



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

“ZONIFICACIÓN DE COBERTURA VEGETAL PROPENSA A INCENDIOS
EN EL CANTÓN IBARRA, PROVINCIA DE IMBABURA”

TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIEROS
EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

Autores:

Saúl Alberto Anrango Torres
Merly Caterine Chingal Huaca

Director:

Ing. Darío Paúl Arias Muñoz MSc.

Ibarra - Ecuador
Septiembre, 2019

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

**ZONIFICACIÓN DE COBERTURA VEGETAL PROPENSA A INCENDIOS EN
EL CANTÓN IBARRA, PROVINCIA DE IMBABURA**

Trabajo de titulación revisado por el Comité Asesor, previa a la obtención del título

de:

INGENIEROS EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

APROBADA:

Ing. Darío Paúl Arias Muñoz MSc.

DIRECTOR

FIRMA

Ing. Oscar Rosales MSc.

ASESOR

FIRMA

Ing. Elizabeth Velarde MSc.

ASESORA

FIRMA

Ibarra - Ecuador

Septiembre 2019



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	1003850615	
APELLIDOS Y NOMBRES	Anrango Torres Saúl Alberto	
DIRECCIÓN:	Ibarra - Imbabura	
EMAIL:	saul.anrangotorres@gmail.com	
TELÉFONO FIJO:	TELÉFONO MÓVIL:	0985172144

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD	0401770904	
APELLIDOS Y NOMBRES	Chingal Huaca Merly Caterine	
DIRECCIÓN:	Ibarra - Imbabura	
EMAIL:	merlychingal06@gmail.com	
TELÉFONO FIJO:	TELÉFONO MÓVIL:	0984353464

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“ZONIFICACIÓN DE COBERTURA VEGETAL PROPENSA A INCENDIOS EN EL CANTÓN IBARRA, PROVINCIA DE IMBABURA”
AUTORES:	Anrango Torres Saúl Alberto Chingal Huaca Merly Caterine
FECHA:	13 de septiembre del 2019
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSTGRADO <input type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería en Recursos Naturales Renovables
DIRECTOR:	Ing. Darío Paúl Arias Muñoz MSc.

2. CONSTANCIA

Los autores manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo, sin violar derechos de autores terceros, por lo tanto, la obra es original y es la titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 13 días del mes de septiembre del 2019

LOS AUTORES:



 Chingal Huaca Merly Caterine
 CI: 0401770904



 Anrango Torres Saúl Alberto
 CI: 1003850615

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a Dios por su amor y bondad infinitas, por darnos la fortaleza y sabiduría a lo largo de la carrera universitaria e iluminar nuestro camino en cada paso.

A la Universidad Técnica del Norte por abrirnos las puertas de esta prestigiosa institución y darnos la oportunidad de culminar una nueva etapa.

A nuestro director Ing. Paul Arias y asesores: Ing. Oscar Rosales e Ing. Elizabeth Velarde, por compartir con nosotros su tiempo, paciencia y conocimientos en cada etapa de esta investigación.

A nuestros familiares por su cariño y apoyo incondicional, nos han acompañado en los buenos y malos momentos. Su amor, paciencia y confianza en nosotros han sido fundamentales para que este logro sea posible.

A nuestros compañeros y amigos con quienes compartimos grandes experiencias y aventuras que las llevaremos siempre en nuestros corazones.

El camino no ha sido fácil, pero su apoyo fue la base para no decaer. Gracias infinitas a cada uno de ustedes.

Saúl Alberto Anrango T.

Merly Caterine Chingal H.

DEDICATORIA

A Dios por ser mi guía en este camino y regalarme la fortaleza necesaria para completar una etapa más de mi formación profesional.

A mi madre Lucía por ser mi todo, jamás lo habría logrado sin ti, por su gran sacrificio diario para sacarme adelante y brindarme su amor, cariño y apoyo incondicional en los buenos y malos momentos que atravesamos en esta etapa. Este logro es para ti.

A mi padre Luis Alberto por ser el mejor ejemplo de un hombre de bien y enseñarme el valor del trabajo duro, a pesar de que partiste de este mundo en la mitad de esta etapa siempre estuviste en mi corazón y sé con certeza que eres mi ángel guardián. La promesa está cumplida, sé que estarías orgulloso papi.

A mis hermanos Javier, Daniel y Carlos que siempre estuvieron acompañándome y brindándome su apoyo.

A mi tía Nancy por siempre estar ahí para ayudarnos y apoyarnos en los momentos difíciles.

A mi compañera de investigación y amiga Mily por tu constancia y apoyo en este recorrido de vida universitaria y que a pesar de las dificultades siempre logro prevalecer nuestra amistad. ¡Lo logramos!

A mis amigas y amigos que estuvieron presentes durante toda esta etapa y con quienes compartí el camino para alcanzar un logro más en nuestras vidas.

Saúl Alberto Anrango T.

DEDICATORIA

Esto va dedicado a quienes forman parte de mi día a día, son la base de mi vida, mi fuente de energía y mi inspiración para luchar por mis sueños:

A Dios por su gracia y misericordia conmigo, por permitirme tener una vida llena de amor, días de nuevas oportunidades y fortaleza continua para culminar mis objetivos.

A mi madre al ser que más amo y admiro, por luchar por cada uno de sus hijos y demostrar que no hay excusa para rendirse, su ejemplo ha guiado mi camino hasta ahora, Te amo mamá.

A mis hermanas y hermanos con quienes he compartido risas y llantos: Andy, Diany, Sary Dany, Israel y Josué: conocen mis fortalezas y debilidades, han sabido acompañarme en cada etapa de mi vida y no han soltado mi mano jamás.

A mi pequeña y hermosa sobrina, no lo sabe, pero ella le dio luz a mi vida, te amo.

A mis amigos, todo lo que compartimos lo llevaré siempre en mi corazón, su amistad hizo placentera mi estadía lejos de casa.

Este logro no es mío, es de cada uno de ustedes y va dedicado con todo mi amor, los amo infinitamente, gracias por creer en mí.

Merly Caterine Chingal H.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO I	16
INTRODUCCIÓN	16
1.1. Revisión de antecedentes	16
1.2. Problema de investigación y justificación.....	17
1.3. Objetivos	19
<i>1.3.1. Objetivo general</i>	19
<i>1.3.2. Objetivos específicos</i>	19
1.4. Pregunta directriz de la investigación	19
CAPÍTULO II	20
REVISIÓN LITERARIA	20
2.1. Marco teórico referencial	20
<i>2.1.1. Incendios en la cobertura vegetal</i>	20
<i>2.1.2. Régimen de incendios</i>	21
<i>2.1.3. Causas que inciden en la ocurrencia de un incendio</i>	21
<i>2.1.4. Escala de impactos de los incendios de cobertura vegetal</i>	22
<i>2.1.5. Alteraciones al medio por incendios de cobertura vegetal</i>	22
<i>2.1.6. Evaluación de riesgo de incendios</i>	24
<i>2.1.7. Uso de los Sistemas de Información Geográfica para la evaluación de incendios</i>	25
<i>2.1.8. Zonificación de incendios</i>	25
<i>2.1.9. Variables que intervienen en los incendios</i>	26
<i>2.1.10. Método de análisis jerárquico para la evaluación de incendios de cobertura vegetal</i>	28
<i>2.1.11. Métodos de validación estadística</i>	29
<i>2.1.12. Gestión de Riesgos</i>	31
<i>2.1.13. FODA</i>	33

2.1.14. Sistema de alerta temprana.....	34
2.2. Marco legal.	35
2.2.1. Constitución Política de la República del Ecuador.....	36
2.2.2. Código Orgánico del Ambiente.....	38
2.2.3. Plan Nacional de desarrollo 2017-2021 Toda una Vida.....	40
2.2.4. Secretaria Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias	40
CAPÍTULO III.....	42
METODOLOGÍA	42
3.1. Materiales y equipos	42
3.2. Descripción del área de estudio.....	42
3.3. Métodos.....	45
3.3.1. Fase 1: Identificación de los principales factores que inciden en los incendios de cobertura vegetal en el cantón Ibarra.....	46
3.3.2. Fase 2: Zonificación de áreas susceptibles a incendios de cobertura vegetal en el cantón Ibarra	57
3.3.3. Fase 3: Diseño de estrategias de mitigación de riesgos de incendios de cobertura vegetal en el cantón Ibarra	61
CAPÍTULO IV	63
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	63
4.1. Principales factores que inciden en los incendios de cobertura vegetal en el cantón Ibarra	63
4.1.1. Entrevistas a expertos	63
4.1.2. Factores físicos	63
4.1.3. Factores climáticos	69
4.2. Áreas susceptibles a incendios de cobertura vegetal en el cantón Ibarra.....	73
4.2.1. Ponderación de factores físicos y climáticos.....	73
4.2.2. Modelo de zonificación de susceptibilidad a incendios de cobertura vegetal..	74
4.2.3. Validación estadística del modelo	75
4.3. Diseñar estrategias de mitigación de incendios de cobertura vegetal en el cantón Ibarra	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Alteraciones al medio por incendios de cobertura vegetal.....	22
Tabla 2. Variables que intervienen en los incendios.....	26
Tabla 3. Escala de importancia del método Saaty.....	29
Tabla 4. Matriz de confusión	30
Tabla 5. Estrategias de prevención de riesgos para incendios	32
Tabla 6. Materiales utilizados en la investigación	42
Tabla 7. Zonas de vida del cantón Ibarra	44
Tabla 8. Determinación de susceptibilidad	47
Tabla 9. Clasificación de pendientes para el cantón Ibarra.....	48
Tabla 10. Orientación del terreno.....	48
Tabla 11. Estaciones meteorológicas para el viento. Proyección	49
Tabla 12. Ponderaciones de proximidad a las vías.....	49
Tabla 13. Coeficiente de Kappa	51
Tabla 14. Estaciones meteorológicas y pluviométricas para precipitación.....	52
Tabla 15. Estaciones meteorológicas para temperatura.	53
Tabla 16. Factor de corrección.....	56
Tabla 17. Escala de importancia del método Saaty.....	58
Tabla 18. Comparaciones pareadas.....	58
Tabla 19. Proceso de obtención de ponderaciones con Saaty	59
Tabla 20. Ponderación de factores según expertos	63
Tabla 21. Ponderación de factores según SAATY.....	74
Tabla 22. Prueba de chi-cuadrado	75
Tabla 23. Área bajo la curva	76
Tabla 24. Análisis FODA del área de estudio.....	77
Tabla 25. Cruce de variables del FODA	78
Tabla 26. Programa de Sistema de alerta temprana	80
Tabla 27. Área visible y coordenadas de las torres de vigilancia	82
Tabla 28. Proyecto de implementación de torres de vigilancia	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Alteraciones al medio por incendios de cobertura vegetal.....	22
Tabla 2. Variables que intervienen en los incendios.....	26
Tabla 3. Escala de importancia del método Saaty.....	29
Tabla 4. Matriz de confusión	30
Tabla 5. Estrategias de prevención de riesgos para incendios	32
Tabla 6. Materiales utilizados en la investigación	42
Tabla 7. Zonas de vida del cantón Ibarra	44
Tabla 8. Determinación de susceptibilidad	47
Tabla 9. Clasificación de pendientes para el cantón Ibarra.....	48
Tabla 10. Orientación del terreno.....	48
Tabla 11. Estaciones meteorológicas para el viento. Proyección	49
Tabla 12. Ponderaciones de proximidad a las vías.....	49
Tabla 13. Coeficiente de Kappa	51
Tabla 14. Estaciones meteorológicas y pluviométricas para precipitación.....	52
Tabla 15. Estaciones meteorológicas para temperatura.	53
Tabla 16. Factor de corrección.....	56
Tabla 17. Escala de importancia del método Saaty.....	58
Tabla 18. Comparaciones pareadas.....	58
Tabla 19. Proceso de obtención de ponderaciones con Saaty	59
Tabla 20. Ponderación de factores según expertos	63
Tabla 21. Ponderación de factores según SAATY.....	74
Tabla 22. Prueba de chi-cuadrado	75
Tabla 23. Área bajo la curva	76
Tabla 24. Análisis FODA del área de estudio.....	77
Tabla 25. Cruce de variables del FODA	78
Tabla 26. Programa de Sistema de alerta temprana	80
Tabla 27. Área visible y coordenadas de las torres de vigilancia	82
Tabla 28. Proyecto de implementación de torres de vigilancia	83

<i>4.3.1. Matriz FODA</i>	77
CAPÍTULO V	89
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	89
5.1. Conclusiones	89
5.2. Recomendaciones	90
REFERENCIAS	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Alteraciones al medio por incendios de cobertura vegetal.....	22
Tabla 2. Variables que intervienen en los incendios.....	26
Tabla 3. Escala de importancia del método Saaty.....	29
Tabla 4. Matriz de confusión	30
Tabla 5. Estrategias de prevención de riesgos para incendios	32
Tabla 6. Materiales utilizados en la investigación	42
Tabla 7. Zonas de vida del cantón Ibarra	44
Tabla 8. Determinación de susceptibilidad	47
Tabla 9. Clasificación de pendientes para el cantón Ibarra.....	48
Tabla 10. Orientación del terreno.....	48
Tabla 11. Estaciones meteorológicas para el viento. Proyección	49
Tabla 12. Ponderaciones de proximidad a las vías.....	49
Tabla 13. Coeficiente de Kappa	51
Tabla 14. Estaciones meteorológicas y pluviométricas para precipitación.....	52
Tabla 15. Estaciones meteorológicas para temperatura.	53
Tabla 16. Factor de corrección.....	56
Tabla 17. Escala de importancia del método Saaty.....	58
Tabla 18. Comparaciones pareadas.....	58
Tabla 19. Proceso de obtención de ponderaciones con Saaty	59
Tabla 20. Ponderación de factores según expertos	63
Tabla 21. Ponderación de factores según SAATY.....	74
Tabla 22. Prueba de chi-cuadrado	75
Tabla 23. Área bajo la curva	76
Tabla 24. Análisis FODA del área de estudio.....	77
Tabla 25. Cruce de variables del FODA	78
Tabla 26. Programa de Sistema de alerta temprana	80
Tabla 27. Área visible y coordenadas de las torres de vigilancia	82
Tabla 28. Proyecto de implementación de torres de vigilancia	83

Tabla 29. Ubicación de líneas cortafuegos.....	83
Tabla 30. Proyecto de implementación de líneas cortafuegos	85
Tabla 31. Programa de educación ambiental	86
Tabla 32. Programa de participación comunitaria	87
Tabla 33. Plan de seguimiento y control	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Alteraciones al medio por incendios de cobertura vegetal.....	22
Tabla 2. Variables que intervienen en los incendios.....	26
Tabla 3. Escala de importancia del método Saaty.....	29
Tabla 4. Matriz de confusión	30
Tabla 5. Estrategias de prevención de riesgos para incendios	32
Tabla 6. Materiales utilizados en la investigación	42
Tabla 7. Zonas de vida del cantón Ibarra	44
Tabla 8. Determinación de susceptibilidad	47
Tabla 9. Clasificación de pendientes para el cantón Ibarra.....	48
Tabla 10. Orientación del terreno.....	48
Tabla 11. Estaciones meteorológicas para el viento. Proyección	49
Tabla 12. Ponderaciones de proximidad a las vías.....	49
Tabla 13. Coeficiente de Kappa	51
Tabla 14. Estaciones meteorológicas y pluviométricas para precipitación.....	52
Tabla 15. Estaciones meteorológicas para temperatura.	53
Tabla 16. Factor de corrección.....	56
Tabla 17. Escala de importancia del método Saaty.....	58
Tabla 18. Comparaciones pareadas.....	58
Tabla 19. Proceso de obtención de ponderaciones con Saaty	59
Tabla 20. Ponderación de factores según expertos	63
Tabla 21. Ponderación de factores según SAATY.....	74
Tabla 22. Prueba de chi-cuadrado	75
Tabla 23. Área bajo la curva	76
Tabla 24. Análisis FODA del área de estudio.....	77
Tabla 25. Cruce de variables del FODA	78
Tabla 26. Programa de Sistema de alerta temprana	80
Tabla 27. Área visible y coordenadas de las torres de vigilancia	82
Tabla 28. Proyecto de implementación de torres de vigilancia	83

Tabla 29. Ubicación de líneas cortafuegos.....	83
Tabla 30. Proyecto de implementación de líneas cortafuegos	85
Tabla 31. Programa de educación ambiental	86
Tabla 32. Programa de participación comunitaria	87
Tabla 33. Plan de seguimiento y control	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo del manejo del riesgo.	31
Figura 2. Pirámide de Kelsen.....	36
Figura 3. Ubicación del cantón Ibarra.....	43
Figura 4. Distribución de las zonas de vida de Holdrige en el cantón Ibarra	45
Figura 5. Metodología aplicada	46
Figura 6. Modelo digital de elevación y susceptibilidad a incendios del cantón Ibarra	64
Figura 7. Pendientes y rangos de susceptibilidad a incendios del cantón Ibarra	65
Figura 8. Orientación del terreno y rangos de susceptibilidad a incendios del cantón Ibarra	66
Figura 9. Proximidad a las vías y rangos de susceptibilidad a incendios del cantón Ibarra	67
Figura 10. Cobertura, uso de suelo y rangos de susceptibilidad a incendios del cantón Ibarra.....	68
Figura 11. Precipitación media y rangos de susceptibilidad a incendios del cantón Ibarra	69
Figura 12. Temperatura media y rangos de susceptibilidad a incendios del cantón Ibarra	70
Figura 13. Evapotranspiración potencial y rangos de susceptibilidad a incendios del cantón Ibarra.....	71
Figura 14. Déficit hídrico y rangos de susceptibilidad a incendios del cantón Ibarra	72
Figura 15. Diagrama ombrotérmico del cantón Ibarra.....	73
Figura 16. Susceptibilidad a incendios de cobertura vegetal del cantón Ibarra.....	75
Figura 17. Curva ROC	76
Figura 18. Sistema de Alerta Temprana.....	79
Figura 19. Ubicación de torres de vigilancia	81
Figura 20. Ubicación de líneas cortafuego.....	84

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ZONIFICACIÓN DE COBERTURA VEGETAL PROPENSA A INCENDIOS
EN EL CANTÓN IBARRA, PROVINCIA DE IMBABURA

Saúl Alberto Anrango Torres
Merly Caterine Chingal Huaca

RESUMEN

Se realizó una zonificación de cobertura vegetal propensa a incendios en el cantón Ibarra, donde se identificó áreas homogéneas que presenten mayor susceptibilidad a incendios en la cobertura vegetal con el motivo de generar herramientas de prevención, mitigación y toma de decisiones a posibles incidentes futuros. Este estudio tuvo diferentes etapas que inició en la recopilación bibliográfica, revisión cartográfica, procesamiento de los datos geofísicos obtenidos en campo, elaboración de mapas temáticos, regresiones lineales y análisis de los resultados que permitieron integrar todas las variables en un modelo de susceptibilidad a incendios de cobertura vegetal. Se usaron nueve factores que inciden directamente en los incendios de cobertura vegetal (precipitación, temperatura, déficit hídrico, evapotranspiración potencial, pendientes, orientación del terreno, proximidad a las vías, cobertura y uso de suelo y altitud), las cuales fueron reclasificadas mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y ponderadas a través del proceso analítico jerárquico (AHP) de Saaty. Los resultados mostraron que el cantón Ibarra presenta cinco categorías de susceptibilidad que son: muy bajo, bajo, moderado, alto y extremo siendo esta última la que ocupa 15810,7 hectáreas (ha) del área de estudio, es decir el 14,55%, donde las coberturas con mayor susceptibilidad son cultivos, pastizales, vegetación arbustiva y bosque. Finalmente, se utilizó la metodología FODA para plantear estrategias enfocadas en las áreas de mayor susceptibilidad tales como educación ambiental, sistemas de alerta temprana, torres de vigilancia, líneas cortafuego, participación comunitaria y un plan de seguimiento y control.

Palabras clave: Zonificación, cobertura vegetal, incendios, susceptibilidad.

ABSTRACT

Fire-prone plant cover zoning was carried out in the canton Ibarra, where homogeneous areas with greater fire susceptibility were identified in plant cover in order to generate prevention, mitigation and decision-making to potential future incidents. This study had different stages that he initiated in the collection of bibliographic, cartographic review, processing of geophysical data obtained in the field, elaboration of thematic maps, linear regressions and analysis of the results that allowed integrate all variables into a fire susceptibility model of plant cover. Nine factors that directly affected plant cover fires (precipitation, temperature, water deficit, potential evapotranspiration, slopes, terrain orientation, road proximity, land cover and use and altitude) were used, reclassified through the use of Geographic Information Systems (GIS) and weighted through Saaty's hierarchical analytical process (HPA). The results showed that the canton Ibarra presents five categories of susceptibility that are: very low, low, moderate, high and extreme being the latter that occupies 15810.7 hectares (ha) of the study area, that is 14.55%, where the coverages with the highest susceptibility are crops, grasslands, shrub vegetation and forest. Finally, the FODA methodology was used to develop strategies focused on the areas of greatest susceptibility such as environmental education, early warning systems, watchtowers, firewall lines, community participation and a monitoring and control.

Keywords: Zoning, plant cover, fires, susceptibility.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Revisión de antecedentes

Existen diferentes perturbaciones que afectan a los ecosistemas ya sea de origen abiótico como incendios, inundaciones, tormentas o avalanchas, o perturbaciones de origen biótico como plagas y enfermedades, que puede llegar a erradicar especies, poblaciones o comunidades y su intensidad determinará si sus efectos serán más o menos duraderos o incluso ser irreversible, esto debido a que los ecosistemas son dinámicos (Burel y Baudry, 2002). De dichas perturbaciones, la que ha impactado y moldeado la estructura, composición y distribución geográfica dentro de los ecosistemas, ha sido el fuego con mayor intensidad logrando impactar sobre sus componentes, dinámicas, interrelaciones y procesos (Bond y Keeley, 2005).

Según Lloret (2014), los incendios representan una perturbación o disturbio, es decir, una pérdida de individuos o biomasa que puede producirse de forma súbita o episódica y que además puede alterar las interrelaciones presentes en el ecosistema cuando este entra en un estado de recuperación.

Los incendios de cobertura vegetal son considerados como perturbaciones ecológicas de efectos discretos o difusos, graves o destructivos, producidos por fuego de origen natural o antrópico, cuya dinámica responde fundamentalmente a la concurrencia simultánea de tres o más condiciones (...) los cuales se desarrollan sin control ni límites preestablecidos sobre terrenos con alguna clase de cobertura vegetal. (Lara, Del Campo, Bernal, Armenteras, González, Morales y Rocha, 2011).

En el Ecuador, los datos estadísticos presentados por la Secretaria de Gestión de Riesgos (2018), los incendios de cobertura vegetal han ocasionado una pérdida de 13452,6 ha de cobertura en 929 eventos que han sido registrados. Identificando que las provincias que presentan un mayor número de incendios fueron: Loja, Pichincha, Chimborazo y Azuay.

En cuanto a afectación, en Imbabura se registra un total de 489,6 ha quemadas en 60 eventos (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2018). En consecuencia, es necesario generar herramientas para poder determinar las causas principales de estos sucesos. Según un estudio realizado por Muñoz (2000), afirma que la principal causa para que se originen los incendios, es el uso del fuego en agricultura y especialmente en la actividad ganadera, es decir, la mayoría de estos incendios no se da por motivos desconocidos, negligencias u otras razones, existe intencionalidad encubierta. La quema de biomasa por incendios de pastizales, bosques y residuos, se la realiza generalmente para despejar las tierras y posteriormente convertirlas a usos agrícola-ganaderos (Mielnicki, et al., 2005). Dicha actividad ocasiona grandes alteraciones en el ecosistema, de acuerdo con Solera y Cerdá (2009) muestran que el fuego elimina temporalmente la parte alta de la vegetación, pero la parte superficial de los suelos se encuentra afectada, con ello condiciona los procesos erosivos e hidrológicos, influyendo en el ciclo del agua y en las formas terrestres, cambios que a su vez terminarían por condicionar la evolución de los ecosistemas.

Además, se presentan otros factores que influyen en la ocurrencia de un incendio los cuales se encuentran los asociados al clima, tales como temperatura, viento, humedad y condiciones del material combustible incluyendo la humedad y cantidad (Jaiswal, Mukherjee, Raju y Saxena, 2002). La topografía también es un factor muy importante que con el viento influyen en la propensión del fuego, el cual se propaga más rápidamente en la pendiente (Parisien, et al., 2005). Siguiendo con el factor topografía del terreno, Vaersa (2012) menciona que la pendiente y la orientación influyen de forma determinante en el comportamiento del fuego.

1.2. Problema de investigación y justificación

Los incendios de cobertura vegetal impactan de distintas maneras y diferente tiempo a las especies vegetales que se encuentran presentes en una localidad o región, identificando como efectos más importantes al cambio de las condiciones microclimáticas que requiere para su reproducción y correcto desarrollo, reducción del

tamaño de las poblaciones locales por muerte directa o diferida de sus individuos, modificación de sus estructuras poblacionales, disminución de su diversidad genética, generación de condiciones para el ingreso de nuevas especies competidoras y alteración de las interacciones biológicas y ecológicas con otras especies (Zedler, Gautier y McMaster, 1983), dichos impactos se generan en diferentes escalas, ya sea en escala local, regional o global.

Es así como los incendios de cobertura vegetal resultan ser una amenaza y representan un peligro latente ya sea de origen natural, socio-natural o antropogénico, en un territorio particular, el cual puede producir efectos adversos en los habitantes, la producción, infraestructura, bienes y servicios y el medio ambiente. Esto constituye un factor de riesgo sobre la vegetación, la cual se expresa como la probabilidad de que un incendio se presente con cierta intensidad, en un sitio específico y un tiempo definido. Además, las características del territorio determinaran la vulnerabilidad ante un incendio de cobertura vegetal, esto a partir de la población, los valores de protección de infraestructuras e instalaciones, las actividades económicas, el patrimonio natural, histórico y cultural y la acción institucional, así como algunos aspectos territoriales y ecosistémicos (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2011).

A partir de esto se puede determinar nivel de riesgo en el que se encuentra el cualquier territorio es decir la probabilidad para que se presente un nivel de consecuencias económicas, sociales o ambientales en un lapso definido de tiempo. Esto se obtiene al relacionar la amenaza con la vulnerabilidad de los elementos que están expuestos, con el fin de determinar los posibles efectos. Es importante enfatizar que la cobertura vegetal como factor de riesgo hace parte tanto de la amenaza, en cuanto provee la carga de combustible, como de la vulnerabilidad en tanto es afectada por la ocurrencia de un incendio (IDEAM, 2011). Por lo tanto, es importante tomar acciones preventivas para evitar posibles tragedias futuras que generen una disminución significativa a la cobertura vegetal en la zona de estudio.

Este estudio al estar alineado al objetivo número tres del Plan Nacional del Buen Vivir que en su contexto expresa: Mejorar la calidad de vida de la población: Gestión de riesgos. Este objetivo plantea mejorar la calidad y calidez de los servicios sociales de atención, garantizar la salud de la población desde la generación de un ambiente y prácticas saludables que protejan y conserven la cobertura vegetal (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2013), busca identificar los factores primordiales que ocasionan incendios de cobertura vegetal en el Cantón de Ibarra y a su vez, plantear estrategias de prevención y mitigación a las zonas vulnerables que se determinen.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar las áreas de alta susceptibilidad a incendios de cobertura vegetal en el cantón Ibarra, provincia de Imbabura.

1.3.2. Objetivos específicos

- Identificar los principales factores que inciden en los incendios de cobertura vegetal en el cantón Ibarra.
- Zonificar las áreas susceptibles a incendios de cobertura vegetal en el cantón Ibarra.
- Diseñar estrategias de mitigación de incendios de cobertura vegetal en el cantón Ibarra.

1.4. Pregunta directriz de la investigación

¿Cómo está distribuida la susceptibilidad a incendios de cobertura vegetal en el cantón Ibarra, provincia de Imbabura?

CAPÍTULO II

REVISIÓN LITERARIA

2.1. Marco teórico referencial

2.1.1. Incendios en la cobertura vegetal

El fuego ha sido un agente constante de cambios sobre el paisaje, en el mantenimiento y evolución de los ecosistemas, y parte esencial de los sistemas de vida humanos desde tiempos ancestrales y su rol ecológico como regulador de procesos ha sido parte fundamental de la historia evolutiva de la tierra, en particular cuando su origen es consecuencia de procesos naturales (Castillo, Pedernera y Peña, 2003).

