



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

ANÁLISIS DE ZONAS SUSCEPTIBLES A INCENDIOS DE COBERTURA
VEGETAL DE LA RESERVA ECOLÓGICA “EL ÁNGEL”, PROVINCIA
DEL CARCHI

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniera en Recursos
Naturales Renovables

Autora:

Angulo Valencia Erika Denisse

Director:

Ing. Oscar Armando Rosales Enríquez, MSc.

Ibarra – Ecuador
2019



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES**

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**“ANÁLISIS DE ZONAS SUSCEPTIBLES A INCENDIOS DE COBERTURA
VEGETAL DE LA RESERVA ECOLÓGICA EL ÁNGEL, PROVINCIA DEL
CARCHI”**

Trabajo de titulación revisado por el Comité Asesor previo a la obtención del título de:
INGENIERA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

APROBADA:

Ing. Oscar Rosales MSc.
DIRECTOR



FIRMA

PhD. James Rodríguez
ASESOR



FIRMA

Ing. Darío Paul Arias MSc.
ASESOR



FIRMA

Ing. Mónica León
ASESORA



FIRMA

**IBARRA-ECUADOR
OCTUBRE, 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:	DE	0401806864	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Y	Angulo Valencia Erika Denisse	
DIRECCIÓN:		Bolívar - Carchi Urbanización Nuevo Amanecer	
EMAIL:		erikangulo15@gmail.com	
TELÉFONO FIJO:	062287004	TELÉFONO MÓVIL:	0960604990

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“ANÁLISIS DE ZONAS SUSCEPTIBLES A INCENDIOS DE COBERTURA VEGETAL DE LA RESERVA ECOLÓGICA EL ÁNGEL, PROVINCIA DEL CARCHI”
AUTOR:	Angulo Valencia Erika Denisse
FECHA: DD/MM/AAAA	04/10/2019
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO

TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera en Recursos Naturales Renovables
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Oscar Armando Rosales Enríquez, MSc

2. CONSTANCIAS

La autora manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la 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 4 días del mes de octubre de 2019

LA AUTORA:



.....

Erika Denisse Angulo Valencia

C.I.: 0401806864

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a Dios, por bendecir cada uno de mis pasos, decisiones, logros y tropiezos, por darme la sabiduría necesaria para cumplir mis metas y objetivos, gracias por ser mi mentor y protector durante mi formación.

A mis amados padres por su sacrificio y apoyo incondicional, gracias a su confianza e infinito amor me he formado como persona de bien y culmino una etapa de vida con su bendición. A mis hermanos Dayanara y Edison, por ser el pilar de apoyo con cada palabra de aliento en mi vida y a mi pequeña Emily por ser mi fortaleza para seguir adelante.

A mis queridas amigas y compañeras de clase, Gaby E. gracias por tu ayuda, tu bondad y tu gran corazón a Fer, Andre S., Merci, Andre M. y Andre R. por su apoyo incondicional por sus palabras de aliento para no rendirme y poder lograr este sueño que comenzamos juntas y ahora lo estamos culminando, por su cariño y por su amistad sincera, por los buenos y malos momentos que compartimos y que llevaré siempre conmigo, de corazón ¡Gracias!

A mi estimado director MSc. Oscar Rosales E. por brindarme una amistad sincera, por guiarme y enseñarme con paciencia cada uno de sus conocimientos. A mis asesores MSc. Paúl Arias, MSc. Mónica León y PhD. James Rodríguez, por compartir sus saberes cuando lo he requerido y orientarme durante el desarrollo de mi investigación.

A la Dirección Provincial de Ambiente del Carchi, al Comité de Gestión de la Reserva Ecológica El Ángel, a los técnicos y guardaparques, por el apoyo y motivación brindados para la culminación de la presente investigación, en especial al Ingeniero Damián Ponce Director de la REEA, por la ayuda recibida para llegar al éxito de este estudio.

Erika Angulo V.

DEDICATORIA

A Dios principalmente, por darme la fortaleza e iluminar mi mente y mi camino para poder cumplir esta meta, por poner en mi vida a todas las personas que han sido mi soporte y compañía durante esta hermosa etapa universitaria.

Mi padre Edison Angulo por ser mi mayor ejemplo de lucha, perseverancia, responsabilidad y amor a la familia, por ser mi amigo, mi consejero y mi motivación para no dejarme vencer nunca, a mi madre Moraima Valencia por cada abrazo por cada sonrisa y por cada palabra de aliento con la que me recibía de regreso a casa. Todo esto es por y para ustedes, por su gran esfuerzo y dedicación que a diario inculcaron en mí, para ser una persona de bien. ¡los amo!

Mi hermana Dayanara Angulo, por ser mi apoyo emocional y haberme demostrado que a pesar de las dificultades se puede lograr lo que uno se propone, A mi adorado hermano Edison mi compañerito de vida, que con sus locuras hace q mis malos días sean mejores, mi motor y por quien día a día lucho por ser mejor, para ser tu apoyo, para que en el futuro logres cumplir tus metas, tus sueños y llegues mucho más lejos. A mi pequeña sobrina Emily por alegrar mis días y ser la luz que ilumina mi vida.

A mi familia que de una u otra manera me apoyó con una palabra de aliento, con un consejo o con un regaño que me ha servido para cumplir esta meta. A todos ustedes ¡GRACIAS!

Erika Denisse Angulo Valencia

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Contenido	Página
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Problema de investigación y justificación	1
1.2. Pregunta directriz de la investigación	5
1.3. Hipótesis de Investigación.....	5
1.4. Objetivos.....	4
1.5. Marco legal	5
1.5.1. Constitución de la República del Ecuador 2008	6
1.5.2. Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible	7
1.5.3. Código Orgánico del Ambiente (COA)	7
1.5.4. Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD)	8
1.5.5. Secretaría de Gestión de Riesgos (SGR)	8
1.5.6. Plan nacional de Desarrollo 2017-2021- Toda una vida	9
CAPÍTULO II.....	10
METODOLOGÍA.....	10
2.1. Descripción del área de estudio	10
2.2. Métodos	12
2.2.1. Fase I. Determinación de los factores topográficos y climáticos que inciden en la ocurrencia de incendios en la reserva ecológica y zona de amortiguamiento.	12
2.2.2. Fase II. Determinación de la ponderación de los factores topográficos y climáticos que inciden en la susceptibilidad de incendios de cobertura vegetal.	13
2.2.3. Fase III. Zonificación del territorio de la REEA y zona de amortiguamiento en zonas de susceptibilidad a incendios muy alta, alta, media, baja y muy baja.	23

2.3. Materiales y equipos	25
CAPÍTULO III	27
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
3.1. Determinación de Factores topográficos y climáticos que inciden en la ocurrencia de incendios en la reserva ecológica y zona de amortiguamiento.....	27
3.2. Ponderación de los factores topográficos y climáticos que inciden en la susceptibilidad de incendios de cobertura vegetal.....	28
3.3. Zonificación del territorio de la REEA y zona de amortiguamiento en zonas de susceptibilidad a incendios muy alta, alta, moderada, baja y muy baja.....	41
PROPUESTA	46
CAPÍTULO IV	56
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	56
4.1. Conclusiones.....	56
4.2. Recomendaciones.....	57
REFERENCIAS.....	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación Geográfica de la Reserva Ecológica El Ángel	11
Tabla 2. Estaciones meteorológicas de precipitación.	14
Tabla 3. Estaciones meteorológicas de temperatura	15
Tabla 4. Cobertura discriminada.....	21
Tabla 5. Valores del coeficiente Kappa	22
Tabla 6. Comparaciones apareadas.....	23
Tabla 7. Materiales y Equipos	26
Tabla 8. Factores que influyen en la ocurrencia de incendios.....	27
Tabla 9. Ponderación de los factores que inciden en la susceptibilidad a incendios de cobertura vegetal.	41
Tabla 10. Coincidencia de focos de calor con el área de estudio.	44
Tabla 11. Prueba de Chi-cuadrado.....	45
Tabla 12. Capacitación y conformación de brigadas de emergencia.	47
Tabla 13. Ubicación torres de control.....	48
Tabla 14. Torres de Control.....	49
Tabla 15. Identificación de rutas de acceso más rápidas	51
Tabla 16. Alertas y monitoreos de quemas controladas.....	53
Tabla 17. Educación ambiental.....	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación de la reserva ecológica El Ángel	10
Figura 2. Precipitación media anual y rangos de susceptibilidad a incendios de la REEA y zona de amortiguamiento	29
Figura 3. Temperatura media y rangos de susceptibilidad a incendios	30
Figura 4. Diagrama ombrotérmico de la REEA periodo 1985-2015.....	31
Figura 5. Relación número de incendios- precipitación- temperatura de la REEA y zona de amortiguamiento	32
Figura 6. Evapotranspiración real y rangos de susceptibilidad a incendios.....	33
Figura 7. Valores de Velocidad del viento y susceptibilidad a incendios de la REEA y zona de amortiguamiento	34
Figura 8. Clasificación de las pendientes y susceptibilidad a incendios de la REEA y zona de amortiguamiento	36
Figura 9. Orientación del terreno y clasificación de la susceptibilidad a incendios	37
Figura 10. Cercanía a las vías y rangos de susceptibilidad a incendios.....	38
Figura 11. Clasificación de la cobertura vegetal y susceptibilidad a incendios ...	40
Figura 12. Modelo de zonas susceptibles a incendios de cobertura vegetal de la REEA y zona de amortiguamiento	42
Figura 13. Modelo - Focos de Calor	45
Figura 14. Poblados seleccionados para la conformación de brigadas de emergencia.....	46
Figura 15. Ubicación torres de control	48
Figura 16. Rutas de acceso más rápidas.....	50
Figura 17. Monitoreo y alertas de quemas	52
Figura 18. Educación ambiental	54

