



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

“ZONIFICACIÓN DE ÁREAS PROPENSAS A INCENDIOS DE COBERTURA VEGETAL EN EL CANTÓN PIMAMPIRO, PROVINCIA DE IMBABURA”

AUTORAS:

MARÍA ANGÉLICA DÍAZ MAIGUA
GABRIELA MARIBEL ENCARNACIÓN DÍAZ

DIRECTOR:

Ing. Darío Paul Arias Muñoz MSc

ASESORES:

Ing. Elizabeth Velarde MSc

Ing. Oscar Rosales MSc

PhD. James Rodríguez

IBARRA-ECUADOR

2018

Lugar de investigación: Cantón Pimampiro

DATOS INFORMATIVOS



APELLIDOS: Díaz Maigua

NOMBRES: María Angélica

C. CIUDADANÍA: 1003393921

TELÉFONO CELULAR: 0995495599

CORREO ELECTRÓNICO: tavisha.aglaia@gmail.com

DIRECCIÓN: Antonio Ante/Imbabura

FECHA DE DEFENSA DE TRABAJO DE GRADO: 06 de noviembre de 2018

DATOS INFORMATIVOS



APELLIDOS: Encarnación Díaz

NOMBRES: Gabriela Maribel

C. CIUDADANÍA: 1004025464

TELÉFONO CELULAR: 0990345172

CORREO ELECTRÓNICO: gabriela.encarnacion@live.com

DIRECCIÓN: La Esperanza/ Pedro Moncayo/ Pichincha

FECHA DE DEFENSA DE TRABAJO DE GRADO: 06 de noviembre de 2018

ZONIFICACIÓN DE ÁREAS PROPENSAS A INCENDIOS DE COBERTURA VEGETAL EN EL CANTÓN PIMAMPIRO, PROVINCIA DE IMBABURA

María Díaz^{*1}, Gabriela Encarnación^{*1}, Paul Arias¹

¹Universidad Técnica del Norte

Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales Av. 17 de Julio 5-21 y José Córdova
Ibarra-Ecuador

*Autor correspondiente: tavisha.aglaia@gmail.com, gabriela.encarnacion@live.com

Resumen

El fuego es un elemento importante para mantener la biodiversidad en la Tierra, el cual el ser humano ha utilizado durante años, principalmente como una técnica para el desarrollo de la agricultura. Cuando el fuego es mal manejado y se torna incontrolable, se producen los incendios, los que ocasionan pérdidas ambientales, sociales y económicas. En la presente investigación se determinó las áreas propensas a incendios de cobertura vegetal en el cantón Pimampiro. En esta área se han reportado pérdidas de superficies de cobertura vegetal entre 5 a 180 hectáreas anuales. Para evaluar la susceptibilidad se ponderaron nueve factores biofísicos clasificados en: climáticos (temperatura, precipitación, déficit hídrico, evapotranspiración) y físicos (cobertura vegetal, cercanía a vías, pendiente, orientación del terreno y altitud) que intervienen en la generación de incendios, con los que se estableció una ecuación de susceptibilidad, la cual se procesó a través de sistemas de información geográfica. Los resultados mostraron que el cantón presenta susceptibilidad baja (3,90%); moderada (5,57%); alta (22,95%); muy alta (40,42%) y extrema (27,16%) a incendios. El área de estudio al estar dominada por zonas entre alta a extrema susceptibilidad (90,53%) permitió plantear estrategias de gestión de riesgos para disminuir este tipo de eventos en el territorio.

Palabras clave: Incendios, Áreas susceptibles, Factores biofísicos, Ecuación de susceptibilidad.

Abstract

Fire is an important natural element to sustain biodiversity on Earth, which human have used for years mainly as a technique for the development of agriculture. When the fire is wrongly used, it becomes uncontrollable, producing fires, causing environmental, social and economic damages and losses. In this research are determined areas prone to fires in the vegetation cover in the Pimampiro canton. Recurrently fires have affected this area in recent years. It has been reported yearly losses of 5 to 180 hectares of vegetable cover. To evaluate fire susceptibility, were taken into account nine biophysical factors classified into two classes: climatic (temperature, precipitation, water deficit, evapotranspiration) and physical (land-use occupation, road proximity, slope, orientation and altitude) the same that take part in generation of fires, and with which a susceptibility equation was established, that was processed through geographic information systems. The results showed that Pimampiro canton presents the following types of fire susceptibility: low (3.90%); moderate (5.57%); high (22.95%); very high (40.42%) and extreme (27.16%) susceptibility to fires. The study area, which is dominated by areas between high and extreme susceptibility (90.53%), this information allowed to propose risk management strategies in order to reduce such events in this territory.

Key words: Fire, Susceptible areas, Biophysical factors, Susceptibility equation.

