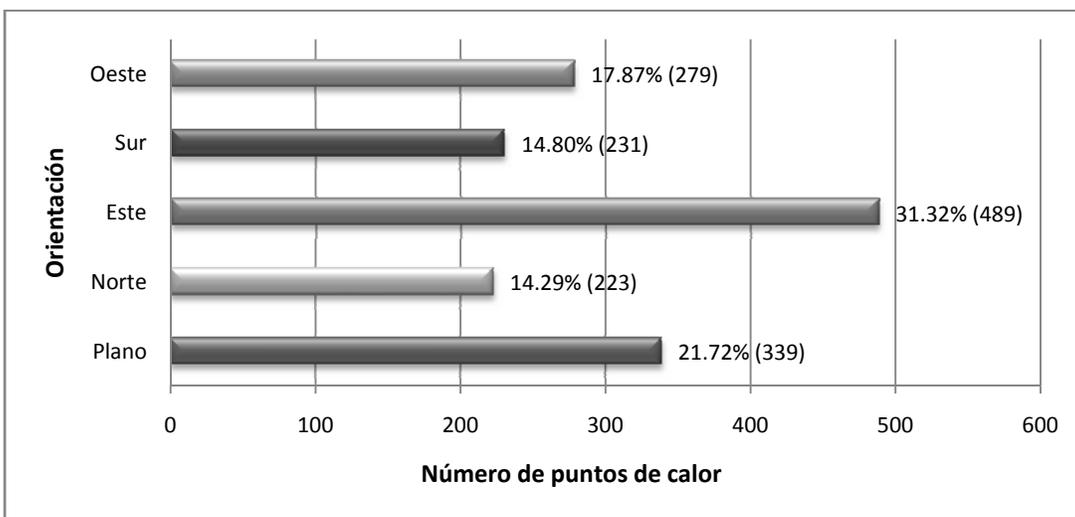


Figura 21. Porcentaje de puntos de calor por orientación de ladera.

Fuente: Elaboración propia.

5.1.2. FACTORES CLIMÁTICOS

CLIMA

En los climas semicálidos y cálidos se ubica el 81.17% de los puntos de calor, seguidos de los climas semiáridos con 11.75% y áridos con 6.66%. En los climas muy áridos y templados se localizan menos del 0.5% del total (Figura 22).

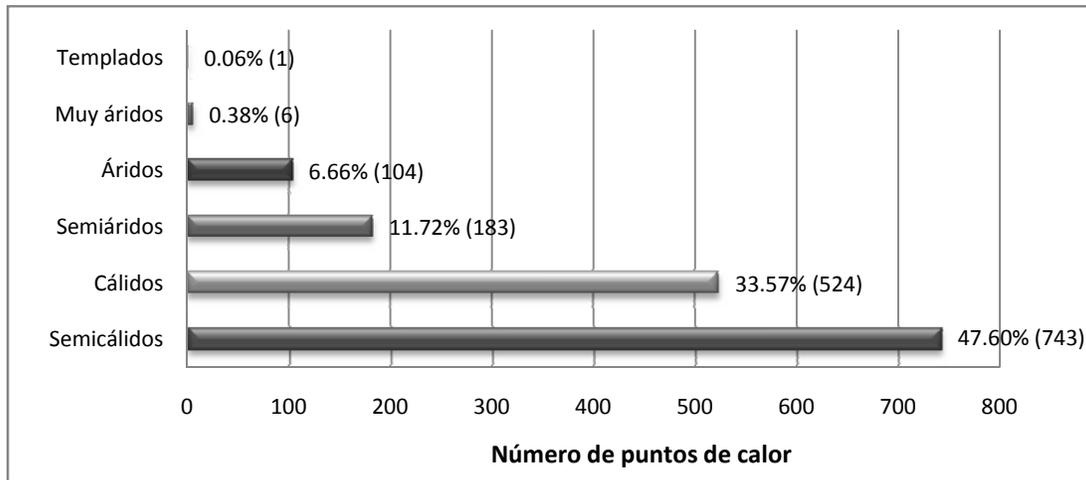


Figura 22. Porcentaje de puntos de calor por tipo de clima.

Fuente: Elaboración propia.

TEMPERATURA

Prácticamente, el 50% de los puntos de calor se ubica en torno al rango de 29.0 a 31.0 °C de temperatura máxima anual, seguido de 27.0 a 29.0 °C (23.89%). El rango de 23.0 a 25.0 °C es el que registra una menor incidencia con 22 puntos de calor (Figura 23).

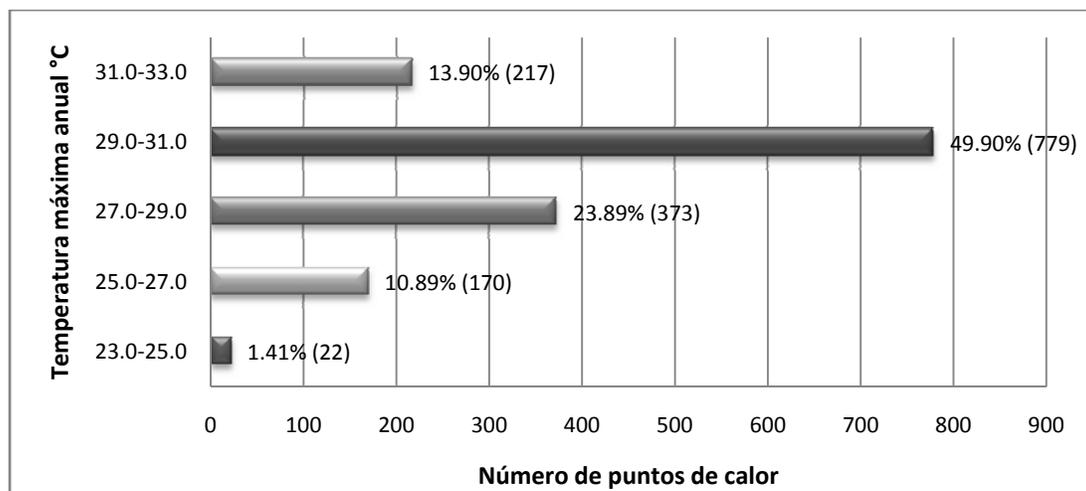


Figura 23. Porcentaje de puntos de calor por rango de temperatura máxima anual.

Fuente: Elaboración propia.

PRECIPITACIÓN

La cantidad y duración de la lluvia disminuyen la probabilidad de ignición y la intensidad en el frente del incendio. El 49.65% de los puntos de calor se localiza en el rango de precipitación anual de 1201 a 1800 mm, aunque sobresalen también los rangos de 601-1200 mm (27.61%) y 0 a 600 mm (16.72%). En los sitios con precipitaciones anuales por encima de los 1800 mm anuales, la incidencia de puntos de calor es de aproximadamente el 6% del total (Figura 24).

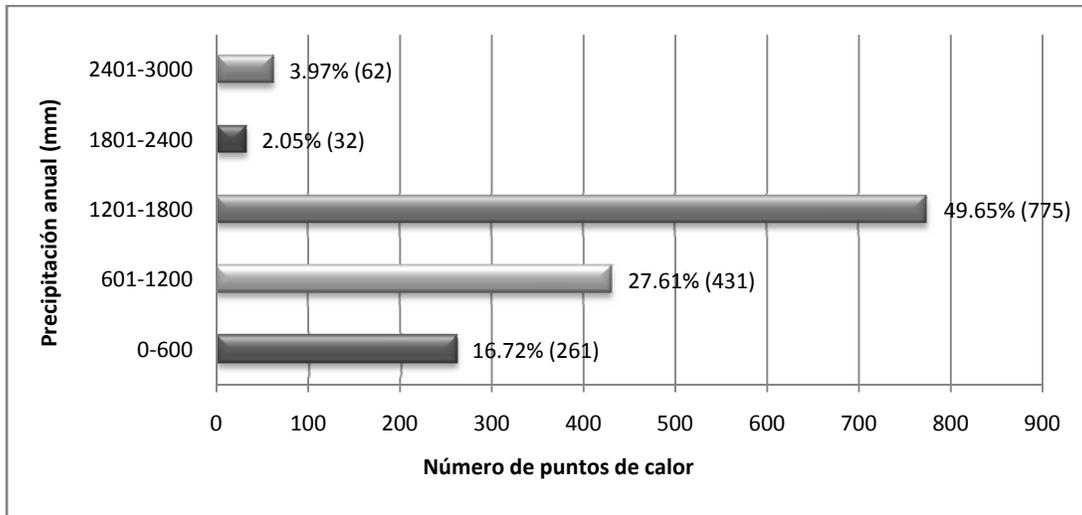


Figura 24. Porcentaje de puntos de calor por rangos de precipitación anual.

Fuente: Elaboración propia.

5.1.3. FACTOR CAUSAL

Los resultados arrojaron que de los 1561 puntos de calor, solo el 2% (31) se ubican a menos de 250 m de las localidades y el 98% (1530) a mayor distancia y el 4% (95) se localizó a menos de 250 m de alguna vía de comunicación (carreteras, brecha y vías férreas). En cuanto a la frontera agrícola, el 25% (394) se ubicó por debajo de los 250 m de algún límite parcelario y el resto se localizó por encima de esta distancia.

5.1.4. FACTOR VEGETACIÓN

La vegetación es la fuente del combustible forestal. Diferentes tipos de vegetación producen diferentes tipos de combustibles que condicionan la ocurrencia y el comportamiento de los incendios forestales.

Los resultados de los valores netos de la incidencia de puntos de calor por tipo de vegetación se muestran en la Figura 25, mientras que el número de puntos de calor normalizados por la superficie que ocupa cada tipo de vegetación en el estado se presentan en la Figura 26.

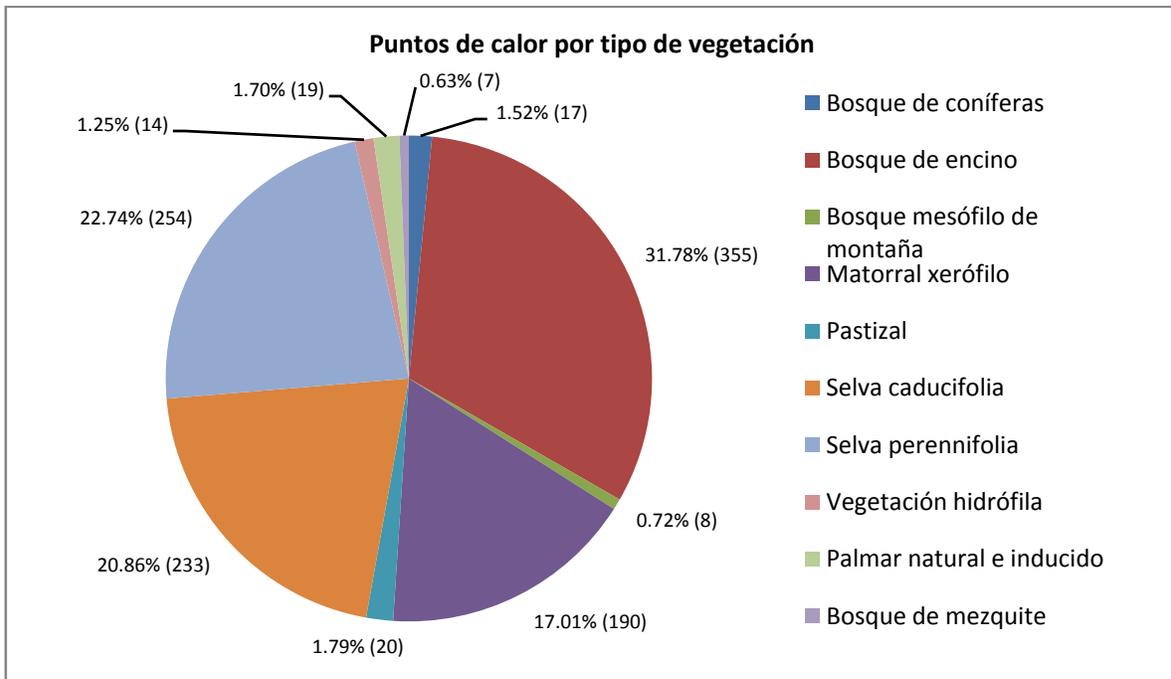


Figura 25. Porcentaje de puntos de calor por tipo de vegetación.

Fuente: Elaboración propia

En los valores netos sobresale el bosque de encino, la selva perennifolia, la selva caducifolia y el matorral xerófilo como los tipos de vegetación en los que recae el mayor porcentaje de puntos de calor, ya que juntos suman cerca del 92%. El restante 8% se divide entre pastizal, palmar, bosque de coníferas, vegetación hidrófila, bosque mesófilo y bosque de mezquite.

En cambio, al observar el gráfico de los puntos de calor normalizados con respecto a la superficie total por tipo de vegetación (Figura 26) sobresalen en primera instancia el palmar (19) y la vegetación hidrófila (14) por su escasa superficie en el estado, alrededor de 50 km² por cada tipo; en segundo sitio, con valores equiparables la selva perennifolia, caducifolia, el bosque mesófilo de montaña y bosque de encino. Por último, con valores inferiores el bosque de coníferas, mezquite, matorral xerófilo y pastizal.

Evaluación de la susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí, México, una contribución a la gestión del riesgo.

Cabe mencionar que los resultados arrojados por la caracterización no pretenden ser tomados de manera literal, sino más bien, proporcionar una idea de las condiciones en las que se han desarrollado los incendios forestales de los últimos 10 años en San Luis Potosí.

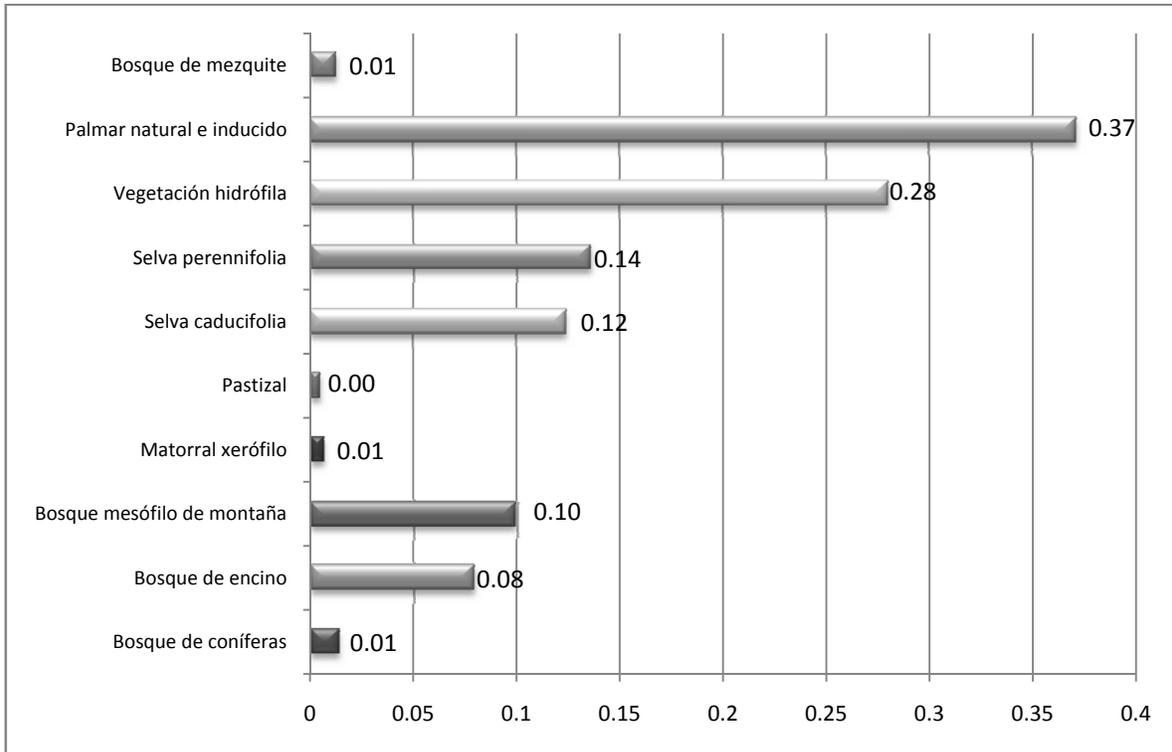
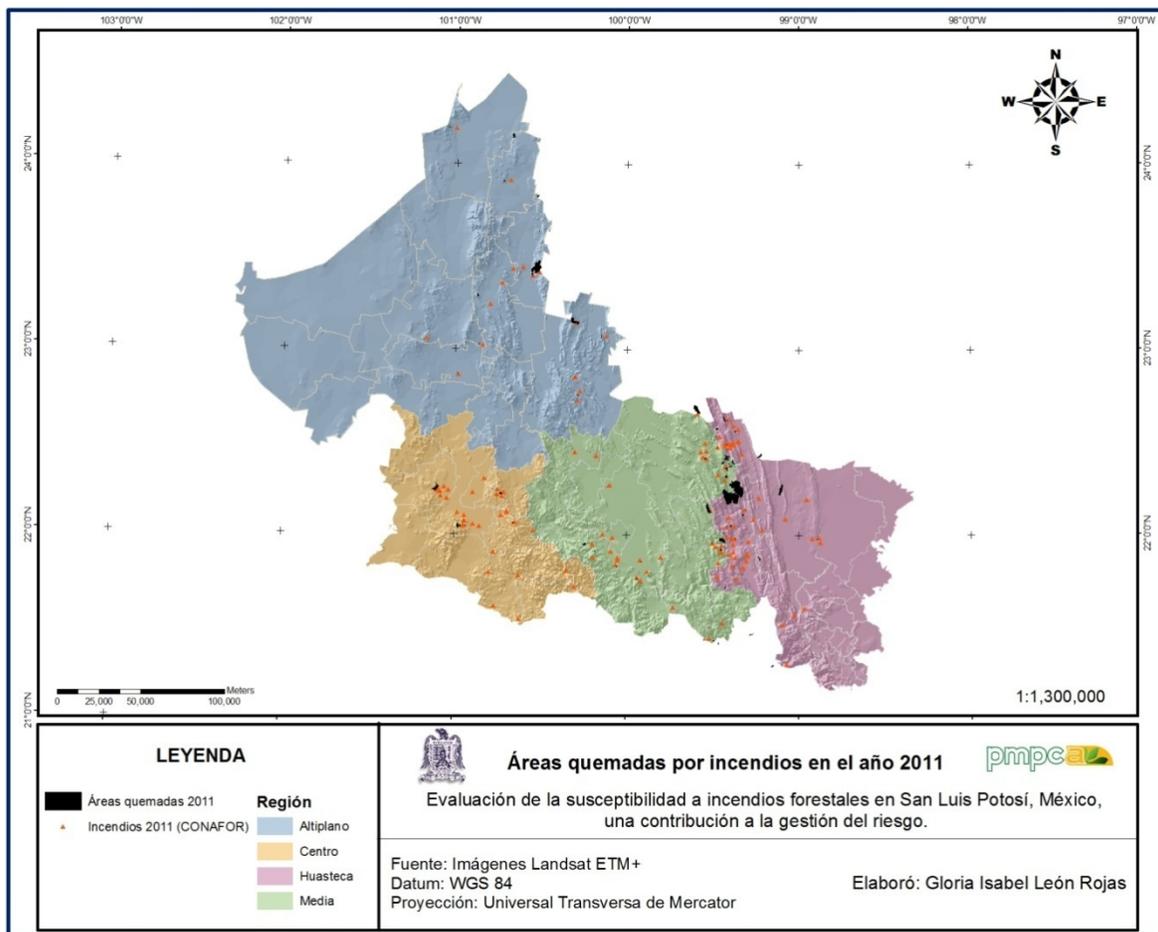


Figura 26. Valores normalizados de incidencia de puntos de calor por tipo de vegetación.

Fuente: Elaboración propia

5.2. DIGITALIZACIÓN DE ÁREAS QUEMADAS

La CONAFOR reportó 136 incendios en el año 2011, de los cuales fueron localizados 96 incendios en imágenes satelitales Landsat del mismo año (Mapa 7). La superficie quemada de los incendios reportada por la CONAFOR es de 13 496.75 ha y la generada por las áreas digitalizadas es considerablemente mayor, alcanzando las 24 236 ha. El 38.88% de la superficie quemada corresponde a la región Media, seguida de la Huasteca con 33.82%, el Altiplano con 20.35% y el Centro con 6.93%. A pesar de que no se puede establecer un patrón de distribución de las áreas quemadas porque sólo se digitalizó un año, es importante mencionar que las áreas con mayor superficie se encuentran en las zona limítrofe entre la región Media y Huasteca.



Mapa 7. Áreas quemadas por región administrativa en San Luis Potosí.

5.3. APLICACIÓN DE LA EVALUACIÓN MULTICRITERIO

5.3.1. PROCESO DE JERARQUÍAS ANALÍTICAS

El proceso de jerarquías analíticas desarrollado por Saaty, como se ha mencionado en apartados anteriores se basa en tres principios fundamentales: descomposición, juicios de comparación y síntesis de prioridades. Los resultados se presentan respetando el orden de estas fases.

PRINCIPIO DE DESCOMPOSICIÓN

La susceptibilidad a incendios forestales se desintegró en cuatro factores principales y seis subfactores dispuestos en tres niveles jerárquicos, que fueron elegidos con base en la revisión bibliográfica y las características de los incendios en el estado (Figura 27).