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

**ANÁLISIS DE ZONAS SUSCEPTIBLES A INCENDIOS DE COBERTURA
VEGETAL DE LA RESERVA ECOLÓGICA “EL ÁNGEL”, PROVINCIA
DEL CARCHI**

Erika Angulo

RESUMEN

La provincia de Carchi cada año ha sido afectada por incendios de cobertura vegetal, originados principalmente por el uso no controlado del fuego en agricultura y manejo de pastizales, causando daños a proyectos agrícolas y áreas protegidas principalmente la Reserva Ecológica El Ángel; deteriorando los recursos naturales y la calidad de vida de la población. El principal objetivo de la investigación fue analizar las zonas susceptibles a incendios de cobertura vegetal de la Reserva Ecológica El Ángel y zona de amortiguamiento, empleando la metodología de análisis multicriterio que permitió establecer pesos a los factores climáticos precipitación, evapotranspiración, temperatura, velocidad del viento y a los factores topográficos pendiente, uso del suelo, orientación del terreno y cercanía a las vías, factores que fueron determinados como influyentes en la ocurrencia a incendios, con los que se estableció una ecuación de susceptibilidad que fue procesada a través de sistemas de información geográfica. Los resultados muestran que el factor cobertura vegetal, es el que mayor valor de ponderación presentó en la ocurrencia de incendios. La reserva ecológica El Ángel y zona de amortiguamiento, presentó en la mayor parte de la superficie una susceptibilidad a incendios alta, que ocupó el 39,33% del total del área estudiada; seguido de una susceptibilidad muy alta ocupando un 29,35% de la superficie y con menor porcentaje, presentó una susceptibilidad muy baja con un 2,18% del total del área de estudio. Tomando en cuenta que el área está dominada por susceptibilidades altas y muy altas, se plantearon estrategias encaminadas a la prevención y/o mitigación de incendios de cobertura vegetal, basadas principalmente en la educación ambiental y el manejo del fuego como herramienta para las actividades agrícolas a través de capacitaciones.

Palabras clave: factores climáticos, factores topográficos, incendios de cobertura vegetal, susceptibilidad

ABSTRACT

Each year, the Carchi province has been affected by plant cover fires, originated by the uncontrolled use of fire in the agriculture and grassland management, causing damage to agricultural projects and protected areas mainly El Angel Ecological Reserve; deteriorating the natural resources and the life quality of the population. The main objective of the investigation was to analyze the susceptible areas to fires of plant cover of El Angel Ecological Reserve and buffer zone, using the multi-criteria analysis methodology which allowed to establish weights to the climatic factors precipitation, evapotranspiration, temperature, wind speed and the topographic factors pending, land use, land orientation, and proximity to the tracks; factors that were determined as influential in the occurrence to fires, with which was established a susceptibility equation which was processed through geographic information systems. The results show that the plant cover factor counts with the highest weighting value in the occurrence of fires. El Angel Ecological Reserve and buffer zone showed a high fire susceptibility in the surface, which occupied the 39,33% in the studied area; followed by a high susceptibility occupying 29.35% of the surface, and with a lower percentage, it presented a very low susceptibility with 2.18% of the studied area. Taking into account that the area is dominated by a high and a very high susceptibility, strategies were established to prevent and mitigate the fires in the plant cover, mainly based in the environmental education and the fire management as a tool for the agricultural activities through training.

Keywords: weather factors, topographic factors, plant cover fires, susceptibility

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Problema de investigación y justificación

Según Rodríguez (2014), el fuego es el resultado del proceso químico denominado combustión, la condición imprescindible para que suceda, es la presencia de una sustancia combustible a una temperatura suficientemente alta para provocar la combustión, la presencia de oxígeno para mantener la combustión y una reacción en cadena.

Parra (2011), afirma que históricamente el fuego ha sido una fuerza evolutiva de la naturaleza, tanto en las especies biológicas, como en los ecosistemas y el paisaje. Sin embargo, los cambios de uso del suelo ocurridos durante los tres últimos siglos en los distintos continentes, combinados con los cambios climáticos de carácter global y regional, han conllevado a la alteración de los patrones naturales de ocurrencia de este fenómeno en la mayor parte de los ecosistemas con coberturas vegetales, transformándolos, disminuyendo su biodiversidad y comprometiendo su capacidad productiva.

Los incendios de cobertura vegetal se han convertido en un problema ambiental de gran preocupación y gravedad en las últimas décadas, dicho problema se presenta a nivel mundial sobre todo en los países con grandes extensiones de áreas boscosas (Parra, 2011). Quistial (2016), refiere que los estudios sobre incendios de la cobertura vegetal y biodiversidad son de gran importancia en la comprensión de las tensiones y conflictos que el desarrollo establece en las relaciones sociedad-naturaleza. La presencia de incendios de cobertura vegetal está siendo más evidente en las zonas tropicales, las cuales son en consecuencia las más afectadas por acción del calentamiento global (Mejía, 2017).

Vaersa (2012), considera que un incendio de cobertura vegetal es un fuego que, cualquiera sea su origen y con peligro o daño a las personas, la propiedad o el ambiente, se propaga sin control en terrenos rurales, a través de vegetación leñosa,

arbustiva o herbácea, viva o muerta. Es decir, es el fuego que quema árboles, matorrales y pastos. Es un fuego injustificado y descontrolado, en el cual los combustibles son materiales vegetales y durante su propagación puede destruir ganado, viviendas, como también vidas humanas.

Los daños ecológicos a causa de los incendios de cobertura vegetal proporcionan un escenario negativo en los bosques y humedales afectados, ya que se genera una disminución de los recursos hídricos por reducción de la infiltración y significativa alteración del ciclo hidrológico, la reducción de la humedad de los suelos, el incremento de la erosión eólica e hídrica (Rico, 2011). Otras alteraciones significativas se han visto reflejadas en la desertificación, la pérdida de la biodiversidad por muerte y migración de la fauna local, incremento de la temperatura que afecta el microclima, la contaminación del aire por emisiones de CO₂ entre otros gases tóxicos; finalmente, el aumento del efecto de invernadero y la modificación de belleza paisajística (Vera, 2015).

Los problemas de los incendios de vegetación trascienden al ámbito estrictamente ambiental y afectan a otros aspectos fundamentales de la sociedad como la seguridad, la vida de las personas, la infraestructura, el sector urbano y rural, el patrimonio natural, histórico artístico y las actividades socio-económicas. Chuvieco (2008), afirma: “En las últimas décadas la preocupación por el manejo de incendios de vegetación a escalas de nivel mundial y regional se ha incrementado debido a la alta incidencia de incendios en el mundo” (p,3). “...Muchos estudios han logrado cartografiar áreas quemadas a través de imágenes de satélite. La teledetección ha sido una de las herramientas más empleadas en la investigación de incendios de cobertura vegetal...”

La mayoría de los incendios forestales son causados por el hombre. Los factores que más influyen en el aumento y la gravedad de los mismos son: el descuido de los turistas al visitar determinada zona, actos de vandalismo, imprudencias como el abandono de residuos combustibles y la falta de medios eficaces para combatirlos en el terreno (FAO, 2012).

Son diversos los avances y estudios dedicados a controlar y prevenir la ocurrencia de incendios de cobertura vegetal, un estudio de tesis de grado doctoral en la Universidad de Murcia en España cuyo objetivo era el de aplicar tecnología SIG en la predicción y prevención del riesgo de incendios forestales, donde se utilizaron índices y modelos de riesgo sobre módulos operativos dentro de un sistema elegido y se realizaron simulaciones con fines predictivos. En esta zona se estudió la evolución de los incendios forestales; así como su distribución espacial y temporal, las causas y orígenes del fuego, integrando un SIG el cual permitió disponer de una cartografía temática de las variables que intervinieron en estos sucesos.

En Ecuador, en el año 2014 se perdieron alrededor de 23.500 hectáreas a causa de incendios de vegetación, en el año 2015 su cifra fue mucho más alta llegando a una superficie oficial de 27.500 ha, En el año 2017 13.403,78 hectáreas de cobertura vegetal fueron incendiadas (Secretaría de Gestión de Riesgos, [SGR] 2017). La Secretaria de Ambiente en el marco del Programa de Reducción de Riesgos del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) llevó a cabo la generación del “Proyecto de Sistemas de Información Unificado de Riesgos Urbanos”, donde su objetivo fue el de generar una sistematización de la información útil para la gestión de riesgos urbanos. Dicho insumo realizado por la Secretaria de Ambiente sobre los incendios de vegetación, es información netamente clave para comprender la ocurrencia potencial de incendios forestales en el DMQ, es por ello que la generación de herramientas de conocimiento permite mejorar la gestión e intervención de los incendios de cobertura vegetal.

En la provincia de Carchi específicamente en los cantones Espejo, Tulcán y Mira las parroquias La Libertad, El Ángel, Maldonado y Tufiño cada año han sido afectados por incendios de cobertura vegetal (SGR, 2017), los cuales han sido originados principalmente por el uso no controlado del fuego en agricultura y manejo de pastizales, causando graves daños a proyectos agrícolas, pecuarios y agroforestales, así como a plantaciones, zonas boscosas y áreas protegidas principalmente la Reserva Ecológica El Ángel. Lo anterior ha generado un deterioro de los recursos naturales por la contaminación del aire y agua, incremento de

temperatura, destrucción de la biodiversidad, aumento de la erosión y disminución del abastecimiento del agua, ocasionando deterioro de la calidad de vida de la población (Quistial, 2016).

La Reserva Ecológica El Ángel se caracteriza por su invaluable biodiversidad, la cual está siendo afectada por elementos antrópicos como el avance de la frontera agrícola, quema, caza y pesca; así como por factores naturales como cambios en el clima y el régimen hidrológico (MAE, 2015). Fue designada como área protegida por el recurso hídrico que proviene de sus páramos y humedales, que se constituye en una importante fuente de abastecimiento y aporte para varias cuencas hidrográficas (MAE, 2008). A su vez, en el Registro Oficial No. 21 del 8 de septiembre de 1992 también se plantea la importancia de la regulación y garantía del recurso hídrico, tanto en cantidad como en calidad. La mayor superficie de este sitio está conformada por páramos húmedos, razón por la cual, representa una fuente vital de abastecimiento de agua para Carchi, al aportar casi la totalidad de este recurso para la población de la provincia (MAE, 2015).