Introducción

El fuego es un elemento importante para el manejo de muchos bosques y otros tipos de vegetación por ser viable económicamente y estar inserto en la cultura agrícola de diversas civilizaciones (Organización Mundial para la Alimentación y la Agricultura [FAO] 2006; Ribeiro, Koproski, Stolle, Lingnau, Viana, y Batista, 2007). Cuando el fuego es mal manejado provoca desastres ecológicos y daños materiales inmensurables (Ribeiro et al., 2007), afecta principalmente a recursos como son: suelo, fuentes de agua, aire, biodiversidad, incluso los servicios ambientales (Julio y Bosnich, 2005). La propagación sin control de este elemento es lo que se conoce como un incendio (FOPAE, 2002), el cual puede tener causas naturales (temperatura, viento, humedad) o antrópicas (cambio de uso del suelo) el que consume material vegetal ubicado en áreas rurales de aptitud forestal o en aquellas que sin serlo cumplan una función ambiental (Jiménez, Urrego y Toro, 2016).

En los últimos años, los incendios forestales son un tema que ha preocupado a diversas instituciones en diferentes regiones del mundo, por el incremento en el número de sucesos, debido al cambio de

temperaturas y negligencia en las actividades humanas (Díaz-Hormazábal y González 2016). Los reportes de la superficie mundial afectada por el fuego, fue de 350 millones de hectáreas en el año 2000, de los cuales 2.9 millones fueron en América Latina, siendo los incendios de origen antrópico (85%) los de mayor importancia (FAO, 2006).

La preocupación por las secuelas provocadas por los incendios ha desarrollado estudios e investigaciones para planificar y proteger áreas de importancia ecosistémica, proponiendo diversas medidas ante sus efectos negativos (Ribeiro et al., 2007). Como primer paso para el análisis de los incendios es entender las causas, para así lograr un manejo eficiente de las consecuencias sobre los sistemas naturales o sociales (Aguilera-Sánchez, 2015). En este sentido en América del Sur los estudios realizados son enfocados para desarrollar modelos de riesgo de incendios a través del uso de sistemas de información geográfica (SIG) tomando datos climáticos, topográficos, físicos y antropológicos con el fin de determinar zonas de riesgo a incendios para tomar medidas que disminuyan y conserven los ecosistemas (Coelho et al. 2016; Prado,

2014; Reyes, 2013; Estacio y Narváez, 2012; Columba y Quisilema, 2013).

Determinar las áreas susceptibles a incendios de la cobertura vegetal es el objetivo principal de esta investigación con las cuales se podrán tomar medidas de prevención, reducción y gestión de riesgos ante este tipo de eventos. La zonificación de áreas propensas a incendios busca clasificar el territorio en zonas homogéneas, las que permiten conocer los niveles de susceptibilidad a incendiarse en el cantón Pimampiro para tomar medidas que disminuyan el número de incendios y la superficie de áreas afectadas.

Desarrollo

2.1. Descripción del área de estudio. Este estudio se desarrolló en el cantón Pimampiro, el cual se encuentra ubicado al norte de Ecuador, al este de la provincia de Imbabura (Figura 1). De acuerdo con el censo 2010 tiene 12,970 habitantes. Por su ubicación en la región Andina su temperatura media es 12,94 °C y precipitaciones promedio hasta de 730 mm/anales.



Figura 1. Mapa de ubicación del Cantón Pimampiro

Este cantón se ha visto afectado por incendios de forma recurrente en los últimos años. Se han reportado pérdidas de superficies de cobertura vegetal de entre 5 a 80 hectáreas por año (Corporación OSSO, 2016). De los incendios que se reportaron en el área de estudio el 95% fueron por causas antrópicas, la falta de técnica adecuada en el uso del fuego para el desarrollo de actividades agrícolas, debido a que el 30% de la superficie del cantón está cubierta por cultivos (Figura 2).

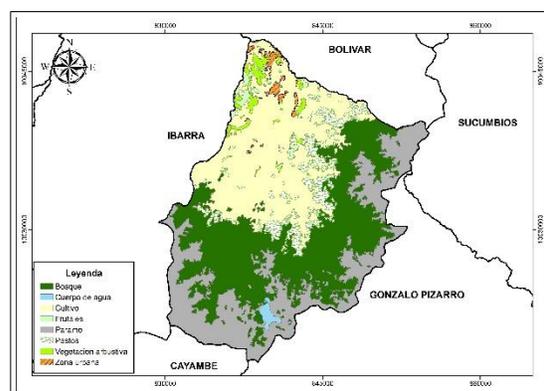


Figura 2. Mapa de cobertura vegetal del cantón Pimampiro

2.2. Metodología. el desarrollo de la investigación se llevó a cabo en dos fases:

2.2.1. Fase I. Identificación de factores bio-físicos causantes de incendios de cobertura vegetal

Se realizó mediante la recolección de información usando el método de la entrevista, con el uso del cuestionario de 6 preguntas, como instrumento cuya elaboración y confiabilidad se basó en los principios básicos expuestos por Moriyama citado por Morga (2012); los ítems conjugan entre preguntas no estructuradas o abiertas (Murillo, 2011) y estructuradas como es la escala de Likert (Alaminos-Chica y Castejón-Costa, 2006 y Murillo, 2011).