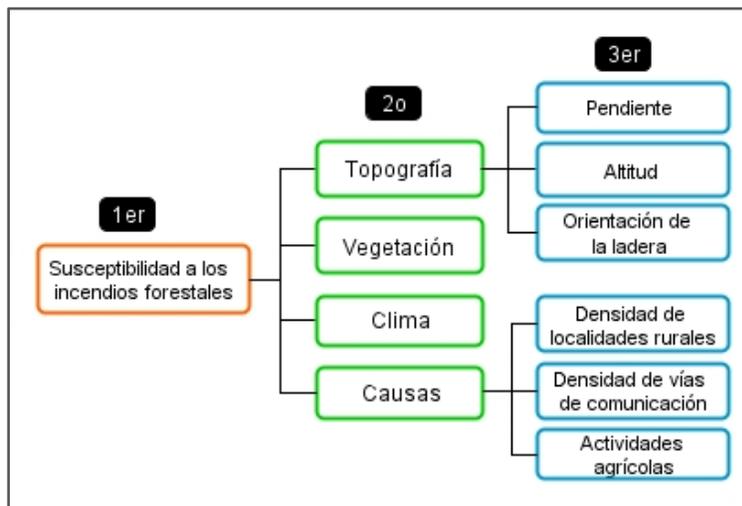
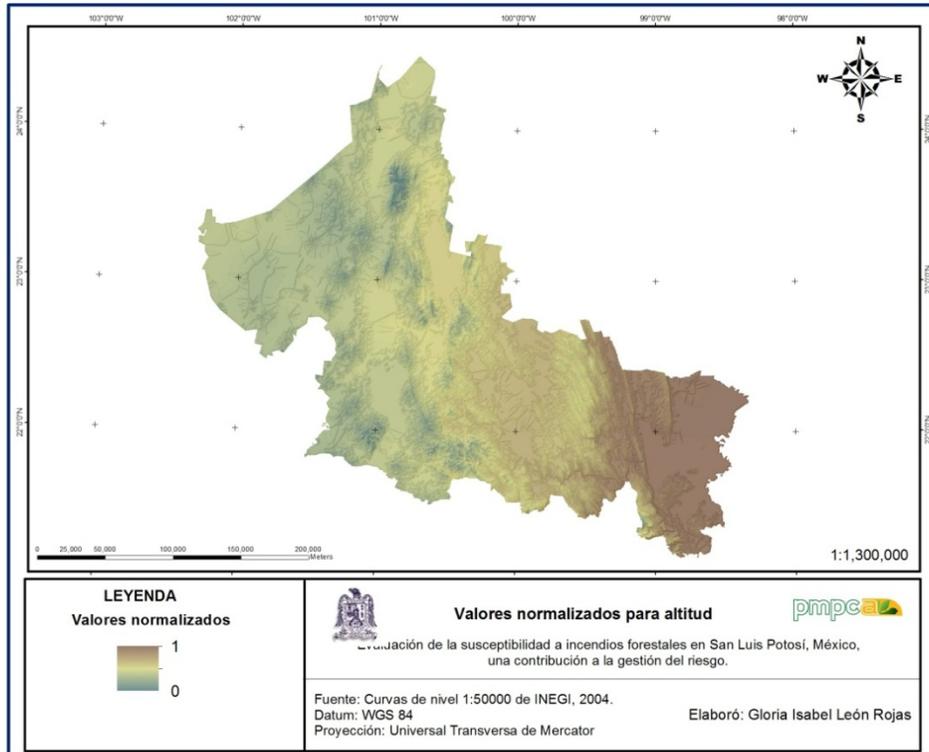


Figura 27. Descomposición de la susceptibilidad a incendios forestales en niveles jerárquicos.

Fuente: Elaboración propia.

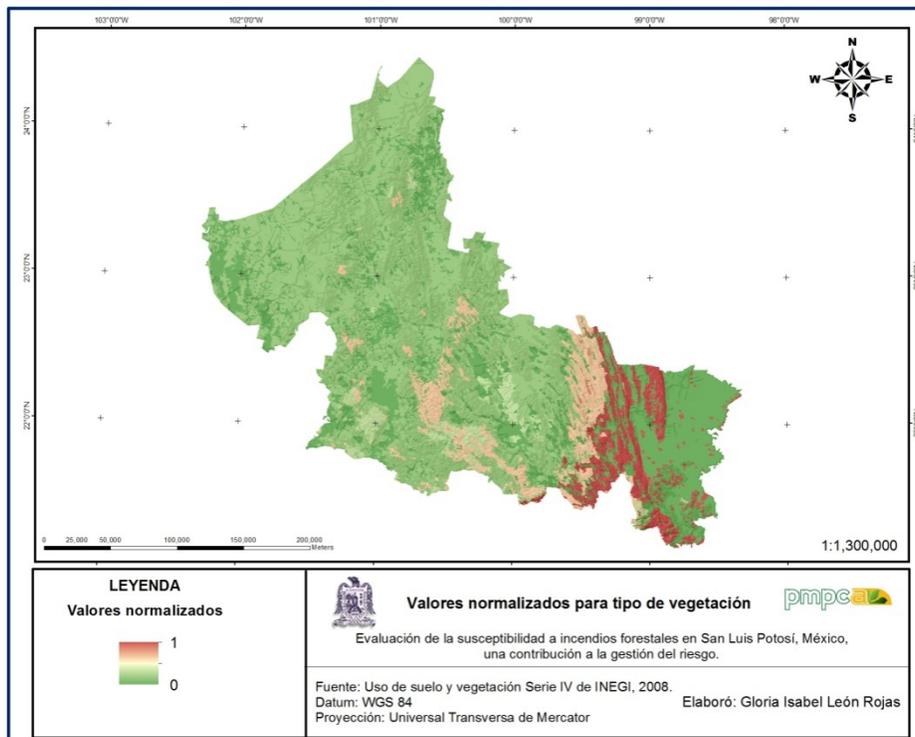
Dentro de esta etapa también se realizó la homogeneización de la información para que contara con los mismos parámetros cartográficos (Proyección: Universal Transversa de Mercator, Datum: WGS84 y elipsoide: WGS84), así como la normalización de los factores. Los ejemplos de normalización de los factores se muestran en el Mapa 8, referente a la altitud y en el Mapa 9 para los tipos de vegetación. La altitud se normalizó por el método de transformación escalar lineal mientras que para la vegetación se utilizó el método de comparación de pares de Saaty, asignando el mayor peso a aquellos tipos de vegetación más susceptibles al fuego según la CONABIO (1998) y la frecuencia de FIRMS.

Evaluación de la susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí, México, una contribución a la gestión del riesgo.



Mapa 8. Valores normalizados para altitud

Fuente: Elaboración propia



Mapa 9. Valores normalizados para tipo de vegetación

Fuente: Elaboración propia

PRINCIPIO DE JUICIOS DE COMPARACIÓN

Las matrices de comparación se efectuaron entre elementos del mismo nivel jerárquico. Los juicios de valor entre los factores del segundo nivel jerárquico, son el resultado del promedio de la ponderación realizada por un grupo de expertos en el fenómeno de los incendios forestales. Esta ponderación y la razón de consistencia obtenida se muestran en la Tabla 4.

Los resultados arrojan que el factor con mayor peso dentro de la susceptibilidad es la vegetación (0.5) y con pesos equiparables se encuentran la topografía (0.15), el clima (0.16) y los agentes causales (0.19). El valor de consistencia de estos juicios es de 0.03, lo que indica que son razonables.

Tabla 4. Matriz de comparación de los factores principales.

Factor	Vegetación	Topografía	Clima	Causas	Peso	RC
Vegetación	1	5	3	2	0.5	0.03
Topografía	0.2	1	1	1	0.15	
Clima	0.3	1	1	1	0.16	
Causas	0.5	1	1	1	0.19	

Fuente: Elaboración propia.

En las Tablas 5 y 6 se presentan las matrices de comparación correspondientes al factor topográfico y a los agentes causales. Es importante mencionar que estos juicios se emitieron con base en la caracterización de puntos de calor realizada previamente y en la información provista por la CONAFOR sobre las causas principales de incendios forestales en el estado. Entre los elementos que conforman el factor topográfico, la exposición resultó con el mayor peso y la altitud como el elemento de menor relevancia. En los agentes causales sobresalieron las áreas agrícolas, dejando tras de sí a la densidad de caminos y localidades.

Tabla 5. Matriz de comparación entre elementos topográficos.

Subfactor	Pendiente	Altitud	Exposición	Pesos	RC
Pendiente	1	5	0.33	0.28	0.05
Altitud	0.2	1	0.14	0.07	
Orientación	3	7	1	0.64	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Matriz de comparación entre agentes causales.

Subfactor	Localidades	Caminos	Áreas agrícolas	Pesos	RC
Localidades	1	0.33	0.2	0.11	0
Caminos	3	1	0.33	0.26	
Áreas agrícolas	5	3	1	0.63	

Fuente: Elaboración propia

PRINCIPIO DE SÍNTESIS DE PRIORIDADES

En esta etapa, se obtienen las diferentes prioridades consideradas en la resolución del problema. Una prioridad, es una unidad abstracta válida para cualquier escala en la que se integran las preferencias del decisor, estas prioridades también son denominadas pesos. Para obtener el peso global se multiplicaron los pesos de cada factor del segundo nivel jerárquico mostrados en la tabla 4 por los pesos de sus correspondientes factores mostrados en las Tablas 5 y 6 (Figura 28).

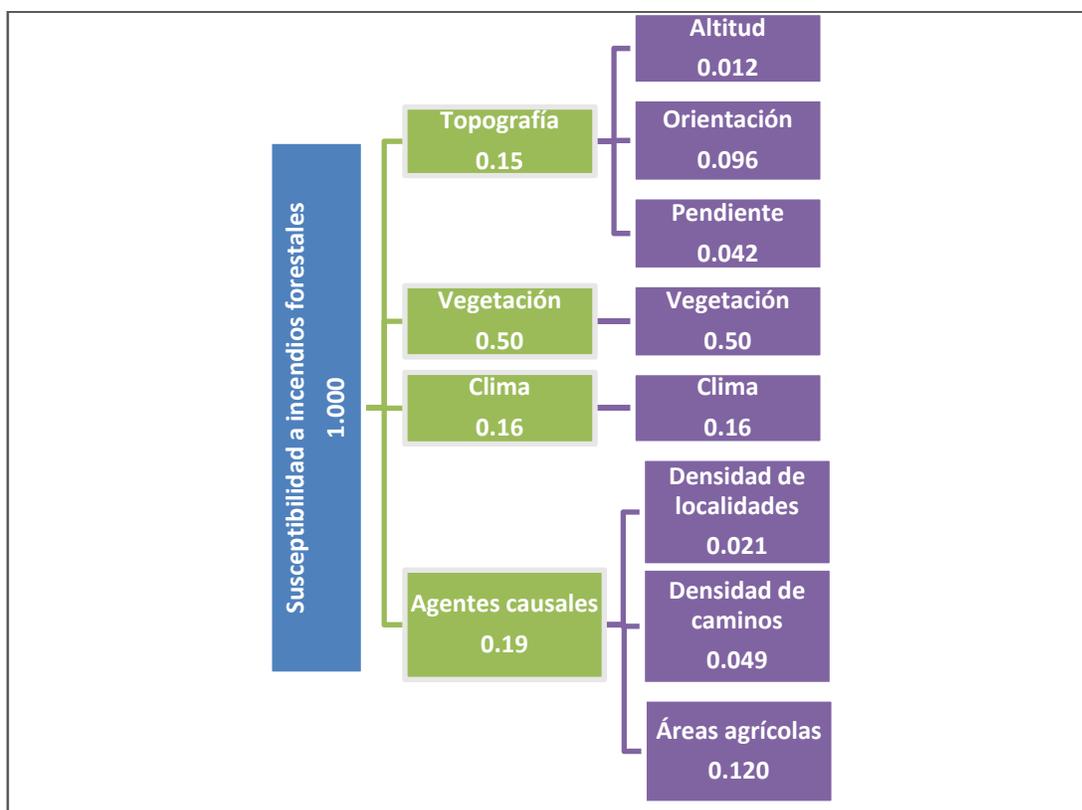


Figura 28. Obtención de pesos globales.

Fuente: Elaboración propia.

REGLA DE DECISIÓN

Para llevar a cabo la integración de los criterios en una sola ecuación, es decir, para construir la regla de decisión se aplicó la ecuación 10.

$$R_i = \sum_k w_k r_{ik} \quad (10)$$

Donde:

R_i : Vector de pesos compuestos

w_k : Vector de prioridades (pesos) asociado a cada elemento k

r_{ik} : Vector de prioridades obtenido al comparar las alternativas con cada criterio

$$S = [(O * 0.96) + (A * 0.012) + (P * 0.042)] + [(DC * 0.0499 + (DL * 0.021) + (AA * 0.120)] \\ + [C * 0.16] + [V * 0.50]$$

Donde:

S: Susceptibilidad, O: Orientación, A: Altitud, P: Pendiente, DC: Densidad de caminos, DL: Densidad de localidades, AA: Áreas agrícolas, C: Clima, V: Vegetación.

En resumen, el proceso de obtención del modelo de la susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí, puede visualizarse en la Figura 29. Primero se obtuvieron las capas de información de cada subfactor con unidades de medida y características distintas. Se procedió a normalizar cada uno para poder realizar el álgebra de mapas. Cada subfactor fue multiplicado por su peso correspondiente y la capa resultante se sumó con el resto de los elementos del factor para obtener la correspondiente capa de información, la cual posteriormente fue integrada en una regla de decisión para obtener el modelo de susceptibilidad.

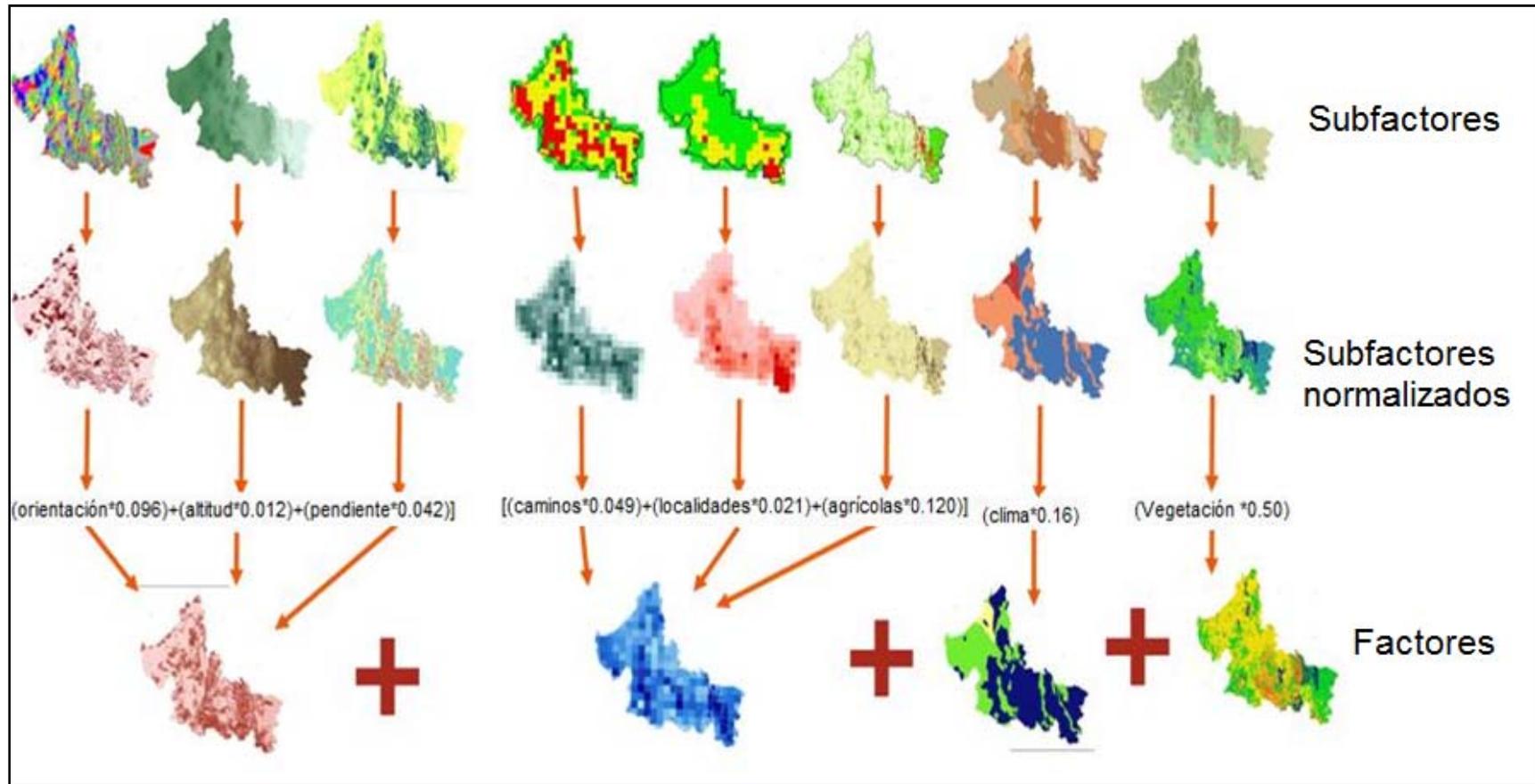


Figura 29. Proceso de obtención del modelo de susceptibilidad mediante evaluación multicriterio.

Evaluación de la susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí, México, una contribución a la gestión del riesgo.

5.3.2. APLICACIÓN DEL MODELO DE SUSCEPTIBILIDAD A INCENDIOS FORESTALES OBTENIDO MEDIANTE EVALUACIÓN MULTICRITERIO

Se construyeron varios modelos modificando algún elemento en ellos y aprovechando la disponibilidad de información obtenida previamente. Los valores resultantes se clasificaron en tres categorías, correspondientes a los grados de susceptibilidad bajo, medio y alto; en respuesta a la escala de trabajo pequeña (1:1 300 000), ya que ésta dificulta un análisis detallado de la superficie y limita la elección de un nivel de desagregación más preciso. El modelo elegido se presenta en el Mapa 10 y es producto de la ecuación (11).

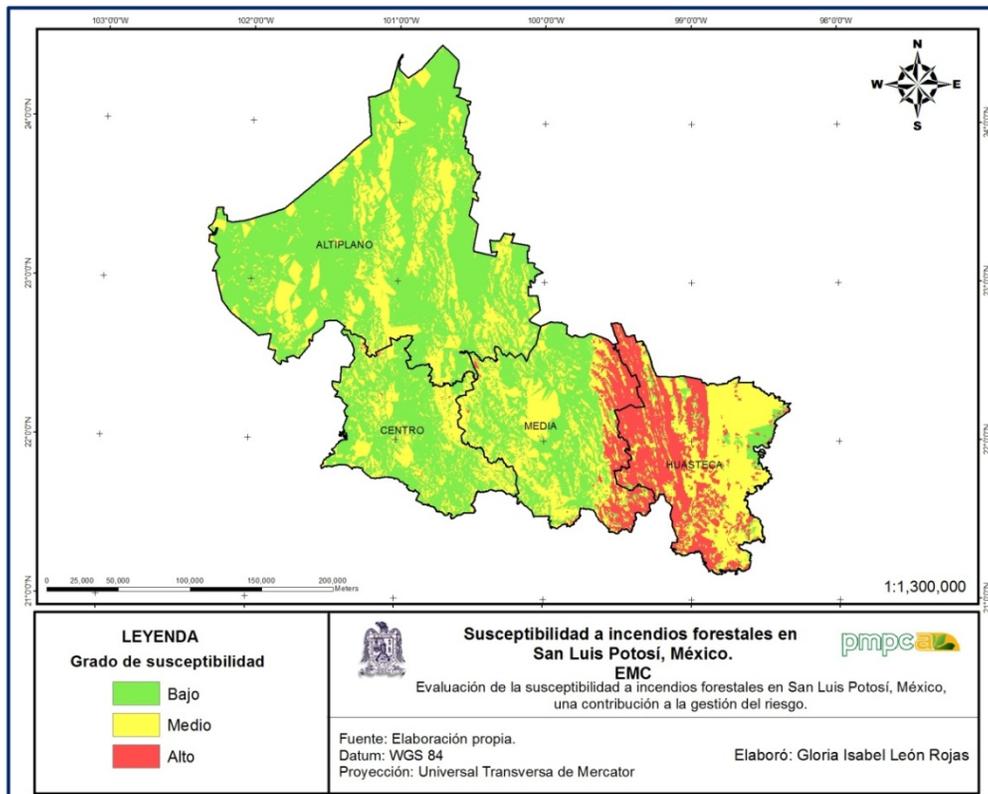
$$S = (V * 0.50) + (T * 0.15) + (C * 0.16) + (A.C.* 0.19) \quad (11)$$

$$T = [(A * 0.07) + (O * 0.64) + (P * 0.28)]$$

$$A.C. = [(DL * 0.11) + (DC * 0.26) + (AA * 0.63)]$$

Donde:

S: Susceptibilidad, V: Vegetación, T: Topografía, C: Clima, A.C.: Agentes causales, A: Altitud, O: Orientación, P: Pendiente, DL: Densidad de localidades, DC: Densidad de caminos, AA: Áreas agrícolas.



Mapa 10. Modelo de susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí (MEMC).

Evaluación de la susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí, México, una contribución a la gestión del riesgo.

El 54% (32 959 km²) de la superficie del estado se clasifica como de baja susceptibilidad, el 35% (21 060 km²) en categoría media y el 11% (6 953 km²) como de alta susceptibilidad.

Los resultados se presentan realizando un análisis por región administrativa de San Luis Potosí para atender a las necesidades de la gestión de riesgo como instrumento destinado a los tomadores de decisiones del sector gubernamental y por otro lado, por provincias fisiográficas que obedecen a una regionalización bajo condiciones ambientales similares.

5.3.2.1. SUSCEPTIBILIDAD A INCENDIOS FORESTALES OBTENIDO MEDIANTE EVALUACIÓN MULTICRITERIO POR REGIÓN ADMINISTRATIVA.

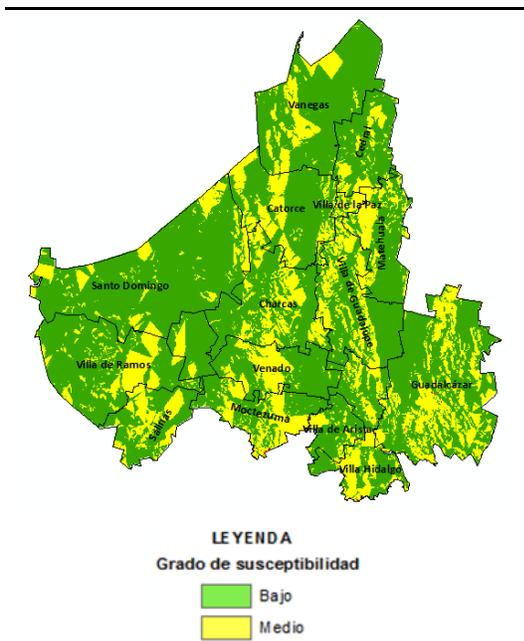


Figura 30. Susceptibilidad a incendios forestales del Altiplano potosino.

