



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

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERAS EN
RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

AUTORAS:

**MARÍA ANGÉLICA DÍAZ MAIGUA
GABRIELA MARIBEL ENCARNACIÓN DÍAZ**

DIRECTOR:

ING. DARÍO PAÚL ARIAS MUÑOZ MSc

NOVIEMBRE, 2018



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”

Trabajo de titulación revisada por el Comité Asesor, previa a la obtención del Título de:
INGENIERAS EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

APROBADA:

Ing. Darío Paul Arias MSc.

DIRECTOR

FIRMA

Ing. Elizabeth Velarde MSc.

ASESORA

FIRMA

Ing. Oscar Rosales MSc.

ASESOR

FIRMA

PhD. James Rodríguez

ASESOR

FIRMA

IBARRA-ECUADOR

NOVIEMBRE, 2018



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003393921	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Díaz Maigua María Angélica	
DIRECCIÓN:	San Roque/Antonio Ante/Imbabura	
EMAIL:	angelydiaz@hotmail.com	
TELÉFONO FIJO:	TELÉFONO	0995495599
	MÓVIL:	

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1004025464	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Encarnación Díaz Gabriela Maribel	
DIRECCIÓN:	La Esperanza/ Pedro Moncayo/ Pichincha	
EMAIL:	gabriela.encarnacion@live.com	
TELÉFONO FIJO:	TELÉFONO	0990345172
	MÓVIL:	

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	ZONIFICACIÓN DE ÁREAS PROPENSAS A INCENDIOS DE COBERTURA VEGETAL EN EL CANTÓN PIMAMPIRO, PROVINCIA DE IMBABURA.
AUTOR (ES):	Díaz Maigua María Angélica Encarnación Díaz Gabriela Maribel
FECHA:	05/Octubre/2018
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera en Recursos Naturales Renovables
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Darío Paúl Arias Muñoz MSc.

2.CONSTANCIAS

Las autoras manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que son los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 05 días del mes de noviembre de 2018

LAS AUTORAS:



 Díaz Maigua María Angélica



 Encarnación Díaz Gabriela Maribel

AGRADECIMIENTO

Queremos agradecer infinitamente a nuestro Padre Celestial por ser nuestro guía, por darnos la vida, salud, fortaleza y sabiduría cada día, lo que hace posible que hoy podamos estar culminando esta fase en nuestras vidas.

A nuestras familias por acompañarnos en los momentos buenos y sobre todo en los malos, por su amor, apoyo, paciencia y confianza en el proceso de formación profesional, por ser nuestro impulso principal y las cómplices de nuestro presente.

A nuestro director Ing. Paul Arias quien fue el mentor y guía de este trabajo de titulación, por su tiempo, paciencia y conocimientos brindados en cada etapa de esta investigación. Por sus consejos para llegar a ser unas profesionales éticas y competitivas. A nuestros asesores PhD. James Rodríguez, Ing. Oscar Rosales y Ing. Elizabeth Velarde por compartir su conocimiento en mejora de la investigación.

A mis amigas, con quienes inicié esta fase y con quienes guardo una amistad más que de simpatía, es de sinceridad lo que nos ha permitido mantener el compañerismo que tenemos, son palabras que les he dicho y que hoy las ven plasmadas, gracias por cursar esta fase conmigo y sin mencionarlas ya saben a quienes me dirijo. Por permitirme cerrar esta etapa universitaria, gracias compañera de tesis y también a quienes nos asesoraron y aportaron para finalizar esta labor.

María Angélica Díaz M.

A mis amigas; Génesis por su amor, regaños y confianza en mí, aun cuando yo dejaba de hacerlo; Anita por los años de amistad los cuales a pesar de la distancia y obstáculos se ha mantenido. Lupita, gracias por tantos años de amistad. A los amigos que la vida universitaria me dejó: Wendy, Andre Ch, Andre R, Jhony, Lore, cada uno de ustedes fueron fundamentales en mi formación y crecimiento como ser humano y como profesional, por su amistad sincera, cariño, confianza y complicidad, de corazón ¡Gracias!, siempre los llevaré conmigo:

Gabriela Encarnación D.

DEDICATORIA

Esto va dedicado principalmente a quien es la base de mi vida, por quien todo se hace posible, mi DIOS; un paso más, esta fase que se termina es nuestro logro.

Mis Padres ejemplo de perseverancia, mis hermanos mi admiración, gratitud, camaradas incondicionales, esta etapa que finalizo es para ustedes y como no mencionar en especial a dos personas a quien dedico con todo mi corazón y admiración más profunda, para quienes lo que expreso en este escrito no indica toda la enseñanza que me han dejado e inspiración que tengo, JAQUELINE y CARLOS MARCIAL esto es para ustedes, a pesar de que en mi familia todos son dignos de admiración, ustedes para mí lo son más, los respeto, los valoro sinceramente; lo que las palabras no pueden expresar en su totalidad ,ahora un poco de lo que siento ,lo dejó plasmado en esta dedicatoria.

María Angélica Díaz M.

DEDICATORIA

A Dios por su amor, gracia y misericordia infinitas, me ha permitido culminar esta meta en mi vida, por ser mi mayor fortaleza e inspiración.

A mis padres, los dos seres que más admiro, respeto y amo, por su sacrificio al apoyarme, porque sé las necesidades que pasaron por darme la educación. A mi papá, por demostrarme con su ejemplo que la constancia, perseverancia y humildad son la base para lograr lo que te propongas; a mi mami por enseñarme que no hay nada más grande y puro que su amor. Todo fue posible gracias a su apoyo y motivación, las palabras y la vida no me alcanzarán para agradecerles la dedicación para formarme como un ser humano de bien. ¡Los amo!

*A mis hermanas, mis compañeras de vida: **Anita**, por su confianza, apoyo incondicional y por su valentía, porque ser diferente es su estilo; **Sarita**, por mostrar su fortaleza y coraje ante las circunstancias que se le presentaron, porque a pesar de los obstáculos continúa luchando por alcanzar sus sueños; **Isabel**, por su alegría y sus ánimos a pesar de la distancia siempre me estuvo apoyando y creyendo en mí, a **Tere** por su cariño y apoyo constante; **Aamir** por ser el regalo más hermoso, porque cuando puedas leer esto, quiero que sepas que tu tía siempre estará cuando la necesites, ¡Te amo mi amorcito chiquito!*

*El cumplimiento de este objetivo se lo dedico a mi familia, porque cada uno de ellos me han apoyado y creído en mi a pesar de las dificultades, porque son mi motor de vida, el que me levantó día a día para luchar y alcanzar esta meta, porque a pesar de la distancia siempre los llevaba conmigo ¡Los amo infinitamente! **¡Esto es por y para cada uno de ustedes!** Además de todas y cada una de las personas que creyeron en mí y de una u otra forma estuvieron presentes apoyándome, siempre tendrán mi gratitud y cariño.*

Gabriela M. Encarnación Díaz

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Contenido	Páginas
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
CAPITULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Problema de investigación y justificación.....	1
1.2. Objetivos	4
1.2.1. Objetivo general	4
1.2.2. Objetivos específicos.....	4
1.3.Preguntas directrices de la investigación	4
CAPÍTULO II	5
MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Incendios	5
2.1.1. Causas.....	5
2.1.2. El fuego y sus consecuencias	6
2.1.3. Factores influyentes en la generación de incendios	7
2.1.4. Zonificación del riesgo a incendios	11
2.1.5 Métodos de zonificación de susceptibilidad a incendios	11
2.1.6. Análisis multicriterio para zonificar incendios forestales	14
2.1.7. Manejo de incendios forestales	15
2.2. Marco Legal	17
2.2.1. Constitución de la República del Ecuador 2008	17
2.2.2. Agenda 2030 y los objetivos de desarrollo sostenible	18
2.2.3. Leyes Orgánicas	18
2.2.4. Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021-Toda una vida	19
CAPÍTULO III.....	20
MARCO METODOLÓGICO	20
3.1. Caracterización biofísica	20
3.2. Caracterización social	23
3.2.1. Situación actual del cantón Pimampiro	24

3.3. Historia de incendios forestales en el cantón Pimampiro	24
3.4. Materiales y equipos.....	25
3.5. Métodos.....	25
3.5.1. Fase I. Identificación de factores bio-físicos causantes de incendios de cobertura vegetal	25
3.5.1.1. Factores climáticos	26
3.5.1.2. Factores físicos.....	33
3.5.2. Fase II. Zonificación de la susceptibilidad a incendios de la cobertura vegetal	36
3.5.3. Fase III. Diseñar estrategias de gestión de riesgo de incendios de cobertura vegetal	38
CAPÍTULO IV	40
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
4.1. Identificación de factores bio-físicos causantes de incendios de cobertura vegetal	40
4.1.1. Factores climáticos	40
4.1.2. Factores físicos.....	47
4.2. Zonificación de la susceptibilidad de incendios de la cobertura vegetal en el cantón Pimampiro	54
4.3. Diseño de estrategias de gestión de riesgo de incendios de cobertura vegetal.....	60
CAPÍTULO V	75
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	75
5.1. Conclusiones	75
5.2. Recomendaciones.....	76
REFERENCIAS.....	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales factores meteorológicos influyentes es el riesgo a incendios	9
Tabla 2. Escala de 9 puntos para comparaciones apareadas	15
Tabla 3. Población de las parroquias del cantón Pimampiro	24
Tabla 4. Materiales y equipos que utilizar en la investigación	25
Tabla 5. Estaciones meteorológicas de precipitación.....	27
Tabla 6. Estaciones meteorológicas de temperatura	29
Tabla 7. Factor de corrección	32
Tabla 8. Cobertura discriminada	35
Tabla 9. Valoración del coeficiente de Kappa	36
Tabla 10. Comparaciones apareadas	37
Tabla 11. Factores que influyen en la ocurrencia de incendios	40
Tabla 12. Ponderación de los factores biofísicos influyentes en la ignición y propagación de incendios.....	54
Tabla 13. Coincidencia de los focos de calor con la susceptibilidad del área de estudio	56
Tabla 14. Ponderación de los factores.....	57
Tabla 15. Porcentaje de coincidencia de los focos de calor con el modelo calibrado	59
Tabla 16. Análisis FODA del área de estudio.....	60
Tabla 17. Cruce de las variables del FODA.....	61
Tabla 18. Educación Ambiental.....	64
Tabla 19. Franjas cortafuegos	66
Tabla 20. Coordenadas de la ubicación de las torres de control.	67
Tabla 21. Implementación de franjas cortafuegos	68
Tabla 22. Establecer monitoreos y alerta de quemas controladas.....	70
Tabla 23. Conformación del personal brigadista para el mejoramiento de la coordinación y respuesta ante incendios	72
Tabla 24. Acotado y reforestación de áreas afectadas por incendios.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Escala de Likert	13
Figura 2. Círculo de gestión de riesgos.....	17
Figura 3. Mapa de ubicación del Cantón Pimampiro.....	20
Figura 4. Climas del cantón Pimampiro.....	21
Figura 5. Uso y cobertura del suelo 2017 cantón Pimampiro.....	22
Figura 6. Formaciones ecológicas del cantón Pimampiro	23
Figura 7. Método Snow ball.....	26
Figura 8. Precipitación anual y rangos de susceptibilidad a incendios del cantón Pimampiro.....	41
Figura 9. Temperatura media y rangos de susceptibilidad a incendios en el cantón Pimampiro.....	42
Figura 10. Diagrama ombrotérmico 1986-2015 del cantón Pimampiro	43
Figura 11. Relación entre precipitación y número de incendios del cantón Pimampiro.....	44
Figura 12. Evapotranspiración potencial, y rangos de susceptibilidad a incendios	45
Figura 13. Déficit hídrico cantón y rangos de susceptibilidad a incendios del cantón Pimampiro	46
Figura 14. Clasificación de la susceptibilidad de las pendientes a incendios del cantón Pimampiro	48
Figura 15. Orientación del terreno y rangos de susceptibilidad a incendios del cantón Pimampiro	49
Figura 16. Altitud y rangos de susceptibilidad de la altitud a incendios del cantón Pimampiro.....	50
Figura 17. Vías y rangos de susceptibilidad a incendios del cantón Pimampiro.....	51
Figura 18. Cobertura de suelo y asignación del nivel de susceptibilidad a incendios	53
Figura 19. Modelo no calibrado de susceptibilidad a incendios de la cobertura vegetal cantón Pimampiro.....	55

Figura 20. Modelo calibrado de susceptibilidad a incendios para el cantón Pimampiro.....	58
Figura 21. Lugares establecidos para la educación ambiental.....	63
Figura 22. Ubicación de franjas cortafuegos.....	65
Figura 23. Ubicación de torres de control y vigilancia.....	67
Figura 24. Mapa de ubicación de los monitoreos y alerta de quemas controladas.....	69
Figura 25. Mapa de conformación de brigadas.....	71
Figura 26. Acotado y reforestación de incendios cantón Pimampiro.....	73

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Ecuación de la recta.....	28
Ecuación 2. Ecuación de la Temperatura Determinada.....	30
Ecuación 3. Ecuación de la Temperatura real.....	30
Ecuación 4. Ecuación de la evapotranspiración-Thornthwaite.....	31
Ecuación 5. Ecuación del índice de calor mensual.....	31
Ecuación 6. Ecuación del parámetro a	32
Ecuación 7. Ecuación de la evapotranspiración potencial corregida.....	32
Ecuación 8. Ecuación del Déficit hídrico.....	33
Ecuación 9. Ecuación de la susceptibilidad para el cantón Pimampiro modelo sin calibrar.....	54
Ecuación 10. Ecuación de susceptibilidad a incendios corregida y validada para el cantón Pimampiro.....	57

RESUMEN

El fuego es un elemento natural 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, se torna incontrolable, se producen los incendios, los que ocasionan daños y pérdidas ambientales, sociales y económicas. En la presente investigación se determinó las áreas propensas a incendios de cobertura vegetal en el cantón Pimampiro. Esta área de estudio se ha visto afectada por incendios de forma recurrente en los últimos años. Debido a que ha reportado pérdidas de superficies de cobertura vegetal de entre 5 a 180 hectáreas por año. 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, y con los que se estableció una ecuación de susceptibilidad, la cual se procesó a través de sistemas de información geográfica. Los resultados mostraron que la cobertura vegetal es el factor con mayor ponderación causante de ignición; el cantón presenta susceptibilidad baja (3,90%); moderada (5,57%); alta (22,95%); muy alta (40,42%) y extrema (27,16%) a incendios, siendo las coberturas de páramo y cultivo las más propensas. El área de estudio al estar dominada por zonas entre alta a extrema susceptibilidad (90,53%) se prevé necesario estrategias enmarcadas en el ciclo de gestión integral de riesgo con un actuar a corto plazo con el monitoreo y alerta de quemas controladas; a mediano plazo con el acotado (cercado) y reforestación de áreas afectadas; a largo plazo con educación ambiental, franjas cortafuegos y torres de control y vigilancia.

Palabras clave: incendios, factores biofísicos, zonificación, 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 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: 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 land-use occupation is the ignition factor is the most important; 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%) . The study area, which is dominated by zonas of high and extreme susceptibility (90.53%), is necessary strategies in the cycle of integral risk management a short-term action with the monitoring and warning of controlled burnings; medium term with the bounded and reforestation of affected areas; long term with environmental education, firebreaks and control and surveillance towers.

Key words: fire, biophysical factors, zoning, susceptibility.

CAPITULO I INTRODUCCIÓN

1.1. Problema de investigación y justificación

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). El fuego puede ser una herramienta eficaz de gestión para el aclareo de tierras, la eliminación de desechos y la reducción de las cargas de combustible (FAO, 2006).

Sin embargo, no todo fuego es destructivo, su manejo es esencial como herramienta benéfica para el manejo sustentable de los bosques, sistemas agropecuarios y para el ambiente (FAO, 2012). Los incendios son un factor natural en los ecosistemas terrestres, para mantener la dinámica poblacional, diversidad biológica y productividad. El problema surge cuando la recurrencia supera la capacidad de resiliencia de los ecosistemas y altera de manera irreversible los procesos ecológicos que son base para la producción de bienes y servicios ambientales (Mataix-Solera y Cerdà, 2009; Del Campo-Parra y Bernal-Toro, 2011).

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 los de mayor importancia con un 85% (FAO, 2006).

En este sentido en América del Sur un estudio es realizado por Coelho, Dos Santos, Fiedler, Ribeiro, Gomes, Banhos, Gaburro y Schettino (2016) denominado aplicación de SIG para desarrollar un modelo de riesgo de incendios forestales:

investigación desarrollada en Espírito Santo-Brasil, cuyo fin fue preparar un mapa de riesgo de incendios forestales utilizando SIG, modelo que se basó en asignar ponderaciones a nueve factores divididos en dos clases: físicos (cobertura vegetal, cercanía a vías, pendientes, altitud, orientación del terreno) y climáticos (precipitación, temperatura, evapotranspiración potencial, déficit hídrico); resultando la combinación de SIG y datos cualitativos – cuantitativos, una metodología eficiente, produciendo de manera efectiva y rápida información sobre la distribución espacial del riesgo de incendios, encontrando además áreas con alto, muy alto y extremo riesgo que abarcan el 75% del estado de Espírito Santo con riesgo de incendios forestales y contemplado un total de 78,92% de focos de calor; entendiendo como foco de calor la expresión que se usa generalmente para referirse a un incendio potencial, la presencia de un incendio asegura que en el mapa de focos aparecerá un punto indicador, esto no significa que en este lugar haya un incendio, en este sentido las altas temperaturas del terreno detectadas están representando la posibilidad de que se suscite un incendio (CONAE, 2014).

Colombia ha desarrollado estudios con respecto a incendios de cobertura vegetal, Prado (2014) diseñó un modelo SIG para determinar zonas de riesgo por incendios en la ciudad de Bogotá tomando en cuenta datos de los incendios forestales del área de estudio, datos meteorológicos y topográficos. En esta área en Chile, Reyes (2013) estudió las causas, ocurrencias y daños por incendios forestales en los años 2003-2013 en la región de Los Lagos, con el fin de establecer planes de protección contra incendios para reducir la ocurrencia y el daño ocasionado por este tipo de eventos.

Las investigaciones realizadas en el país son restringidas, las más relevantes son la que se realizaron en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), donde Estacio y Narváez (2012) aplicaron una metodología combinada que consistió en realizar un registro visual del incendio y el tratamiento digital de imágenes para determinar los niveles digitales de reflectancia, con el fin de mejorar los programas de emergencia y planificación que como resultados se determinó la recurrencia de los incendios forestales. Una investigación desarrollada por Columba y Quisilema (2013)

estableció las áreas vulnerables a incendios forestales, mediante la Lógica Fuzzy aplicando herramientas geoinformáticas, a través del procesamiento de imágenes satelitales, en la que se determinó varios modelos, definiendo cual tiene mejor ajuste a la realidad del DMQ.

Ecuador no se encuentra exento de los incendios forestales; la Secretaría de Gestión de Riesgos en el año 2016 registró una pérdida de cobertura vegetal de 20604,80 hectáreas a nivel nacional, afectando principalmente a las provincias de: Loja (6185 hectáreas), Azuay (2558 hectáreas) e Imbabura (1430,34 hectáreas) (SGR, 2016), siendo esta última la provincia que representa un antecedente para el 2015, donde se registró 841 incendios que consumieron 3271,38 hectáreas (SGR, 2015) de los cuales el 95% fueron provocados (Rosales, 2015) generando graves consecuencias sobre la biodiversidad. Para el año 2017 según la Secretaría de Gestión de Riesgos, Imbabura registró 39 incendios, con una superficie afectada de 1294,04 hectáreas (SGR, 2017).

A pesar del panorama nacional y local las grandes pérdidas económicas, sociales y ambientales que se han reportado, la información referente a incendios forestales a nivel nacional se encuentra dispersa, la Secretaría de Gestión de Riesgos lleva registros desde el 2016 de las áreas afectadas dentro de cada provincia, mientras que información referente a los factores causantes de incendios es de medios informales, lo cual dificulta establecer con exactitud los sitios de mayor tendencia o afectados por incendios (Secretaría de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito, 2013). Siendo el Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE), la autoridad competente responsable de la conservación y protección de los recursos naturales, ha establecido el Plan de Prevención, Control de Incendios Forestales y Remediación de Áreas Afectadas en el Ecuador y Programa Nacional de Restauración Forestal, trabajan en conjunto con las Direcciones Provinciales enfocados en la concientización a la sociedad y la restauración de áreas afectadas por los incendios en época seca, mas no en establecer las áreas con riesgos a este tipo de eventos (MAE, 2014).

Debido a múltiples acontecimientos devastadores, entre ellos los incendios a los que se encuentra sometida la naturaleza en la actualidad, la Constitución de la República del Ecuador (2008) reconoce y concede derechos a la misma, por lo que esta investigación tiene como fundamento legal el art. 14 que dice: “Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.”; mediante esta investigación se pretende zonificar áreas propensas a incendios de cobertura vegetal en el cantón Pimampiro, acción que es de gran importancia para la toma de medidas de predicción, previsión y prevención, tomando en cuenta varias características en pro del cuidado de los diferentes biomas existentes en el cantón Pimampiro, así como también el aporte de información que pueda ser replicada en diferentes zonas del país.

1.2.Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar áreas de susceptibilidad a incendios de la cobertura vegetal en el cantón Pimampiro, con el fin de plantear estrategias de gestión de riesgos.

1.2.2. Objetivos específicos

- Identificar los factores biofísicos causantes de incendios de cobertura vegetal.
- Zonificar la susceptibilidad de incendios de la cobertura vegetal en el cantón Pimampiro.
- Diseñar estrategias de gestión de riesgos de incendios de cobertura vegetal.

1.3.Preguntas directrices de la investigación

- ¿Cuáles son los factores principales causantes de los incendios de la vegetación?
- ¿Cuáles son las zonas con mayor susceptibilidad a incendios de cobertura vegetal en el cantón Pimampiro?

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1. Incendios

Propagación sin control del fuego es lo que se conoce como un incendio y actualmente constituyen uno de los temas de mayor registro en los medios de comunicación a nivel global por su incremento en la frecuencia anual y área afectada, además de sus impactos (FOPAE, 2002).

2.1.1. Causas

Aguilera-Sánchez (2015) menciona que las personas desconocen la fragilidad de los ecosistemas, las dificultades y tiempos de regeneración de los bosques, lo que incrementa la probabilidad de incendios sobre todo en actividades recreativas en espacios forestales. Es por esto que se han desarrollado métodos para evaluar el riesgo y el peligro de incendios, que según el Centro Nacional de Prevención de Desastres de México [CENAPRED] (2006) citado por Garza (2007) el riesgo es entendido como la función de tres factores: peligro, vulnerabilidad y exposición; siendo el peligro la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino de cierta intensidad; la vulnerabilidad como la susceptibilidad o propensión de los sistemas expuestos a ser afectados por el efecto de un fenómeno perturbador, es decir el grado de pérdidas y la exposición como el valor de los bienes expuestos; siendo así para Chuvieco y Martín (2004) los métodos que integran variables de riesgo y el uso de sistemas de información geográfica son el método de: criterios cualitativos, índices cuantitativos basados en la opinión de expertos, análisis de regresiones, redes neuronales y modelos físicos.

- Estructuradas

Las causas estructurales corresponden a las condiciones permanentes, ecológicas y sociológicas que determinan la problemática con carácter general; el comportamiento del fuego es muy distinto según el régimen climático, la vegetación es uno de los tres elementos indispensables para que se produzca el fuego, la acción del ser humano ha incrementado el riesgo de incendios ya sea por

la actividad agrícola o por la escasa concienciación de las poblaciones urbanas respecto a la fragilidad de los ecosistemas y el estado actual de los bosques con grandes acumulaciones de combustible ligero seco, debido al abandono generalizado del ámbito rural (Aguilera-Sánchez, 2015).

- Inmediatas

Son aquellas que originan directa y puntualmente un incendio, dentro de estas podemos distinguir entre causas naturales y causas antrópicas; el fenómeno natural más común son los rayos, erupciones de volcanes y los terremotos, sin embargo, los incendios originados por causas naturales son muy poco frecuentes ya que el mayor número de incendios se debe a causas intencionales. Las causas que pueden provocar los incendios son numerosas, se pueden dividir en cuatro grupos: negligencia, intencionadas, desconocidas y causas particulares (Aguilera-Sánchez, 2015).

2.1.2. *El fuego y sus consecuencias*

El fuego presenta consecuencias positivas y negativas que afecta a diversas escalas territoriales.

Positivas: El fuego ha sido una de las principales fuerzas evolutivas que han moldeado la estructura, la composición y la distribución geográfica de los ecosistemas con coberturas vegetales del mundo, al impactar sobre sus componentes estructurales, sus dinámicas, sus interrelaciones y sus procesos (Bond y Keeley, 2005). En consecuencia, los ecosistemas han desarrollado un complejo sistema de interrelaciones entre el clima, el suelo y la vegetación el cual hace posible la presencia o ausencia natural del fuego (Del Campo-Parra y Bernal-Toro, 2011).

Negativas: 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), generando consecuencias tales como: la

mortalidad de la vegetación y microorganismos, cambios en las capas orgánicas superficiales del suelo, germinación inducida de semillas, pérdida del banco de semillas del suelo, cambios en la dirección de la sucesión y aumento de la heterogeneidad del paisaje (Whelan, 1995) consumen material vegetal ubicado en áreas rurales de aptitud forestal o en aquellas que sin serlo cumplan una función ambiental (Jiménez, Urrego y Toro, 2016). El grado de impacto o efecto depende de la clase de incendio, su intensidad, severidad y el tipo de ecosistema afectado, presentando mayores consecuencias en ecosistemas secos (Del Campo-Parra y Bernal-Toro, 2011).

2.1.3. Factores influyentes en la generación de incendios

La preocupación por las secuelas provocadas por los incendios ha desarrollado investigaciones para entender las causas y factores influyentes en la ocurrencia de incendios, y así lograr un manejo eficiente de las consecuencias sobre los sistemas naturales o sociales (Tian, Zhao, Shu y Wang, 2013).

De acuerdo a varios estudios (Chuvienco, Aguado, Yebra, Nieto, Martín, Vilar, Martínez, Padrón, Martín y Salaz, 2007; Pla y Garriga, 2010) hay dos factores principales que determinan el riesgo de incendio forestal: la probabilidad de ignición y la probabilidad de que el fuego se expanda y acabe produciendo un incendio.

2.1.3.1. Estimación de la probabilidad de ignición

El inicio de un incendio está condicionado por una fuente de ignición la que puede deberse a varias causas: factores humanos y factores físicos (Yebra, De Santis y Chuvienco, 2005).

Factores humanos: la mayoría de los incendios son el resultado de acciones antrópicas, de uso y ocupación del suelo (Oliveira, 2002). En Ecuador según la Secretaría de Gestión de Riesgo, (2015) el 99% de los incendios que se presentan, son por causas humanas. Factores antrópicos como el uso del territorio (vías de comunicación y a centros poblados) y aspectos socioeconómicos (Chuvienco et al.

2007; Vilchis-Francés, Díaz-Delgado, Magaña-Lona y Gómez-Albores, 2015; Coelho et al. 2016) tienen relevancia en la cuantificación del riesgo de incendios.

En este contexto la vialidad es el eslabón que permite la explotación más eficiente de una región, es uno de los factores antrópicos desencadenante de riesgo prominente de incendios forestales y deben ser considerados cuando se realiza un análisis de zonificación de riesgos al fuego (Ribeiro et al. 2007).

Factores físicos: un factor determinante en la ignición de incendios forestales es el estado hídrico de la vegetación, debido a que la cantidad de agua de las plantas está inversamente relacionada con el potencial de combustión (Chuvieco et al. 2007), las características de la vegetación son claves porque es la que provee el material combustible para la generación de los incendios.

- **Material combustible:** según Batista (2000) es cualquier material orgánico vivo o muerto capaz de entrar en ignición. Este factor es fundamental para la ocurrencia y propagación del fuego porque es uno de los componentes del triángulo del fuego (Oliveira, 2002; Diniz-Prudente, 2010). En los tópicos existe mayor recurrencia de incendios debido al uso del fuego con fines agropecuarios por comunidades rurales con condiciones meteorológicas favorables para su propagación (Jiménez, Urrego y Toro 2015).

2.1.3.2. La probabilidad de que el fuego se expanda

Está condicionado principalmente debido a: factores meteorológicos, factores topográficos donde se da la ignición y las características de la vegetación (tipo de usos, cantidad de combustible seco y húmedo, etc.) Chuvieco et al. 2007).

Factores meteorológicos: la frecuencia de distribución de incendios está fuertemente asociada a las condiciones climáticas, elementos como temperatura, humedad relativa, viento, precipitación, evapotranspiración potencial y déficit hídrico tienen efectos en el comportamiento del fuego (Tabla 1) (Diniz-Prudente, 2010).