Los incendios en la cobertura vegetal son perturbaciones que con una ocurrencia y propagación no controlada afecta bosques, selvas y vegetación en zonas áridas y semiáridas (Cedeño, 1999). Se consideran tres tipos de incendios con diferentes afectaciones, las mismas que pueden ser superficiales, donde el suelo consume el combustible que ha sido depositado en el suelo, subterráneos que consumen el mantillo y las raíces bajo la superficie y los incendios de copa que consumen la parte alta de la vegetación (Ruiz y Blanco, 2004).

Tres son los componentes básicos del fuego: oxígeno, combustible, y calor que produzca la ignición. Al ser tres componentes presentes en la superficie terrestre la posibilidad de que el fuego se origine es alta. Solo las peculiaridades de cada bioma harán que la ignición sea más o menos probable, y que el fuego tenga continuidad, o no. También de las características de cada ecosistema dependerá el régimen de incendios, y por lo tanto que las adaptaciones de las plantas sean unas u otras (Mataix, J., y Cerdá, A. 2009).

Aunque los incendios han sido bastante recurrentes en el planeta, los cambios recientes en el uso tradicional de los territorios han implicado un incremento de los efectos negativos del fuego, tanto en lo que afecta a la pérdida de vidas humanas, como al daño

ambiental que llevan consigo, ya que los incendios tienden a ser más severos y recurrentes que en condiciones naturales (Chuvienco, 2009).

2.1.2. Régimen de incendios

El régimen de incendios se refiere a la caracterización de las perturbaciones que afectan un espacio determinado a lo largo del tiempo y se determina según las características del clima y la vegetación, la misma que constituye un combustible que puede llegar a ser altamente inflamable, además, los cambios de uso del suelo, las altas temperaturas y los periodos largos de sequía llegan a acumular combustibles dentro de un territorio y lo convierten en un sitio vulnerable (Lloret, 2014).

Cuando los regímenes son alterados de forma natural o antrópica, los incendios de cobertura vegetal contribuyen a la emisión de gases efecto invernadero, estimulan la aparición de especies invasivas, modifican el flujo de agua y son de gran riesgo para la biodiversidad y la vida humana (Shlisky et al., 2007).

2.1.3. Causas que inciden en la ocurrencia de un incendio

Los incendios de cobertura vegetal pueden ser por causas antropogénicas o climáticas en condiciones extremas.

- Causas antrópicas: Los incendios en su gran mayoría son resultado de actividades humanas, los factores como la accesibilidad, distancia a caminos y poblados, influyen en su frecuencia y distribución. Además, el fuego es utilizado en gran medida para despejar suelos y su mal uso ocasiona la dispersión de este generando incluso grandes incendios que destruyen flora, fauna y bienes de poblados cercanos (Pérez, Márquez, Cortés, y Salmarón, 2013).
- Causas naturales: Los constantes cambios en el ambiente aumentaran las temperaturas, con esto el suelo presentara mayor sequedad, escasez de agua que inducirá a la desecación del combustible presente en un territorio dando como

resultado un aumento de su inflamabilidad, volviéndolo aún más vulnerable a la ocurrencia y dispersión de un incendio (Moreno, 2005).

2.1.4. Escala de impactos de los incendios de cobertura vegetal

El impacto ocasionado por un incendio se puede dar en diferentes escalas estas pueden ser local, regional o global:

- Local a regional: se generan daños directos por el fuego y el humo que se desprende, sobre la vegetación y animales, la salud y vidas humanas, y sobre los predios de la población. Además de la degradación o destrucción de ecosistemas, la pérdida de biodiversidad, la pérdida de productividad biológica y la degradación de los suelos (Mielnicki, Canziani y Drummond, 2005).
- Regional a global: son muy importantes las emisiones particuladas a la atmósfera: gases de efecto invernadero, gases precursores de ozono troposférico, gases que afectan el ozono estratosférico, aerosoles orgánicos y con elementos metálicos y hollín, principalmente (Andreae y Merlet, 2001).

2.1.5. Alteraciones al medio por incendios de cobertura vegetal

Existen diferentes alteraciones relacionadas con los incendios de cobertura vegetal, mismas que afectan de manera particular al medio (Tabla 1).

Tabla 1. Alteraciones al medio por incendios de cobertura vegetal

Alteración	Descripción
Mortalidad de árboles	Relacionada con la severidad del incendio, aun en especies adaptadas (Pinard y Huffman, 1997). Además, la mortalidad de los árboles se da en base al Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) de sus troncos, de modo que árboles con DAP <30 cm tienen mortalidades mucho más altas que los de diámetro mayor (Pérez, 1999). Existen árboles que no mueren de manera inmediata durante el incendio y por lo general lo hacen entre el primer y segundo año posterior a él (Holdsworth y Uhl, 1997).

Pérdida local o ahuyentamiento temporal de especies	<p>Gran diversidad de insectos, aves, murciélagos y otros animales intervienen como polinizadores y dispersores de semillas a través de complejas y especializadas relaciones de interdependencia (Quezada, et al., 2004). La sobrevivencia de semillas y plántulas depende de las profundidades de enterramiento, antigüedad, densidad y diversidad, capacidad para sobrevivir durante el episodio, tiempo de exposición al calor y a las condiciones ambientales posteriores al incendio, es decir, del grado de impacto que ha estado sometido el bosque (Kennard, Gould, Fredericksen y Morales, 2002).</p>
Disminución de la capacidad de regeneración vegetativa	<p>Afecta los tejidos meristemáticos que poseen algunas especies de plantas localizados en ramas, troncos, cuello de la raíz y en el sistema radicular afectando su regeneración (Terradas, 2001). El método de regeneración vegetativa más común se da en especies leñosas a partir de sus raíces, se da en las sabanas tropicales inundables, su alto contenido de humedad en el suelo durante todo el año les otorga a las plantas una ventaja para enfrentar dichos fenómenos mediante el aislamiento en su sistema radicular. Sin embargo, esta capacidad logra alcanzarla a lo largo de varios años cuando desarrolla un sistema radicular robusto (García y Azócar, 2004).</p>
Especies invasoras	<p>Uno de los mayores problemas para la conservación de la biodiversidad, tanto por la incidencia de los procesos y ciclos ecosistémicos dentro de la dinámica del paisaje como por las retroalimentaciones positivas que se dan mediante el incremento de la susceptibilidad que tiene el ecosistema con fuego y el ingreso de nuevas especies de plantas pirófilas (Stohlgren, Otsuki, Villa, Lee y Belnap, 2001).</p>
Invasión de plagas y enfermedades	<p>Inducen a los árboles a una especie de mortalidad diferida, la cual depende del grado de resistencia o susceptibilidad que presenta la especie afectada, la visibilidad de los árboles dañados por el fuego, las necesidades de nidificación de los insectos y la densidad de estos y la dotación de sistemas de detección de calor o humo por algunas especies de insectos (Engstrom, 2010).</p>
Afectación al suelo	<p>El fuego afecta las propiedades físicas del suelo se modifica la temperatura, aumenta la compactación del suelo y a su vez disminuye la capacidad de filtraje, se origina una repelencia de agua por la formación de compuestos hidrofóbicos y disminuye la estabilidad estructural (Gonzales, 1992).</p>

2.1.6. Evaluación de riesgo de incendios

A menudo los términos “susceptibilidad” y “riesgo o amenaza” de incendio se usan como sinónimo a pesar de ser dos palabras que expresan dos conceptos diferentes.

El riesgo o amenaza son sinónimos del potencial de peligro que representa un incendio. Este potencial, en un análisis estadístico o determinístico de las variables del evento, se puede expresar como una probabilidad de ocurrencia y a través de un modelo, pronosticar su posible evolución (Soldano, 2008).

Mientras que susceptibilidad representa otro enfoque del mismo problema, pero basado en un análisis heurístico (experto) e histórico. Esto es basándose en una visión retrospectiva de los eventos sucedidos en una región. Es decir, el terreno presentará una predisposición o “susceptibilidad” ante un evento natural o antrópico, cuya variabilidad y distribución dependerá de factores ambientales (Soldano, 2008).

Por tales razones es evidente la naturaleza estocástica de los incendios de cobertura vegetal, dado su carácter histórico y discreto. Ello quiere decir que los incendios pueden repetirse en el tiempo y en el espacio con una cierta cadencia. Esta idea es particularmente valiosa para superar la simplificación de considerar los incendios de cobertura vegetal como un evento aislado (Lloret, 2014).

La predicción de un evento de magnitud de los incendios de cobertura vegetal se basa en responder tres preguntas fundamentales una, es indicar cuando se producirá un incendio para determinar las épocas de peligro, la segunda es determinar donde se producirá ese incendio para fijar las zonas de peligro y la tercera es identificar como se va a desarrollar para poder organizar la extinción (Vélez, 2000; Salas y Cocero, 2004; Chuvieco et al., 2009).

2.1.7. Uso de los Sistemas de Información Geográfica para la evaluación de incendios

Un SIG es un sistema informático capaz de capturar, relacionar, almacenar, manipular, analizar, modelizar y mostrar información tanto gráfica como alfanumérica referenciada geográficamente y que por tanto puede ser visualizada sobre el espacio, lo que resulta de gran ayuda en la solución de problemas de planificación y gestión (Mayoral et al. 2004).

Dado que la ocurrencia y propagación de los incendios presenta una connotación territorial que en casos extremos constituyen fenómenos multivariados de extremada complejidad, se da la necesidad de integrar una base de datos espacial para su gestión adecuada representada por variables geográficas, climáticas, topográficas, de vegetación y humanas vinculadas directa o indirectamente con los incendios forestales, siendo esta la primera aplicación formal de los SIG. La información disponible para alimentar el sistema necesariamente debe pasar por una representación gráfica de los resultados, basada en algoritmos y estructuras de datos acordes con el nivel de detalle, capacidades de almacenamiento y rapidez en los cálculos complejos mostrando así la segunda aplicación elemental que es la representación espacial de los datos en sus dos formas más conocidas: en términos de líneas para el caso de caminos, hidrografía y límites, y en matrices o rejillas regulares denominadas rásters, para la representación de superficies continuas (Castillo, Pedernera y Guillermo, 2002; Álvarez, 2000).

2.1.8. Zonificación de incendios

La zonificación de amenazas y riesgos de incendios consiste en la división del territorio en áreas homogéneas y la calificación de cada una de estas áreas de acuerdo con el grado real o potencial que permite evaluar parcialmente esa incertidumbre y es una herramienta muy útil para la toma de decisiones, especialmente en las primeras etapas de planeación de un proyecto (Suárez, 2009).

Para lo cual distintos investigadores han desarrollado diversas metodologías para identificar las zonas prioritarias de protección frente a incendios de cobertura vegetal a partir de la zonificación de la amenaza, la vulnerabilidad o susceptibilidad y el riesgo, que ayuden a orientar acciones preventivas y operativas ante la ocurrencia de estos eventos (Fondo de Prevención y Atención de Emergencias, 2002). Las metodologías se basan en el análisis asociado de varios factores ambientales que influyen en la ocurrencia de incendios dentro un territorio para así generar modelos que muestren la sensibilidad de los diferentes factores analizados con la tecnología actual muchos de los investigadores han aplicado Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Sirca et al., 2017; Coelho et al., 2016; Jiménez, Urrego y Toro, 2016; Guglietta, Migliozi y Ricotta, 2015; Estacio, y Narvárez, 2012; Páramo, 2007; Chuvieco, et al., 2007; Calle, Casanova y Romo, 2001).

2.1.9. Variables que intervienen en los incendios

Las variables que intervienen en la ocurrencia de incendios de cobertura vegetal actúan de manera independiente, históricamente los investigadores han usado diferentes variables dentro de las cuales están las físicas como: cobertura y uso de suelo, pendientes, orientación del terreno, altitud y proximidad a las vías; también hay variables de tipo climatológicas como: precipitación, temperatura, evapotranspiración potencial y déficit hídrico (Tabla 2).

Tabla 2. Variables que intervienen en los incendios

Variable	Descripción
Pendiente del terreno	El nivel de afectación de un incendio se ve influenciado en gran parte por las pendientes que presenta el terreno. Según Ruiz y Blanco (2004), la intensidad del fuego incrementa proporcionalmente con la pendiente y la dirección del viento, de tal manera que los terrenos escarpados pueden alcanzar grandes velocidades y generar un mayor impacto.
Cobertura y uso de suelo	El condicionante principal que determine la intensidad y propagación del fuego para cada zona será el tipo de vegetación, las diferentes características determinan cierto grado de probabilidad a incendiarse, propagar y mantener el fuego, conocido como

	<p>combustibilidad (IDEAM, 2011). Además, el contenido de humedad de la vegetación, tanto en la viva como en la muerta permite estimar el peligro de incendio ya que para que un combustible empiece a arder es necesario que se evapore el agua que contiene (Aguado y Rodríguez, 2004).</p>
Proximidad a las vías	<p>La red vial resulta ser un punto de acceso siendo un factor fundamental para el inicio de un incendio. Un estudio realizado por Modugno, Serra y Badia (2008) muestra que las zonas con menor distancia respecto a las áreas urbanizadas y a las infraestructuras viarias presentan elevadas probabilidades de ignición.</p>
Altitud	<p>La altitud es un factor condicionante para determinar el tipo de vegetación existente. Según Modugno, Serra y Badia (2008), la altitud determina las condiciones microclimáticas y en conjunto con la orientación del terreno determinará la vegetación presente en la zona.</p>
Precipitación	<p>La humedad de la cobertura vegetal determinará el grado de inflamabilidad del combustible, esto será dado por la precipitación existente en la zona. De acuerdo con Pérez, Márquez, Cortés y Salmerón (2013), la precipitación se encuentra en los factores más importantes con una influencia directa para determinar la magnitud y número de incendios.</p>
Evapotranspiración	<p>La reserva hídrica presente en el suelo determina las condiciones de los combustibles vivos y muertos, pero estos al estar expuestos a periodos largos con altas temperaturas la evapotranspiración aumenta, por lo tanto, la baja disponibilidad hídrica en las capas superficiales del suelo hará que los combustibles muertos en el suelo se desequen más tempranamente haciéndolos más inflamables (Moreno, 2005).</p>
Temperatura	<p>Según con Lloret (2004) y Viegas et al. (2001), el cambio climático ha conducido a periodos largos con altas temperaturas y humedad relativa baja de manera que, en estos periodos, el combustible alcanza valores mínimos de contenido de humedad y se ha comprobado que la disminución progresiva de humedad del combustible vivo es un buen indicador del riesgo de incendio.</p>
Déficit hídrico	<p>Según Medina, Dussart, Estelrich y Morcini (2000) la ocurrencia de incendios de cobertura vegetal se da mayormente en temporada seca que coincide con el periodo anual de mayor déficit hídrico y mayor acumulación de material combustible en los estratos inferiores.</p>

2.1.10. Método de análisis jerárquico para la evaluación de incendios de cobertura vegetal

El proceso analítico jerárquico (AHP), es una metodología de análisis multicriterio desarrollada por Thomas Saaty en 1977, 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 y Orejuela, 2008). Como señala Saaty (1994), los juicios y valores varían de un individuo a otro, por lo que se necesita una nueva ciencia de juicios y prioridades que posibilite alcanzar la universalidad y la objetividad. De esa forma se podrá comprender, cooperar y actuar.

El proceso analítico jerárquico comenzó siendo utilizado en estudios de economía y marketing, pero con el tiempo se transformó en una de las metodologías multicriterio de mayor aplicación práctica siendo utilizada en estudios de sanidad, producción, planificación urbana, desarrollo de software, entre muchos otros, y también se empezó a utilizar para aplicaciones ambientales (Jiménez, 2002), siendo éste el motivo por el cual se seleccionó para su aplicación en este estudio.

El método utilizado para establecer jerarquías dentro de la investigación se trata de un procedimiento de comparación por pares de los criterios que parte de una matriz cuadrada en la cual el número de filas y columnas está definido por el número de criterios a ponderar, siendo en este caso las nueve variables utilizadas dentro de la investigación (precipitación, temperatura, evapotranspiración, déficit hídrico, altitud, pendientes, orientación del terreno, cercanía a las vías y cobertura vegetal). Así se establece una matriz de comparación entre pares de criterios comparando la importancia de cada uno de ellos con los demás, posteriormente se establece el *eigenvector* principal, el cual establece los pesos (w_j) que a su vez proporciona una medida cuantitativa de la consistencia de los juicios de valor entre los factores que se presentan en la Tabla 3 (Ramírez, 2004).

Tabla 3. Escala de importancia del método Saaty

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 que existe 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 el otro.
2,4,6,8	Valores intermedios	Son valores intermedios de decisión.

Fuente: Saaty, T. (1980)

Por último, la importancia de este método también radica en que, luego de la asignación de los pesos, otorga una medida global de consistencia de la matriz, que permite valorar la relación de los criterios entre sí determinando su coherencia y pertinencia.

2.1.11. Métodos de validación estadística

La validación estadística es un paso fundamental para la aceptación de un modelo, ya que determina la confiabilidad del modelo (Mayer y Butler, 1993).

2.1.11.1. Chi-cuadrado

Chi Cuadrado de Pearson es un estadístico no paramétrico y una potente herramienta para pruebas de significación de la hipótesis nula de independencia estadística entre variables categoriales en tablas de contingencia (Rodríguez, 2004).

En esta prueba estadística se emplea en análisis de dos o más grupos, y de dos o más variables, siendo una prueba muy aceptada y aplicable a múltiples usos, cuando se dispone de datos independientes de tipo nominal, ofrece una prueba general sobre la existencia de diferencias entre las categorías que agrupan a los datos de la variable dependiente (Hernández, et al., 2017).

2.1.11.2. Curva ROC (Receiver Operating Characteristic)

Es un estadístico que representa *1 - especificidad* frente a la sensibilidad para cada posible valor umbral o punto de corte en la escala de resultados de la prueba en estudio (Valle, 2017). Según Zhou et. al (1997), el uso de la curva ROC proporciona una representación de la sensibilidad y especificidad para cada valor umbral y permite comparar dos o más variables en función de su capacidad discriminante. Muñoz y Felicísimo (2004) recomiendan que, a la hora de comparar distintos tipos de clasificadores, se utilice la curva ROC ya que esta no se limita a resumir los resultados en un umbral de decisión aislado, sino que realiza el estudio a través de todos los posibles umbrales de decisión (Tabla 4).

Tabla 4. Matriz de confusión

		<i>Pronosticado</i>	
		<i>clase a</i>	<i>clase b</i>
<i>Observado</i>	<i>clase a</i>	Positivo Verdadero	Falso Negativo
	<i>clase b</i>	Falso Positivo	Negativo Verdadero

Los gráficos ROC son gráficos bidimensionales en los que en el eje X se representa la especificidad y en el eje Y la sensibilidad del clasificador.

- **Especificidad:** Es la probabilidad de clasificar un elemento dado como *clase a* y que la prueba lo clasifique como *clase a* (Tabla 4). También se le denomina valor predictivo negativo, expresado en la Ecuación 1.

$$\text{Especificidad} = \frac{NV}{NV+FP} \quad (1)$$

- **Sensibilidad:** Es la probabilidad de clasificar un elemento dado como *clase b* y que la prueba lo clasifique como *clase b* (Tabla 4). También se le denomina valor predictivo positivo, expresado en la Ecuación 2.

$$\text{Sensibilidad} = \frac{PV}{PV + FN} \quad (2)$$

2.1.12. Gestión de Riesgos

Según Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo (2015), las vulnerabilidades no son cualidades estáticas sino condiciones que varían con el transcurso del tiempo afectando diferencialmente a las personas y sus lugares. Debido al carácter dinámico de las condiciones, factores y procesos que aumentan la exposición al impacto de las amenazas naturales, la gestión de riesgos requiere involucrar a distintos actores organizando su participación y distribuyendo responsabilidades.

Para lo cual Sánchez (2010), señala que es importante conocer el conjunto de actividades que están involucradas en la gestión de riesgos (Figura 1).



Figura 1. Ciclo del manejo del riesgo.

- **Prevención:** Comienza antes de la ocurrencia de un evento, y consiste en acciones destinadas a suprimir, intervenir o evitar la ocurrencia de emergencias.
- **Respuesta:** 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.

- Mitigación: Acciones destinadas a reducir los impactos, junto con esto se desarrolla la preparación que consiste en disposiciones y procedimientos de respuesta y rehabilitación para actuar oportuna y eficazmente.
- 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

2.1.12.1. Gestión de riesgos para incendios

La gestión de los incendios debe tratarse desde un enfoque integrado que conste de cinco elementos fundamentales: examen (seguimiento y análisis); reducción del riesgo (Tabla 5) (prevención); preparación; respuesta (extinción), y recuperación. Además, en las regiones en que el fuego es una herramienta de gestión importante, los gestores forestales deberán utilizarlo de manera responsable y controlada ya que a menudo, los incendios no se detienen en los límites de los bosques y se pueden originar también fuera de ellos. Por lo tanto, la gestión integrada del fuego debe abarcar también otros tipos de vegetación y usos de la tierra no forestales, como las tierras agrícolas, los pastizales, las sabanas, las turberas, los espacios protegidos y los puntos de contacto entre zonas silvestres y urbanas (FAO, 2016).

Tabla 5. Estrategias de prevención de riesgos para incendios

Estrategia	Descripción	Referencia
Torres de vigilancia	Es uno de los elementos más importantes y críticos en el combate de incendios, puesto que la pronta detección del foco ígneo disminuye considerablemente los daños del bosque. Cualquier foco que no sea detectado, correctamente ubicado y atendido dentro de los	

primeros minutos tiende a volverse incontrolable

Líneas
cortafuegos

Un cortafuego es una faja de terreno que no tiene combustible o donde éste no está en condiciones de arder. De esta forma los cortafuegos cortan la continuidad de la vegetación, impidiendo así que el fuego se propague al carecer de combustible.



Educación
Ambiental y
participación
comunitaria

El sistema en su totalidad puede no ser efectivo si la gente no tiene claro cómo actuar en los casos de siniestros de este tipo. La capacitación en la prevención y combate se coordina con la Dirección Nacional de Bomberos y ellos son los que la dictan.



2.1.13. FODA

Es una evaluación de fortalezas y debilidades, mismos que disagnostican la situación interna y su evaluación externa, es decir, oportunidades y amenazas de una organización permitiendo obtener una perspectiva general de la situación que permitirán establecer estrategias (Villagómez, Mora, Barradas y Vázquez, 2014).

2.1.12.1. Definición de variables

La situación interna se compone de dos factores controlables: fortalezas y debilidades, mientras que la situación externa se compone de dos factores no controlables: oportunidades y amenazas (Ballesteros, 2010).

- Fortalezas: Son las capacidades especiales de cada ámbito de investigación, pueden asumir diversas formas como: recursos humanos maduros, capaces y experimentados, habilidades y destrezas importantes para hacer algo, activos físicos valiosos, sistemas de trabajo eficientes, costos bajos, entre otros.
- Oportunidades: Son aquellos factores externos que resultan positivos, favorables, explotables que se deben descubrir en el medio, pueden presentarse en cualquier ámbito, como el político, económico, social, tecnológico, entre otros.
- Debilidades: Aquellos factores que provocan una posición desfavorable frente al medio, entorpecen el alcance de los objetivos o limitan los procesos, como recursos insuficientes, habilidades que no se poseen, actividades que no se desarrollan positivamente.
- Amenazas: Son factores del entorno que resultan en circunstancias adversas que ponen en riesgo el alcanzar los objetivos establecidos.

2.1.14. Sistema de alerta temprana

Los Sistemas de Alerta Temprana conocidos como SAT, son un conjunto de procedimientos e instrumentos, a través de los cuales se monitorea una amenaza o evento adverso (natural o antrópico) de carácter previsible, se recolectan y procesan datos e información, ofreciendo pronósticos o predicciones temporales sobre su acción y posibles efectos, reduciendo riesgos ante desastres ya que evita la pérdida de vidas y disminuye los impactos económicos y materiales (Norambuena, 2011).

2.1.14.1. Elementos que conforman un SAT

Para el diseño e implementación de un Sistema de Alerta Temprana, se debe tener en cuenta una serie de elementos y de estructuras multi-sectoriales y multi-institucionales, además otros componentes que determinan su aplicación y éxito (Armién, 2012)

- Existencia y conocimiento del riesgo: Se debe identificar las amenazas y tener conocimiento de los riesgos, o eventos potencialmente peligrosos que puedan afectar a las poblaciones, infraestructuras y recursos expuestos al impacto de dichos fenómenos.
- Respaldo técnico e institucional: Se debe contar con el respaldo de instituciones científico- técnicas, y aquellas responsables de la Gestión del Riesgo a Desastres, para que el estudio, vigilancia, seguimiento y evaluación de una amenaza o evento adverso contenga una base científica.
- Difusión y comunicación: Permite motivar y concienciar a los habitantes de las comunidades y a sus autoridades locales, sobre la importancia del conocimiento de los riesgos, amenazas, vulnerabilidades, planes de emergencias y medidas de prevención y reducción de riesgos a desastres.
- Capacidad de respuesta: Es necesario contar con la participación directa de las comunidades, las cuales deben estar organizadas y preparadas con sus Planes de Respuesta debidamente actualizados, para actuar en caso de emergencias.

2.2. Marco legal

El siguiente estudio está basado en la siguiente política y se considera la legislación vigente en la república del Ecuador (Figura 2).



Figura 2. Pirámide de Kelsen

2.2.1. Constitución Política de la República del Ecuador

La constitución de la república la cual encabeza la legislación en el Ecuador establece dentro de sus normativas, artículos que respaldan los derechos de la naturaleza y de los pobladores para mantener un ambiente sano. Además, para la presente investigación, se incluyen artículos referentes a gestión de riesgos citados a continuación.

- **Art. 14.-** Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, Sumak Kawsay. 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.
- **Art. 264.-** Los gobiernos municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determine la ley:
 13. Gestionar los servicios de prevención, protección, socorro y extinción de incendios.

- **Art. 389.-** El Estado protegerá a las personas, las colectividades y la naturaleza frente a los efectos negativos de los desastres de origen natural o antrópico mediante la prevención ante el riesgo, la mitigación de desastres, la recuperación y mejoramiento de las condiciones sociales, económicas y ambientales, con el objetivo de minimizar la condición de vulnerabilidad.

El sistema nacional descentralizado de gestión de riesgo está compuesto por las unidades de gestión de riesgo de todas las instituciones públicas y privadas en los ámbitos local, regional y nacional. El Estado ejercerá la rectoría a través del organismo técnico establecido en la ley. Tendrá como funciones principales, entre otras:

1. Identificar los riesgos existentes y potenciales, internos y externos que afecten al territorio ecuatoriano.
2. Generar, democratizar el acceso y difundir información suficiente y oportuna para gestionar adecuadamente el riesgo.
3. Asegurar que todas las instituciones públicas y privadas incorporen obligatoriamente, y en forma transversal, la gestión de riesgo en su planificación y gestión.
4. Fortalecer en la ciudadanía y en las entidades públicas y privadas capacidades para identificar los riesgos inherentes a sus respectivos ámbitos de acción, informar sobre ellos, e incorporar acciones tendientes a reducirlos.
5. Articular las instituciones para que coordinen acciones a fin de prevenir y mitigar los riesgos, así como para enfrentarlos, recuperar y mejorar las condiciones anteriores a la ocurrencia de una emergencia o desastre.
6. Realizar y coordinar las acciones necesarias para reducir vulnerabilidades y prevenir, mitigar, atender y recuperar eventuales efectos negativos derivados de desastres o emergencias en el territorio nacional.

7. Garantizar financiamiento suficiente y oportuno para el funcionamiento del Sistema, y coordinar la cooperación internacional dirigida a la gestión de riesgo.

- **Art. 390.-** Los riesgos se gestionarán bajo el principio de descentralización subsidiaria, que implicará la responsabilidad directa de las instituciones dentro de su ámbito geográfico. Cuando sus capacidades para la gestión del riesgo sean insuficientes, las instancias de mayor ámbito territorial y mayor capacidad técnica y financiera brindarán el apoyo necesario con respeto a su autoridad en el territorio y sin relevarlos de su responsabilidad.

- **Art. 397.-** En caso de daños ambientales el Estado actuará de manera inmediata y subsidiaria para garantizar la salud y la restauración de los ecosistemas. Además de la sanción correspondiente, el Estado repetirá contra el operador de la actividad que produjera el daño las obligaciones que conlleve la reparación integral, en las condiciones y con los procedimientos que la ley establezca. La responsabilidad también recaerá sobre las servidoras o servidores responsables de realizar el control ambiental. Para garantizar el derecho individual y colectivo a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, el Estado se compromete a:
 - 5. Establecer un sistema nacional de prevención, gestión de riesgos y desastres naturales, basado en los principios de inmediatez, eficiencia, precaución, responsabilidad y solidaridad.