Fuente: Elaboración propia

El Altiplano potosino muestra un predominio del grado susceptibilidad bajo sobre el 72% por ciento del territorio, mientras que el 27% se encuentra en susceptibilidad media y menos del 1% con susceptibilidad alta. Prácticamente todos los municipios que integran esta región tienen áreas con susceptibilidad media y baja, sin embargo, se observan franjas laterales de píxeles N-S con susceptibilidad media, específicamente en el occidente de los municipios de Venegas, Catorce, Charcas, Venado y Moctezuma, y Cedral, Villa de la Paz, Matehuala, Villa de Guadalupe, Villa de Arista y Villa Hidalgo. En el municipio de Guadalcázar es en el que se presenta predominancia de susceptibilidad media sobre la baja (Figura 30).

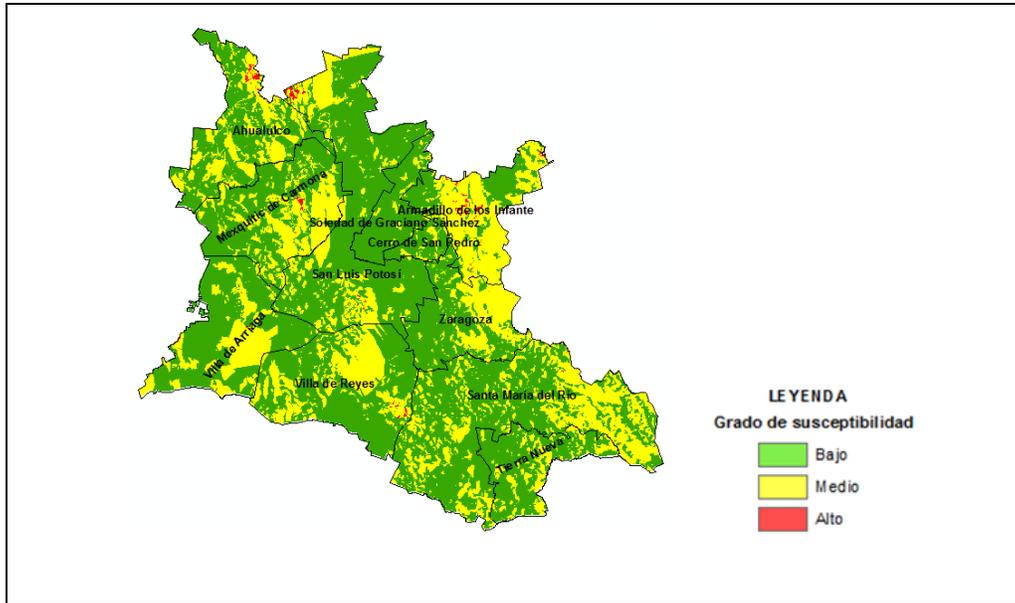


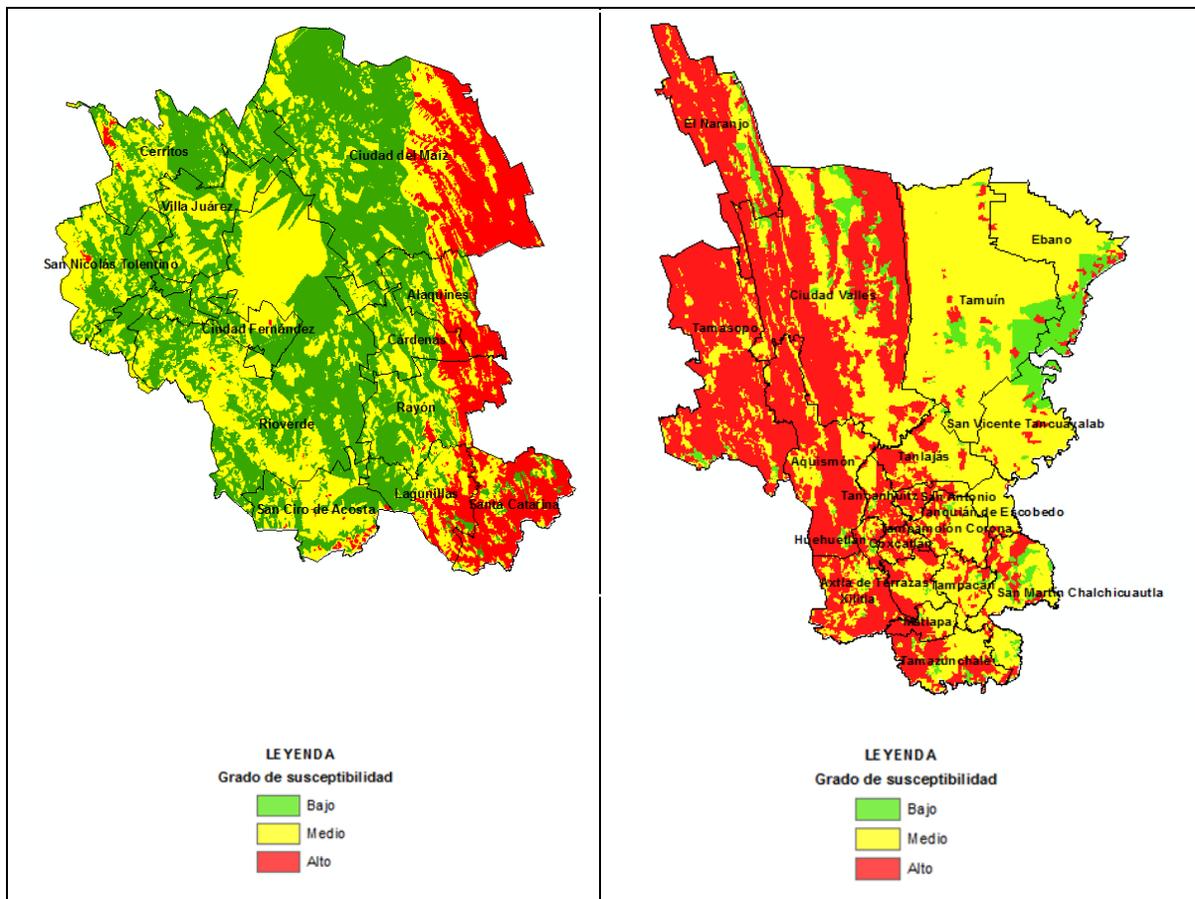
Figura 31.Susceptibilidad a incendios forestales en la región Centro de San Luis Potosí.

Fuente: Elaboración propia

En la región Centro se obtuvieron resultados similares a los del Altiplano: predominio de susceptibilidad baja (66%), sobre la media (33%) y escasa presencia de zonas de alta susceptibilidad (1%). No obstante, las zonas de susceptibilidad media se concentran al oriente y occidente de la región. San Luis Potosí, Ahualulco, Mexquitic, Villa de Reyes y Armadillo de los Infante presentan pequeñas zonas con alta susceptibilidad (Figura 31).

En la zona Media, la diferencia entre los tres niveles de susceptibilidad son menos extremos, el 47% del territorio presenta una baja susceptibilidad, el 38% susceptibilidad media y el 15% susceptibilidad alta. La susceptibilidad alta se concentra al oriente de la región, específicamente en la franja que comprende a los municipios de Ciudad del Maíz, Alaquines, Cárdenas, Rayón, Lagunillas y Santa Catarina. La susceptibilidad medias y baja se presentan en el resto de la región; Rioverde y San Ciró de Acosta tienen la mayor parte de su territorio con susceptibilidad media (Figura 32).

Evaluación de la susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí, México, una contribución a la gestión del riesgo.



Fuente: Elaboración propia

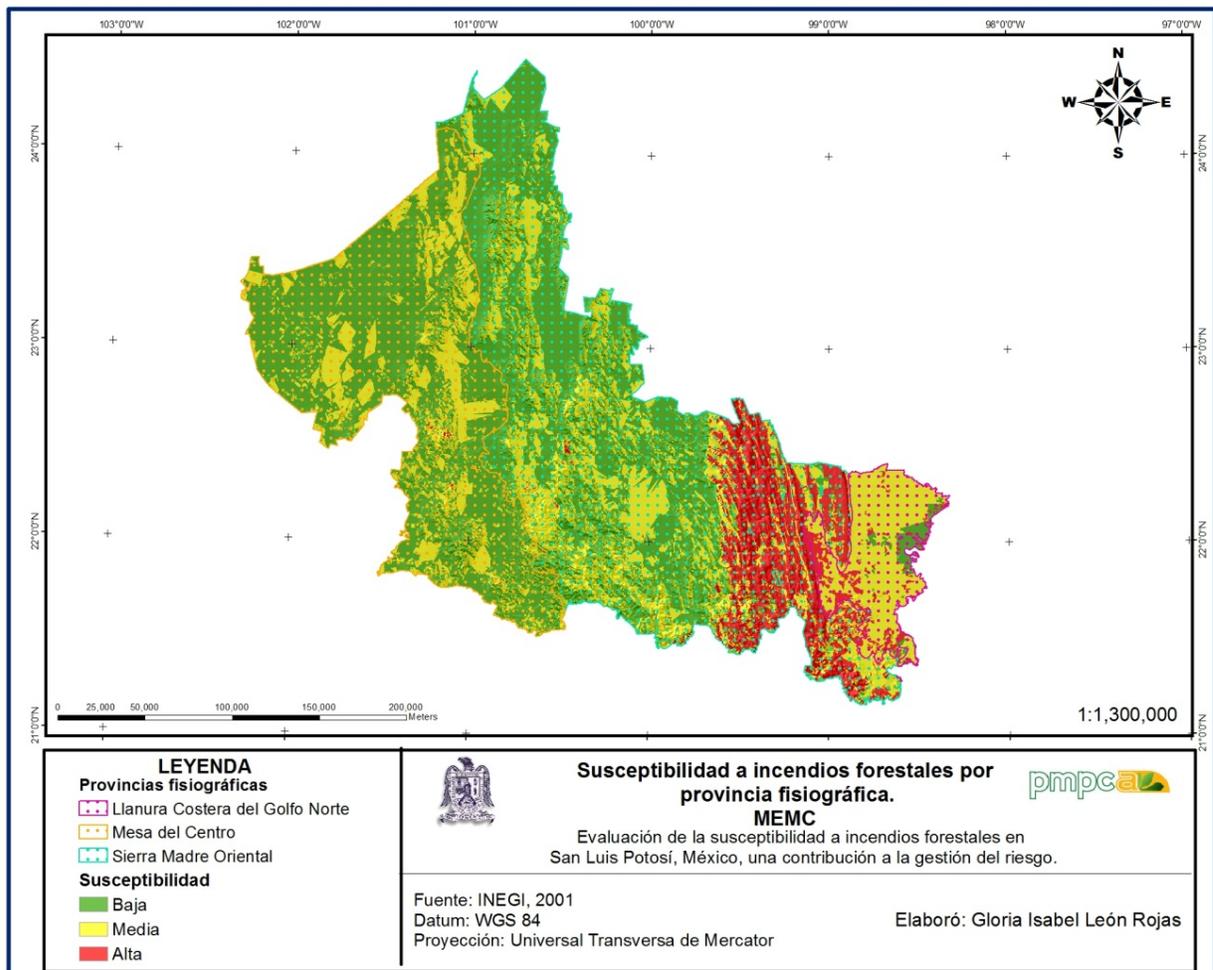
Fuente: Elaboración propia

La Huasteca potosina presenta condiciones contrarias al resto de las regiones, ya que predominan la susceptibilidad media (48%) y alta (45%) sobre la susceptibilidad baja (7%). Esta última solo se presenta al oriente de los municipios de Ébano, Tamuín y San Vicente Tancualayab; y en pequeñas porciones en el resto de los municipios. Los territorios de El Naranjo, Tamasopo, Aquismón, Ciudad Valles, Tancanhuitz, Huehuetlan, Coxcatlán, San Antonio, Xilitla y Tamazunchale resultaron con alta susceptibilidad (Figura 33).

Evaluación de la susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí, México, una contribución a la gestión del riesgo.

5.3.2.2. SUSCEPTIBILIDAD A INCENDIOS FORESTALES OBTENIDO MEDIANTE EVALUACIÓN MULTICRITERIO POR PROVINCIA FISIOGRAFICA.

En la provincia fisiográfica Mesa del Centro ubicada al oeste de la entidad predomina la baja susceptibilidad con el 72.3%, mientras que el 27.6% corresponde a media y alrededor del 0.1% a alta susceptibilidad. La provincia de la Sierra Madre Oriental localizada en la parte central del estado presenta una distribución más heterogénea con el 48.8% de su territorio clasificado como de baja susceptibilidad, el 33.2% de media y el 18% a alta susceptibilidad concentrándose hacia el este de la provincia. Por último, en la provincia Llanura Costera del Golfo Norte domina la susceptibilidad media con el 76.5%, seguida por la categoría del alta con el 14% y el 9.5% como de baja susceptibilidad (Mapa 11).



Mapa 11. Susceptibilidad a incendios forestales por provincia fisiográfica mediante evaluación multicriterio.

5.3.3. VALIDACIÓN

El primer método de validación consistió en sobreponer los puntos de calor (FIRMS) del periodo 2001 - 2012 al mapa de susceptibilidad generado. Los resultados de dicha sobreposición se muestran en la tabla 7 y en la Figura 34. Se observa una concentración importante de puntos de calor en las áreas de alta susceptibilidad y una disminución en las áreas de grado inferior. Así también, se obtuvo una mayor densidad de puntos de calor en las zonas de alta susceptibilidad (0.120 puntos/km²), respecto a las zonas de media (0.020 puntos/km²) y baja susceptibilidad (0.010 puntos/km²).

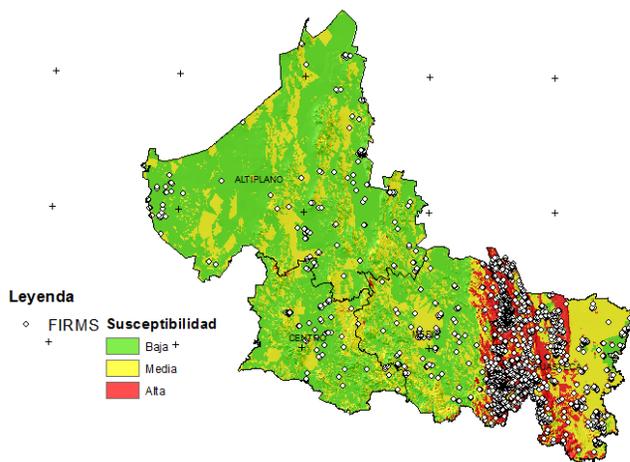


Tabla 7. Puntos de calor por grado de susceptibilidad en el periodo 2000-2012.

Susceptibilidad	Puntos de calor	Densidad (Puntos/km ²)
Bajo	406	0.010
Medio	310	0.020
Alto	844	0.120
Total	1560	

Fuente: Elaboración propia

Figura 34. Sobreposición de puntos de calor con el modelo de susceptibilidad obtenido mediante EMC.

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 35 se visualiza el comportamiento de los puntos de calor para cada año en el periodo 2001-2012 respecto del modelo de susceptibilidad. En cada año, sobresale la categoría de alto como aquella que más concentra puntos de calor, en las dos categorías restantes no hay una diferencia tan marcada; en los años 2004, 2005, 2007, 2010 y 2011, los puntos de calor se agrupan en mayor cantidad en la categoría de baja que en la de susceptibilidad media.

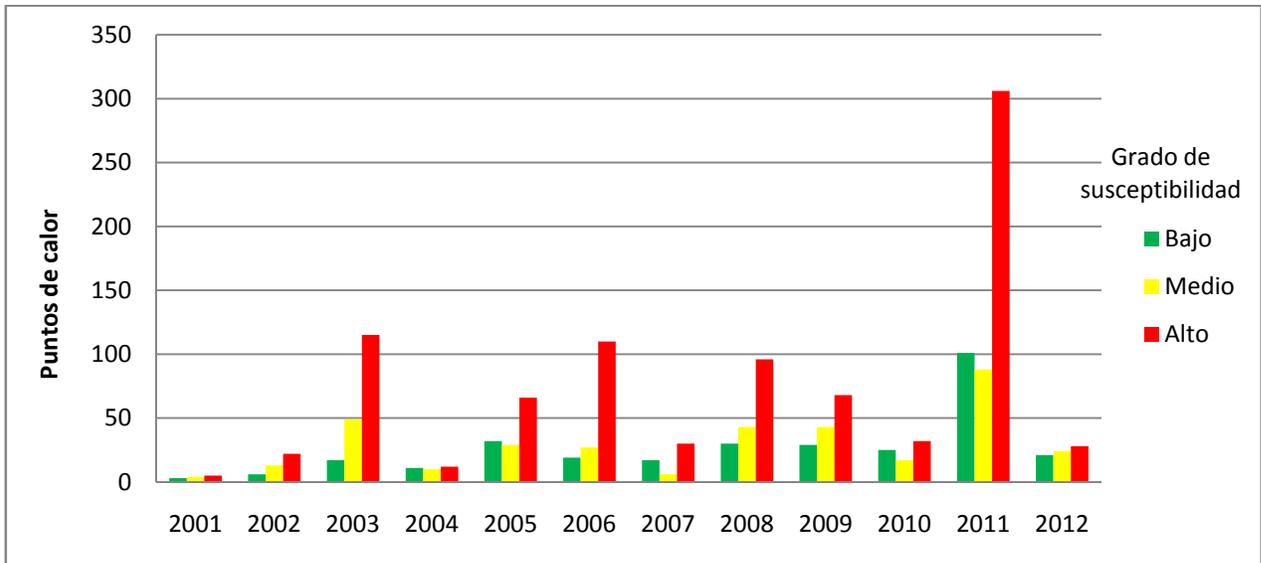
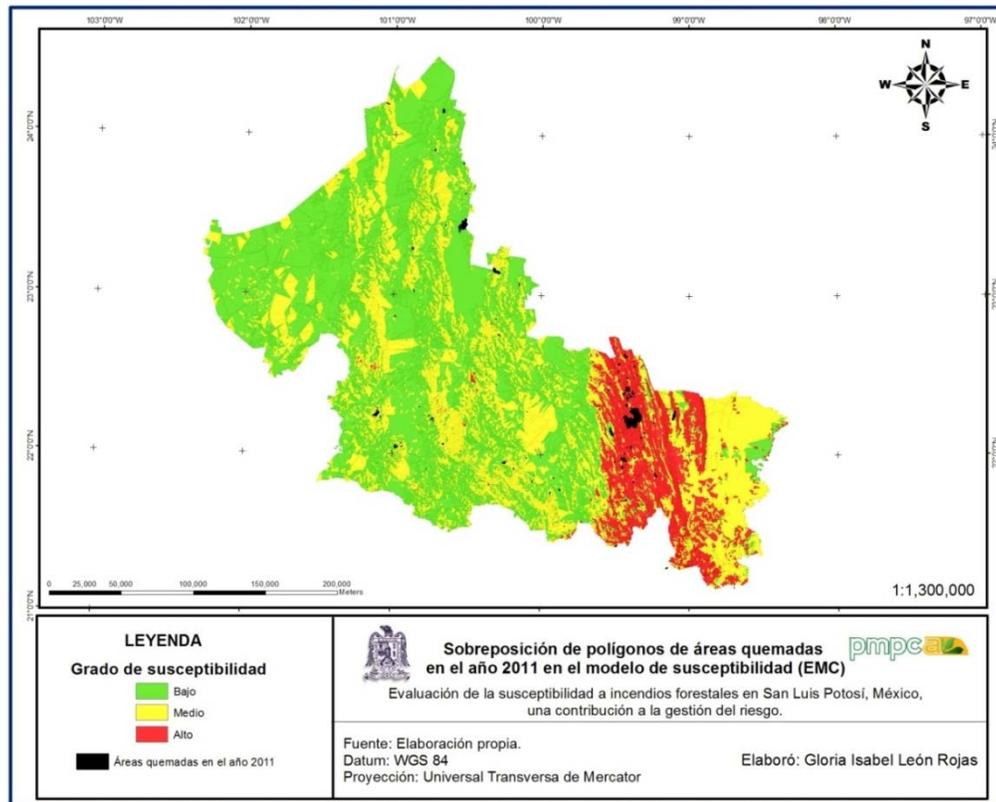


Figura 35. Intersección de puntos de calor por año respecto al modelo de susceptibilidad obtenido por EMC.

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, se realizó la sobreposición de la capa de información de áreas quemadas al mapa de susceptibilidad, el resultado se expone en el Mapa 12, donde se observa que los polígonos con mayores dimensiones se aglutinan sobre las zonas con susceptibilidad alta, mientras que en las zonas restantes se observa una menor incidencia. En las Figuras 36 y 37, se muestra la ampliación de un polígono de área quemada resultado de uno de los incendios con mayor magnitud de la temporada, el cual, aun se encontraba activo al momento del paso del satélite. Según CONAFOR-SLP (2013) este incendio tuvo lugar en el municipio de Alaquines el día 08 de mayo de 2011, afectando 160 ha de bosque de encino. El polígono recae en un área con predominancia de alta susceptibilidad.

Evaluación de la susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí, México, una contribución a la gestión del riesgo.



Mapa 12. Áreas quemadas por incendios en el año 2011 sobre el MEMC.

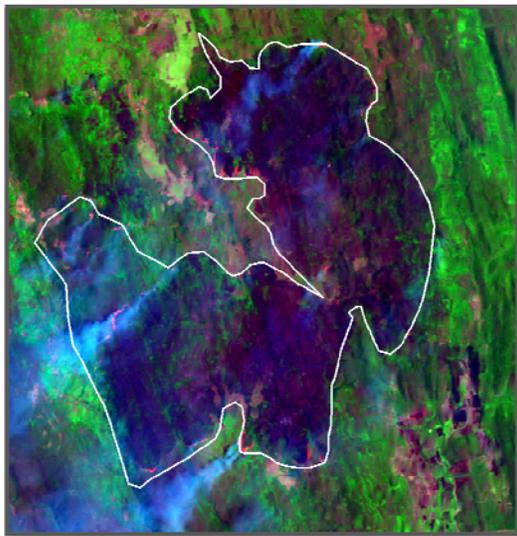


Figura 36. Digitalización de áreas quemadas sobre imagen Landsat P27 R45, RGB 543.