Tabla 1. Principales factores meteorológicos influyentes es el riesgo a incendios

Factores meteorológicos	Susceptibilidad	Fuente
Temperatura	Influye directa e indirectamente en la combustión y propagación de los incendios. Directamente porque la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura del combustible depende de la temperatura inicial y también de la temperatura del aire alrededor del mismo. Indirectamente, a través de la influencia sobre otros factores que controlan la propagación del fuego, como, por ejemplo, el viento, la humedad del combustible y la estabilidad atmosférica	Villares-Ruíz y López-Blanco (2004); Soares y Batista (2007)
Precipitación	mantiene húmedo el material vegetal lo que dificulta que inicie o se propague el fuego, este es un factor que influye directamente en la vegetación, lo que condiciona la ignición, propagación al momento de que un incendio se genera	Jáuregui (2005); Dentoni y Muñoz (2008)
Evapotranspiración potencial	es pérdida de agua a la atmósfera, a través de una superficie natural, sin restricción hídrica para satisfacer las necesidades de la evaporación del suelo y de la transpiración.	Camargo y Camargo (2000); Diniz-Prudente (2010)
Déficit hídrico	es el resultado negativo del balance hídrico en el que el total de agua que entra en el sistema a través de la precipitación es menor que la cantidad total de agua perdida por la evapotranspiración potencial y la transpiración de las plantas.	EMBRAPA (2003); Muñoz-Robles, Treviño-Garza, Verástegui-Chávez., Jiménez-Pérez y Aguirre-Calderón (2003)

Factores topográficos: se considera el comportamiento del fuego como resultado del clima y disponibilidad del combustible (vegetación), pero la topografía también influye decisivamente en el comportamiento del fuego (Gaylor, 1974; Batista, 2000). El relieve comprende la forma física y las características del terreno de una región (Oliveira, 2002). Según Brown y Davis (1973) la topografía del terreno es

un elemento fijo, pero representa cambios significativos en la susceptibilidad de incendios. Además, Pyne (1984) complementa que los factores topográficos influyen indirectamente en el comportamiento del fuego, debido a las formas de la superficie terrestre sobre el combustible o el clima presente. Los principales factores topográficos son: pendientes, altitud, orientación del terreno (Coelho et al. 2016).

- **Pendientes:** Un estudio realizado por Villares-Ruíz y López-Blanco (2004) menciona que la velocidad de propagación de los incendios aumenta debido al incremento de las pendientes, en terrenos escarpados el tiempo de propagación va a ser menor, es decir presentan mayor velocidad al propagarse. Este fenómeno lo explican Soares y Batista (2007) que es ocasionado por diversas razones:
 - a) El fuego, seca y calienta el material combustible situado en la parte superior de la pendiente con mayor intensidad, no sólo por el hecho de la inclinación aproxima a la llama del material, pero también por la exposición de una superficie mayor a las olas de calor, transmitidas tanto por radiación como por convección.
 - b) La corriente de aire caliente originada por el fuego se dirige hacia la parte superior de la montaña; como consecuencia, el aire fresco es aspirado por la parte inferior, renovando el aire suministro de oxígeno en la zona de combustión.
 - c) Recibiendo mayor cantidad de calor y secándose más rápidamente, el material combustible de la parte superior entra en combustión más violentamente, causando una propagación más intensa del fuego
- **Altitud:** está relacionada directamente a las relaciones climáticas del área de estudio, menciona Soares y Batista (2007) que las altas elevaciones en la superficie de la tierra presentan temperaturas más bajas, de acuerdo con las leyes naturales, las bajas elevaciones tienden a presentar estaciones de riesgo de incendios más largas que las altas elevaciones.

- **Orientación del terreno** tiene influencia sobre las condiciones de humedad y tipo de material combustible, en función de las condiciones de iluminación solar, con relación a los puntos cardinales, teniendo en cuenta que los rayos solares en el hemisferio sur caen e inciden directamente sobre las caras hacia el norte y consecuentemente transmiten más calor, seguida de la cara oeste, y la que menos se calienta es al sur (Soares y Batista, 2007).

2.1.4. Zonificación del riesgo a incendios

La zonificación consiste en un área delimitada en función del potencial de ocurrencia y propagación del fuego, es decir el territorio se divide en áreas homogéneas de acuerdo con el grado real o potencial de amenaza o de riesgo (Suárez, 2009; Oliveira, 2002). Las zonas de riesgo o zonificación de riesgos a incendios son instrumentos fundamentales en la planificación racional de los recursos para la protección de ecosistemas, proporcionando una visualización de la distribución espacial del riesgo en toda el área y posibilitando una mejor adecuación de recursos destinados conforme el nivel de peligro de cada región (Oliveira, 2002).

Varios investigadores han desarrollado diversos métodos para la zonificación del riesgo a incendios, asociando múltiples factores ambientales de un territorio, permitiendo de esta manera zonificar el riesgo potencial a incendios de un área en función de la sensibilidad al fuego de los factores analizados, muchos de los cuales han aplicado Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Oliveira, 2002; Yeguez y Alban, 2012; Prado, 2014; Ibarra-Montoya y Huerta-Martínez, 2015; Coelho et al., 2016; Díaz-Hormazábal y Gonzáles, 2016).

2.1.5 Métodos de zonificación de susceptibilidad a incendios

Los métodos de zonificación del peligro y el riesgo de incendios permiten evaluar, parcialmente la incertidumbre sobre la posibilidad o no de la ocurrencia de un fenómeno y es una herramienta útil para la toma de decisiones, requiere el manejo de una serie de herramientas, entre ellas la lógica difusa, los sistemas de información geográfica SIG, entendiendo que la lógica difusa es una herramienta utilizada en el mapeo de amenazas (Suárez, 2009).

Esta metodología de herramientas tecnológicas, datos cualitativos y cuantitativos, resulta elemental para combatir este tipo de sucesos que involucra biodiversidad, bienes materiales y recursos humanos (Garza, 2007).

- Criterios cualitativos

Según Garza (2007) el método de criterios cualitativos tiene como objetivo la identificación de los riesgos en su origen, en ocasiones son preliminares y sirven de soporte estructural para estudios cuantitativos, algunos ejemplos de métodos cualitativos específicos para la evaluación de riesgo de incendio son: riesgo intrínseco (Coelho et al. 2016), Gretener, Gustav-Prut (Villanueva, 1984), MESERI (Fuertes-Peña, Rubio-Romero y Rubio-Gámez, 2017), PML-EML (Arcos, 2015), FRAME (Astete y Cárcamo, 2015).

- Criterios cuantitativos

Para De la Riva y Pérez (2005) este método de índices cuantitativos basados en la opinión de expertos, análisis de regresiones y redes neuronales, relacionan variables dependientes-respuesta con una serie de variables independientes, la ocurrencia histórica es la dependiente, mientras que las variables de riesgo son consideradas independientes o predictoras. Los coeficientes obtenidos se interpretan como pesos o ponderaciones de cada variable en su participación en el mapa sintético de riesgo. Los modelos existentes en la biografía a este contemplan desde el uso de regresiones lineales, múltiples, logísticas o redes neuronales.

Según Alaminos-Chica y Castejón-Costa (2006) una estrategia de investigación para la recolección de información es a través de la encuesta, la cual implica un proceso completo de investigación para ser llevada a cabo, el término encuesta es sinónimo de cuestionario o entrevista. El cuestionario es el instrumento para recoger información, el que puede ser llevado a cabo por teléfono o “cara a cara”, el que consiste en un formulario que contiene una serie de preguntas o afirmaciones (Murillo, 2011).

Existen diversas escalas para medir la opinión de los encuestados en un cuestionario con preguntas numéricas, se pretende dar un valor a la posición mental frente a una situación o un tema determinado (Murillo, 2011).

Según Murillo (2011) y Alaminos-Chica y Castejón-Costa (2006) las escalas más frecuentes son:

- Escala intensidad: estructuran las opiniones bajo formas de respuesta de abanico, según la evolución o grados de un continuum de actitud.
- Escalograma de Guttman: se presenta una serie de cuestiones jerarquizadas de mayor a menor y se pide su veracidad en cada caso.
- Escala de Likert: es una herramienta de medición que ofrece al sujeto una afirmación y se pide que se califique numéricamente según su grado de conformidad con la misma (Figura 1).



1	2	3	4	5
Bajo	Moderado	Alto	Muy Alto	Extremo

Figura 1. Escala de Likert

Fuente: Modificado de: Llanos-Zavalaga, Rosas-Aguirre, Mendoza Requena, y Contreras-Rios (2001)

- Modelos físicos

El método de modelos físicos según Zarate (2003) son modelos matemáticos que pretende imitar, copiar, describir o representar la realidad mediante el uso de un lenguaje matemático. La importancia de la modelización matemática de los incendios forestales radica en la predicción del comportamiento de dichos fenómenos y sus efectos en el entorno donde suceden, proporcionando una valiosa herramienta en los métodos de ataque, estimación, despliegue de recursos, medidas de seguridad para el personal de extinción y población en general, múltiples decisiones encaminadas a la minimización de los costos materiales y económicos.

2.1.5.1. Establecimiento de niveles de susceptibilidad a incendios

La susceptibilidad es una variable producto de la síntesis de la interrelación de todos los parámetros considerados para la realización del estudio tanto del medio físico-

natural (precipitación, temperatura, cobertura vegetal, entre otros) como del socioeconómico (cultivos, vías, entre otros) (Ache, 2008).

Según Ache (2008) se muestran las relaciones de los parámetros físico-naturales con la presencia de algunas acciones sobre el medio capaz de generar incendios. A tales efectos se subdivide en las siguientes categorías:

- Baja susceptibilidad: por el tipo de cobertura vegetal, los grados de intervención y la ocurrencia de incendios, tienen poca prioridad la intervención y extinción de incendios.
- Moderada susceptibilidad: la relación de la masa vegetal con la presencia de moderada a fuerte intervención hace que las áreas requieran la implantación de acciones de vigilancia.
- Alta-Extrema susceptibilidad: Áreas con predominio de vegetación muy inflamable y/o severamente intervenida la que requiere máxima prioridad la extinción y prevención de incendios.

2.1.6. Análisis multicriterio para zonificar incendios forestales

Según las posibilidades se puede obtener el peso relativo de cada criterio por decisión personal o podría consultar a uno o más expertos. Otra forma es, la que se propone, es a través de una matriz de criterios en donde, luego de un proceso racional y matemático se obtienen los ponderadores de cada uno (García, Noriega, Díaz y De la Riva, (2006).

Existe una metodología de decisión multicriterio denominada AHP (Analytic Hierarchy Process) desarrollada por Saaty (1992) la que se utiliza para estructurar, medir y sintetizar una gran variedad de problemas. Es un método matemático creado para evaluar alternativas cuando se tiene en consideración varios criterios y está basado en el principio de la experiencia y conocimiento de los actores (Osorio-Gómez y Orejuela-Cabrera, 2008).

Las ventajas del uso de la técnica AHP son según Beynon (2002):

1. Permite evaluar factores de orden cualitativo.
2. Se obtiene pesos asignados a cada uno de los elementos, los que son usados como criterio de decisión.
3. El uso de computadoras permite conducir análisis de sensibilidad de resultados.

Una de ventaja que menciona es que es una técnica que permite el consenso entre personas que actúan como decisores (Osorio-Gómez y Orejuela-Cabrera, 2008).

El decisor participante debe comparar la importancia relativa de un elemento con respecto a un segundo, usando la escala de 9 puntos (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)

2.1.7. Manejo de incendios forestales

El análisis del área de estudio, identificación de las áreas con alta probabilidad y las causas de incendios dentro de un territorio (CONAF, 2012) son la base para desarrollar modelos de gestión de riesgos de incendios y de esta manera disminuir el número de eventos y las superficies afectadas (Castellnou, Pagés, Miralles y Piqué, 2009). Para el Ministerio del Interior y Seguridad Pública (2017) los planes de actuación frente al riesgo de incendios se centran exclusivamente en gestionar la emergencia que supone un incendio una vez iniciado. Es decir, es la reacción al iniciarse un evento en determinada área (Rodríguez y Ricart, 1997).

Una metodología que envuelve procesos cualitativos y cuantitativos constituye el avance metodológico en la planeación denominada técnica **FODA**, que se define como el conjunto de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas surgidas de la evolución de un sistema organizacional que, al clasificarse, ordenarse y compararse, genera un conjunto de estrategias. Tanto las fortalezas como debilidades tienen carácter interno, mientras que las oportunidades y amenazas son de índole externo (Villagómez, Mora, Barradas y Vázquez, 2014).

Producto del cruce de variables FA, FO, DA, DO, mismas que permiten conectar acciones (oportunidades) que puedan aprovechar en su entorno externo, preparándose para enfrentar los peligros (amenazas), apoyándose en sus fortalezas y reduciendo el impacto negativo que puedan tener las debilidades Posso (2011).

Una técnica de manejo de incendios es a través de la **Gestión de riesgo**, siendo este el proceso de mayor complejidad y jerarquía de manejo o administración, y principalmente que involucra a muchos actores de diversas disciplinas y sectores. La gestión del riesgo involucra, el componente correctivo o de reducción del riesgo (cuando el riesgo ya ha sido creado) y también el componente prospectivo o de prevención del riesgo (cuando aún el riesgo no se ha materializado, pero se prevé si desarrollo en el territorio). Es importante indicar que lo local es el ámbito privilegiado de la gestión del riesgo, ya que es allí donde tiene mayor significado la participación y el involucramiento de los actores inmediatos en la creación y resolución del riesgo (Comunidad Andina, 2008).

El conjunto de actividades se denomina ciclo del manejo del riesgo (Figura 2), el cual Sánchez (2010) asegura que cuenta con diversas fases:



Figura 2. Círculo de gestión de riesgos

Fuente: Modificado de Sánchez (2010)

- a) **Prevención:** comienza antes de la ocurrencia de un evento, y consiste en acciones destinadas a suprimir, intervenir o evitar la ocurrencia de emergencias.
- b) **Respuesta:** esta etapa se inicia seguidamente después de ocurrida la alarma y tiene como objetivo realizar las operaciones de emergencia, es decir, acciones inmediatas destinadas al control de la situación.
- c) **Mitigación:** son acciones destinadas a reducir los impactos (por ejemplo, encauzamiento de ríos y canales), junto con esto se desarrolla la preparación que consiste en disposiciones y procedimientos de respuesta y rehabilitación para actuar oportuna y eficazmente.
- d) **Recuperación:** comienza después de que el evento destructivo aconteció, y consistirá, en un primer momento, en la reparación y rehabilitación en el más breve plazo de las condiciones básicas de vida de las personas y zonas afectadas

2.2.Marco Legal

Existen varios instrumentos legales nacionales que enmarcan esta investigación:

2.2.1. Constitución de la República del Ecuador 2008

En su capítulo II, sección segunda “Ambiente sano”, art. 14, declara de interés público la preservación del ambiente, la prevención del daño ambiental y la

recuperación de los espacios naturales degradados; asegurando que la conservación de los ecosistemas es prioridad nacional.

La constitución del Ecuador es la primera en la cual se le otorgó derechos a la naturaleza, capítulo VII “derechos de la naturaleza”, art. 71, la naturaleza o Pacha Mama, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones. El Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema; en este artículo se promueve el apoyo a la ciudadanía a cuidar y proteger a la naturaleza. En ese mismo capítulo, se promueve la conservación de ecosistemas, prevención de daños y respeto de sus procesos y funciones; la zonificación de áreas susceptibles a incendios permite detectar las áreas en las que se puedan desarrollar incendios y tomar medidas de prevención y control.

2.2.2. Agenda 2030 y los objetivos de desarrollo sostenible

Dentro de los objetivos que las Naciones Unidas se plantearon para el 2030, esta investigación busca apoyar el cumplimiento de: objetivo 13, “Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos” y objetivo 15, “Proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de la biodiversidad” (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo [SENPLADES], 2017).

2.2.3. Leyes Orgánicas

Las leyes orgánicas en las que está basada la investigación son: Código orgánico del Ambiente y el Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD).

2.2.3.1. Código Orgánico del Ambiente (COA)

Art. 5, numeral 12 menciona la implementación de planes, programas, acciones y medidas de adaptación para aumentar la resiliencia y reducir la vulnerabilidad

ambiental, social y económica frente a la variabilidad climática y a los impactos del cambio climático.

Art. 26, establece las Facultades de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Provinciales en materia ambiental en el numeral 4 está elaborar planes, programas y proyectos para prevenir incendios forestales y riesgos que afectan a bosques y vegetación natural o bosques plantados.

Art. 27, menciona las Facultades de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Metropolitanos y Municipales en materia ambiental, en su numeral 4 establece la política de prevenir y controlar incendios forestales que afecten a bosques y vegetación natural o plantaciones forestales.

2.2.3.2. Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD)

Capítulo II, sección primera “Naturaleza jurídica, sede y funciones”, art. 41, funciones del gobierno autónomo descentralizado provincial en el numeral 3, promover el desarrollo sustentable de su circunscripción territorial provincial, para garantizar la realización del buen vivir a través de la implementación de políticas públicas provinciales, en el marco de sus competencias constitucionales y legales.

Capítulo III, sección primera “Naturaleza jurídica, sede y funciones”, art. 55, funciones del gobierno autónomo descentralizado municipal numeral 13, gestionar los servicios de prevención, protección, socorro y extinción de incendios y gestionar la cooperación internacional para el cumplimiento de sus competencias.

2.2.4. *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021-Toda una vida*

Con el desarrollo de esta investigación se apoya al cumplimiento del objetivo tres: “Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones, fomentando el uso sustentable de los recursos naturales, disminuyendo los efectos negativos de las actividades antrópicas sobre el ambiente”.

CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO

A continuación, se presenta la caracterización biofísica y social del cantón Pimampiro:

3.1. Caracterización biofísica

El cantón Pimampiro se encuentra al este de la provincia de Imbabura, sus límites geográficos son: al norte el cantón Bolívar, al sur los cantones Cayambe y Gonzalo Pizarro, al este el cantón Sucumbíos y al oeste el cantón Ibarra (Figura 3).

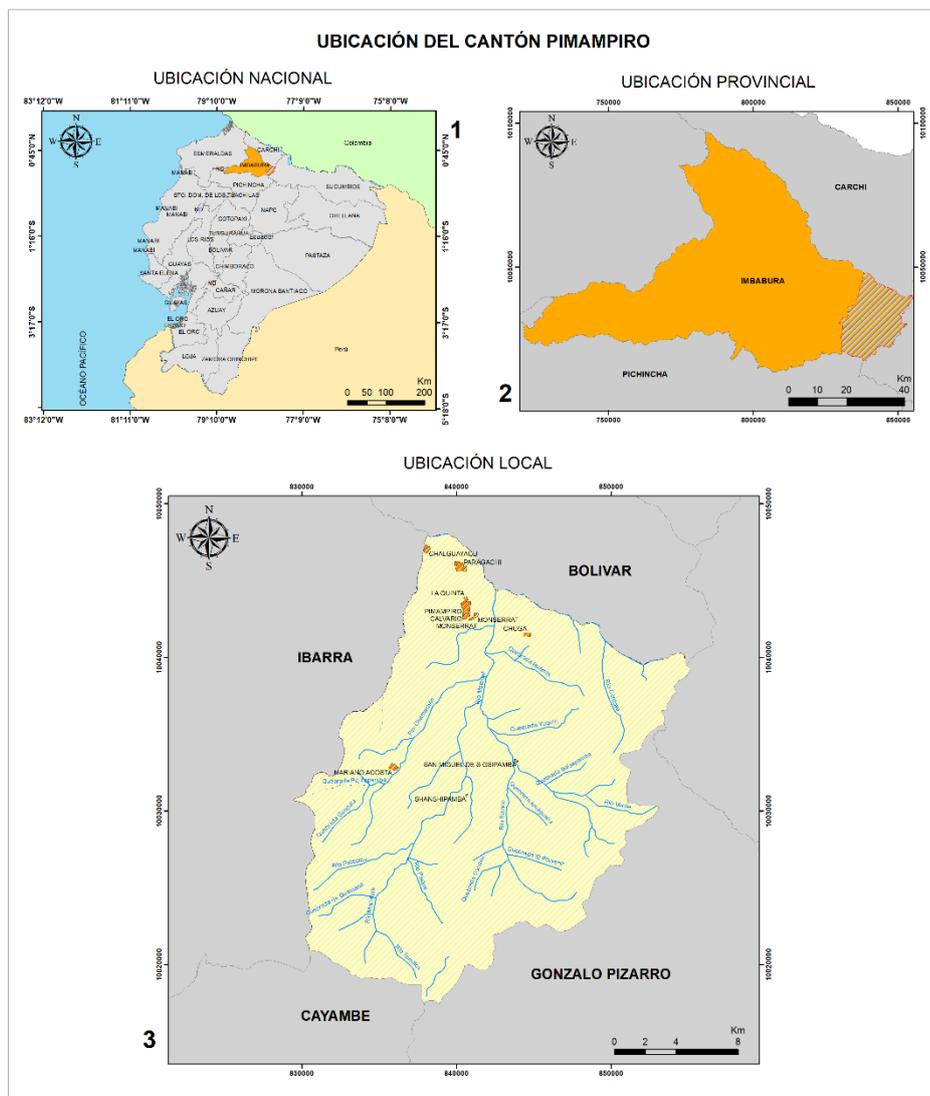


Figura 3. Mapa de ubicación del Cantón Pimampiro

Los tipos de climas que se presentan en el área de estudio son tres (Figura 4), en la parte baja del cantón se encuentra el clima ecuatorial mesotérmico seco (EMS), el cual está asociado a los valles interandinos abrigados; en la parte media del cantón el ecuatorial mesotérmico semi-húmedo (EMSH) característico de la zona interandina; en la parte alta domina el clima ecuatorial de frío de alta montaña (EFMA) situado en los rangos 2000 a 3000 m.s.n.m. (Pourrut, 1983). La temperatura varía entre los rangos entre 8 y 19°C y presenta precipitaciones de 544 a 897 mm/anuales.

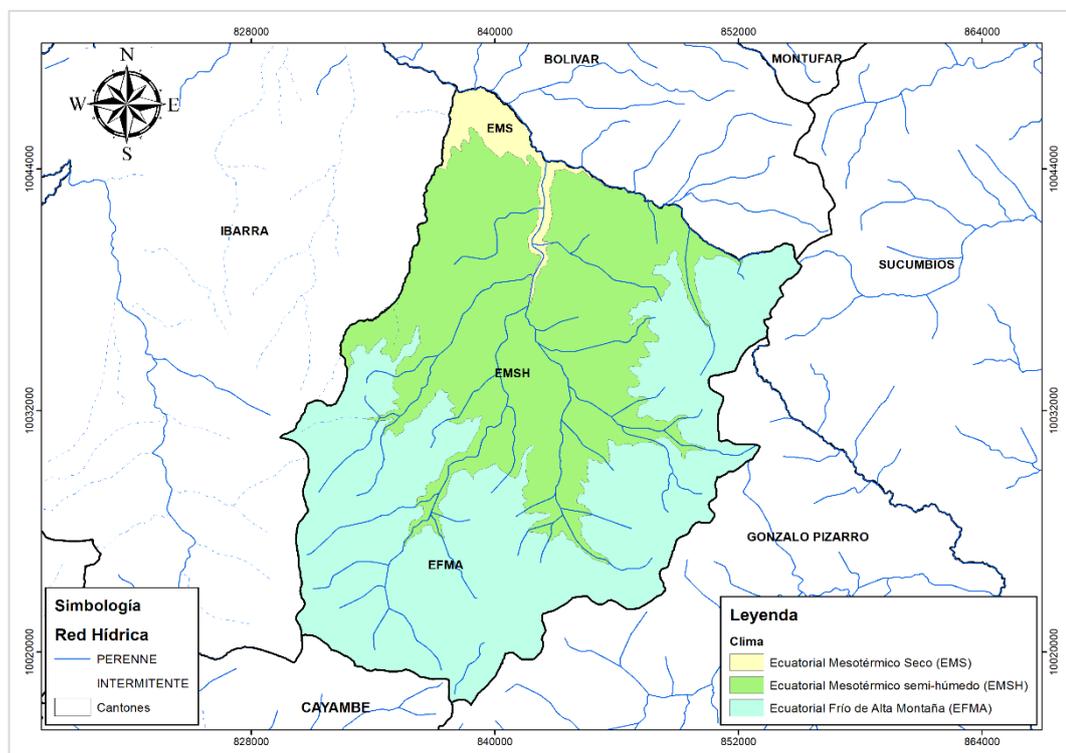


Figura 4. Climas del cantón Pimampiro

El cantón Pimampiro presenta una superficie de 44339,26 ha, de las cuales el 35% es bosque natural concentrado en el sur del área de estudio. En menor proporción están los cultivos con un 30% situados al norte del cantón, los más típicos son el maíz, papa, cebada y trigo. El páramo con una superficie de 24% es uno de los ecosistemas representativos por su aporte del recurso hídrico, a pesar de que se ha reducido considerablemente por el cambio del uso de suelo a cultivos y pastizales principalmente (Figura 5).

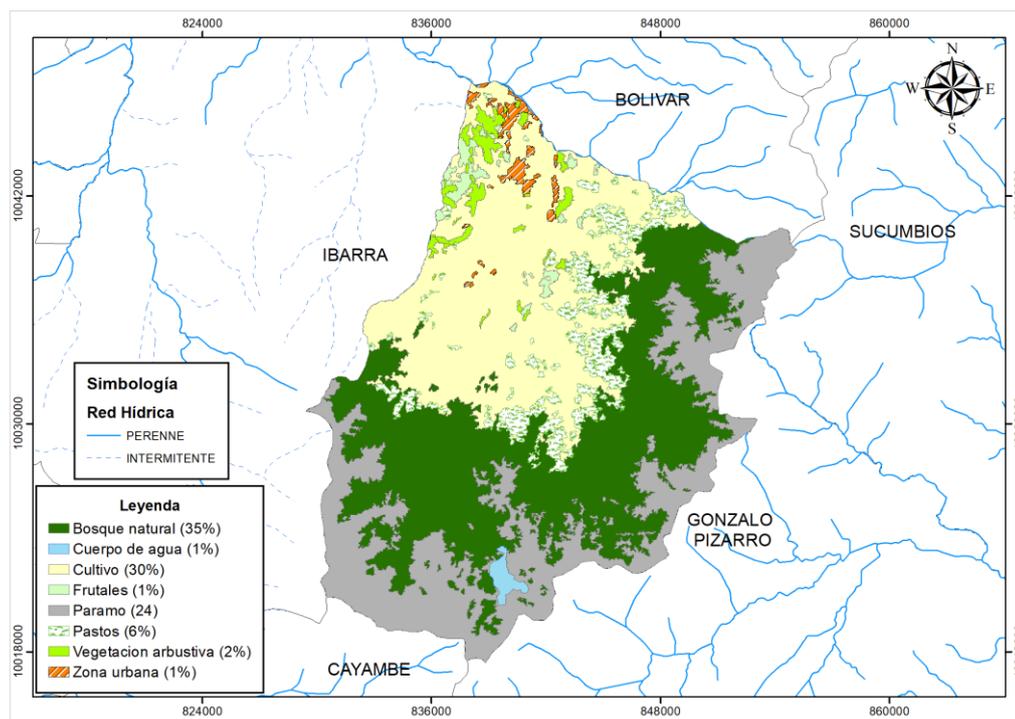


Figura 5. Uso y cobertura del suelo 2017 cantón Pimampiro

Según la clasificación de Holdridge, (1987) las formaciones ecológicas presentes en el cantón son: bosque húmedo montano (bhM) se encuentra entre 2,500 – 3,300 msnm, la topografía de esta formación es de montañosa a escarpada; bosque húmedo montano bajo (bhMB), se encuentra entre los 1.800 y 2.000 msnm; bosque muy húmedo montano bajo (bmhMB) caracterizado por presentar temperaturas entre 12-18°C y precipitaciones de hasta 2000 mm; bosque seco montano bajo (bsMB), se encuentra localizada entre 2000 y 3000 msnm, con variaciones microclimáticas de acuerdo a los pisos altitudinales de las cordilleras y estepa espinosa montano bajo (eeMB) el cual se caracteriza por presentar temperaturas entre 12 y 18 °C (Figura 6).

El cantón San Pedro de Pimampiro tiene un gran potencial de diversidad agropecuaria gracias a sus diferentes pisos climáticos. La actividad frutícola toma siempre más importancia la cual empezó en el 2000, se puede apreciar que los cultivos permanentes van remplazando poco a poco los cultivos transitorios. El tomate riñón es el producto emblemático del cantón. Es un cultivo que se encuentra bajo invernadero (58 ha) lo que denota una tecnificación fuerte (PDOT, 2017).