2.2.2. Código Orgánico del Ambiente

El COA tiene por objeto garantizar los derechos de las personas a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado y de igual manera garantizar los derechos de la naturaleza. En la presente ley, se integran diferentes aspectos en materia ambiental de los cuales se toman los siguientes:

- **Art 26.-** Facultades de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Provinciales en materia ambiental: En el marco de sus competencias ambientales exclusivas y concurrentes corresponde a los Gobiernos Autónomos Descentralizados Provinciales las siguientes facultades, que ejercerán en las áreas rurales de su respectiva circunscripción territorial, en concordancia con las políticas y normas emitidas por la Autoridad Ambiental Nacional:
 - 4. Elaborar planes, programas y proyectos para prevenir incendios forestales y riesgos que afectan a bosques y vegetación natural o bosques plantados.

- **Art 27.-** Facultades de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Metropolitanos y Municipales en materia ambiental. En el marco de sus competencias ambientales exclusivas y concurrentes corresponde a los Gobiernos Autónomos Descentralizados Metropolitanos y Municipales el ejercicio de las siguientes facultades, en concordancia con las políticas y normas emitidas por los Gobiernos Autónomos Provinciales y la Autoridad Ambiental Nacional:
 - 4. Prevenir y controlar incendios forestales que afectan a bosques y vegetación natural o plantaciones forestales.

- **Art 98.-** Atribuciones. Con relación a la gestión de las plantaciones forestales de producción con fines comerciales, le corresponde a la Autoridad Nacional de Agricultura, en coordinación con la Autoridad Ambiental Nacional las siguientes atribuciones:
 - 7. Dictar la normativa técnica para la prevención y el control de incendios forestales en plantaciones forestales y sistemas agroforestales de producción, de conformidad con la Estrategia Nacional de Incendios Forestales.

2.2.3. Plan Nacional de desarrollo 2017-2021 Toda una Vida

El aporte del es de gran importancia para la conservación del ambiente en el siguiente objetivo se toman ciertas consideraciones que contribuyen a esta investigación.

- **Objetivo 3.** Mejorar la calidad de vida de la población: Gestión de riesgos. Este objetivo plantea mejorar la calidad y calidez de los servicios sociales de atención, garantizar la salud de la población desde la generación de un ambiente y prácticas saludables; fortalecer el ordenamiento territorial, considerando la capacidad de acogida de los territorios y el equilibrio urbano-rural para garantizar el acceso a un hábitat adecuado y una vivienda digna; avanzar en la gestión integral de riesgos y fomentar la movilidad sustentable y segura.

2.2.4. Secretaria Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias

Es la institución encargada de liderar el Sistema Nacional Descentralizado de Gestión de Riesgos para garantizar la protección de personas y colectividades de los efectos negativos de desastres de origen natural o antrópico, mediante la generación de políticas, estrategias y normas que promuevan capacidades orientadas a identificar, analizar, prevenir y mitigar riesgos para enfrentar y manejar eventos de desastre; así como para recuperar y reconstruir las condiciones sociales, económicas y ambientales afectadas por eventuales emergencias o desastres. Los objetivos de la institución se citan a continuación:

- Establecer las políticas, regulaciones y lineamientos estratégicos de gestión de riesgos que incluye la prevención, mitigación, preparación, respuesta, rehabilitación, reconstrucción, recuperación y transferencia del riesgo.
- Fortalecer las capacidades institucionales en el Sistema Nacional Descentralizado de Gestión de Riesgos para la toma de decisiones políticas y técnicas en relación con los procesos de análisis, investigación, prevención, mitigación, preparación, generación de alertas tempranas, construcción de

capacidades sociales e institucionales para la gestión de riesgos, respuesta, rehabilitación, recuperación y reconstrucción.

- Coordinar y realizar las acciones necesarias para reducir vulnerabilidades para prevenir, mitigar, atender y recuperar efectos negativos derivados de emergencias y/o desastres en el territorio nacional.
- Desarrollar capacidades, instrumentos y mecanismos para responder adecuadamente ante la inminencia y/o la ocurrencia de eventos adversos.
- Coordinar la acción de las Entidades del Gobierno Central y de los Gobiernos Autónomos Descentralizados en situaciones de desastre, para preservar la vida y coordinar las acciones de recuperación.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. Materiales y equipos

Para la realización de la presente investigación se requiere materiales de campo y oficina (Tabla 6).

Tabla 6. Materiales utilizados en la investigación

Materiales de Campo	Materiales de Oficina
Cámara digital CANON	Computador portátil
GPS (Sistema de Posicionamiento Terrestre)	Software ArcGIS 10.5
Transporte	Datos meteorológicos del INAMHI e IDEAM
	Imágenes satelitales Landsat 8
	Software IBM SPSS Statistics
	Datos meteorológicos de la plataforma World Clim

3.2. Descripción del área de estudio

El cantón Ibarra se encuentra a 115 km al norte de Quito y a 125 km al sur de la ciudad de Tulcán, con una extensión de 1105,56 km² (Figura 3). Al norte limita con la provincia del Carchi, al noreste con la provincia de Esmeraldas, al oeste con los cantones Urcuquí, Antonio Ante y Otavalo, al Este limita con el cantón Pimampiro y al sur con la provincia de Pichincha. El cantón Ibarra se encuentra en un rango altitudinal de 480 a 4.500 msnm., y presenta temperaturas medias anuales desde 5°C hasta 23°C (Gobierno Autónomo Descentralizado de Ibarra, 2014).

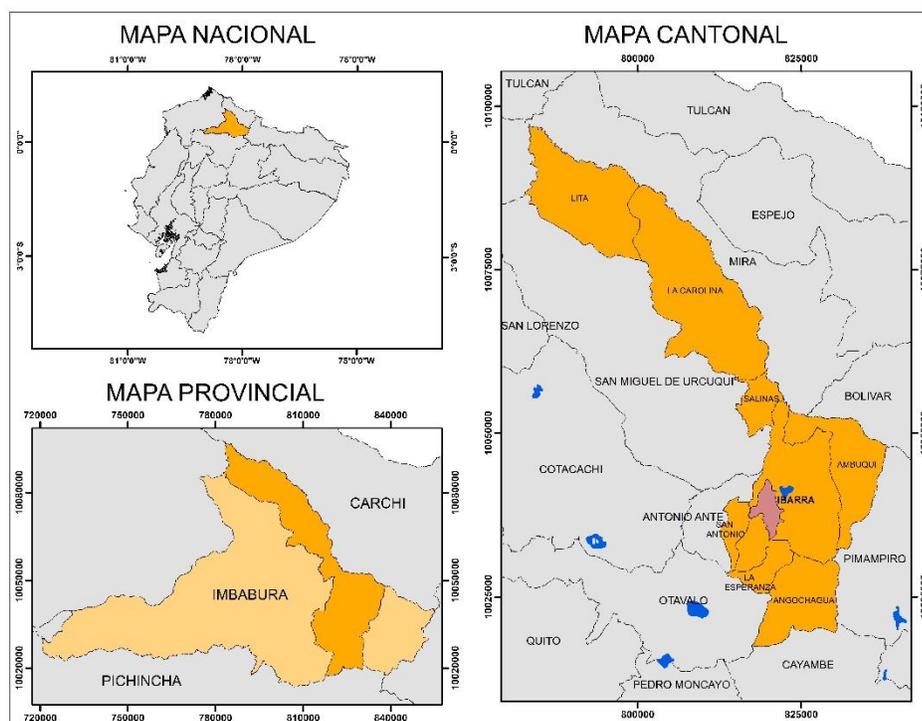


Figura 3. Ubicación del cantón Ibarra

El cantón Ibarra está conformado por cinco parroquias urbanas: San Francisco, El Sagrario, Caranqui, Alpachaca y Priorato y siete parroquias rurales: San Antonio, La Esperanza, Angochagua, Ambuquí, Salinas, La Carolina y Lita. Según el Instituto nacional de Estadística y Censos (2010), el Cantón cuenta con 181.177 habitantes de los cuales un 77,12% viven en el área urbana del cantón. La parroquia rural con mayor población es San Antonio con el 9,67% de habitantes.

Las principales actividades productivas se distribuyen en tres principales: servicios con un 58% en actividades de comercio al por mayor y menor, industrial con un 19,38% centrado con la industria manufacturera y servicio agropecuario con un 11,61% principalmente en las parroquias rurales: Lita, La Carolina y Salinas en actividades ganaderas, agrícolas, silvicultura y pesca (INEC, 2010).

Según la clasificación de zonas de vida de Holdrige (1987), el cantón Ibarra presenta una variedad de ecosistemas (Tabla 7), que van desde páramo pluvial subalpino en las zonas altas hasta bosque muy húmedo premontano en las zonas bajas (Figura 4).

Tabla 7. Zonas de vida del cantón Ibarra

Zona de vida	Descripción
Bosque muy húmedo premontano (bmh-PM)	Temperatura de 18°C a 24°C promedio anual y precipitación promedio anual entre 2000 y 4000 mm; altitud de 1000 y 2000 msnm., representando un 8,54% del cantón.
Bosque húmedo montano (bh-M)	Temperatura promedio anual de 6°C a 12°C, precipitación promedio anual de 500 a 1000 mm, altitud de 3000 y 4000 msnm., representando un 8,77% del cantón.
Bosque húmedo montano bajo (bh-MB)	Temperatura media anual entre 12°C a 18°C, precipitación promedio anual entre 1000 y 2000 mm y, altitud 2000 y 3000 msnm., representando un 11,92% del cantón.
Bosque húmedo premontano (bh-PM)	Temperatura media anual de 18°C a 24°C, precipitación promedio anual de 1000 a 2000 mm y una altitud de 1000 a 2000 msnm., representando un 15,84% del cantón.
Bosque muy húmedo montano (bmh-M)	Temperatura promedio anual entre de 9°C y 12°C, precipitación promedio anual entre 1000 y 2000 mm, representando un 8,32% del cantón.
Bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB)	Temperatura media anual de 12°C a 18°C, precipitación promedio anual de 2000 a 4000 mm, altitud de 2000 a 3000 msnm., representando un 0,02% del cantón.
Bosque seco montano bajo (bs-MB)	Temperatura media anual es de 12°C a 18°C, precipitación promedio anual entre 500-1000 mm, altitud entre 2.000 y 3.000 msnm., representando un 28,70% del cantón.
Bosque seco premontano (bs-PM)	Temperatura media anual entre 24°C y 18°C, precipitación promedio anual de 500 a 1000 mm, altitud entre los 1000 y los 2000 msnm., representando un 10,53% del cantón.
Estepa espinosa montano bajo (ee-MB)	Temperatura media anual entre 15°C y 17°C, precipitación promedio anual entre 400 y 500 mm, altitud entre 2000 y 2300 msnm., representando un 1,30% del cantón.
Monte espinoso premontano (mte-P)	Temperatura media anual entre 21°C y 23°C y la precipitación promedio anual entre 200 y 450 mm, altitud entre 500 y 1500 msnm., representando un 2,46% del cantón.
Páramo pluvial subalpino (pp- Sa)	Temperatura media anual de 7°C y la precipitación total anual de 1200mm. altitudes mayores a 3800msnm., representando un 3,60% del cantón.

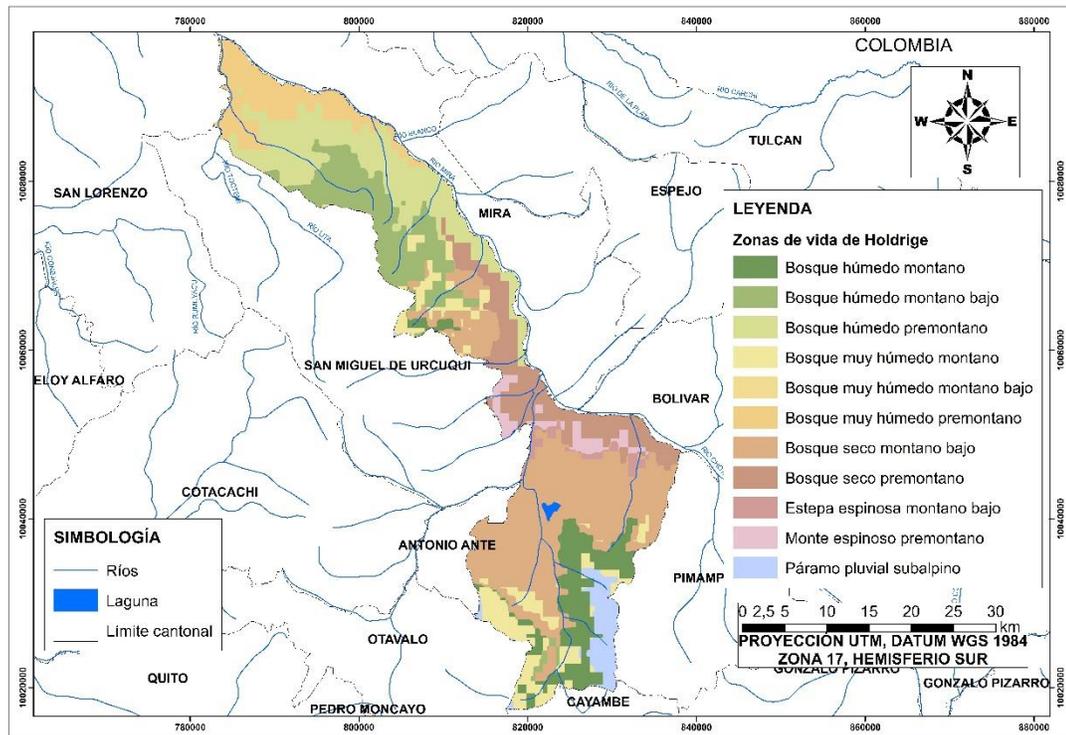


Figura 4. Distribución de las zonas de vida de Holdrige en el cantón Ibarra

Entre las elevaciones montañosas más representativas se encuentra el Imbabura con 4500 msnm., Cubilche a 3900 msnm. y Cunrro a 3304 msnm. (PDOT Ibarra, 2012).

3.3. Métodos

La presente investigación se llevó a cabo en varias fases con la finalidad de alcanzar los objetivos y responder la pregunta de investigación como se muestra en la Figura 5.

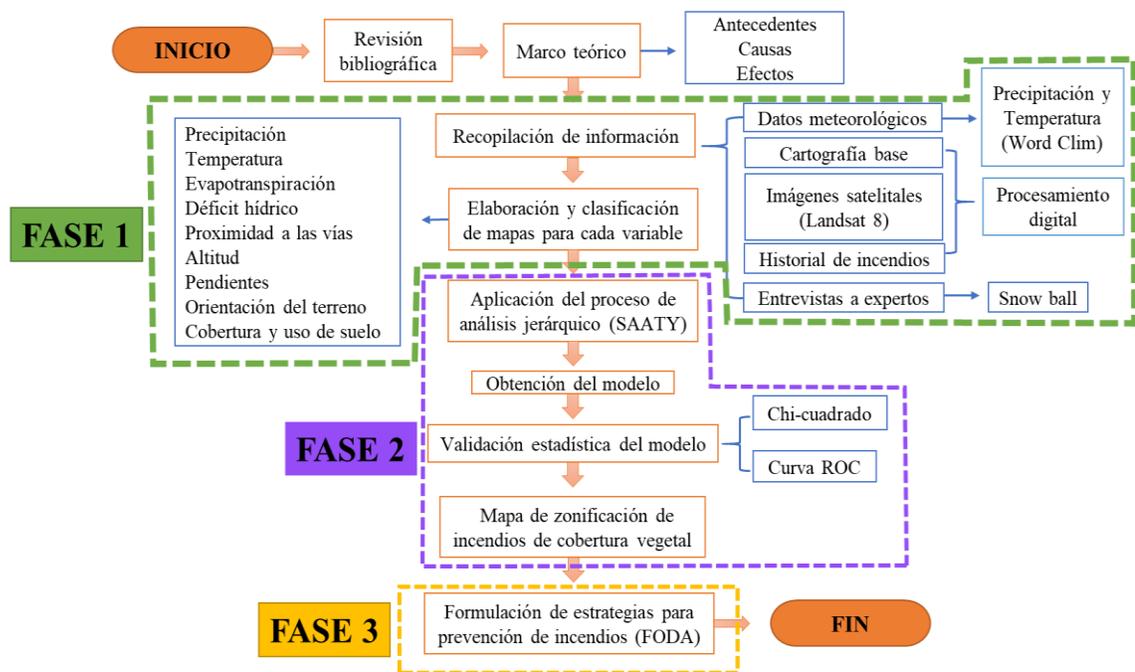


Figura 5. Metodología aplicada

3.3.1. Fase 1: Identificación de los principales factores que inciden en los incendios de cobertura vegetal en el cantón Ibarra

En base al estudio realizado en Brasil por Coelho et al. (2016) se seleccionaron los indicadores que se propone en el estudio, los cuales se los dividió en dos clases: factores físicos del sitio (pendiente del terreno, cobertura y uso de suelo, proximidad a las vías, orientación del terreno y altitud) y los factores climáticos (precipitación, temperatura, déficit hídrico y evapotranspiración).

Primero se realizó entrevistas (Anexo 1) utilizando la metodología de Snow Ball que según Medina y Monjardin (2007), en este método se selecciona una muestra inicial de miembros de la población de interés (expertos en temas de incendios de cobertura vegetal), y se solicita a las personas que fueron seleccionadas que nominen a otros miembros de la población objetivo, de tal manera que proceso de nominación continúe hasta que se satisfaga alguna regla de terminación del muestreo (repetición de una persona ya entrevistada). El número de entrevistados fue de 11 personas con experiencia en temas de incendios de cobertura vegetal. La tabulación de los resultados

se realizó con una medida de tendencia central, usando la moda estadística se logró identificar las respuestas que más se repiten y ponderarlas adaptándolas al área de estudio.

3.3.1.1. Factores físicos

- **Modelo Digital de Elevación (DEM):** se obtuvo un DEM de la plataforma *Earth Explorer* (<https://earthexplorer.usgs.gov/>), con el fin de identificar datos de altitud para el área de estudio. Esta información fue esencial para la elaboración del mapa de altitud, pendientes, orientación del terreno y temperatura a través de ArcMap 10.5, componente principal del software de procesamiento geoespaciales ArcGIS.
- **Altitud:** Se generó a través del uso del DEM del cantón Ibarra, el cual se reclasificó para asignar susceptibilidades con base a los rangos utilizados en la metodología de Coelho et al. (2016) adaptándola al estudio. El proceso de asignación de susceptibilidad se lo hizo a través del uso de la *regla práctica del intervalo*, donde la mayoría de los valores (hasta 95%) se encuentran dentro de dos desviaciones estándar de la media (Triola, 2004). Los valores asignados a la susceptibilidad fueron cinco, donde el valor uno es una susceptibilidad muy baja y cinco es extrema (Tabla 8).

Tabla 8. Determinación de susceptibilidad

Valor	Susceptibilidad	Regla práctica del intervalo
1	Muy Baja	Media - dos desviaciones estándar
2	Baja	Media - una desviación estándar
3	Moderada	Media
4	Alta	Media + una desviación estándar
5	Extrema	Media + dos desviaciones estándar

Fuente: Modificado de Coelho et al. (2016)

- **Pendientes:** Con la herramienta *Slope* se identificó la inclinación en cada celda de una superficie de ráster (DEM). Mientras menor sea el valor de la pendiente,

más plano será el terreno; mientras más alto sea el valor de la pendiente, más empinado será el terreno (Burrough y McDonell, 1998). El ráster de pendientes de salida se calculó en unidades de porcentaje (altitud en porcentaje), al cual se realizó una reclasificación asignando rangos entre 5% y 45% teniendo así cinco niveles de susceptibilidad (Tabla 9), donde los valores menores a 5% tienen una susceptibilidad muy baja y los mayores a 45% extrema.

Tabla 9. Clasificación de pendientes para el cantón Ibarra

Valor	Rangos de pendientes (%)	Susceptibilidad
1	< 5	Muy baja
2	5 - 15	Baja
3	15 - 25	Moderada
4	25 - 45	Alta
5	< 45	Extrema

- Orientación del terreno: Se calculó utilizando el DEM y la herramienta *Aspect* la cual generó una imagen donde se identifica la dirección de la pendiente descendente (Tabla 10).

Los valores de cada celda del ráster de salida muestran la dirección de brújula a la que apunta la superficie en esa ubicación. Mide en el sentido de las agujas del reloj en grados de 0 (hacia el norte) a 360 (hacia el norte, nuevamente), formando un círculo completo. Las áreas planas que no tienen dirección de pendiente descendente tienen un valor de -1 (Burrough y McDonell, 1998).

Tabla 10. Orientación del terreno

Orientación	Grados (°)
Plano	-1
Norte – Noroeste	0 – 45
Noroeste – Oeste	45 – 90
Oeste – Suroeste	90 – 135
Suroeste – Sur	135 – 180
Sur – Sureste	180 – 225
Sureste – Este	225 – 270
Este – Noreste	270 – 315
Noreste – Norte	315 – 360

Además, se tomó como referencia el historial de incendios y la dirección del viento de las estaciones: Cahuasqui, Mira, Izobamba, Inguincho, Ibarra y Otavalo que se obtuvieron de la base de datos del INAMHI (Tabla 11), para determinar el porcentaje de incendios que ocurren en las diferentes orientaciones y establecer la susceptibilidad.

Tabla 11. Estaciones meteorológicas para el viento. Proyección WGS84 UTM Z17S

Código	Estación	Coordenada X UTM	Coordenada Y UTM	Altitud msnm	Ubicación
M0107	Cahuasqui	810207	10056962	2335	Ecuador
M0105	Otavalo	806422	10026927	2550	Ecuador
M0104	Mira-FAO	830662	10060845	2275	Ecuador
M0003	Izobamba	772138	9959499	3058	Ecuador
M0001	Inguincho	789319	10028583	3140	Ecuador
M1240	Ibarra	818168	10036584	2247	Ecuador

Fuente: INAMHI (2000-2015)

- Proximidad a las vías: Se identificó la proximidad de los incendios a las vías utilizando la red vial que se obtuvo a través del Sistema Nacional de Información (SNI) del 2011 y el historial de incendios del cantón a través de la Secretaría de Gestión de Riesgos (SGR) del 2014 para establecer el porcentaje de incendios ya que a menor distancia de las vías mayor probabilidad de ocurrencia de incendios (Flores et. al., 2016). Se identificó la distancia euclidiana que proporciona la distancia desde cada celda en el ráster (red vial) hasta el origen más cercano (puntos de incendios), donde se determinó cinco niveles de susceptibilidad a través de la *regla práctica del intervalo*, donde las distancias más cortas tienen una susceptibilidad extrema y las distancias más lejanas una susceptibilidad muy baja (Tabla 12).

Tabla 12. Ponderaciones de proximidad a las vías

Valor	Rangos proximidad a vías (m)	Susceptibilidad
1	> 75	Muy bajo
2	57 - 75	Bajo
3	39 - 57	Moderado
4	21 - 39	Alto
5	< 21	Extremo

- Uso y cobertura de suelo: Para el estudio se utilizó imágenes satelitales Landsat 8 obtenidas a través de la plataforma *Earth Explorer* (<https://earthexplorer.usgs.gov/>), del año 2017, las cuales fueron procesadas para corregir las distorsiones radiométricas y geométricas. A continuación, se realizó una georreferenciación con un navegador GPS de ocho tipos de coberturas de suelo presentes en el cantón (cultivos, bosque, vegetación arbustiva, páramo, cuerpos de agua, área urbana, área erosionada y pastizal), a través de tres polígonos para cada tipo de cobertura, luego se realizó una clasificación de máxima verosimilitud en la imagen mediante el uso las firmas espectrales que se encargan de agrupar conjuntos de píxeles similares y así establecer los diferentes tipos de coberturas.

Posteriormente se procedió a la validación de la clasificación de máxima verosimilitud de la imagen obtenida, donde se tomó 396 puntos GPS en campo de los diferentes tipos de cobertura con base a una tamaño muestral de 96 m² que va en proporción al área correspondiente al cantón de que es 1105650 m² y mediante el análisis de los datos de confiabilidad a través de una matriz de confusión (Anexo 2), que permitió confrontar la información de los sitios de verificación (puntos GPS en campo) con aquella de la base cartográfica (mapa de uso y cobertura de suelo).

En la matriz de confusión, las filas representaron las clases de referencia y las columnas las clases del mapa. La diagonal de la matriz expresa el número de sitios de verificación para los cuales hay concordancia entre el mapa y los datos de referencia, mientras los marginales indican errores de asignación. La proporción de puntos correctamente asignados (diagonal) expresa la confiabilidad del mapa (François, Reyes y Pérez, 2003). Se utilizó el coeficiente de Kappa para expresar la concordancia cuyos valores van de 0 a 1, siendo la unidad el valor con una fuerza de concordancia casi perfecta (Tabla 13).

Tabla 13. Coeficiente de Kappa

Coeficiente Kappa	Fuerza de la concordancia
0	Pobre
0,01 – 0,20	Leve
0,21 – 0,40	Aceptable
0,41 – 0,60	Moderada
0,61 – 0,80	Considerable
0,81 – 1	Casi perfecta

Fuente: Cohen, J. (1960)

Finalmente, se procedió a realizar la asignación de susceptibilidad con base en las entrevistas realizadas a los expertos, esta fue tabulada por medio de la moda estadística que permitió establecer cuatro categorías para los ocho tipos de coberturas, tomando en cuenta que los cuerpos de agua (Laguna de Yahuarcocha) tienen una susceptibilidad nula.

3.3.1.2. Factores climáticos

- Precipitación media: Como sugiere la Organización Meteorológica Mundial (OMM) el período de información climática debe ser por lo menos 30 años, para lo cual se obtuvo un ráster de los datos medios mensuales del periodo 1960 a 1990 de la plataforma *World Clim* (<https://www.worldclim.org/>), mismo que fue proyectado a la zona 17 Sur, cortado al área de estudio y se realizó un remuestreo a una resolución espacial de 30 metros de píxel.

Para validar la información se usó datos de precipitación media obtenida a través del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) del periodo 1986 a 2015 con las estaciones: Otavalo, Inguincho, Pablo Arenas, Selva Alegre, San Gabriel, Izobamba, Tufiño, Iñaquito, La Tola, Pimampiro, además, se solicitó información al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) de Colombia de las estaciones: Apto. San Luis y Cumbal (Tabla 14).

Tabla 14. Estaciones meteorológicas y pluviométricas para precipitación. Proyección WGS84 UTM Z17S

Código	Estación	Coordenada X UTM	Coordenada Y UTM	Altitud msnm	Ubicación
M0001	Inguincho	789319	10028583	3140	Ecuador
M0105	Otavalo	806422	10026927	2550	Ecuador
M0312	Pablo Arenas	812250	10055211	2340	Ecuador
M0326	Selva Alegre	769465	10026891	1800	Ecuador
M0308	Tufiño	849867	10088284	3418	Ecuador
M0003	Izobamba	772138	9959499	3058	Ecuador
M0024	Iñaquito	779915	9980638	2789	Ecuador
M0002	La Tola	792717	9974367	2480	Ecuador
52055010	Apto. San Luis	869957	10094838	2961	Colombia
52050110	Cumbal	858200	10099595	3092	Colombia
M0103	San Gabriel	853808	10066399	2860	Ecuador
M0315	Pimampiro	840533	10043138	2090	Ecuador

Fuente: INAMHI e IDEAM (1986-2015)

Primeramente se procedió a rellenar los datos faltantes de 7 de las 12 estaciones utilizadas, se rellenaron 30 datos de diferentes años que representaron el 0,69% del total de registros (Anexo 3), estos fueron completados mediante una regresión lineal simple con datos de estaciones cercanas que contaban con registros completos, donde el grado de asociación del coeficiente de correlación de Pearson entre los registros de la estación que contiene el dato faltante y la estación cercana dio una correlación positiva con una ecuación de la recta y un factor de correlación R^2 superior a 0,7 expresado a través de un diagrama de dispersión. Siendo el rango de R^2 de -1 a 1 existe un mayor grado de correlación entre las variables cuando este valor esté más cerca de la unidad (Restrepo y González, 2007).