Fuente: Elaboración propia

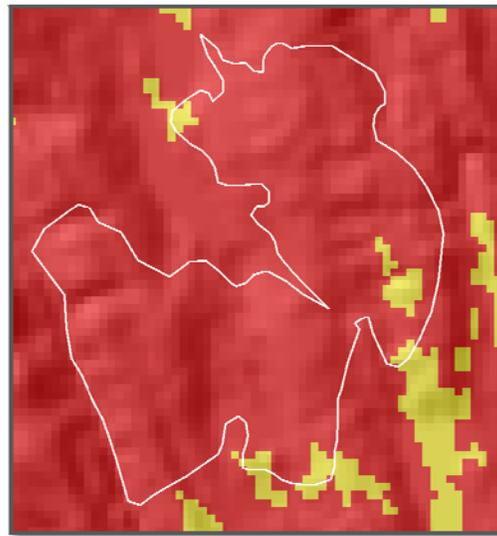


Figura 37. Polígono de área quemada sobre el modelo de evaluación multicriterio.

Fuente: Elaboración propia

5.4. REGRESIÓN LOGÍSTICA

5.4.1. BASE DE DATOS

La base de datos cuenta con 1830 registros, de los cuales 915 corresponden a puntos de calor de del periodo 2001-2009 y 915 a puntos aleatorios, ambas categorías caracterizadas con la información temática previamente recopilada.

5.4.2. GENERACIÓN DE COEFICIENTES

De los 11 atributos de la base de datos, 10 fueron incluidos por el programa como significativos en la probabilidad de ocurrencia de incendios (se excluyó a la precipitación anual). La ecuación (12) es para obtener el coeficiente z , es una ecuación lineal que integra cada variable con su respectivo coeficiente de regresión.

$$z = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p \dots (12)$$

Donde z es la combinación de variables independientes con sus coeficientes de regresión (β) y X el valor de cada variable dependiente. Al sustituir con los coeficientes generados, se obtiene:

$$\begin{aligned} z = & -21.477283 + (\beta_1 * agricultura) + (-0.000503 * altitud) + (\beta_2 * orientación) \\ & + (\beta_3 * clima) + (-0.54977 * cercanía a frontera agrícola) \\ & + (\beta_4 * vegetación) + (-0.491368 * cercanía a vías de comunicación) \\ & + (0.111270 * temperatura) + (-0.25220 * pendiente) \\ & + (1.058307 * distancia a localidades) \end{aligned}$$

Los coeficientes (β) generados en el programa R para las variables categóricas agricultura, orientación, clima y vegetación se presentan en los cuadros 8, 9, 10 y 11 y fueron integrados a las coberturas mediante la adición de un nuevo campo en la base de datos para posteriormente, asignar el coeficiente correspondiente a cada categoría. En el resto de las variables la aplicación de los coeficientes fue directa, es decir, a través de la multiplicación del raster correspondiente. El AIC de este modelo fue de 1425.

Cuadro 8. Coeficientes para actividades agrícolas

Clave	Descripción	Coeficiente
AR	Agricultura de riego	14.735976
ATCA	Agricultura de temporal, cultivo anual	14.423991
ATCS	Agricultura de temporal, cultivo semipermanente	13.728299
ATCP	Agricultura de temporal, cultivo permanente	14.367218
CO	Información complementaria	18.507274
PC	Pastizal cultivado	13.405011
VEG	Vegetación	18.305702

Cuadro 9. Coeficientes para orientación de la ladera

Clave	Coeficiente
Norte	-0.101742
Oeste	-0.365946
Sur	0.12369
Este	0
Plano	0.32414

Cuadro 10. Coeficientes para tipo de clima

Clave	Coeficiente
Semiárido	0.083671
Árido	0
Muy árido	0.048723
Semicálido	2.365843
Cálido	1.763492
Templado	-14.322277

Cuadro 11. Coeficientes para tipo de vegetación

Clave	Descripción	Coeficientes
BC	Bosque de coníferas	-0.036178
BMM	Bosque mesófilo de montaña	14.68641
BMZ	Bosque de mezquite	-1.414097
BQ	Bosque de encino	0.068064
CO	Información complementaria	1.20077
MX	Matorral xerófilo	-0.830337
PAL	Palmar	0.751494
PZ	Pastizal	-0.820763
SC	Selva caducifolia	0.80961
SP	Selva perennifolia	0.525961
VH	Vegetación hidrófila	12.7735

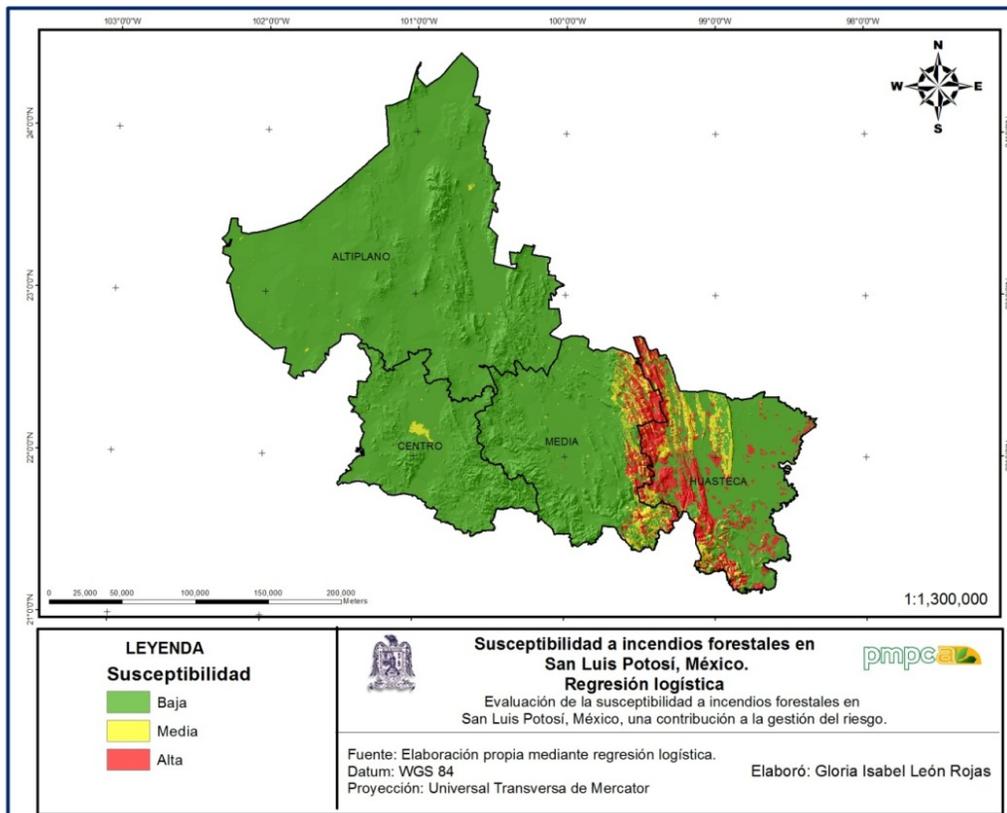
5.4.3. APLICACIÓN DEL MODELO DE SUSCEPTIBILIDAD A INCENDIOS FORESTALES OBTENIDO MEDIANTE REGRESIÓN LOGÍSTICA.

La probabilidad de incendios se obtuvo con la ecuación siguiente, donde "z" es el resultado de la adición de los productos de las variables por sus respectivos coeficientes. Los valores que arrojó el modelo se clasificaron en tres rangos que corresponden a las categorías baja, media y alta.

$$\text{Probabilidad de incendio} = \frac{1}{1 + e^{-z}}$$

El modelo de susceptibilidad obtenido divide al territorio de la entidad en 54 452.18 km² (90%) con susceptibilidad baja, 2201.56 km² (4%) con susceptibilidad media y 3909.13 (6%) km² con susceptibilidad alta (Mapa 13).

De manera similar a lo presentado en el MEMC, en la regresión logística los resultados se muestran por regiones administrativas y por provincias fisiográficas.



Mapa 13. Susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí, México (MRL).

Evaluación de la susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí, México, una contribución a la gestión del riesgo.

5.4.3.1. SUSCEPTIBILIDAD A INCENDIOS FORESTALES OBTENIDO MEDIANTE REGRESIÓN LOGÍSTICA POR REGIÓN ADMINISTRATIVA.

El territorio del Altiplano potosino y el de la región Centro es predominantemente de susceptibilidad baja, con algunos manchones aislados de susceptibilidad media. El 99.8% del Altiplano tiene susceptibilidad baja y el 0.2% media; mientras que en la región Centro, el 98.9% del territorio es de baja susceptibilidad y el 1.1% es de media. Los municipios con pequeñas porciones de susceptibilidad media en el Altiplano son Matehuala, Guadalcázar, Salinas, Moctezuma y Villa Hidalgo, entre otros; mientras que en la región Centro son San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez (Figura 38).

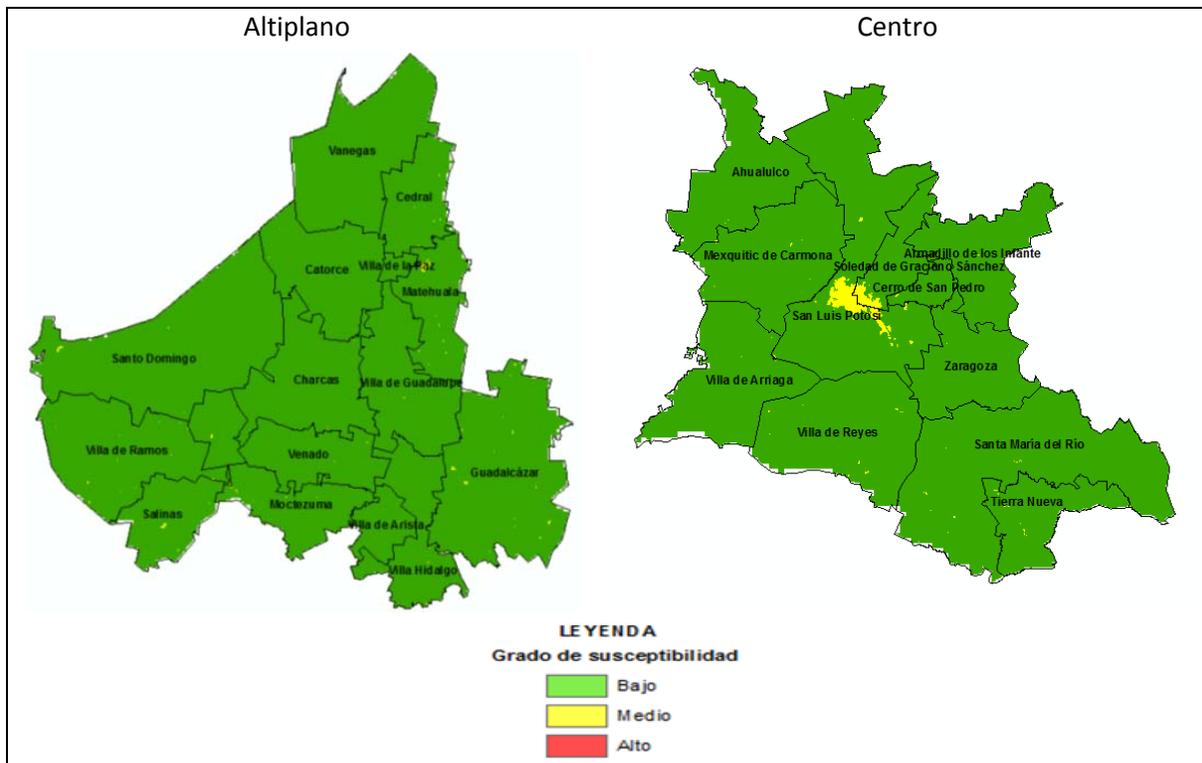


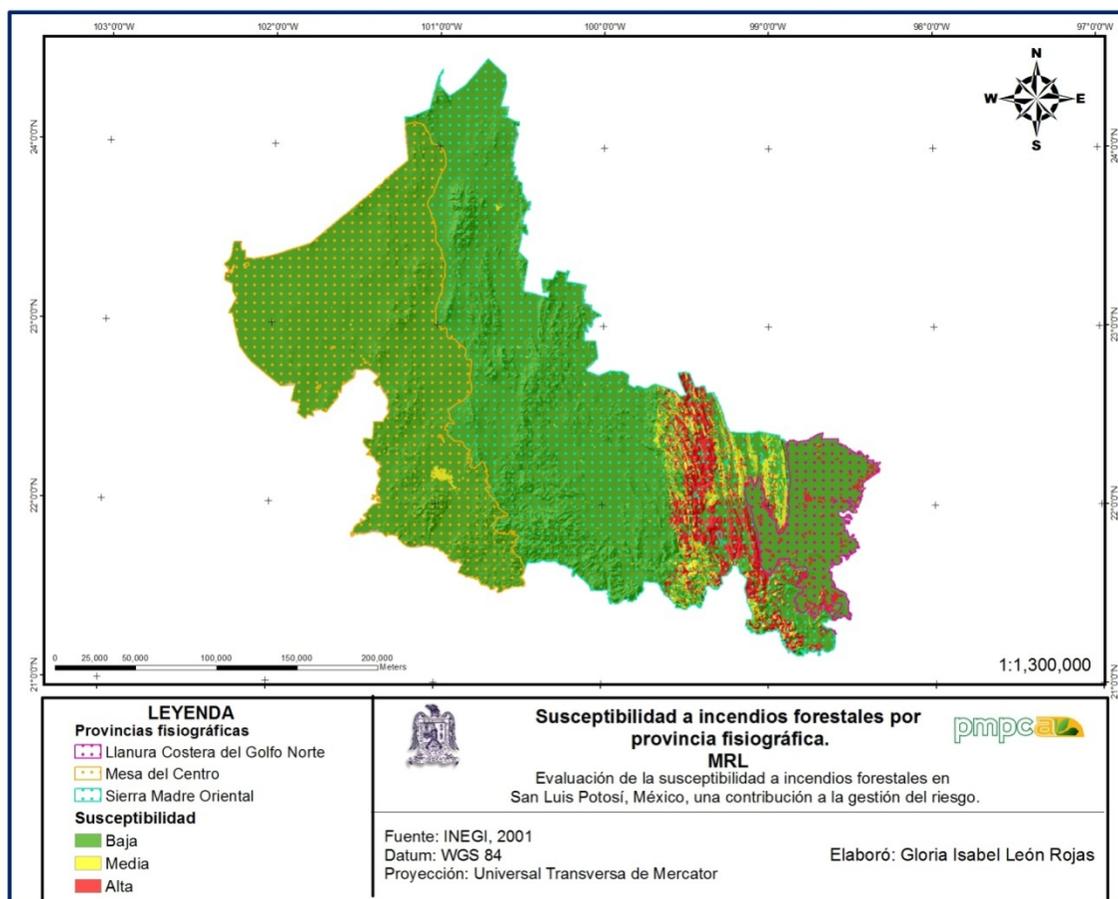
Figura 38.Susceptibilidad a incendios forestales en las regiones Altiplano y Centro.

Fuente: Elaboración propia

Evaluación de la susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí, México, una contribución a la gestión del riesgo.

5.4.3.2. SUSCEPTIBILIDAD A INCENDIOS FORESTALES OBTENIDO MEDIANTE REGRESIÓN LOGÍSTICA POR PROVINCIA FISIAGRÁFICA

La provincia fisiográfica Mesa del Centro prácticamente está dominada por la baja susceptibilidad con el 99.5% y el 0.5% restante recae en la categoría de media. La provincia de la Sierra Madre Oriental es la que presenta mayor variación, sobre todo hacia el este donde se mezclan áreas de media y alta susceptibilidad, con el 6% y 10.2% respectivamente; el 83.8% de la superficie de esta provincia corresponde a baja susceptibilidad. La provincia Llanura Costera del Golfo Norte presenta un comportamiento parecido a la Mesa del Centro por la predominancia de la susceptibilidad baja en el 91.5% de la superficie, sin embargo, se observan manchones representativos de alta susceptibilidad en el 8.2% de la provincia y el restante 0.3% corresponde a la susceptibilidad media (Mapa 14).



Mapa 14. Susceptibilidad a incendios forestales por provincia fisiográfica mediante el modelo de regresión logística.

5.4.4. VALIDACIÓN

Evaluación de la susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí, México, una contribución a la gestión del riesgo.

Los métodos de validación son similares a los empleados para el modelo de evaluación multicriterio. Se validó con puntos de calor de los años 2010 al 2013, 644 en total, cuya distribución se muestra en la Tabla 8. Se observa que la densidad de puntos de calor es mayor en aquellas áreas con susceptibilidad alta, a razón de 30 veces (Figura 40).

El segundo método de validación puede observarse en el Mapa 15, donde se observa como los polígonos con mayor extensión se concentran en zonas de alta susceptibilidad que se encuentran en los límites de las regiones Media y Huasteca. En las Figuras 40 y 41 se observa la ampliación de uno de los polígonos de áreas quemadas de más dimensión para corroborar que se ubica en un área de susceptibilidad alta.

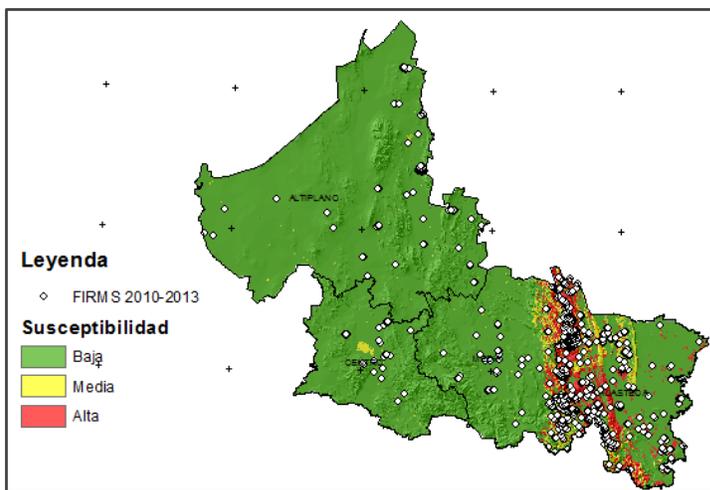


Tabla 8. Densidad de puntos de calor por grado de susceptibilidad.

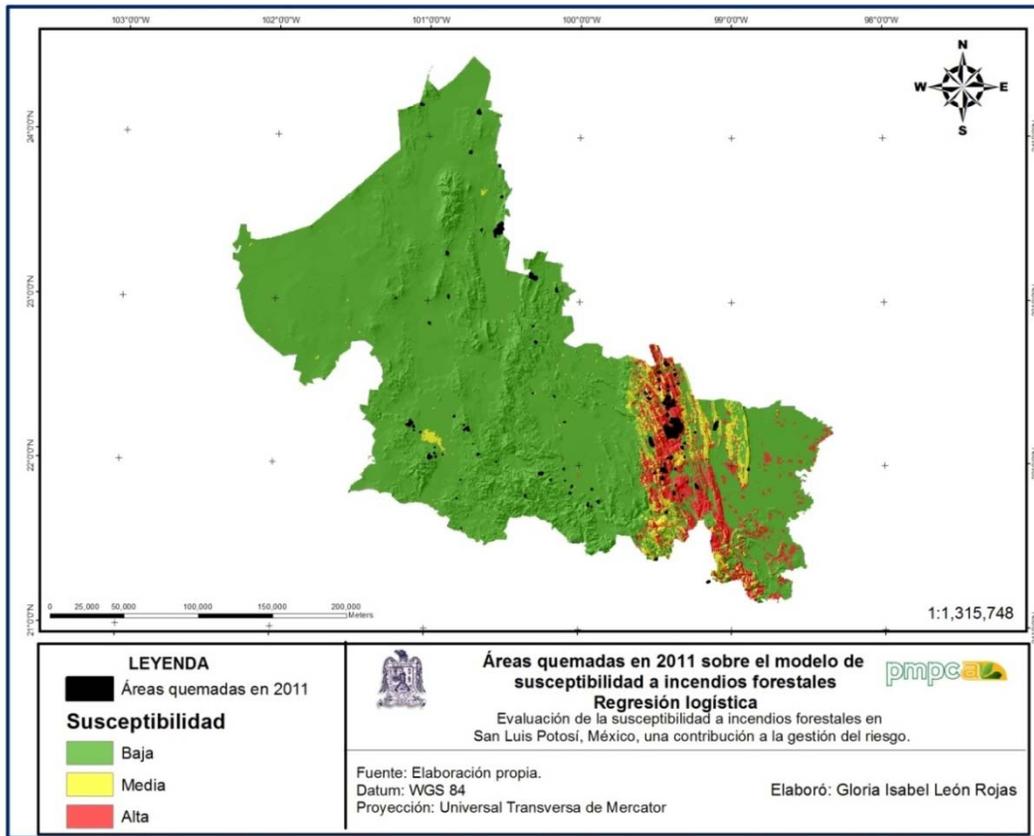
Susceptibilidad	Puntos	Densidad (Puntos/km ²)
Baja	177	0.003
Media	100	0.045
Alta	367	0.094

Fuente: Elaboración propia.

Figura 40. Sobreposición de puntos de calor al modelo de susceptibilidad de regresión logística.

Fuente: Elaboración propia

Evaluación de la susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí, México, una contribución a la gestión del riesgo.



Mapa 15. Áreas quemadas 2011 sobre el MRL.

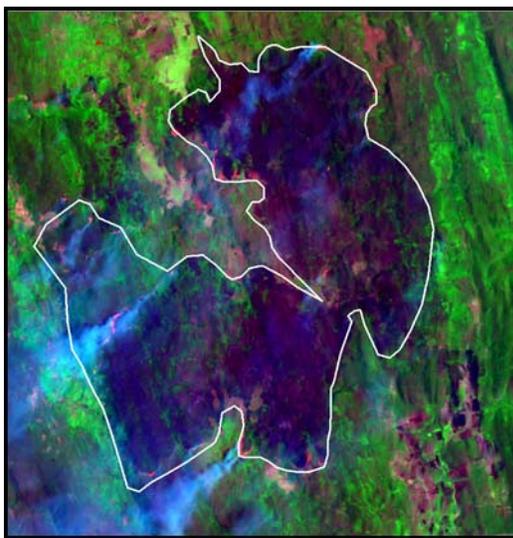


Figura 41. Digitalización de áreas quemadas sobre imagen Landsat P27 R45, RGB 543.