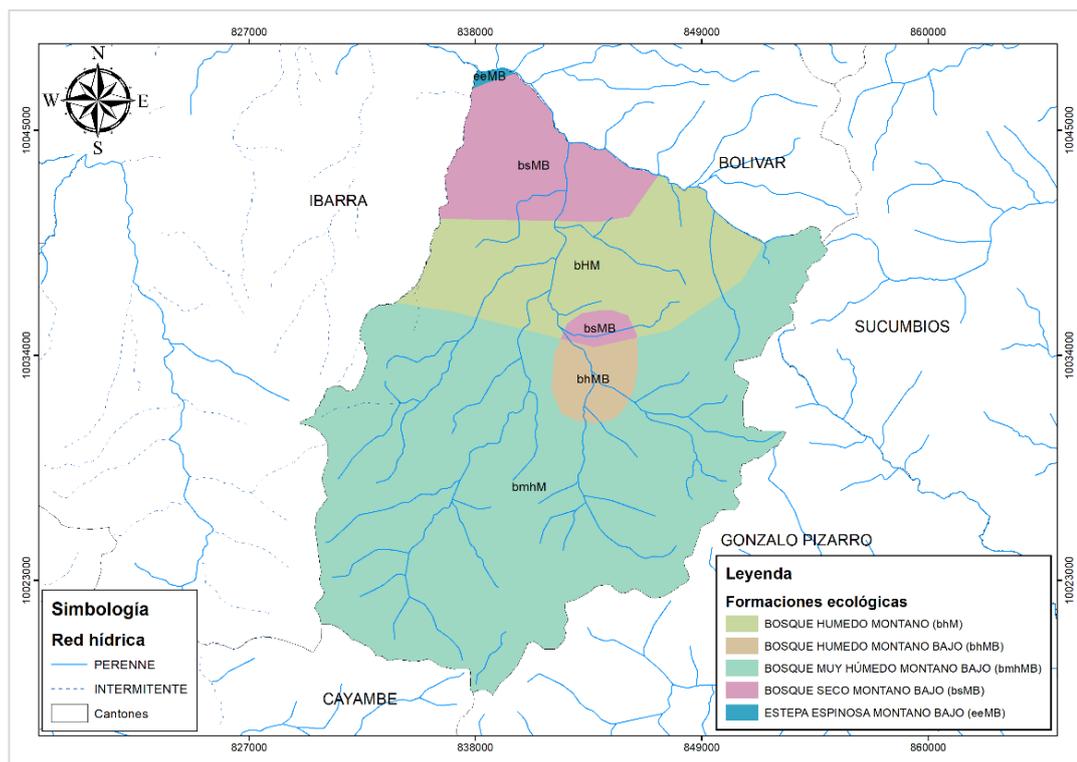


Figura 6. Formaciones ecológicas del cantón Pimampiro

3.2. Caracterización social

El cantón Pimampiro cuenta con 12951 habitantes de los cuales 6428 son hombres y 6523 mujeres, distribuidos en las cuatro parroquias: Pimampiro, Chugá, San Francisco de Sigsipamba y Mariano Acosta (Tabla 3).

La población en su mayoría son mestizos (77,32%), también hay personas de autodenominación indígenas, (14,16%) y en menor porcentaje blancos (4,03%), afroecuatorianos (3,62%) y mulatos (0,87%) (CEPAL, 2012).

Hasta el año 2017, estas cifras se deben al desarrollo de la agricultura, ganadería, y silvicultura como principales actividades y fuentes de ingresos de la población (54,45%) (CEPAL, 2011).

Tabla 3. Población de las parroquias del cantón Pimampiro

Parroquia	Habitantes
Chuga	1271
Mariano Acosta	1926
Pimampiro	8192
San Francisco de Sigsipamba	1562
Total	12951

Fuente: CEPAL, (2012)

3.2.1. Situación actual del cantón Pimampiro

Según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2011-2031 actualmente la preocupación de los pobladores del cantón está centrada en el deterioro ambiental y solventar las necesidades presentes y futuras. El desarrollo de actividades productivas genera consecuencias negativas en los ecosistemas como es la pérdida de biodiversidad y contaminación de fuentes de agua. Otra debilidad es la presencia de conflictos socioambientales en la población por la retribución económica que se brinda para la protección y/o conservación de bosques nativos y páramos por los servicios ambientales que presentan estos ecosistemas, el escaso asesoramiento técnico en el uso de agroquímicos hace que el ambiente se degrade aún más dando como resultado la disminución de las formaciones ecológicas y la extinción de las especies.

Cambio del uso de suelo: la depredación de los espacios naturales, en 20 años fueron afectados con 645,36 ha que se convirtieron en pastos cultivados en el 2010 y 51,52 ha que pasaron a ser cultivos. Alrededor de 700 ha de bosques naturales desaparecieron entre 1990 y 2010. El desarrollo de las actividades agrícolas y pecuarias ha ocasionado la pérdida de áreas de importancia ecosistémica.

3.3.Historia de incendios forestales en el cantón Pimampiro

De los incendios que se reportan para la provincia Imbabura, el cantón Pimampiro se ha visto afectado con pérdidas de superficies entre 5 y 180 hectáreas de vegetación (Corporación OSSO, 2016). El mayor número de incendios se registran en época de verano, de acuerdo con el Plan de Desarrollo y Ordenamiento

Territorial 2011-2031, la época seca se extiende entre los meses de junio a septiembre, de los 17 eventos suscitados en el cantón, 9 han ocurrido entre los meses de agosto y septiembre.

3.4. Materiales y equipos

Se presenta los materiales y equipos (Tabla 4) necesarios para el desarrollo del estudio.

Tabla 4. Materiales y equipos que utilizar en la investigación

Materiales y Equipos	
Equipos de Campo	Navegador GPS-GARMIN
	Cámara fotográfica-SAMSUNG
	Computadora – TOSHIBA- HP
Equipos de oficina	Impresora
	Impresiones
Varios	Imágenes de sensores remoto
	Software ArcGIS 10.5, (INPE) y Microsoft Office 2008

3.5. Métodos

Las fases metodológicas que se llevó a cabo en el presente trabajo de investigación fueron las siguientes:

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

A los expertos se plantearon factores influyentes en la ignición y propagación de incendios que fueron utilizados por Coelho et al. (2016) para lo que se realizó una entrevista, con un cuestionario como instrumento, cuya elaboración y confiabilidad se basó en los principios básicos expuestos por Morga (2012); los ítems conjugan entre preguntas abiertas y estructuradas como es la escala de Likert.

El instrumento constó de 6 preguntas (Anexo 1a), las cuales se plantearon para evaluar la probabilidad de ignición y propagación del fuego de las coberturas vegetales en base a la problemática del área de estudio y a los antecedentes sobre investigaciones de incendios de vegetación. Este cuestionario fue aplicado a 11 expertos inmersos en el tema de incendios de cobertura vegetal. El método empleado para la selección de los expertos fue Snow ball (Figura 7) es una técnica de muestreo que utiliza cadenas de referencia como una especie de red (Baldin y Munhoz, 2011), la cual finaliza cuando uno de los expertos da como referencia a otro participante que ya fue entrevistado. Se clasificó en dos grupos: profesionales técnicos (7 entrevistados) y profesionales investigadores (4 entrevistados).

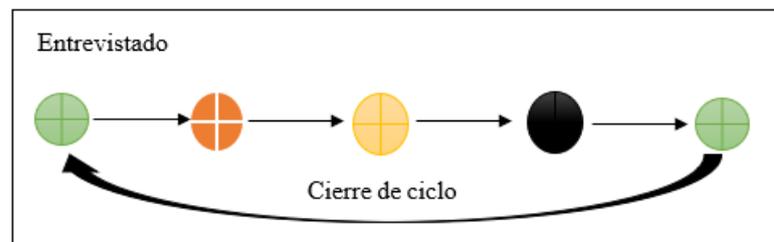


Figura 7. Método Snow ball

Fuente: Baldin y Munhoz (2011)

Los factores biofísicos que se plantearon a los expertos fueron climáticos y físicos y la entrevista permitió establecer las ponderaciones de cada factor en la generación y propagación de incendios, para conseguir el consenso al consultar a los expertos se empleó la metodología Delphi (García-Valdés y Suárez-Marín, 2013).

Una vez seleccionados y ponderados los factores biofísicos que inciden en la ocurrencia de los incendios, se prosiguió a adaptarlos al área de estudio.

3.5.1.1. Factores climáticos

Los factores climáticos utilizados en la investigación son: precipitación, temperatura, evapotranspiración potencia y déficit hídrico.

1. Precipitación media anual

Se determinó con datos de once estaciones meteorológicas (Tabla 5) del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) que se encuentran cerca del área de estudio, mismas que cubren toda la superficie del cantón (Anexo 3b), las que mostraron el mayor número de registros disponibles. Se utilizó información climática de 30 años (1986-2015) para lograr mayor precisión y exactitud. Diversos investigadores están de acuerdo que se debe tomar en cuenta un período de información de por lo menos 30 años (Ruíz-Álvarez, Arteaga-Ramírez, Vázquez-Peña, Ontiveros-Capurata y López-López, 2012). La precipitación que se obtuvo se utilizó en el diagrama ombrotérmico.

Tabla 5. Estaciones meteorológicas de precipitación

Código	Nombre de la estación	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Distancia (km)
M001	Inguincho	0° 15' 30'' N	78° 44' 3'' W	3185	53.19
M003	Izobamba	0° 22' 00'' S	78° 33' 0'' W	3058	176.64
M025	La Concordia	0° 01' 29.2'' S	79° 22' 49'' W	379	163.36
M103	San Gabriel	0° 36' 15'' N	77° 49' 10'' W	2860	35.72
M105	Otavalo	0° 14' 16'' N	78° 15' 35'' W	2558	35.24
M301	FF CC Carchi	0° 36' 26'' N	78° 08' 07'' W	1280	39.77
M308	Tufiño	0° 48' 01'' N	77° 51' 20'' W	3418	55.71
M305	Julio Andrade	0° 39' 10.7'' N	77° 43' 14'' W	2890	41.94
M312	Pablo Arenas	0° 29' 56'' N	78° 11' 42'' W	2340	35.62
M315	Pimampiro	0° 23' 22.6'' N	77° 56' 28.3'' W	2090	0
M317	Cotacachi	0° 18' 18'' N	78° 16' 7.3 W	2410	32.71

Fuente: INAMHI, 2017

Posteriormente el proceder metodológico fue el siguiente:

a) Relleno de datos

El relleno de datos se realizó en diferentes años para 9 de las 11 estaciones, rellenando un total de 43 cifras (Anexo 2a), correspondiente al 2,17% del total de registros de las estaciones utilizadas en el estudio. Para lo cual se utilizó las estaciones más cercanas al área de estudio y que cuenten con información

disponible (Anexo 2b), empleando el método de regresión lineal con la ecuación de la recta, mediante software ArcGIS 10.5 y Excel 2012.

Ecuación 1. Ecuación de la recta

$$y = ax + b$$

Donde: y es la precipitación estimada, x es la precipitación patrón y a y b son constantes de la regresión.

b) Correlación de datos de Precipitación

Se determinó una correlación positiva y aceptable entre las variables de estudio y esta similitud se representa a manera de una recta (Anexo 2c), el coeficiente de correlación de Pearson está representado en la gráfica por R^2 este coeficiente expresa el grado de covarianza entre variables, siendo positivo o negativo, se interpreta mediante el diagrama de dispersión. El valor de R^2 va de -1 a 1 , mientras se acerca a la unidad, existe mayor relación lineal entre las variables (Martínez-Ortega, Tuya-Pendás, Martínez-Ortega, Pérez-Abreu y Cánovas, 2009).

La tabla de la correlación R^2 y las ecuaciones del relleno de datos de precipitación está detallados en el Anexo 7.

c) Interpolación de precipitación

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

d) Establecer rangos de susceptibilidad

Una vez determinada la precipitación que rige en el área de estudio, se establecieron los rangos de susceptibilidad, teniendo en cuenta que a menor precipitación mayor riesgo a incendios (Oliveira, 2002; Coelho et al. 2016), además del apoyo de la base de datos de incendios reportados para la provincia de Imbabura. Para determinar los rangos, se utilizó el *raster* de precipitación media anual, con la utilización del software ArcGIS 10.5. Se calculó la desviación estándar y la media, posteriormente

a la media se le sumó una desviación estándar resultando el rango máximo, para encontrar el mínimo se procedió a sustraer de la media una desviación estándar. Los niveles de susceptibilidad se clasificaron en cinco (Coelho et al., 2016). Para el cálculo de valores intermedios, se realizó la diferencia entre mínimo y máximo y el resultado se lo dividió para el número de categorías intermedias (3), el valor que se obtuvo de la división fue el valor constante que se sumó (se iniciará al valor mínimo) hasta encontrar los rangos intermedios.

2. Temperatura promedio anual

Se trabajó con datos de temperatura media mensual para los años 1986-2015, con la información obtenida de 6 estaciones meteorológicas del INAMHI (Anexo 3c). Los cuales se seleccionaron por características como: disponibilidad de datos y cercanía al área de estudio (Tabla 6).

Tabla 6. Estaciones meteorológicas de temperatura

Código	Nombre de la estación	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Distancia (km)
M001	Inguincho	0° 15' 30'' N	78° 44' 3'' W	3185	53,19
M003	Izobamba	0° 22' 00'' S	78° 33' 0'' W	3058	176,64
M025	La Concordia	0° 01' 29.2'' S	79° 22' 49'' W	379	163,36
M103	San Gabriel	0° 36' 15'' N	77° 49' 10'' W	2860	35,72
M105	Otavalo	0° 14' 16'' N	78° 15' 35'' W	2558	35,24
M107	Cahuasquí-FAO	0° 20' 41'' N	78° 12' 39'' W	2558	31,20

Fuente: INAMHI, 2017

Existió datos faltantes en 3 estaciones (Inguincho, Cahuasquí y Otavalo), el relleno de datos se realizó en diferentes años, cubriendo un total de 18 datos rellenados (Anexo 2e), lo cual representó el 1,67% del total de datos de temperatura media. La temperatura media que se obtuvo se utilizó en el diagrama ombrotérmico del área.

a) Relleno de datos

Se utilizó herramientas geoespaciales a través de ArcGIS 10.5 como es el método de interpolación puntual *Spline* que permitió tomar dos puntos consecutivos e ir trazando segmentos de curvas polinómicas, lo que conllevó a considerarlo ideal

para la interpolación de datos (Perugachi-Salamea, González-Narváez, Pambabay-Calero, García-Arévalo, Vargas-Ayala, Shigla-Cuji y Nath-Nieto, 2014).

b) Correlación de los datos de temperatura mensual de cada estación y la altura. Se realizó mediante la regresión lineal simple, a través de la correlación entre la altitud de las estaciones como variable independiente y la temperatura mensual como variable dependiente. Para lo cual se tomó en cuenta las estaciones con datos faltantes, el gráfico de dispersión de datos permitió determinar la correlación de las variables (Anexo 2f) mostrando un valor de R^2 superior a 0,8 lo que permitió definir como validez estadística (Pizarro, Gonzáles, Wittersshein, Saavedra y Soto, 1993).

c) Interpolación de datos de temperatura

Una vez completados los datos faltantes se aplicó la ecuación 2 para el cálculo de la temperatura determinada.

Ecuación 2. Ecuación de la temperatura determinada

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

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:

Ecuación 3. Ecuación de la temperatura real

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

Donde T_{Det} corresponde a la temperatura determinada, r valor de n_x de la ecuación, Z^{DEM} es el DEM del área de estudio, Z_{Det} valor de altitud referencial.

Para calcular la temperatura real se utilizó el DEM (Modelo Digital de Elevación) del área en estudio a una resolución espacial de 30 m de píxel.

d) Establecer rangos de susceptibilidad

Con los valores mensuales y con la utilización del software Excel, se calculó la media y la desviación estándar, posteriormente a la media se sumó dos desviaciones estándar, resultando el rango máximo, se procedió a sustraer de la media dos desviaciones estándar, encontrando el valor mínimo. Para los valores intermedios se sumó una desviación estándar al valor mínimo que se obtuvo y así sucesivamente hasta completar el número de rangos de susceptibilidad establecidos.

3. Evapotranspiración potencial (ETP)

El cálculo de la ETP se realizó por medio del método Thornthwaite, para el cual son necesarias dos variables principalmente: temperatura media (tm) y el índice de calor anual (I).

Ecuación 4. Ecuación de la evapotranspiración-Thornthwaite

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

Donde: e corresponde a la evapotranspiración mensual sin ajustar (mm/mes), tm es la temperatura media mensual (°C), I es el índice de calor anual y a corresponde a una variable establecida.

Pero antes de obtener la evapotranspiración (e) se realizó el cálculo de índice de calor anual (I) el cual se obtiene con la aplicación de la ecuación 5 y los *rasters* de la temperatura media (tm) con el uso del software ArcGIS 10.5.

Ecuación 5. Ecuación del índice de calor mensual

$$lj = \left(\frac{tm}{5}\right)^{1.514}$$

Donde: lj es el índice de calor mensual, tm temperatura media mensual en °C.

El índice de calor mensual es la base para el índice de calor anual.

$$I = \sum_1^{12} I$$

Continuamente se procedió al cálculo de la variable a , para lo cual se aplicó la ecuación 6 en función del índice de calor anual (I).

Ecuación 6. Ecuación del parámetro a

$$a = 0,000000675 \times I^3 - 0,0000771 \times I^2 + 0,01792 \times I + 0,49239$$

Para obtener el valor final de la evapotranspiración potencial (ETP) según Thornthwaite se aplicó la corrección de los valores mensuales de la evapotranspiración (e) por el factor de corrección.

Ecuación 7. Ecuación de la evapotranspiración potencial corregida

$$ETP_{THO} = e * L$$

Donde e es la evapotranspiración mensual, L factor de corrección, establecido para la latitud cero (Tabla 7).

Tabla 7. Factor de corrección

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Latitud 0°	1.03	0.93	1.03	1.00	1.03	1.00	1.03	1.03	1.00	1.03	1.00	1.03

Fuente: Pabón-Caicedo, Eslava-Ramírez y Gómez-Torres, (2001)

a) Establecer los rangos de susceptibilidad

La evapotranspiración potencial representa la pérdida de humedad de la cobertura vegetal (Soares y Batista, 2007; Coelho et al. 2016)), teniendo en cuenta esto. Para determinar los rangos, se utilizó el raster de evapotranspiración potencial anual, con la utilización del software ArcGIS 10.5 se calculó la desviación estándar y la media. Posteriormente a la media se le sumó una desviación estándar resultando el rango máximo, para encontrar el rango mínimo se procedió a sustraer de la media una desviación estándar. Tomando en cuenta la metodología de Coelho et al. (2016) se tiene 5 rangos de susceptibilidad y una vez calculados los valores máximo y mínimo, se procedió a calcular los valores intermedios, para lo cual se restó el mínimo del máximo y el resultado se lo dividió para 3 que son los valores faltantes, el valor que se obtuvo de la división es la constante que se debe ir sumando (se iniciará sumando al valor mínimo) hasta encontrar los tres rangos intermedios.

4. Déficit hídrico

El método utilizado para realizar el Balance Hídrico Climático (BHC) es el establecido por Thornthwaite y Mather (1955). Para el cálculo del déficit hídrico (DH) se tomó en cuenta las entradas de agua, que en este caso es la precipitación ($Prec$), y como salida la evapotranspiración Potencial (ETP).

Ecuación 8. Ecuación del déficit hídrico

$$DH = Prec - ETP$$

a) Establecer los rangos de susceptibilidad a incendios

El déficit hídrico está relacionado con los incendios como consecuencia de un periodo continuo o transitorio de sequía, de esta forma cuanto mayor es la deficiencia hídrica, mayor es la susceptibilidad a la generación de incendios (Diniz-Prudente, 2010). Para determinar los rangos, se utilizó el *raster* del déficit hídrico, con la utilización del software ArcGIS 10.5 se calculó la desviación estándar y la media. Posteriormente a la media se le sumó una desviación estándar resultando el rango máximo, para encontrar el rango mínimo se procedió a sustraer de la media una desviación estándar. Tomando en cuenta la metodología de Coelho et al. (2016) se obtuvo 5 rangos de susceptibilidad y una vez calculados los valores máximo y mínimo, se procedió a calcular los valores intermedios, para lo cual se restó el mínimo del máximo y el resultado se lo dividió para 3 que son los valores faltantes, el valor que se obtuvo de la división es el valor constante que se fue sumando (se inició sumando al valor mínimo) hasta encontrar los tres rangos intermedios.

3.5.1.2. Factores físicos

El DEM SRTM utilizado en el estudio se obtuvo del portal del USGS, el cual presentó una resolución de 30 m de píxel, el que fue utilizado para los factores biofísicos: pendientes, orientación del terreno y altitud.

1. Pendientes

Con el uso del DEM SRTM y herramientas de ArcGIS 10.5 se generó el mapa de pendientes, mediante la reclasificación determinando los rangos pertinentes y el

nivel de susceptibilidad a cada uno de estos. Los rangos se determinaron de acuerdo con la metodología de Coelho et al. (2016), donde se establecieron cinco categorías de susceptibilidad iniciando con pendientes del 15% para el nivel bajo, sumando un valor de 10 para establecer el siguiente nivel que corresponde a categoría moderada, así sucesivamente hasta el quinto nivel donde se tomó valores mayores o iguales al 45,01% de pendiente, que son considerados en categoría extrema.

2. Orientación del terreno

Mediante el software ArcGIS 10.5, se clasificó la orientación del terreno en 5 rangos de susceptibilidad, tomando como referencia el histórico de incendios (Anexo 2g; 3d).

3. Altitud

A través del software ArcGIS 10.5, se estableció 5 rangos de susceptibilidad, para definir los rangos de la altitud se realizó a través de ArcGIS 10.5 al igual que la desviación estándar. Para encontrar el mínimo se restó de la media dos desviaciones estándar y para el máximo se sumó la misma cantidad. Luego se obtuvo los rangos intermedios sumando una desviación estándar al valor mínimo, hasta obtener el rango máximo.

4. Cercanía a las vías

Para realizar el mapa de vías se utilizó la capa a escala 250000, que fue información proporcionada por el SNI (Sistema Nacional de Información) del 2011. Para determinar la susceptibilidad de proximidades de vías se tomó en cuenta que a mayor distancia de las vías menor probabilidad de incendios (Ribeiro et al. 2007). Se obtuvo mediante geoprosesamientos, con la base del históricos de incendios ocurridos dentro del territorio (Anexo 2g; 3d), los que demuestran que los incendios dentro del cantón se producen a una cercanía a las vías mínima de 6 metros. Siguiendo la metodología de Coelho et al. (2016) se estableció las categorías, para lo cual se sumó un valor de 20 (m) al valor mínimo (6m), hasta obtener los cinco niveles, siendo distancias mayores a 66 m la quinta categoría de susceptibilidad baja.

5. Uso y cobertura del suelo

Se siguieron los siguientes pasos metodológicos para el procesamiento de la imagen:

a) Georreferenciar coberturas en campo

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

Tabla 8. Cobertura discriminada

Categorías de uso de suelo y cobertura vegetal
Bosque
Páramo
Vegetación Arbustiva
Cuerpo de agua
Frutales
Cultivos
Zona Urbana
Pastizales

b) Clasificación de la imagen

Se usó una imagen Landsat 8 del año 2017, con la que se realizó la clasificación supervisada, la cual Arango, Branch y Botero (2005) la definen como una forma de aprendizaje en la cual se agrupa conjuntos de píxeles, la que se realizó a través del software ArcGIS 10.5 el cual permite procesar y analizar imágenes multiespectrales de datos de sensores remotos (Sanz, 2002).

c) Validación de la clasificación supervisada de la imagen

Una vez realizada la clasificación supervisada de la imagen, se validó su concordancia por medio de la matriz de confusión la cual se construye a partir de una imagen satelital con N celdillas clasificadas en M clases, sobre las columnas se ordenan las clases reales (puntos de control en campo), sobre las filas las unidades cartográficas (clases del mapa). El índice que se tomó como referencia para la validación de la clasificación fue el Coeficiente Kappa cuyos valores varían entre 0

y 1 (Tabla 9), representando el valor de 1 como casi perfecta concordancia (Sánchez-Muñoz, 2016).

Tabla 9. Valoración del coeficiente de Kappa

K	Grado de concordancia
<0	Pobre
0,01 – 0,2	Leve
0,21 - 0,4	Aceptable
0,41 – 0,6	Moderada
0,61 – 0,8	Considerable
0,81 – 1	Casi perfecta

Fuente: Landis y Koch (1977)

d) Establecer 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.

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

La entrevista realizada a los expertos se utilizó como base para determinar la ecuación la que muestra la susceptibilidad de los 9 factores biofísicos en el área de estudio, para el cumplimiento de este objetivo se siguió los siguientes pasos metodológicos:

a) Tabulación de datos

Se aplicó las medidas de tendencia central, las cuales buscan describir un valor típico o representativo del conjunto 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). Con lo cual se categorizó cada uno de los factores biofísicos, para a continuación ponderarlos.

b) 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). Para establecer los valores de importancia a cada uno de los factores se llevó a cabo usando una escala de comparación apareada (Tabla 10).

Tabla 10. Comparaciones apareadas

	Cob.Veg	Pend	Prec	Temp	Orientación del Terreno	ETP	Altitud	Déficit hídrico	Cercanía a vías
Cob. Veg	1	5,00	3	2	5	1	5,00	1	2
Pend	0,2	1	0,2	1	1	0,5	2	0,2	2
Prec	5	5	1	3	5	1	5	1	5
Temp	0,5	1	0,3	1	1	0,5	3	0,33	1
Orientación del Terreno	0,2	1	0,2	1	1	0,2	1	0,2	1
ETP	1	2	1	2	5	1	5	1	5
Altitud	0,2	0,5	0,2	0,33	1	0,2	1	1	1
Déficit hídrico	1	5	1	3	5	1	1	1	5
Cercanía a las vías	0,5	0,5	0,2	1	1	0,2	1	0,2	1
TOTAL	9,60	21,00	7,10	14,33	25,00	5,60	24,00	5,93	23,00

Cob. Veg: cobertura vegetal; Pend: Pendientes; Prec: Precipitación; Temp: Temperatura; DF: Déficit hídrico

e) Aplicación de herramientas geoespaciales

La aplicación de la ecuación de susceptibilidad en el software ArcGIS 10.5 se realizó mediante la suma de 9 rasters de resolución 50 m, reclasificados de cada uno de los factores biofísicos, lo que permitió obtener el mapa de susceptibilidad para el cantón Pimampiro, clasificado en cinco niveles (bajo, moderado, alto, muy alto y extremo).

f) Calibración y validación del modelo

La calibración y validación del modelo se realizó con los focos de calor, los cuales fueron descargados desde el portal del INPE (Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales) de Brasil <http://www.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>, institución creada en 1960 la cual adquiere información de los satélites CBERS-4, TERRA, AQUA, NOAAs 15, METOp-B, GOES-13 eS-NPP, LANDSAT-7 e8, RESOURCESAT-2, METOp-B e S-NPP.

Los focos de calor se reportan para Ecuador desde el año 2000, mismo año que fueron usados para el cantón Pimampiro, reportándose para esta área un total de 140 focos hasta el año 2017, con los que se buscó verificar la coincidencia con el modelo obtenido para el cantón y las zonas de susceptibilidad del territorio.

g) Prueba estadística

Para comprobar estadísticamente que el modelo es aceptable se aplicó la tabla de contingencia y prueba del Chi cuadrado (X^2) la cual establece la relación entre dos variables: los focos de calor y el modelo obtenido. Estas se realizaron en el software IBM SPSS Statistics.

Para lo que se plantearon las siguientes hipótesis:

Ho= Existen diferencias significativas entre el modelo obtenido y los focos de calor (no están asociadas)

Ha= Existen semejanzas entre el modelo obtenido y los focos de calor (están asociadas)

Al realizar la tabla de contingencia y la prueba del chi cuadrado se acepta o rechaza cualquiera de las hipótesis; nula o alternativa, dependiendo el nivel de significancia que debe mostrar el X^2 de Pearson menor de 5%, para aceptar la hipótesis alternativa y afirmar que las variables muestran asociación entre ellas, se acepta la hipótesis nula si el nivel de significancia supera el 5%.

3.5.3. Fase III. Diseñar estrategias de gestión de riesgo de incendios de cobertura vegetal

Para el diseño y planteamiento de las estrategias se siguió los siguientes pasos metodológicos:

a) Análisis FODA

Teniendo en cuenta la revisión bibliográfica se plantearon las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas del cantón Pimampiro y en base a ellas las estrategias siguiendo la metodología propuesta por Posso (2011).

b) Planteamiento y diseño de estrategias

Las estrategias que se plantearon fueron en base al círculo de gestión de riesgos, la que busca generar conciencia y cultura preventiva en las acciones de cada una de las fases (Sánchez, 2010). Las estrategias planteadas pretenden establecer actividades de: prevención, respuesta, mitigación y recuperación de la presencia de riesgos en un área determinada.

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. 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 tienen ponderaciones (Tabla 11), ubicándolos de mayor (1) a menor (9) influencia.

Los factores para el área de estudio coinciden con la investigación desarrollada por Coelho et al. (2016), con diversa ponderación.