La presente investigación, responde a la necesidad e interés de generar información que pueda ser útil para las autoridades de La Reserva Ecológica “El Ángel” en la toma de decisiones para la prevención y/o mitigación de incendios de cobertura vegetal, además de que la misma metodología a utilizarse en la zona de estudio pueda ser aplicada en otras zonas del país y áreas protegidas que se ven afectadas por los incendios de cobertura vegetal.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Analizar las zonas susceptibles a incendios de cobertura vegetal en la Reserva Ecológica El Ángel y zona de amortiguamiento, para generar información de la distribución espacial de los sitios potenciales donde se presentan eventos de incendios.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar los factores topográficos y climáticos que inciden en la ocurrencia de incendios en la reserva ecológica y zona de amortiguamiento.
- Determinar la ponderación de cada uno de los factores topográficos y climáticos que inciden en la susceptibilidad de incendios de cobertura vegetal.
- Zonificar el territorio de la REEA y zona de amortiguamiento en zonas de susceptibilidad a incendios muy alta, alta, media, baja y muy baja.

1.3. Pregunta directriz de la investigación

¿Cuáles es la distribución espacial de las zonas susceptibles a incendios de cobertura vegetal en la Reserva Ecológica El Ángel, provincia del Carchi y zona de amortiguamiento?

1.4. Hipótesis de Investigación

- H_0 = No existe una relación entre el modelo obtenido y los focos de calor (no están asociadas).
- H_1 = Existe una relación entre el modelo obtenido y los focos de calor (están asociadas).

1.5. Marco legal

Dentro de este apartado se incluyó las normas jurídicas que se relacionan con la investigación realizada, tomando en cuenta la Constitución vigente de la República del Ecuador, el Plan Nacional del Buen Vivir, el Código Orgánico de Organización Territorial y Descentralización (COOTAD), Secretaría Nacional de Riesgos (SNGR), entre otras.

1.5.1. Constitución de la República del Ecuador 2008

A continuación, se detalla algunos de los artículos que establece la Constitución, las normas fundamentales que amparan los derechos y libertades, que organizan el Estado y las instituciones democráticas e impulsan el desarrollo económico, social y ambiental.

En la sección segunda **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*.

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 degradado.

Art. 71. La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura funciones y procesos evolutivos.

Toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad pública el cumplimiento de los derechos de la naturaleza. Para aplicar e interpretar estos derechos se observarán los principios establecidos en la Constitución, en lo que proceda.

El estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema.

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 el mejoramiento de las condiciones sociales, económicas y ambientales, con el objetivo de minimizar la condición de vulnerabilidad.

Art. 409. Es de interés público y prioridad nacional la conservación del suelo, en espacial su capa fértil. Se establecerá un marco normativo para su protección y uso

sustentable que prevenga su degradación, en particular la provocada por la contaminación, la desertificación y la erosión.

En áreas afectadas por procesos de degradación y desertificación, el Estado desarrollará y estimulará proyectos de forestación, reforestación y revegetación que eviten el monocultivo y utilicen de manera preferente, especies nativas y adaptadas a la zona.

Art. 414. El estado adoptará medidas adecuadas y transversales para la mitigación del cambio climático, mediante la limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero, de la deforestación y de la contaminación atmosférica; tomará medidas para la conservación de los bosques y la vegetación, y protegerá a la población en riesgo.

1.5.2. Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible

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

1.5.3. Código Orgánico del Ambiente (COA)

Art. 5, numeral 12 menciona la implementación de planes, programas, acciones y medidas de adaptación para aumentar la resiliencia y reducir la vulnerabilidad ambiental, social y económica frente a la variabilidad climática y a los impactos del cambio climático.

Art. 26, establece las Facultades de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Provinciales en materia ambiental en el numeral 4 está elaborar planes, programas

y proyectos para prevenir incendios forestales y riesgos que afectan a bosques y vegetación natural o bosques plantados.

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

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

Este es el marco que recoge la nueva Constitución de la República, que reconoce al estado ecuatoriano como descentralizado, guiado por los principios de equidad interterritorial, integración, solidaridad y unidad territorial.

Art. 140. La gestión de riesgos incluye las acciones de prevención, reacción, mitigación, reconstrucción y transferencia, para enfrentar todas las amenazas de origen natural o antrópico que afecten al territorio se gestionarán de manera concurrente y de forma articulada por todos los niveles de gobierno de acuerdo con las políticas y los planes emitidos por el organismo nacional responsable, de acuerdo con la Constitución y la ley.

Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales adoptarán obligatoriamente normas técnicas para la prevención y gestión de riesgos en sus territorios con el propósito de proteger las personas, colectividades y la naturaleza, en sus procesos de ordenamiento territorial.

1.5.5. Secretaría de Gestión de Riesgos (SGR)

La Secretaría de Gestión de Riesgo es un órgano público descentralizado responsable de garantizar la protección de personas y colectividades ante 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.

Prioridad 1. Cuidar que la reducción de los riesgos de desastre constituya una prioridad nacional y local, por parte de todas las instituciones y organizaciones del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión de Riesgos y de la comunidad; a través de una sólida base institucional.

Prioridad 2. Fortalecer el Sistema Nacional Integrado de Alerta Temprana, así como la identificación, evaluación y vigilancia de los riesgos de emergencias y desastres.

Prioridad 4. Reducir los factores de riesgo subyacentes a través de acciones integradas de los GAD y de las demás entidades del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión de Riesgo.

1.5.6. Plan nacional de Desarrollo 2017-2021- Toda una vida

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

CAPÍTULO II METODOLOGÍA

En esta sección se detallan los métodos, técnicas y procedimientos que se utilizaron para realizar la presente investigación.

2.1. Descripción del área de estudio

La Reserva Ecológica “El Ángel” (REEA) se encuentra ubicada en la provincia de Carchi, en la Sierra Norte de Ecuador, con una superficie compartida por las parroquias La Libertad y El Ángel del cantón Espejo; las parroquias Maldonado y Tufiño, en el cantón Tulcán; y La Concepción, en el cantón Mira (Figura 1).

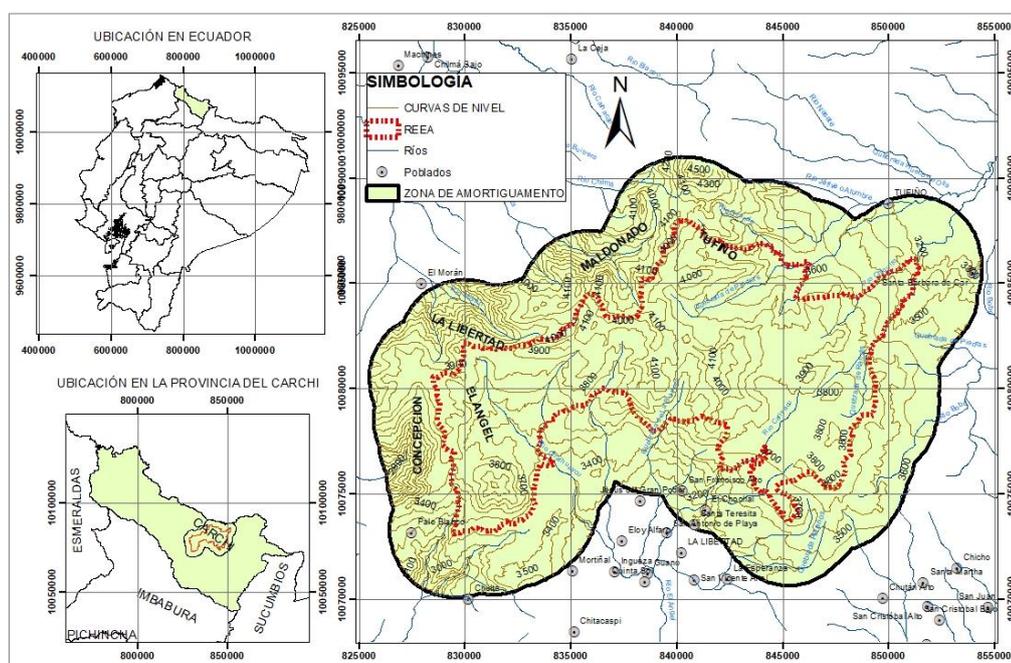


Figura 1. Mapa de ubicación de la reserva ecológica El Ángel

La reserva Ecológica del Ángel y su zona de amortiguamiento cuenta con una superficie de 42.101,24 hectáreas en las que se incluye un área adicional de alta sensibilidad ecológica en la que se encuentran las Lagunas Verdes, localizadas en territorio de la comuna La Esperanza, en la parroquia Tufiño del cantón Tulcán (MAE, 2015). En cuanto al rango altitudinal, la reserva se extiende desde los 3.200 m.s.n.m., en el sector del área junto al río Chiquito, hasta los 4.200 m.s.n.m., en el límite Norte de la reserva, en los cerros Orifuella y Yanacocha. En cuanto a la

ubicación geográfica de la Reserva Ecológica de El Ángel la Tabla 1 presenta las coordenadas establecidas para cada punto:

Tabla 1. Ubicación Geográfica de la Reserva Ecológica El Ángel

PUNTO	COORDENADA X	COORDENADA Y	ALTITUD m.s.n.m.
NORTE	840.209	10.088.004	4.100
SUR	829.466	10.073.112	3.300
ESTE	851.364	10.085.724	3.200
OESTE	828.504	10.080.558	3.900

En el área de la REEA se registran dos formaciones litológicas en las que se destacan depósitos volcánicos pliocénicos del período terciario superior, constituidas principalmente por lavas andesitas basálticas, brechas compactas y tobas (MAE, 2015). El relieve de la REEA es de tipo colinado y se caracteriza por ser más suave hacia el Sureste mientras que, en la parte Oeste, se presentan pendientes más pronunciadas, con cortes profundos en las quebradas y ríos. Son numerosas las depresiones con humedales (lagunas, pantanos) localizados en casi toda la reserva y en gran parte de sus alrededores.