Este cuestionario fue aplicado a expertos clasificados en dos grupos: profesionales técnicos (7 entrevistados) y profesionales investigadores (4 entrevistados), inmersos en el tema de incendios de cobertura vegetal; el método empleado para la selección de los expertos fue Snow ball, es una técnica de muestreo que utiliza cadenas de referencia como una especie de red (Baldin y Munhoz, 2011).

Para conseguir el consenso al consultar a los expertos se empleó la metodología Delphi (García-Valdés y Suárez-Marín,

2013). Una vez seleccionados los factores biofísicos se adaptaron de acuerdo a las características del área de estudio, clasificando la susceptibilidad en 5 rangos para cada uno de los factores identificados.

2.2.1.1. Factores climáticos

a) Precipitación

La precipitación se determinó con información de 11 estaciones meteorológicas, que se encuentran cerca del área de estudio, con datos de 30 años (1986-2017).

La interpolación de la precipitación se realizó mediante el método determinístico Inverse Distance Weight (IDW), el cual permite validar la eficacia del modelo, porque permite comparar los valores observados con los calculados (Andrade y Moreano, 2013), realizó a través del software ArcGIS 10.5.

b) Temperatura

Se trabajó con datos de temperatura media mensual para los años 1986-2015, con los datos obtenidos de las 6 estaciones meteorológicas del INAMHI.

Para la interpolación de la temperatura se lo realizó a través de:

$$T_{Det} = T_{mensual} + (\Gamma (Z_{Det} - Z_{estación}))$$

Donde T_{det} es el dato de temperatura a determinar, $T_{mensual}$ es el valor de la temperatura mensual de la estación, r es el valor de n_x de la ecuación de la recta, Z_{det} altitud referencial, $Z_{estación}$ altitud de la estación.

A partir del valor (n_x) obtenido del gráfico de dispersión y el valor de homologación o altitud referencial de 1000m, se determinó el valor de la temperatura determinada, la que permite calcular la temperatura real del área de estudio, a partir de la siguiente ecuación:

$$T_{x,y} = T_{Det} + \left(\Gamma \left(Z^{DEM(x,y)} - Z_{Det} \right) \right)$$

Donde T_{det} corresponde a la temperatura determinada, r valor de n_x de la ecuación, $Z^{DEM(x,y)}$ es el DEM del área de estudio, Z_{det} valor de altitud referencial.

c) Evapotranspiración potencial

El cálculo de la ETP se realizó por medio del método Thornthwaite, que toma como base la temperatura media (tm) y el índice de calor anual (l) del área de estudio.

$$e = 16(10 * tm/l)^a$$

d) Déficit hídrico

El método utilizado para realizar el Balance Hídrico Climático (BHC) es el

establecido por Thornthwaite y Mather (1955).

$$DEF = Prec - ETP$$

2.2.1.2. Factores físicos

a) Pendientes

Con el uso del DEM SRTM con resolución de 30 m² de píxel y herramientas de ArcGIS 10.5 se generó el mapa de pendientes, mediante la reclasificación, en el cual se determinaron los rangos pertinentes y el nivel de susceptibilidad a cada uno de estos.

b) Orientación del terreno

Se obtuvo con el Modelo Digital de Elevación (DEM) con resolución de 30 m² de píxel para el área de estudio mediante el software ArcGis 10.5.

c) Cercanía a las vías

Para realizar el mapa de vías se tomó en cuenta la información proporcionada por el SNI (Sistema Nacional de Información) la capa de vías a escala 250000 y con el histórico de incendios del área de estudio (2014-2017).

d) Altitud

El mapa de altitud del terreno se realizó mediante el uso del DEM SRTM para el cual se establecieron 5 rangos de

susceptibilidad, los cuales se crearon a través del software ArcGIS 10.5.

e) Uso y cobertura del suelo

Para determinar el nivel de susceptibilidad del suelo se siguieron los siguientes pasos metodológicos:

1) Georreferenciación de cobertura en campo

En campo se georreferenciaron 420 puntos de acuerdo con los 8 tipos de coberturas del cantón previamente establecidas (Tabla 1).