Con todos los datos completos se calculó el Promedio Multianual Mensual para cada estación y se realizó la validación mediante una regresión lineal entre los datos de precipitación mensual multianual de las 12 estaciones y los datos extraídos del ráster obtenido de *World Clim* (<https://www.worldclim.org/>) para las mismas estaciones, dando una correlación de 0,81 siendo un valor aceptable para el estudio. Finalmente, obtenida la precipitación media para el cantón se

procedió a asignar la susceptibilidad a través del uso de la *regla práctica del intervalo* asignando cinco niveles de susceptibilidad con base a que en donde existe menor precipitación hay mayor probabilidad de ocurrencia de incendios.

- Temperatura media: Se obtuvo un ráster de los datos medios mensuales del periodo 1970 a 2000 de la plataforma *World Clim* (<https://www.worldclim.org/>), mismo que fue proyectado a la zona 17 Sur, cortado al área de estudio y se realizó un remuestreo a una resolución espacial de 30 metros de píxel.

Para validar la información se usó datos de temperatura media obtenida a través del INAMHI del periodo 1986 a 2015 con las estaciones: Otavalo, Inguincho, San Gabriel, Izobamba, Ñaquito y La Tola, además, se solicitó información al IDEAM de las estaciones Apto. San Luis y Paraíso El (Tabla 15).

Tabla 15. Estaciones meteorológicas para temperatura. Proyección WGS84 UTM Z17S

Código	Estación	Coordenada X UTM	Coordenada Y UTM	Altitud msnm	Ubicación
M0003	Izobamba	772138	9959499	3058	Ecuador
M103	San Gabriel	853808	10066399	2860	Ecuador
M0001	Inguincho	789319	10028583	3140	Ecuador
M0105	Otavalo	806422	10026927	2550	Ecuador
52055010	Apto. San Luis	869957	10094838	2961	Colombia
52055020	Paraíso El	874527	10118461	3120	Colombia
M0002	La Tola	792717	9974367	2480	Ecuador
M0024	Ñaquito	779915	9980638	2789	Ecuador

Fuente: INAMHI e IDEAM (1986-2015)

Se rellenó datos faltantes de 4 de las 8 estaciones utilizadas, en total fueron 10 datos que representó el 0,35% del total de los registros utilizados en el estudio (Anexo 4). Estos datos fueron completados mediante una regresión lineal simple entre la altitud de las estaciones como variable independiente y la temperatura media mensual (estaciones con registros completos para el mes y año de la estación con el dato faltante) como variable dependiente, las estaciones utilizadas en la correlación cubren a la estación con el dato faltante.

El diagrama de dispersión generó un coeficiente de correlación R^2 superior a 0,7 teniendo una validez alta (Corral, 2009). A continuación, se calculó la temperatura determinada en el *software* Excel 2016 con la Ecuación 3.

$$T_{Det} = T_{mensual} + (\Gamma (Z_{Det} - Z_{estación})) \quad (3)$$

Donde:

$T_{mensual}$ = Temperatura mensual de la estación

Γ = Constante de la correlación

Z_{det} = Altitud de referencia (1000 metros)

$Z_{estación}$ = Altitud de la estación

Se realizó una interpolación mediante el modelo probabilístico de tipo geoestadístico Kriging que se basa en una función continua que explica el comportamiento de una variable en las distintas direcciones de un espacio geográfico y permite asociar la variabilidad de la estimación con base a la distancia que existe entre un par de puntos mediante el uso de un semivariograma o variograma el cual permite percibir el nivel de similitud que existe entre éstos a medida que se encuentran más alejados (Gallardo, 2006).

A partir de esta temperatura determinada se calculó la temperatura real mediante la Ecuación 4.

$$T_{x,y} = T_{Det} + \left(\Gamma \left(Z^{DEM(x,y)} - Z_{Det} \right) \right) \quad (4)$$

Donde:

$T_{x,y}$ = Temperatura real

T_{Det} = Temperatura determinada

Γ = Constante de la correlación

$Z^{x,y}$ = Altitud de la estación (DEM)

Z_{det} = Altitud de referencia (1000 m)

Aplicando la formula se obtuvo un ráster del cual se extraen los valores que corresponden a los datos faltantes de las diferentes estaciones. Con todos los datos completos se calculó el Promedio Multianual Mensual para cada estación y se realizó la validación se realizó mediante una regresión lineal entre los datos de temperatura mensual multianual de las 8 estaciones y los datos extraídos del ráster obtenido de *World Clim* (<https://www.worldclim.org/>) para las mismas estaciones, dando una correlación de 0,96 siendo un valor aceptable para el estudio.

Finalmente, obtenida la temperatura media para el cantón se procedió a asignar la susceptibilidad a través del uso de la *regla práctica del intervalo* asignando cinco niveles de susceptibilidad con base a que los lugares donde hay mayores temperaturas son los más probables a la ocurrencia de incendios.

- Potencial de evapotranspiración (ETP): Se calculó mediante el método de *Thornthwaite* (1948), que consiste en calcular el índice de calor anual (I) a partir de las temperaturas medias diarias del aire por medio de la Ecuación 5.

$$e = 16 * (10 * tm/I)^a \quad (5)$$

Donde:

e = evapotranspiración mensual sin ajustar (mm/mes),

tm = temperatura media mensual (°C),

I = índice de calor anual

a = variable establecida

Primero se calculó el índice de calor mensual a través del uso del ráster de temperatura media de cada mes y el uso del *software* ArcGIS para el cálculo con la Ecuación 6.

$$ij = \left(\frac{tm}{5}\right)^{1.514} \quad (6)$$

Donde:

ij= Índice de calor mensual

tm= Temperatura mensual en °C

Posteriormente se calculó el índice de calor anual con la sumatoria de los doce índices de calor mensual calculados, luego se realizó el cálculo de la variable (a), parámetro que se lo determina en base al índice de calor anual, usando la siguiente fórmula:

$$a = 0,000000675 * I^3 - 0,0000771 * I^2 + 0,01792 * I + 0,49239 \quad (7)$$

Para obtener el cálculo de la evapotranspiración potencial de Thornthwaite se multiplico por un factor de corrección para cada mes (Tabla 16) usando la Ecuación 8.

$$ETP_{THO} = e * L \quad (8)$$

Donde:

e= evapotranspiración mensual

L= factor de corrección, establecido para latitud 0°

Tabla 16. Factor de corrección

Mes	Latitud 0°
Enero	1,03
Febrero	0,93
Marzo	1,03
Abril	1,00
Mayo	1,03
Junio	1,00
Julio	1,03
Agosto	1,03
Septiembre	1,00
Octubre	1,03
Noviembre	1,00
Diciembre	1,03

Fuente: *Thornthwaite* (1948)

Finalmente, se estableció la susceptibilidad a través del uso de la *regla práctica del intervalo* y se determinaron cinco categorías.

- Déficit hídrico: Se aplicó el método establecido por *Thorntwaite y Mather* (1955) en base al balance hídrico donde las entradas (precipitación) y las salidas (ETP) deben ser iguales, para lo cual se utilizó la Ecuación 9.

$$DH = P - PET \quad (9)$$

Donde:

DH= Déficit hídrico

P= Precipitación media

PET= Evapotranspiración potencial

Finalmente, se estableció la susceptibilidad a través del uso de la *regla práctica del intervalo* y se determinaron cinco categorías.

- Diagrama Ombrotérmico: Se obtuvo el promedio multianual mensual de los años 1960-1990 para precipitación y para temperatura de los años 1970-2000. Se extrajo los valores de cada mes del cantón Ibarra y para su representación, en el eje X se ubica los meses del año y en un doble eje Y las precipitaciones medias mensuales (mm) y las temperaturas medias mensuales (°C).

3.3.2. Fase 2: Zonificación de áreas susceptibles a incendios de cobertura vegetal en el cantón Ibarra

3.3.2.1. Aplicación del método Saaty

Proceso de análisis jerárquico (AHP), técnica desarrollada por Thomas Saaty en 1980 que se clasifica como una técnica multicriterios para la toma de decisiones. Los niveles de importancia de los criterios se estiman por medio de comparaciones pareadas entre ellos, los cuales se llevan a cabo usando una escala de importancia para establecer las

ponderaciones de los factores que influyen en la generación de incendios para valorar su influencia de menor a mayor (Tabla 17).

Tabla 17. Escala de importancia del método Saaty

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 que existe una fuerte dominancia de un elemento sobre otro.

Fuente: Modificado de Saaty, T, (1980)

- a) Comparación pareada: se realizó la comparación de las nueve variables seleccionadas (Tabla 18).

Tabla 18. Comparaciones pareadas

	C.S.	Pend	Prec	Temp	O.T.	ETP	Alt	D.H.	P.V.
C.S.	1	3	5	5	5	1	5	5	5
Pend	0,3	1	1	1	1	1	5	1	5
Prec	0,2	1	1	1	1	1	3	5	3
Temp	0,2	1	1	1	1	0,2	5	0,2	1
O.T.	0,2	1	1	1	1	1	1	1	1
ETP	1	1	1	5	1	1	5	5	1
Alt	0,2	0,2	0,3	0,2	1	0,2	1	3	1
D.H.	0,2	1	0,2	5	1	0,2	0,3	1	1
P.V.	0,2	0,2	0,3	1	1	1	1	1	1
Total	3,5	9,4	10,86	20,2	13	6,6	26,3	22,2	19

C.S.: cobertura y uso de suelo; Pend: pendientes; Prec: precipitación; Temp: temperatura; O.T.: orientación del terreno; ETP: Evapotranspiración potencial; Alt: altitud; D.H.: déficit hídrico; P.V.: proximidad a las vías.

- b) Obtención de la ponderación dada con el método Saaty: se realizó en base a los resultados de la tabla anterior, donde se dividió cada valor con su respectiva sumatoria total en sentido vertical y se calculó el promedio de los valores horizontales los cuales son los pesos ponderados para cada variable (Tabla 19).

Tabla 19. Proceso de obtención de ponderaciones con Saaty

	C.S.	Pend	Prec	Temp	O.T.	ETP	Alt	D.H.	P.V.	Promedio
C.S.	0,28	0,32	0,46	0,25	0,38	0,15	0,19	0,23	0,26	0,28
Pend	0,09	0,11	0,09	0,05	0,08	0,15	0,19	0,05	0,26	0,12
Prec	0,06	0,11	0,09	0,05	0,08	0,15	0,11	0,23	0,16	0,11
Temp	0,06	0,11	0,09	0,05	0,08	0,03	0,19	0,01	0,05	0,07
O.T.	0,06	0,11	0,09	0,05	0,08	0,15	0,04	0,05	0,05	0,07
ETP	0,28	0,11	0,09	0,25	0,08	0,15	0,19	0,23	0,05	0,16
Alt	0,06	0,02	0,03	0,01	0,08	0,03	0,04	0,14	0,05	0,05
D.H.	0,06	0,11	0,02	0,25	0,08	0,03	0,01	0,05	0,05	0,07
P.V.	0,06	0,02	0,03	0,05	0,08	0,15	0,04	0,05	0,05	0,06
Total	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

C.S.: cobertura y uso de suelo; Pend: pendientes; Prec: precipitación; Temp: temperatura; O.T.: orientación del terreno; ETP: Evapotranspiración potencial; Alt: altitud; D.H.: déficit hídrico; P.V.: proximidad a las vías.

3.3.2.2. Modelo de zonificación de susceptibilidad de incendios de cobertura vegetal

Para obtener este mapa se aplicó la ecuación de susceptibilidad que establece Coelho, et al (2016), y se desarrolló un modelo de acuerdo con la Ecuación 10.

$$IR = 0,07 * r_{DH} + 0,06 * r_{PV} + 0,05 * r_{Alt} + 0,07 * r_{OT} + 0,11 * r_{Prec} + 0,16 * r_{ETP} + 0,07 * r_{Temp} + 0,12 * r_{Pend} + 0,28 * r_{CS} \quad (10)$$

IR= Riesgo de Incendios;

IR= Riesgo de incendio;

rPrec= ráster de precipitación reclasificado;

rTemp= ráster de temperatura reclasificado;

rDH =ráster de déficit hídrico reclasificado;

rPend= ráster de pendientes reclasificado;

rPV= ráster de proximidad a las vías reclasificado;

rCS= ráster de cobertura y uso de suelo reclasificado;

rETP= ráster de evapotranspiración potencial reclasificado;

rOT= ráster de orientación del terreno reclasificado y

rAlt= ráster de altitud reclasificado

Finalmente, se la ejecutó la fórmula en el software ArcGIS 10.5 en los nueve rásters reclasificados de resolución de 30 metros por píxel, lo que permitió obtener el mapa de susceptibilidad para el cantón Ibarra.

3.3.2.3. Validación del modelo

La validación del modelo se realizó mediante la utilización de focos de calor, los cuales fueron obtenidos desde el portal del Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales de Brasil (INPE) <http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>. El INPE cuenta con una base de datos de focos de calor para Sudamérica desde el año 1998, para Ecuador existen datos desde el año 2000 y para el área de estudio se usó los datos del 2000 hasta el 2018, esta información corresponde a los satélites AQUA, GOES, NOAA, TERRA, ATSR, TRMM, con estos datos se verificó la coincidencia con el modelo obtenido para el cantón a través de pruebas estadísticas.

- a) Prueba de Chi-cuadrado: es una prueba estadística que establece la relación entre dos variables (focos de calor y modelo obtenido). Se trabajó en el *software IBM SPSS Statistics* donde se aplicó tablas de contingencia y la prueba de chi-cuadrado además se planteó una hipótesis nula (H_0) y una hipótesis alternativa (H_a) expuestas a continuación:

H_0 = Existen diferencias significativas entre el modelo obtenido y los focos de calor (no están asociadas)

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

Al realizar la prueba de chi-cuadrado se acepta o rechaza cualquiera de las hipótesis (nula o alternativa), dependiendo el nivel de significancia que debe mostrar el chi-cuadrado de Pearson el cual debe ser menor de 5% (0,05) 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%.

b) Curva ROC: Con el software *IBM SPSS Statistics* se realizó el cálculo de la curva ROC para validar el modelo obtenido, para esto se usó como discriminante los focos de calor del periodo 2000 a 2018 para obtener el valor del área bajo la curva, cuanto más próximo a 1 es el valor, más alta es la exactitud global de la prueba (Burgueño, García, y González, 1995). También se plantearon las mismas hipótesis del chi-cuadrado para determinar la relación de los focos de calor con el modelo obtenido:

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 prueba de la curva ROC se acepta o rechaza cualquiera de las hipótesis (nula o alternativa), dependiendo del área bajo la curva la cual debe ser mayor a 0,5 para acepta la hipótesis alternativa.

3.3.3. Fase 3: Diseño de estrategias de mitigación de riesgos de incendios de cobertura vegetal en el cantón Ibarra

3.3.3.1. FODA

Para el diseño de estrategias de gestión de riesgos de cobertura vegetal, se llevó a cabo un análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas), en base a los resultados obtenidos, con esto se procedió al planteamiento y diseño de estrategias, mismas que están orientadas a: prevenir y mitigar incendios de cobertura vegetal ocurridos en el cantón Ibarra.

Se realizó el cruce de variables FA, FO, DA, DO 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).

3.3.3.2 Sistema de alerta temprana

Identificada la susceptibilidad alta a extrema a incendios en un mapa de riesgos como primer paso del proceso de un SAT, se plantearon las acciones a ejecutar frente a la ocurrencia de un incendio de cobertura vegetal:

- Implementación dispositivos de medición e infraestructuras de control en las zonas identificadas con susceptibilidad alta a extrema dentro del cantón.
- Capacitación a comunidades cercanas a las zonas con mayor susceptibilidad formando brigadas comunitarias capaces de responder de manera eficaz frente a un incendio.
- Acciones de seguimiento y control a cargo de las brigadas comunitarias con la utilización de los dispositivos de medición e infraestructuras de control para mantener un registro de datos del comportamiento de los factores que inciden en la ocurrencia de un incendio.
- Difusión de la alerta a los centros de control, autoridades y cuerpo de bomberos en caso de una anomalía en los datos de los factores.
- Activación del plan de emergencia por parte de las brigadas comunitarias en espera del cuerpo de bomberos y las instituciones competentes con el fin de disminuir el nivel de impacto ocasionado por un incendio en la cobertura vegetal.

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Principales factores que inciden en los incendios de cobertura vegetal en el cantón Ibarra

Aplicando la metodología propuesta se obtuvieron los siguientes resultados:

4.1.1. Entrevistas a expertos

De acuerdo con las entrevistas realizadas a expertos se establecieron ponderaciones a los diferentes factores físicos y climáticos que inciden en la ocurrencia de incendios. Ubicándoles de mayor (1) a menor (9) influencia (Tabla 20). El estudio realizado por Coelho, et al (2016) fue la base para la selección de factores los cuales tienen distintas ponderaciones mismas que fueron adaptadas al área de estudio.

Tabla 20. Ponderación de factores según expertos

Factores físicos y climáticos	Ponderación
Cobertura y uso de suelo	1
Pendientes	2
Precipitación	3
Temperatura	4
Orientación del terreno	5
Evapotranspiración potencial	6
Altitud	7
Déficit Hídrico	8
Proximidad a las vías	9

4.1.2. Factores físicos

Se obtuvieron los resultados de los cinco factores físicos del cantón Ibarra.

4.1.2.1. Altitud

El factor físico altitud del cantón Ibarra muestra la diferencia de altitud que conforman el territorio, con rangos entre 483 msnm y 4.555 msnm (Figura 6). Las mismas que se clasifican con rangos de susceptibilidad a incendios siendo las áreas con menor altitud

las que presentan un riesgo extremo ocupando un 0,52% de superficie y alto riesgo un 16,70%, moderado un 32,49%, bajo un 32,70% y aquellas con una susceptibilidad muy baja ocupan un 17,59% del territorio. Esto se debe a que la altitud influye en las condiciones climáticas del territorio, como lo expresan Muñoz et al., (2005) mencionando que la altitud influye en la variación de temperatura y humedad del terreno. De tal manera que existe un incremento de precipitaciones y una disminución de temperatura a medida que asciende en altitud (Lasanta y Serrano, 2007) Por lo tanto, la cobertura vegetal varía según la altitud, convirtiendo a los sectores bajos más riesgosos debido a la cantidad de material combustible existente por las altas temperaturas.

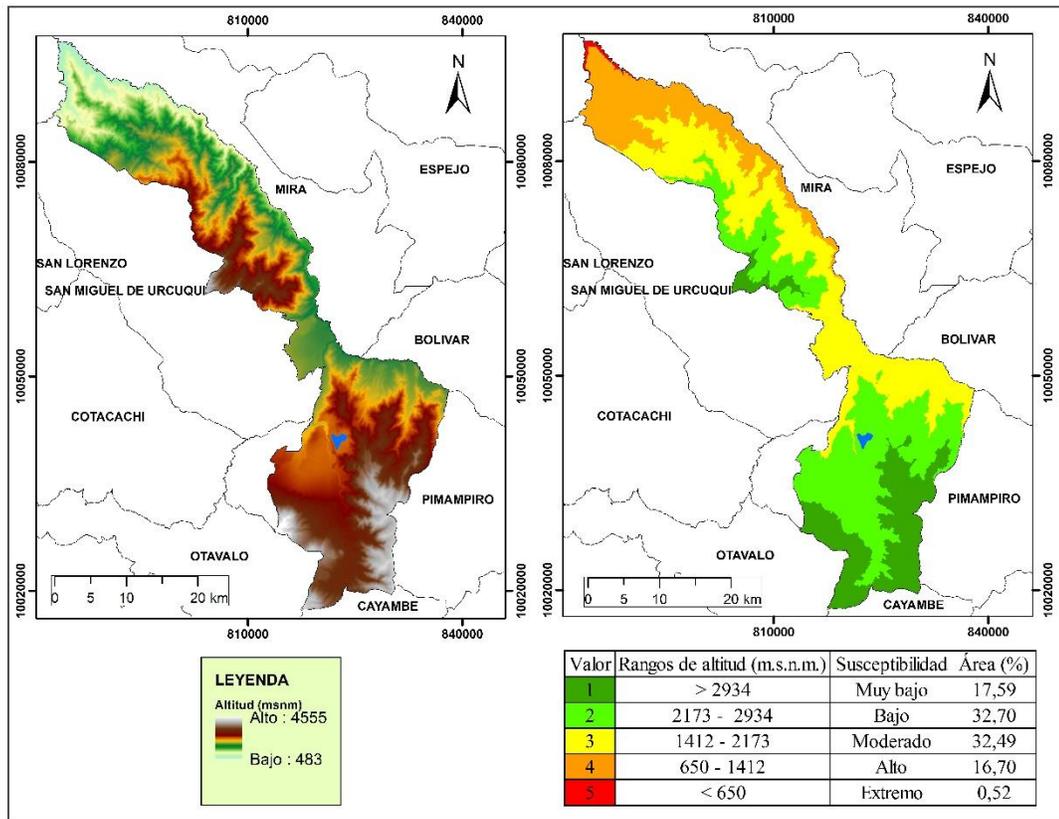


Figura 6. Modelo digital de elevación y susceptibilidad a incendios del cantón Ibarra

4.1.2.2. Pendientes

En las pendientes fuertes e inclinadas el fuego avanza con mayor rapidez ladera arriba ya que el aire caliente al ascender seca los combustibles que están por encima (Coelho et al., 2016; Jaiswal et al., 2002; Parisien et al., 2005), lo que concuerda con lo encontrado por Ruiz y Blanco, (2004) quienes coinciden que el riesgo de incendios se incrementa proporcionalmente con la pendiente. En consecuencia, para la valoración de la susceptibilidad de incendios en pendientes se tomó en cuenta que las pendientes más pronunciadas como las que tengan una susceptibilidad extrema con valores de inclinación mayores a 45%, las cuales representan el 47,68% del territorio (Figura 7).

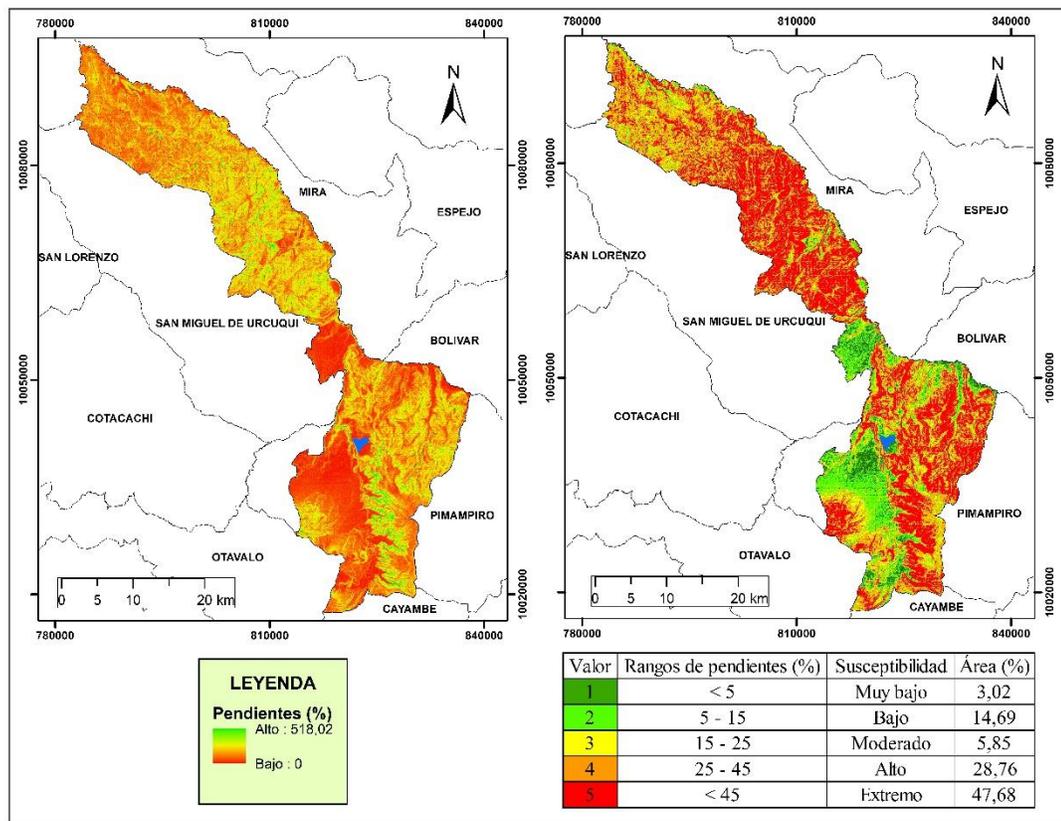


Figura 7. Pendientes y rangos de susceptibilidad a incendios del cantón Ibarra

4.1.2.3. Orientación del terreno

La orientación del terreno dominante tiene una importancia notable en las condiciones microclimáticas, modificando la evapotranspiración potencial y la humedad edáfica (Van de Water et al., 2002; Alanís, et al 2012). Para determinar la susceptibilidad de la orientación del terreno se realizó un análisis al historial de incendios ocurridos en el cantón donde se determinó que el 15,68% del territorio presenta una susceptibilidad extrema con orientaciones al este y un 59,96% del territorio alta susceptibilidad con orientaciones al norte, noreste, sureste y noroeste (Figura 8), corroborando el estudio de Coelho, et. al. (2016) que determinó que las orientaciones al norte son las más susceptibles en el territorio brasileño.

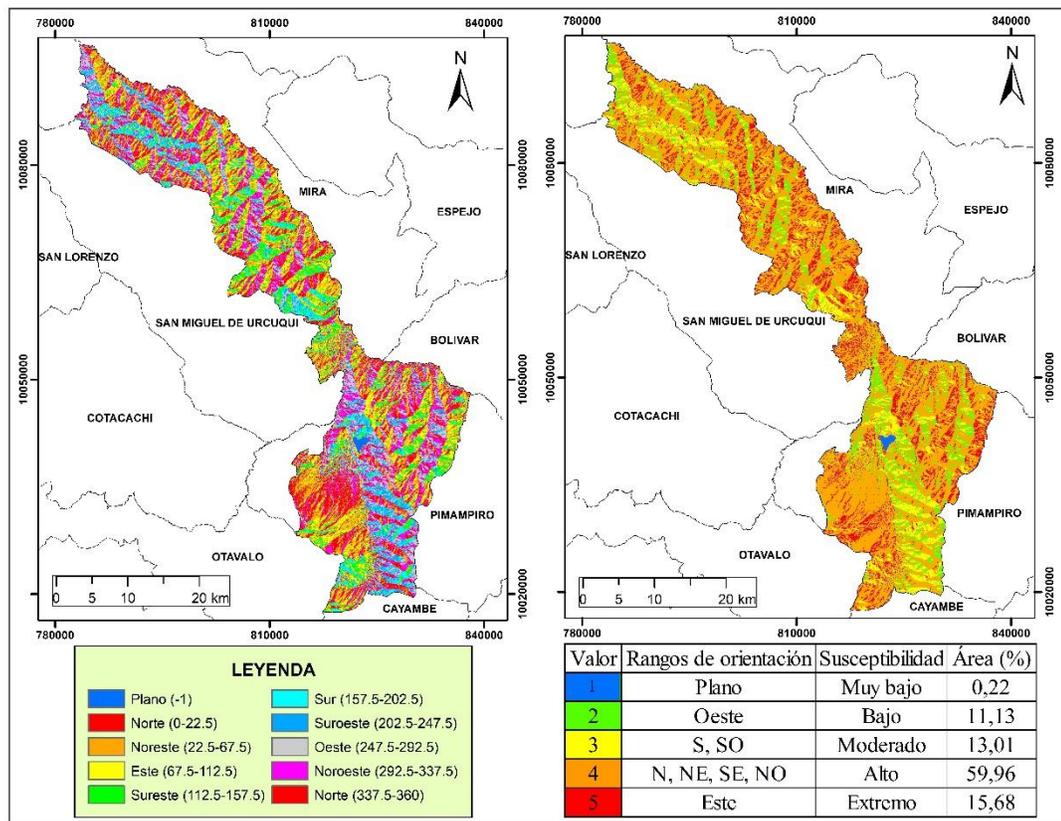


Figura 8. Orientación del terreno y rangos de susceptibilidad a incendios del cantón Ibarra

4.1.2.4. Proximidad a las vías

Es un factor que incrementan el riesgo de incendio, debido al flujo de personas y automóviles, generalmente las vías de mayor riesgo tienden a ser caminos de tipo vereda o terracería, esto debido a que se localizan en, o cerca de, zonas agrícolas, o ganaderas, donde se hace uso del fuego (Coelho et. al., 2016; Flores et. al., 2016). Por tal motivo se utilizó el histórico de incendios del cantón para asignar valores de ponderación de las vías y se asignó la susceptibilidad extrema a las distancias menores a 21 metros, ocupando un 2,09% del territorio, pero la mayoría del territorio presenta una susceptibilidad baja con un 92,75% del área de estudio (Figura 9).