Según la clasificación climática de Pourrut, (1995) empleado en el Plan de Manejo de 2008, la REEA se encuentra en la zona de Clima Ecuatorial Frío de Alta Montaña, con temperaturas que alcanzan los 5° a 6° C y un rango de precipitación de 2.000 a 3.000 mm anuales. La REEA, y su zona de influencia, constituyen un importante refugio de biodiversidad de la cordillera Occidental, al proteger ecosistemas de montaña (páramos, turberas, lagunas y bosques) en buen estado, según el Mapa de Vegetación del Ecuador Continental (MAE, 2013). La REEA se encuentra cubierta, casi en un 90% de su superficie total por el ecosistema Rosetal caulescente y herbazal montano alto y montano alto superior de páramo, lo que anteriormente se conocía como páramo de frailejones.

A nivel provincial, los datos del último censo del INEC, señalan que Carchi tiene una población de 164.524 habitantes, que representa el 1,1% de la población

nacional. Las principales actividades socioeconómicas de la provincia del Carchi son agrícolas y pecuarias, esto debido a la potencialidad productiva de la provincia. La Reserva Ecológica El Ángel es la principal fuente de abastecimiento del recurso hídrico para la provincia del Carchi, es decir que abastece a cuatro cantones de la provincia del Carchi (Bolívar, Espejo, Mira y Tulcán), a las parroquias de El Ángel, La Libertad, San Isidro, La Concepción, Maldonado y Tufiño, las cuales conforman el área de influencia indirecta para la Reserva ecológica El Ángel. Con respecto al área de influencia directa, se encuentran a aquellas comunidades que geográficamente intersecan con la zona de conservación del área protegida, es decir: La Comuna Indígena Pasto La Libertad, la Comuna Indígena Pasto La Esperanza, la Comunidad Palo Blanco y las asociaciones 23 de Julio y San Luis. (MAE,2015). Entre las principales comunidades y asociaciones colindantes con la REEA, destacan las comunas La Esperanza y Libertad, ubicadas en las parroquias Tufiño y La Libertad. Ancestralmente, ambas organizaciones se autoidentifican como parte de la cultura Pasto.

2.2. Métodos

Las fases metodológicas que se llevó a cabo para la realización del presente trabajo de investigación fueron las siguientes:

2.2.1. Fase I. Determinación de los factores topográficos y climáticos que inciden en la ocurrencia de incendios en la reserva ecológica y zona de amortiguamiento.

Se realizó una serie de entrevistas, con un cuestionario como instrumento basado en los principios básicos establecidos por Morga (2012) a un grupo de expertos en la que se plantearon factores considerados como influyentes en la ignición y propagación de incendios, tomando en cuenta los factores utilizados por Coelho et al. (2016) y Mejía (2017).

Para la elaboración del instrumento se estableció criterios tomando como base la problemática del área de estudio y antecedentes de investigaciones disponibles de

incendios de cobertura vegetal, elaborando un conjunto de 6 preguntas que permitieron evaluar la probabilidad de ignición y propagación del fuego de la cobertura vegetal. El instrumento fue aplicado a 11 expertos sumidos en la problemática de incendios; para la selección de los expertos se empleó una técnica de muestreo no probabilística denominada “Snow ball” la cual utiliza cadenas de referencia a manera de red (Baldin y Munhoz, 2011), es decir cada individuo participante recomienda a otro y finaliza cuando uno de los participantes recomienda a otro que ya fue tomado en cuenta para la entrevista, se clasificó a los expertos en 2 grupos: profesionales técnicos (7 entrevistados) y profesionales académicos (4 entrevistados).

Una vez determinados los factores topográficos y climáticos que inciden en la ocurrencia de incendios, se realizó la adaptación de los mismos al área de estudio.

2.2.2. Fase II. Determinación de la ponderación de los factores topográficos y climáticos que inciden en la susceptibilidad de incendios de cobertura vegetal.

A los expertos se plantearon factores biofísicos climáticos y topográficos; a través de las entrevistas se establecen las ponderaciones de cada factor en la generación y propagación de incendios

3.2.2.1. Factores Climáticos

Los factores climáticos usados para la presente investigación son: precipitación, temperatura, evapotranspiración y velocidad del viento.

1. Precipitación Media Anual

La precipitación media anual se determinó con los datos disponibles de ocho estaciones meteorológicas cercanas a el área de estudio (Tabla 2), que pertenecen al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) y cubren la superficie total de la reserva ecológica El Ángel y zona de amortiguamiento. Para obtener mayor precisión con respecto a los datos de precipitación se utilizó

información climática de un periodo de 30 años (1986-2015) como lo afirman Pacheco, Avilés y Delgado (2016). Los valores de precipitación obtenidos se utilizaron para la realización del diagrama ombrotérmico.

Tabla 2. Estaciones meteorológicas de precipitación.

Código	Estación	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Distancia (k/m)
M0001	Inguincho	0° 15' 30" N	78° 44' 3" W	3185	57,82
M0103	San Gabriel	0° 36' 15" N	77° 49' 10" W	2860	8,71
M0301	FFCC Carchi	0° 36' 26" N	78° 08' 07" W	1280	9,66
M0308	Tufiño	0° 48' 01" N	77° 51' 20" W	3418	0
M0312	Pablo Arenas	0° 29' 56" N	78° 11' 42" W	2340	20,53
M0315	Pimampiro	0° 23' 22,6" N	77° 56' 28,3" W	2090	33,8
M0102	El Ángel	0° 37' 35" N	77° 56' 38" W	3000	9,42
M0305	Julio Andrade	0° 39' 10,7" N	77° 43' 14" W	2890	15,09

Fuente: INAMHI

Posteriormente se procedió así:

a) Interpolación de Precipitación

Para la interpolación de la precipitación se utilizó el método spline Díaz, Sánchez, Quiroz, Garatuza, Watts, y Cruz, (2008) afirman que es el procedimiento de interpolación más adecuado para eventos de precipitación pluvial ya que crea una superficie de respuesta que corresponde con las características del terreno, la interpolación se realizó mediante el *software* ArcGIS 10.5.

b) Establecer Rangos de Susceptibilidad

Tomando en cuenta los valores de precipitación que rigen en el área de estudio se procedió a establecer los rangos de susceptibilidad, conjuntamente con el apoyo de la base de datos de incendios reportados en la provincia del Carchi. Para determinar los rangos se utilizó el *raster* de precipitación media anual, mediante el *software* ArcGIS 10.5 se calculó la media y la desviación estándar; para obtener el rango máximo de precipitación a la media se sumó una desviación estándar, para el valor del rango mínimo se procedió a sustraer una desviación estándar de la media. En base a lo expuesto por (Coelho et al., 2016) a los niveles de susceptibilidad se categorizó en 5 clases, para lo cual se procedió a calcular los valores intermedios realizando una sustracción entre el valor del rango de susceptibilidad máximo y

mínimo, al resultado de la sustracción se dividió para el número de categorías intermedias (3) obteniendo de esta manera el valor constante que se sumó (se inició en el valor mínimo) para obtener los valores de los rangos intermedios.

c) Asignación de pesos por ponderación

Una vez determinados los rangos de susceptibilidad se procedió a asignar un peso a cada categoría clasificada, considerando que a menor precipitación mayor susceptibilidad de incendios (Carrasco, Ramos, Batista, Martínez y Tetto 2017), mediante el *software* ArcGIS 10.5 se realizó una reclasificación basada en los rangos de susceptibilidad de la precipitación anual media del área de estudio para obtener un nuevo archivo que contiene las cinco clases que corresponden a los niveles de susceptibilidad: muy bajo que se asignó un valor de ponderación 1, bajo que se asignó un valor 2, moderado que se asignó un valor 3, alto que se asignó un valor 4 y muy alto que se asignó un valor 5.

2. Temperatura promedio anual

Para obtener los datos de temperatura se utilizó información climática de un periodo de 30 años (1986-2015) con los datos disponibles de seis estaciones meteorológicas (Tabla 3) del INAMHI.