Tabla 1. Tipos de coberturas del cantón

Coberturas
Bosque
Páramo
Vegetación Arbustiva
Cuerpo de agua
Frutales
Cultivos
Zona Urbana
Pastizales

2) Clasificación de la imagen

Se realizó la clasificación supervisada de la imagen con los puntos de la cobertura vegetal previamente georreferenciados, para comprobar la validez de la clasificación se realizó la matriz de confusión, tomando en cuenta el coeficiente Kappa.

3) Establecer los rangos de susceptibilidad

Para la clasificación de los rangos de susceptibilidad de las diferentes coberturas vegetales se realizó la tabulación de los datos obtenidos en las entrevistas a los expertos; la cual se realizó a través del uso de medidas de tendencia central, la aplicación de la moda permitió establecer el nivel de susceptibilidad de cada una de las 8 coberturas vegetales del cantón, clasificando 5 categorías.

2.2.2. Fase II. Zonificación de la susceptibilidad a incendios de la cobertura vegetal

El desarrollo de esta fase de la investigación se llevó a cabo cumpliendo los siguientes pasos:

- Tabulación de datos

La moda fue la medida que se aplicó en el estudio, la cual indica el número que se repite con mayor frecuencia (Gutiérrez, 2013), la cual permitió determinar la influencia de cada uno de los factores biofísicos previamente determinados, en la generación y propagación de incendios.

- Formulación de la ecuación de susceptibilidad

Para plantear los coeficientes de la ecuación se aplicó la metodología de decisión multicriterio desarrollado por

Saaty (1992), el que se denomina AHP (Analytic Hierarchy Process), cuyos valores de importancia se obtuvieron usando una escala de comparación pareada (Tabla 2).

Tabla 2. Escala de 9 puntos para comparaciones apareadas

Importancia	Definición	Explicación
1	Igual importancia	Dos elementos contribuyen idénticamente al objetivo
3	Dominancia débil	La experiencia manifiesta que existe una débil dominancia de un elemento sobre otro
5	Fuerte dominancia	La experiencia manifiesta una fuerte dominancia de un elemento sobre otro
7	Demostrada dominancia	La dominancia de un elemento sobre otro es completamente demostrada.
9	Absoluta dominancia	Las evidencias demuestran que un elemento es absolutamente dominado por otro.
2, 4, 6, 8	Valores intermedios	Son valores intermedios de decisión.

Fuente: García, Noriega, Díaz y De la Riva (2006)

Se tomó en cuenta la metodología empleada por Coelho et al. (2016).

- Aplicación de herramientas geoespaciales

La aplicación de la ecuación de susceptibilidad en el software ArcGIS 10.5 permitió obtener el mapa de susceptibilidad para el cantón Pimampiro

- Calibración y validación del modelo

Se realizó con los focos de calor, descargados desde el portal del INPE (Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales) de Brasil, empleando un total de 140 puntos para el área de estudio reportados desde el año 2000 hasta el 2017.

Para comprobar estadísticamente el modelo, se aplicó la tabla de contingencia y prueba del Chi cuadrado (X^2) para conocer la relación entre dos variables: focos de calor y el modelo obtenido. Para lo que se plantearon las siguientes hipótesis:

H_0 = No existe asociación entre los datos del modelo obtenido y los focos de calor.

H_a = Existe asociación entre el modelo obtenido y los focos de calor.

Resultados

Identificación de factores bio-físicos causantes de incendios de cobertura vegetal

De acuerdo con la experiencia de los expertos, se determinó que los factores biofísicos que influyen en la ocurrencia de incendios (Tabla 3), ubicándolos de mayor (1) a menor (9) influencia.

Tabla 3. Ponderación de los factores biofísicos ante la susceptibilidad a incendios

Factores bio-físicos	Ponderación
Cobertura vegetal	1
Temperatura	2
Pendientes	3
Orientación del Terreno	4
Evapotranspiración	5
Déficit hídrico	6
Altitud	7
Precipitación	8
Cercanía a las vías	9

3.1.1. Factores climáticos

a) Precipitación media

La precipitación multianual dentro del cantón oscila entre los 544 hasta 897 mm/anales (Figura 3). Se estableció los rangos de susceptibilidad en 5 niveles (bajo, moderado, alto, muy alto y extremo) (Tabla 4).

Tabla 4. Rangos de precipitación de susceptibilidad a incendios del cantón Pimampiro

Precipitación (mm)	Susceptibilidad	Valor
> 827,17	Bajo	1
827,16 - 756,58	Moderado	2
756,59 - 686	Alto	3
868,01 - 615,43	Muy Alto	4
< 615,43	Extremo	5

- Temperatura media

La temperatura es un factor biofísico que influyó en la generación de incendios dentro el cantón, la temperatura media anual es de 12,97 °C (Figura 4). Los niveles de susceptibilidad se clasificaron en 5 niveles (Tabla 5).