Fuente: Elaboración propia

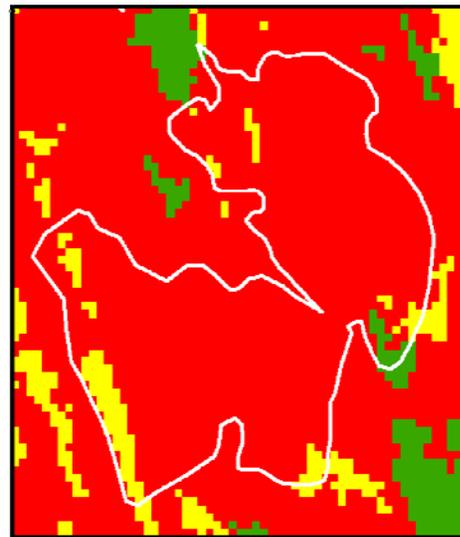


Figura 42. Polígono de área quemada sobre modelo de susceptibilidad de regresión logística.

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO 6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

6.1. DISCUSIÓN

Para analizar los modelos de susceptibilidad obtenidos mediante evaluación multicriterio (MEMC) y regresión logística (MRL) se utilizó como rasgo de zonificación a las provincias fisiográficas de México, así como las regiones administrativas de la entidad. Primero, se analizan los resultados del MEMC y el MRL por separado, para posteriormente enunciar las diferencias y similitudes más representativas entre ellos.

En el MEMC, la Mesa del Centro muestra un predominio del grado de susceptibilidad bajo. Esta región presenta altitudes de 1600 a 2600 m.s.n.m., pendientes menores al 20%; climas semiáridos, áridos y muy áridos; y vegetación predominante de matorral xerófilo y pastizal, con áreas de bosque de coníferas y bosque de mezquites, así como parcelas de agricultura de humedad y de temporal con cultivos anuales.

Aunque el clima es seco, el predominio de matorrales xerófilos, disminuye la susceptibilidad a incendios por el escaso aporte de material combustible. Rodríguez et al. (2002) mencionan que el combustible aportado por este tipo de vegetación está conformado por zacates, leñas pequeñas y arbustos y varía de acuerdo al tipo de matorral xerófilo de que se trate, mientras que CONABIO (1998) califica a este tipo de vegetación como de baja susceptibilidad. Las áreas cercanas a áreas agrícolas y/o con presencia de pastizales se clasificaron como de media susceptibilidad. Cabe mencionar que los pastizales son tipos de vegetación de alta susceptibilidad a incendios pero con gran capacidad de resiliencia por su rápida regeneración. La densidad de localidades es baja, alrededor de 0.08 loc/ km², en su mayoría con menos de 1000 habitantes y se concentran hacia el oeste de la provincia donde coinciden con algunas zonas de susceptibilidad media.

La porción occidental de la provincia Sierra Madre Oriental, presenta una combinación constante entre susceptibilidad media y baja y escasa presencia de alta. La altitud de esta región va de 1000 a 2900 m.s.n.m. con pendientes de 0 a 22%; la vegetación predominante es matorral xerófilo, pero también se encuentran bosques de encino, pastizales y bosques de mezquite en climas semiáridos, áridos y muy áridos. Existe agricultura de riego y de temporal con cultivos anuales. La densidad de

localidades en esta provincia es de 0.10 loc/km², el 97% del total corresponde a localidades con menos de 1000 personas.

El área clasificada como de alta susceptibilidad corresponde a los pastizales y bosques de encino en vecindad con áreas de aprovechamiento agrícola. CONABIO (1998) cataloga al bosque de encino como de alta susceptibilidad; Rodríguez et al. (2002) y Jardel et al. (2009) consideran que este tipo de vegetación aporta combustible ligero de alta inflamabilidad compuesto por zacates, otras especies herbáceas, hojarasca y leñas, y combustibles pesados constituidos por material leñoso caído. Algunas de las áreas con bosque de encino se clasifican como de susceptibilidad media por la conjugación del resto de los factores como la altitud que es superior a 1000 m.s.n.m. y su lejanía de zonas agrícola, lo que disminuye el grado de susceptibilidad.

En la porción oriente de la provincia Sierra Madre Oriental, la cual tiene como límite occidental al municipio de Lagunillas, se presenta una concentración importante de áreas de alta susceptibilidad y una menor ocurrencia de áreas de media y baja, prácticamente constreñidas a diminutas agrupaciones de píxeles. En esta región confluyen una serie de factores que dan como resultado el predominio de susceptibilidad alta. Las altitudes varían de 100 a 1900 m.s.n.m., rango en el que se ubicaron la mayoría de los puntos de calor caracterizados previamente, mientras que las pendientes van de 0 a 30%. Los climas predominantes son semicálidos y cálidos con una temporada de estiaje en las que las temperaturas se elevan lo que favorece la pérdida de humedad de la vegetación. Hay una alta concentración de localidades rurales con menos de 1000 habitantes, principalmente en el extremo sureste.

Las zonas de agricultura de temporal con cultivos anuales y semipermanentes, específicamente caña de azúcar, agricultura de riego y praderas son abundantes. El fuego es comúnmente utilizado en las labores culturales de las actividades agropecuarias: en los cultivos anuales generalmente se realiza una quema de los esquilmos agrícolas o de la vegetación secundaria para reintegrar al suelo las sustancias nutrientes de su biomasa. En la caña de azúcar se lleva a cabo la quema previa al corte y posteriormente a éste, la quema de la paja y otros residuos; y en las praderas, el fuego incentiva la regeneración de gramíneas, base alimenticia del ganado, y limita el desarrollo de especies leñosas. Estas zonas agropecuarias colindan con superficies considerables de selva perennifolia, selva caducifolia y bosque de encino, y con pequeños manchones de palmar y

vegetación hidrófila. Al considerar que la utilización negligente del fuego en actividades agrícolas es la principal causa de ignición de los incendios en el estado, se puede entender que la zona resulte con alto grado de susceptibilidad.

Los tipos de vegetación anteriores, con excepción de la vegetación hidrófila y de la selva perennifolia, ambos de baja susceptibilidad, están clasificados como de alta susceptibilidad a incendios según CONABIO (1998). La selva caducifolia aporta combustibles ligeros, poco inflamables y de baja continuidad horizontal, sin embargo, el aumento de igniciones por desmonte y la invasión de pastos exóticos modifican el complejo combustible aumentando la susceptibilidad (Jardel et al., 2009). El palmar además de ser altamente susceptible es una comunidad dependiente del fuego, sin embargo, el régimen natural de incendios se está alterando según reporta la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), antes el intervalo entre incendios era de varios años a décadas y actualmente se está reduciendo (CONANP, 2011). Las características enunciadas anteriormente son las que elevan el grado de susceptibilidad de la región, convirtiéndola en el área de mayor susceptibilidad a incendios forestales en el estado.

En el territorio correspondiente a la provincia Llanura Costera del Golfo Norte, domina la susceptibilidad media, con algunas regiones de baja susceptibilidad al oriente de la entidad, en la zona limítrofe con Veracruz y con alta susceptibilidad hacia el occidente, en colindancia con la Sierra Madre Oriental. Esta zona se caracteriza por la presencia de praderas, agricultura de temporal y riego con cultivos anuales, permanentes y semipermanentes, relictos de selva perennifolia y selva caducifolia en climas cálidos; los terrenos básicamente son llanos con formaciones de fajas alargadas de norte a sur y cadenas o sierras aisladas, altitudes de 50 a 100 m.s.n.m. y pendientes menores al 1%. Cabe mencionar que la porción de baja susceptibilidad corresponde a un área urbana y con presencia de vegetación hidrófila, la región denominada como de grado medio es la zona de pastizales mientras que las zonas de alta susceptibilidad prácticamente tienen las características de la provincia mencionada anteriormente, corresponden a zonas de selva perennifolia o caducifolia, rodeadas completamente de agricultura y praderas de pastizales que tienen una frecuente utilización del fuego. La densidad de localidades es de 0.25 loc/km², concentradas al sur de la provincia y coinciden con algunas de las regiones de alta susceptibilidad.

El MRL clasifica a la provincia Mesa del Centro como de baja susceptibilidad con píxeles aislados y un pequeño manchón de mediana susceptibilidad en la parte concerniente a la ciudad de San Luis Potosí. En la parte occidental de la Sierra Madre Oriental, el MRL muestra resultados similares a los de la Mesa del Centro, baja susceptibilidad y píxeles aislados de susceptibilidad media, en esta zona la vegetación predominante es matorral xerófilo. En la porción oriente de la provincia SMO domina el alto grado de susceptibilidad, con presencia equilibrada de media y baja susceptibilidad. Las zonas de alta susceptibilidad poseen vegetación de bosque de encino y selva perennifolia, mientras que las de susceptibilidad media corresponden a selva caducifolia y pastizales. En la provincia Llanura Costera del Golfo Norte predomina la susceptibilidad baja, con algunas islas pequeñas de alta susceptibilidad y prácticamente nula presencia de susceptibilidad media. Estas islas de alta susceptibilidad corresponden a zonas de selva perennifolia o caducifolia, rodeadas completamente de agricultura y praderas de pastizales que tienen una frecuente utilización del fuego.

La uniformidad resultante del MRL indica que los datos de las variables explicativas consideradas en la regresión logística otorgan al territorio del estado una baja susceptibilidad en general. Sin embargo, a partir de la porción occidental de la Sierra Madre Oriental, se observa mayor variación y la presencia de los tres grados de susceptibilidad clasificados. Aparentemente, la variable explicativa con mayor influencia es el uso de suelo y vegetación ya que las zonas con matorral xerófilo y agricultura coinciden con las clasificadas como de baja susceptibilidad y esta aumenta a media y alta al occidente de la Sierra Madre Oriental donde se agrupan bosques de encino, selvas perennifolias y selvas caducifolias intercaladas con áreas agropecuarias.

La distribución de la superficie del estado en alguna categoría de susceptibilidad en cada modelo es distinta (Figura 43). El MEMC muestra una mayor distribución entre los tres grados de susceptibilidad, mientras el MRL se decanta por la baja susceptibilidad, dejando a las dos categorías restantes con porcentajes equiparables. Especialmente, el MRL tiende a presentar una disposición homogénea de baja susceptibilidad con píxeles aislados de mediana susceptibilidad y una zona de alta susceptibilidad al sur de la entidad, mientras que el MEMC es considerablemente heterogéneo y muestra un patrón de distribución irregular entre susceptibilidad baja y media al occidente del estado y entre alta y media al oriente.

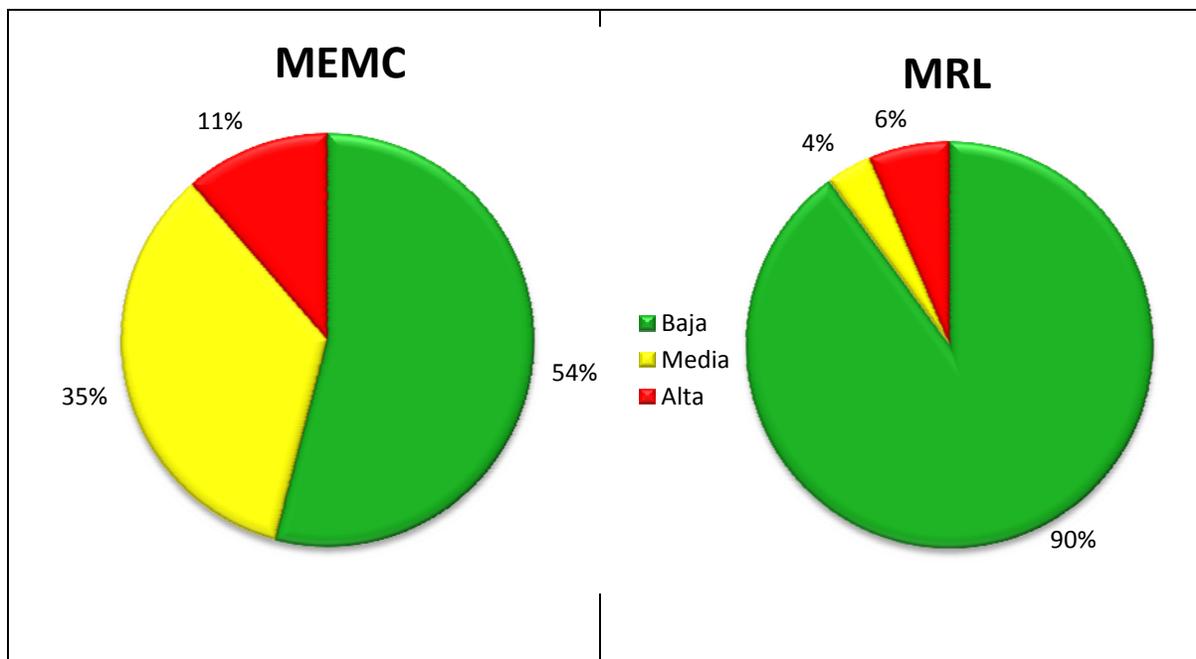


Figura 43. Superficie por grado de susceptibilidad en cada modelo de susceptibilidad en el MEMC y el MRL.

Fuente: Elaboración propia

La categoría de alta susceptibilidad es la que muestra mayor empatía entre ambos modelos pues coinciden en algunas de las zonas de alta susceptibilidad ubicadas en las provincias de la Sierra Madre Oriental y en ciertas islas de alta susceptibilidad al interior de la provincia Llanura Costera del Golfo Norte. En el MEMC la zona de alta susceptibilidad en la provincia Sierra Madre Oriental se muestra uniforme y continua, mientras que en el MRL esta misma área es heterogénea, con la presencia de píxeles de media y baja susceptibilidad. Es importante hacer notar que en esta zona, al unir los píxeles de alta y media susceptibilidad en el MRL, se obtiene la superficie de alta susceptibilidad arrojada por el MEMC, mientras que los píxeles de baja susceptibilidad en el MRL, son mostrados como de susceptibilidad media en el MEMC La coincidencia en las zonas de baja susceptibilidad entre los modelos se limita a aquellas regiones que no fueron consideradas como de media susceptibilidad en el MEMC, por ejemplo al sureste de la entidad, el MRL muestra un predominio de susceptibilidad baja, cuando la misma zona es mostrada como de susceptibilidad media por el MEMC (Figura 43).

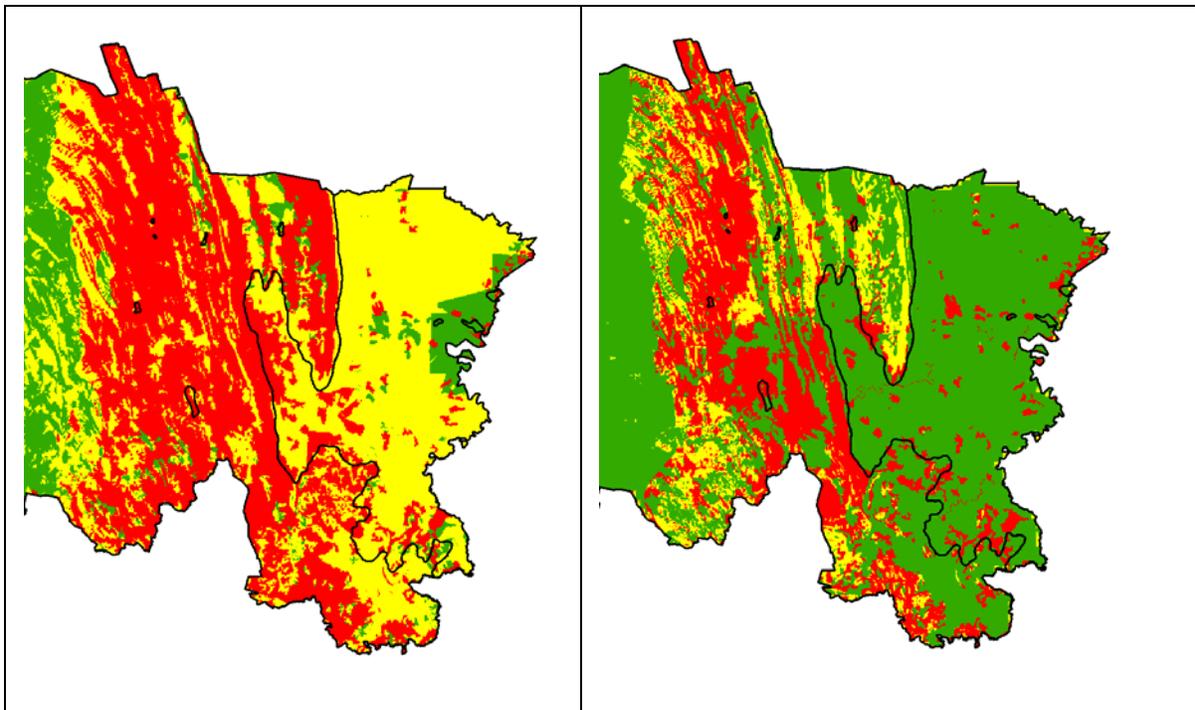


Figura 44. Diferencias en la asignación de grados de susceptibilidad entre el MEMC (izquierda) y el MRL (derecha).

Fuente: Elaboración propia.

Estas diferencias sugieren que la integración de las opiniones de los decisores a través de las ponderaciones en el MEMC, es fundamental en la determinación de la susceptibilidad y resulta en una mayor distribución de los grados de susceptibilidad puesto que se introduce el conocimiento de los procesos sociales y de las condiciones ambientales del estado. Sin embargo, aquellas zonas con características que elevan la susceptibilidad fueron detectadas de forma similar por ambos modelos independientemente de la valoración subjetiva a la que está sujeto el MEMC.

Es interesante observar que los sitios detectados por ambos modelos como de alta susceptibilidad, corresponden a los límites entre las regiones Huasteca y Media, y abarcan incluso una mayor superficie en esta última y que estas regiones son también las que presentaron más incendios en el periodo 2000-2012, 478 en la Huasteca y 239 en la Media, mientras que la región con menor número de incendios en dicho periodo fue el Altiplano con apenas 88 conflagraciones y fue considerada por ambos modelos con predominancia de la baja susceptibilidad. La coincidencia del grado de susceptibilidad con el número de incendios presentados en cada región constituye una forma indirecta y un tanto cualitativa de validación del modelo.

El 90% de los puntos de calor con los que fue validado el MRL se concentran en las áreas de baja susceptibilidad, el 4% en las de media y el 6% en las de alta, mientras que en el MEMC el 57% se ubica en la categoría de alto, el 23% en la de media y el 20% en la baja. El MEMC es el que muestra una distribución acorde a lo esperado, es decir, una mayor acumulación de puntos de calor en las áreas de alta susceptibilidad.

En el MRL las densidades en las áreas de susceptibilidad baja son de 0.003 puntos/km², en las de media 0.045 puntos/km² y en las de alta 0.094 puntos/km². En el MEMC las densidades son de mayor magnitud por la cantidad de puntos de calor utilizados (1560 vs 644 en el MRL) pero con menor diferencia entre las categorías. Las densidades en las áreas de baja susceptibilidad son de 0.01 puntos/km², en las de media 0.02 puntos/km² y en las de alta 0.12 puntos/km². La premisa de este método de validación es que en las zonas de alta susceptibilidad la densidad de puntos de calor debería ser mayor que en aquellas de zonas de susceptibilidad media y baja. Más allá de los valores de las densidades, los resultados muestran que en ambos modelos se conserva la tendencia de aumentar la densidad conforme se incrementa el grado de susceptibilidad.

El modelo de evaluación multicriterio ha sido utilizado por autores como Muñoz (2001) y Ramírez (1999) para determinar la susceptibilidad a incendios en regiones menores a 14 000 km²; San Luis Potosí tiene una superficie de aproximadamente 60 000 km², casi seis veces más grande que la de los trabajos consultados, por ello se dificulta la comparación de los resultados de este estudio con los demás. Las metodologías seguidas son similares y obedecen a los pasos generales de la EMC dictados por Malczewski (1999). Sin embargo, Muñoz (2001) al trabajar con una superficie considerablemente menor pudo obtener información en campo para alimentar ciertas variables como el combustible mientras que en este estudio toda la información provino de dependencias gubernamentales y no pudo realizarse una verificación en campo. Por su parte Ramírez (2001) utilizó los puntos de calor como una variable explicativa de los incendios forestales y en este trabajo, se consideraron sólo para la caracterización y la validación, pero la frecuencia de incendios no intervino directamente en la construcción del modelo.

La regresión logística ha sido utilizada por Manzo et al. (2009) para construir un modelo de riesgo de incendios forestales que incorporó tanto variables estáticas como dinámicas como elevación, orientación, pendiente, tipo de vegetación, precipitación, NDVI, la temperatura de la superficie

terrestre y la cobertura de nubes. Vilar et al. (2008) obtuvieron el riesgo humano de incendios forestales en las comunidades de Madrid y Valencia, por su parte Vilchis et al. (2012) determinaron el papel de la sequía en el riesgo de incendios forestales en una cuenca Lerma, en el estado de México. En este trabajo la regresión logística sirvió para determinar la susceptibilidad al fenómeno por lo que las metodologías realizadas por Vilar et al. (2008) y Vilchis et al. (2012) son diferentes, mientras ellos trabajaron con sistemas de información geográfica para obtener la regresión logística, en este estudio primero se construyó una base de datos que posteriormente fue analizada con un software estadístico para después plasmar los resultados en un SIG, metodología parecida a la utilizada por Manzo et al. (2009).