Tabla 3. Estaciones meteorológicas de temperatura

Código	Estación	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Distancia (k/m)
M0001	Inguincho	0° 15' 30'' N	78° 44' 3'' W	3185	58,51
M0103	San Gabriel	0° 36' 15'' N	77° 49' 10'' W	2860	9,18
M025	La Concordia	0° 01' 29.2'' S	79° 22' 49'' W	379	166,38
M003	Izobamba	0° 22' 00'' S	78° 33'' 0'' W	3058	124,39
M105	Otavalo	0° 14' 16'' N	78° 15' 35'' W	2558	50,38
M0102	El Ángel	0° 37' 35'' N	77° 56' 38'' W	3000	0

Fuente: INAMHI

Para la selección de las estaciones meteorológicas se tomó en cuenta la disponibilidad de datos de cada estación y la cercanía a el área de estudio cubriendo de esta manera la superficie total de la Reserva Ecológica de El Ángel y zona de amortiguamiento.

a) Interpolación de Temperatura

Para la interpolación de la precipitación se utilizó la fórmula de la temperatura determinada como se muestra en la ecuación 1:

Ecuación 1: Ecuación de la temperatura determinada

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

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

A partir del valor (n_x) obtenido del gráfico de dispersión y la altitud referencial de 1000 m, se procedió a determinar el valor de la temperatura determinada el cual permite calcular la temperatura real del área de estudio considerando la siguiente ecuación:

Ecuación 2: Ecuación de la temperatura real

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

Donde T_{Det} corresponde al valor de la temperatura determinada, Γ el valor de (n_x) de la ecuación, Z^{DEM} es el modelo digital de elevación del área de estudio a una resolución espacial de *50 m de pixel* y Z_{Det} que corresponde al valor de la altitud referencial. Para el cálculo de la ecuación se utilizó la herramienta *raster calculator* del *software* ArcGIS 10.5.

b) Establecer Rangos de Susceptibilidad

Para determinar los rangos de susceptibilidad se utilizó el *raster* de temperatura real que rige en el área de estudio, mediante el *software* ArcGIS 10.5 se calculó la media y la desviación estándar; para obtener el rango máximo de temperatura a la media se sumó dos desviaciones estándar; para el valor del rango mínimo se precedió a sustraer dos desviaciones estándar de la media; en cuanto a los valores intermedios se sumó una desviación estándar al valor del rango mínimo y así se continuó hasta obtener los valores de los rangos intermedios.

a) Asignación de pesos por ponderación

Una vez determinados los cinco rangos de susceptibilidad se procedió a asignar un peso a cada categoría clasificada, considerando que la ocurrencia de incendios es directamente proporcional a la temperatura (Ramos, Carrasco, Miranda, Batista y Tetto, 2017) mediante el *software* ArcGIS 10.5 se realizó una reclasificación basada en los rangos de susceptibilidad de la temperatura anual media del área de estudio para obtener un nuevo archivo que contiene las cinco clases que corresponden a los niveles de susceptibilidad: muy bajo, bajo, moderado, alto y muy alto a los cuales se asignó un valor de ponderación 1, 2, 3, 4, 5, respectivamente.

3. Evapotranspiración Potencial

El cálculo de la evapotranspiración se realizó con la aplicación del método de Turc, el cual utiliza como parámetros la precipitación anual y la temperatura media anual así lo asegura (Ojeda, 2017). Para el cálculo de la evapotranspiración potencial se aplicó la ecuación 3 mediante el uso de la herramienta *raster calculator* del *software* ArcGIS 10.5.

Ecuación 3: Ecuación de evapotranspiración potencial – Turc

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

Donde:

ETR corresponde al valor de evapotranspiración en mm/ año

P es la precipitación anual en mm

L es un parámetro heliotérmico que tiene por expresión

$$L = 300 + 25 t + 0,005t^3$$

t = Temperatura media anual en °C

a) Establecer Rangos de Susceptibilidad

Con la utilización del software ArcGIS 10.5 se calculó la desviación estándar y la media. Posteriormente, a la media se le sumó una desviación estándar resultando el rango máximo, para encontrar el rango mínimo se procedió a sustraer de la media una desviación estándar. Tomando en cuenta que se establecieron 5 rangos de susceptibilidad para este estudio se procedió a calcular los valores intermedios, para lo cual se restó el valor mínimo de susceptibilidad del máximo y el resultado se lo dividió para 3 que son los valores faltantes, el valor que se obtuvo de la división es la constante que se debe ir sumando (se iniciará sumando al valor mínimo) hasta encontrar los tres rangos intermedios.

b) Asignación de pesos por ponderación

Tomando en cuenta que la evapotranspiración potencial es la cantidad de agua evaporada a partir del suelo y la transpirada por los vegetales bajo condiciones atmosféricas, de suelo y de vegetación existentes (Ocampo y Beltrán, 2018), se procedió a asignar un peso a cada categoría clasificada, mediante el *software* ArcGIS 10.5 se realizó una reclasificación basada en los rangos de susceptibilidad de la evapotranspiración potencial del área de estudio, para obtener un nuevo archivo que contiene las cinco clases que corresponden a los niveles de susceptibilidad: muy bajo a la que se asignó un peso 1, bajo que se asignó un peso 2, moderado que se asignó un peso 3, alto que se asignó un peso 4 y muy alto con un peso 5.

4. Velocidad del viento

Para la obtención de los datos de velocidad del viento se procedió a descargar la información de la aplicación *web Global Wind Atlas*, la cual proporciona acceso gratuito a los datos sobre la densidad de la energía eólica y la velocidad del viento en múltiples alturas utilizando los últimos datos históricos del tiempo y el modelado, con una resolución de salida de 250 metros; es una herramienta muy útil para obtener datos potenciales de recursos eólicos a nivel provincial y local.

Posteriormente el proceder metodológico fue el siguiente:

a) Establecer rangos de Susceptibilidad

Se procedió a calcular la media y la desviación estándar mediante el software ArcGIS 10.5, para la obtención del valor máximo se sumó dos desviaciones estándar a la media y para el valor mínimo se sustrajo de la media, dos desviaciones estándar, para calcular los valores faltantes a la media se tomó como valor intermedio, para los dos valores restantes primero se sumó una desviación estándar a la media y se restó una desviación estándar a la media, consiguiendo así las cinco categorías de susceptibilidad que se adoptaron para el presente estudio.

b) Asignación de pesos por ponderación

Una vez determinados los rangos de susceptibilidad se procedió a asignar un peso a cada categoría clasificada, considerando que el aumento de la velocidad del viento favorece la deshidratación de combustibles e incide en el comportamiento del fuego incendios (Vilchis, Díaz, Magaña, Bâ1 y Gómez, 2015), mediante el *software* ArcGIS 10.5 se realizó una reclasificación basada en los rangos de susceptibilidad de velocidad del viento del área de estudio para obtener un nuevo archivo que contiene las cinco clases que corresponden a los niveles de susceptibilidad: muy bajo, bajo, moderado, alto y muy alto a los que se asignó pesos del 1 al 5 respectivamente.

3.2.2.2. Factores Topográficos

Los factores topográficos que se tomaron en cuenta en el presente estudio fueron pendientes, orientación del terreno, cercanía a las vías, y uso del suelo; para poder analizar los datos de pendientes y orientación del terreno se procedió a descargar del portal del servicio geológico de los estados unidos (USGS) por sus siglas en inglés el DEM SRTM que presentó una resolución de 50 m de pixel.

1. Pendientes

Para la generación del mapa de pendientes del área de estudio al DEM SRTM se aplicó la herramienta *slope* del software ArcGIS 10.5. Posteriormente, usando el

mapa de la matriz de las pendientes, se procedió a determinar los rangos de susceptibilidad tomando en cuenta la metodología de Coelho et al. (2016), en la que se establece como valor mínimo del rango a las pendientes del 15% que representa el nivel muy bajo; para los demás rangos se suman 10 unidades al valor mínimo hasta obtener el quinto valor que corresponde a pendientes mayores a 45,1% que corresponde a la susceptibilidad muy alta. Una vez determinadas las 5 categorías se procedió a asignar un peso que indica el nivel de susceptibilidad que representa cada clase de acuerdo con su efecto sobre la tasa de propagación del fuego.

2. Orientación del Terreno

Se aplicó la herramienta *aspect* del software ArcGIS 10.5 al DEM SRTM para obtener el mapa de orientación del terreno, posteriormente, se procedió a determinar los rangos de susceptibilidad tomando en cuenta el histórico de incendios ocurrido en el área de estudio, en la que se toma como categorías muy bajas y bajas a las orientaciones donde no han ocurrido incendios y como altas y muy altas las orientaciones donde han ocurrido incendios.

3. Cercanía a las vías

Para los datos de cercanía a las vías se empleó la capa de vías que se descargó del Sistema Nacional de Información (SNI) a escala 25000. Para determinar los rangos de susceptibilidad se tomó como base lo propuesto por Vilchis et al. (2015) refiriendo que a menor distancia a las vías la influencia para la ignición de incendios es mayormente significativa; de esta manera tomando como base el histórico de incendios se identificó que la distancia mínima a la cual ocurren la mayoría de incendios en el área de estudio es a 100 m. Considerando lo propuesto por Coelho et al. (2016) y la extensión del área de estudio, se estableció 5 categorías de susceptibilidad con intervalos de 100 m a la distancia mínima siendo la quinta categoría las distancias mayores a 500 m. Una vez establecidos los rangos se procedió a asignar pesos para cada categoría tomando en cuenta que a mayor distancia menor susceptibilidad de incendios.

4. Uso y cobertura del suelo

Para obtener los datos de cobertura y uso del suelo se empleó la siguiente metodología:

a) Georreferenciación de coberturas en campo

Para la georreferenciación de coberturas se realizó el recorrido en campo de acuerdo con los seis tipos de cobertura del área de estudio previamente establecidas (Tabla 4) georreferenciando así 632 puntos.

Tabla 4. Cobertura discriminada

Categorías de uso del suelo/ cobertura vegetal
Cuerpos de agua
Páramo de frailejones
Páramo arbustivo
Páramo herbáceo
Páramo de almohadillas
Áreas intervenidas

b) Clasificación de la imagen

Para la clasificación de la imagen se utilizó la metodología de clasificación supervisada que según Tituaña, (2018) permite asociar clases a algunos píxeles de la imagen en base a conocimiento de referencia, relacionando un píxel de una imagen geo-referenciada con la clase que representa sobre el terreno para lo cual se empleó la imagen Landsat L8 2017 que fue procesada a través del software ArcGIS 10.5.

c) Validación de la clasificación supervisada de la imagen

Se validó la concordancia de los datos mediante la matriz de confusión o también denominada de contingencia, la cual consta de una tabla de doble entrada, que verifica los valores reales o verdad-terreno con los resultados de la clasificación. De esta manera, en sentido vertical se representa el porcentaje de píxeles reales que

se confundieron en la verdad-terreno (puntos de control en campo) y en sentido horizontal, el porcentaje de píxeles después de la clasificación, que se han confundido (las clases del mapa). Como medida de precisión para validar la clasificación se utilizó el índice Kappa, el cual permite evaluar la concordancia de métodos cuyos resultados son categóricos, con dos o más clases (Borràs, Delegido, Pezzola, Pereira, Morassi y Camps-Valls, 2017). Los valores del índice Kappa varían entre 0 y 1 (Tabla 5), representando el valor de 1 como casi perfecta concordancia.