Tabla 5. Rangos de temperatura de susceptibilidad a incendios

Rangos	Susceptibilidad	Valor
<11,87	Baja	1
11,88 - 12,54	Moderada	2
12,55 - 12,93	Alta	3
12,94 - 13,46	Muy Alta	4
>14,01	Extrema	5

- Evapotranspiración potencial

La evapotranspiración potencial (ETP) es un factor biofísico que influye en la generación de incendios, este factor dentro del área de estudio muestra pérdidas de humedad que van desde los 572 a 875 mm/anales (Figura 5). La susceptibilidad del cantón Pimampiro muestra los 5 niveles de riesgo a incendios que se presentan en el área de estudio (Tabla 6).

Tabla 6. Rangos de ETP de susceptibilidad a incendios del cantón Pimampiro

ETP (mm)	Susceptibilidad	Valor
<632,78	Baja	1
632,79 - 693,48	Moderada	2
693,49 - 754,18	Alta	3
754,19 - 814,88	Muy Alta	4
> 814,89	Extrema	5

- Déficit hídrico

El déficit hídrico dentro del cantón Pimampiro oscila entre -289 a 315 mm (Figura 6) la pérdida de humedad de la vegetación se concentra en la parte baja del cantón, lo cual aumenta la probabilidad de incendiarse en esta área. Los rangos de susceptibilidad a incendios de la cobertura vegetal se clasificaron en 5 niveles (Tabla 7).

Tabla 7. Rangos de Déficit hídrico de susceptibilidad a incendios del cantón Pimampiro

Déficit hídrico (mm)	Susceptibilidad	Valor
<0	Extrema	1
0,01 - 63,28	Muy Alta	2
63,29 - 126,56	Alta	3
126,57 - 189,84	Moderada	4
>189,84	Baja	5

3.1.2. Factores físicos

- Pendientes

Las pendientes son un factor biofísico que influye en los incendios, debido a la facilidad de la propagación que generan las pendientes. Dentro del cantón Pimampiro existen pendientes desde menores a 5% hasta superiores a 45% (Figura 7). Los rangos de susceptibilidad del cantón son 5 (Tabla 8), el nivel asciende al igual que el porcentaje de pendientes.

Tabla 8. Rangos de pendientes de susceptibilidad a incendios del cantón Pimampiro

Pendientes (%)	Susceptibilidad	Valor
<15	Bajo	1
15,01-25	Moderado	2
25,01-35	Alto	3
35,01 - 45	Muy Alto	4
> 45,01	Extremo	5

- Orientación del terreno

La orientación del terreno es un factor biofísico que en el área de estudio interviene en la generación de incendios (Figura 8). Para clasificar las orientaciones

en 5 niveles de susceptibilidad (Tabla 9) se tomó en cuenta el número de incendios ocurridos y la dirección del viento.

Tabla 9. Rangos de orientación del terreno de susceptibilidad de incendios del cantón Pimampiro

Orientación	Susceptibilidad	Valor
Plano	Bajo	1
N, S	Moderado	2
SO, O	Alto	3
NO, SE	Muy Alto	4
NE, E	Extremo	5

- Altitud

El factor biofísico altitud en el cantón, muestra que la parte baja con altitudes menores a 2140 msnm presenta mayor susceptibilidad a incendios (Figura 9). Los niveles de susceptibilidad (Tabla 10) del cantón va aumentando conforme la altitud disminuye.

Tabla 10. Rangos de altitud de susceptibilidad a incendios de Pimampiro

Altitud (mm)	Susceptibilidad	Valor
>3460,01	Bajo	1
3460,01 – 3020	Moderado	2
3020,01 – 2580	Alto	3
2580,01 – 2140	Muy Alto	4
< 2140,01	Extremo	5

- Proximidad a las vías

El factor biofísico proximidad a las vías en el cantón, muestra que la mayoría del territorio presenta susceptibilidad baja a incendios por la poca red vial existente (Figura 10). Los niveles de susceptibilidad

dentro del cantón (Tabla 11), muestran que mientras más alejado de las vías se encuentren las áreas, existe menos probabilidad de generarse un incendio.

Tabla 11. Rangos de proximidad a vías de susceptibilidad a incendios del cantón Pimampiro

Proximidad (m)	Susceptibilidad	Valor
> 66	Baja	1
66,01 – 46	Moderada	2
46,01 – 21	Alta	3
21,01 – 6	Muy alta	4
< 6,01	Extrema	5

- Cobertura vegetal

Como resultado de la clasificación de la imagen se obtuvo un valor del coeficiente de Kappa de 0,7 manifestando una concordancia considerable de la clasificación de la imagen (Figura 11). Determinar las coberturas permite determinar cuáles presentan mayor susceptibilidad a incendios (Tabla 12).