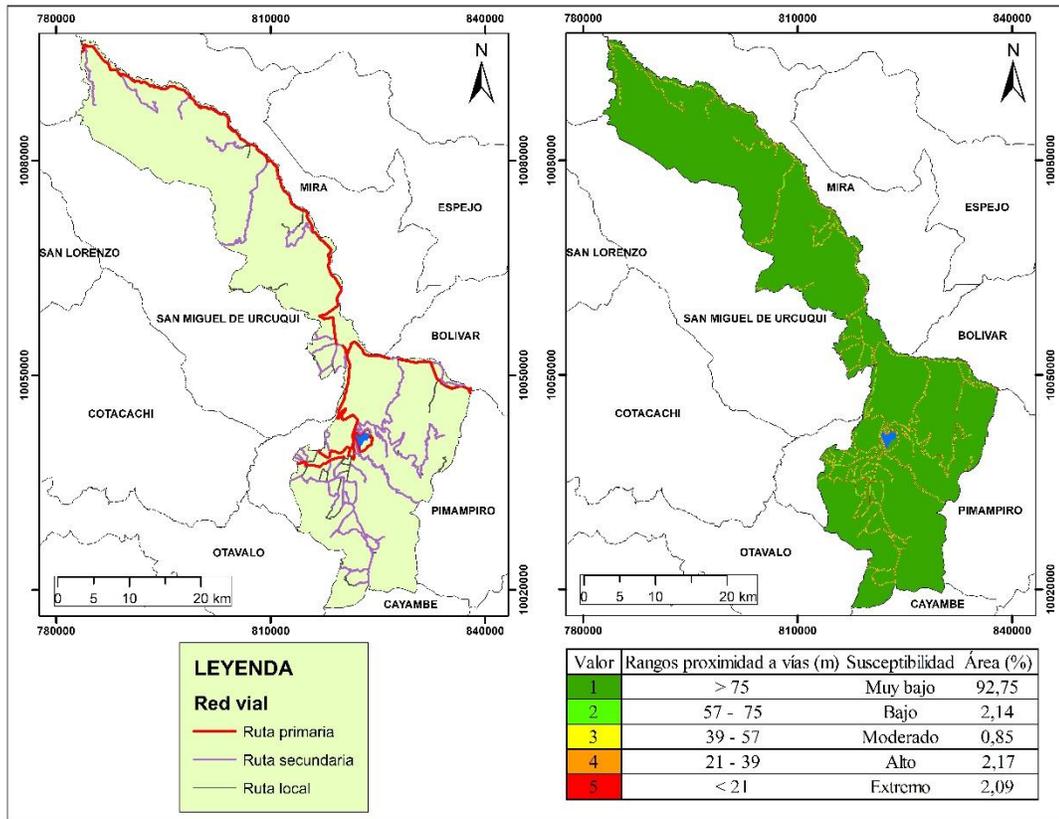


Figura 9. Proximidad a las vías y rangos de susceptibilidad a incendios del cantón Ibarra

4.1.2.5. Cobertura y uso de suelo

La gran mayoría de los incendios ocurridos en el mundo son de origen antrópico, por ejemplo, generados por actividades de cambio de uso del suelo (Carrillo, et. al., 2012) y la intensidad del fuego está mediada por las características del combustible (Coelho et al., 2016; Miller y Urban, 2000), es decir que cuando el combustible presenta bajos índices de humedad y un déficit hídrico muy alto es más propenso a incendiarse (Casado y Campo, 2007).

La reclasificación se realizó en base a las entrevistas a expertos, quienes contribuyeron a establecer que las coberturas de cultivos y páramo son las que tienen una susceptibilidad extrema con una ocupación de 24,46% del territorio y susceptibilidad alta con un 61% del territorio conformado por las coberturas de bosque, pastizal y vegetación arbustiva (Figura 10).

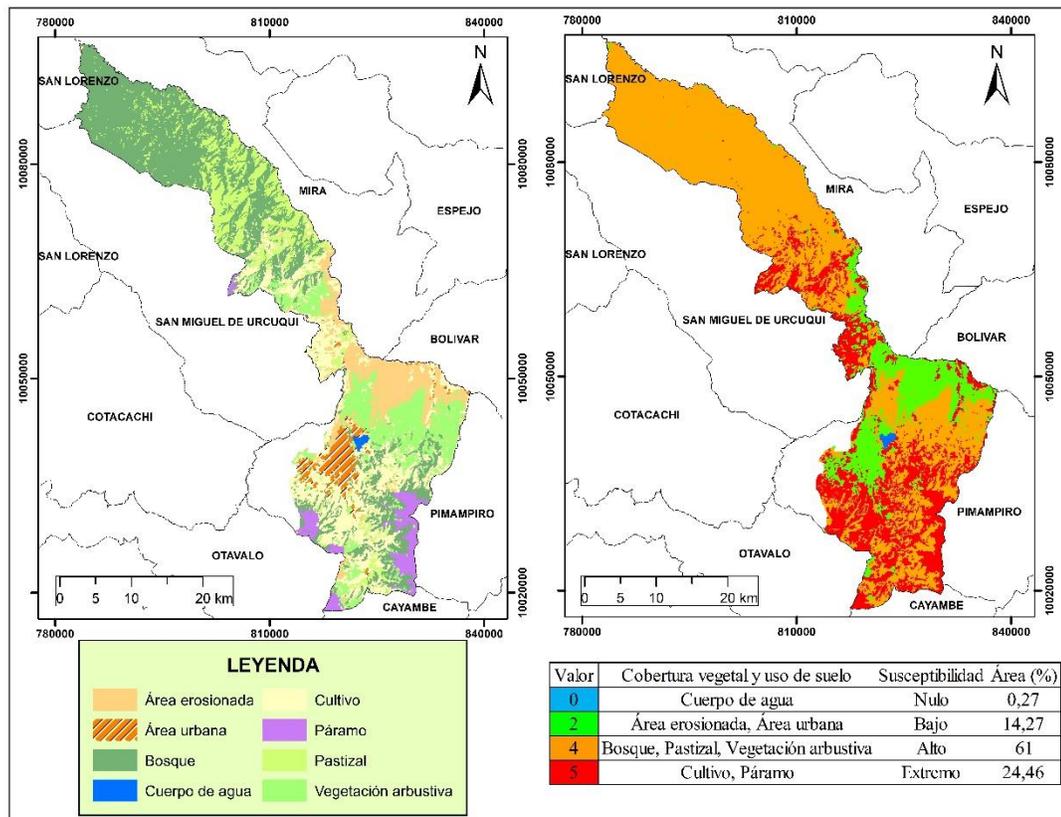


Figura 10. Cobertura, uso de suelo y rangos de susceptibilidad a incendios del cantón Ibarra

4.1.3. Factores climáticos

4.1.3.1. Precipitación media

Los niveles de precipitación que se dan en el cantón Ibarra (Figura 11) se encuentran en rangos entre 453 mm a 3365 mm anuales. Determinando el riesgo de la ocurrencia de un incendio donde las áreas con menor precipitación es decir $<535,54$ mm presentan un riesgo extremo. Las áreas con bajas precipitaciones se convierten en el escenario ideal para la ocurrencia de incendios. Un estudio realizado por Pérez, Márquez, Cortés y Salmerón (2013), muestran que la precipitación es un factor de influencia directa en la ocurrencia de incendios coincidiendo con la investigación donde el riesgo extremo se da en zonas con bajas precipitaciones.

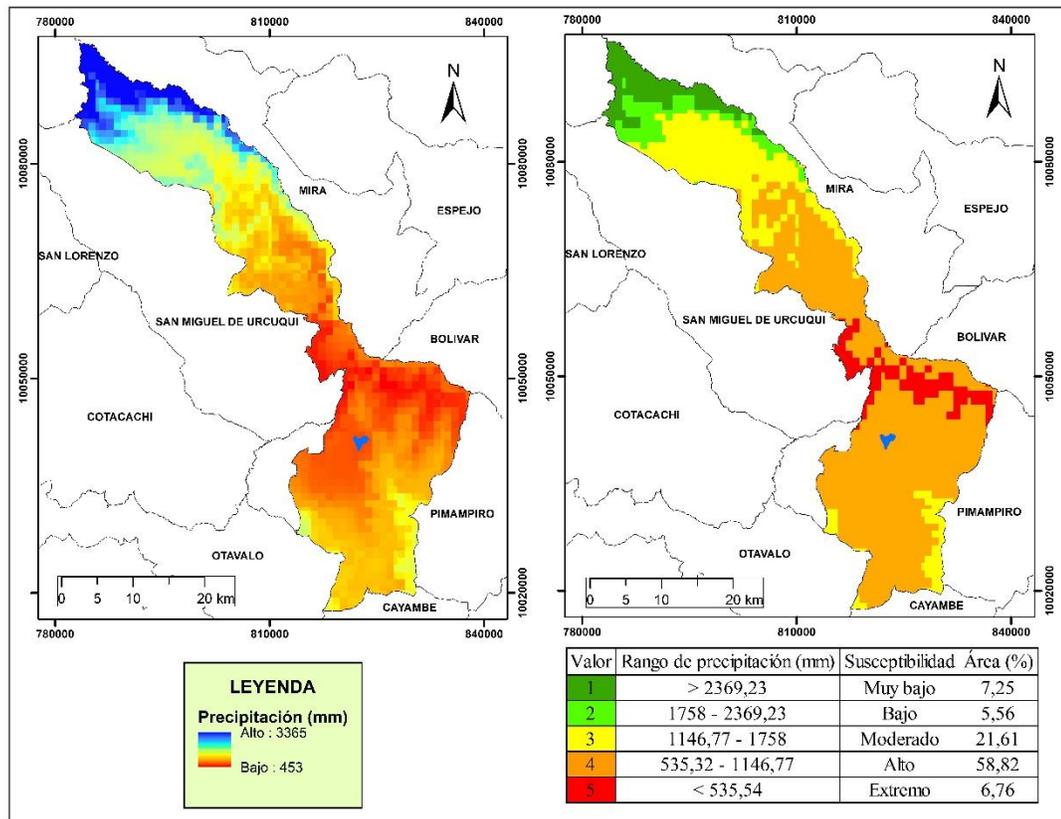


Figura 11. Precipitación media y rangos de susceptibilidad a incendios del cantón Ibarra

4.1.3.2. Temperatura media

El cantón Ibarra presenta temperaturas entre 5,8 °C y 22,8 °C (Figura 12), las áreas con menor temperatura presentan una susceptibilidad muy baja con temperaturas menores a 8,28 °C y las áreas con temperaturas >19,81 °C presentan una susceptibilidad extrema dentro del cantón. La temperatura regula el contenido de humedad del combustible de tal manera que la disminución progresiva de humedad presenta un riesgo de ignición y propagación (Lloret, 2004).

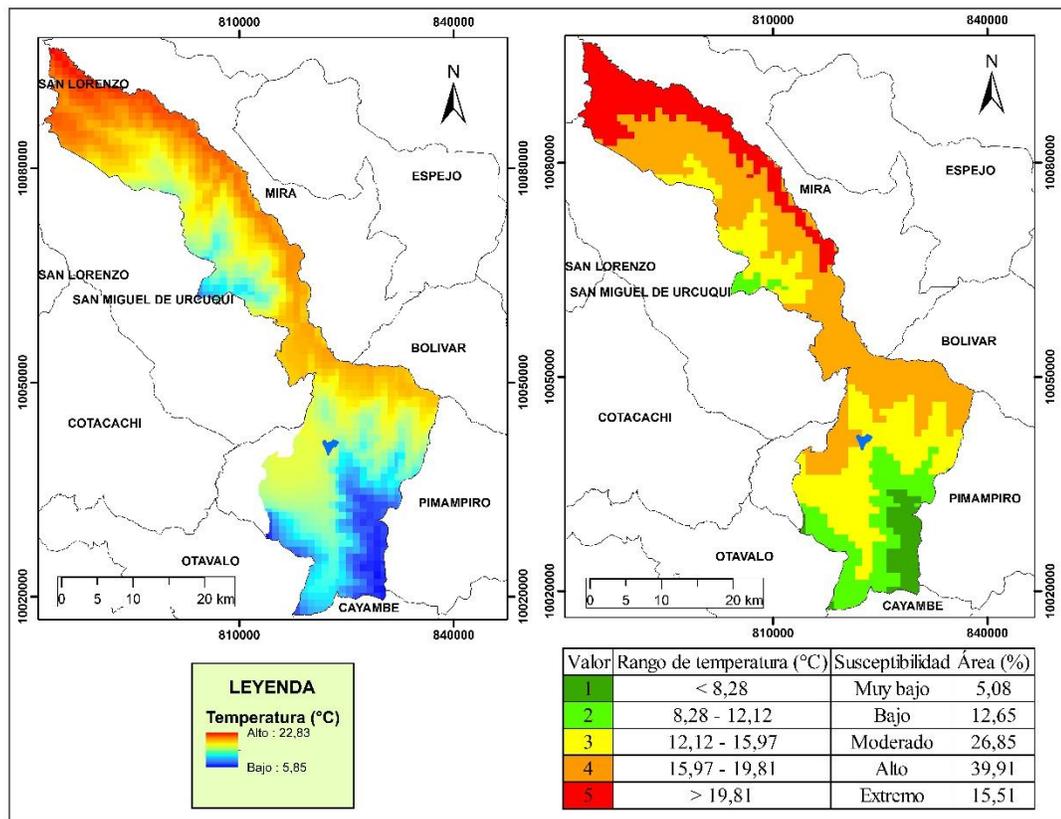


Figura 12. Temperatura media y rangos de susceptibilidad a incendios del cantón Ibarra

4.1.3.3. Evapotranspiración potencial

Los altos valores de evapotranspiración potencial son un factor que genera incendios, debido a que promueven un intenso resecaamiento de la masa vegetal por la pérdida de

humedad (Casado y Campo, 2007; Coelho et al., 2016), es decir que cuando la evapotranspiración es alta existe una mayor susceptibilidad a incendio por lo propensa que se vuelve la vegetación seca a encenderse (Villabona y Armenteras, 2012). En este sentido, el cantón Ibarra muestra que el valor más alto de evapotranspiración y por ende de susceptibilidad es de 1104,41 mm/anales y la menor susceptibilidad es de 533,82 mm/anales (Figura 13). Aplicando la reclasificación a la susceptibilidad encontramos que el 2,76% del territorio, ubicado al nororiente del área de estudio presenta una susceptibilidad extrema.

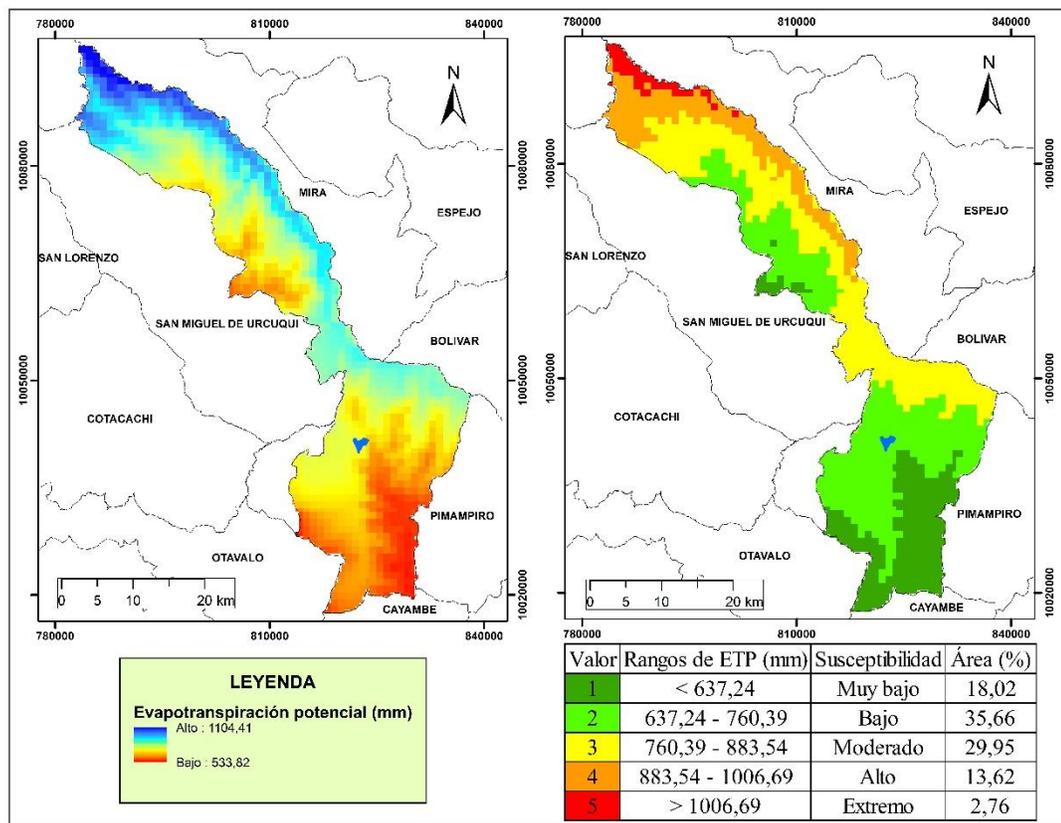


Figura 13. Evapotranspiración potencial y rangos de susceptibilidad a incendios del cantón Ibarra

4.1.3.4. Déficit hídrico

La pérdida de humedad en la cobertura vegetal favorece a que exista periodos de déficit hídrico que en el cantón Ibarra oscila entre -399,14 mm y 2334,13 mm (Figura 14), lo

que resulta de suma importancia para la caracterización del grado de susceptibilidad del territorio ante la amenaza de incendios (Casado y Campo, 2007). Coincidiendo así con lo propuesto por el estudio de Coelho, et al. (2016) donde menciona que, el fuego se propaga con mayor facilidad donde el déficit hídrico es mayor. Donde tras la reclasificación de la susceptibilidad se obtiene que el cantón presenta un 12,33% de territorio con extrema susceptibilidad a incendios y en contraste el 6,35% del territorio tiene una susceptibilidad muy baja.

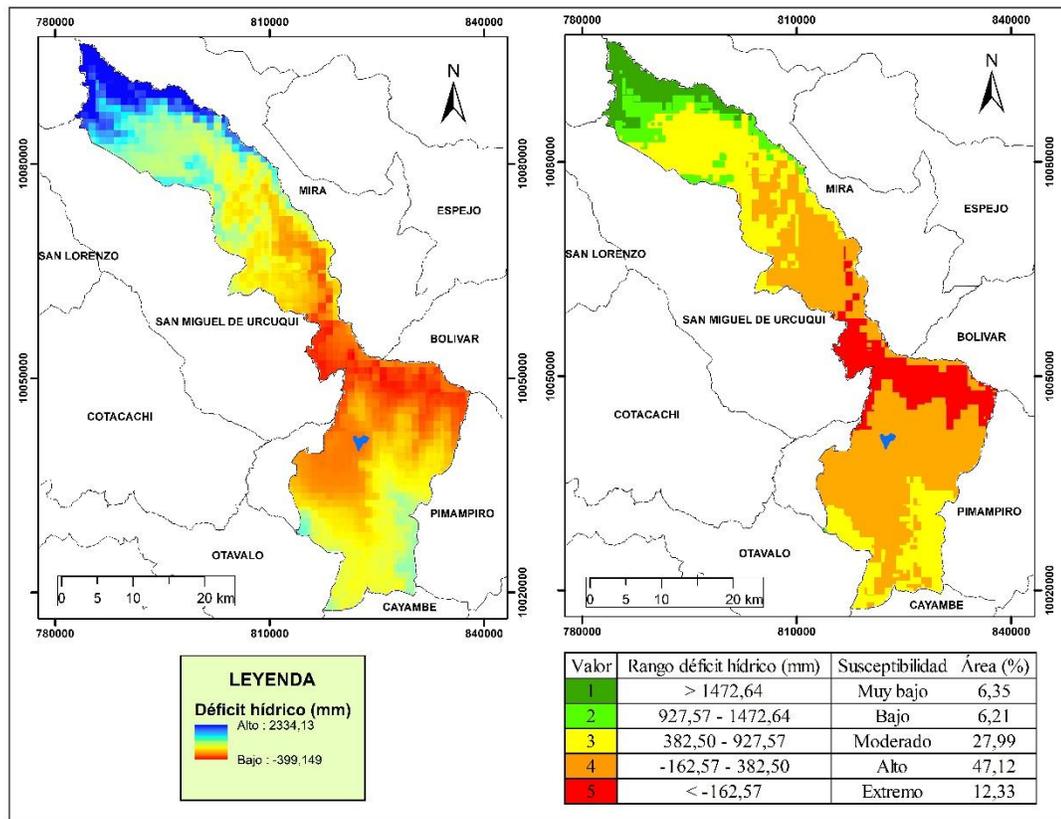


Figura 14. Déficit hídrico y rangos de susceptibilidad a incendios del cantón Ibarra

Una vez relacionados los promedios mensuales multianuales de la precipitación y la temperatura medias del área de estudio, se muestra una época seca entre los meses de julio y agosto con precipitaciones no mayores a 34,69 mm y temperaturas no inferiores a 15,90 °C, y dos épocas lluviosas marcadas comprendidas entre los meses de enero – junio y septiembre – diciembre, las cuales registraron valores de precipitación de 123,2

mm a 143,3 mm y temperaturas entre 16 °C a 16,29 °C (Figura 15). Esto determina la época seca y lluviosa dentro de las cuales se identifica un mayor o menor susceptibilidad de incendios de cobertura vegetal, de tal manera que, en la época seca debido a la baja disponibilidad de humedad en el suelo, existe mayor susceptibilidad. Según Moreno (2005), los incendios han sido más numerosos bajo altas temperaturas y bajas precipitaciones ya que se ve favorecido por vegetación inflamable.

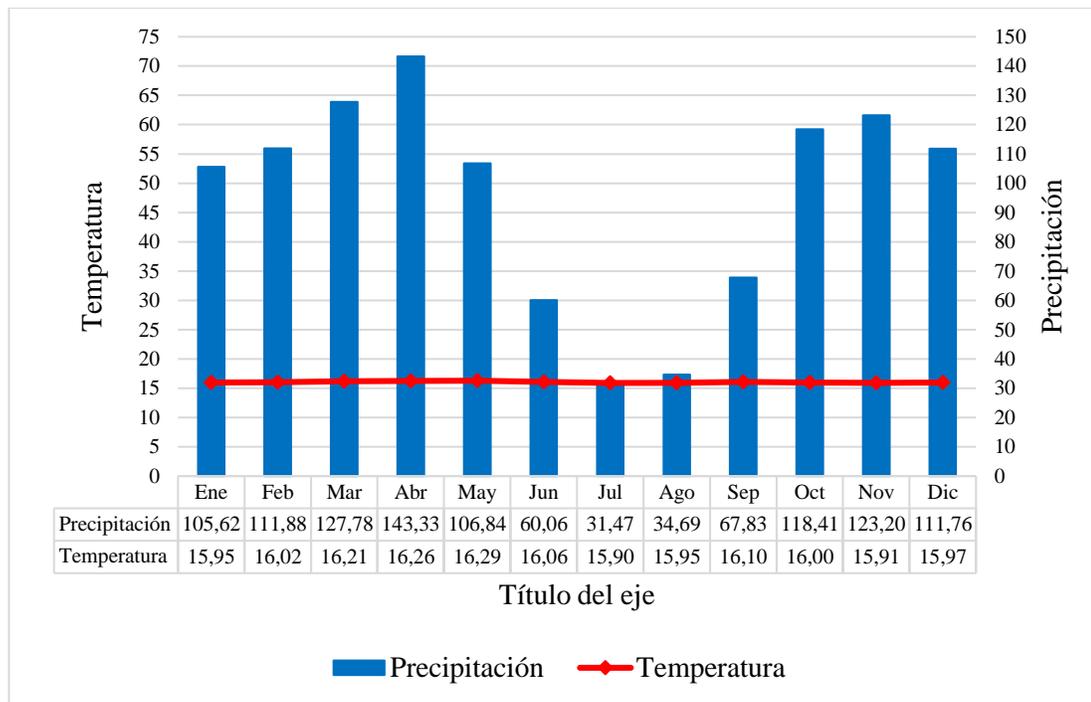


Figura 15. Diagrama ombrotérmico del cantón Ibarra

4.2. Áreas susceptibles a incendios de cobertura vegetal en el cantón Ibarra

4.2.1. Ponderación de factores físicos y climáticos

El factor con mayor influencia es la cobertura y uso de suelo, mismo que determina la intensidad del incendio (Coelho et. al., 2016; Miller y Urban, 2000), los demás factores van disminuyendo en ponderación resaltando el grado de importancia de uno sobre otro (Tabla 21).

Tabla 21. Ponderación de factores según SAATY

Factores	Ponderación
Altitud	0,05
Proximidad a las vías	0,06
Déficit hídrico	0,07
Temperatura	0,07
Orientación del terreno	0,07
Precipitación	0,11
Pendientes	0,12
Evapotranspiración potencial	0,16
Cobertura y uso de suelo	0,28
Total	1

Fuente: Modificado de Coelho et. al., 2016

4.2.2. Modelo de zonificación de susceptibilidad a incendios de cobertura vegetal

El resultado de la ecuación de riesgo a incendios (modificada de Coelho et. al., 2016), presenta las áreas susceptibles a incendios de cobertura vegetal para el cantón Ibarra, en base a las nueve variables ponderadas anteriormente. Se priorizó los factores físicos cobertura y uso de suelo y pendientes sobre factores climáticos como temperatura, evapotranspiración potencial y precipitación debido a su influencia directa en la propagación de incendios (Jaiswal et al., 2002; Miller y Urban, 2000; Parisien et al., 2005; Ruiz y Blanco, 2004).

Este modelo muestra que el cantón Ibarra cuenta con cinco categorías de susceptibilidad como son muy bajo, bajo, moderado, alto y extremo distribuidos a lo largo del territorio y con la susceptibilidad muy baja con una representatividad de 4,19% del territorio y la susceptibilidad extrema con 14,55% misma que ocupa gran parte de las parroquias La Carolina y Salinas (Figura 16).

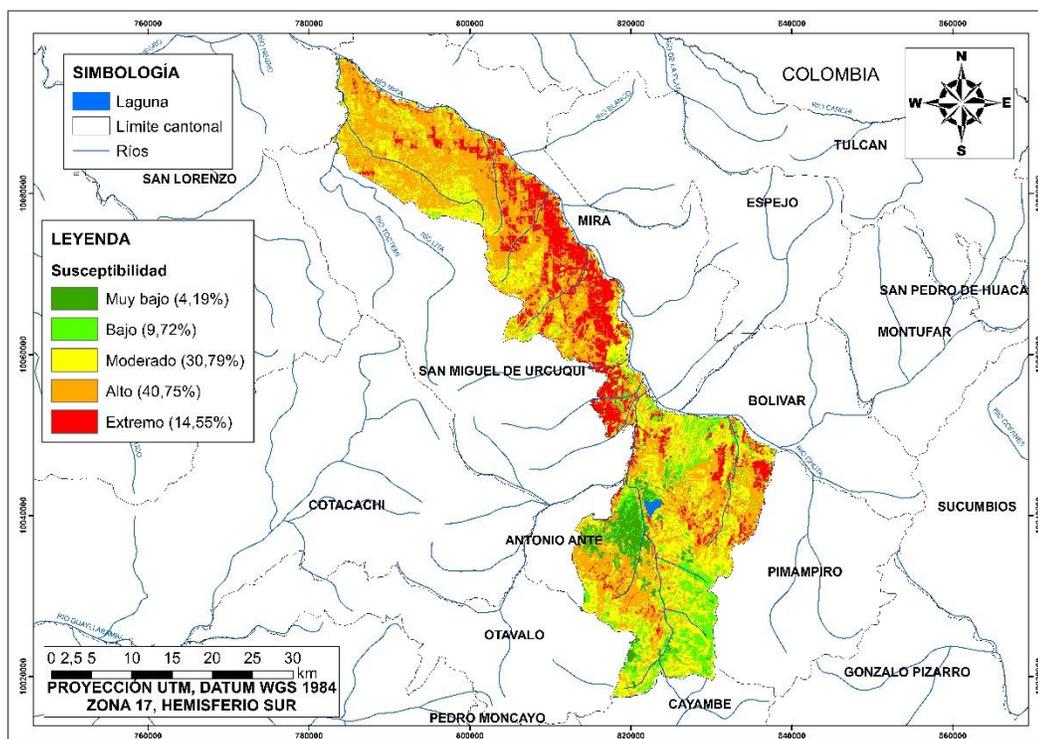


Figura 16. Susceptibilidad a incendios de cobertura vegetal del cantón Ibarra

4.2.3. Validación estadística del modelo

4.2.3.1. Prueba de chi-cuadrado

Se obtuvo una significancia de 0,00000002 que es menor al 0,05 por lo que se acepta la hipótesis alternativa (Tabla 22). Es decir, existe asociación entre el modelo obtenido y los focos de calor. La relación de los resultados encontrados (modelo) con los esperados (focos de calor) tiene un 99,99 % de asociación. La prueba de chi-cuadrado de Pearson se aplica en situaciones donde se desea decidir si una serie de datos (observaciones) se ajusta o no a una función teórica previamente determinada (De la Fuente, 2016).