Tabla 11. Factores que influyen en la ocurrencia de 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

A continuación, se describen los factores biofísicos: climáticos y físicos de acuerdo con las características que del área de estudio:

4.1.1. Factores climáticos

Los factores climáticos que se adaptaron a las características del área de estudio son: precipitación, temperatura, evapotranspiración potencial y déficit hídrico.

1. Precipitación media anual

Conociendo la precipitación del área de estudio se estableció los rangos de susceptibilidad a incendios (Figura 8) considerando que es uno de los factores climáticos que influye en la presencia de humedad de la vegetación, propiciando las condiciones óptimas para generarse un incendio debido a la escasez de estas

(Ibarra-Montoya y Huera Martínez, 2017). En este sentido los valores de precipitación más bajos se presentaron al norte del cantón, el cual al poseer un clima ecuatorial mesotérmico (EMSH) las precipitaciones son escasas (Pourrut, 1983), múltiples estudios desarrollados en Latinoamérica coinciden que, a menor presencia de lluvias, mayor es la probabilidad de ocurrir un incendio (Pabón-Caicedo, 2011; Muñoz-Robles y Santana -Arias, 2018; Coelho et al. 2016), por su influencia en factores como la vegetación y temperatura tornando más susceptible a incendios a las áreas (Prieto, Agostino, Bastidas, Borghese y Colin, 2009), es así que la parte sur del cantón presenta susceptibilidad baja (15%) porque las precipitaciones en esta área está sobre los 800 mm de esta forma se combinan la humedad del suelo y la vegetación disminuyendo la probabilidad de ignición.

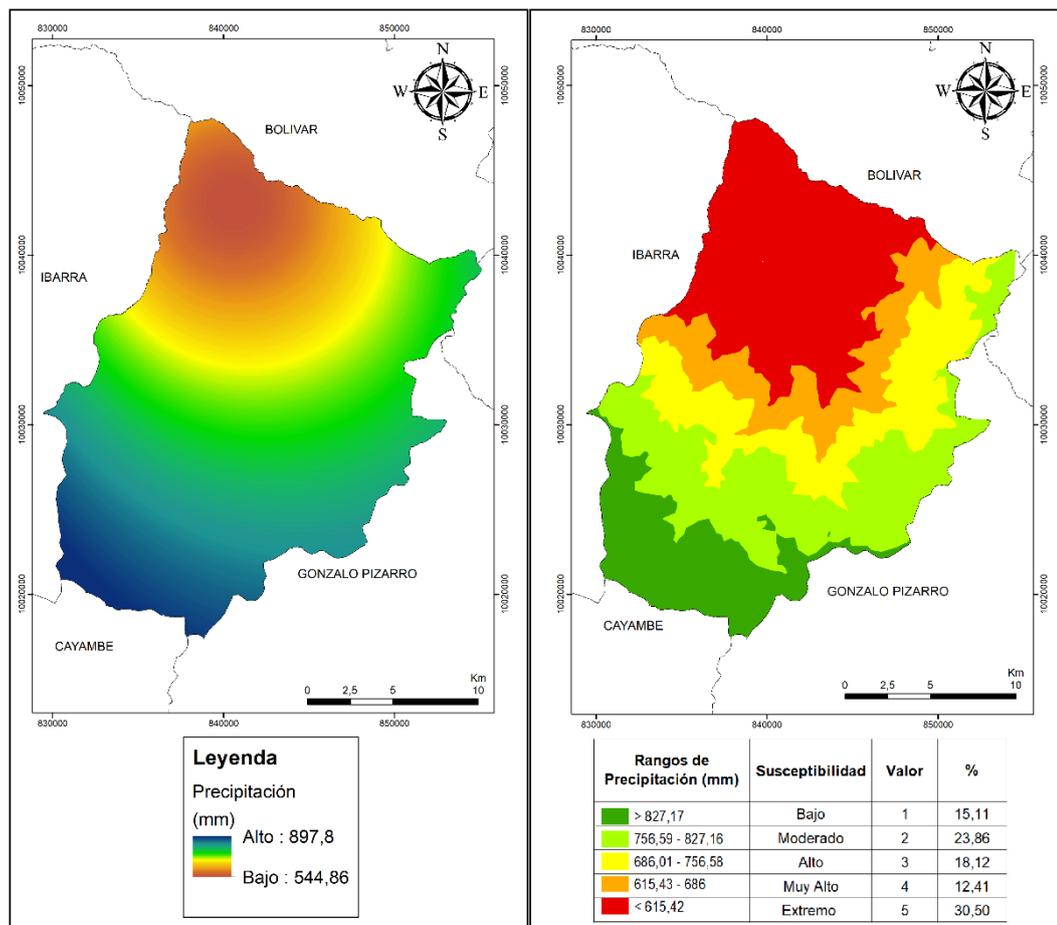


Figura 8. Precipitación anual y rangos de susceptibilidad a incendios del cantón Pimampiro

2. Temperatura media anual

Influye en el comportamiento del fuego indirectamente, sobre factores que controlan la propagación, como el viento, humedad del combustible y estabilidad atmosférica (Soares y Batista, 2007). En este sentido la susceptibilidad extrema en el cantón cubre alrededor del 38% de superficie, la que se presenta al norte del área de estudio, y susceptibilidad baja al sur (44%) (Figura 9), los factores influyentes son las condiciones determinadas por el clima ecuatorial mesotérmico semi húmedo (EMSH), donde la temperatura de acuerdo a la humedad y exposición al sol pueden alcanzar hasta los 25°C Pourrut (1986), y la cobertura vegetal al sur del cantón es bosque y páramo los que Jáuregui, (2005) considera que son ecosistemas que regulan la atmosfera y el clima a diferencia del norte donde están las áreas de desarrollo agrícola y pecuario (36%) y el fuego es utilizado para la limpieza de terrenos, en este contexto Yebra, De Santis y Chuvieco (2005) mencionan que los incendios está condicionados por factor de ignición antrópico.

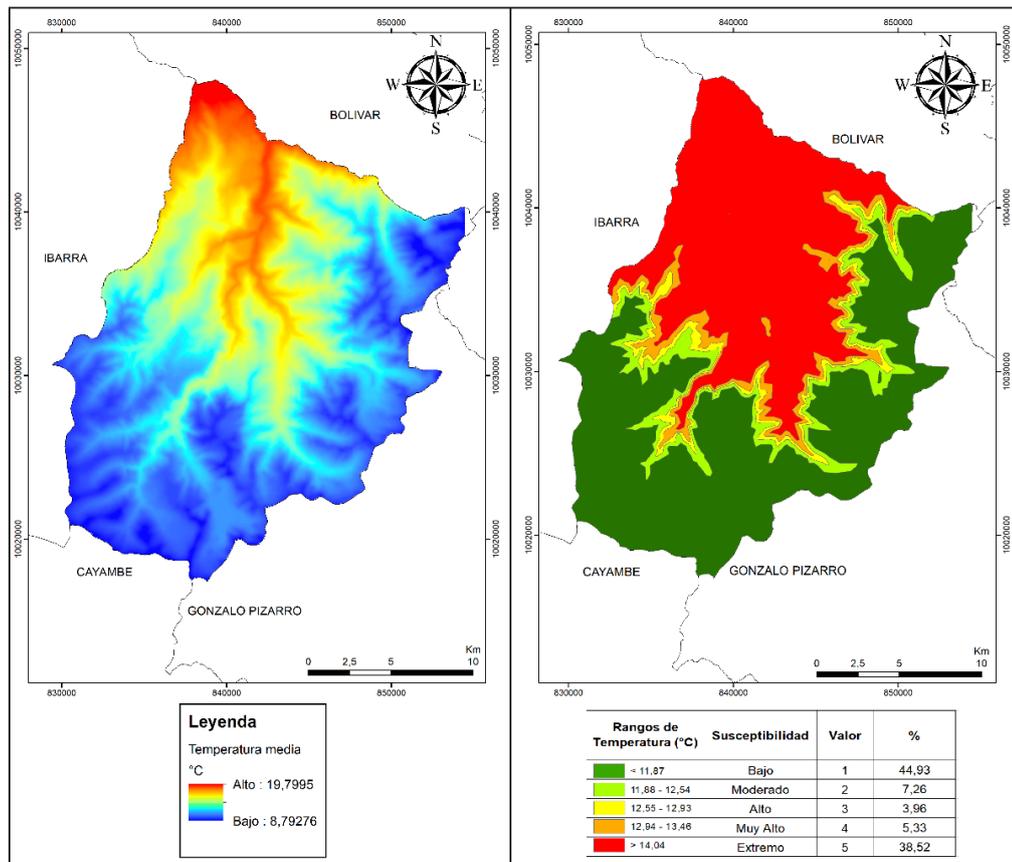


Figura 9. Temperatura media y rangos de susceptibilidad a incendios.

El diagrama ombrotérmico muestra que el área de estudio presenta dos épocas lluviosas (enero-mayo y octubre-diciembre) y una época seca (junio-septiembre) (Figura 10). Este se realizó con la temperatura y precipitación media del cantón, de 30 años (1986 hasta 2015).

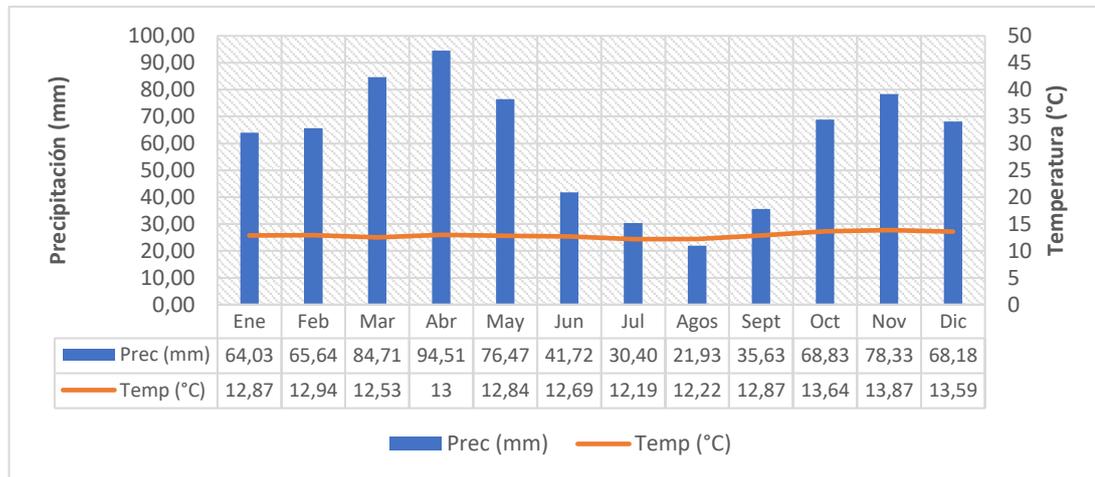


Figura 10. Diagrama ombrotérmico 1986-2015 del cantón Pimampiro

Para el cantón Pimampiro la época seca es en donde sucede el mayor número de incendios de la cobertura vegetal, siendo los meses de estiaje, donde se presentan mayor número de registros de incendios (Figura 11) lo cual va a la par con el histórico de incendios (2014-2017) (Anexo 2g y 3d). Existe una fuerte relación entre las épocas de bajas precipitaciones y la ocurrencia de incendios, debido a que las condiciones climáticas determinan la época de ocurrencia de incendios (altas temperaturas, bajas precipitaciones) la vegetación determina la intensidad de estos (Jiménez, Urengo y Toro, 2016), en épocas prolongadas de sequía cede humedad al ambiente, presentando condiciones extremas favorables para la ocurrencia de incendios (Soares, 1985; Rusticucci y Barrucand, 2004).

A diferencia de las épocas lluviosas porque el contenido de humedad del suelo y la vegetación reduce el potencial de ignición, esto ocasiona que los incendios sean inversamente proporcionales a las épocas de lluvia (Miller y Urban, 2000; Dirmeyer, Schlosser y Brubaker, 2009; Pabón-Caicedo, 2011), es la razón por la cual el mayor número de registro de incendios se da en época de sequía.

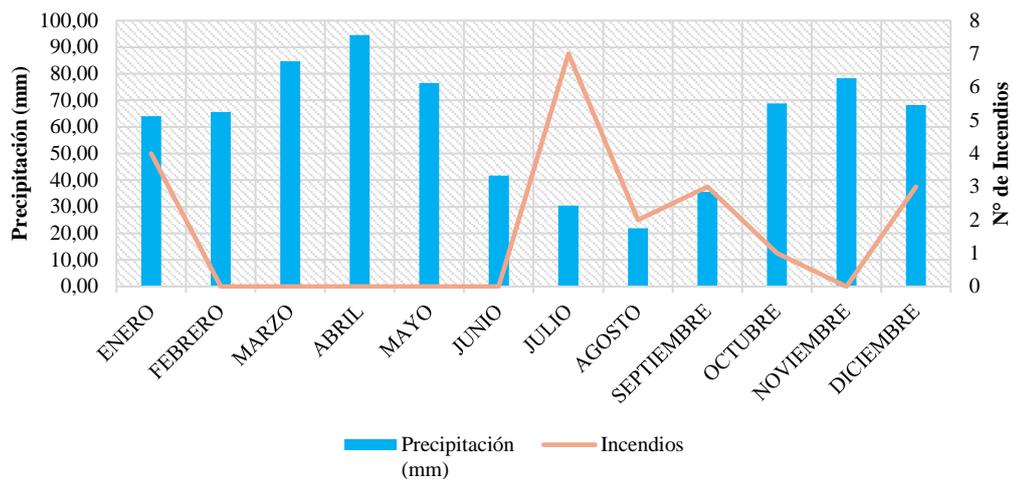


Figura 11. Relación entre precipitación y número de incendios del cantón Pimampiro

3. Evapotranspiración potencial (ETP)

La evapotranspiración potencial (ETP) influye en la generación de incendios debido a que es la pérdida de humedad de la vegetación (Camargo y Camargo, 2000; Batista, 2000; Oliveira; 2002; Ayoade, 2002; Diniz-Prudente, 2010; Coelho et al. 2016), los niveles de susceptibilidad aumentan al incrementar la evapotranspiración, porque una vegetación seca es más propensa a incendiarse (Yaguez y Albán, 2012; Treviño, Verástegui, Jiménez y Aguirre, 2005; Jiménez, Urrego y Toro, 2016). En este sentido la susceptibilidad en el área de estudio muestra pérdidas de humedad que van desde los 572 a 875 mm/anuales (Figura 12).

Para el cantón la susceptibilidad entre alta a extrema cubre 25,98% de la superficie, concentrada al norte de Pimampiro, este factor está influenciado por la temperatura y precipitación porque en el sur donde la evapotranspiración disminuye, la precipitación aumenta y la temperatura disminuye, es decir estos determinan la ocurrencia de incendios lo cual influye en la pérdida de humedad de la cobertura vegetal, es decir mientras mayor es la temperatura y evapotranspiración, y menor la precipitación la susceptibilidad para incendiarse de un área incrementa (Miller y Urban, 2000; Perez-Verdín, Márquez-Linares, Cortés-Ortiz y Salmerón-Macías, 2013; Coelho et al. 2016).

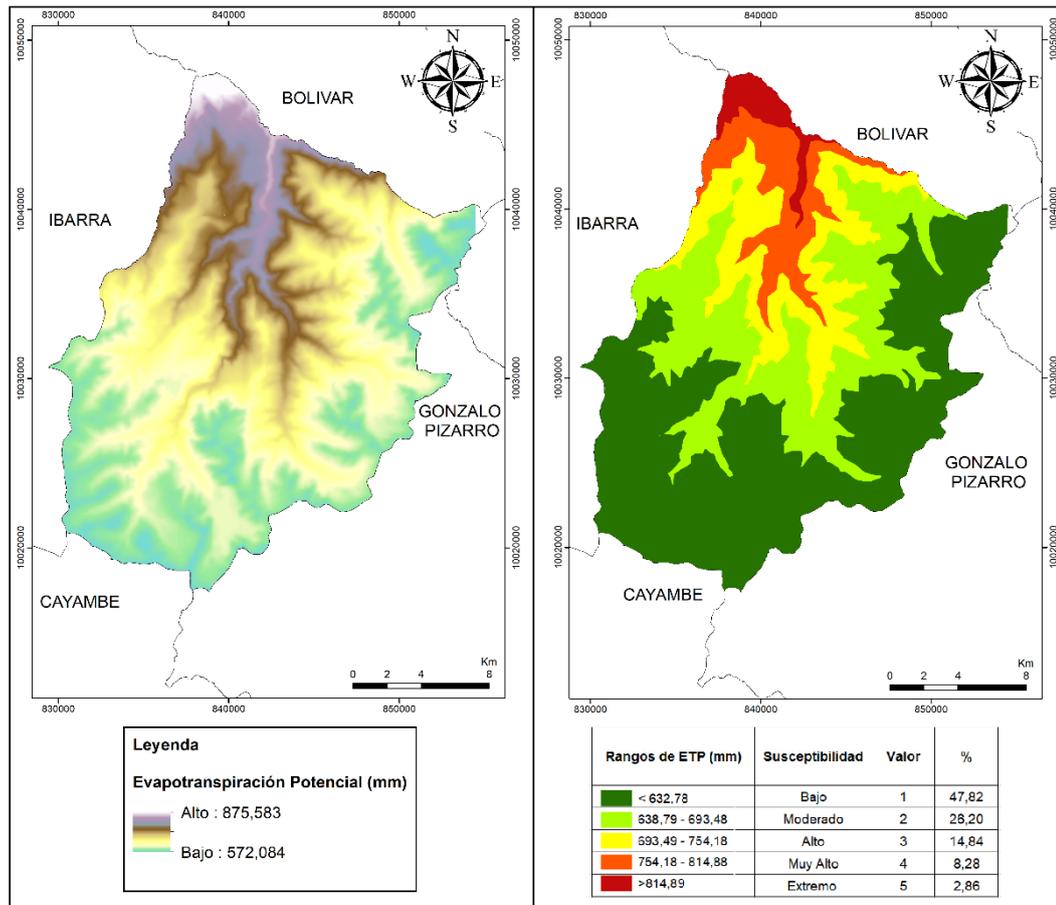


Figura 12. Evapotranspiración potencial, y rangos de susceptibilidad a incendios

4. Déficit hídrico

El déficit hídrico dentro del cantón Pimampiro oscila entre -289 a 315 mm (Figura 13), la pérdida de humedad de la vegetación se concentra en la parte norte del cantón, donde las condiciones climáticas influenciadas por la temperatura, precipitación favorecen la pérdida de humedad de la vegetación (evapotranspiración potencial) incrementando el déficit hídrico (Rusticucci y Barrucand, 2004), investigaciones como la de Batista (2000) y Coelho et al. 2016, coinciden en que el fuego se propaga con mayor facilidad donde el déficit hídrico es mayor, por las condiciones de la vegetación.

En este sentido, los rangos de susceptibilidad entre alta a extrema debido al déficit hídrico en el cantón, ocupa el 61% de la superficie, es decir la pérdida de humedad de la vegetación es mayor a las precipitaciones que se presentan en esta área y al existir mayor déficit hídrico, incrementa la susceptibilidad a incendios (Batista,

2000; Oliveira, 2002; Diniz-Prudente, 2010; Pabón-Caicedo, 2010) porque el material seco absorbe humedad de una atmósfera húmeda y libera agua cuando el aire está seco cuando existe desequilibrio entre el ambiente y la vegetación, se produce el déficit hídrico, y es donde incrementa la susceptibilidad de la vegetación a incendiarse (Yeguez y Alban, 2012).

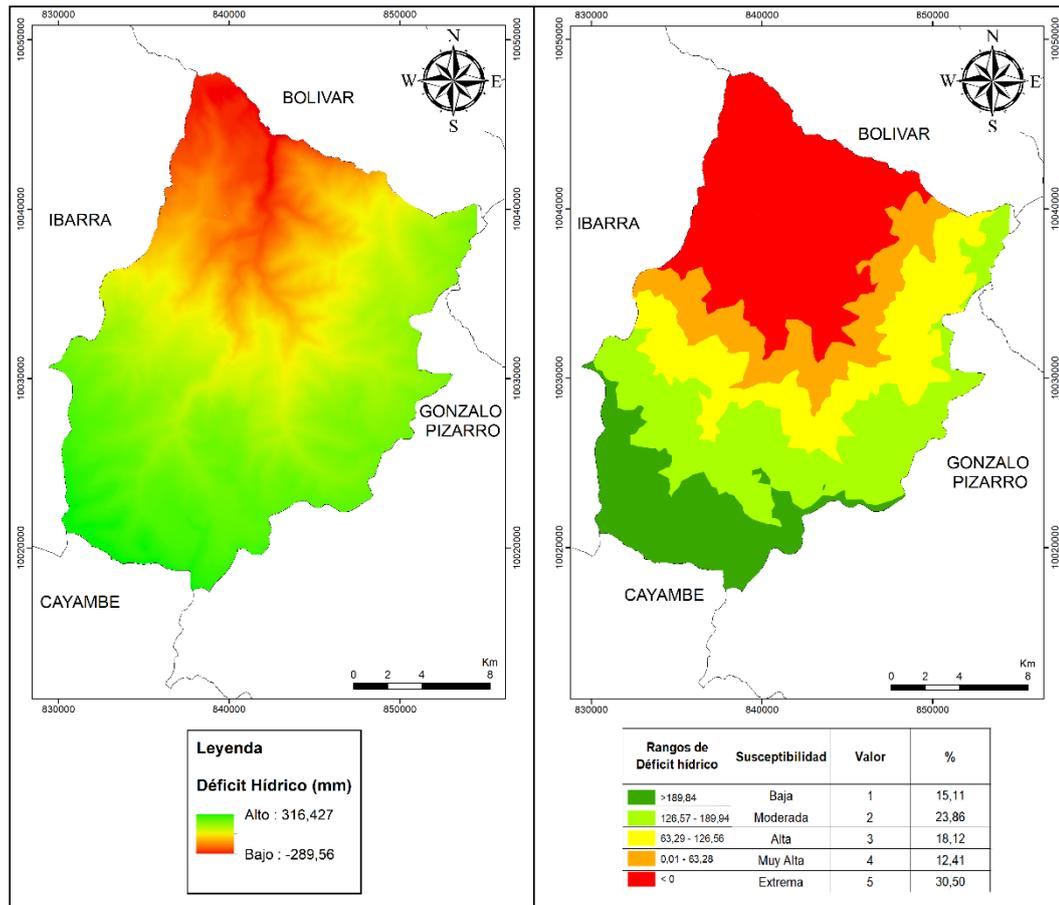


Figura 13. Déficit hídrico cantón y rangos de susceptibilidad a incendios del cantón Pimampiro

Factores climáticos como la precipitación, temperatura afectan la capacidad que tiene la cobertura vegetal para retener vapor de agua (evapotranspiración), cuando la temperatura aumenta la humedad generalmente decrece (déficit hídrico) y de este modo ayuda a bajar el contenido de humedad de los combustibles, aumentando el riesgo de incendios (Batista, 2000; Coelho et al. 2016).

4.1.2. Factores físicos

Los factores físicos que se describen a continuación son: pendientes, orientación del terreno, altitud, vías y cobertura vegetal.

1. Pendientes

Las pendientes son un factor biofísico que influye en los incendios, debido a la facilidad de propagación que generan las pendientes, además, que este factor influye en la cantidad de calor que recibe la vegetación en la parte alta al momento de generarse un incendio es por esa razón que se acelera la propagación en terreno escarpado (Soares y Batista, 2007; Jiménez, Urrego y Toro, 2016; Coelho et al. 2016).

La clasificación de los rangos de susceptibilidad y ponderación que se le asignó a las pendientes en el área de estudio se tomó en cuenta que, al incrementar el porcentaje de inclinación del terreno, la susceptibilidad también aumenta por la relación directa que tiene la velocidad de propagación de los incendios, debido a que los terrenos inclinados actúan como una chimenea transportando el calor y las llamas ladera arriba (Batista, 2000; Oliveira, 2002). En este sentido el cantón al presenta 44,7% de superficie con pendientes mayores a 45% de inclinación, la susceptibilidad entre alta a extrema debido a este factor cubre 76,5% de superficie (Figura 14) de acuerdo al Plan de Ordenamiento y Desarrollo Territorial, el cantón presenta geografía irregular, lo que permite relacionar con que Diniz-Prudente, (2010) y Coelho et al. (2016) mencionan que dependiendo las pendientes de un territorio y la velocidad del viento, la pendiente puede ser el factor más importante que el viento en la determinación de la tasa de propagación del fuego. Porque el desarrollo del fuego se da con mayor velocidad en las pendientes que en los terrenos planos, el movimiento de la columna de convección y la transmisión del calor en las pendientes es más lenta en una superficie plana. (Jiménez, Urrego y Toro, 2016; Aiji, Loghin, Vinod y Jacob, 2017).

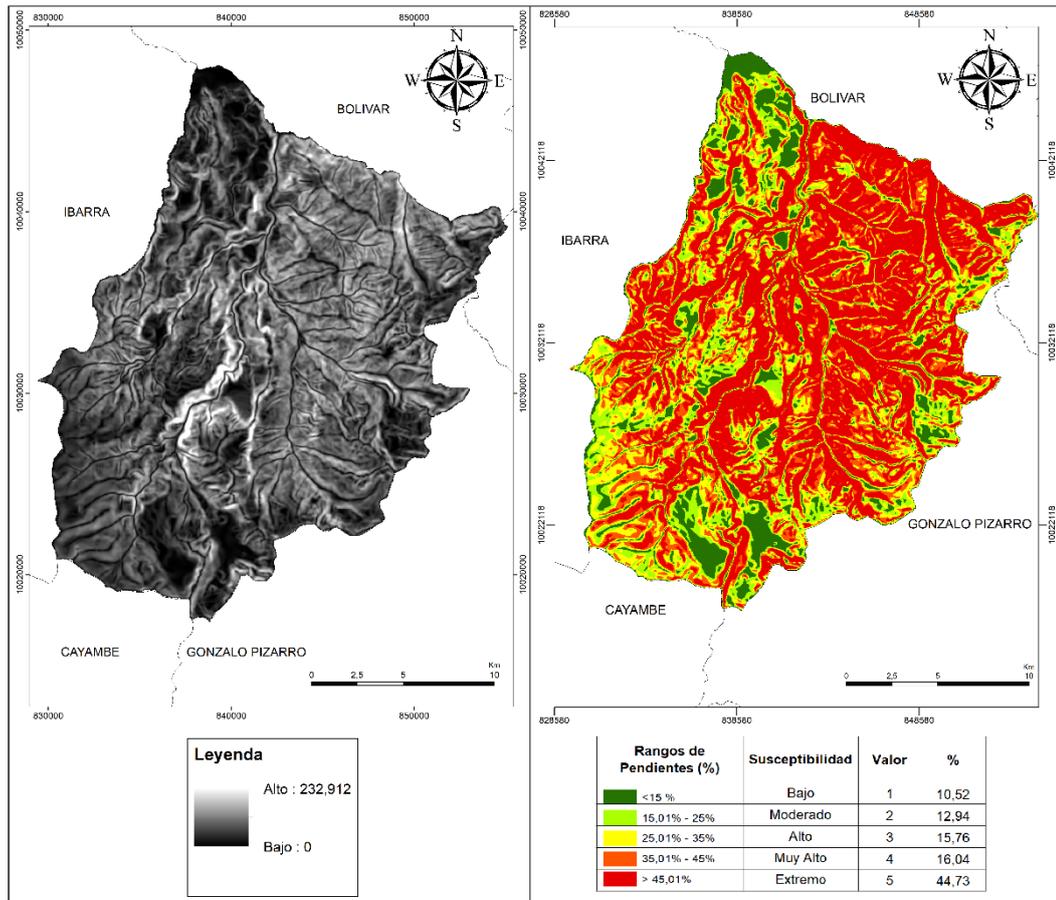


Figura 14. Clasificación de la susceptibilidad de las pendientes a incendios del cantón Pimampiro

2. Orientación del terreno

La orientación del terreno es un factor biofísico que en el área de estudio interviene en la generación de incendios por la influencia en la intensidad de la radiación solar incidente sobre el terreno, teniendo efecto sobre la humedad del aire y del material combustible (Oliveira, 2002). La clasificación de la susceptibilidad del territorio se estableció dependiendo del número de incendios ocurridos en cada una de las orientaciones por lo que el 76% de incendios ocurridos desde el año 2014 hasta el 2017 se desarrollaron en las orientaciones este, noreste, sureste, oeste, suroeste y noroeste ocupando la susceptibilidad entre alta a extrema un 45,69% del cantón (Figura 15), estudios como de Soares y Batista (2007) permite corroborar que calentamiento de las orientaciones este, norte y oeste, son las que más radiación solar reciben en el hemisferio sur y coincidiendo con Coelho et al. (2016) que

determinó que la orientación norte presenta extrema susceptibilidad a incendios en su estudio desarrollado en Brasil.