Tabla 12. Valores de susceptibilidad de la cobertura a incendios

Cobertura vegetal	Susceptibilidad	Valor
Cuerpo de agua	Bajo	1
Zona urbana	Moderada	2
Frutales	Alta	3
Bosque	Muy alta	4
Pastizal	Muy alta	4
Vegetación arbustiva	Muy alta	4
Cultivos	Extrema	5
Páramo	Extrema	5

- Zonificación de la susceptibilidad de incendios de la cobertura vegetal en el cantón Pimampiro.

La ponderación de los factores biofísicos (Tabla 13) que influyen en la generación de incendios dentro del cantón.

Tabla 13. Ponderación de factores biofísicos influyentes en incendios en el cantón Pimampiro

Variable	Valor
Orientación del Terreno	0,0433
Cercanía a las vías	0,0467
Altitud	0,0551
Pendientes	0,0737
Temperatura	0,0791
Cobertura Vegetal	0,1587
Evapotranspiración	0,1602
Déficit hídrico	0,1832
Precipitación	0,2001

Como consiguiente se planteó la ecuación de susceptibilidad a incendios para el área de estudio.

$$Susceptibilidad = 0.1921Cob + 0.1721ETP + 0.1494DEF + 0.1096Prec + 0.0868Temp + 0.0861Alt + 0.0804Orien + 0.0737Pend + 0.0509Vias$$

El modelo de susceptibilidad del cantón Pimampiro (Figura 12) permite evidenciar que el área está dominada por susceptibilidad muy alta con un porcentaje de 40,42% seguido de susceptibilidad extrema con 27,16% identificando un total de 90,53% de susceptibilidad entre alta a extrema dentro del cantón.

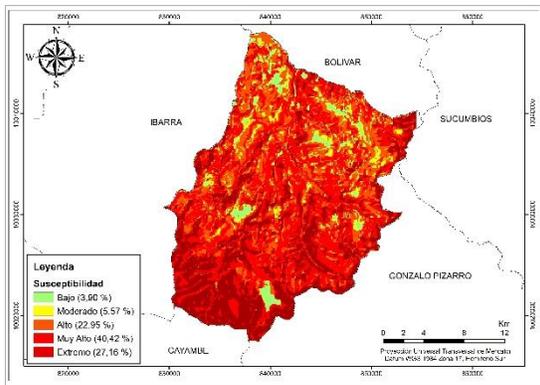


Figura 3. Modelo de susceptibilidad de incendios de cobertura vegetal del cantón Pimampiro

La validación del modelo con los focos de calor (Tabla 14) muestra que el 81,74% de los focos de calor coinciden con la susceptibilidad alta a extrema del cantón.

Tabla 14. Coincidencia de los focos de calor con el modelo de susceptibilidad

Susceptibilidad	Focos de calor	Porcentaje (%)
Baja	0	0,00
Moderada	10	7,14
Alta	16	11,43
Muy Alta	102	72,86
Extrema	12	8,57
Total	140	100,00

La prueba de chi cuadrado se aplicó a los dos modelos (no calibrado y calibrado), mostrando una de significancia de X^2 de Pearson de 0,511 y 0,001 respectivamente, lo que permitió comprobar la asociación de los focos de calor con el modelo aceptando la hipótesis alternativa que existen asociación entre el modelo obtenido y los focos de calor y rechazando la hipótesis nula, por la significancia

estadística resultante de la combinación de las variables.

Discusión

En este estudio los factores biofísicos que intervienen en los incendios son: temperatura, precipitación, evapotranspiración potencial, déficit hídrico, pendientes, altitud, orientación del terreno, cercanía a las vías y cobertura vegetal. La ecuación de susceptibilidad muestra que existe mayor influencia del factor cobertura vegetal, la misma que se ve reflejada en el mapa de zonificación de susceptibilidad a incendios, clasificada en 5 categorías bajo, moderado, alto, muy alto y extremo, evidenciando que alrededor del 90% de la superficie del cantón está en categoría de riesgo alto a extremo.