Tabla 22. Prueba de chi-cuadrado

	Valor	gl	Sig. asintótica (2 caras)
Chi-cuadrado de Pearson	14,084	1	0,00000002

4.2.3.2. Curva ROC

Se obtuvo un gráfico de la curva ROC (Figura 17) con un valor de área bajo la curva de 0,862 (Tabla 23) que es mayor a 0,5 por lo tanto el modelo realizado tiene un alto grado de confiabilidad.

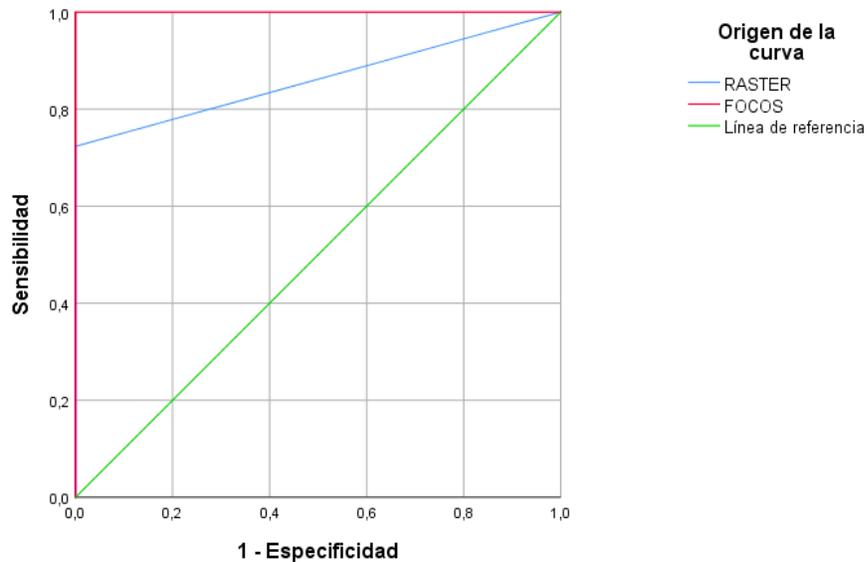


Figura 17. Curva ROC

Tabla 23. Área bajo la curva

Variable(s) de resultado de prueba	Área	Error estándar	Significación asintótica	95% de intervalo de confianza asintótico	
				Límite inferior	Límite superior
Modelo obtenido	0,862	0,023	0,000003	0,817	0,906
Focos de calor	1,000	0,000	0,000	1,000	1,000

La validación estadística muestra que el modelo realizado es aceptable, por lo tanto, la susceptibilidad a incendios de cobertura vegetal para el cantón Ibarra no varía del modelo obtenido en la Figura 16.

4.3. Diseñar estrategias de mitigación de incendios de cobertura vegetal en el cantón Ibarra

4.3.1. Matriz FODA

Se identificó las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas con las que cuenta el área de estudio (Tabla 24).

Tabla 24. Análisis FODA del área de estudio

Fortalezas	Oportunidades
F1: Sectores críticos dentro del cantón Ibarra han sido identificados	O1: Aporte de diferentes instituciones públicas para ejecutar acciones de emergencia
F2: Se conoce las condiciones físicas y climáticas de los sectores críticos	O2: Predisposición de los pobladores a colaborar en proyectos de protección de sus localidades frente a incendios
F3: Presencia del área de gestión de riesgos	O3: Aporte de la comunidad universitaria para proyectos de vinculación
F4: Se conoce las zonas de vida del cantón.	
Debilidades	Amenazas
D1: Elevado número de habitantes	A1: Dificil acceso a las zonas susceptibles
D2: Sectores vulnerables distantes	A2: Falta de aporte económico por parte de las autoridades
D3: Área de susceptibilidad alta y extrema corresponde al 55,30% del área de estudio	A3: Falta de control por parte de las autoridades a los sectores de alto riesgo
D4: Falta de conocimiento de la población para afrontar incendios	A4: Pérdida de cobertura vegetal y biodiversidad a causa de incendios

4.1.3.1. Identificación de estrategias

Posterior a la identificación de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas, se realiza un cruce de los elementos (Tabla 25) para proponer estrategias que ayuden a prevenir, mitigar y recuperar áreas frente a un incendio de cobertura vegetal.

Tabla 25. Cruce de variables del FODA

Crterios	Variables	Estrategias
Fortalezas y amenazas	F2: Se conoce las condiciones físicas y climáticas de los sectores críticos	Ejecutar un sistema de alerta temprana para la prevención de incendios en base a la información física y climática del territorio
	A4: Pérdida de cobertura vegetal y biodiversidad a causa de incendios	Implementar estructuras de monitoreo y control en sectores estratégicos
	F1: Sectores críticos dentro del cantón Ibarra han sido identificados	
	A1: Dificil acceso a las zonas susceptibles	
Fortaleza y oportunidad	F2: Sectores críticos dentro del cantón Ibarra han sido identificados	Construir líneas de defensa en los sectores con mayor susceptibilidad con el apoyo de los pobladores
	O2: Predisposición de los pobladores a colaborar en proyectos de protección de sus localidades frente a incendios	Fortalecer el trabajo conjunto entre las comunidades y las instituciones mediante socializaciones periódicas
	F3: Presencia del área de gestión de riesgos	
Debilidad y amenaza	O2: Predisposición de los pobladores a colaborar en proyectos de protección de sus localidades frente a incendios	Capacitar a los pobladores en temas de control y vigilancia de incendios
	D4: Falta de conocimiento de la población para afrontar incendios	
	A3: Falta de control por parte de las autoridades a los sectores de alto riesgo	Ejecutar proyectos de educación ambiental a la población por parte de la academia
	D4: Falta de conocimiento de la población para afrontar incendios	
Debilidad y oportunidad	O3: Aporte de la comunidad universitaria para proyectos de vinculación	Diseñar un plan de seguimiento en las áreas con mayor susceptibilidad a incendios
	D3: Área de susceptibilidad alta a extrema corresponde al 55,30% de área de estudio	
	O1: Aporte de diferentes instituciones públicas para ejecutar acciones de emergencia	

- **Estrategia 1: Sistema de alerta temprana (SAT)**

Ubicación: Cantón Ibarra

Justificación

El cantón Ibarra presenta un 55,30% de susceptibilidad alta a extrema, es necesario desarrollar acciones para evitar afectaciones a gran escala. Un SAT agrupa diferentes estrategias con mismos enfoques; control, prevención y vigilancia de posibles incendios, el éxito dependerá del conocimiento de la amenaza y la factibilidad de integrar en el mismo a los diferentes actores locales involucrados en la problemática por medio de herramientas sencillas y efectivas que permitan un flujo de información rápido y seguro (Magaña, et al., 2002). Incluye implementación de dispositivos y estructuras, seguimiento constante, respuesta oportuna y ejecución de un plan de contingencia (Figura 18).

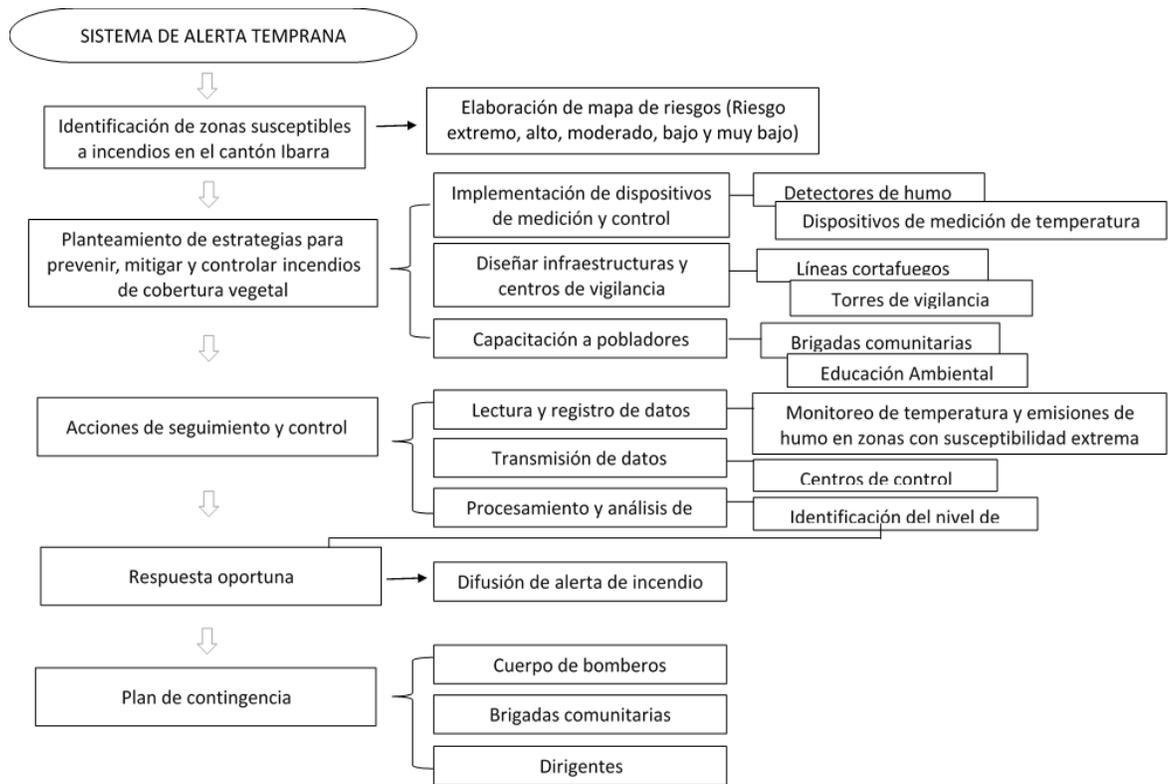


Figura 18. Sistema de Alerta Temprana

Objetivo general

Elaborar un sistema de alerta temprana para prevenir incendios de cobertura vegetal dentro del cantón Ibarra

Meta

El sistema de alerta temprana permitirá ejecutar acciones inmediatas en caso de incendios de cobertura vegetal evitando la pérdida masiva de bienes naturales, económicos o afectación a vidas humanas en caso de la ocurrencia de un incendio (Tabla 26).

Tabla 26. Programa de Sistema de alerta temprana

Actividades	Indicadores	Medios de verificación	Alcance	Responsables
Socializar los resultados de la investigación con las autoridades competentes y representantes de diferentes parroquias	Número de responsables por sector	Oficios entregados, Listado de participantes, fotografías.	Lograr un monitoreo y control de las diferentes zonas de vida existentes en el cantón y prevenir la ocurrencia de incendios o a su vez ejecutar acciones de control para evitar pérdidas masivas	Gobiernos municipales Gobiernos parroquiales Cuerpo de bomberos
Capacitar personal de las diferentes parroquias para ejecutar acciones de respuesta frente a posibles incendios	Número de responsables por sector	Listado de participantes, fotografías, manuales entregados		
Instalar dispositivos de control en sectores con mayor susceptibilidad y transmitir esa información a centros de control y monitoreo	Número de responsables para el monitoreo, Número de dispositivos instalados	Informes de monitoreo, fotografías		
Ejecutar acciones de respuesta frente a la ocurrencia de un incendio; evacuaciones, intervención oportuna rápida del cuerpo de bomberos, intervención de brigadas, entre otros	Número de responsables por sector, cuerpo de bomberos	Listas de participantes en acciones de control, fotografías, informes		

- **Estrategia 2: Implementación de torres de vigilancia**

Ubicación: Sectores con susceptibilidad alta y extrema a incendios.

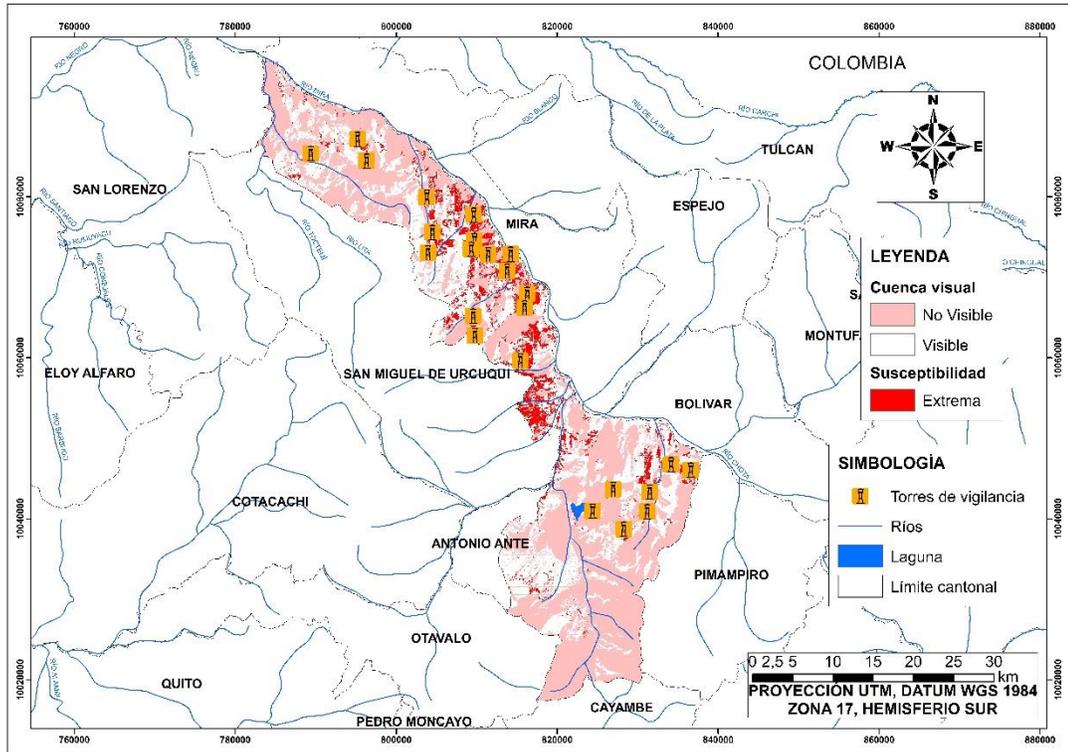


Figura 19.Ubicación de torres de vigilancia

Justificación

Los sectores identificados con susceptibilidad alta a extrema presentes en el cantón Ibarra son prioritarios en la ejecución de estrategias de prevención. La instalación de torres de vigilancia distribuidas en diferentes sectores permitirá controlar desde puntos con una alta visibilidad. Esto forma parte del sistema de alerta temprana y cuyo fin es evitar el desarrollo de posibles incendios y en caso de ocurrir controlarlo de manera oportuna evitando daños a gran escala. Se propone colocar 24 torres de vigilancia distribuidas en diferentes sectores del cantón (Tabla 27) el criterio de ubicación de estas torres es en base a la altitud del terreno y la cuenca visual que cubre las zonas con susceptibilidad alta y extrema, las alturas de las

torres varían de 15 a 20 metros debido a la irregularidad del terreno con el fin de que cubran el mayor campo visual, se realizó a través de procesos geoespaciales en ArcGIS con la herramienta *Viewshed* (Figura 19). Las torres A y T presentan mayor área visual de las 24 propuestas ubicadas en la parroquia La Carolina.

Tabla 27. Área visible y coordenadas de las torres de vigilancia

Nombre	Altura de la torre (m)	Área visible (ha)	Coordenada X	Coordenada Y	Altitud (msnm)
Torre A	15	16556,58	815399	10059619	2237
Torre B	15	4575,03	834122	10046746	2150
Torre C	15	768,56	831470	10043326	2200
Torre D	15	5375,30	836578	10046065	2215
Torre E	15	795,67	824377	10040960	2228
Torre F	20	1339,25	813748	10070746	1525
Torre G	20	1798,40	814195	10072888	1326
Torre H	15	4221,40	815913	10066207	2226
Torre I	20	3352,11	816250	10067907	1963
Torre J	20	3880,98	803781	10079942	2069
Torre K	15	2564,69	809535	10065186	2812
Torre L	15	414,06	809752	10062766	2801
Torre M	15	2852,49	803918	10073024	2196
Torre N	15	3374,06	804472	10075586	2239
Torre O	15	1853,88	796286	10084449	1803
Torre P	15	3313,77	795163	10087153	1526
Torre Q	15	5436,14	809701	10074584	2211
Torre R	15	107,81	811393	10072813	1627
Torre S	15	921,80	809606	10077753	1629
Torre T	15	8145,28	809291	10073486	2505
Torre U	15	427,32	831168	10040895	2203
Torre V	15	3481,64	789350	10085372	1345
Torre W	15	566,21	826935	10043638	2203
Torre X	15	1082,52	828246	10038712	2796
Suma		77204,95			

Objetivo general

Ubicar 24 torres de vigilancia en los sectores con susceptibilidad alta y extrema a incendios en el cantón Ibarra.

Meta

Las torres de vigilancia permitirán monitorear las áreas con alta y extrema susceptibilidad a incendios de cobertura vegetal dentro del cantón Ibarra para

prevenir el desarrollo de posibles incendios o intervenir de manera oportuna en caso de ocurrencia de los mismos (Tabla 28).

Tabla 28. Proyecto de implementación de torres de vigilancia

Actividades	Indicadores	Medios de verificación	Alcance	Responsables
Identificar las zonas donde se implementarán torres de control	Área visible que cubre la torre de vigilancia	Mapas, fotografías	Construir diez torres de control en sitios estratégicos en las áreas con susceptibilidad extrema y lograr la participación de los pobladores para vigilancia y control	Gobiernos municipales
Construcción de las torres de control	Material utilizado para la construcción de las torres de vigilancia, altura de las torres	Reporte de avance de la construcción, fotografías		Gobiernos parroquiales
Vigilancia y seguimiento periódica en las torres de control	Número de visitas al día en las torres de control	Informes de vigilancia		Cuerpo de bomberos Pobladores del sector

- **Estrategia 3: Implementación de líneas cortafuegos**

Ubicación: Sectores con susceptibilidad alta y extrema a incendios (Tabla 29).

Tabla 29. Ubicación de líneas cortafuegos

Cortafuegos	Coordenada X	Coordenada Y	Parroquia
1	797793	10086900	Lita
2	808796	10078300	La Carolina
3	831360	10048700	Ambuquí
4	816572	10059800	La Carolina
5	817786	10053600	Salinas
6	816553	10031600	Ibarra
7	811569	10072600	La Carolina
8	815802	10067100	La Carolina
9	828085	10040800	Ibarra
10	835678	10046600	Ambuquí

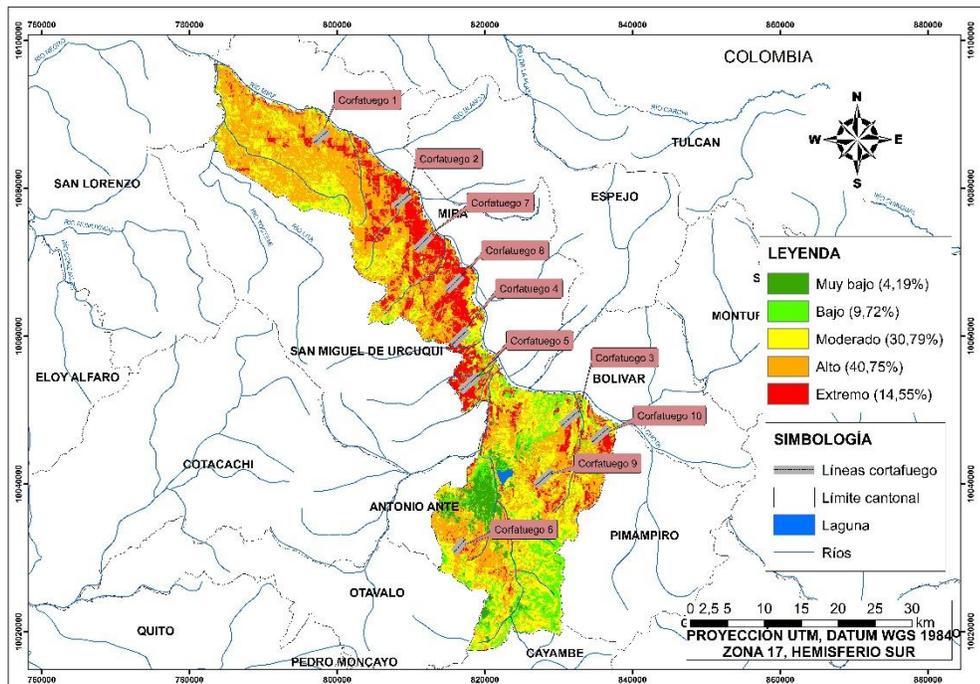


Figura 20. Ubicación de líneas cortafuego

Justificación

El uso del fuego está fuertemente arraigado a las tradiciones de los pueblos, por lo tanto, es necesario establecer técnicas de prevención y mitigación que eviten la propagación acelerada y descontrolada del fuego, una vez que se produzca un incidente, contar con esta herramienta como mecanismo de defensa, logrando así que la afectación sea la menor posible. Las líneas cortafuegos reducen el combustible en disposición de arder disminuyendo la combustibilidad mediante la eliminación de continuidades de vegetación. Su ubicación debe ser perpendicular a la dirección del viento para evitar la propagación de incendios y dando prioridad a las zonas que presentan una susceptibilidad alta y extrema, para el cantón Ibarra la dirección del viento es NE, E, (Figura 20).

Objetivo general

Establecer diez líneas cortafuegos en los sectores con alta y extrema susceptibilidad a incendios en el cantón Ibarra.

Meta

Las líneas cortafuegos permitirán delimitar las áreas que presentan una susceptibilidad alta y extrema a incendios mismas que evitarán la propagación del fuego evitando así daños de gran magnitud (Tabla 30).

Tabla 30. Proyecto de implementación de líneas cortafuegos

Actividades	Indicadores	Medios de verificación	Alcance	Responsables
Identificar las zonas donde se implementarán líneas cortafuegos	Áreas seleccionadas	Mapas, fotografías	Construir franjas cortafuegos en sitios estratégicos dentro de las áreas susceptibles	Gobiernos municipales
Construcción de las líneas cortafuegos	Número de franjas implementadas	Fotografías		Gobiernos parroquiales
Seguimiento y vigilancia para despejar el posible material combustible acumulado en las líneas cortafuegos	Limpieza de las franjas implementadas	Fotografía		Cuerpo de bomberos Pobladores del sector

- **Estrategia 4: Educación ambiental**

Ubicación: Parroquias de Ambuquí, Salinas, La Carolina, Lita, Ibarra, Angochagua, San Antonio, La Esperanza.

Justificación

El mapa de riesgos generado para el cantón Ibarra muestra que los sectores con susceptibilidad alta y extrema se dan en áreas cercanas a cultivos. Por lo tanto, es necesario impartir charlas del manejo adecuado del fuego utilizado para despejar tierras, siendo esta una de las principales causas que inciden en la ocurrencia de incendios debido a la falta de conocimientos en técnicas adecuadas para este proceso.

Objetivo General

Ejecutar campañas de educación ambiental en las zonas pobladas cercanas a sectores identificados con susceptibilidad alta y extrema dentro del cantón Ibarra.

Meta

La educación ambiental permitirá concientizar a la población sobre el cuidado de ambiente y el manejo adecuado del fuego para evitar incendios que puedan degradar el ecosistema y vulnerar la seguridad de los pobladores (Tabla 31).

Tabla 31. Programa de educación ambiental

Actividades	Indicadores	Medios de verificación	Alcance	Responsables
Socializar los resultados de la investigación con los habitantes de los sectores identificados	Número de asistentes a la socialización	Oficios entregados a las diferentes instituciones y responsables	Lograr que la comunidad tenga conocimientos sobre el manejo responsable del fuego y sobre las causas y consecuencias de los incendios de cobertura vegetal	Gobiernos municipales Gobiernos parroquiales
Realizar charlas con los agricultores sobre el manejo adecuado del fuego para despejar tierras	Número de asistentes a las charlas, número de material entregado	Fotografías, listas de asistencia		Cuerpo de bomberos Academia

- **Estrategia 5: Participación comunitaria**

Ubicación: Parroquias de Ambuquí, Salinas y la Carolina

Justificación

Los poblados cercanos a las zonas identificadas con susceptibilidad alta y extrema son los principales actores para el cuidado y protección del medio que los rodea. La capacitación comunitaria permitirá a los pobladores formar parte de las acciones de respuesta frente a eventos que puedan generar daños de alto impacto ya que el tiempo transcurrido hasta obtener apoyo del cuerpo de bomberos puede ser clave para evitar la propagación del fuego y disminuir los daños a la

biodiversidad. Mediante la creación de brigadas comunitarias se asegura la respuesta oportuna e inmediata en caso de ocurrencia de un incendio de cobertura vegetal.

Objetivo general

Capacitar a la comunidad de los sectores con susceptibilidad alta y extrema a incendios con técnicas de control y mitigación de incendios.

Meta

Las brigadas comunitarias conformadas por pobladores de los sectores con susceptibilidad alta a extrema serán capaces de responder de manera eficaz y oportuna frente a la ocurrencia de incendios de cobertura vegetal procurando que el impacto ocasionado por el fuego sea el menor posible (Tabla 32).

Tabla 32. Programa de participación comunitaria

Actividades	Indicadores	Medios de verificación	Alcance	Responsables
Capacitar a los pobladores con talleres teórico-práctico con temas sobre prevención y control de incendios	Número de participantes	Listas de asistencia, fotografías Pruebas	Capacitar a un número representativo de pobladores capaces de actuar de manera eficaz frente a un incendio, logrando así optimizar tiempo y recursos	Gobiernos municipales Gobiernos parroquiales
Formar y capacitar brigadas comunitarias para intervenir en caso de incendios	Número de participantes	Listas de asistencia, fotografías Pruebas teórico		Cuerpo de bomberos
Complementar el programa con charlas de seguridad	Número de participantes, número de implementos de seguridad entregados	Fotografía, lista de asistentes, documentos de compra de productos		

- **Estrategia 6: Plan de seguimiento y control**

Ubicación: Cantón Ibarra

Justificación

La eficacia del Sistema de Alerta Temprana depende en gran parte del seguimiento y control del mismo. Los sectores identificados con susceptibilidad alta y extrema son prioritarios para la ejecución de estrategias, por lo tanto, es necesario realizar un seguimiento a los mecanismos de defensa que se propone implementar en los diferentes puntos estratégicos para asegurar el cumplimiento de los objetivos de cada uno de ellos.

Objetivo general

Realizar un seguimiento y control de las diferentes estrategias planteadas que conforman el Sistema de Alerta Temprana.

Meta

El seguimiento y monitoreo constante permitirá asegurar la funcionalidad de cada uno de los mecanismos que se plantea instalar en los sectores con susceptibilidad alta y extrema para evitar incendios de cobertura vegetal en el cantón (Tabla 33).