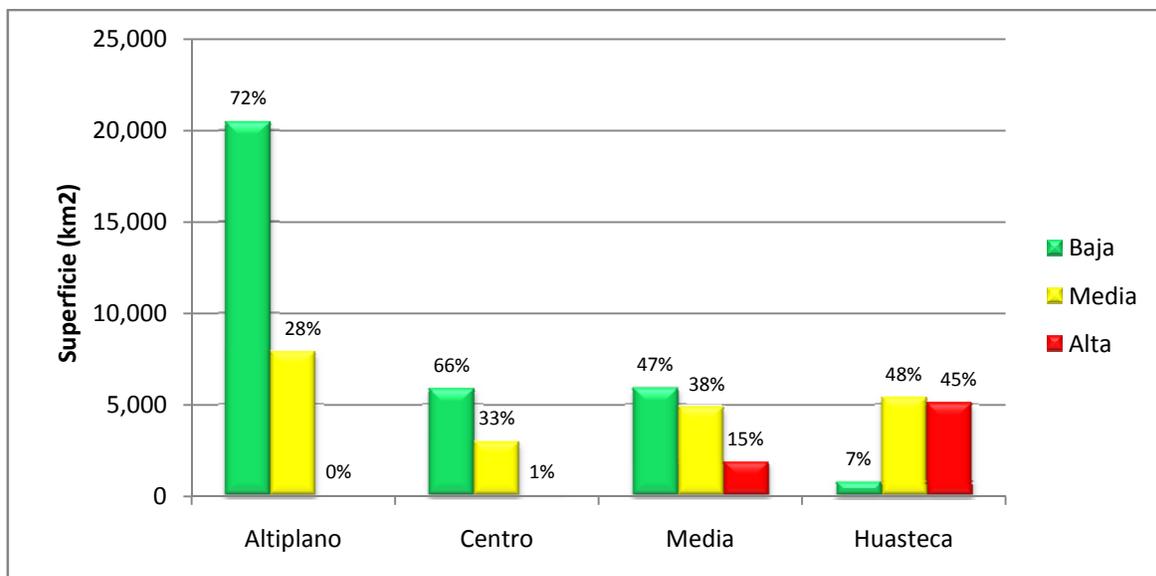


Figura 45. Porcentaje de superficie por grado de susceptibilidad en las regiones administrativas de San Luis Potosí.

Fuente: Elaboración propia.

Para analizar la importancia de la gestión del riesgo de incendios en el estado se utilizó el modelo obtenido mediante evaluación multicriterio porque muestra una mejor distribución de la susceptibilidad y logra que se visualice el problema de los incendios en el estado. En las regiones del Altiplano y el Centro predomina la susceptibilidad baja, seguida de la susceptibilidad media y prácticamente nula presencia de alta (Figura 45). No obstante, aunque las condiciones de la vegetación y físicas caracterizan a estas regiones con baja susceptibilidad a incendios, las estadísticas muestran la presencia de conflagraciones con grandes afectaciones. Tan solo durante 1998, año emblemático por la alta ocurrencia de incendios forestales (que no fue incluido en el

MEMC) los municipios con más superficie quemada del estado fueron Santa María del Río, ubicado en la región Centro y Villa de Guadalupe, en el Altiplano. Por lo anterior, las prácticas y programas de intervención para el manejo integral del fuego deben aplicarse en estas regiones para evitar o aminorar el riesgo de incendios en el futuro.

En la región Media, el 47% de la superficie es de baja susceptibilidad, el 38% de media y el 15% de alta. En esta región los programas deben concentrarse en las zonas de media y alta susceptibilidad, estas últimas ubicadas en los municipios que limitan con la región Huasteca con quien comparten características físicas y de vegetación. La superficie de la región Huasteca es la que más se encuentra dividida en los tres grados de susceptibilidad, el 7% es de baja, el 48% de media y el 45% de alta.

La presencia de vegetación natural compuesta por selvas perennifolias, caducifolias, bosques de encino, palmares y bosque mesófilo de montaña, las actividades agrícolas y de ganadería extensiva que rodean a la vegetación natural y la alta densidad de localidades rurales son elementos que configuran a esta región como la más susceptible a la ocurrencia de incendios forestales en el estado y en la que es necesario concentrar los esfuerzos de gestión integral del fuego, que según Rego et al.(2010) es un concepto de planificación y sistemas operativos que incluyen evaluaciones sociales, económicas culturales y ecológicas con el objetivo de minimizar los daños y maximizar los beneficios del fuego; y que además combinan las estrategias de prevención y extinción con técnicas que integran el manejo tecnificado del fuego y regulan las quemas tradicionales.

La LPMIIIFESLP (2013) clasifica a los municipios mostrados en la figura 46 como de alto riesgo de incendios, sin embargo, este riesgo no está representado espacialmente y en la ley tampoco se menciona si la superficie total de los municipios tiene esta condición. Se considera que de los 19 municipios mencionados en la ley, 16 presentan un predominio de susceptibilidad media y/o alta según el MEMC. Santa María del Río, Villa de Reyes y Mexquitic de Carmona aunque presentan áreas de alta susceptibilidad, son poco significativas en relación con las de susceptibilidad baja y media.

Evaluación de la susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí, México, una contribución a la gestión del riesgo.

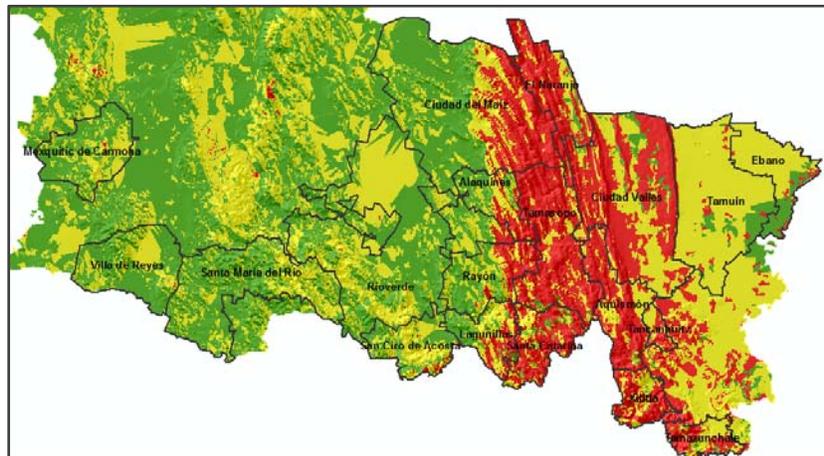


Figura 46. Municipios de alto riesgo según la LPMIIFESLP (2013) sobre el MEMC.
Fuente: Elaboración propia.

Es evidente que la zona prioritaria de atención son los municipios que limitan las regiones Media y Huasteca. La gestión integrada del fuego es crucial para esta zona por su frecuente utilización en las actividades agropecuarias. Aunque es imposible prohibir su uso, sí puede intervenir para que la utilización se realice de manera adecuada de manera tal que se disminuya el riesgo de fungir como agente causal de incendios forestales. Esta gestión integral sólo se logrará con la participación y la coordinación entre dependencias gubernamentales federales, estatales y municipales, así como de la población en general y los usuarios del fuego.

La aprobación de la LPMIIFESLP es un paso importante en el manejo integral del fuego en el estado, habrá que esperar que sea difundida y realmente aplicada pues implica la disposición y voluntad política de los distintos niveles de gobierno. Por otro lado, sigue siendo una medida paliativa porque se centra más en la capacitación para la extinción, es decir en la respuesta ante la emergencia. La prevención se limita a regular el uso del fuego en actividades agropecuarias a través de la solicitud de permisos, es decir, deja de lado el resto de las causas de incendios forestales en la entidad como la quema de basura o las colillas de fumadores. Así también, no contempla la eliminación de material combustible de las comunidades vegetales para evitar su acumulación y disminuir el riesgo de grandes incendios. La educación y la comunicación de riesgos son aspectos que no son considerados en la ley y que son de ayuda para reducir el riesgo de incendios.

6.2. CONCLUSIONES

El objetivo inicial del presente estudio era determinar el grado de susceptibilidad de la entidad a los incendios forestales mediante la construcción de un modelo de evaluación multicriterio y debido a la subjetividad del método producto del procesamiento de la información y los juicios de ponderación, se optó por complementarlo con un modelo de susceptibilidad producto de una regresión logística.

En la EMC las principales ventajas radican en la integración de juicios de expertos en las ponderaciones como una manera de sintetizar diversos elementos del entorno ambiental y la propia experiencia de los investigadores sobre el fenómeno. Debido a que los incendios forestales son fenómenos complejos, al realizar la ponderación con un grupo multidisciplinario de especialistas es posible considerar diversos aspectos importantes y a la vez, otorgar un peso consistente a cada uno de los factores.

Aunque esta ponderación puede significar una debilidad porque inyecta subjetividad al método, también constituye una forma de integrar la historia ambiental del sitio y las sinergias en los procesos presentes. Para hacer que estos conocimientos estuviesen menos sesgados e integrar posturas diferentes sería fundamental la participación de actores clave no solo del ámbito académico, sino también del político mediante los gestores forestales y agrícolas de las dependencias gubernamentales, y del social, con la participación de la gente de las comunidades directamente afectadas. Si se cuenta con información de calidad y se trata de disminuir el nivel de subjetividad en cada etapa de la EMC, los resultados mostrarán una alta correspondencia con la realidad que va a manifestarse en la validación del modelo.

Las desventajas de esta metodología en la escala de trabajo utilizada (nivel entidad) son la dependencia de los insumos externos y la falta de trabajo de campo. Cuando se trabaja con niveles de integración territorial menores, como municipios y ejidos, se tiene mayor control sobre los datos que alimentan a las variables elegidas y además, existe la posibilidad de realizar observaciones en campo y consultas con los habitantes del sitio sobre las formas de aprovechamiento de los recursos naturales. Mientras que al trabajar a nivel entidad se tuvo menos control sobre los datos que alimentaron a las variables y se dependió de los insumos provenientes de las dependencias gubernamentales, pues generar los propios conlleva mayor utilización de

recursos económicos y humanos. Asimismo, la verificación de los resultados en campo y de la información provista por las variables es un paso de gran importancia que fue imposible realizar debido a la dimensión del trabajo.

Por otro lado, el modelo de regresión logística conduce a una síntesis de los factores y variables de manera objetiva, pues selecciona sólo aquellos estadísticamente significativos en la explicación del fenómeno en cuestión. Si bien esta característica es deseable porque da objetividad al método, es probable que las variables seleccionadas no reflejen la realidad del problema en el área de estudio, es decir, que las variables elegidas y la forma de integrarlas a la base de datos deje de lado procesos potencialmente importantes. Lo anterior podría contrarrestarse con la integración de un mayor número de variables de manera tal que el fenómeno a plasmar quede lo más fielmente representado. En resumen, la ventaja del MRL es la facilidad de obtenerlo y aplicarlo, siempre que se cuente con puntos de calor de un periodo de tiempo amplio y con información ambiental y social de calidad para caracterizarlos, mientras que su debilidad en este estudio radicó en la falta de un método de validación estadístico apropiado.

Un buen método para determinar la susceptibilidad a los incendios en la entidad sería aquel que integre las bondades de la evaluación multicriterio con un mayor soporte estadístico. Un ejemplo de ello es la normalización de factores con base en el comportamiento estadístico de los datos para minimizar el riesgo de subestimar o sobreestimar su valor. Asimismo, deben integrarse otras variables importantes en la ignición como la evapotranspiración y el grado de perturbación de la vegetación. Otro método potencial para la obtención de la susceptibilidad es obtener los valores de cada factor mediante la regresión logística, en el entendido de que cada factor está integrado por varios subfactores e integrarlos después por medio de la evaluación multicriterio donde la ponderación sea realizada por un equipo multidisciplinario que incluya a los usuarios del fuego.

A pesar de las diferencias, ventajas y desventajas de cada método los resultados obtenidos fueron consistentes, sobre todo en lo que respecta a las áreas de alta susceptibilidad que es en las que hubo más coincidencia y que son las que requieren atención prioritaria. Estas áreas ubicadas en el occidente de la zona Media y el oriente de la Huasteca comparten características ambientales y formas de apropiación de los recursos naturales y son en las que deben concentrarse los programas de intervención sobre manejo integral del fuego.

Es necesario poner énfasis en la integración a los modelos de susceptibilidad, de los procesos sociales que intervienen en la ocurrencia de incendios forestales. Los procesos sociales son un componente con la misma importancia que los factores ambientales, máxime si tenemos en cuenta que la mayor parte de los incendios en el estado, en el país y en el mundo tienen como causa de ignición actividades humanas, así como el arraigo a la utilización del fuego tan común en las comunidades rurales. Procesos como la pobreza, la emigración, el abandono de las actividades rurales, el aumento de la interfaz urbano-forestal, entre otras, pueden tener influencia en el aumento del riesgo de los incendios forestales y por ello, deben ser analizados. El reto es encontrar un método que permita que la importancia de estos procesos se vea reflejada espacialmente para que puedan ser integrados a los factores ambientales, o bien, dada la dificultad que esto conlleva, la evaluación de la susceptibilidad podría complementarse con un trabajo de identificación de procesos sociales que inciden en el inicio de un incendio forestal (Anexo 1).

Este trabajo demostró la versatilidad de los sistemas de información geográfica pues fungieron como herramienta básica tanto para el procesamiento, normalización e integración de los elementos de la EMC, como para la aplicación de los coeficientes de la regresión logística y la serie de operaciones necesarias para obtener el modelo. Así también, la percepción remota resultó clave para la detección y digitalización de áreas quemadas.

La evaluación de la amenaza como parte del análisis del riesgo es primordial porque permite identificar a los eventos adversos que pueden ocurrir en un sitio y el grado de propensión del territorio a sufrirlos. En este caso, el evento adverso fueron los incendios forestales y el territorio propenso, el estado de San Luis Potosí. El aporte de este trabajo a la gestión del riesgo es la identificación de zonas prioritarias de atención, pretende llamar la atención de las autoridades estatales sobre el tema, para que en conjunción con las dependencias nacionales realicen los programas de intervención pertinentes para disminuir el peligro de incendios y que se fije como meta en el mediano plazo la gestión integral del fuego. Por otro lado se busca que la distribución de recursos públicos, humanos y económicos para la prevención y extinción de los incendios se realice racionalmente al considerar los distintos grados de susceptibilidad del territorio a la amenaza.

Evaluación de la susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí, México, una contribución a la gestión del riesgo.

Un segundo aporte es constituir un antecedente sobre la caracterización de la amenaza en el estado. La idea fundamental es que el presente estudio sea la base para el desarrollo de trabajos más específicos sobre incendios forestales, principalmente en las zonas que hayan resultado con grado de alta susceptibilidad. Estos trabajos permitirán entender la dinámica de los incendios, los factores ambientales, físicos y sociales involucrados, así como los efectos en los componentes del ecosistema y en los seres humanos. En trabajos a escalas grandes se podrá detallar la información de cada factor con trabajo de campo para obtener resultados fiables y acordes a la realidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, J., & Obaji, J. (2008). *Fundamentos de inferencia estadística* (1a ed.). Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.
- Álvarez, R. (2007). *Estadística aplicada a las ciencias de la salud*. España: Ediciones Díaz de Santos.
- Arevalo, D., & Parias, J. (2013). *Análisis de amenaza por fenómenos de remoción de masa en la región del boquerón ubicada entre los departamentos de Cundinamarca y Tolima mediante el uso de un sistema de información geográfica de libre distribución*. Colombia: Universidad Católica de Colombia.
- Arnaldos, J., Navalón, X., Pastor, E., Planas, E., & Zárata, L. (2004). *Manual de ingeniería básica para la prevención y extinción de incendios forestales*. España: Mundi-prensa.
- Bastarrika, A., Chuvieco, E., & Martín, P. (2011). Mapping burned areas from Landsat TM/ETM+ data with a two-phase algorithm: Balancing omission and commission errors. *Remote Sensing of Environment*, 1003-1012.
- Caballero, F. (2011). *Selección de modelos mediante criterios de información en análisis factorial. Aspectos teóricos y computacionales*. España: Tesis doctoral. Universidad de Granada.
- Cardona, O. (1993). Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo. En A. Maskrey, *Los desastres no son naturales* (págs. 45-65). LA RED. Red de estudios sociales en prevención de desastres en América Latina.
- Ceballos, D., & Toro, L. (2012). Evaluación de la susceptibilidad a la erosión por el cambio de cobertura debido a la minería, en el municipio de Anorí, Antioquia, Colombia. *Gestión y ambiente* 15(3), 51-63.
- Chardon, A., & González, J. (2002). *Amenaza, vulnerabilidad, riesgo, desastre, mitigación, prevención. Primer acercamiento a conceptos, características y metodologías de análisis y evaluación*. Colombia: Instituto de Estudios Ambientales.
- CONABIO. (1998). *Los incendios en México. Un análisis de su amenaza a la biodiversidad*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- CONAFOR. (1999). *Reporte semanal de resultados de incendios forestales*. México: Comisión Nacional Forestal.
- CONAFOR. (2013). *Incendios forestales en México. Temporada 2013*. México: CONAFOR.
- CONAFOR-SLP. (2013). *Estadísticas de incendios forestales en San Luis Potosí 2000-2012*. México.

Evaluación de la susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí, México, una contribución a la gestión del riesgo.

- CONAGUA. (1981-2010). *Normales climatológicas por estación en San Luis Potosí*. México: Comisión Nacional del Agua.
- CONANP. (2011). *Estrategias y lineamientos de manejo del fuego en Áreas Naturales Protegidas*. México: SEMARNAT.
- Espinoza, V., & Vargas, C. (2013). Generación de información temática de la cobertura vegetal amazónica a partir del sensor Landsat-TM. *Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Brasil.
- Estrada, O. (2006). Sistema Nacional de Protección contra Incendios Forestales. En J. Flores, D. Rodríguez, O. Estrada, & F. Sánchez, *Incendios forestales* (págs. 185-213). México: Mundi-Prensa México.
- Fernández, I., & Herrero, E. (2001). *Análisis visual de imágenes obtenidas del sensor ETM+ Satélite Landsat*. España: Universidad de Valladolid.
- Flores, J. (2009). Aspectos generales de los incendios forestales. En J. Flores, *Impacto ambiental de incendios forestales* (págs. 3-12). México: Colegio de Posgraduados, INIFAP, Mundi-prensa México.
- Flores, J. (2009). Ecología del fuego y su impacto en los ecosistemas forestales. En J. Flores, *Impacto ambiental de incendios forestales* (pág. 13). México: Mundi-prensa México.
- Flores, J., & Benavides, J. (2006). Avances de la investigación en incendios forestales en México (2004). En J. Flores, D. Rodríguez, O. Estrada, & F. Sánchez, *Incendios forestales* (págs. 13-25). México: Mundi-Prensa México.
- Flores, J., & Gómez, L. (2009). Efectos del fuego sobre la calidad del aire. En J. Flores, *Impacto ambiental de incendios forestales* (págs. 277-301). México: Mundi-prensa.
- Frausto, J. (2006). El programa de prevención de incendios FMCN-USAID. En J. Flores, D. Rodríguez, O. Estrada, & F. Sánchez, *Incendios forestales* (págs. 85-96). México: Mundi-prensa.
- Fries, A., Rollenbeck, R., Naub, T., & Bendix, J. (2012). Near surface air humidity in a megadiverse Andean mountain ecosystem of southern and its regionalization. *Agricultural and forest meteorology* (152), 17-30.
- Golicher, D., & Ramírez, N. (2003). Causas ecológicas de los incendios forestales. *Ecofronteras*, 6-9.
- Gómez, M., & Barredo, J. (2006). *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio*. México: Alfaomega, Ra-Ma.

Evaluación de la susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí, México, una contribución a la gestión del riesgo.

- Gutierrez, M. A. (2004). *Análisis de la susceptibilidad a incendios forestales en la microcuenca Las Marías León - Chinandega*. Nicaragua: Universidad Nacional Agraria.
- Herrera, I. (2012). *Análisis de la susceptibilidad a la subsidencia en el estado de San Luis Potosí (México), como herramienta de la gestión ambiental*. México: Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Hong, Y., & Minnich, R. (1993). Mapping probability of fire occurrence in San Jacinto mountains, California, USA. *Environmental management Vol. 17*, 129-140.
- INEGI. (2005). *Población rural y rural ampliada en México, 2000*. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. (2009). *Guía para la interpretación de cartografía de uso de suelo y vegetación: Escala:1:25000*. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. (2011). *Principales resultados del Censo de Población y Vivienda 2010, San Luis Potosí*. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. (2012). *Anuario estadístico de San Luis Potosí*. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. (2012). *Guía para la interpretación de cartografía de uso de suelo y vegetación: Escala 1:250000*. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. (2012). *Síntesis de información geográfica de San Luis Potosí*. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Jardel, E., Alvarado, E., Morfín, J., Castillo, F., & Flores, J. (2009). Regimenes de fuego en ecosistemas forestales de México. En J. G. Flores Garnica, *Impacto ambiental de los ecosistemas forestales* (págs. 73-100). México: Mundiprensa.
- Juárez, S. (2008). *Un modelo de riesgo de incendio en Michoacán, México*. México: Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Lara, P. (2010). *Valoración ambiental del estado de San Luis Potosí a través de sus niveles de asimilación económica*. México: Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Malczewski, J. (1999). *GIS and multicriteria decision analysis*. EUA: Jhon Wiley and Sons, Inc.

Evaluación de la susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí, México, una contribución a la gestión del riesgo.

- Manzo, L., & López, J. (2013). Detección de áreas quemadas en el sureste de México, utilizando índices pre y post-incendio NBR y BAI, derivados de compuestos MODIS. *GeoFocus N° 13-2*, 66-83.
- Manzo, L., Sánchez, S., & Álvarez, R. (2009). Assessment of seasonal forest fire risk using NOAA-AVHRR: a case study in central Mexico. *International Journal of Remote Sensing*, 4992-5013.
- Martínez, J. (2007). ABC del cambio climático: impactos y acciones en México. *Foro: Sociedad y cambio climático*. México: Versión digital.
- Mena, C., Gajardo, I., & Ormazábal, Y. (2006). Modelación espacial geomática y evaluación multicriterio para el ordenamiento territorial. *Rev. Fac. Ing. No.1*, 81-89.
- Moraga, J. (2010). Evaluación del riesgo ante incendios forestales en la cuenca del río Tempisque, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central No.45*, 33-64.
- Moreno, J. (2002). *El proceso analítico jerárquico (AHP). Fundamentos, metodología y aplicaciones*. España: Documento digital.
- Moreno, J. (2005). Impactos sobre los riesgos naturales de origen climático. En J. Moreno, *Impactos del cambio climático en España* (págs. 581-615). España: Ministerio de Medio Ambiente.
- Muñoz, C. (2001). *Elaboración de un modelo espacial de peligro de incendios forestales*. México: Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Muñoz, C., Treviño, E., Verástegui, J., Jiménez, J., & 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. Abril. Núm. 56*, 110-117.
- Olvera, M. (2007). Articulación de la gestión del riesgo y la gestión ambiental. En I. Grupo Internacional Recursos del Sur, *Tiempo para entregar el relevo. Reducción del riesgo de desastre desde la perspectiva de la gestión ambiental, ordenamiento territorial, finanzas e inversión pública* (págs. 21-78). Costa Rica: Grupo Internacional Recursos del Sur, IRG.
- Palacio, G., & Zetina, R. (2010). Metodología para identificar y zonificar los incendios forestales.
- Pittaluga, M., & Suvires, G. (2010). Susceptibilidad a las inundaciones por crecientes estivales y por desbordes en las localidades de Villa Nueva, Puchuzum y Villa Corral, cuenca del Río Castaño, Calingasta, San Juan. *Revista de la Asociación Geológica Argentina 66(4)*, 520-528.