La cobertura vegetal es el factor que más influye para que un incendio inicie, debido a su capacidad de combustión (Jiménez, Urrego y Toro, 2016), por la influencia en la fenología de la vegetación, la cual es el combustible para la ocurrencia de incendios (Miller y Urban, 2000); (Rentería-Anima, Treviño-Garza, Návarena-Chaidez, Aguirre-Calderón y Catú-Silva, 2005) además debido al constante uso del fuego en prácticas agrícolas y en el cambio de uso del suelo (Estacio y Narváez, 2012). Pabón-Caicedo (2011); Muñoz-Robles y

Santana-Arias (2018) aseguran que la cobertura vegetal y factores climáticos contribuyen de manera más frecuente en la predicción de patrones espaciales en la ocurrencia de incendios (Ibarra-Montoya y Huera-Martínez, 2017), estos factores en Pimampiro son los que mayor influencia en el modelo presentó, por su adaptación al área de estudio, la calibración y verificación a través de los focos de calor al asignarle las ponderaciones permite asegurar que la cobertura vegetal es el factor biofísico que mayor influencia tiene en los incendios, seguido por los factores climáticos.

Yang, He, Shirfley y Gustafson (2007), Tian, Zhao, Shu y Wang (2013), Ajin, Loghin, Vinod y Jacob (2017) tomaron en cuenta factores ambientales (temperatura, precipitación), humanos (cercanía a las vías y centros poblados, cobertura vegetal) y topográficos (pendientes, altitud), determinando que el empleo de más número de factores permite determinar las zonas susceptibles a incendios con mayor exactitud. En consecuencia, la identificación de los factores que influyen en la probabilidad de un área a incendiarse es básica para establecer las áreas con mayor nivel de susceptibilidad a incendios

y de esta manera tomar medidas de mitigación, prevención, respuesta y recuperación a este tipo de emergencias.

Conclusión

- Los incendios de la cobertura vegetal en el cantón Pimampiro se encuentran determinados e influenciados por los factores físicos: cobertura vegetal, altitud, pendientes, orientación del terreno, cercanía a las vías y factores climáticos: precipitación, temperatura, evapotranspiración potencia, déficit hídrico; siendo la cobertura vegetal el factor de ignición, precipitación y temperatura condicionantes del estado fisiológico de la vegetación, la pendiente y orientación del terreno incidentes en la velocidad de propagación del incendio, los factores de mayor ponderación.
- El cantón Pimampiro presenta un 90,5 % de susceptibilidad al fuego entre alto con 22,95% (10075,8 ha), muy alto con 40,42% (17744,3 ha) y extremo con 27,16% (11920,4 ha), las coberturas clasificadas como frutales pertenecen a zonas de alta susceptibilidad, seguido por pastos, bosques y vegetación arbustiva en muy

alta susceptibilidad y las de extrema susceptibilidad son las coberturas de páramo y cultivos.

Referencias

- Ajin, R., Loghin, A., Vinod, P. y Jacob., M. (2017). Mapping of forest fire risk zones in Peechi-Vazahani Wildlife Sanctuary, Thrissur, Kerala, India: A study using geospatial techniques. *Wetlands Biodiversity*, 7 (2017). pp. 7-16.
- Alaminos-Chica, A. y Castejón-Costa, J. (2006). *Elaboración, análisis e interpretación de encuestas, cuestionarios y escalas de opinión*. San Vicent de Raspeig, España: Marfil S.A.
- Andrade, L. y Moreano, R. (2013). Sistemas de Información para la interpolación de datos de Temperatura y Precipitación del Ecuador. *Politécnica*, 23(1). pp. 70-75.
- Baldin, N. y Munhoz, E. (2011). Snowball (Bola de Neve): *Uma Técnica Metodológica para Pesquisa em Educação Ambiental Comunitária*. Curitiba, Brasil: Pontifícia Universidad Católica Do Paraná.
- CEPAL (Comisión Económica Para América Latina y el Caribe). (2011). REDATAM + SP. <https://www.cepal.org/es/temas/redatam>
- Coelho, F., Dos Santos, A., Fiedler, N., Ribeiro, G., Gomes, A., Banhos, A., Gaburro, G. y Schettino, V. (2016). Applying GIS to develop a model for forest fire risk: A case study Espíritu Santo, Brazil. *Journal of Environmental Management*, 173(20). pp. 65-71.
- Columba, M. y Quisilema, W. (2013). Determinación de áreas vulnerables a incendios forestales y cálculo de probabilidad de ocurrencias mediante lógica Fuzzy aplicando herramientas geoinformáticas, en el Distrito Metropolitano de Quito (Tesis de Pregrado). Universidad de las Fuerzas Armadas, Quito-Ecuador.
- Corporación OSSO. (1994-2016). DesInventar, Sistema de Inventario de efectos de desastre. Cali-Valle-Colombia: UNISDR.
- Díaz-Hormazábal, I. y González, M. (2016). Análisis espacio-temporal de incendios forestales en la región del Maule, Chile. *Bosque*, 19(1). pp. 147-158.
- Estacio, J. y Narváez, N. (2012). Incendios forestales en el Distrito Metropolitano de Quito (DQM): Conocimiento e intervención pública de riesgo. *Letras Verdes*, 11(16). pp. 27-52.
- FAO (Organización Mundial para la Alimentación y la Agricultura). (2006). Fire management global assessment 2006. Recuperado el 16 de febrero de 2018, de <http://www.fao.org/docrep/fao/009/A0969E/A0969E00.pdf>
- FOPAE (Fondo de prevención y Atención de Emergencias). (2002).