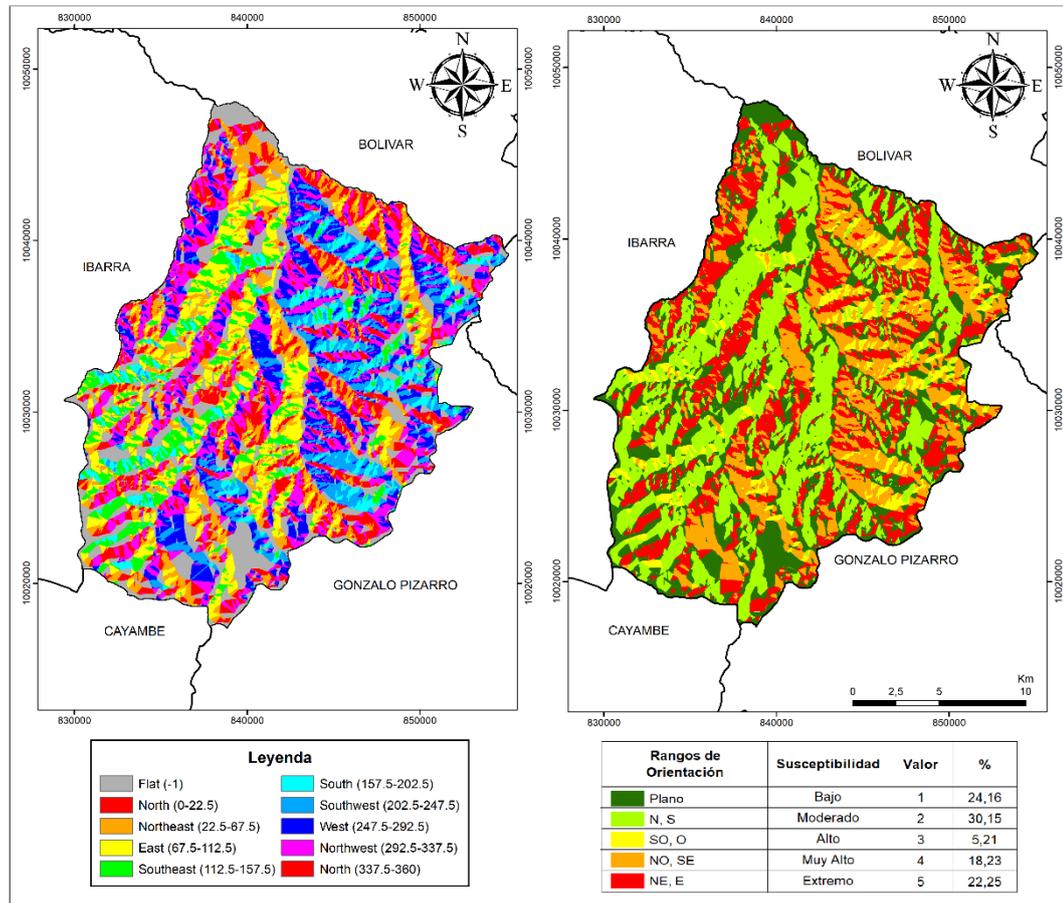


Figura 15. Orientación del terreno y rangos de susceptibilidad a incendios del cantón Pimampiro

3. Altitud

El factor biofísico altitud en el cantón, muestra que la parte baja presenta mayor susceptibilidad a incendios investigaciones como la de Oliveira (2002) y Diniz-Prudente (2010) aseguran que la altitud sobre el nivel del mar regula las condiciones climáticas del territorio, debido a que las altas elevaciones presentan climas fríos y húmedos y en altitudes bajas la temperatura aumenta y las precipitaciones disminuyen. Afirmación que coincide con la esta investigación, porque para el cantón Pimampiro la altitud menor a 2140 msnm muestra susceptibilidad extrema a incendios ocupando un 0,6% de superficie, debido a que el cantón está dominado

por altitudes mayores a los 3000msnm (Figura 16), donde las precipitaciones llegan hasta los 800 mm, siendo un condicionante del estado de la vegetación.

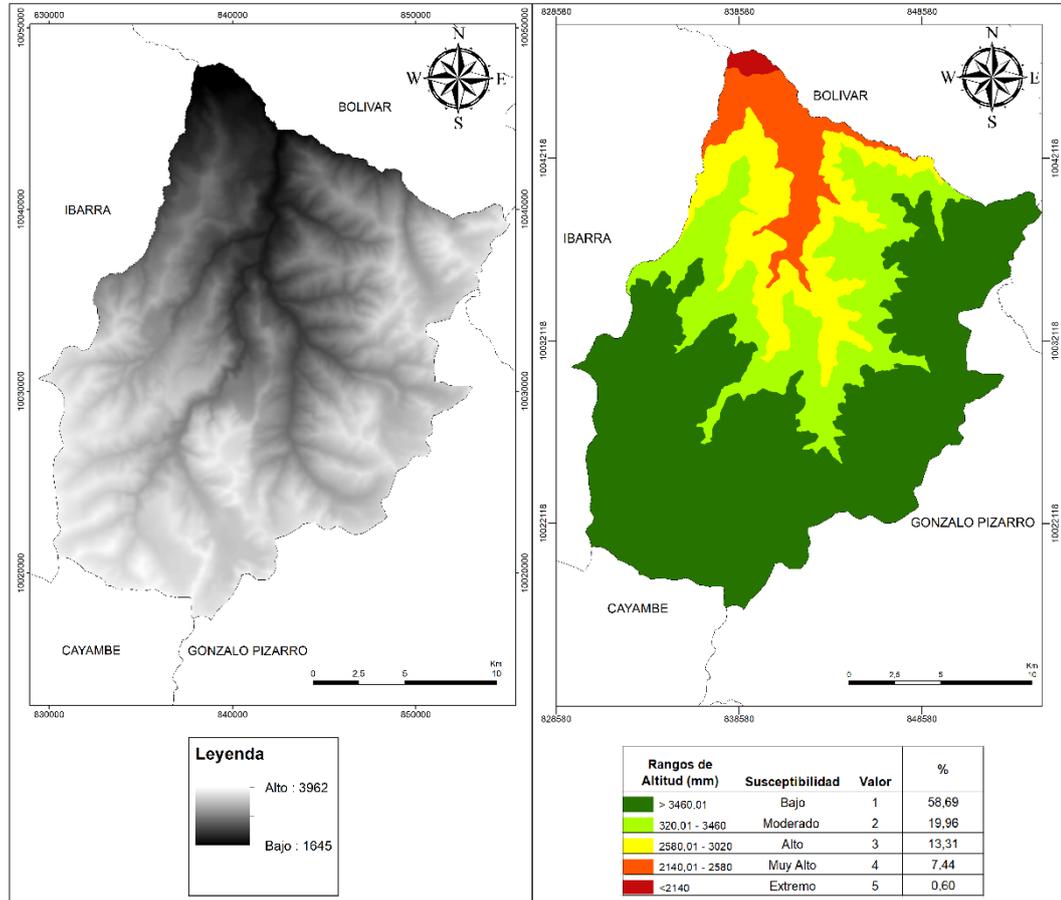


Figura 16. Altitud y rangos de susceptibilidad de la altitud a incendios del cantón Pimampiro

4. 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 17), investigaciones desarrolladas por Pabón-Caicedo (2011); Coelho et al. (2016) mencionan que el mayor porcentaje de incendios se asocian a lugares donde existe mayor desarrollo de actividades antrópicas, la proximidad de carreteras y núcleos urbanos, factores que deben ser considerados factores preponderantes al riesgo de incendio en áreas forestales (Yang, He, Shirfley y Gustafson, 2007; Tian, Zhao, Shu y Wang, 2013)

En este sentido al cantón se clasificó la proximidad y el nivel de susceptibilidad de acuerdo con las características del área de estudio, el cual presenta susceptibilidad baja (91%) debido al poco desarrollo vial que existe en la zona. La susceptibilidad entre alta a extrema ocupa el 6% de la superficie, porcentaje concentrado en las zonas pobladas o desarrollo de actividades humanas.

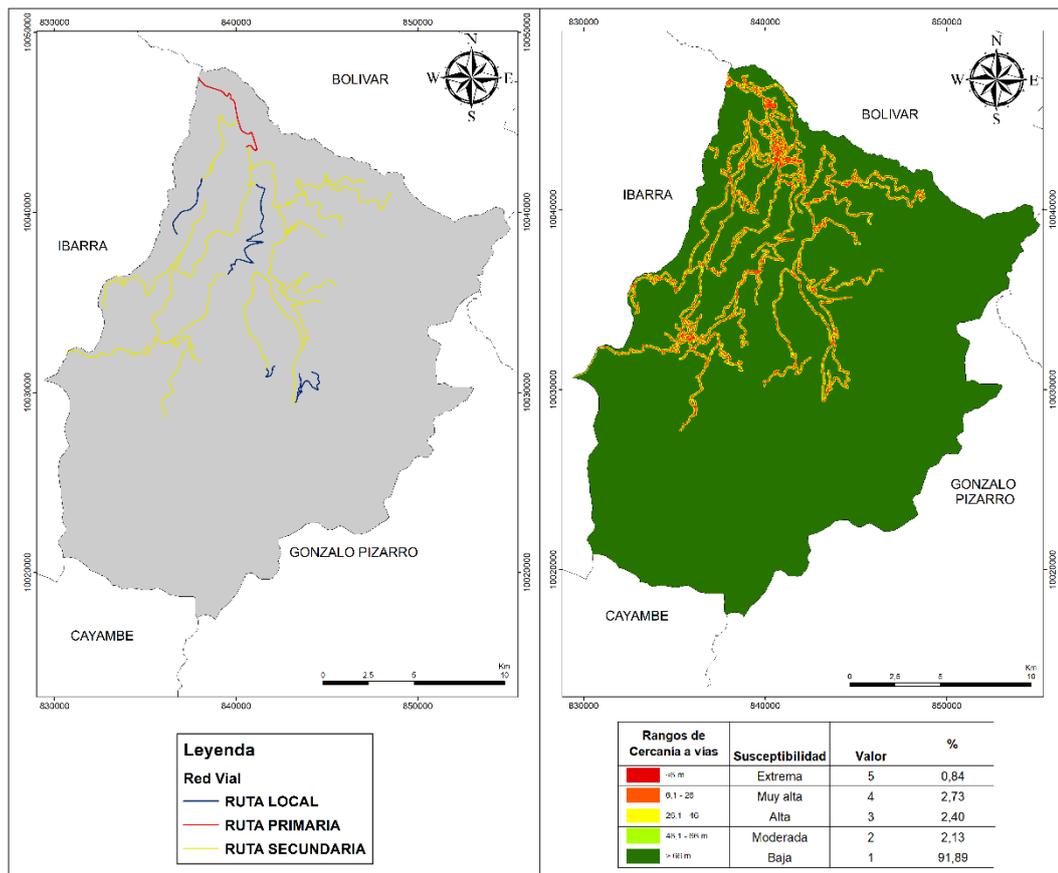


Figura 17. Vías y rangos de susceptibilidad a incendios del cantón Pimampiro.

5. Cobertura vegetal

Como resultado de la clasificación de la imagen se obtuvo un valor del coeficiente de Kappa de 0,7 mostrando una concordancia considerable de la clasificación de la imagen (Figura 18).

La cobertura vegetal y uso del suelo es un factor determinante en la generación de incendios, en este sentido Estacio y Narváez, (2012); Pabón-Caicedo (2011); Yeguez y Albán (2012); Jiménez, Urrego y Toro, (2016); Coelho et al. (2016);

Muñoz-Robles y Santana-Arias (2018) en sus investigaciones aseguran que la cobertura vegetal es el material combustible para la ocurrencia de incendios y se clasifica en función del potencial para la ocurrencia y propagación de incendios, de acuerdo con la combustibilidad de las especies existentes y las características, tales como composición, etapa de desarrollo y tipo de manejo.

El contenido de la humedad es la propiedad más importante de la vegetación porque controla la inflamabilidad, la cual es el reflejo del clima y de las condiciones atmosféricas y puede variar rápidamente, los combustibles vivos y muertos tienen diferentes mecanismos de retención de agua y diferentes respuestas a las variaciones del clima (Diniz-Prudente, 2010). De este modo, el material muerto es más seco y responde más rápidamente a las variaciones meteorológicas, siendo el principal responsable de la propagación de los incendios (Soares y Batista, 2007).

El factor biofísico cobertura vegetal y uso de suelo del cantón, muestra que la cobertura de páramo, cultivos, pastizales, bosque, vegetación arbustiva y frutales presenta entre extrema y alta susceptibilidad ocupando un 63,7% de la superficie del cantón (Figura 18). Este sentido en el cantón se conjugan dos factores determinantes en este tipo de eventos, el factor antrópico por el uso del fuego en el desarrollo de la agricultura, el que se usa generalmente en regiones tropicales como parte de la cultura (Jiménez, Urrego y Toro, 2016) y los factores climáticos los cuales determinan las condiciones de la vegetación, siendo más susceptible en épocas de bajas precipitaciones, debido al incremento de la evapotranspiración y el déficit hídrico.

En este contexto el 30% de la superficie de Pimampiro está dominada por cultivos, mostrando que alrededor del 50% de la población se dedica a actividades agrícolas y ganaderas principalmente, coincidiendo con Estacio y Narváez, (2012); Pérez-Verdín, Márquez-Linares, Cortés-Ortiz y Salmerón-Macías (2013) que aseguran que entre las causas principales que generan incendios en su mayoría tienen relación al cambio del uso del suelo.

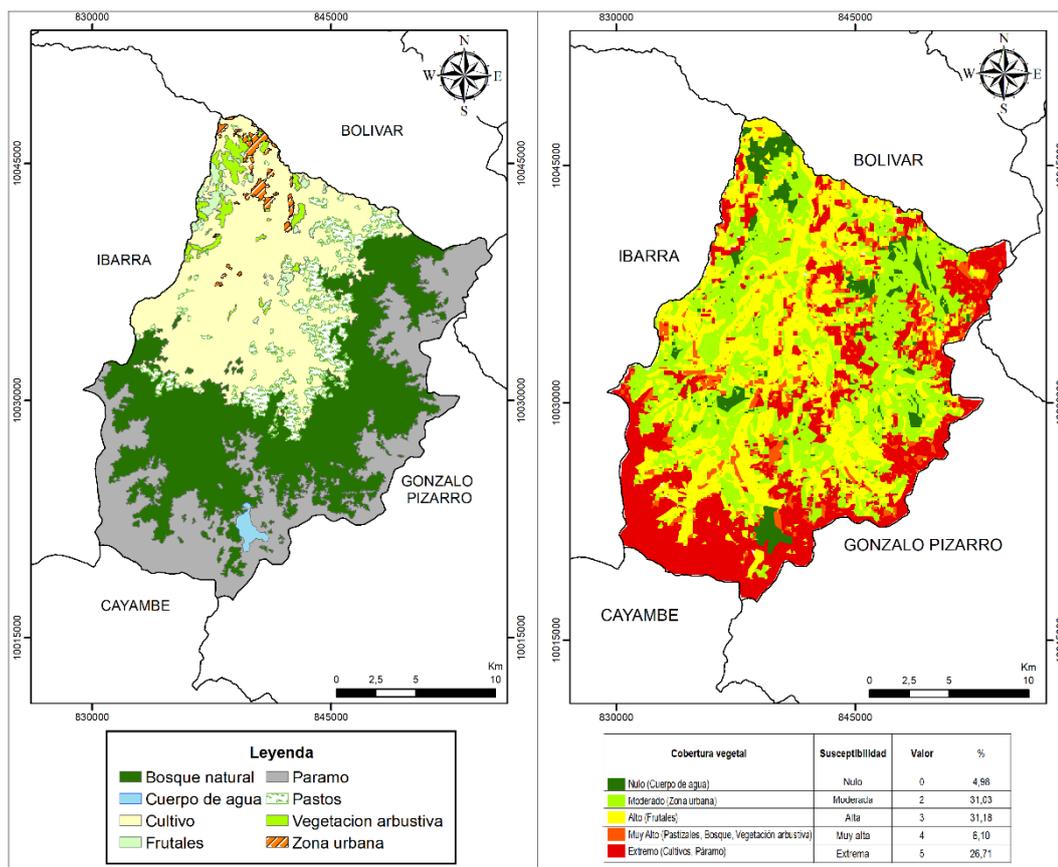


Figura 18. Cobertura de suelo y asignación del nivel de susceptibilidad a incendios

En este sentido diversas investigaciones han mostrado que factores topográficos, climáticos y físicos influyen en la susceptibilidad de las superficies a incendiarse; lo cual depende del ecosistema en estudio y las condiciones climáticas que dominan el área.

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

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

La ponderación de los factores biofísicos que influyen en la generación de incendios dentro del cantón de menor a mayor influencia (Tabla 12), de acuerdo con la metodología desarrollada por Saaty (1992) muestra que la precipitación tiene mayor prioridad, importancia e influencia en la ocurrencia de incendios (Treviño, Verástegui, Jiménez y Aguirre, 2015; Jiménez, Urrego y Toro, 2016). Los valores siguientes de cada uno de los factores biofísicos van disminuyendo su influencia (valores) a partir del factor precipitación, resaltando la jerarquía e importancia de uno sobre otro (Jiménez, 2012).

Tabla 12. Ponderación de los factores biofísicos influyentes en la ignición y propagación de incendios

Factores biofísicos	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

Fuente: Modificado de Coelho et al 2016

A continuación, se planteó la ecuación de susceptibilidad a incendios para el área de estudio tomando los pesos determinados para cada uno de los factores, los cuales influyen en la ocurrencia de incendios dentro del territorio.

Ecuación 9. Ecuación de la susceptibilidad para el cantón Pimampiro modelo sin calibrar

$$\text{Susceptibilidad} = 0,2001\text{Prec} + 0,1832\text{Def} + 0,1602\text{ETP} + 0,1587\text{Cob.Veg} + 0,0791\text{Temp} + 0,0737\text{Pend} + 0,0551\text{Alt} + 0,0467\text{Vias} + 0,0433\text{Ori}$$

Para cumplir con la zonificación del cantón Pimampiro, el modelo no calibrado muestra las áreas susceptibles a incendios de la cobertura vegetal en base a los nueve factores antes mencionados. En la que se prioriza los factores climáticos precipitación, déficit hídrico y evapotranspiración potencial, sobre el factor cobertura vegetal, debido a la influencia que tienen en la fenología de la vegetación, siendo factores claves e importantes en la ocurrencia y propagación de los incendios (Rentería-Anima, Treviño-Garza, Návarena-Chaidez, Aguirre-Calderón y Catú-Silva, 2005; Ibarra-Montoya y Huera-Martínez, 2017).

Los factores relacionados afectan la susceptibilidad en diferentes grados, priorizar los factores climáticos en la predicción de incendios en el cantón Pimampiro, muestra que el área está dominada alrededor del 40% por susceptibilidad entre baja (22,8%) y moderada (20%).

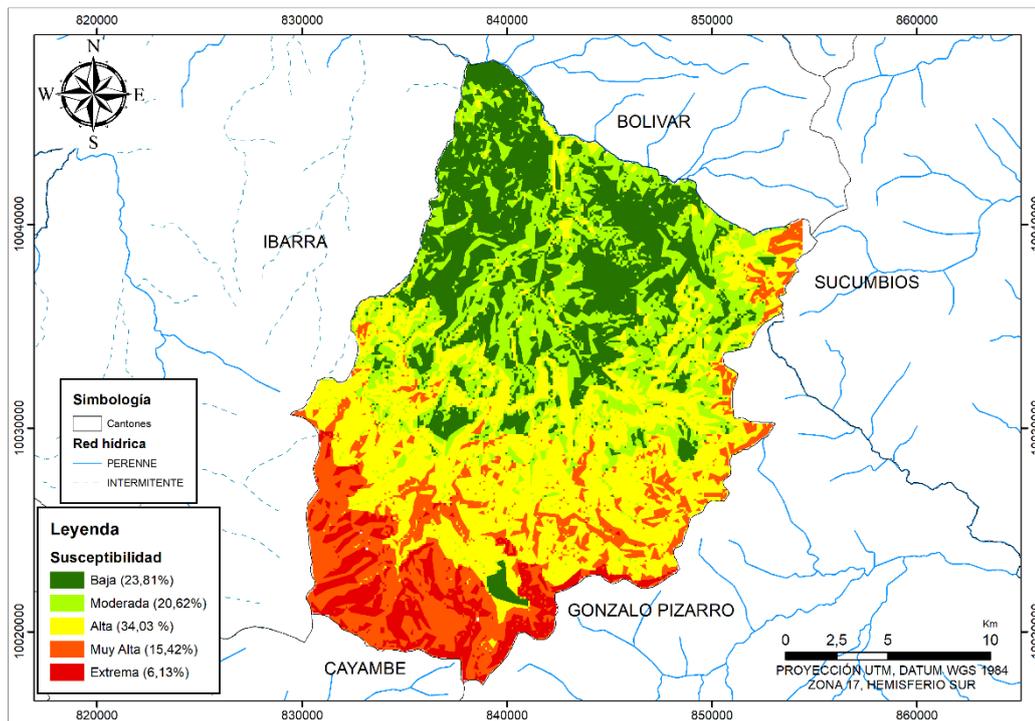


Figura 19. Modelo no calibrado de susceptibilidad a incendios de la cobertura vegetal cantón Pimampiro

El modelo de susceptibilidad no calibrado de susceptibilidad a incendios muestra que a pesar de que la mayor superficie de cantón esté clasificada como nivel alto (34,03%) de susceptibilidad a incendios, la representatividad que muestra la susceptibilidad baja y moderada centrada en la parte baja y media del cantón, es importante tomar en cuenta, ya que dichas áreas están dominadas por coberturas como son cultivos, frutales y pastos, se mencionó que las principal actividades económicas que se desarrollan en el territorio son ganadería y agricultura es por esta razón que se busca comprobar la validez y confiabilidad del modelo, usando los focos de calor registrados por el INPE (Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales) con el modelo de zonificación del cantón Pimampiro (Anexo 3e) , lo cual permitió observar que las zonas en las cuales coinciden la mayoría de los focos (42,14%) son en áreas de susceptibilidad moderada (Tabla 13), por lo que el modelo necesita ser ajustado.

Tabla 13. Coincidencia de los focos de calor con la susceptibilidad del área de estudio

Susceptibilidad	Focos de calor	Porcentaje (%)
Baja	44	31,43
Moderada	59	42,14
Alta	19	13,57
Muy Alta	11	7,86
Extrema	7	5,00
Total	140	100,00

Calibración y validación del modelo

Para calibrar del modelo de la zonificación se procedió a cambiar las ponderaciones de los factores, asignando mayor peso a la cobertura vegetal (Tabla 14; Anexo 2h), de acuerdo con las indicaciones de los expertos entrevistados y tomando en cuenta que la vegetación es el material combustible para la ignición y propagación de incendios. Es uno de los factores que tienen influencia frecuente en la predicción de patrones espaciales en la ocurrencia de incendios (Miller y Urban, 2000; Oliveira, 2002; Diniz-Prudente, 2010; Pabón-Caicedo, 2011; Jiménez, Urrego y Toro, 2016; Muñoz-Robles y Santana-Arias, 2018). Además del uso del fuego con

finos agropecuarios por productores y comunidades rurales para la limpieza de terrenos y en algunos casos las condiciones climáticas favorecen para que el fuego se expanda y se generen los incendios en grandes proporciones (Jiménez, Urrego y Toro, 2011; Muñoz-Robles y Santana-Arias, 2018).

Tabla 14. Ponderación de los factores

VARIABLE	VALOR
Cercanía a las vías	0,0509
Pendientes	0,0737
Orientación del Terreno	0,0804
Altitud	0,0861
Temperatura	0,0868
Precipitación	0,1096
Déficit hídrico	0,1494
Evapotranspiración	0,1721
Cobertura Vegetal	0,1921

Una vez modificadas las ponderaciones de los factores se plantó la ecuación de susceptibilidad, la cual muestra mayor jerarquía al factor cobertura vegetal, seguido por factores climáticos (evapotranspiración potencial, déficit hídrico, precipitación y temperatura), en menor influencia factores topográficos (altitud, orientación del terreno y pendientes) y finalmente el factor cercanía a las vías.

Lo que permite determinar que la cobertura vegetal es el material combustible básico e indispensable en la ocurrencia de incendios y este es dependiente de las condiciones climáticas del territorio para entrar en combustión, que de un agente de ignición, esto se debe a que las condiciones climáticas dan la posibilidad de que la combinación de altos valores de temperatura y bajos valores de humedad en la vegetación inicien un incendio (Batista, 2000; Oliveira, 2002; Soares y Batista, 2007; Diniz-Prudente, 2010).

Ecuación 10. Ecuación de susceptibilidad a incendios corregida y validada para el cantón Pimampiro

$$Susceptibilidad = 0,1921Cob.Veg + 0,1721ETP + 0,1494DEF + 0,1096Prec + 0,0868Temp + 0,0861Alt + 0,0804Orien + 0,0737Pend + 0,0509Vias$$

Como resultados de la calibración del modelo y la validación se generó un nuevo modelo de susceptibilidad a incendios (Figura 20), donde se puede evidenciar que el área está dominada por susceptibilidad muy alta (40,42%), extrema (27,16%) y alta (22,95%) identificando un total de 90,53% de susceptibilidad entre alta a extrema dentro del cantón.

La influencia de las variables climáticas en la ecuación es representativa, por encima de factores topográficos permiten determinar que son las que condicionan la fenología de la vegetación atribuyéndoles la pérdida o ganancia de humedad (Treviño, Verástegui, Jiménez y Aguirre, 2005; Pabón-Caicedo, 2011; Jiménez, Urrego y Toro, 2016).

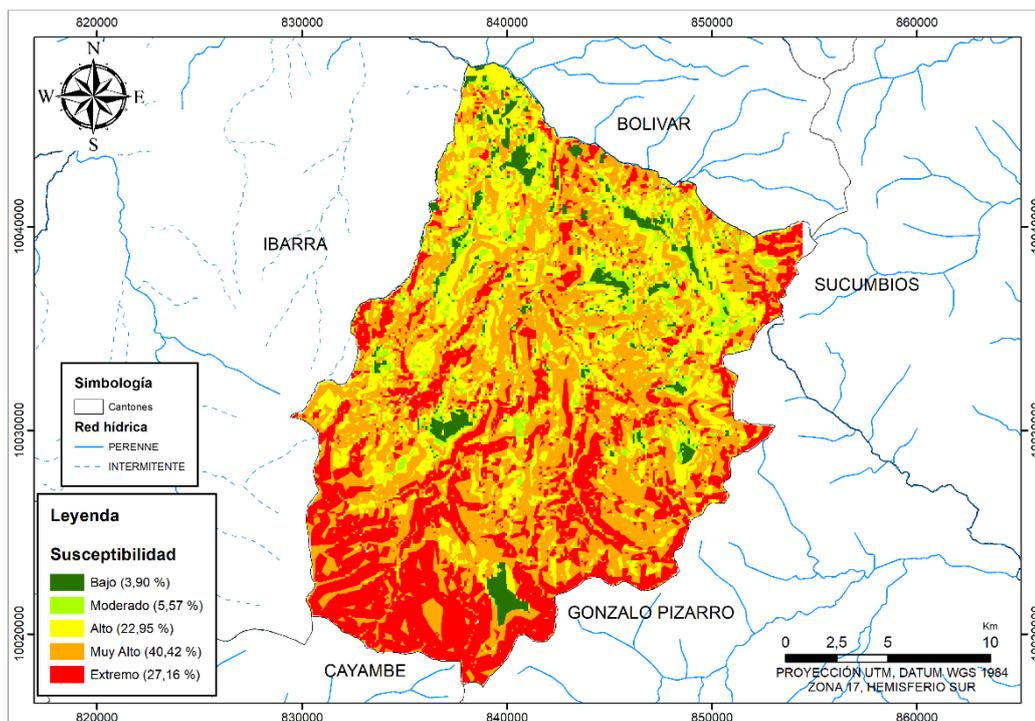


Figura 20. Modelo calibrado de susceptibilidad a incendios para el cantón Pimampiro

La validación del modelo se realizó con la superposición los focos de calor lo que permitió evidenciar que el 92,86% de los focos de calor coinciden con la susceptibilidad alta a extrema del cantón, y para la susceptibilidad baja no muestra

coincidencia (Tabla 15; Anexo 3g) es decir que el modelo se adaptó a las características del área de estudio. En este contexto menciona Burrough (1997) que todos los modelos utilizados en el ambiente de Sistemas de Información Geográfica (SIG) deben ser validados.

Tabla 15. Porcentaje de coincidencia de los focos de calor con el modelo calibrado

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

Los factores que se relacionaron afectan el riesgo de incendio en grados diferentes. La cobertura vegetal y las condiciones climáticas indican las características de inflamabilidad y potencial de intensidad del fuego, así como diferencias de contenido de humedad entre los materiales combustibles, la pendiente está asociada a la velocidad y dirección de propagación mientras que la orientación del terreno y la altitud indica indirectamente el contenido de humedad del material combustible y afecta también la tasa de propagación de los incendios. Los vientos predominantes indican las direcciones de mayor probabilidad de propagación, Por lo tanto, no es adecuado considerar que presenten la misma importancia (Batista, 2000; Oliveira, 2002; Soares y Batista, 2007; Pabón-Caicedo, 2011; Diniz-Prudente, 2010; Estacio y Narváez, 2012; Yaguez y Alban, 2012; Pérez-Verdín, Márquez-Linares, Cortés-Ortiz y Salmerón-Macías, 2013; Jiménez, Urrego, y Toro, 2016; Coelho et al. 2016; Muñoz-Robles y Santana-Arias, 2018).