Tabla 33. Plan de seguimiento y control

Actividades	Indicadores	Medios de verificación	Alcance	Responsables
Monitorear el manejo de las torres de control instalas	Número de personal encargado	Informes, fotografías	Mantener la funcionalidad de cada una de las estrategias planteadas orientadas a prevenir la ocurrencia de incendios	Gobiernos municipales
Despejar periódicamente las líneas cortafuegos de material combustible.	Número de personal encargado	Informes, fotografías		Gobiernos parroquiales
Realizar talleres de educación ambiental de manera frecuente.	Número de talleres al año	Fotografía, lista de asistentes		Cuerpo de bomberos
Fortalecer las capacitaciones a las diferentes brigadas comunitarias	Número de brigadas conformadas al año	Fotografías, informes, listados		

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Los incendios de cobertura vegetal que afectan al cantón Ibarra están influenciados por factores físicos: altitud, orientación del terreno, proximidad a las vías, pendientes y cobertura y uso de suelo y factores climáticos: precipitación, temperatura, evapotranspiración y déficit hídrico; siendo los factores con mayor ponderación la cobertura y uso de suelo como combustible, pendientes como determinante de la velocidad de propagación, temperatura, precipitación y evapotranspiración como condicionante del estado fisiológico del combustible.
- El cantón Ibarra presenta una susceptibilidad extrema en 15810,7 ha de su territorio, es decir el 14,55%, donde las coberturas con mayor riesgo son cultivos, pastizales, vegetación arbustiva y bosque ocupando gran parte de las parroquias La Carolina y Salinas, la susceptibilidad alta está representada en 44282,7 ha (40,75%) cuya concentración se encuentra en la parroquia de Lita, la susceptibilidad moderada 33451,5 ha (30,79%) y susceptibilidad baja 10560,3 ha (9,72%) se encuentra distribuidas en la parte sur del cantón, y susceptibilidad muy baja en 4552,11 ha (4,19%) en la ciudad de Ibarra.
- Las estrategias se encuentran agrupadas en un sistema de alerta temprana fortaleciendo la participación comunitaria y de las autoridades locales, buscando el bienestar común mediante acciones orientadas a prevenir y mitigar incendios de cobertura vegetal presentes en el cantón Ibarra con actividades de educación, monitoreo, control y seguimiento que se llevaran a cabo en conjunto con las comunidades de los sectores con mayor susceptibilidad que se encuentran dentro las parroquias La Carolina, Salinas y Ambuquí.

5.2. Recomendaciones

- Utilizar datos de diferentes fuentes de información para comparar resultados y seleccionar aquellos que más se acerquen a la realidad del área de estudio, esto nos permitirá obtener resultados más confiables.
- Se recomienda a las autoridades competentes aplicar estrategias en base al modelo de susceptibilidad a incendios de cobertura vegetal obtenido de esa investigación, enfocados en proteger la biodiversidad del cantón Ibarra.
- Divulgar los resultados de la investigación para generar conciencia en los pobladores del cantón Ibarra y fortalecer la participación de la comunidad con temas de protección del medio ambiente.
- Complementar la investigación en temas de incendios de cobertura vegetal que permitan identificar los factores de influencia en el ámbito social.

REFERENCIAS

- Aguado, I. y Rodríguez, F. (2004). El factor meteorológico en los incendios forestales, 63-99.
- Alanís, E., Jiménez, J., Valdecantos, A., González, M., Aguirre, Ó., y Treviño-Garza, J. (2012). Composición y diversidad de la regeneración natural en comunidades de Pinus-Quercus sometidas a una alta recurrencia de incendios en el noreste de México. *Revista Mexicana de biodiversidad*, 83(4), 1208-1214.
- Álvarez, Y. (2000). *Aplicación de tecnología SIG al Estudio del Riesgo y Prevención de Incendios Forestales en el área de Sierra Espuña-Gebas (Región de Murcia)* (Tesis inédita doctoral). Universidad de Murcia. Murcia, España.
- Andreae, M., y Merlet, P. (2001). Emission of trace gases and aerosols from biomass burning. *Global Biogeochemical Cycles*, 15(4), 955-966.
- Armién, F. (2012). Sistemas de Alerta Temprana 10 preguntas y 10 respuestas para la comunidad educativa de Panamá. In *Sistemas de Alerta Temprana 10 preguntas y 10 respuestas para la comunidad educativa de Panamá*. UNESCO. Oficina San José para Centroamérica y México.
- Ballesteros, H., Verde, J., Costabel, M., Sangiovanni, R., Dutra, I., Rundie, D., y Bazán, L. (2010). Análisis FODA: Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas. *Revista Uruguaya*, 5(2).
- Billings, R. y Espino J. (2005). *El gorgojo descortezador del pino (Dendroctonus frontalis): cómo reconocer, prevenir y controlar plagas*. Texas: Servicio Forestal de Texas.
- Bond, W. y Keele, J. (2005). "Fire as a global 'herbivore': the ecology and evolution of flammable ecosystems". *Trends in Ecology and Evolution*, 20(2), 387-394.
- Burgueño, M., García, J., y González, J. (1995). Las curvas ROC en la evaluación de las pruebas diagnósticas. *Med Clin (Barc)*, 104(17), 661-70.
- Burrough, P. y McDonell, R. (1998). *Principles of Geographical Information Systems* Oxford University Press. New York.

- Burel, F., y Baudry, J. (2002). *Ecología del paisaje: conceptos, métodos y aplicaciones*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Calle, A., Casanova, J. y Romo, A. (2001). Detección de incendios forestales y estimación de riesgo a partir de imágenes SEVIRI sintéticas. *Teledetección, medio ambiente y cambio global*, 279-282.
- Casado, A., Gil, V., y Campo, A. (2007). Consecuencias de la variación de la disponibilidad hídrica en la cuenca del arroyo El Belisario, Buenos Aires-Argentina. *Revista Huellas*, 11, 9-26.
- Carrillo, R., Rodríguez, D., Tchikoué, H., Monterross, A., y Santillan, J. (2012). Análisis espacial de peligro de incendios forestales en Puebla, México. *Interciencia*, 37(9).
- Castillo M., Pedernera P. y Guillermo J. (2002). *Aplicaciones de los SIG en la lucha contra los incendios forestales*.
- Castillo, M., Pedernera, P., y Pena, E. (2003). Incendios forestales y medio ambiente: una síntesis global. *Revista ambiente y desarrollo de CIPMA*, 19(3), 44-53.
- Cedeño, S. (1999). Incendios forestales en México en 1998: magnitud, extensión, combate y control. *Incendios forestales y agropecuarios: prevención e impacto y restauración de los ecosistemas*, 1-18.
- Chicaiza, F. (2013). *Diagnóstico del uso actual y determinación de oportunidades de uso productivo y conservacionista del páramo de la parroquia Angochagua* (Tesis inédita de masterado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Chuvieco, E. (2009). Detección y análisis de incendios forestales desde satélites de teledetección. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 103(1), 173-182.
- Chuvieco, E., Aguado, I., Yebra, M., Nieto, H., Martín, M., Vilar, L. y Salas, J. (2007). Generación de un Modelo de Peligro de Incendios Forestales mediante Teledetección y SIG. *Teledetección - Hacia un mejor entendimiento de la dinámica global y regional*, 19-26.

- Chuvieco, E., Aguado, I., Yebra, M., Nieto, H., Salas, J., Martín, P., Vilar, L., Martínez, J., Martín, S., Ibarra, P., De La Riva, J., Baeza, J., Rodríguez, F., Molina, J., Herrera, M. y Zamora, R. (2009). Development of a framework for fire risk assessment using remote sensing and geographic information system technologies. *Ecological Modelling*, 221(1), 46-58.
- Cochrane, M. (2003). Fire science for rainforests. *Nature*, 421(8), 913-919.
- Coelho, F., Dos Santos, A., Fiedler, N., Ribeiro, G., Da Silva, A., Dos Santos, A. B., et al. (2016). Applying GIS to develop a model for forest fire risk: A case study in Espírito Santo, Brazil. *Journal of Environmental Management*, 173(1), 65-71.
- Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and psychological measurement*. 20(1), 37-46.
- Corral, Y. (2009). Validez y confiabilidad de los instrumentos de investigación para la recolección de datos. *Revista ciencias de la educación*. 19(33), 228-247.
- De la Fuente, S. (2016). *Aplicaciones del chi cuadrado: Tablas de contingencia. Dependencia e independencia*. Universidad Autónoma de Madrid, España.
- Engstrom, T. (2010). First-order fire effects on animals: “Review and recommendations”. *Fire Ecology*, 6(1), 115-130.
- Estacio, J. y Narváez, N. (2012). Incendios forestales en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ): conocimiento e intervención pública del riesgo. *Letras Verdes*, (11), 27-52.
- François, M., Reyes, J. y Pérez, A. (2003). Evaluación de la confiabilidad temática de mapas o de imágenes clasificadas: una revisión. *Investigaciones geográficas*, (51), 53-72.
- Ferrari, J., (2012). *Avaliação de geotecnologias para subsidiar o mapeamento do uso e cobertura da terra no instituto federal do Espírito Santo - campus de Alegre*. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF. (Tesis inédita de doctorado), Rio de Janeiro, Brasil.
- Flores, G., Benavides, S., Valdez R., Vega, D. y Casillas Díaz. (2016). Descripción de variables para definición de riesgo de incendios forestales en México.

- 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: Fondo de Prevención y Atención de Emergencias.
- Gallardo, A. 2006. Geoestadística. *Ecosistemas* (España). Núm. 6:1–11.
- García, C., y Azócar, A. (2004). “Ecología de la regeneración de árboles de la sabana”. *Ecotropicos*, 17(2), 1-24.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquia Rural de Angochagua. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia rural de Angochagua*. Ibarra: Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquia Rural de Angochagua.
- González, J., Fernández, M. y Gimeno, G. (1992). Efectos de los incendios forestales sobre el suelo. *Suelo y Planta*, 2(1), 71-79.
- Guglietta, D., Migliozi, A. y Ricotta, C. (2015). A multivariate approach for mapping fire ignition risk: the example of the National Park of Cilento (Southern Italy). *Environmental management*, 56(1), 157-164.
- Hernández, Y., Hernández, V., Batista, N. y Tejada, E. (2017). ¿Chi cuadrado o Ji cuadrado?. *Medicentro Electrónica*, 21(4), 294-295.
- Hoffmann, W. (1999). “Post-burn reproduction of woody plants in a neotropical savanna: the relative importance of sexual and vegetative reproduction”. *Journal of Applied Ecology*, 35(2), 422-433.
- Holdsworth, A. y Uhl, C. (1997). “Fire in Amazonian selectively logged rain forest and the potential for fire reduction”. *Ecology Apply*, 7(1), 713-725.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2011). *Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal - Escala 1:100.000*. Bogotá: Comité de Comunicaciones y Publicaciones del IDEAM.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (2010). Censo de Población y vivienda.
- Jaiswal, R., Mukherjee, S., Raju, D., y Saxena, R. (2002). Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 4(1), 1-10.

- Jiménez, A., Urrego, L. y Toro, L. (2016). Evaluación del comportamiento de incendios de la vegetación en el norte de Antioquia (Colombia): Análisis del paisaje. *Colombia Forestal*, 19(2), 161-180.
- Jiménez, J. (2002). El proceso analítico jerárquico (AHP). Fundamentos, metodología y aplicaciones. *RECT@ Revista Electrónica de Comunicaciones y Trabajos de ASEPUMA*, 1, 28-77.
- Kennard, D., Gould, K., Putz, F., Fredericksen, T., y Morales, F. (2002). "Effects of disturbance intensity on regeneration mechanisms in a tropical dry forest". *Forest Ecology and Management*, 162(5), 197-208.
- Lara, P., Del Campo, A. Bernal, F., Armenteras, D., González, A., Morales, R y Rocha, G. (2011). *Incendios de cobertura vegetal en Colombia*. Cali. Colombia.
- Lasanta, T. y Vicente-Serrano, S. (2007). Cambios en la cubierta vegetal en el Pirineo aragonés en los últimos 50 años. *Pirineos*, 162, 125-154.
- Lloret, F. (2004). Régimen de incendios y regeneración. *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*, 101-128.
- Magaña, J., Guerra, L., Morales, A., y Cruz, R. (2002). Experiencias y propuesta de un sistema de alerta local para incendios forestales. *Proyecto Prevención y Control Local de Incendios Forestales (PRECLIF II)*, Guatemala.
- Mataix, J., y Cerdà, A. (2009). *Incendios forestales en España. Ecosistemas terrestres y suelos*.
- Mataix, J., y Guerrero, C. (2007). *Efectos de los incendios forestales en las propiedades edáficas*. Alicante: CEMACAM Font Roja-Alcoi
- Mayer, D. y Butler, D. (1993). Statistical validation. *Ecological modelling*, 68(1-2), 21-32.
- Mayoral, P., Lucas, J., Nieva, P. y Pérez, A. (2004). Sistemas de Información Geográfica y espacios naturales protegidos. *Foresta*, (28), 34-43.
- Medina, M., y Monjardin, P. (2007). Muestreo por seguimiento de nominaciones: estimación de medias y totales de poblaciones de difícil detección. *Memorias del XXI Foro Nacional de Estadística*, 49-54.

- Mielnicki, D., Canziani, P. y Drummond, J. (2005). *Quema de biomasa en el centro-sur de Sudamérica: incendios locales, impactos regionales*. Buenos Aires, Argentina: CONICET.
- Miller, C. y Urban, D. (2000). Connectivity of forest fuels and surface fire regimes. *Landscape Ecology*, 15, 145-154.
- Medina, A., Dussart, E., Estelrich, H., y Morici, E. (2000). Reconstrucción de la historia del fuego en un bosque de *Prosopis caldenia* de Arizona, sur de la provincia de San Luis. *Multequina*, 9(9).
- Modugno, S., Serra, P. y Badia, A. (2008). Dinámica del riesgo de ignición en un área de interface urbano-forestal. *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*, 650-659.
- Moreno, J. (2005). Impactos sobre los riesgos naturales de origen climático y riesgo de incendios forestales. *Impactos del cambio climático en España*, 581-608.
- Muñoz, R. (2000). Las quemadas incontroladas como causa de incendios forestales. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, (9), 13-26.
- Muñoz, J. y Felicísimo, A. (2004). Comparison of statistical methods commonly used in predictive modelling. *Journal of vegetation science*, 15(2), 285-292
- Muñoz, C., Treviño, G., Verástegui, J., Jiménez, J. y Aguirre, O. (2005). Desarrollo de un modelo espacial para la evaluación del peligro de incendios forestales en la Sierra Madre Oriental de México. *Investigaciones geográficas*, 56, 101-117.
- Norambuena, R. (2011). Diagnóstico de los sistemas de alerta temprana ante tsunamis en el pacífico sudeste. Proyecto DIPECHO VI “Aprendizajes y adaptación frente a Tsunami en Colombia, Ecuador, Perú y Chile”. Santiago de Chile
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2016). Conjunto de Herramientas para la Gestión Forestal Sostenible (GFS). *FAO, Forestry Department*.
- Osorio, J. y Orejuela, J. (2005). El proceso de análisis jerárquico (AHP) y la toma de decisiones multicriterio. Ejemplo de aplicación. *Scientia Et Technica*, 16(39). 247-252.

- Páramo, G. (2007). Análisis, diagnóstico y elaboración del mapa de susceptibilidad a los incendios de la Cobertura Vegetal en Colombia.
- Parisien, A., Kafka, G., Hirsch, G., Todd, B., Lavoie, G., y Maczek, D. (2005). *Mapping wildfire susceptibility with the BURN-P3 simulation model (Information Report)*. Edmonton: Natural Resources Canada.
- Pérez, C. (1999). "Ground fires as agents of mortality in a central Amazonian forest". *Journal of Tropical Ecology*, 15(2), 535-541.
- Pérez, G., Márquez, M., Cortés, A., y Salmerón, M. (2013). Análisis espacio-temporal de la ocurrencia de incendios forestales en Durango, México. *Madera y bosques*, 19(2), 37-58
- Pinard, M., y Huffman, J. (1997). "Fire resistance and bark properties of trees in a seasonally dry forest in Eastern Bolivia". *Journal of Tropical Ecology*, 13(3), 727-740.
- Plan de Desarrollo y Ordenamiento territorial del cantón Ibarra: 2012-2031.
- Quezada, M., Stoner, K., Lobo, J., Herrerías, D., Palacios, C., Murguía, M, et al. (2004). "Effects of forest fragmentation on pollinator activity and consequences for plant reproductive success and mating patterns in bat pollinated bombacaceous trees". *Biotropica*, 36(1), 131-138.
- Posso, M. (2011). Proyectos, tesis y Marco lógico. Quito, Ecuador: EDICIONES 13.
- Ramírez, M. (2004). El método de jerarquías analíticas de Saaty en la ponderación de variables. Aplicación al nivel de mortalidad y morbilidad en la provincia del Chaco. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas*, Universidad Nacional del Nordeste,
- Restrepo B, Luis F, y González L. (2007). De Pearson a Spearman. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 20(2), 183-192.
- Rodríguez, R. (2004). Ayuda SPSS. Chi-cuadrado Notas metodológicas.
- Ruiz, L., y Blanco, J. (2004). Comportamiento del fuego y evaluación del riesgo por incendios en las áreas forestales de México: un estudio en el Volcán la Malinche. *Incendios forestales en México y métodos de evaluación*, 63-70.
- Saaty, T. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. New York: Ed. McGraw-Hill.

- Saaty, T. (1994). *Fundamentals of Decision Making*. New York: RSW Publications.
- Salas, J. y Cocero, D. (2004). El concepto de peligro de incendio. Sistemas actuales de estimación del peligro.
- 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.
- Santos, A., Louzada, F., y Eugenio, F. (2010). *ArcGIS 9.3 Total: Aplicações para Dados Espaciais*. Santos: CAUFES.
- Secretaría de Gestión de Riesgos. (2017). *Informe de Situación - Incendios Forestales*. Samborondon: Secretaría de Gestión de Riesgos.
- Secretaría Nacional De Planificación y Desarrollo. (2013). *Plan Nacional Del Buen Vivir 2013-2017*. Quito: Secretaría Nacional De Planificación y Desarrollo.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2015). *Importación de la gestión de riesgos*. Quito: Secretaría Nacional De Planificación y Desarrollo.
- Shlisky, A., Waugh, P., González, M., Manta, H., Santoso, E., Alvarado, A. Ainuddin, Nuruddin, D., Rodríguez, R., Swaty, D., Schmidt, Kaufmann, R., Myers, A. Alencar, F. Kearns, D. Johnson, J. Smith y D. Zollner. (2007). Fire, ecosystems and people: Threats and strategies for global biodiversity conservation. *The Nature Conservancy Global Fire Initiative Technical Report 2007*.
- Sirca, C., Casula, F., Bouillon, C., García, B., Ramiro, M., Molina, B. y Spano, D. (2017). A wildfire risk oriented GIS tool for mapping Rural-Urban Interfaces. *Environmental modelling & software*, 94, 36-47.
- Soldano, A. (2008). Conceptos sobre riesgo. *Síntesis temática para el Foro Virtual de Discusión de la Red Interamericana de Mitigación de Desastres, RIMD*.
- Solera, J. y Cerdá, A. (2009). Incendios forestales en España. Ecosistemas terrestres y suelos. Efectos de los incendios forestales sobre los suelos en España. El estado de la cuestión visto por los científicos españoles. FUEGORED, Cátedra Divulgación de la Ciencia, Universidad de Valencia, España, 27-53.

- Stohlgren, T., Otsuki, Y., Villa, C., Lee, M. y Belnap, J. (2001). Patterns of plant invasions: a case example in native species hotspots and rare habitats. *Biological Invasions*, 3(1), 37-50.
- Suárez, J. (2009). *Zonificación de susceptibilidad, amenaza y riesgo. Deslizamientos: análisis geotécnico*. Colombia: Editorial Universidad Industrial de Santander.
- Tabarelli, M., Cardoso, J. y Gascon, C. (2004). "Forest fragmentation, synergisms and the impoverishment of neotropical forests". *Biodiversity and Conservation*, 13(4), 1419-1425.
- Terradas, J. (2001). *Ecología de la vegetación: De la eco fisiología de las plantas a la dinámica de comunidades y paisajes*. Barcelona: Ediciones Omega.
- Triola, M. (2004). *Probabilidad y estadística*. México: Pearson Educación
- Thorntwaite, C., 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*. 38(1), 55-94.
- Thorntwaite, C. y Mather, R. (1955). The water balance: *Publications in climatology, laboratory of climatology*.
- Uhl, C y Kauffman, J. (1990). "Deforestation, fire susceptibility, and potential tree responses to fire in the eastern Amazon". *Ecology*, 71(6), 437-449.
- Vaersa, A. (2012). *Manual de buenas prácticas, en prevención de incendios forestales*. Valencia: Servicio de prevención y extinción.
- Valle, A. (2017). *Curvas ROC (Receiver-Operating-Characteristic) y sus aplicaciones*. Universidad de Sevilla, España.
- Van de Water, P., Leavitt, S. y Betancourt, J. (2002). Leaf variability with elevation, slope aspect, and precipitation in the southwest United States. *Oecologia*, 132, 332-343.
- Vélez, R. (2000). *La defensa contra incendios forestales: fundamentos y experiencias*. Madrid: Ed. McGraw-Hill.
- Viegas, D., Piñol, M., Viegas T. y Ogaya R. (2001). Estimating live fine fuels moisture content using meteorologically-based indices. *International Journal Wildland Fire*, 10, 223-240

**ANEXO I:
ENTREVISTAS Y
TABLAS**

**ANEXO I:
ENTREVISTAS Y
TABLAS**

- Villabona, D. y Armenteras, D. (2012). Incidencia de incendios sobre la vegetación de Cundinamarca y Bogotá dc, entre 2001 y 2010. *Acta Biológica Colombiana*, 17(1), 143-158.
- 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.
- Zedler, P., Gautier, C. y McMaster, G. (1983). "Vegetation change in response to extreme events: the effects of a short interval between fires in California Chaparral and coastal scrub". *Ecology*, 64(4), 809-81.
- Zhou X, Hall W, Shapiro, D. (1997): 'Smooth non-parametric receiver operating characteristic (ROC) curves for continuous diagnostic tests'. *Statist. Med*, 16, 2143-2156.

**ANEXO I:
ENTREVISTAS Y
TABLAS**

Anexo 1. Entrevista dirigida 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	Extremo
1	2	3	4	5

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

Cultivos				
Muy Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Extremo
1	2	3	4	5

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

Vegetación arbustiva				
Muy Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Extremo

**ANEXO I:
ENTREVISTAS Y
TABLAS**

Anexo 1. Entrevista dirigida 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	Extremo
1	2	3	4	5

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

Cultivos				
Muy Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Extremo
1	2	3	4	5

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

Vegetación arbustiva				
Muy Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Extremo

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

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

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

Cultivos				
Muy Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Extremo
1	2	3	4	5

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

Vegetación arbustiva				
Muy Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Extremo
1	2	3	4	5

Pastizal				
Muy Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Extremo
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	Proximidad a las vías

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

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

Anexo 2. Matriz de confusión para el Índice Kappa

		CLASS 1	CLASS 2	CLASS 3	CLASS 4	CLASS 5	CLASS 6	CLASS 7	CLASS 8	Classification overall	Producer Accuracy (Precision)
Classifier results	CLASS 1	44	0	0	0	0	0	0	0	44	100%
	CLASS 2	0	52	0	0	0	0	0	0	52	100%
	CLASS 3	4	0	45	0	0	4	0	0	53	84,906%
	CLASS 4	0	0	0	48	0	0	0	0	48	100%
	CLASS 5	0	0	0	0	48	24	0	4	76	63,158%
	CLASS 6	0	0	3	0	0	20	0	0	23	86,957%
	CLASS 7	0	0	0	0	0	0	24	0	24	100%
	CLASS 8	0	0	0	0	8	0	24	44	76	57,895%
Truth overall	48	52	48	48	56	48	48	48	396		
User Accuracy (Recall)	91,667%	100%	93,75%	100%	85,714%	41,667%	50%	91,667%			

Overall accuracy (OA): 82,071%

Kappa¹: 0,795

Anexo 3. Datos rellenados de precipitación

Estación	Inguincho	Otavalo	Otavalo	Pablo Arenas	San José de Minas	Selva Alegre	Selva Alegre	Selva Alegre					
Año	1994	1987	1991	1987	1992	1995	2001	2002	1986	1987	1992		
Enero	347,9	28	76,69	62,1	102,8	78,4	135,8	58,8	277,7	204,7	115		
Febrero	593,59	56,7	10,6	15,62	48,56	212,5	108,5	37,5	305,3	96,3	193,8		
Marzo	614,1	101,3	179,6	45,9	318,8	363	152,2	96,6	215,1	179,4	218,7		
Abril	139	119	74,3	86,6	21,51	390,8	63,9	193,6	190,3	126,9	137,5		
Mayo	124,7	98,7	90,4	74,6	396,9	312,7	78,9	89,5	148,6	186,6	202,99		
Junio	19,8	5	32,2	6,4	15,7	14,6	3,28	56,4	22,3	6,7	28,5		
Julio	7,6	25,4	48,2	12	42,4	215,1	13,08	3,6	111,91	20	37		
Agosto	6,3	15,4	21,3	5,9	70,9	148,5	0	1,4	20,4	50,99	10,1		
Septiembre	15	38,4	26,9	54,2	181,5	39,5	57,2	44,97	8,7	89,96	35,7		
Octubre	74,9	96,7	20,2	133,9	137,1	181,7	1,6	161,1	144,8	64,1	70,7		
Noviembre	277,3	38,39	100	24,6	81,4	235,9	155,6	138,7	91	0	49,1		
Diciembre	101,5	21,3	64,8	27	147	101,3	181,7	85,2	126,46	34,4	60,2		
Estación	Selva Alegre	Selva Alegre	Selva Alegre	Selva Alegre	Tufiño	Tufiño	Tufiño	Tufiño	Tufiño	Tufiño	Tufiño	San Gabriel	San Gabriel
Año	2002	2008	2011	2015	1993	1995	1999	2000	2001	2012	2015	1986	1988
Enero	144,5	372,7	342,2	66,1	86,4	18,8	134,5	244	116,2	149,5	81,8	56,2	60,5
Febrero	192,5	276,8	347,3	258	162,3	74,6	251,5	212,7	117,2	134,2	67	101,3	79,4
Marzo	306,6	365,2	245,4	163,2	213,5	55,3	145,1	99,1	29,41	112,2	136,2	203,4	40,6
Abril	271,9	338,1	426,1	53,5	170,8	141,4	151,9	228	65,4	232,6	135,1	68,83	138,9
Mayo	112,57	256	108,9	57	127,1	115,3	175,8	264,5	77	61,9	61	90,7	85
Junio	61,53	124,4	81,5	26,5	33,2	76	163,3	143,4	46,8	42,3	55,3	30,8	111,5
Julio	5,4	67,1	99,7	39	47,7	64,5	58,1	124,6	49	8,76	112,7	40,6	72,7
Agosto	5,2	71,2	28,5	14,4	31,4	26,9	28,9	30,3	3,7	30,3	19,5	38,2	57,7
Septiembre	17,2	96,9	68,1	7,2	46,3	15,12	115,5	117,2	63,5	25	6,06	55	116
Octubre	112,5	191,6	67,63	158,7	123,2	129,6	119,8	91	10	85,7	123	199,5	131,9
Noviembre	80,9	84,9	47,5	21,17	179	160,2	109,9	74,5	93,4	80,4	102,4	106,9	220,6
Diciembre	375,7	150,51	149,7	13,29	77,85	130,4	205,12	15,94	142,1	84,1	39,3	29,6	149,8

Anexo 4. Datos rellenados de temperatura

Estación	San Gabriel	Inguincho	Otavalo	Otavalo	Otavalo	Otavalo	Iñaquito	Iñaquito	Iñaquito
Año	1986	1994	1987	1991	1992	1995	1995	2003	2010
Enero	12,2	10,7	14,7	13,71	14,9	14,8	15,1	15,9	16,5
Febrero	12,3	11,03	15,3	15	14,8	14,5	15,1	16	17
Marzo	11,8	10,9	15,1	15,3	15,2	15	14,7	15	16,8
Abril	12,83	10,9	14,9	14,6	14,58	15,3	15,1	15,1	15,7
Mayo	12,3	11	14,8	14,9	14,5	14,8	13,29	15,7	13,82
Junio	11,5	10,6	15,2	14,8	15,1	15,1	15,3	14,9	15
Julio	10,8	10,6	14,8	14,4	13,9	14,4	14,8	15,6	14,6
Agosto	11,1	10	14,8	13,9	14,2	14,6	15,1	13,29	15
Septiembre	11,7	11	14,8	15,1	14,5	14,8	15,5	15,8	15,1
Octubre	12,7	10,9	15,3	14,4	14,7	15,1	14,8	15,4	15,2
Noviembre	12,5	10,5	14,62	14,8	15,1	14,18	14,1	15	13,6
Diciembre	12,7	11	15,9	15,3	15,1	14,18	14	14,8	14

**ANEXO II:
REGISTRO
FOTOGRAFICO**



Fotografía 1. Obtención de puntos de control con navegador GPS cultivos.



Fotografía 2. Obtención de puntos de control con navegador GPS páramo.



Fotografía 3. Obtención de puntos de control con navegador GPS área erosionada.



Fotografía 4. Obtención de puntos de control con navegador GPS pastos.