- Zonificación de Riesgo por Incendio Forestal y Diseño de las Medidas Preventivas y Operativas para los Cerros Orientales de Bogotá D.C.* Bogotá, Colombia: Sistema Distrital para la Prevención y Atención de Emergencias.
- García, J., Noriega, S., Díaz, J. y De la Riva, J. (2006). Aplicación del proceso de jerarquía analítica en la selección de tecnología agrícola. *Agronomía Costarricense*, 30(1). pp. 107-114.
- García-Valdés, M. y Suárez-Marín, M. (2013). El método Delphi para la consulta a expertos en la investigación científica. *Cubana de Salud Pública*, 39(2). pp. 253-267.
- Ibarra-Montoya, J. y Huerta-Martínez, F. (2017). Modelado espacial de incendios: una herramienta predictiva para el Bosque La Primavera, Jalisco México. *Ambiente y Agua*, 11(1). pp. 36-49.
- Jiménez, G., Urrego G. y Toro R. (2016). Evaluación del comportamiento de incendios de la vegetación en el norte de Antioquia (Colombia): Análisis del paisaje. *Colombia Forestal*, 19(2). pp. 37-55.
- Julio, G. y Bosnich, J. (2005). Fundamentos del Manejo de Fuego (Tesis de pregrado). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- MAE (Ministerio de Ambiente del Ecuador). (2014). *Actualización de prioridad del "Programa nacional de reforestación con fines de conservación ambiental*. Quito: Autor.
- Miller, C. y Urban, D. (2000). Connectivity of forest fuels and Surface fire regimes. *Landscape ecology*, 15(2). pp. 145-154.
- Morga, L. (2012). *Teoría y técnica de la entrevista*. Ciudad de México: Editorial Red Tercer Milenio S.C.
- Muñoz- Robles, C. y Santana-Arias, R. (2018). Puntos de calor en la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí: patrones espaciales y factores asociados. *Madera y Bosque*, 24(1). pp. 1-32.
- Murillo, F. (2011). Cuestionarios y escalas de actitudes. Madrid; Universidad Autónoma de Madrid.
- Oliveira, D. (2002). Zoneamento de risco de incêndios em Povoamentos Florestais no Norte de Santa Catarina. (Tesis de Posgrado). Universidad Federal de Paraná, Brasil.
- Pabón-Caicedo, J. (2011). *Incendios de la cobertura vegetal en Colombia y su relación con la variabilidad climática y con el cambio climático*. Cali-Colombia, Universidad Autónoma de Occidente.
- Posso, M. (2011). *Proyectos, tesis y Marco lógico*. Quito, Ecuador: EDICIONES 13.
- Prado, M. (2014). Diseño de un modelo SIG para la determinación de zonas en riesgo por incendios forestales

- en los cerros orientales de la ciudad de Bogotá. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Rentería-Anima, J., Treviño-Garza, E., Návara-Chaidez, J., Aguirre-Calderón, O. y Catú-Silva, I. (2005). Caracterización de combustible leñoso en el Ejido Pueblo Nuevo, Durango. *Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 11(1). pp. 51-56.
- Reyes, C. (2013). Estudio de las causas, ocurrencias y daño por Incendios Forestales en la Región de Los Lagos 2003-2013. (Tesis de Pregrado). Universidad Austral de Chile, Valdivia-Chile.
- Ribeiro, L., Koproski, L., Stolle, L., Lingnau, C., Viana, R. y Batista, A. (2007). Zoneamento de riscos de incêndios florestais para a fazenda experimental do Canguiri, Pinhais (PR). *FLORESTA, Curitiba, PR*, 38(3). pp. 561-572.
- Saaty, T. (1992). *Decision making for leaders*. Pittsburgh, USA: RWS Publication.
- Thorntwaite, C. y Mather, R. (1955). *The water balance: Publications in Vclimatology, laboratory of climatology*. Certenton, Estados Unidos, NJ.
- Tian, X., Zhao, F., Shu, L. y Wang, W. (2013) Distribution characteristics and the influence factors of forest fires in China. *Forest Ecology and Management*, 310(3). pp. 460-467.
- Yang, J., He, H., Shirfley, S. y Gustafson, E. (2007). Spatial Patterns of Modern Period Human-Caused Fire Occurrence in the Missouri Ozark Highlands. *Forest Science*, 53(1). pp. 1-15.