4.2.1.1. Análisis estadístico del modelo de zonificación

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 0,01 respectivamente, permitió comprobar la asociación de los focos de calor con el modelo calibrado, 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. Es decir, la relación de los resultados encontrados (modelo) con los esperados (focos de calor) tiene un 99,99 % de asociación (De la Fuente, 2016) en referencia al modelo calibrado.

4.3. Diseño de estrategias de gestión de riesgo de incendios de cobertura vegetal

Se establecen seis estrategias de gestión de riesgos las cuales tienen como base el análisis FODA del cantón Pimampiro.

a) Matriz FODA

Se detallan las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas con que cuenta el territorio (Tabla 16).

Tabla 16. Análisis FODA del área de estudio

FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
<p>F1. Predisposición de la población para colaborar y participar activamente con la colectividad universitaria.</p> <p>F2. Este estudio se identifica a los sectores más críticos, que requieren de una mayor prioridad de protección en la tarea de prevenir y mitigar la ocurrencia y los efectos de los incendios forestales, generando propuestas de acciones específicas a fin de garantizar la seguridad social.</p> <p>F3. Presencia del Cuerpo de Bomberos dentro del Cantón</p> <p>F4. Poco número de habitantes</p>	<p>O1. El aporte que realiza el cuerpo de bomberos del Cantón Pimampiro, en conjunto con la participación de la comunidad para evitar la propagación de algún incendio.</p> <p>O2. Fondos públicos que disponen el Cuerpo de Bomberos.</p> <p>O3. Normativa legal ambiental vigente</p>
DEBILIDADES	AMENAZAS
<p>D1. Uso de quemas agrícolas para limpieza de terrenos.</p>	<p>A1. No existe control por parte de las autoridades hacia los agricultores al</p>

D2. Zonas con alto, muy alto y extremo nivel de susceptibilidad a incendios de la cobertura vegetal.	momento de realizar las quemas agrícolas.
D3. Falta de información acerca de los incendios ocurridos en el área.	A2. No hay control por parte de las autoridades en las zonas con alto a extremo riesgo de incendios.
D4. Falta de personal capacitado para la extinción de incendios.	A3. Falta de rubros económicos por parte de las instituciones públicas y privadas para ejecutar programas de educación ambiental.
	A4. Falta de cooperación por parte de las entidades públicas.

b) Identificación de estrategias

Una vez establecidas las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas del cantón se procedió a cruzar los elementos del FODA para proponer estrategias que ayuden a prevenir, recuperar, mitigar y responder frente a un incendio de cobertura vegetal (Tabla 17).

Tabla 17. Cruce de las variables del FODA

CRITERIOS	VARIABLES	ESTRATEGIAS
Fortaleza Amenazas	F1. Pobladores del cantón Pimampiro con predisposición para colaborar y participar activamente con la colectividad universitaria.	Implantación de Educación Ambiental para los pobladores del cantón Pimampiro con énfasis en instituciones educativas.
	A3. Falta de rubros económicos por parte de las instituciones públicas y privadas para ejecutar programas de educación ambiental.	
Fortaleza Oportunidad	F3. Presencia del Cuerpo de Bomberos dentro del Cantón	Mejora de la coordinación y equipamiento
	A4. Falta de cooperación por parte de las entidades públicas.	
	F2. Este estudio se identifica a los sectores más críticos, que requieren de una	

	<p>mayor prioridad de protección en la tarea de prevenir y mitigar la ocurrencia y los efectos de los incendios forestales, generando propuestas de acciones específicas a fin de garantizar la seguridad social.</p>	<p>Implementación de Áreas cortafuegos en ciertos lugares del cantón Pimampiro</p>
	<p>O1. El aporte que realiza el cuerpo de bomberos del Cantón Pimampiro, en conjunto con la participación de la comunidad para evitar la propagación de algún incendio.</p>	
	<p>F4. Poco número de habitantes</p> <p>O3. Normativa legal ambiental vigente</p>	<p>Acotado de zonas afectadas por incendios</p>
Debilidad Amenaza	<p>D2. Zonas con alto, muy alto y extremo nivel de susceptibilidad a incendios de la cobertura vegetal.</p> <p>A2. No hay control por parte de las autoridades en las zonas con alto a extremo riesgo de incendios.</p>	<p>Implementar torres de control en las zonas de riesgo alto a extremo.</p>
Debilidad Amenaza	<p>D1. Uso de quemas agrícolas para limpieza de terrenos.</p> <p>A1. No existe control por parte de las autoridades hacia los agricultores al momento de realizar las quemas agrícolas.</p>	<p>Establecer monitoreos y alerta de quemas controladas.</p>
Debilidad Oportunidad	<p>O1. El aporte que realiza el cuerpo de bomberos del Cantón Pimampiro, en conjunto con la participación de la comunidad para evitar la propagación de algún incendio.</p> <p>D4. Falta de personal capacitado para la extinción de incendios.</p>	<p>Formación continua de personal vinculado a la extinción de incendios.</p>

4.3.1. Estrategia 1: Educación ambiental

Ubicación: Cabecera parroquial de Mariano Acosta, Chugá, San Francisco de Sigispamba, Recinto Colimbuero y cabecera cantonal Pimampiro (Figura 21).

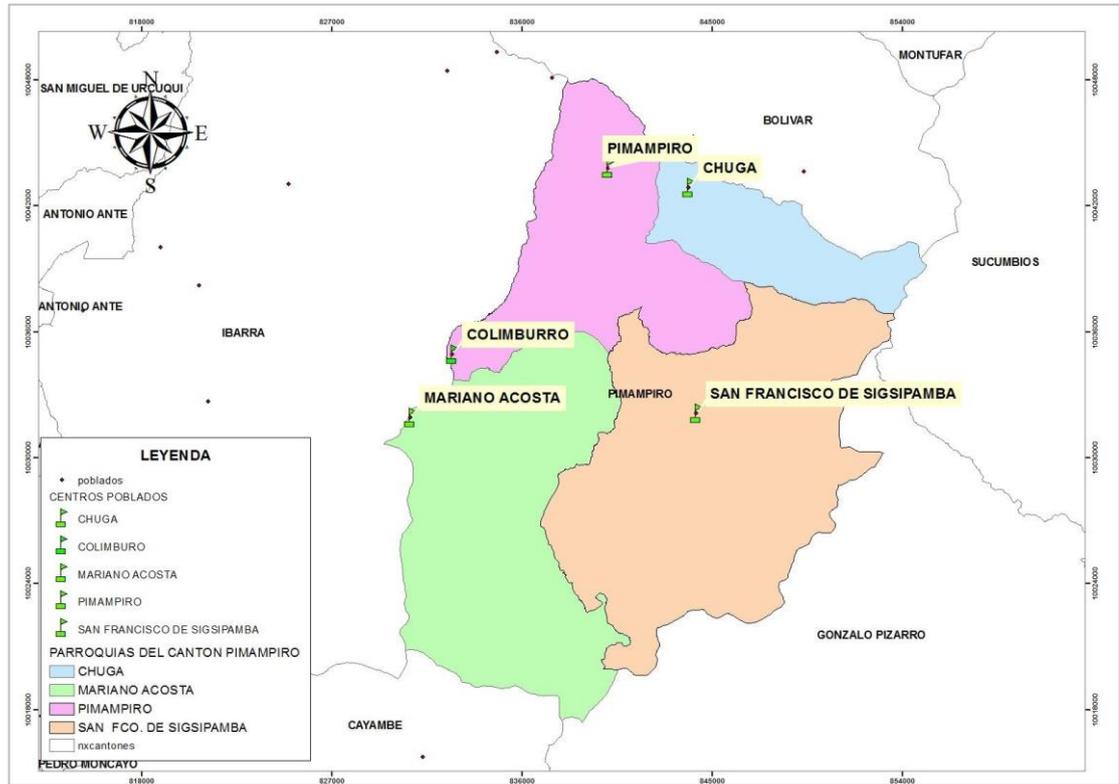


Figura 21. Lugares establecidos para la educación ambiental

Justificación:

La mayor parte del cantón Pimampiro presenta de alta a extrema susceptibilidad a incendios, debido al poco o nulo conocimiento de sus habitantes sobre el perjuicio ocasionado a la naturaleza, se presenta la necesidad de instruir a la población en lo referente al ambiente, por lo que la educación ambiental es la opción para un desarrollo de hábitos a lo largo de la vida que permita contribuir a la sostenibilidad (Tokuhama-Espinosa y Bramwell, 2010) direccionando este accionar a sectores con la mayor concentración poblacional.

Objetivo General:

Realizar campañas de educación ambiental a la población del cantón Pimampiro.

Meta: Concientizar a la población del cantón acerca del cuidado de los recursos naturales y del correcto manejo del fuego, para evitar y disminuir este tipo de sucesos y reducir la pérdida de cobertura vegetal y la degradación de los ecosistemas (Tabla 18).

Tabla 18. Educación Ambiental

Actividades	Indicadores	Medios de verificación	Alcance	Responsables
Socialización los resultados obtenidos en esta investigación a los habitantes de: Pimampiro, San Francisco de Sigsipamba, Chugá, Mariano Acosta y Colimburo.	Número de personas asistentes a las capacitaciones.	Fotografías y registro de asistencia.	Lograr que la población del cantón Pimampiro tenga conocimientos referentes al impacto de los incendios de cobertura vegetal y como enfrentar estos.	-Ministerio del Ambiente -Gobiernos municipales -Gobiernos parroquiales - Cuerpo de Bomberos - Ciudadanía
Fomentar una cultura sobre el cuidado de los recursos naturales.	Número de personas que asisten a las charlas acerca del cuidado de los recursos naturales.	Fotografías y registro de asistentes y capacitadores		

4.3.2. Estrategia 2. Implementación de franjas cortafuego

Ubicación: Pimampiro, microcuenca Quebrada Huambi; San Francisco de Sigsipamba, Parque Nacional Cayambe Coca, microcuenca Río Blanco; Mariano Acosta (Figura 22).

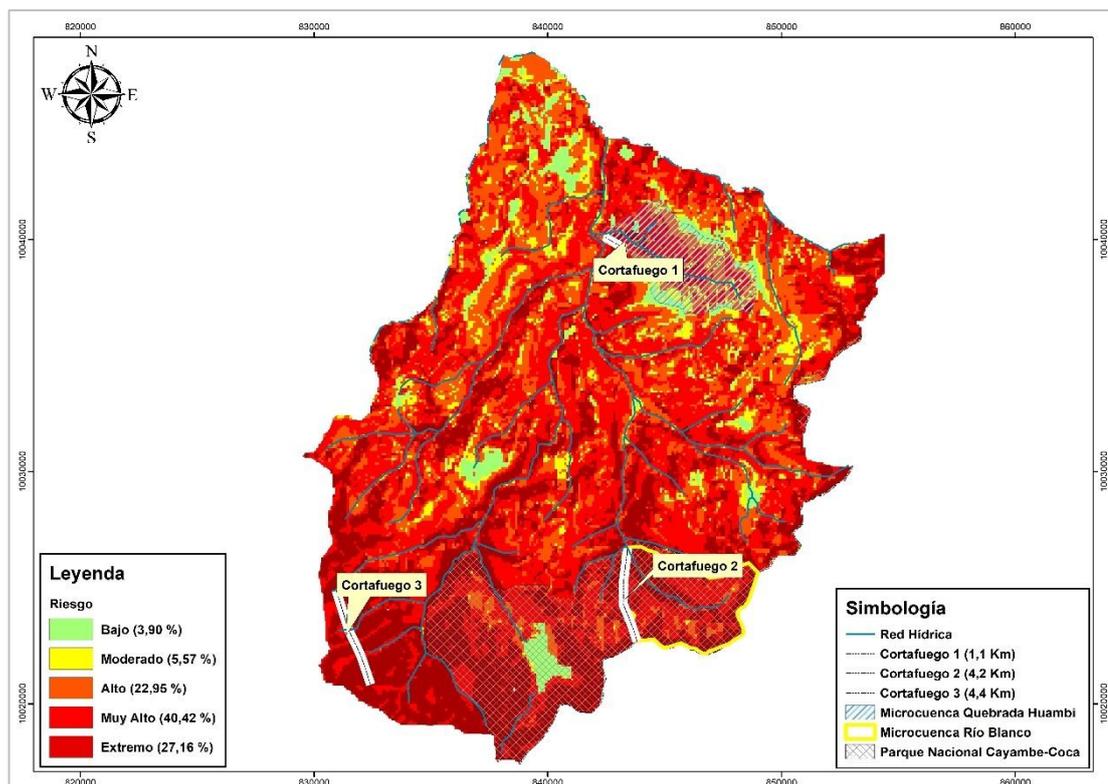


Figura 22. Ubicación de franjas cortafuegos

Justificación:

Resulta imposible prohibir el uso del fuego, pero si existe opciones para impedir que este acreciente el número de hectáreas devastadas, por lo que las franjas cortafuegos son un medio para enfrentar los incendios, Vélez (1982, 2000) asegura que estas son superficies relativamente anchas en las cuales se modifica la vegetación natural, con el fin de que se detengan los incendios.

La ubicación debe ser perpendicular a la dirección del viento, para el cantón Pimampiro esta es en dirección SE y E, además se debe considerar aspectos como: pendientes y cobertura vegetal con susceptibilidad extrema, la red hídrica y la divisoria para proteger cuerpos de agua, zonas de mayor riesgo a susceptibilidad a incendios, el inicio o finalización deben estar apoyados en discontinuidades naturales o artificiales.

Un eficiente diseño de cortafuegos, parte de una calle central de 4 metros de ancho, le sigue una superficie cubierta con pastizales siempreverdes, posteriormente viene una superficie cubierta por árboles podados. Los cortafuegos deben poseer no

menos de 30 m de ancho en superficies planas, llegando hasta 80 m o más en pendientes iguales o superiores al 60%.

Objetivo General

Establecer franjas cortafuegos en lugares estratégicos dentro del cantón Pimampiro.

Meta

La instalación de franjas cortafuegos en el cantón permitirá detener el avance del fuego en el caso de iniciarse un incendio, siendo posible controlarlos con mayor facilidad estableciendo líneas de defensa (Tabla 19).

Tabla 19. Franjas cortafuegos

Actividades	Indicadores	Medios de verificación	Alcance	Responsables
Identificación de las zonas estratégicas para la implantación de las franjas o caminos cortafuegos	Áreas específicas de la ubicación de franjas cortafuegos	Registro fotográfico	Contar con franjas cortafuegos en las áreas más susceptibles del cantón como una estrategia de prevención de incendios de la cobertura vegetal.	-Gobierno municipal de Pimampiro -Gobiernos parroquiales -Población
Construcción de franjas cortafuegos.	3 franjas cortafuegos construidas	Fotografías		

4.3.3. Estrategia 3. Implementar torres de control y vigilancia

Ubicación: Parroquias de Pimampiro, Mariano Acosta, San Francisco de Sigsipamba y Chugá (Tabla 20).

Tabla 20. Coordenadas de la ubicación de las torres de control.

Parroquia	Coordenada X	Coordenada Y	Área visible (Ha)
Torre A: Pimampiro	836145	10039676	9278,85
Torre B: Mariano Acosta	831208	10027349	5663,63
Torre C: Chugá	851194	10037701	3349,96
Torre D: San Francisco de Sigsipamba	839619	10027250	13440,26

La construcción de las torres de control se debe realizar en cuatro lugares establecidos con el fin de cubrir la mayor superficie susceptible a incendios (Figura 23).

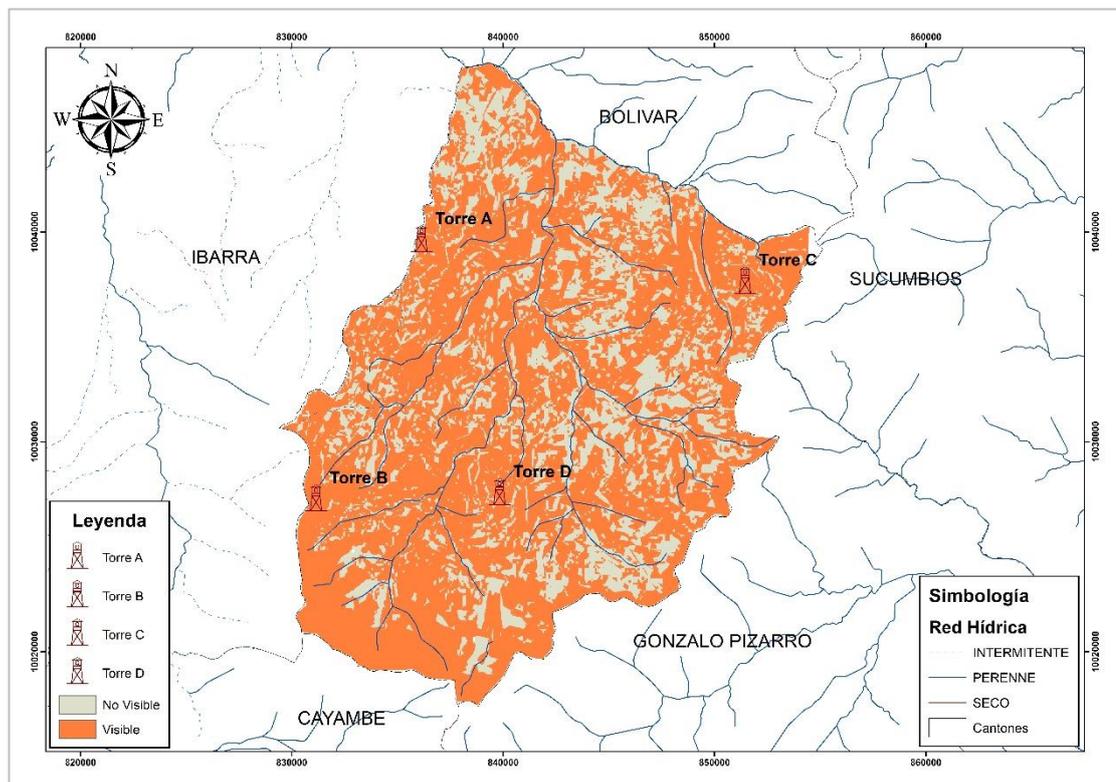


Figura 23. Ubicación de torres de control y vigilancia

Justificación

El cantón Pimampiro por su alto porcentaje de áreas en susceptibilidad alta a extrema requiere la vigilancia constante para detectar a tiempo los incendios y evitar

su propagación. Por lo que se sugiere ubicar las torres de control, su altura varía entre 5 y 30 metros, dependiendo del radio de visibilidad que se busca abarcar (Tapia y Castillo, 2014), para Pimampiro se sugiere realizarlas a una altura de 10 m lo cual se abarcará el 80% de áreas susceptibles a incendios, para la ubicación exacta de estas se utilizará procesos geoespaciales (Viewshed).

Objetivo General:

Realizar 4 torres de control y vigilancia en cuatro puntos dentro del cantón.

Meta: Mantener monitoreo constante de las áreas con susceptibilidad alta a extrema en las cuatro parroquias del cantón, para evitar la propagación de los incendios (Tabla 21).

Tabla 21. Implementación de franjas cortafuegos

Actividades	Indicadores	Medios de verificación	Alcance	Responsables
Construcción y equipamiento de las torres de control y vigilancia.	Facturas de los materiales para la construcción de las torres de control.	Fotografías de los materiales y avances de la construcción.	Disminuir o eliminar la ocurrencia de incendios de la cobertura vegetal en el cantón	-Gobierno Municipal
Vigilancia fija de sectores susceptibles cobertura vegetal.	Número de asistente a los encargados del control de las capacitaciones	Registro fotográfico	Pimampiro, mediante la detección temprana de incendios.	-Gobiernos parroquiales

4.3.4. Estrategia 4. Establecer monitoreos y alerta de quemas controladas

Ubicación: cantón Pimampiro (Figura 24).

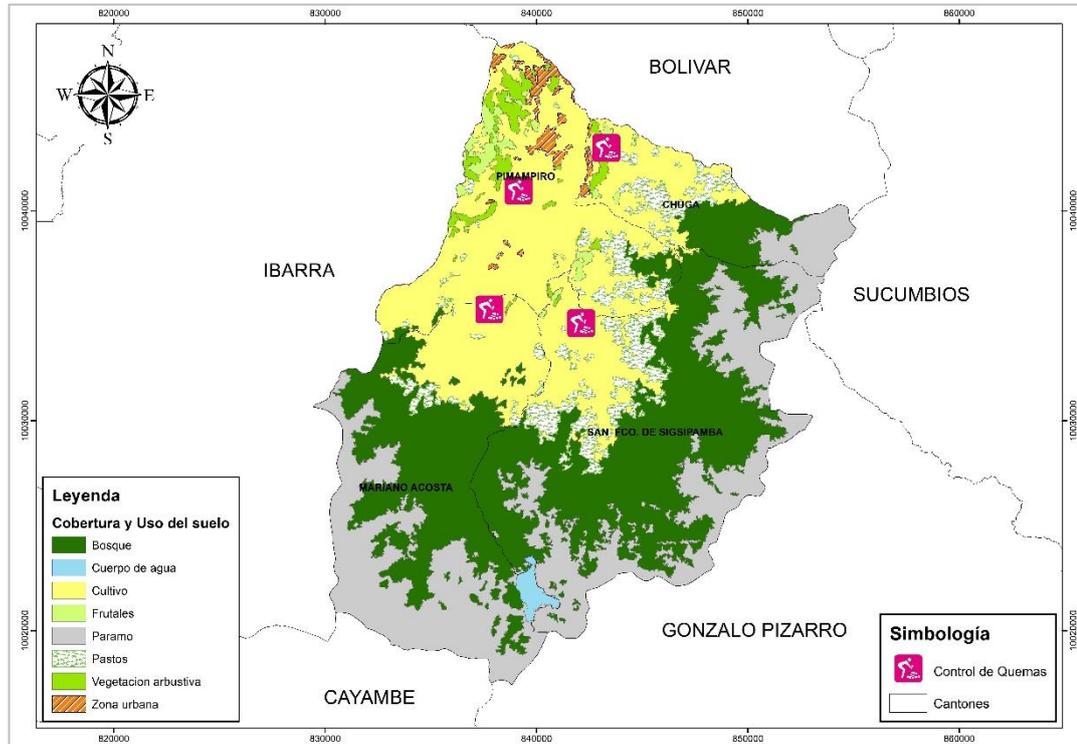


Figura 24. Ubicación de los monitoreos y alerta de quemas controladas

Justificación:

La quema controlada es el fuego provocado intencionalmente a material vegetal, siguiendo un plan preestablecido, en el cual se toma todas las medidas (MINAE, 2009).

El establecer monitoreos para las quemas agrícolas permite tener control de esta actividad, la cual debe ser coordinada con el cuerpo de bomberos del cantón quienes facilitarán las recomendaciones técnicas.

Objetivo General:

Plantear un plan para el control y manejo adecuado de las quemas agrícolas.

Meta

Cambiar la conducta de los pobladores al momento de realizar una quema agrícola, tomando en cuenta medidas que evitan que el fuego se propague. Además, de mantener en alerta a las autoridades para evitar incidentes que comprometan al ambiente (Tabla 22).

Tabla 22. Establecer monitoreos y alerta de quemas controladas

Actividades	Indicadores	Medios de verificación	Alcance	Responsables
Elaboración de un instructivo para la capacitación a la población acerca de las quemas agrícolas controladas.	Instructivo elaborado	Registro fotográfico Documento final	Lograr que la población de Pimampiro tenga responsabilidad ambiental al momento de realizar las quemas agrícolas, tomando las medidas necesarias para evitar la expansión de los incendios a otras áreas y mantener un monitoreo constante de estas por parte de las autoridades.	- Gobierno Municipal - Gobiernos parroquiales - Cuerpo de Bomberos - Ministerio de Ambiente. - Secretaría de Gestión de Riesgos
Charlas como realizar una quema agrícola y las medidas a tomarse en cuenta.	Número de asistentes a las capacitaciones y socialización de la estrategia de quemas controladas.	Registro de asistencia y fotográfico		
Socialización de la normativa legal en caso de quemas agrícolas descontroladas	Número de asistentes a la socialización de la normativa legal aplicable.	Registro de asistencia y fotográfico		

4.3.5. *Estrategia 5. Conformación de brigadas, mejora de herramientas y equipamiento del cuerpo de bomberos*

Ubicación: Parroquias Chugá, Mariano Acosta, San Francisco de Sigsipamba y Pimampiro (Figura 25).

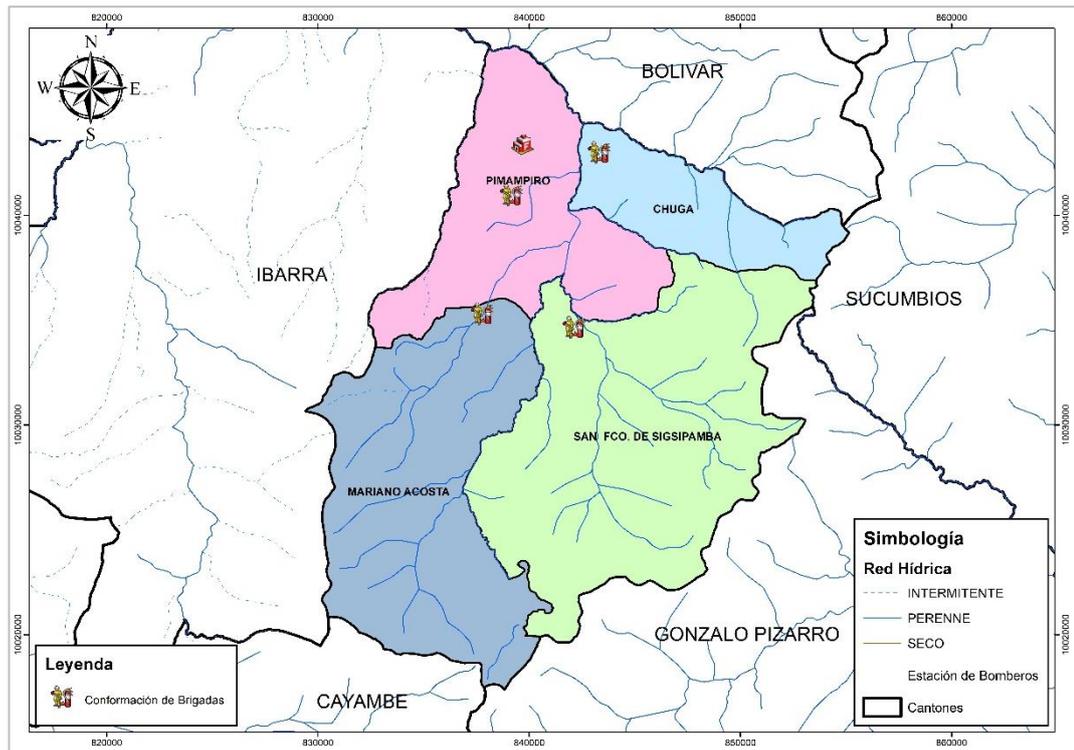


Figura 25. Lugares de conformación de brigadas

Justificación

Es necesario disponer de personal entrenado que actúe como una brigada de emergencias preparada para la intervención inmediata y que trabaje en colaboración conjunta con el cuerpo de bomberos, siendo indispensable la disponibilidad, cantidad y calidad de herramientas y equipos empleados para el éxito de supresión de incendios de cobertura vegetal.

Objetivo General:

Consolidar un equipo de apoyo y optimizar recursos para la intervención de incendios.

Meta:

Establecer un equipo de personas organizadas y capacitadas con alto potencial de respuesta ante situaciones de emergencia por ignición de cobertura vegetal que cuenten con las herramientas y equipos en óptimas condiciones (Tabla 23).

Tabla 23. Conformación del personal brigadista para el mejoramiento de la coordinación y respuesta ante incendios

Actividades	Indicadores	Medios de verificación	Alcance	Responsable
Formación óptima que garantice el actuar estratégico.	Capacidad de respuesta de extinción.	Actas de entidades públicas y privadas involucradas.	Participación inmediata de un equipo de personas con conocimiento y organización para actuar con eficiencia y eficacia ante una emergencia de incendio.	-Gobierno Municipal del cantón Pimampiro
Formar continuamente al personal brigadista.	Evaluación de las iniciativas de formación	Registro de asistentes panelistas y participantes		-Gobiernos parroquiales
Mejorar la gestión ante una emergencia de incendio.	Tiempo de llegada al incendio en minutos y de extinción en horas	Registro fotográfico Informe de simulacro		-Cuerpo de Bomberos
Dotar de las herramientas y equipos insuficientes	Contrato de adquisición	Proformas		-Otras entidades públicas y privadas

4.3.6. Estrategia 6: Acotado y reforestación de áreas afectadas por incendios

Ubicación: Incendio parroquia Chugá (40 ha), parroquia Mariano Acosta (25 ha) (Figura 26).