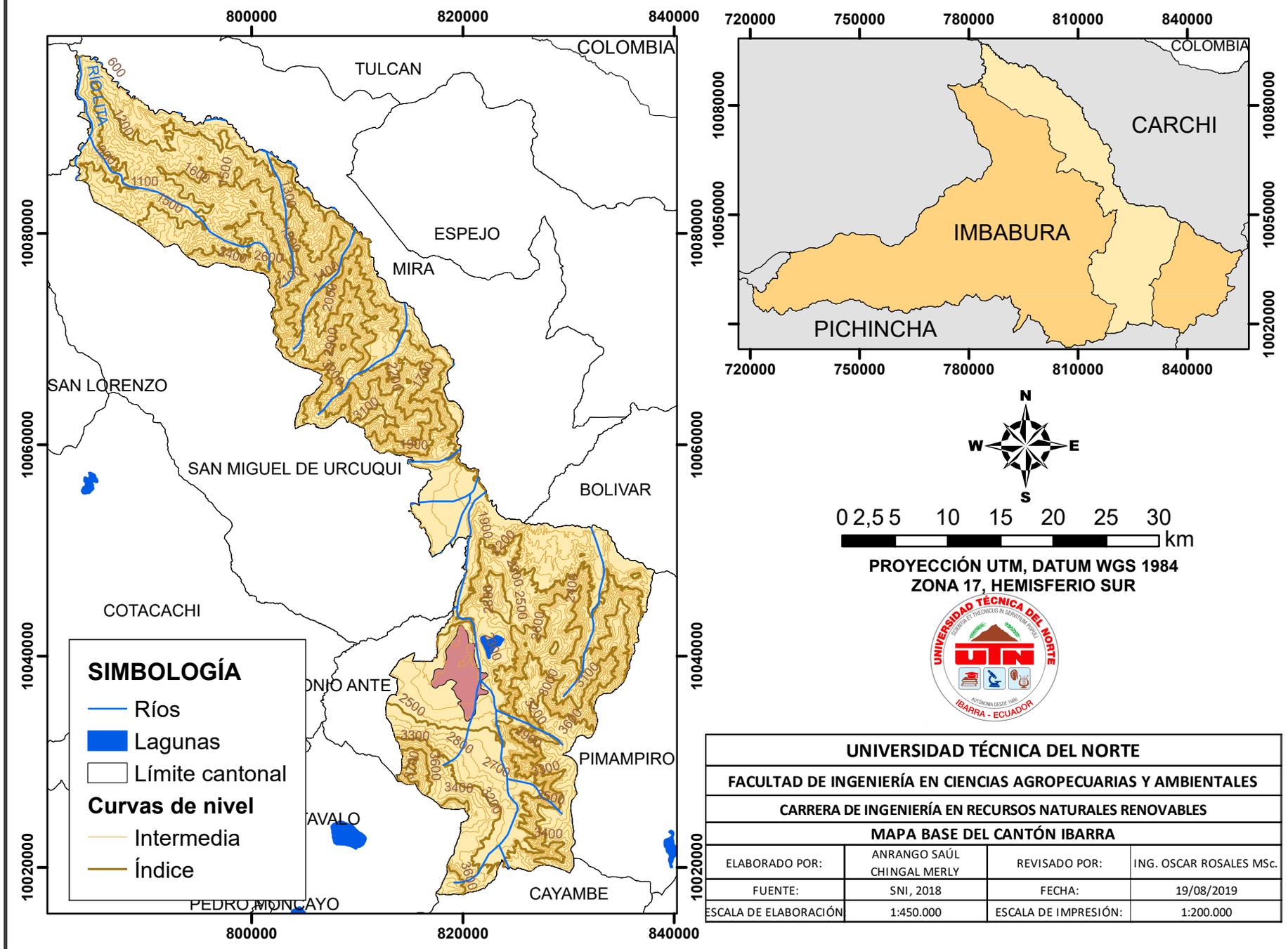
Fotografía 5. Obtención de puntos de control con navegador GPS cuerpos de agua.



Fotografía 6. Obtención de puntos de control con navegador GPS bosque.

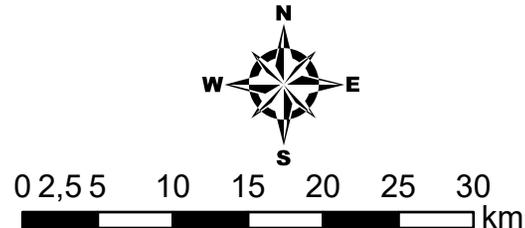
ANEXO III: MAPAS

MAPA BASE DEL CANTÓN IBARRA



SIMBOLOGÍA

-  Ríos
-  Lagunas
-  Límite cantonal
- Curvas de nivel**
-  Intermedia
-  Índice

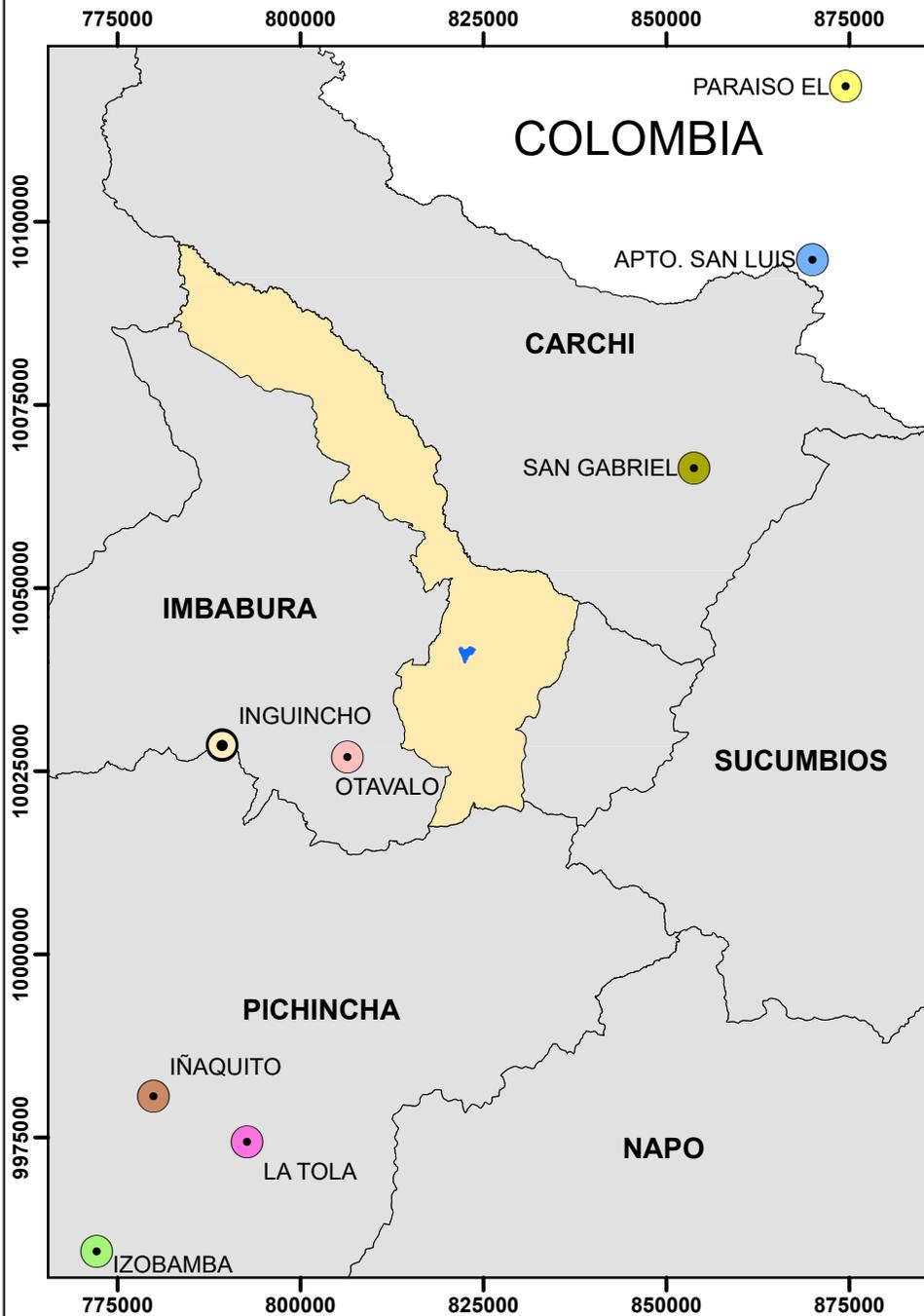


PROYECCIÓN UTM, DATUM WGS 1984
ZONA 17, HEMISFERIO SUR



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE			
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES			
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES			
MAPA BASE DEL CANTÓN IBARRA			
ELABORADO POR:	ANRANGO SAÚL CHINGAL MERLY	REVISADO POR:	ING. OSCAR ROSALES MSc.
FUENTE:	SNI, 2018	FECHA:	19/08/2019
ESCALA DE ELABORACIÓN	1:450.000	ESCALA DE IMPRESIÓN:	1:200.000

ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE TEMPERATURA



SIMBOLOGÍA

- APTO. SAN LUIS
- OTAVALO
- INGUINCHO
- PARAISO EL
- IÑAQUITO
- SAN GABRIEL
- IZOBAMBA
- LAGUNA
- LA TOLA
- IBARRA
- LÍMITE PROVINCIAL



02,55 10 15 20 25 30
km

PROYECCIÓN UTM, DATUM WGS 1984
ZONA 17, HEMISFERIO SUR



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

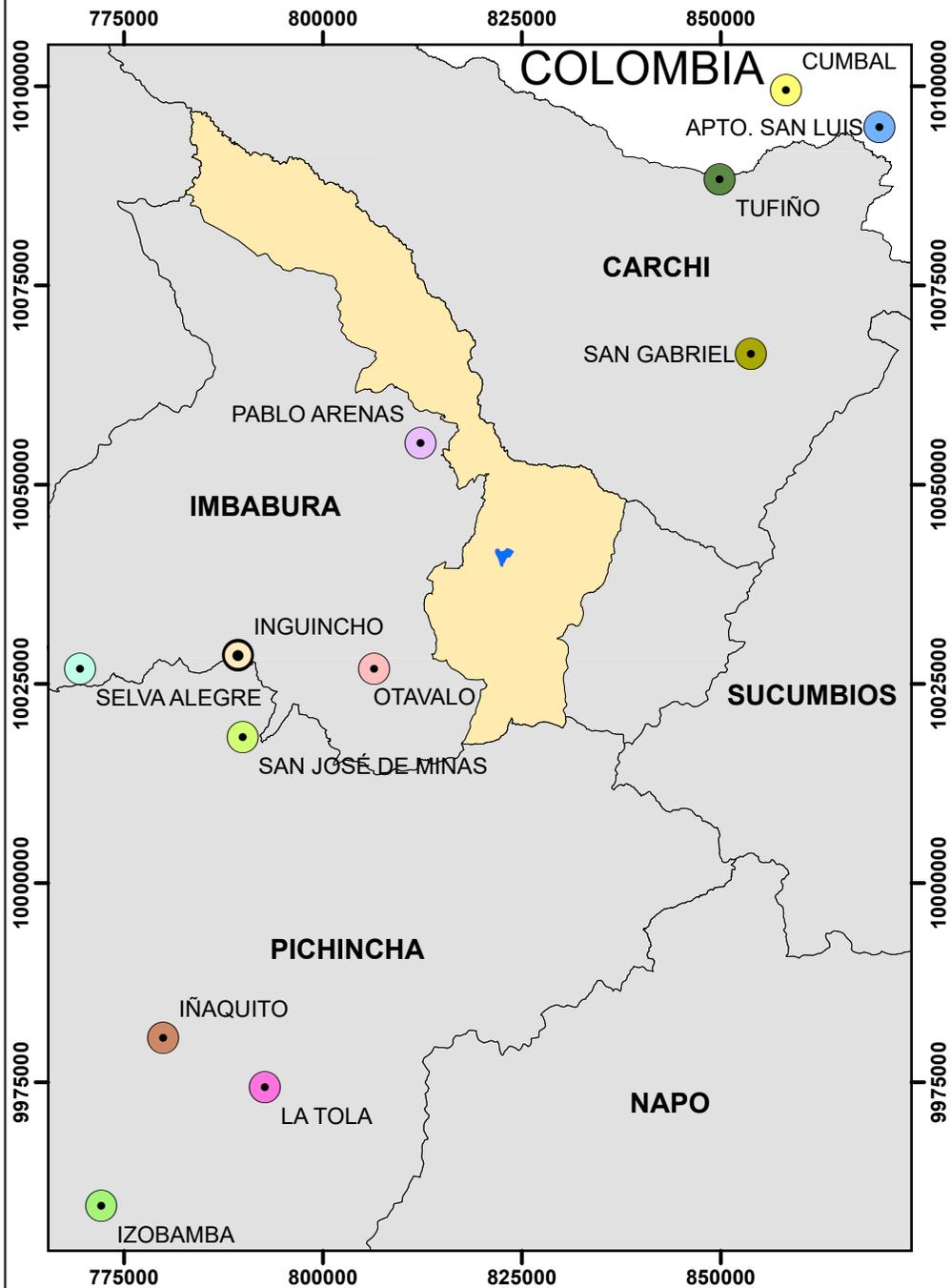
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE TEMPERATURA

ELABORADO POR:	ANRANGO SAÚL CHINGAL MERLY	REVISADO POR:	ING. OSCAR ROSALES MSc.
FUENTE:	SNI, 2018	FECHA:	19/08/2019
ESCALA DE ELABORACIÓN:	1:900.000	ESCALA DE IMPRESIÓN:	1:200.000

ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE PRECIPITACIÓN



SIMBOLOGÍA

- APTO. SAN LUIS
- CUMBAL
- INGUINCHO
- IÑAQUITO
- IZOBAMBA
- LA TOLA
- OTAVALO
- PABLO ARENAS
- SAN GABRIEL
- SAN JOSÉ DE MINAS
- SELVA ALEGRE
- TUFÍÑO
- ▲ LAGUNA
- IBARRA
- LÍMITE PROVINCIAL



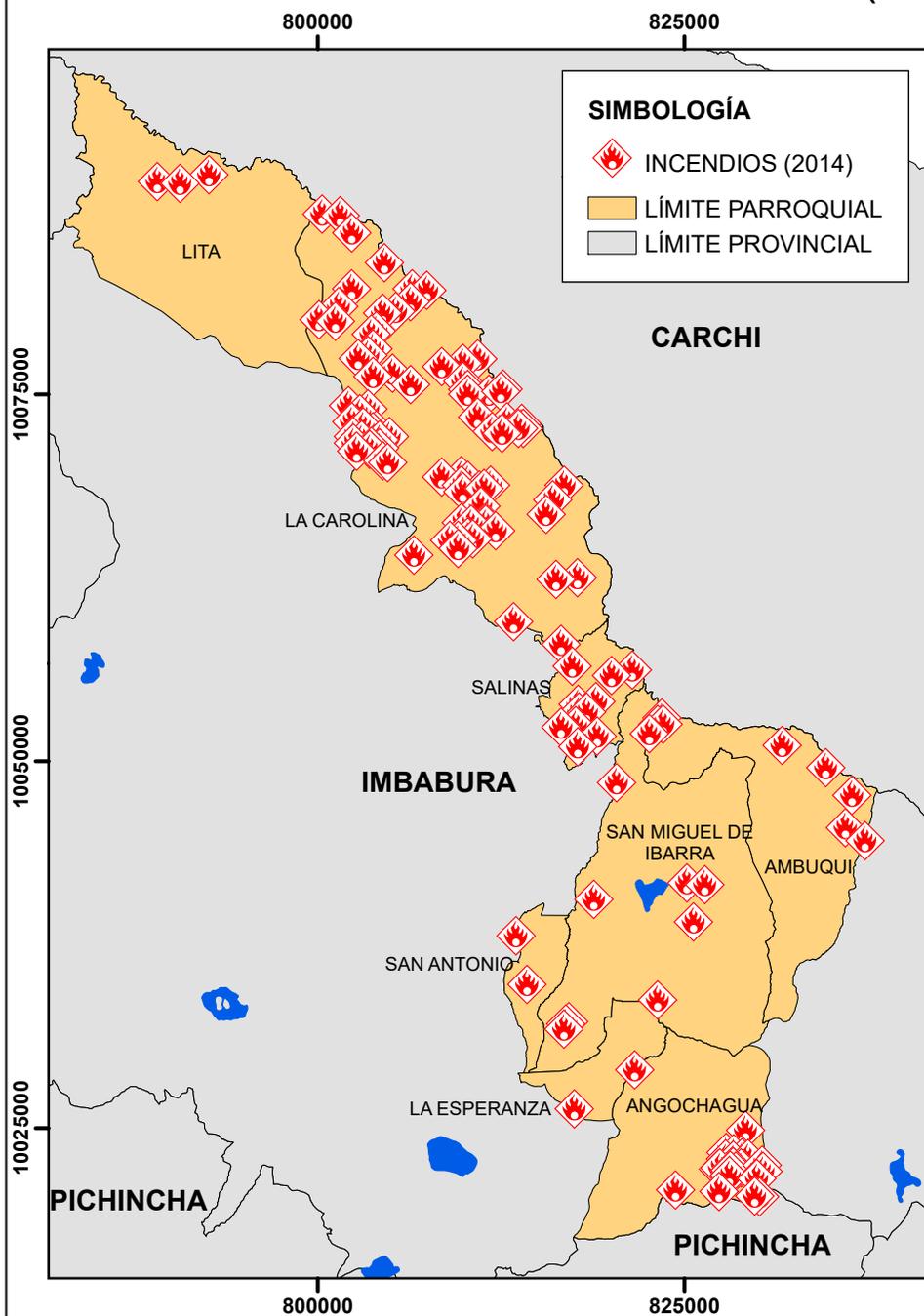
02,55 10 15 20 25 30
km

PROYECCIÓN UTM, DATUM WGS 1984
ZONA 17, HEMISFERIO SUR



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE			
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES			
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES			
ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE PRECIPITACIÓN			
ELABORADO POR:	ANRANGO SAÚL CHINGAL MERLY	REVISADO POR:	ING. OSCAR ROSALES MSc.
FUENTE:	SNI, 2018	FECHA:	19/08/2019
ESCALA DE ELABORACIÓN:	1:900.000	ESCALA DE IMPRESIÓN:	1:200.000

MAPA DE INCENDIOS (2014) CANTÓN IBARRA



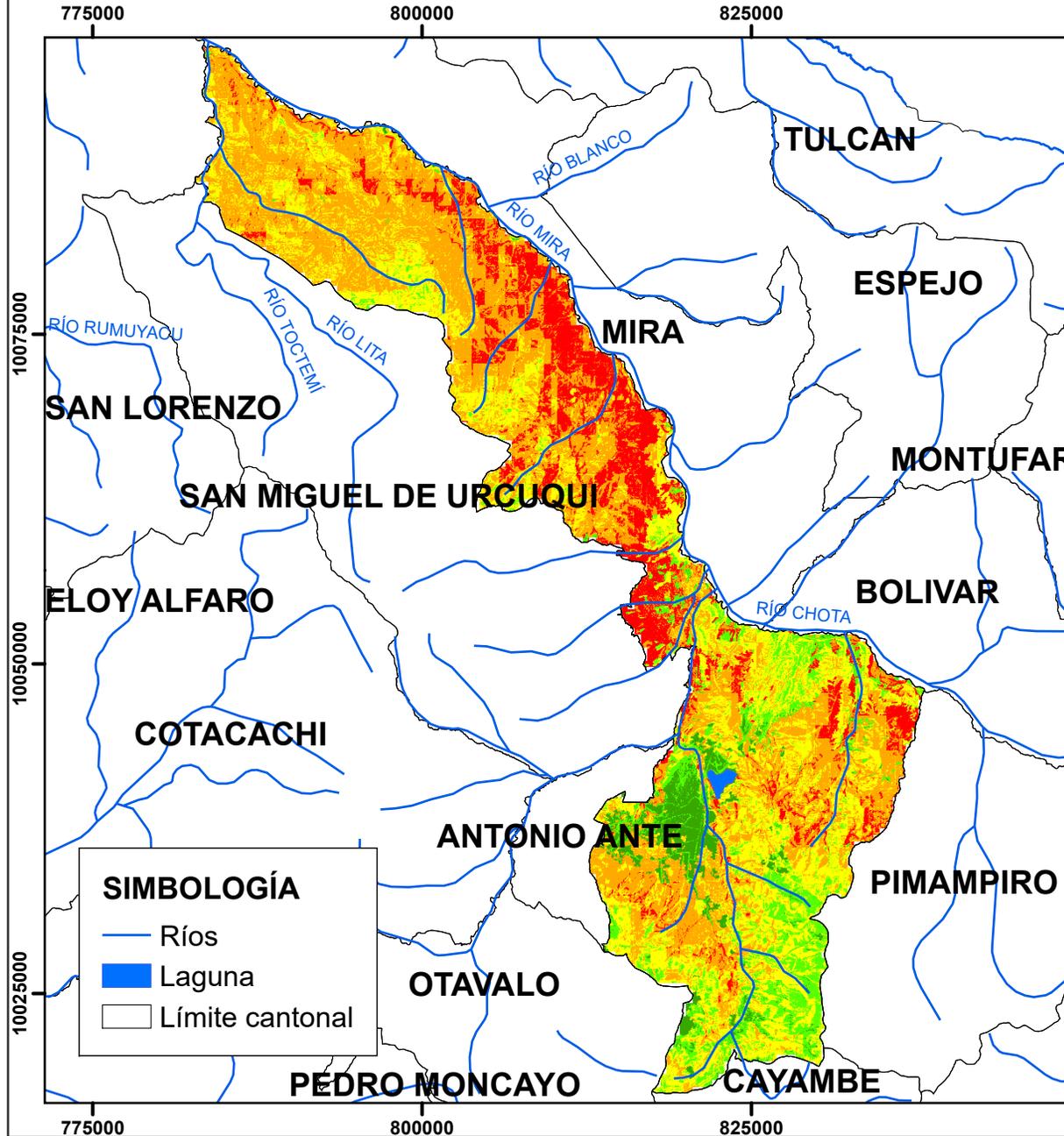
0 2,5 5 10 15 20 25 30 km

PROYECCIÓN UTM, DATUM WGS 1984
ZONA 17, HEMISFERIO SUR



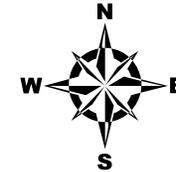
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE			
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES			
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES			
MAPA DE INCENDIOS (2014) CANTÓN IBARRA			
ELABORADO POR:	ANRANGO SAÚL CHINGAL MERLY	REVISADO POR:	ING. OSCAR ROSALES MSc.
FUENTE:	SNI, 2018	FECHA:	19/08/2019
ESCALA DE ELABORACIÓN:	1:450.000	ESCALA DE IMPRESIÓN:	1:200.000

MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A INCENDIOS DEL CANTÓN IBARRA



LEYENDA

- Muy bajo (4,19%)
- Bajo (9,72%)
- Moderado (30,79%)
- Alto (40,75%)
- Extremo (14,55%)



0 2,5 5 10 15 20 km

PROYECCIÓN UTM, DATUM WGS 1984
ZONA 17, HEMISFERIO SUR

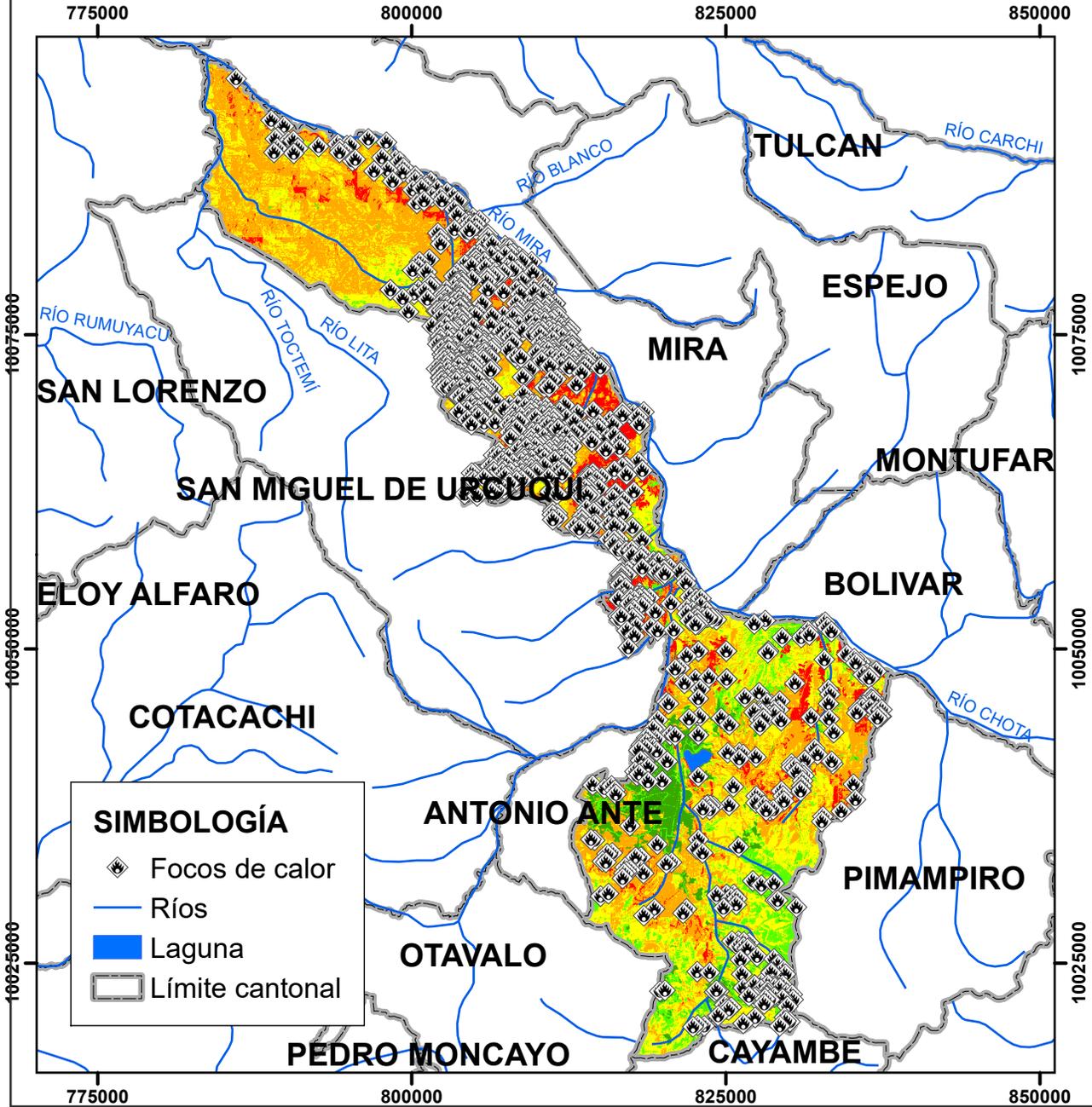
SIMBOLOGÍA

- Ríos
- Laguna
- Límite cantonal



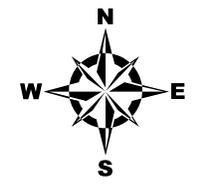
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE			
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES			
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES			
MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A INCENDIOS DEL CANTÓN IBARRA			
ELABORADO POR:	ANRANGO SAÚL CHINGAL MERLY	REVISADO POR:	ING. OSCAR ROSALES MSc.
FUENTE:	SNI, 2018	FECHA:	19/08/2019
ESCALA DE ELABORACIÓN:	1:450.000	ESCALA DE IMPRESIÓN:	1:200.000

MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A INCENDIOS Y FOCOS DE CALOR DEL CANTÓN IBARRA



LEYENDA

- Muy bajo (4,19%)
- Bajo (9,72%)
- Moderado (30,79%)
- Alto (40,75%)
- Extremo (14,55%)



0 2,5 5 10 15 20 km
 PROYECCIÓN UTM, DATUM WGS 1984
 ZONA 17, HEMISFERIO SUR

SIMBOLOGÍA

- Focos de calor
- Ríos
- Laguna
- Límite cantonal



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE			
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES			
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES			
MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A INCENDIOS Y FOCOS DE CALOR DEL CANTÓN IBARRA			
ELABORADO POR:	ANRANGO SAÚL CHINGAL MEELY	REVISADO POR:	ING. OSCAR ROSALES MSc.
FUENTE:	SNI, 2018	FECHA:	19/08/2019
ESCALA DE ELABORACIÓN:	1:450.000	ESCALA DE IMPRESIÓN:	1:200.000