Tabla 5. Valores del coeficiente Kappa

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

Fuente: (Landis y Khoch, 1997)

d) Establecer rangos de susceptibilidad

Para el establecimiento del rango de susceptibilidad para cada categoría de cobertura vegetal se procedió a tabular los resultados de las entrevistas aplicadas al grupo de expertos en base a las características de probabilidad de ignición de cada cobertura. La clasificación se realizó tomando en cuenta la moda como medida de tendencia central de las 6 coberturas vegetales descritas para el área de estudio. Una vez establecidas las 5 categorías de susceptibilidad se procedió a realizar una reclasificación basada en el mapa de uso del suelo del área de estudio para obtener un nuevo archivo que contiene cinco clases a las que se asignó un peso que indica el nivel de susceptibilidad a incendio de cobertura vegetal según su efecto en la tasa de propagación de incendios.

2.2.3. Fase III. Zonificación del territorio de la REEA y zona de amortiguamiento en zonas de susceptibilidad a incendios muy alta, alta, media, baja y muy baja.

Para realizar la zonificación del área de estudio se consideró las ponderaciones de los factores topográficos y climáticos descritos por los expertos en las entrevistas realizadas, lo que permitió establecer la ecuación de la susceptibilidad a incendios de cobertura vegetal tomando en cuenta los 8 factores biofísicos del área de estudio, para lo cual se procedió así:

a) Formulación de la ecuación de la susceptibilidad

Para determinar los coeficientes de la ecuación se aplicó la metodología de análisis multicriterio desarrollada por el doctor en matemáticas Thomas L. Saaty que se denomina Analytic Hierarchy Process (AHP), el cual propone una manera de ordenar el pensamiento analítico, destacando tres principios básicos. El principio de la construcción de jerarquías, el principio del establecimiento de prioridades y el principio de la consistencia lógica (Parra, 2011). Para establecer los valores de importancia se usó una tabla de comparación apareada (Tabla 6).

Tabla 6. Comparaciones apareadas

	Prec	ETR	Temp	V. Vien	Pend	Cob. veg	Or. terr	C. vías
Prec	1	1	3	3	1	1	3	3
ETR	1	1	0,33	0,33	0,2	0,33	1	1
Temp	0,33	3	1	1	0,33	0,33	3	3
V.Vien	0,33	3	1	1	0,33	0,2	3	0,33
Pend	1	5	3	3	1	1	3	3
Cob. veg	1	3	3	5	1	1	5	5
Or. terr	0,33	1	0,33	0,33	1	0,2	1	0,33
C. Vías	0,33	1	0,33	3	0,33	0,2	3	1

Prec: precipitación, ETR: evapotranspiración real, Temp: temperatura, V.Vien: velocidad del viento, Pend: pendientes, Cob. veg: Cobertura vegetal, Or. Terr: orientación del terreno, C.vías: cercanía a las vías.

b) Aplicación de la fórmula mediante herramientas geoespaciales

Una vez obtenidos los coeficientes de la ecuación se procede a establecer la ecuación de suma ponderada (ecuación 4), para obtener el mapa de susceptibilidad a incendios de cobertura vegetal de la reserva ecológica El Ángel con las categorías muy alto, alto, moderado, bajo, y muy bajo mediante la aplicación de la suma con la calculadora raster del software ArcGIS 10.5 y los rasters de los 8 factores climáticos y topográficos con resolución 50m.

Ecuación 4: Ecuación de suma ponderada

$$\text{Susceptibilidad} = (x * \text{Prec} + x * \text{ETR} + x * \text{Temp} + x * \text{V.viento} + x * \text{Pend} + x * \text{Uso} + x * \text{Asp} + x * \text{C. vías})$$

Donde:

Prec = raster reclasificado de precipitación

ETR = raster reclasificado de Evapotranspiración

Temp= raster reclasificado de Temperatura

V. viento= raster reclasificado de Velocidad del Viento

Pend = raster reclasificado de Pendientes

Uso = raster reclasificado de Uso del suelo

Asp = raster reclasificado de Orientación del Terreno

C. vías= raster reclasificado de Cercanía a las vías

X= coeficiente obtenido de la metodología AHP

c) Validación del modelo de susceptibilidad.

La validación del modelo de susceptibilidad de incendios de la REEA se realizó empleando los datos de los “FOCOS DE CALOR” descargados del servidor INPE (Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales) de Brasil <http://www.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>, el cual obtiene datos de los satélites AQUA, ATSR, GOES, NPP-375, TERRA y TRMM. Los datos de los puntos de calor para el Ecuador en el servidor se reportan desde el año 2000 por lo que para el área de estudio se descargó los datos a partir de esa fecha hasta el mes de junio del 2019 reportando en total 195 focos de calor con los que se buscó verificar la coincidencia con el modelo obtenido y las zonas de susceptibilidad del territorio.

d) Pruebas estadísticas

Para comprobar estadísticamente la aceptación del modelo se aplicó la prueba estadística de Chi cuadrado (X^2) y la curva Característica Operativa Relativa (ROC), las cuales permiten establecer una relación entre dos variables los focos de calor y el modelo obtenido. Las pruebas se realizaron utilizando el software IBM SPSS Statistics.

Para determinar si las variables están o no asociadas se establecieron las siguientes hipótesis:

H_0 = No existe una relación entre el modelo obtenido y los focos de calor (no están asociadas).

H_1 = Existe una relación entre el modelo obtenido y los focos de calor (están asociadas).

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

La curva ROC proporciona herramientas para seleccionar los modelos posiblemente óptimos y descartar modelos subóptimos independientemente del coste de la distribución de las dos clases sobre las que se decide, en la cual para evaluar el éxito de la prueba es necesario analizar el área bajo la curva que tomará valores entre 1 (si la prueba es perfecta) y menores a 0,5 (si la prueba inútil).

2.3. Materiales y equipos

A continuación, se detalla los materiales y equipos que se utilizaron en la presente investigación (Tabla 7):

Tabla 7. Materiales y Equipos

Materiales de Oficina	Equipos de Oficina
✓ Cartas Topográficas digitales Geológicas y de suelo del IGM a escala 1:100.000 y 1:50.000	✓ Computador Portátil
✓ Cartografía temática del MAGAP a escala 1:100.000	✓ Software ArcGis 10.4 con licencia temporal
✓ Datos multianuales del INAMHI de las estaciones meteorológicas cercanas a la Reserva Ecológica El Ángel	
Materiales de Campo	Equipos de Campo
✓ Libreta de campo	✓ Navegador GPS
	✓ Cámara fotográfica
	✓ Cinta métrica
	✓ Botas de caucho
	✓ Poncho de aguas

CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Determinación de Factores topográficos y climáticos que inciden en la ocurrencia de incendios en la reserva ecológica y zona de amortiguamiento

El total del grupo de expertos a los que se realizó la consulta fue de 11, de los cuales 4 fueron expertos académicos y 7 expertos profesionales entre personal del MAE y personal del Cuerpo de Bomberos. De acuerdo a las entrevistas realizadas a los expertos, en el área de estudio se determinaron como factores climáticos que inciden en la ocurrencia de incendios a la precipitación, evapotranspiración, velocidad del viento y temperatura; como factores topográficos las pendientes, uso del suelo, orientación del terreno y la cercanía a las vías. Coelho et al. (2016) manifiesta que los incendios de cobertura vegetal son el resultado de la interacción de factores climáticos y topográficos. Jiménez, Urrego y Toro (2016) señalan que los factores climáticos proporcionan las condiciones óptimas para que un incendio se genere mientras que los factores topográficos son los que determinan la propagación y la magnitud de un incendio. Los factores biofísicos que inciden en la ocurrencia de incendios en la reserva ecológica El Ángel y zona de amortiguamiento fueron ubicados de mayor (1) a menor (8) influencia con respecto a la experiencia de los expertos ante la ocurrencia de incendios (Tabla 8).

Tabla 8. Factores que influyen en la ocurrencia de incendios

Factores	Importancia
Cobertura vegetal	1
Temperatura	2
Pendientes	3
Orientación del terreno	4
Precipitación	5
Evapotranspiración	6
Velocidad del viento	7
Cercanía a las vías	8

3.2. Ponderación de los factores topográficos y climáticos que inciden en la susceptibilidad de incendios de cobertura vegetal.

A continuación, se procedió a adaptar los factores climáticos y topográficos a las características del área de estudio.

3.2.1 Factores Climáticos

Los factores climáticos que se adecuaron a las características del área de estudio por su incidencia en la ocurrencia de incendios de cobertura vegetal son:

1. Precipitación

Una vez identificados los valores de precipitación que presenta el área de estudio se establecieron los rangos y la susceptibilidad a incendios como se muestra en la Figura 2. Considerando que la escasez de precipitación genera condiciones idóneas para la alta producción de biomasa, la cual es un medio para la combustión de incendios forestales (Vargas y Quezada, 2018). En el área de estudio los valores más bajos de precipitación se presentaron al sur-este, con valores de precipitación menores a 730 mm/año que corresponden al 22,2% del total del área, por lo que se clasificó con una susceptibilidad muy alta; en este sentido, múltiples estudios realizados en Latinoamérica coinciden en que a menor precipitación mayor es la probabilidad de ocurrencia de incendios (Ramos, Carrasco, Miranda, Batista, y Tetto, 2017), principalmente por los efectos que causa en la cobertura vegetal, al estar relacionada directamente con la disponibilidad de humedad en los diferentes combustibles vegetales (Ocampo-Zuleta, 2018) aumentan la inflamabilidad de la vegetación viva y muerta, tornando más susceptibles a incendios de cobertura vegetal a las áreas con precipitaciones menores (Jiménez, Urrego y Toro, 2016), contrario a lo que sucede en la zona nor-este de la reserva que presenta valores de precipitación mayores a 1100 mm/año, asignada con una susceptibilidad muy baja que pertenece al 18,76 % del área total estudiada, en la que la humedad del suelo y la vegetación están en condiciones óptimas disminuyendo de esta manera la probabilidad de ignición.