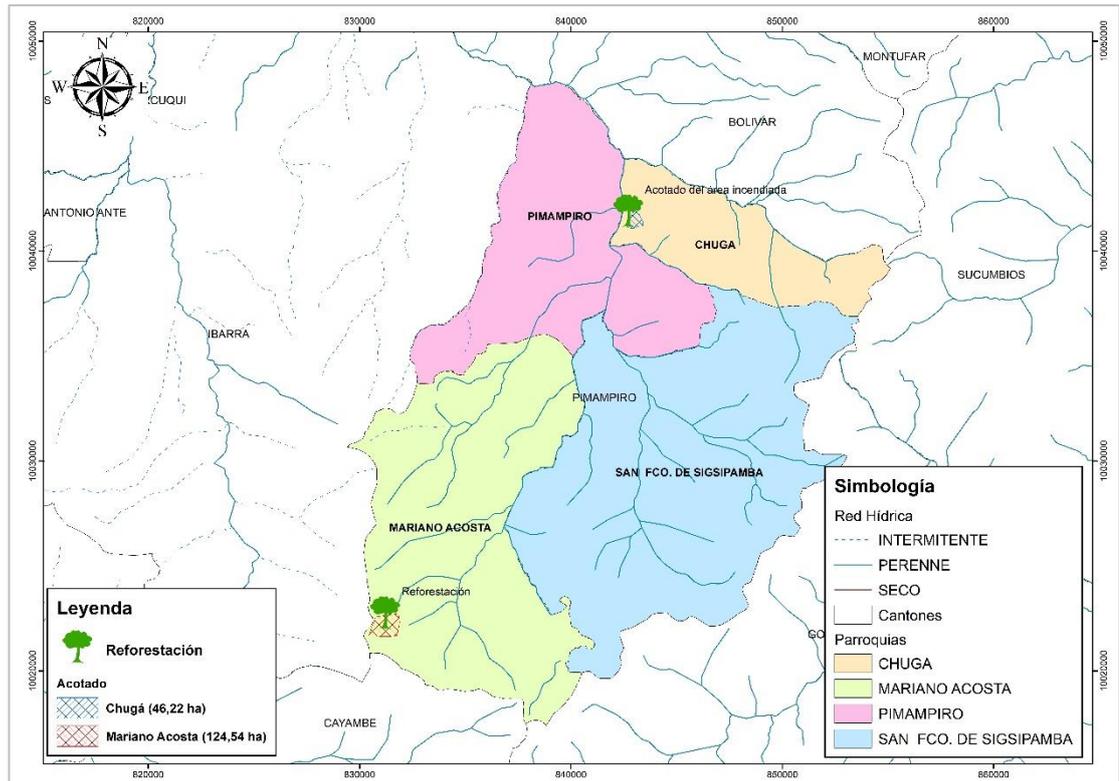


Figura 26. Acotado y reforestación de incendios cantón Pimampiro

Justificación:

La restauración de las áreas afectadas por incendios es el proceso de ayudar en recuperar el ecosistema degradado o dañado por el fuego (SER, 2005).

La reforestación con especies nativas es una manera de ayudar a los ecosistemas a que recuperen sus funciones y estructura, pero también existe la regeneración natural que permite que el ecosistema afectado se recupere sin intervención antrópica.

Objetivo general

Aplicar medidas de recuperación en las áreas afectadas por incendios de la cobertura vegetal.

Meta:

Establecer las medidas adecuadas para las áreas afectadas por incendios de la cobertura vegetal ocurridos en el cantón (Tabla 24).

Tabla 24. Acotado y reforestación de áreas afectadas por incendios.

Actividades	Indicadores	Medios de verificación	Alcance	Responsable
Delimitación el área afectada por incendios.	Ubicación exacta de las áreas afectadas por incendios.	Fotografías		
Cercar o prohibir la entrada al área afectada			Aplicar medidas de recuperación	-Gobierno Municipal
Conocer las especies vegetales nativas de la zona para reforestar.	Proyecto de inventario de especies nativas	Registro fotográfico	a las áreas afectadas por los incendios.	-Cuerpo de Bomberos del cantón
Reforestar las áreas afectadas por incendios con especies nativas del sector.	Número de plantas sembradas	Fotografías y listado de asistentes a las mingas.		

La gestión de riesgos pretende generar una cultura preventiva en cada una de las fases: respuesta, prevención, mitigación y recuperación (Sánchez, 2010), la cual se afronta a diferentes escalas territoriales, en función de la superficie y el valor ecológico de las zonas a proteger (Office National des Forêts, 2002), buscando establecer la coordinación interinstitucional del sector público y privado en una activa participación ciudadana.

Dentro del cantón Pimampiro las estrategias están estructuradas para definir, diseñar y gestionar las medidas, actuaciones e infraestructuras que son necesarias para combatir el riesgo a incendios de la cobertura, enfocadas en la alerta temprana para la toma de decisiones oportunas y la rehabilitación de áreas afectadas, las mismas que fueron definidas una vez detectados las fortalezas, debilidades, amenazas y oportunidades del cantón. Estas estrategias de intervención están encaminadas a prevenir, recuperar y minimizar el riesgo que genera un incendio, tomando en cuenta prioridades de actuación y secuencia.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- 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.

- Las estrategias enmarcadas en el ciclo de gestión integral de riesgo prevé el actuar a corto plazo con el monitoreo y alerta de quemas controladas (prevención); a mediano plazo con el acotado (cercado) y reforestación de áreas afectadas (recuperación); a largo plazo con educación ambiental, franjas cortafuegos y torres de control y vigilancia (prevención, mitigación, respuesta, respectivamente).

5.2. Recomendaciones

- Se afirma que la metodología realizada en este estudio funciona y que el modelo de susceptibilidad a incendios del cantón Pimampiro es fiable, por lo que se recomienda usar esta metodología para otras áreas de estudio con problemas de incendios continuos.
- Se recomienda a las autoridades correspondientes, tomar en cuenta y usar el modelo de susceptibilidad a incendios de esta investigación, así como las estrategias planteadas, a fin de proteger la biodiversidad del cantón.
- Los factores climáticos, físicos y topográficos son básicos para este tipo de estudios, pero al ser la mayoría de los incendios de origen antrópico sería adecuado la incorporación de variables sociales, para tener mayor exactitud al zonificar el nivel de susceptibilidad dentro de los territorios.
- Para los estudios que usan factores climáticos, es necesario tomar en cuenta que las estaciones meteorológicas no muestran datos completos, para lo cual hay que escoger el método adecuado para el relleno de los datos faltantes.
- Se debería dar la importancia necesaria al tema de incendios dentro del cantón por parte de las autoridades y la comunidad, para tomar las medidas necesarias de recuperación, prevención y mitigación.
- La población del cantón debería tomar conciencia acerca de las consecuencias que generan los incendios y tener en cuenta las medidas de prevención y mitigación que se plantean en esta investigación.

REFERENCIAS

- Ache, D. (2008). *Mapa de susceptibilidad y prioridad de prevención y extinción de incendios forestales de la reserva hidráulica de Burro Negro y zona protectora Machango, estado Zulia*. Ministerio del Poder Popular para el Ambiente: Caracas.
- Aguilera-Sánchez, M. (2015). *El Régimen Jurídico de los Incendios Forestales: Especial referencia al contexto jurídico y territorial de Cataluña*. Tarragona, España: Publicacions URV Arola Editors, S. L.
- 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), 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), 70-75.
- Arango, M., Branch, J. y Botero, V. (2005). Clasificación No Supervisada de Coberturas Vegetales sobre imágenes digitales de Sensores remotos: "Landsat-ETM. *Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 58(1), 2611-2634.
- Arcos, G. (2015). *Aplicación de diferentes métodos de evaluación de riesgo de incendios en la acomodación de un buque*. (Tesis de Pregrado). Universidad Politécnica de Valencia: España.
- Asamblea Nacional Constituyente (2008). Constitución de la República del Ecuador. Registro oficial 449 de 20-oct-2008. Ecuador.
- Asamblea Nacional Constituyente (2010). Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD). Registro oficial 303 de 19-oct-2010. Ecuador.
- Asamblea Nacional Constituyente (2017). Código Orgánico del Ambiente. Registro Oficial 983 de 12-abr-2017. Ecuador.

- Astete, J. y Cárcamo, R. (2015). Estudio comparativo de evaluación de riesgo de incendio aplicado a un edificio habitacional. *ORP Journal*, 3(2). 5-27
- Ayoade, J. (2002). *Introdução à climatologia para os trópicos*. Rio de Janeiro: Bertrand-Brasil.
- 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.
- Batista, A. (2000). Mapas de risco: uma alternativa para o planejamento de controle de incêndios florestais. *Floresta*, 30(2). 45-54.
- Beynon, M. (2002). DS/AHP method: A mathematical analysis, including an understanding of uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 140(2). 148-164.
- Bond, W. y Keeley, J. (2005). Fire as a global “herbivore”: the ecology and evolution of flammable ecosystems. *Trends in Ecology and Evolution*, 20(7), 398-394.
- Brown, A. y Davis, K. (1973). *Forest fire: control and use*. MacGraw Hill Book; New York-EEUU.
- Burrough, P. (1997). *Environmental modeling with geographical information systems*. In: Kemp, Z. *Innovations in GIS 4*. Taylor y Francis: Londres.
- Camargo, A. y Camargo, M. (2000). Uma revisão analítica de Evapotranspiração potencial. *Bragantia*, 59(2). 11-25.
- Castellnou, M., Pagés, J., Miralles, M. y Piqué, M. (2009). Tipificación de los incendios de Cataluña. Elaboración del mapa de incendios de diseño como herramienta para la gestión forestal. *Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 5(2). 31-45.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres de México (CENAPRED). (2006). *Conceptos básicos sobre peligros, riesgos y su representación geográfica*. México, Autor.
- CEPAL (Comisión Económica Para América Latina y el Caribe). (2011). *REDATAM + SP*. <https://www.cepal.org/es/temas/redatam>
- Chuvienco, E. y Martín, M. (2004). Nuevas tecnologías para la estimación del riesgo de incendios forestales. Madrid-España, Bouncopy. S. A.

- Codina-Jiménez, A. (2011). Deficiencias en el uso del FODA causas y sugerencias. *Ciencias estratégicas*, 19(25). 89-100.
- 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), 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.
- Comunidad Andina. (2008). *Estrategia Internacional para la Reducción del Riesgo de Desastres – EIRD*. Autor: Lima-Perú.
- CONAE (Comisión Nacional de Actividades Espaciales). (2014). *Instructivo para visualizar información sobre Focos de Calor proveniente del instrumento MODIS*. Buenos Aires, Argentina: Autor.
- CONAF (Corporación Nacional Forestal). (2012). *Manual con Medidas para la Prevención de Incendios Forestales*. Santiago de Chile: Autor.
- Constitución de la República del Ecuador (2008). *Registro Oficial*, 449 (20 de octubre de 2008). Quito: Autor.
- Corporación OSSO. (2016). *DesInventar, Sistema de Inventario de efectos de desastre*. Cali-Valle-Colombia: UNISDR.
- De la Fuente, S. (2016). Aplicaciones del chi cuadrado: Tablas de contingencia. Dependencia e independencia. Universidad Autónoma de Madrid, España.
- De la Riva, J. y Pérez, F. (2005). *El factor humano en el riesgo de incendios forestales a escala municipal. Aplicación de técnicas SIG para su modelización. Departamento de Geografía y Ordenamiento del Territorio*. Zaragoza, España: Universidad de Zaragoza.
- Del Campo-Parra, A., y Bernal-Toro, F. (2011). *Incendios de la cobertura Vegetal en Colombia*. Cali-Colombia: Dirección de Investigaciones y Desarrollo Tecnológico.

- Díaz-Hormazábal, I. y González, M. (2016). Análisis espacio-temporal de incendios forestales en la región del Maule, Chile. *Bosque*, 19(1), 147-158.
- Diniz-Prudente, T. (2010). *Geotecnologias aplicadas ao mapeamento de risco de incêndio florestal no Parque da Chapadas dos Veadeiros e Área de entorno*. (Tesis de Posgrado). Universidad Federal de Uberlândia. Brasil.
- Dirmeyer, P., Schlosser, C. y Brubaker, K. (2009). Precipitation, Recycling, and Land Memory: An Integrated Analysis. *Journal of Hydrometeorology*, 10(2).
- Dentoni, M. y Muñoz, M. (2008). *Sistemas de evaluación de peligro de incendios*. Sitio Argentino de Producción Animal: Buenos Aires.
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Sistema de produção cnptia: Glossário*: Autor. São Paulo- Brasil.
- 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), 27-52.
- FAO (Organización Mundial para la Alimentación y la Agricultura). (2006). *Fire management global assessment 2006*. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/fao/009/A0969E/A0969E00.pdf>
- FAO (Organización Mundial para la Alimentación y la Agricultura). (2012). Proyecto de lucha contra los incendios, promoción de la colaboración internacional para abordar las causas subyacentes de los incendios forestales mundiales. Suiza: Autor.
- 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.
- Fuertes-Peña, J., Rubio-Romero, J. y Rubio-Gámez, M. (2017). *Método de evaluación del riesgo de incendio, herramientas decisivas en la aplicación de medidas de prevención y protección contraincendios de personas, bienes y actividades*. HOSPITECNIA: Barcelona-España.

- 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), 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), 253-267.
- Garza, R. (2007). *Análisis de los métodos complejos cualitativos para evaluación del riesgo de incendios. Aproximación a una metodología integral*. Monterrey-México. Universidad Internacional, S. C.
- Gaylor, H. (1974). *Wild fires: prevention and control*. Bowie: Prentice-Hall.
- Gutiérrez, J. (2013). *Significados de las medidas de tendencia central. Un estudio con alumnos Universitarios de Carreras de Humanidades*. (Tesis de Posgrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima-Perú.
- Holdridge, L. (1987). *Ecología basada en zonas de vida*. San José, Costa Rica: Agroamérica.
- 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), 36-49.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2014). *Sistema de Información Geográfica*. México: Autor.
- Jáuregui, R. (2005). Causas que inciden en la ocurrencia de incendios forestales en el estado de Mérida (1983-2003). *Revista Forestal Venezolana*, 49(1). 33-38
- 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), 37-55.
- Jiménez, V. (2012). Aplicación de metodología multicriterio para la priorización de los procesos objeto de costeo en entidades del sector de la salud. *Libre empresa*, 17(1), 199-123.
- Julio, G. y Bosnich, J. (2005). *Fundamentos del Manejo de Fuego* (Tesis de Pregrado). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.

- Landis., J. y Koch, G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometric*, 33(1), 159-174.
- Llanos-Zavalaga, F., Rosas-Aguirre, A., Mendoza-Requena, D. y Contreras-Rios, C. (2001). Comparación de las escalas de Likert y Vigesimal para la evaluación de satisfacción de atención en un hospital del Perú. *Rev Med Hered*, 1(12), 52-57.
- MAE (Ministerio de Ambiente del Ecuador. (2014). *Actualización de prioridad del "Programa nacional de reforestación con fines de conservación ambiental*. Quito: Autor.
- Martínez-Ortega, R., Tuya-Pendás, L., Martínez-Ortega, M., Pérez-Abreu, A. y Cánovas, A. (2009). El coeficiente de correlación de los rangos de Spearman Caracterización. *Habanera de Ciencias Médicas*, 8(2), 1-20.
- Mataix-Solera, J. y Cerdá, A. (2009). *Incendios forestales en España: Ecosistemas terrestres y suelos*. Valencia, España: Universidad de Valencia.
- Miller, C. y Urban, D. (2000). Connectivity of forest fuels and Surface fire regimes. *Landscape ecology*, 15(2), 145-154.
- MINAE (Ministerio de Ambiente y Energía). (2009). *Reglamento para quemas agrícolas controladas*. Costa Rica: Autor.
- Ministerio de Ambiente del Ecuador. (2014). *Plan de Contingencia de Incendios Forestales buscar prevenir, mitigar y controlar este fenómeno natural*. Recuperado de: <http://www.ambiente.gob.ec/plan-de-contingencia-de-incendios-forestales-buscar-prevenir-mitigar-y-controlar-este-fenomeno-natural/>
- Ministerio del Interior y Seguridad Pública. (2017). *Plan específico de emergencia por variable de riesgo: Incendios Forestales*. Santiago de Chile: Autor.
- 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), 1-32.
- Muñoz-Robles, C., Treviño-Garza, E., Verástegui-Chávez, J., Jiménez-Pérez, J. y Aguirre-Calderón, O. (2003). Desarrollo de un modelo espacial para la

- evaluación del peligro de incendios forestales en la Sierra Madre Oriental de México. *Investigaciones Geográficas*, 56(5). 101-107.
- Murillo, F. (2011). *Cuestionarios y escalas de actitudes*. Madrid; Universidad Autónoma de Madrid.
- Office National des Forêts. (2002). *Planificación de Prevención de Incendios Forestales en el Ámbito Municipal*. Murcia: Autor.
- Oliveira, D. (2002). *Zoneamento de risco de incêndios em Povoamentos Florestais no Norte de Santa Catarina*. (Tesis de Posgrado). Universidad Federal de Paraná, Brasil.
- ONU (Organización de las Naciones Unidas). (2015). *Objetivos del Desarrollo Sostenible*. New York, Estados Unidos: Autor.
- ONU (Organización de las Naciones Unidas). (2015). Transformar nuestro mundo: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Asamblea General, 25 de septiembre del 2015. *A/RES, 70(1)*, Nueva York-Estados Unidos.
- Osorio-Gómez, J. y Orejuela-Cabrera, J. (2008). El proceso de análisis jerárquico (AHP) y la toma de decisiones multicriterio. Ejemplo de aplicación. *Scientia Et Technica*, 16(39). 247-252.
- Otero, D. y Fernando, L. (2006). Evoluciones dinámicas en el diagrama FODA. *Visión de Futuro*. 6(2). 1-16.
- 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.
- Pérez-Verdín, G., Márquez-Linares, M., Cortés-Ortiz, A. y Salmerón-Macías, M. (2013). Análisis espacio-temporal de la ocurrencia de incendios forestales en Durango, México. *Madera y Bosque*, 19(2), 37-58.
- Perugachi-Salamea, C., González-Narváez, M., Pambabay-Calero, J., García-Arévalo, I., Vargas-Ayala, F., Shigla-Cuji, G. y Nath-Nieto, J. (2014). Caracterización Oceanográfica del perfil costero ecuatoriano a través de métodos estadísticos aplicados a las estaciones fijas de monitoreo del INOCAR, serie a partir de 1981. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, 19(2), 7-21.

- Pizarro, R., González, P., Witterssheim, M., Saavedra, J. y Soto, C. (1993). Elementos técnicos de hidrología III. Proyecto regional mayor sobre uso y conservación de recursos hídricos en áreas rurales de América Latina y el Caribe. Talca, Chile, Universidad de Talca.
- Pla, M. y Garriga, F. (2010). Cálculo del riesgo de ignición a partir de imágenes AVHRR (NOAA). Universidad de Sevilla. España.
- Posso, M. (2011). *Proyectos, tesis y Marco lógico*. Quito, Ecuador: EDICIONES 13.
- Pourrut, P. (1983). *Los climas del Ecuador*. Quito: Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- 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 Pregado). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Prieto, A., Agostino, P., Bastias, D., Borghese, G. y Colin, A. (2009). *Incendio en el área de Tromen, Parque Nacional Lanín. Informe de investigación del Centro de Educación Integral San Ignacio*. Junín de los Andes: Argentina.
- Pyne, S. *Introduction to wildland fire: fire management in the United States*. Wiley: New York.
- 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), 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), 561-572.
- Rodríguez, M. y Ricart, J. (1997). *Estrategia medioambiental: Modelo para el posicionamiento estratégico y mejora del rendimiento medioambiental*. Barcelona, España: Universidad de Navarra.

- Rosales, J. (2015, 18 de agosto). En Imbabura se registraron 23 incendios forestales en un solo día. *El Comercio*. Recuperado: <http://www.elcomercio.com/actualidad/imbabura-incendios-forestales-ecuador.html>
- Ruíz-Álvarez, O., Arteaga-Ramírez, R., Vázquez-Peña, M., Ontiveros-Capurata, R. y López-López, R. (2012). Balance hídrico y clasificación climática del estado de Tabasco, México. *Universidad y Ciencia*, 28(1), 1-14.
- Rusticucci, M. y Barrucand, M., 2004. *Observed Trends and Changes in Temperature Extremes over Argentina. Journal of climate. Notes and Correspondence*. American Meteorological Society. New York.
- Saaty, T. (1992). *Decision making for leaders*. Pittsburgh, USA: RWS Publication.
- Sánchez, R. (2010). La debilidad de la gestión del riesgo en los centros urbanos. El caso del Área Metropolitana de Santiago de Chile. *Geografía Norte Grande*, 47(2), 5-26.
- Sánchez-Muñoz, J. (2016). Análisis de calidad cartográfica mediante el estudio de la Matriz de confusión. *Revista de Investigación Pensamiento Matemático*, 6(2), 9-26.
- Sanz, C. (2002). Razonamiento evidencial dinámico: Un método de clasificación aplicado al análisis de imágenes hiperespectrales. (Tesis de Doctorado). Universidad Nacional de La Plata, Argentina.
- Secretaría de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito, (2013). *Los incendios forestales en el Distrito metropolitano de Quito*. Quito: Autor.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES). (2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 Toda una vida*. Quito: Autor.
- SER (Society For Ecological Reforestation). (2005). *Restauración de áreas quemadas*. Washington DC: Autor.
- SGR (Secretaría de Gestión de Riesgos). (2015). En Imbabura 1472,71 hectáreas consumidas en incendios forestales. Recuperado de: <http://www.gestionderiesgos.gob.ec/en-imbabura-147271-hectareas-consumidas-en-incendios-forestales/>
- SGR (Secretaría de Gestión de Riesgos). (2016). *Informe de la situación 23: incendios forestales*. Samborondón, Ecuador: Autor.

- SGR (Secretaría de Gestión de Riesgos). (2017). *Informe de situación- incendios forestales*. Samborondón, Ecuador: Autor.
- Sistema Nacional de Información. (2011). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón San Pedro de Pimampiro 2011-2031*. Quito, Ecuador: Autor.
- Soares, R. (1985). *Incêndios Florestais: Controle e uso do fogo*. FUPEF. Curitiba-Brasil.
- Soares, R. y Batista, A. (2007). *Incêndios Florestais: controle, efeitos e uso do fogo*. FUPEF. Curitiba-Brasil.
- Suárez, J. (2009). *Análisis Geotécnico: Zonificación de Susceptibilidad Amenaza y Riesgo*. Bucaramanga, Colombia: Geotecnología S. A. S.
- Tapia, G. y Castillo, M. (2014). Propuesta de diseño de un sistema de torres de detección de incendios forestales: aplicación a la región Metropolitana de Chile central. *Bosque*, 35(3), 399-412.
- Thornthwaite, C. y Mather, R. (1955). *The wáter balance: Publications in climatology, 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), 460-467.
- Tokuhama-Espinosa, T. y Bramwell, D. (2010). *Educación Ambiental y Desarrollo Sostenible*. Quito, Ecuador: Instituto IDEA, Universidad San Francisco de Quito.
- Vélez, R. (1982). Manual de prevención de incendios mediante tratamiento del combustible forestal. Madrid, España: Subdirección General de Protección.
- Vélez, R. (2000). *Silvicultura preventiva: La defensa contra incendios forestales: Fundamentos y experiencias*. Madrid: Mc Graw Hill.
- Vilchis-Francés, A., Díaz-Delgado, C., Magaña-Lona, K. y Gómez-Albores. (2015). Modelado espacial para peligro de incendios forestales con predicción diaria en la cuenca del río Balsas. *Agrociencia*, 49(7), 803-820.
- Villagómez, J., Mora, A., Barradas, D. y Vázquez, E. (2014). El análisis FODA como una herramienta para la definición de líneas de Investigación. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 35(2), 1121-1131.

- Villanueva, J. (1984). NTP100: Evaluación del riesgo de incendio: Método Gustav Purt. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene: España.
- Villares-Ruíz, L. y López-Blanco. (2004). *Comportamiento del fuego y evaluación del riesgo por incendios en las áreas forestales de México: un estudio en el volcán Malinche*. Centro de Ciencias de la Atmósfera e Instituto de Geografía, UNAM; México.
- Whelan, R. (1995). *The Ecology of Fire*. Australia: Cambridge University Press.
- 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), 1-15.
- Yebra, M., De Santis, A. y Chuvieco, E. (2005). Estimación del peligro de incendios a partir de teledetección y variables meteorológicas: variación temporal del contenido de humedad del combustible. *Recursos Rurais*, 1(1). 9-19.
- Yeguez, M. y Ablan, M. (2012). Índice de riesgo de incendio forestal dinámico para la cuenca alta del río Chama. *Forestal Venezolana*, 56(2), 127-134.
- Zarate, L. (2003). Modelos matemáticos de los incendios forestales: *Análisis bibliográfico*, 29(2), 139 – 153.

ANEXO:1



Anexo 1a: Instrumento utilizado en las entrevistas a expertos

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FICAYA
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES

CONSULTA A EXPERTOS ACERCA DEL NIVEL DE
SUSCEPTIBILIDAD DE LA COBERTURA A INCENDIOS

Instrucciones:

La presente encuesta tiene como objetivo conocer cuales es su percepción de las causas y factores que inciden en la ignición y propagación de los incendios de la cobertura vegetal.

1. ¿Cuáles piensa Usted que son las causas de los incendios forestales?

2. Califique del 1 al 5 la probabilidad de ignición de las siguientes coberturas vegetales:

Bosque				
Muy Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
1	2	3	4	5

Zona Urbana				
Muy Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
1	2	3	4	5

Cultivos				
-----------------	--	--	--	--

Muy Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
1	2	3	4	5

Frutales				
Muy Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
1	2	3	4	5

Pastizal				
Muy Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
1	2	3	4	5

Páramo				
Muy Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
1	2	3	4	5

Vegetación Arbustiva				
Muy Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
1	2	3	4	5

3. Califique del 1 al 5 la probabilidad de propagación de las siguientes coberturas vegetales:

Bosque				
Muy Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
1	2	3	4	5

Zona Urbana				
Muy Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
1	2	3	4	5

Cultivos				
Muy Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

Frutales				
Muy Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
1	2	3	4	5

Pastizal				
Muy Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
1	2	3	4	5

Páramo				
Muy Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
1	2	3	4	5

Vegetación Arbustiva				
Muy Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
1	2	3	4	5

4. ¿Cuáles de los siguientes factores tienen mayor peso en la propagación de un incendio forestal? ¿Ordene desde el que tiene mayor a menor influencia?

Pendientes	Precipitación	Temperatura	Orientación del Terreno	ETP	Altitud	Déficit Hídrico	Cobertura vegetal	Cercanía a las vías

5. ¿Qué medidas recomienda para la prevención de incendios?

6. ¿Qué medidas recomienda para la mitigación de áreas quemadas?