Evaluación de la susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí, México, una contribución a la gestión del riesgo.

- Ramirez, C. (1999). *Modelo de susceptibilidad a incendios forestales utilizando imágenes AVHRR y sistemas de información geográfica, en la reserva de la biosfera maya, Guatemala*. Costa Rica: Tesis de maestría. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Rego, F., Rigolot, E., Fernandes, P., Montiel, C., & Sande, J. (2010). *Hacia la gestión integrada del fuego*. Finlandia: European Forest Institute.
- Ressl, R., & Cruz, I. (2012). Detección y monitoreo de incendios forestales mediante imágenes de satélite. *Biodiversitas* 100, 12-13.
- Roa, J. (2006). Aproximación al mapa de susceptibilidad y amenazas por deslizamientos de la ciudad de Trujillo, Venezuela. *AGORA Año 9 Núm 17*, 45-83.
- Rodríguez, D., Rodríguez, M., & Fernández, F. (2002). *Educación e incendios forestales*. México: Mundi-prensa.
- Roy, D., Jin, Y., Lewis, P., & Justice, C. (2005). Prototyping a global algorithm for fires systematic fire-affected area mapping using Modis time series data. *Remote Sensing of Environment*, 137-162.
- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México. 1a edición digital*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process*. EUA: McGraw-Hill.
- Sarmiento, J. (2007). El desafío de la gestión de riesgos como estrategia de interacción multisectorial y participativa al servicio del desarrollo. En I. Grupo Internacional Recursos del Sur, *Tiempo para entregar el relevo. Reducción del riesgo de desastre desde la perspectiva de gestión ambiental, ordenamiento territorial, finanzas e inversión pública* (págs. 5-20). Costa Rica: Grupo Internacional Recursos del Sur, IRG.
- SDE-SLP. (2013). *Resultados de la encuesta nacional de ocupación y empleo en San Luis Potosí*. México: Secretaría de Desarrollo Económico.
- Seltzer, J., Miller, M., & Seltzer, D. (2007). Riesgos a la salud de los niños por los incendios forestales - Fase aguda. *Pediatric Environmental Health Specialty Units*.
- Solarte, E. (2009). *Identificación de zonas susceptibles a incendios forestales en Melgar, Tolima*. Colombia: Universidad del Valle de Colombia.
- Soldano, A. (2009). Conceptos sobre riesgo. *Foro virtual del RIMD creado para la capacitación en teledetección aplicada a la reducción de riesgo por inundaciones*. Argentina.

Evaluación de la susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí, México, una contribución a la gestión del riesgo.

VAERSA. (2006). *Planes de prevención de incendios forestales*. España: VAERSA.

Vilar del Hoyo, L. (España). Empleo de regresión logística para la obtención de modelos de riesgo de incendios forestales. En M. C. Camacho, *El acceso a la información espacial y las nuevas tecnologías geográficas*. (págs. 531-543). España: Universidad de Granada.

Vilchis, A., Díaz, C., Ba, K., Gómez, M., & Magaña, D. (2012). La sequía en la modelación de riesgo de incendios forestales en la cuenca Lerma, Estado de México. *XXII Congreso Nacional de Hidráulica*. México.

Villers, L. (2006). Parámetros ambientales físico-bióticos y modelos para estudiar el comportamiento del fuego. En J. Flores, D. Rodríguez, O. Estrada, & F. Sánchez, *Incendios forestales* (págs. 29-37). México: Mundi-prensa México.

Wilchex-Chaux, G. (1993). La vulnerabilidad global. En A. Maskrey, *Los desastres no son naturales* (págs. 11-44). LA RED (Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina).

Referencias electrónicas

OMS, 2012 http://www.who.int/hac/techguidance/ems/vegetation_fires/es/index.html . Última visita: 29 de noviembre de 2012.

CONEVAL, 2012. <http://www.coneval.gob.mx> Última visita: 01 de septiembre de 2013.

SIAP, 2012 <http://www.siap.gob.mx> Última visita: 01 de septiembre de 2013.

<http://glovis.usgs.gov/> Última visita: 05 de agosto del 2013

<https://earthdata.nasa.gov/data/near-real-time-data/firms>. Última visita: 05 de agosto del 2013

Fuentes cartográficas

Comité Técnico Regional de Información Estadística y Geografía (2005). Datos vectoriales de vías de comunicación. México.

Evaluación de la susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí, México, una contribución a la gestión del riesgo.

García, E.- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2001). Climas (clasificación de Koppen, modificado por García). Escala 1:1000000. México. Disponible en <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2001). Conjunto de datos vectoriales fisiográfico. Continuo Nacional. Escala 1:1000000. Serie I. Disponible en <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/fisiografia/infoescala.aspx>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2004). Carta topográfica 1:250000, clave G14-10. México.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2004). Carta topográfica 1:250000, clave F14-1. México.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2004). Carta topográfica 1:250000, clave F13-3. México.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2004). Carta topográfica 1:250000, clave F14-5. México.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2004). Carta topográfica 1:250000, clave F13-6. México.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2004). Carta topográfica 1:250000, clave F14-4. México.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2004). Carta topográfica 1:250000, clave F14-8. México.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2004). Carta topográfica 1:250000, clave F14-7. México.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2008). Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación: Escala 1:250000: Serie IV. México

Evaluación de la susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí, México, una contribución a la gestión del riesgo.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2011). Áreas geoestadísticas municipales extraídas del Marco geoestadístico 2010 versión 5.0.A^a (Censo de Población y Vivienda 2010). Disponible en http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/m_geoestadistico.aspx

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2011). Puntos de localidades rurales extraídas del Marco geoestadístico 2010 versión 5.0.A^a (Censo de Población y Vivienda 2010). Disponible en http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/m_geoestadistico.aspx

ANEXO 1

ACTORES Y PROCESOS SOCIALES PRESENTES EN EL RIESGO DE INCENDIOS EN GALICIA.

1. Introducción

Se puede definir un incendio forestal como la propagación libre del fuego sobre la vegetación forestal (Flores, 2009). Los factores ambientales que influyen en el inicio y propagación de un incendio forestal van desde aspectos atmosféricos, edáficos, litológicos, topográficos, bióticos, sociales, químicos y energéticos (Arnaldos et al., 2003). La interacción de estos elementos configura al incendio forestal como un fenómeno físico, químico, biológico y social complejo.

En España se registran cada año más de 20 000 incendios forestales, que afectan a más de 150 000 ha (Moreno, 2005). Ocurren en verano y tienen como principal causa de ignición al factor humano, se ven favorecidos por una vegetación inflamable y condiciones climáticas desecantes (alta temperatura, baja humedad relativa del aire, sequía y viento). En los últimos años Galicia, en el noroeste de España, soporta una actividad incendiaria que supone cerca del 50% de los incendios forestales de toda España (Fernández, 2006).

Galicia tiene un extensión de 28 574.4 km² que corresponde al 5.86% de la superficie de España. El 69% del territorio tiene carácter forestal y cerca del 45% corresponde a zonas arboladas en las que predominan especies arbóreas autóctonas como *Quercus robur*, *Quercus pyrenaica*, *Pinus pinaster* *Pinus sylvestri*, *Castanea sativa* y alóctonas como *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata* (SILVANUS, s.f.), ocupando extensas áreas, en las zonas costeras la primera y en el interior la segunda. Los incendios afectan más a zonas no arboladas que a aquellas donde existe vegetación arbórea, ya que hay amplias áreas de matorral en suelos con baja productividad y mal gestionadas en manos de comunidades locales.

Las provincias que mayor número de incendios sufren son las del sur de Galicia (Ourense y Pontevedra), seguidas por las del norte (La Coruña y Lugo). No obstante, para entender los incendios en Galicia es necesario comprender la intervención de múltiples variables socioeconómicas. Al igual que en otras áreas, los incendios intencionados o por negligencia son los más representativos, aunque sea difícil conocer sus causas específicas (Barreal et al., 2011).

Evaluación de la susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí, México, una contribución a la gestión del riesgo.

Fernández (2006) menciona que el 68% de la superficie forestal está en manos privadas con una propiedad media de 2-3 ha en hasta 10 parcelas diferentes. El 30% de la propiedad lo constituyen los montes vecinales de mano común (MVMC), en los cuales la propiedad del monte recae en una comunidad de vecinos residentes. Un comunero forma parte de una comunidad propietaria, pero no es propietario a título individual. Solamente el 2% de la propiedad forestal de Galicia corresponde a montes de titularidad pública (Fernández, 2006).

Según Serrano (1990) Galicia es una región especialmente proclive a la incendialidad forestal por diversos factores de variada índole:

- Vegetación arbustiva densa, debido a una precipitación abundante (entre 600 y 2000 mm anuales) y a unas condiciones térmicas moderadas, lo que favorece la propagación del fuego en superficie.
- Aumento del tapiz arbustivo al desaparecer el aprovechamiento que hasta hace 20 años se realizaba con fines de fertilización de los cultivos o de cama animal.
- Disminución del pastoreo extensivo, que suponía un desbroce biológico sin costos.
- Existencia de un período de prolongada sequía estival y déficit hídrico de los suelos.
- Diseminación del poblamiento rural gallego, con unos 30000 núcleos de población en una superficie de 29.574 km², y elevada densidad de población (92,6 hab/km²), con la consiguiente continua ocupación humana del territorio y la ocasión para la ocurrencia de negligencias como con las quemas de rastrojos.
- Importancia de la “intencionalidad” y la facilidad circunstancial para producir el incendio.
- Disminución de la rentabilidad del monte por el desfase de los precios de los productos forestales y la pérdida de interés del propietario en defender el monte.
- Cobertura forestal en cerca del 70% del territorio gallego, de los cuales el 45% corresponde a zonas arboladas.

El presente trabajo busca comprender el papel de los actores clave y los procesos sociales y económicos que intervienen en el riesgo de incendio en Galicia, España, desde el punto de vista de los profesionales en el campo de la investigación y el servicio forestal.

2. Metodología

La metodología aplicada se basa en entrevistas no estructuradas a especialistas relacionados con el estudio de los incendios forestales en Galicia, principalmente del ámbito académico universitario. Las entrevistas versaron sobre los aspectos que a consideración de los entrevistados intervienen en el riesgo de incendios. Cada entrevista fue transcrita para ser posteriormente analizada.

Basándose en la información proporcionada por los entrevistados, se identificaron actores clave, relaciones y procesos sociales, económicos y ambientales que confieren al territorio gallego de gran complejidad en el riesgo de incendios. Para explicar las complejas y múltiples relaciones se elaboraron dos mapas que sintetizan las relaciones entre actores y procesos sociales.

3. Resultados

3.1. Actores clave en el riesgo de incendios

La identificación y descripción de los actores clave se realizó a partir de la información proporcionada por los entrevistados y del análisis del contexto. A continuación se trazan sus principales atributos.

Unión Europea. Otorga recursos financieros y dicta las pautas generales sobre las políticas económicas, agrarias, forestales, y ambientales a los países miembros. En materia forestal y de incendios forestales, estas políticas llegan a ser calificadas como inconstantes. Tienen una influencia indirecta fomentando el abandono del sector agrícola al promover o subvencionar programas de abandono de la explotación agraria y la reconversión de tierras agrarias en tierras forestales, sin embargo su impacto en la incentivación de este último proceso es muy escaso.

Administración general del estado, Xunta de Galicia, administraciones municipales (Decisores políticos). Encargados de formular y aplicar políticas forestales y de extinción de incendios, así como de asignar los recursos destinados para ello. Se priorizan las políticas de extinción sobre las de gestión forestal, puesto que la extinción es un elemento mediático que puede ser integrado al

discurso político ya que implica el manejo de grandes cantidades de recursos humanos y económicos. En este aspecto destaca la Xunta de Galicia, que es la administración que tiene las principales competencias. Las políticas de prevención y de gestión tienen menor énfasis, menores recursos y por ello, no han generado resultados visibles. El hecho de privilegiar la extinción sobre la gestión preventiva, genera un círculo vicioso, pues una mala gestión, conlleva favorecer el riesgo de incendio y maximiza los efectos del mismo.

- Servicio de Prevención y Defensa contra Incendios Forestales. En el 2012 se conformó por 5689 personas organizadas en 458 brigadas en tierra y 26 helitransportadas, además de 95 grupos de vigilancia móvil y primera intervención (www.lavozdeg Galicia.es). Su actuación se centra en la detección, a través de torres de vigilancia, permanentes y temporales, y brigadas móviles que transitan rutas conflictivas; y en la extinción, privilegiando el combate de incendios en zonas arboladas y en aquellas donde se ponga el peligro la integridad de la población. Por otro lado, absorbe la mayor parte de los recursos económicos destinados al sector forestal en Galicia.

Propietarios forestales. En Galicia, una de cada cuatro personas es propietaria de al menos una parcela. Son propietarios de parcelas de forma individual y de Montes Vecinales de Mano Común en propiedad privada común. Es preciso distinguir entre productores activos, que llevan a cabo una labor constante de aprovechamiento y gestión –más o menos eficiente- forestal y propietarios absentistas, cuya gestión es esporádica y en ocasiones nula. Los propietarios son los decisores acerca de las actividades a realizar o el uso de su parcela. Generalmente, se plantan especies como eucalipto por las pocas labores de cultivo realizadas durante su desarrollo, su crecimiento rápido y su valor en el mercado (específicamente en la industria maderera y de fibras), a pesar de que dicha especie no cuenta con subvenciones públicas para su plantación. La actividad forestal es un complemento económico para los productores y no la actividad principal, de ahí el poco tiempo e interés en la gestión forestal.

Ganaderos. Han diversificado su actividad destinando cierta superficie de sus terrenos al cultivo de eucalipto o pino –son igualmente propietarios forestales-. Sin embargo, tienen entre sus prácticas la quema de la vegetación de matorral y herbáceas para incentivar la regeneración de herbáceas que sirvan de alimento para el ganado, actividad que cuando es realizada de forma negligente es, en ocasiones, la causa de inicio de un incendio forestal.

Maderistas. Son los encargados de colocar la madera de los productores en el mercado y abastecer a la industria de la pasta de papel. En ocasiones, tienen ya negociado un cupo con las empresas, que han de completar con madera proveniente de distintos productores forestales. Habitualmente se encargan de la corta, acopio y transporte de la madera .

Industria maderera. En Galicia operan principalmente empresas productoras de pasta de papel y de tableros de fibras y, en menor medida, de aserrío. El hecho de que la principal materia prima para elaborar pasta de papel sea eucalipto y de que se tenga asegurada la entrada en el mercado, ha derivado en un "incentivo indirecto" a los productores forestales activos, absentistas y ganaderos al cultivo de dicha especie, dando como resultado que los bosques de Galicia se estén convirtiendo en un gran monocultivo de eucalipto.

Medios de comunicación. La temporada estival de incendios se convierte en un elemento mediático anual importante. A las noticias relacionadas con incendios, se les dedica tiempo en televisión, radio, espacios en internet y reportajes en periódicos. La forma de presentar las noticias puede influir en la actuación de incendiarios. Por contra, constituye una fuente de información que incrementa la conciencia sobre el riesgo en algunos sectores de la población que no están directamente involucrados.

Sociedad civil. Los ciudadanos son consumidores de la información de los medios de comunicación sobre los estragos del fuego, las labores de extinción, la forma en que los gobiernos afrontan estos desastres y los recursos que destinan. La información incluye una valoración de la actuación de los gobiernos frente al problema de acuerdo a su percepción.

Organizaciones no gubernamentales. Las diferentes ONGs de Galicia prestan atención a los incendios forestales. Organizaciones como ADEGA (Asociación para la Defensa Ecológica de Galicia) se han movilizado en numerosas ocasiones contra los incendios forestales y las plantaciones masivas de eucaliptos, y a favor de la defensa de los bosques autóctonos y la minimización del impacto ambiental de las concentraciones parcelarias (González y Fra, 2012).

Expertos. Se encargan del estudio de los incendios forestales, desde los factores que inciden en su ocurrencia hasta los efectos ecológicos y sociales de los mismos, las políticas de actuación de las autoridades y los costos económicos. Aportan conocimiento al sector político, los medios de comunicación e indirectamente a la sociedad civil.

3.2. Empresas públicas y privadas relacionadas con los incendios forestales.

En esta sección se identifican los actores económicos que tienen alguna influencia en los incendios forestales en Galicia, ya sea por la asignación de recursos y personal o por participar en los planes de actuación frente a los incendios. Las primeras dos empresas (TRAGSATEC y SEAGA) son públicas, mientras que el resto son de privadas.

TRAGSATEC. Empresa constituida en 1989 que realiza actividades de ingeniería, consultoría y asistencia técnica en materia agrícola, forestal, desarrollo rural, medioambiente y medio marino, en estudios y proyectos técnicos. En materia de incendios forestales interviene en el diseño de programas de gestión forestal distritales. Cabe señalar que Galicia está conformada por 28 distritos forestales.

SEAGA. Servicios Agrarios Gallegos S.A. Sociedad pública creada por la administración gallega para la realización de todo tipo de obras y prestación de servicios en materia forestal, especialmente en las relacionadas con la lucha contra los incendios forestales. Es la encargada de contratar personal para laborar durante las campañas de incendios.

METEOLÓGICA. Elabora mapas de alta resolución de variables meteorológicas e índices de peligrosidad de incendio para la administración autonómica de Galicia, así como simulaciones de la evolución de incendios forestales. La distribución de recursos de personal y medios de extinción por parte de la administración se realiza en base a las predicciones realizadas por dicha empresa.

NANOTECNIA. Consultoría especializada en la gestión integral de los servicios de emergencias y servicios forestales. Se encargan de gestionar seis parques de bomberos en Galicia. La gestión implica la selección y formación del personal, la intervención en emergencias, planes de servicio, mantenimiento, sustitución de vehículos y organización de efectivos, y elaboración de planes de actuación en emergencias.

INAER. Compañía de servicios de emergencia aérea y mantenimiento de aeronaves. Es pionera en la utilización de helicópteros para la lucha contra el fuego, así como en el transporte de cuadrillas de bomberos. Presta servicios de prevención y lucha contra incendios a diversas comunidades autónomas de España entre las que se encuentra Galicia.

3.3. Relaciones entre actores

En la figura 1 se presentan las relaciones identificadas entre los actores clave en el riesgo de incendios en Galicia.

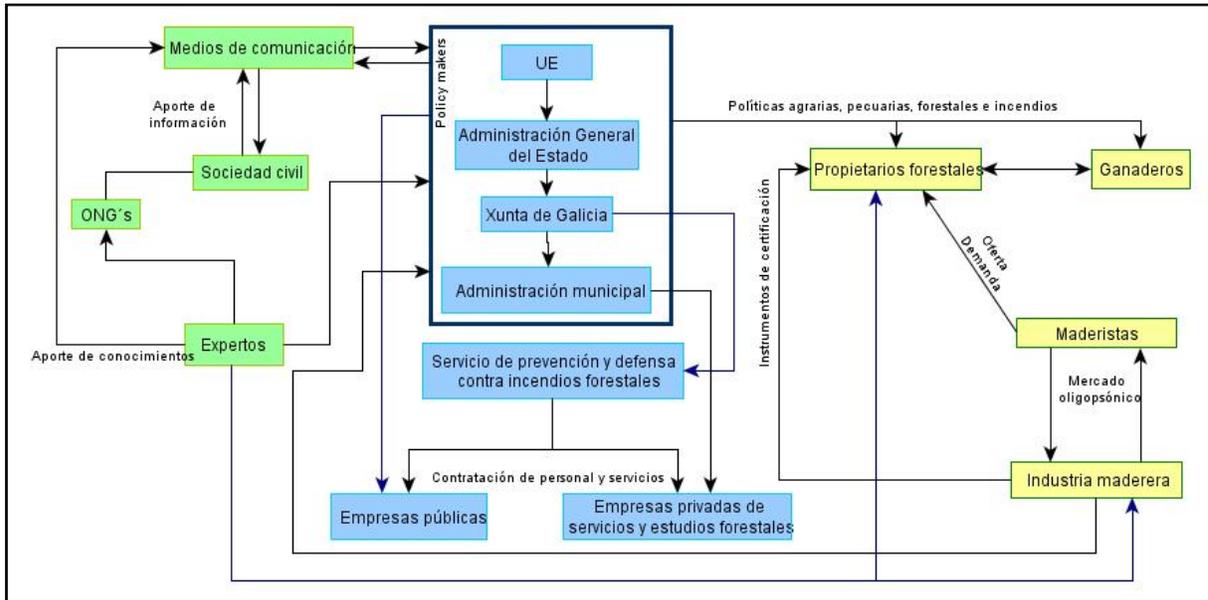


Figura 1. Relaciones entre los actores clave en el riesgo de incendios forestales en Galicia.

Los medios de comunicación constituyen un aporte de información sobre los incendios forestales hacia la sociedad civil, la cual puede también estar influida por el trabajo y difusión que realicen las organizaciones de la sociedad civil sobre el problema. Los expertos aportan conocimiento que puede ser retomado y utilizado tanto por los medios de comunicación, como por los decisores políticos (Unión Europea, Administración General del Estado, Xunta de Galicia y Administración municipal).

La UE dicta las pautas generales sobre las políticas a los países miembros, que influyen en las políticas diseñadas y aplicadas por la Administración General del Estado, la Xunta de Galicia y la administración municipal. Estas políticas afectan a los propietarios forestales y ganaderos y son determinantes para la decisión sobre sus actividades. Los productores forestales y ganaderos con terreno forestal, dependen de los maderistas para colocar su producto en el mercado, de igual modo que influye en los productores forestales a través de instrumentos como la certificación, y al incentivar de manera indirecta el establecimiento de especies de interés comercial (eucalipto). La industria ejerce influencia en los decisores políticos al ser un generador de empleo.