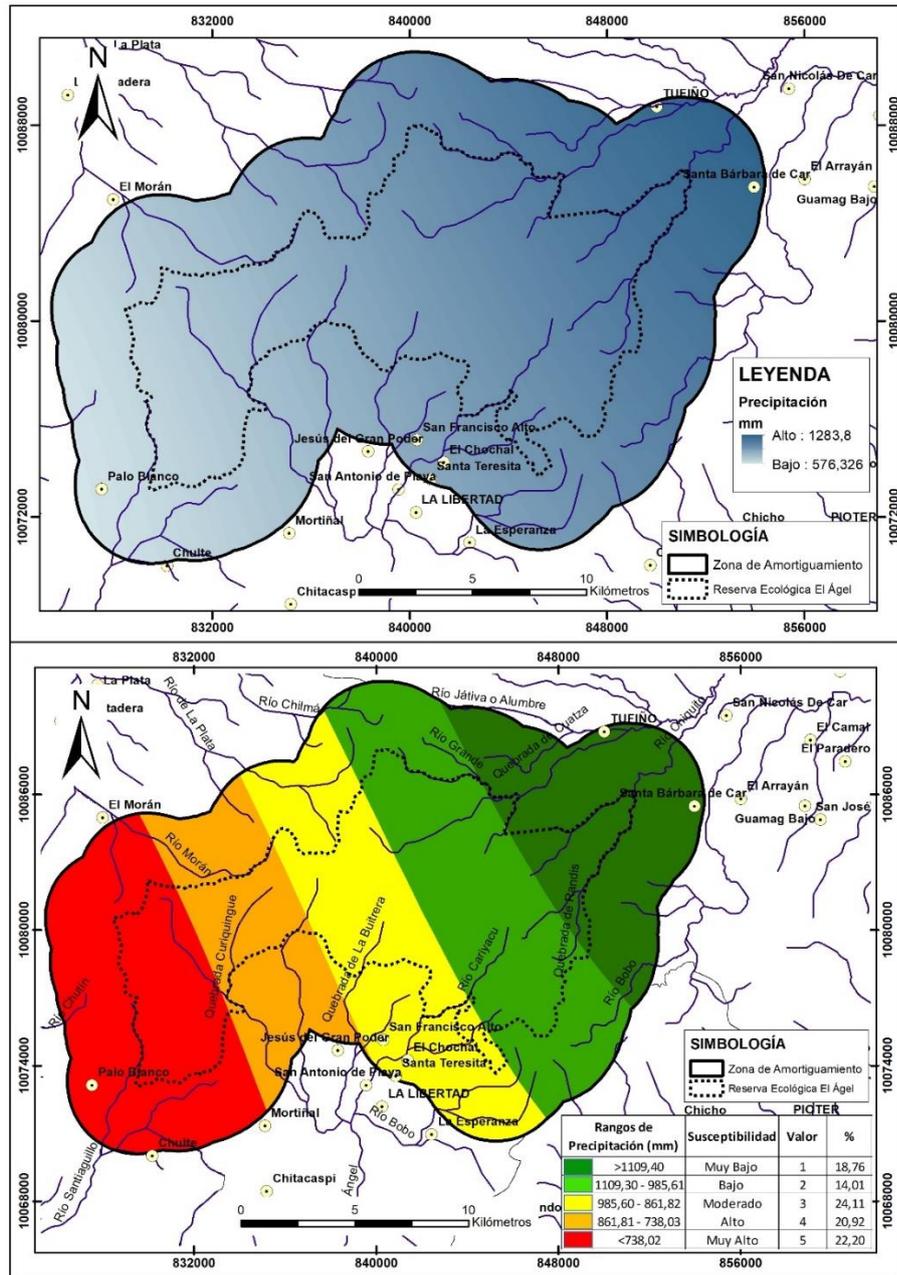


Figura 2. Precipitación media anual y rangos de susceptibilidad a incendios de la REEA y zona de amortiguamiento

2. Temperatura media anual

La temperatura media anual es un factor que influye indirectamente en el comportamiento del fuego, sobre factores que controlan la propagación, como el viento, humedad del combustible y estabilidad atmosférica (Cruz, Rodríguez, Villanueva y Santillán, 2017). De este modo al existir un aumento en la temperatura,

los factores que controlan la propagación de incendios se alterarían, incrementando la ocurrencia de incendios en el área de estudio (Xelhuantzi, Flores y Chávez, 2011). Los valores de temperatura máximos, que superan los 10°C, se encuentran al sur-este del área de estudio, los cuales presentan una susceptibilidad muy alta, con el 3,24% y alta, con 22,33% del total de la superficie estudiada, mientras los valores más bajos de temperatura se encuentran en la zona norte central, con valores menores a 6° C que se encuentran en las zonas con susceptibilidad muy baja y baja, ocupando el 1% y 23% del total del área respectivamente (Figura 3).

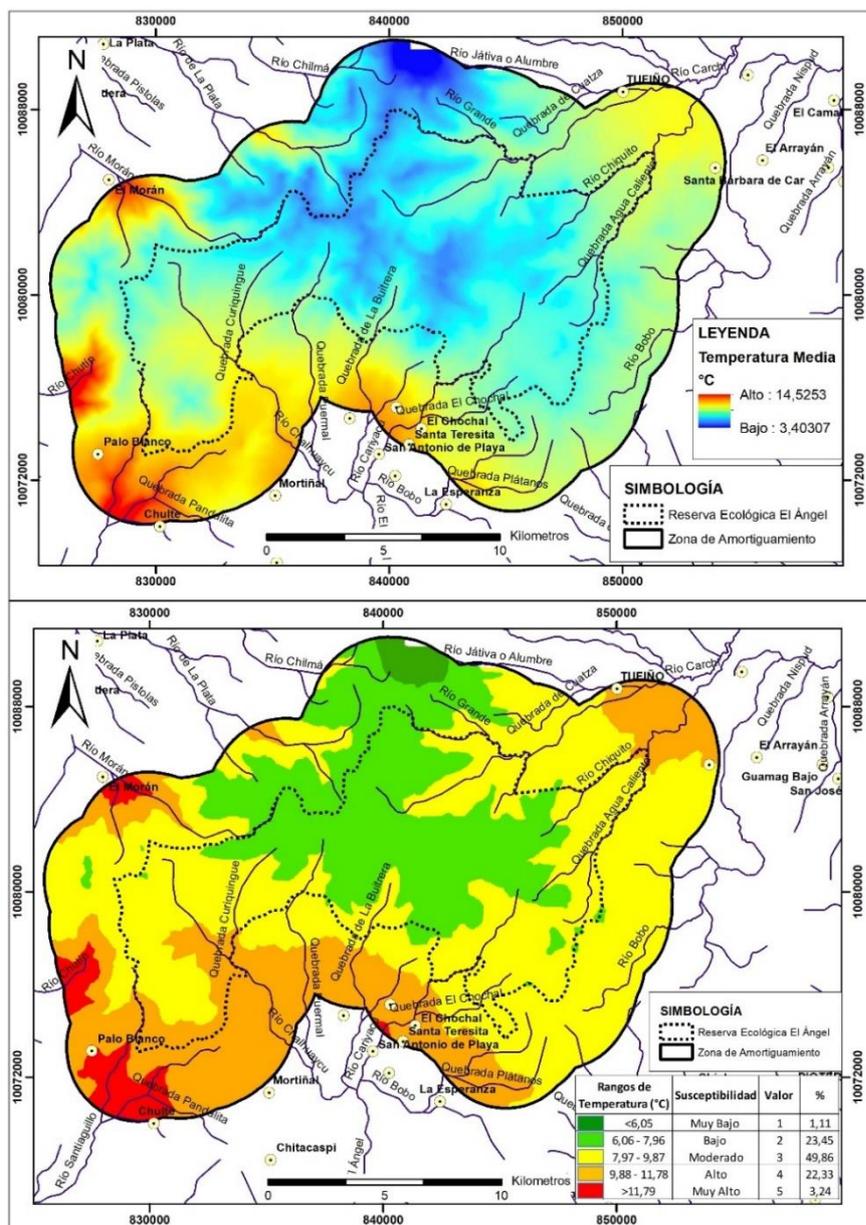


Figura 3. Temperatura media y rangos de susceptibilidad a incendios

El diagrama ombrotérmico muestra que los meses con mayores valores de precipitación en el área de estudio fueron marzo, abril y noviembre con un valor promedio de 100 mm, mientras que los meses que presentaron menores valores de precipitación fueron julio, agosto y septiembre con un promedio de precipitación de 21 mm, estableciendo de esta manera como época seca al mes de agosto, ya que presentan menor precipitación por debajo de la línea de temperatura (Figura 4).