ANEXO 2: TABLAS Y FIGURAS

Anexo 2a: Tabla de datos de precipitación faltantes

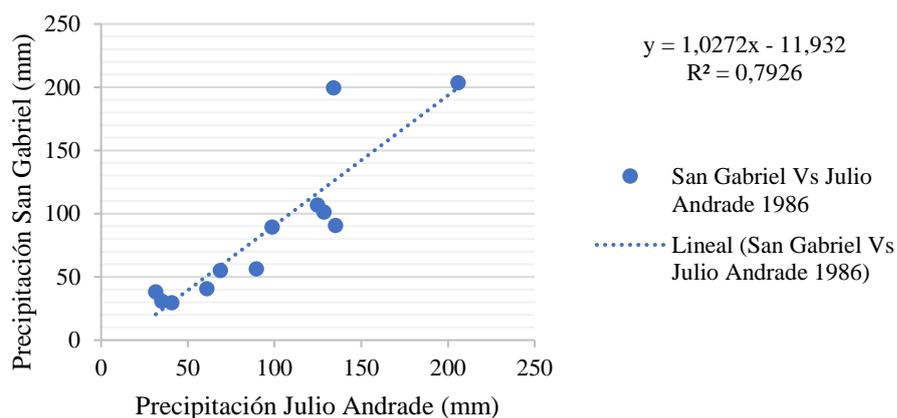
Estación	Año	N° Datos
Iguincho	1994	1
La Concordia	1988	1
San Gabriel	1986	1
Otavalo	1991	1
	1987	1
	1990	2
	1998	4
FFCC	1999	1
Carchi	2000	3
	2005	1
	2015	2
	1993	1
Tufiño	1999	1
	2000	1
	2001	1
	2012	1
	2015	1
Pablo Arenas	1987	1
	2007	1
	2009	1
Pimampiro	1999	1
	2000	1
	2004	1
	2007	1
	2008	2
	2009	1
	2012	1
Cotacachi	1998	1
	2000	1
	2002	1
	2007	2
	2010	1
	2013	2
Total		43

Anexo 2b: Estaciones usadas para el relleno de datos de precipitación

Variable independiente	Variable dependiente	Distancia (km)
Otavalo	Iguincho	15,88
García Moreno	La Concordia	88,42
Julio Andrade	San Gabriel	12,11
Cotacachi	Otavalo	7,84
Pablo Arenas	FFCC Carchi	13,32
El Carmelo	Tufiño	30,45
Cahuasquí	Pablo Arenas	2,69
Ambuquí	Pimampiro	8,49
Otavalo	Cotacachi	7,84

Anexo 2c: Gráfica de correlación de datos de precipitación

San Gabriel-Julio Andrade 1986



Anexo 2d: Tabla de correlación lineal de los datos de precipitación, para el relleno de información faltante

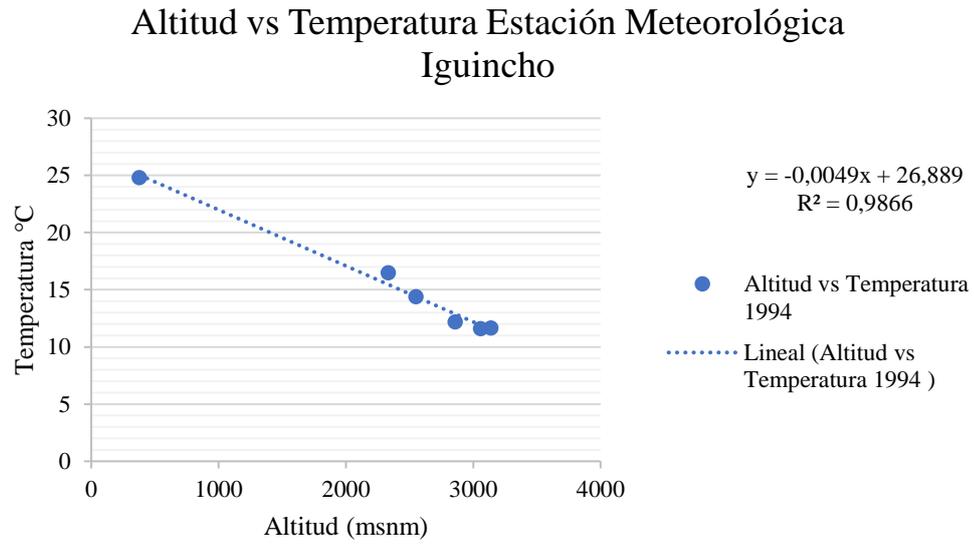
Estación	Año	R	Ecuación
Iguincho	1994	0,5773	$y = 2,2768x - 32,166$
La Concordia	1988	0,7483	$y = 2,8214 - 125,36$
San Gabriel	1986	0,7926	$y = 1,0272x - 11,932$
Otavalo	1991	0,74	$y = 0,4061x + 13,0508$
	1987	0,7966	$y = 0,6345x + 5,6438$
FFCC Carchi	1990	0,953	$y = 0,6437x + 0,0237$
	1998	0,8168	$0,4346x + 5,2108$
	1999	0,7866	$y = 0,6501x + 4,9542$
	2000	0,8239	$y = 0,4873x + 25,458$

	2005	0,759	$y = 0,5986x + 6,8671$
	2015	0,5888	$y = 0,7985x + 7,4254$
Tufiño	1993	0,6591	$y = 0,5949 + 91,683$
	1999	0,9888	$y = 0,9778 + 41,02$
	2000	0,9863	$y = 0,9923x + 7,2933$
	2001	0,9867	$y = 0,9708x + 52,617$
	2012	0,4767	$y = 0,5671x + 20,911$
	2015	0,6313	$y = 1,0775x + 48,686$
Pablo Arenas	1987	0,8544	$y = 0,8199x + 11,729$
	2007	0,8006	$y = 0,9322x - 1,8004$
	2009	0,8552	$y = 0,8303x + 14,098$
Pimampiro	1999	0,501	$y = 0,7963x + 30,678$
	2000	0,8823	$y = 0,6527x + 13,301$
	2004	0,5501	$y = 0,6245x + 19,2$
	2007	0,7415	$y = 0,6277x + 11,599$
	2008	0,7039	$y = 0,4929x - 8,4564$
	2009	0,4565	$y = 1,5745x + 17,433$
	2012	0,8712	$y = 0,7159x + 15,378$
Cotacachi	1998	0,6192	$y = 1,4646x + 39,2$
	2000	0,7946	$y = 2,2445x - 43298$
	2002	0,4067	$y = 0,6642x + 48,204$
	2007	0,6861	$y = 1,2453x + 82,238$
	2010	0,7102	$y = 0,6494x + 40,755$
	2013	0,8749	$y = 0,9152x + 2,9523$

Anexo 2e: Estaciones de temperatura con información faltante

Estación	Año	Nº Datos
Iguincho	1994	1
	1987	1
Otavalo	1991	1
	1992	2
	1995	2
	1991	1
	1992	2
Cahuasquí-FAO	1995	1
	2002	1
	2003	1
	2005	2
	2015	3
Total		18

Anexo 2f: Gráfico de correlación de datos de temperatura

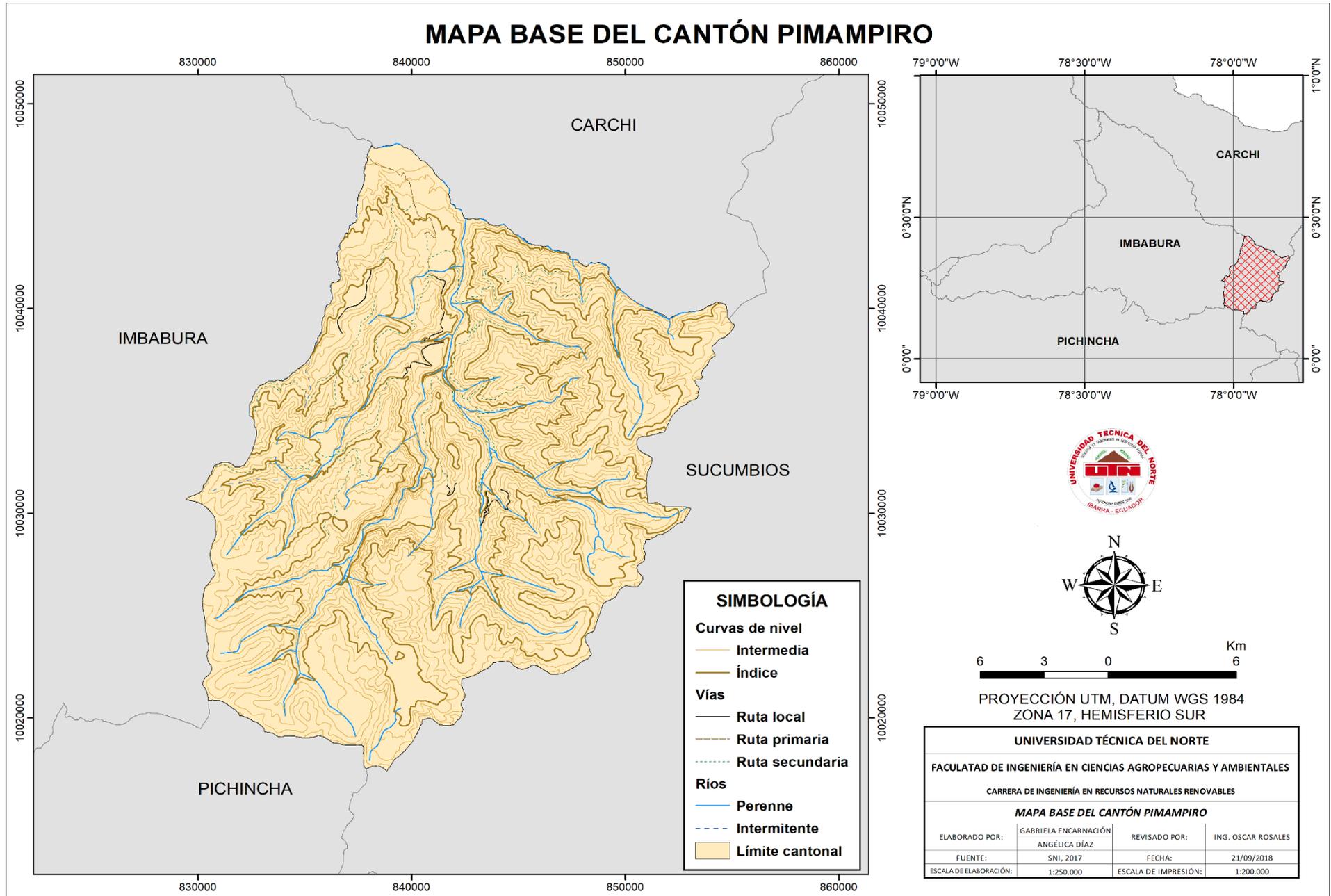


Anexo 2g. Histórico de incendios (2014-2017), cantón Pimampiro

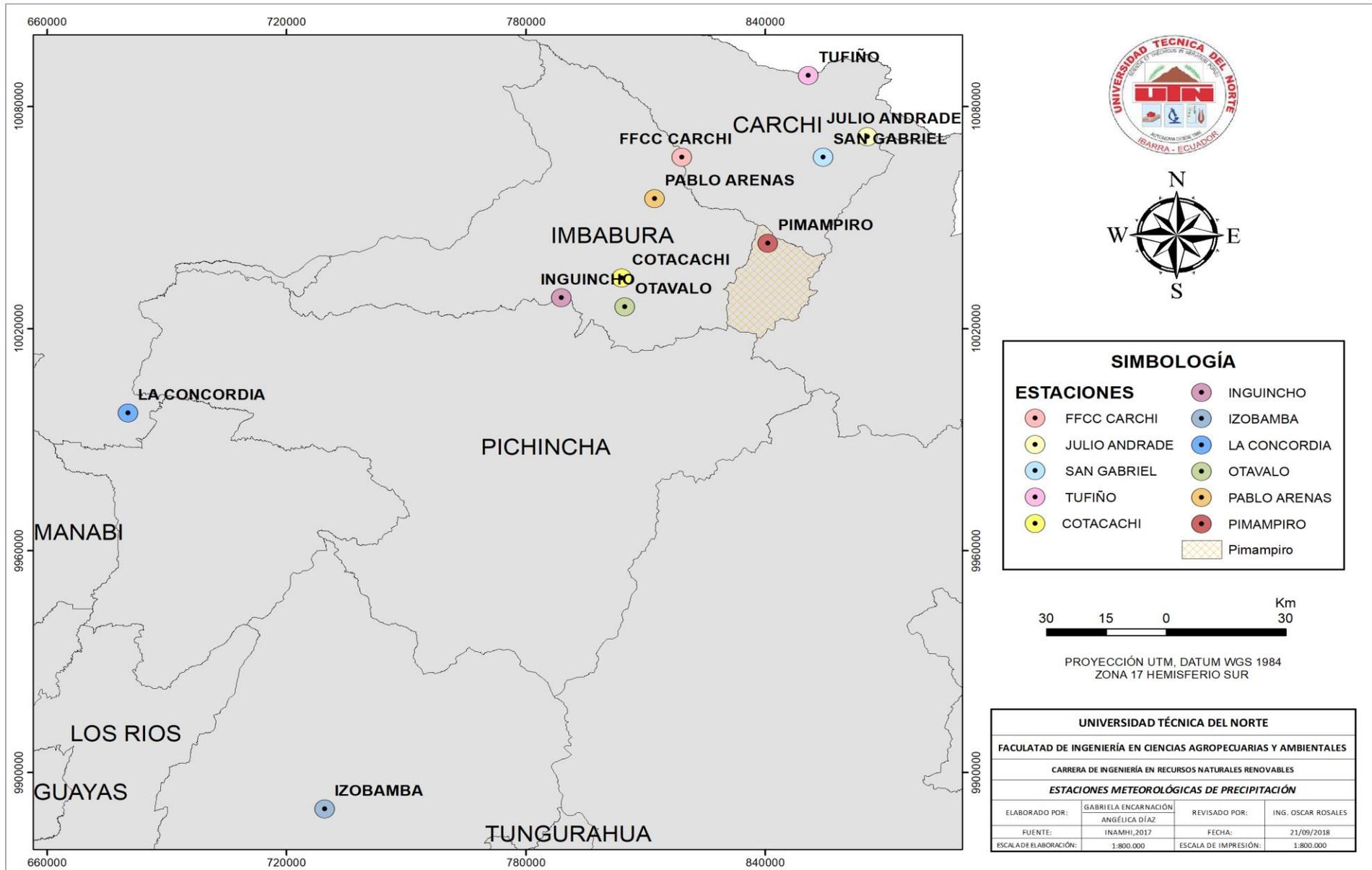
Mes	Incendios	Porcentaje
Enero	4	20
Febrero	0	0
Marzo	0	0
Abril	0	0
Mayo	0	0
Junio	0	0
Julio	7	35
Agosto	2	10
Septiembre	3	15
Octubre	1	5
Noviembre	0	0
Diciembre	3	15
Total	20	

ANEXO 3: MAPAS

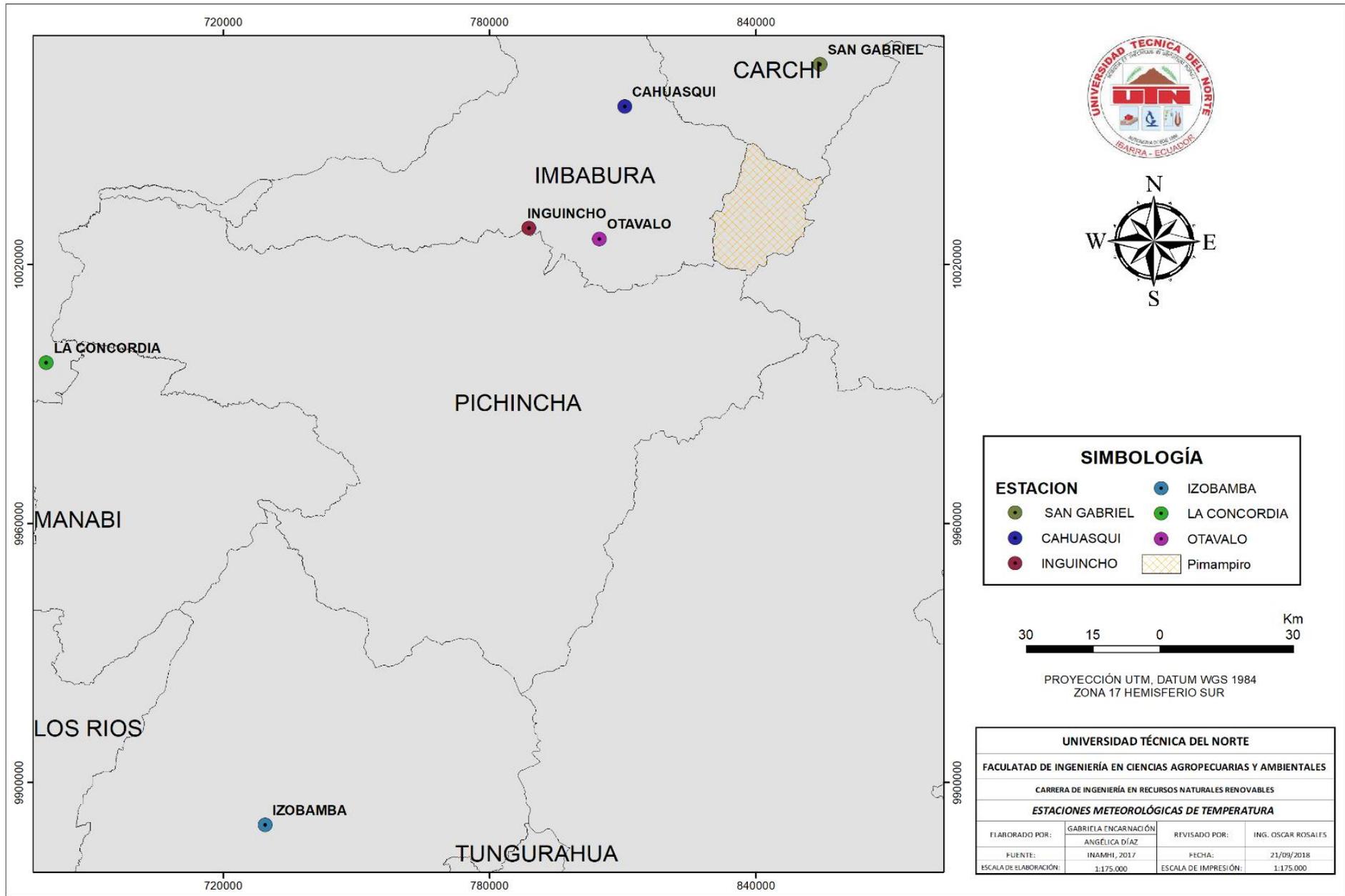
Anexo 3a: Mapa base del cantón Pimampiro



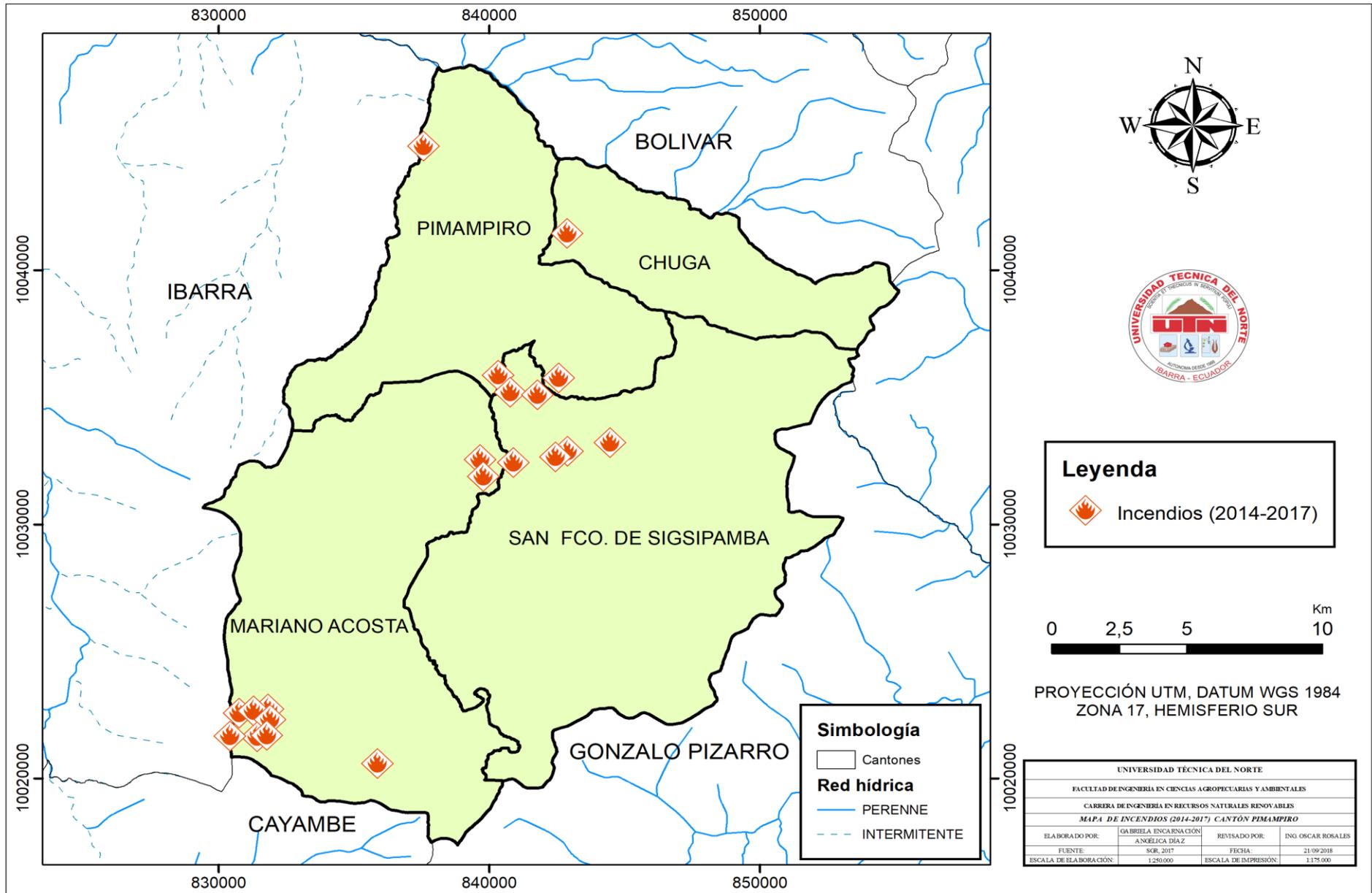
Anexo 3b: Ubicación de las estaciones meteorológicas y pluviométricas



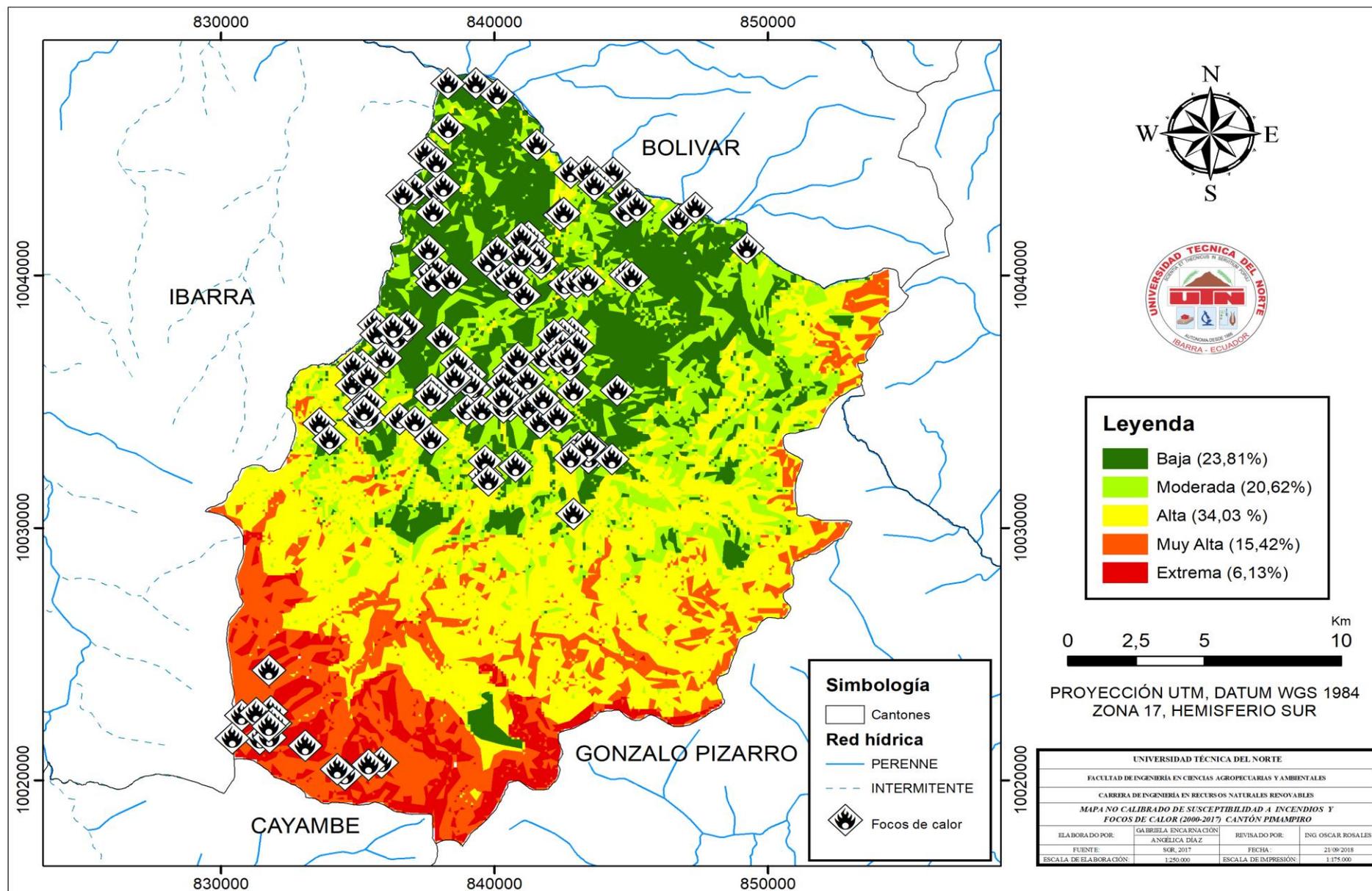
Anexo 3c: Ubicación de las estaciones meteorológicas



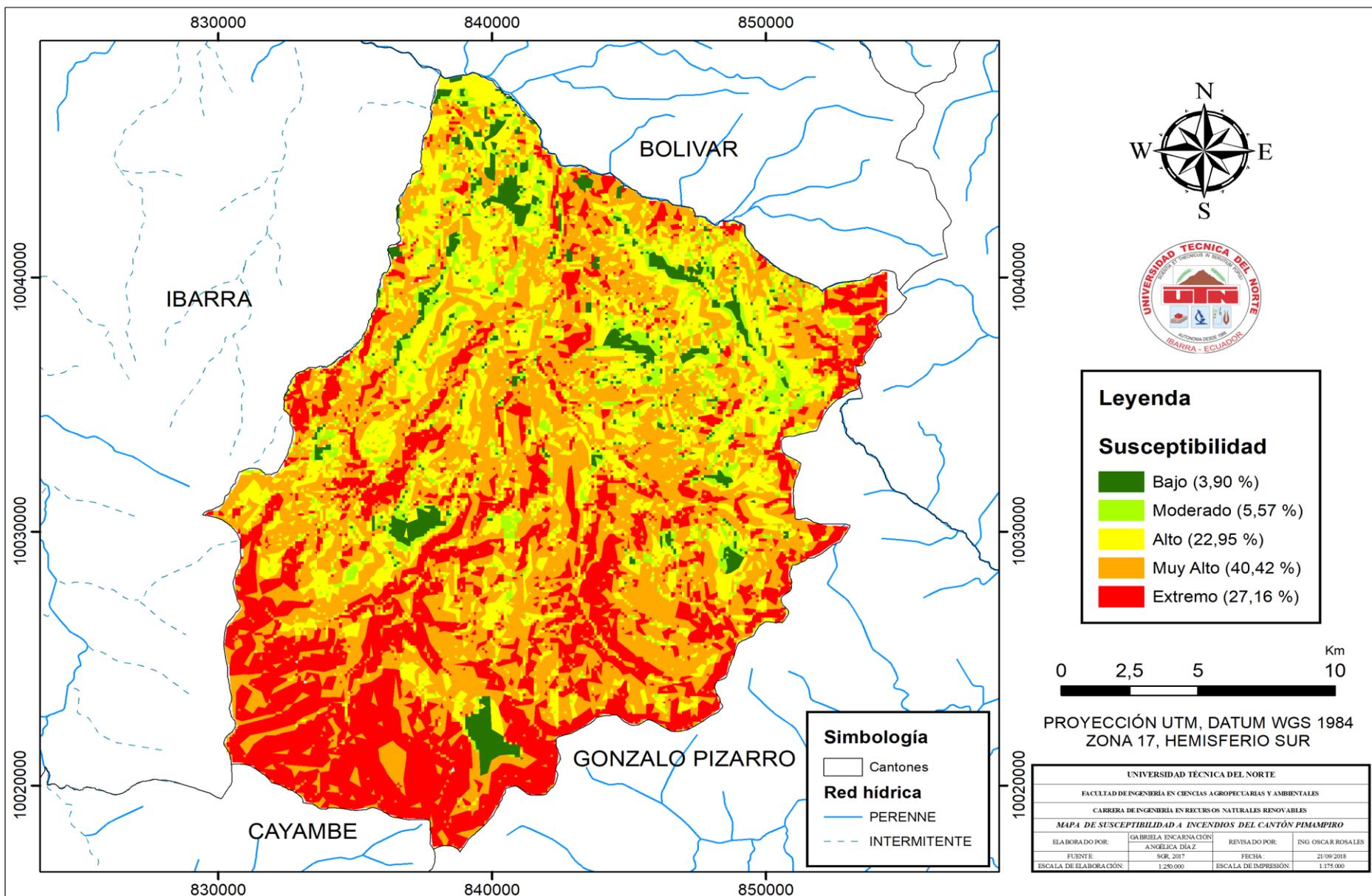
Anexo 3d. Mapa de incendios en el cantón Pimampiro



Anexo 3e. Mapa no calibrado de susceptibilidad a incendios y focos de calor (2000-2017)



Anexo 3f: Mapa calibrado de susceptibilidad a incendios de cobertura vegetal



Anexo 3g: Mapa calibrado de susceptibilidad a incendios de cobertura vegetal y focos de calor