3.4. Procesos sociales que originan el riesgo de incendios

El entendimiento de los procesos sociales tiene una importancia equiparable a la de los factores físicos y ecológicos para entender el riesgo de incendios. Sea cual sea la condición de los sistemas vegetales, estos no pueden iniciar el proceso de combustión si no existe una aportación exterior de energía superior a la que reciben del sol. Las condiciones para iniciar la combustión sólo se dan de forma natural cuando un rayo o una erupción volcánica impactan sobre la vegetación. El resto de las causas tiene directa o indirectamente origen humano, por lo que es fundamental incluir a los factores sociales relacionados con la ocurrencia de incendios forestales y con el uso y manejo del fuego en los índices de susceptibilidad y peligro.

Rodríguez et al. (2002) considera que el crecimiento de la población y la pobreza son procesos que aumentan el riesgo de incendios, porque las personas tienden a hacer un mal uso del fuego en las zonas rurales, forzadas por la situación en la que viven y por la falta de una cultura forestal. Por su parte, Frausto (2006) menciona que las comunidades campesinas e indígenas mantienen el uso del fuego para obtener alimentos y renovar sus recursos naturales conforme a determinados patrones socioculturales, tradiciones y recursos técnico-económicos disponibles. No obstante, con el incremento de la población, la disminución de la capacidad productiva y el quebrantamiento de la economía campesina, el uso del fuego en zonas rurales representa ahora una preocupación a nivel internacional.

Los procesos identificados que originan el riesgo de incendios en Galicia se concentran en cinco grandes grupos: el abandono de tierras y la desagrarización, el incremento de la interfaz urbano-forestal, la fragmentación de la propiedad, el aumento en la masa forestal con especies pirófilas y la inadecuada gestión forestal. A continuación se describe de forma breve cada uno de ellos, así como sus relaciones.

3.4.1. Abandono de tierras - desagrarización.

El abandono de tierras y la consiguiente disminución de la superficie utilizada constituye un problema económico y social en Galicia (Corbelle y Crecente, 2008). El éxodo rural, la emigración, la priorización de la competitividad de las explotaciones agrarias por parte de la Política Agrícola Común (PAC) de la Unión Europea, el pequeño tamaño de las explotaciones y la falta de movilidad

de tierras, el bajo precio de los productos agrarios en el mercado, y el envejecimiento de la población son factores que alimentan este proceso.

Éxodo rural. Fenómeno vivido en España en la segunda mitad del siglo XX, que dio lugar a un proceso acelerado de urbanización y terciarización económica común a todas las economías desarrolladas. El éxodo rural de la población en edad laboral provocó un proceso de regresión tanto demográfica –pérdida de efectivos y despoblación, acompañado del descenso de la natalidad y un envejecimiento demográfico– como económica –pérdida de competitividad, deterioro de la viabilidad de las explotaciones agrarias, problemas de reemplazo generacional– (Balsa, 2012). La gente de edad avanzada generalmente permanece en las localidades y sigue con las actividades agropecuarias, aunque con menor intensidad

Emigración. La población rural es atraída por mayores incentivos en las áreas urbanas y polos industriales de España población económicamente activa abandona las actividades agropecuarias para emplearse en actividades como la industria y los servicios, principalmente a las zonas industriales de Madrid, el País Vasco y Cataluña. Entre 1960 y 1980 ocurre una migración hacia el centro de Europa principalmente de campesinos y mano de obra poco calificada.

Envejecimiento de la población rural. Es un proceso derivado de los procesos migratorios (éxodo rural, migración interior, migración exterior), en el cual la población activa agraria está envejeciendo, aunado a una baja población joven con quien llevar a cabo un relevo generacional, una tasa de natalidad baja y una tasa de dependencia muy alta. Barreal et al. (2011) señala que el campo gallego presenta una población avejentada, muy dispersa geográficamente y que emplea los recursos agrícolas y ganaderos como sustento. El envejecimiento de la población incrementa el riesgo de incendios, debido al abandono de las explotaciones, de la gestión del territorio y de la realización de actividades de control como la obtención de leña y el control del matorral, lo que aumenta la probabilidad de que un foco de incendio sea incontrolable. Además, la población avejentada es frecuentemente más reticente a adoptar nuevas formas de producción y gestión que favorezcan el control activo y pasivo de los incendios.

Priorización de la competitividad. La incorporación de España a la UE tuvo un gran impacto en la economía rural de Galicia. La agricultura y ganadería debieron enfrentarse a un mercado más amplio y más competitivo, con lo que se inició un proceso de adaptación que consistió en reorientar la producción, disminuyendo los cultivos agrícolas y concentrándose en los sectores en los que la economía agraria podía ser más competitiva como la producción de carne y leche, y haciendo las explotaciones más competitivas reduciendo mano de obra e incrementando la mecanización, disminuyendo el porcentaje de población ocupada en el sector e incrementando los ratios de productividad (Balsa, 2012). Con ello la evolución del empleo estuvo marcada por un proceso de desmantelamiento del sector primario y la ocupación de la población activa en otros sectores (Meixide y Ares, 2000). La actividad forestal resultó beneficiada indirectamente por lo anterior y por las políticas en materia forestal. Galicia es la primera potencia forestal de España y la novena de Europa con un volumen de crecimiento anual de madera superior a los 12.3 millones de m³ (AITIM, 2009). El valor de la producción del sector forestal gallego con respecto del conjunto de España es de un 23%, peso relativo muy superior al que representa el sector agrario (7%).

3.4.2. Incremento de la interfaz urbano-forestal.

Según Galiana (2012), se entiende por interfaz urbano-forestal la zona en la que el uso forestal entra en contacto con las zonas edificadas. La magnitud de la interfaz urbano-forestal en Galicia depende de tres elementos fundamentales que caracterizan el proceso de urbanización: la dispersión de los 30 000 núcleos de población, la expansión de los suburbios de las principales áreas urbanas, y un modelo urbanístico que no favorece la concentración de los núcleos de población.

Dispersión. El modelo de poblamiento de Galicia se caracteriza por la existencia de unos 30 000 núcleos de población, la gran mayoría de un número reducido de habitantes y con gran dispersión geográfica.

Suburbanización. El crecimiento urbano también se produjo por medio de nuevas residencias ubicadas en los suburbios por la pretensión de escapar de la ciudad y vivir en contacto con la naturaleza, aumentando la interfaz urbano-forestal. En estas áreas periféricas existen masas

de arbolado que aumentan la vulnerabilidad de las casas-habitación frente a los incendios forestales.

Modelo urbanístico que no promueve la concentración de núcleos de población. Existen pocas restricciones para la construcción de viviendas en un sistema de propiedad muy fragmentada. Con ello, se propicia que cada propietario de terreno pueda construir en cualquier sitio, ocasionando que las casas se alejen de los núcleos de población y se dispersen cerca o dentro de áreas boscosas.

3.4.3. Aumento de la masa forestal.

El aumento de biomasa forestal se produce tanto en Galicia como en España en función de un incremento notable en la superficie del monte arbolado, y a costa de una disminución de la superficie del monte bajo y del uso agrícola (Corbelle y Crecente, 2008). Fra (2006) menciona que es el resultado de la intervención combinada de factores como el abandono de la agricultura, el éxodo rural, las políticas de forestación y reforestación impulsadas por políticas europeas, y la falta de aplicación de prácticas de gestión adecuadas por parte de los propietarios.

Según el tipo de especie dominante, en Galicia hay un reparto equilibrado entre coníferas (506.026 ha), frondosas (524.417 ha) y bosque mixto (337.008 ha). En Galicia se está produciendo un incremento de la superficie ocupada por frondosas (+442.8%) y un decremento del bosque mixto (-40.2 %) en un contexto general de aumento de la superficie arbolada (+34.4% entre el Inventario Forestal Nacional 2 y el Inventario Forestal Nacional 3) (Balsa, 2012). Este aumento de la masa forestal presenta tres tendencias: la expansión de especies pirófilas (principalmente), la expansión del matorral y el mantenimiento de especies autóctonas.

Expansión de especies pirófilas. El aumento de la superficie arbolada con esas especies se debe a que se trata de especies de crecimiento rápido para el aprovechamiento maderero, con bajo mantenimiento y, por ello, con alta rentabilidad como el eucalipto (*Eucalyptus globulus*), que ha tenido una gran expansión, especialmente en torno a la costa gallega; *Eucalyptus nitens* que está siendo introducido en la zona interior, con clima más frío, pues rompe con el factor limitante de los 4°C de temperatura mínima y *Pinus pinaster*, principalmente en el interior y noroeste.

Expansión del matorral. Como resultado del abandono de tierras comienza el ciclo de sucesión y regeneración natural con especies pioneras generalmente herbáceas y de matorral como el tojo (principalmente *Ulex europaeus*) y la retama (*Cytisus scoparius* y *Cytisus multiflorus*). El matorral alcanza un desarrollo considerable y genera gran cantidad de material combustible por lo que puede ser un factor de propagación de un incendio.

Mantenimiento de especies autóctonas. Debido principalmente a las políticas proteccionistas con respecto a especies como el carballo y el castaño (Balsa, 2012).

3.4.4. Inadecuada gestión forestal.

La inadecuada o mala gestión forestal es uno de los principales problemas que incrementan el riesgo de incendios en Galicia. Balsa (2012) menciona que el Tercer Inventario Forestal Nacional (IFN3), elaborado entre 1997 y 2006, indica que sólo la quinta parte del monte gallego está bien gestionada. Esta mala gestión se relaciona con el abandono de tierras y la reducida mano de obra agraria, la falta de experiencia en la gestión forestal por la ausencia de tradición de esta forma de explotación (en Galicia dominaron las actividades agrícolas y pecuarias sobre las forestales), el rápido incremento de las masas arbóreas, el minifundio y microparcelación característicos del sistema de propiedades en Galicia, la desprofesionalización de los propietarios forestales y alejamiento entre residencia y localización de las parcelas, y la falta de innovación en la gestión derivado del envejecimiento demográfico.

Fragmentación de la propiedad. En Galicia, una de cada cuatro personas es propietaria. Hay aproximadamente 700 000 propietarios de terreno forestal y sólo el 20% está dedicado completamente a una actividad agropecuaria (Ambrosio et al., 2001). Una de las consecuencias del gran número de propietarios es la fragmentación de las parcelas forestales (en promedio de 2 a 3 ha por propietario hasta en 10 parcelas diferentes), característica que dificulta los trabajos de gestión y por ende, la realización de actividades que reducen el riesgo de incendios. No obstante, aún si se realizasen, su eficiencia se vería notablemente mermada si no son coordinadas con las parcelas vecinas. La fragmentación de la propiedad obedece a factores culturales e históricos diversos, entre ellos, la práctica de transmitir la herencia a todos los hijos y con secciones de parcelas con diferentes coberturas (pastizales, viñedos, bosque, parcelas agrícolas).

3.5. Relaciones entre los procesos sociales y niveles de influencia de actores y procesos.

En la figura 2 se presentan las relaciones encontradas entre los procesos sociales identificados. Los cinco procesos más importantes que intervienen en el riesgo de incendio son el incremento de la interfaz urbano-forestal, el aumento de la masa forestal, la inadecuada gestión forestal, la fragmentación de la propiedad y, por último, el abandono de tierras y la desagrarización. Cada uno de estos procesos se alimenta, a su vez, de distintos elementos que pueden influir en más de un proceso. El abandono de tierras y la desagrarización están relacionados con el envejecimiento de la población, que es el resultado del éxodo rural y de la emigración de la población joven hacia entornos urbanos, así como de la creación de un mercado único por la UE y el favorecimiento de explotaciones agrarias competitivas que redujo de manera muy significativa el número de explotaciones agrarias y ganaderas de Galicia.

El abandono de tierras (como proceso inclusivo del envejecimiento de la población, la emigración y el éxodo rural) es causa de una inadecuada gestión forestal, y de una negligencia, en la que influye la fragmentación de la propiedad, derivada de prácticas culturales e históricas como la herencia. Estos factores históricos y culturales propios de Galicia generaron una dispersión en la ubicación de los núcleos de población que, sumada al reciente proceso de suburbanización y los modelos de urbanización poco restrictivos, deriva en un incremento de la interfaz urbano-forestal.

El aumento de la masa arbórea producto del establecimiento de plantaciones de especies de interés maderero (eucalipto y pino), la expansión del matorral en un proceso de sucesión ecológica y de especies autóctonas está ligado también al aumento de la interfaz urbano-forestal.

El incremento en la interfaz urbano-forestal incrementa el contacto entre las poblaciones y las áreas forestales, situación que puede aumentar el riesgo de incendios por descuidos humanos y además, en caso de que alguna edificación esté en el frente de un incendio pone en peligro la integridad de las personas y sus bienes. El aumento de la masa forestal, específicamente de especies pirófilas y matorrales, genera una mayor carga de combustible.

La inadecuada gestión forestal aumenta potencialmente la susceptibilidad de los incendios forestales, al no llevarse a cabo actividades de prevención como aclareo, desbroce o establecimiento de brechas cortafuegos. Cabe mencionar que gran parte de la vegetación de Galicia tiene un rápido crecimiento derivado de las precipitaciones en otoño-invierno y las

Evaluación de la susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí, México, una contribución a la gestión del riesgo.

elevadas temperaturas estivales lo que resulta en la generación de gran cantidad de material combustible por lo cual las actividades preventivas deben realizarse de manera constante.

La fragmentación del terreno limita de manera trascendental la gestión forestal, por el pequeño tamaño de las parcelas y la falta de disponibilidad para asumir los costes derivados, cuestión que puede aminorarse con la integración de los pequeños propietarios en asociaciones de productores. El abandono de tierras y la desagrarización son factores determinantes en el riesgo de incendios, pues la escasa población rural existente y envejecida, acostumbrada a la utilización del fuego en actividades agrícolas, corre mayor riesgo de que durante alguna de estas prácticas el fuego se salga de control y genere un incendio forestal, alimentado por la gran cantidad de combustible disponible producto de una falta de gestión forestal. Además, los propietarios absentistas y poco interesados en las labores del campo, difícilmente, harán algún tipo de actividad para disminuir el riesgo de incendios forestales en sus terrenos.

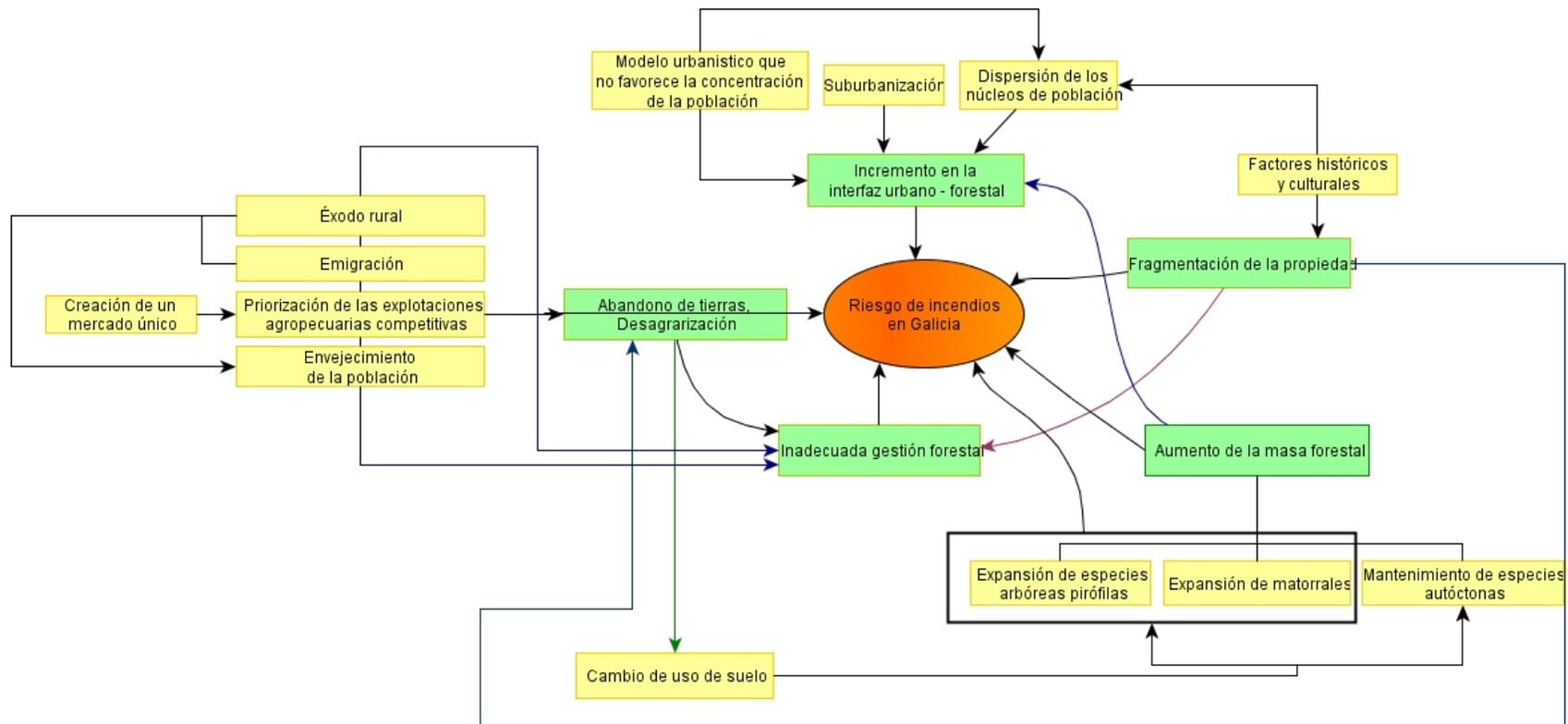


Figura 2. Relaciones entre los procesos sociales, económicos y ambientales que intervienen en el riesgo de incendios.

4. Conclusiones

El número y diversidad de actores y procesos, y sus múltiples interacciones, que intervienen en el riesgo de incendio incrementan la complejidad del fenómeno de los incendios en Galicia. Si bien la Unión Europea influye radicalmente en las políticas económicas y ambientales de España (al igual que de los otros países miembros) y con ello, en los procesos económicos, las decisiones sobre la gestión son tomadas en último lugar por el propietario y están influidas por su conocimiento, valores, percepción, recursos e intereses, así como por las características estructurales del territorio y los procesos de cambio. El abandono de tierras, el crecimiento de la interfaz urbano-forestal, la fragmentación de la propiedad, la expansión de la masa forestal y la falta de una gestión forestal adecuada nos conduce a un aumento en el riesgo de los incendios forestales.

El hecho de que la sociedad sea consumidora del espectáculo que provocan los incendios cada temporada, aumenta la cobertura que los medios de comunicación hacen de lo mismo y potencializa el uso político del fenómeno.

En la medida en que haya un entendimiento acerca de las relaciones entre los procesos, las causas de los mismos y el sentido de su influencia en el riesgo de incendio, así como un conocimiento y conciencia de los responsables públicos, de los ciudadanos, sector privado y medios de comunicación sobre la complejidad, las múltiples interacciones y actores protagonistas, se podrán diseñar y ejecutar políticas que actúen sobre el riesgo, teniendo en cuenta a todos los actores en el proceso de toma de decisiones y de aplicación de las políticas, y disminuir los recursos empleados en las acciones paliativas de extinción, favoreciendo las políticas proactivas, menos costosas y que actúan estructuralmente.

El papel de los actores clave es diferenciado de acuerdo a su situación e influencia, sin embargo, en términos generales se trata de poner en la escena el valor del monte más allá de su capacidad productiva y redimir la participación de los sectores de la sociedad involucrados como agentes de cambio para la disminución del riesgo de incendios forestales en Galicia, es decir, cambiar el enfoque de actuación en la defensa de incendios de la atención al desastre a la gobernanza del riesgo.

5. Bibliografía

Balsa, J. (2012). El modelo de gestión de la superficie forestal en Galicia y su repercusión en la crisis incendiaria del año 2006. *Revista Galega de Economía*, vol. 21, núm. 2 .

Barreal, J., Loureiro, M., & Picos, J. (2011). Estudio da incidencia dos incendios en Galicia: unha perspectiva socioeconómica. *Revista Galega de Economía*, vol. 20, núm. extraord. , 227-246.

Corbelle, E., & Crecente, R. (2008). El abandono de tierras: concepto teórico y consecuencias. *Revista Galega de Economía*, vol. 17, núm.2 .

Fernández-Couto, T. (2006). Los incendios forestales en Galicia. España: Universidad de Valencia.

Flores Garnica, J. (2009). Aspectos generales de los incendios forestales. En J. Flores Garnica, *Impacto ambiental de incendios forestales* (págs. 3-12). México: Colegio de Potsgraduados-INIFAP-Muniprensa.

Fra Paleo, U. (2010). Incertidumbre en la tierra apacible. Los riesgos naturales en Galicia. En Fra Paleo, U., *Riesgos naturales en Galicia. El encuentro entre naturaleza y sociedad*. (págs. 1-12). España: Servizo de Publicacións e Intercambio Científico e Intercambio Cientifico, ed. III. Consorcio de Compensación de Seguros (Madrid).

Galiana, L. (2012). Las interfaces urbano-forestales.: un nuevo territorio de riesgo en España. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* No. 58 , 205-226.

González, I., & Fra, U. (2012). Escenarios de riesgo de incendios actuales y potenciales en el municipio de Lugo. En R. Crecente, & U. Fra, *Territorios a exámen. Trabajos de ordenación territorial*. (págs. 177-201). Universidad de Santiago de Compostela.

Meixide, A., & Ares, J. J. (2000). Galicia en la Unión Europea. España: Comisión de las Comunidades Europeas.

Moreno, J. M. (2005). Impactos sobre los riesgos naturales de origen climático. Riesgo de incendios forestales. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente.

Serrano, G. (1990). El regimen de propiedad y los incendios forestales en Galicia. España: Universidad de Santiago de Compostela.

Viger, J. A., Navalón Nonell, X., Pastor Ferrer, E., & Planas Cuchi, E. (2003). Manual de ingeniería básica para la prevención y extinción de incendios forestales. México: Ediciones Mundi-prensa.

Paginas consultadas

<http://www.natutechnia.com/> (Última visita el 06/Febrero/2013)

<http://www.inaer.com> (Última visita el 06/Febrero/2013)

Evaluación de la susceptibilidad a incendios forestales en San Luis Potosí, México, una contribución a la gestión del riesgo.

<http://www.meteologica.com/> (Última visita el 06/Febrero/2013)

<http://www.epseaga.com/> (Última visita el 06/Febrero/2013)

<http://www.tragsa.es> (Última visita el 06/Febrero/2013)