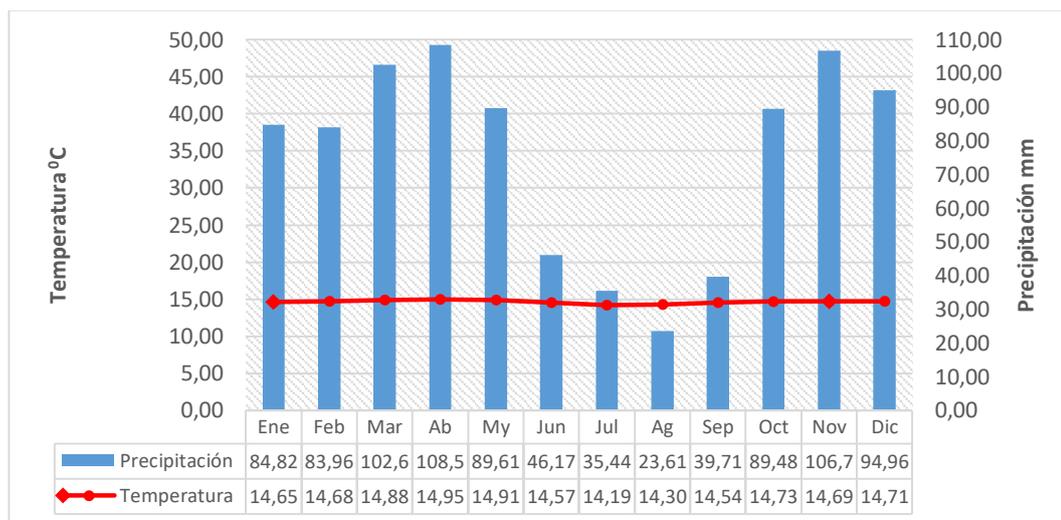


Figura 4. Diagrama ombrotérmico de la REEA periodo 1985-2015

Según el histórico de incendios tomado desde el año 2014 al 2019 para la reserva ecológica de El Ángel el mayor número de registro de incendios se presentó en los meses de agosto y septiembre que coinciden con la época seca del área de estudio donde la precipitación es menor y la susceptibilidad a incendios aumenta (Figura 5). Ramos et al. (2017) afirma que la ocurrencia de incendios está relacionada con la época en la que ocurren ya que se presentan mayor número de incendios en época seca. Las condiciones de intensidad de los incendios también están relacionadas con las épocas de escasa precipitación al aumentar el estrés hídrico de la vegetación herbácea con la consecuente muerte de una gran parte de la misma por presentar mayor tasa de descomposición aportando de esta manera mayor carga de combustibles asegurando óptimas condiciones para la propagación del fuego (Martínez-Villa, Rodríguez-Trejo, Borja-de la Rosa y Rodríguez-Yam, 2018; Ramírez, Aponte, Lertora, y Gil, 2018).

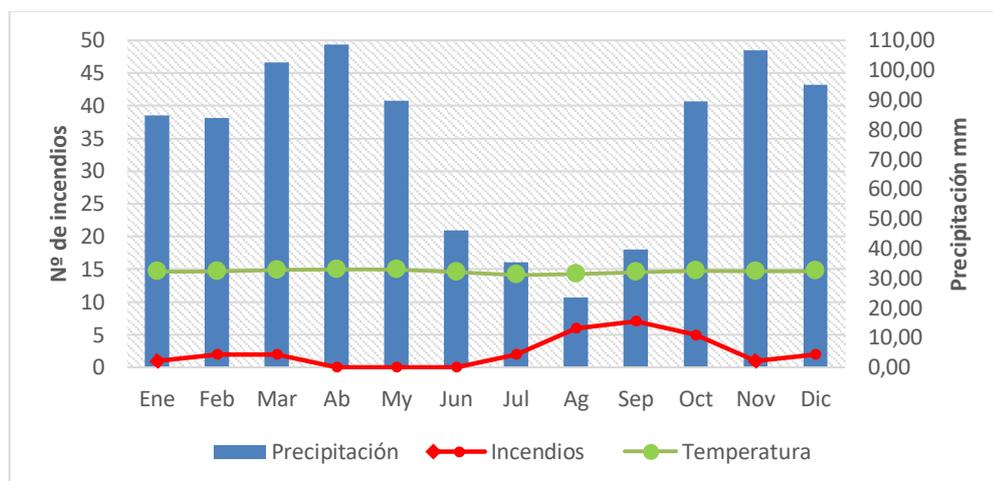


Figura 5. Relación número de incendios- precipitación- temperatura de la REEA y zona de amortiguamiento

3. Evapotranspiración

Los valores de evapotranspiración que se encontraron para el área de estudio oscilan entre los 520 hasta los 360 mm/año (Figura 6). La evapotranspiración es la pérdida de humedad de la vegetación por lo que se considera que, en las zonas donde existe mayor evapotranspiración existirá también mayor susceptibilidad ya que una vegetación con bajo contenido de humedad es más propensa a la ocurrencia de incendios (Malpartida, 2016; Návar, 2011; Quiroga, 2015). En este sentido las áreas que presentan los valores más altos de evapotranspiración clasificados con una susceptibilidad alta y muy alta están distribuidos al sur y este con valores que superan los 460 mm/año que corresponden al 37% del total del área de estudio. Los valores más bajos de evapotranspiración se presentaron en su mayoría al oeste, los cuales representan a las zonas clasificadas con susceptibilidad moderada, muy baja y baja que presentaron valores por debajo de los 430 mm/año, ocupando el 63% del total del área de estudio. En general los valores bajos de evapotranspiración dominan el área de estudio, esto principalmente por la gran presencia de plantas en el ecosistema de alta montaña estudiado, lo que garantiza el retorno de agua a la atmósfera, la cual determina la gran oferta hídrica que ofrecen estos ecosistemas (Valencia-Leguizamón y Tobón, 2017); además las precipitaciones más altas se dan en la zona este de la reserva en las que bajo condiciones de saturación de humedad del suelo, la vegetación transpira menos, aunque las condiciones atmosféricas sean

óptimas para inducir este proceso lo cual, determina bajas pérdidas de agua del sistema, a través de evapotranspiración (Cárdenas, y Conrado-Tobón, 2017).

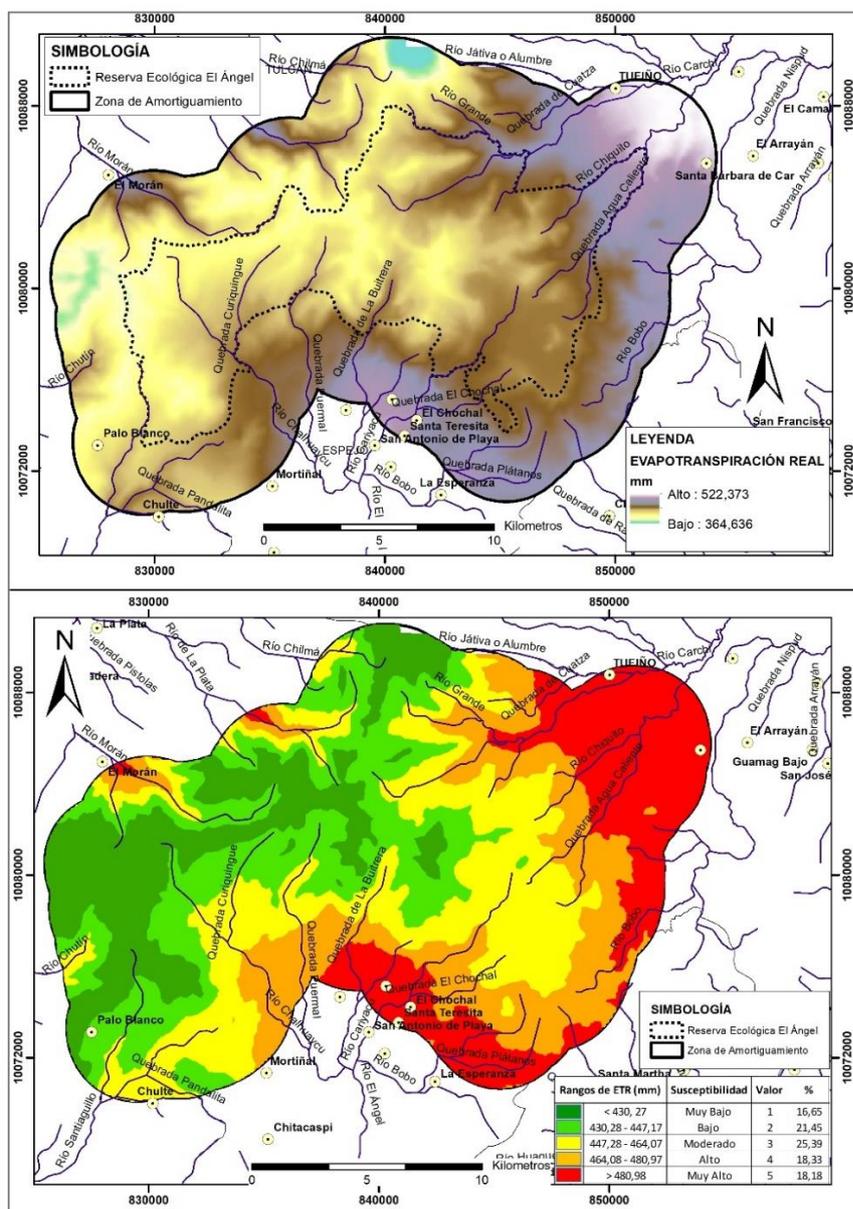


Figura 6. Evapotranspiración real y rangos de susceptibilidad a incendios

4. Velocidad del viento

En el área de estudio se identificaron velocidades del viento que van desde los 2 m/s hasta los 10 m/s (Figura 7). Los valores de velocidad del viento más altos predominan en el sector norte y este del área de estudio ocupando el 24% del total de la superficie que corresponden a los niveles de susceptibilidad alto y muy alto. Diversos estudios afirman que la ocurrencia de incendios está directamente

relacionada con valores altos de velocidad del viento ya que el viento es un elemento del clima que influye directamente sobre la vegetación al disminuir significativamente el contenido de humedad favoreciendo la deshidratación de la vegetación la cual incide como combustible vegetal facilitando la propagación e intensificación de incendios (López-Moctezuma, Rodríguez-Trejo, Cortés, Sereno-Chávez y Granados-Sánchez, 2015; Ramos et al., 2017; Rodríguez, 2014; Valencia y Tobón, 2017;). Las zonas con muy baja y baja susceptibilidad de incendios ocupan el 25 % de la superficie con valores menores a los 3 m/s que se distribuyen principalmente al este y nor-oeste de reserva ecológica y zona de amortiguamiento.

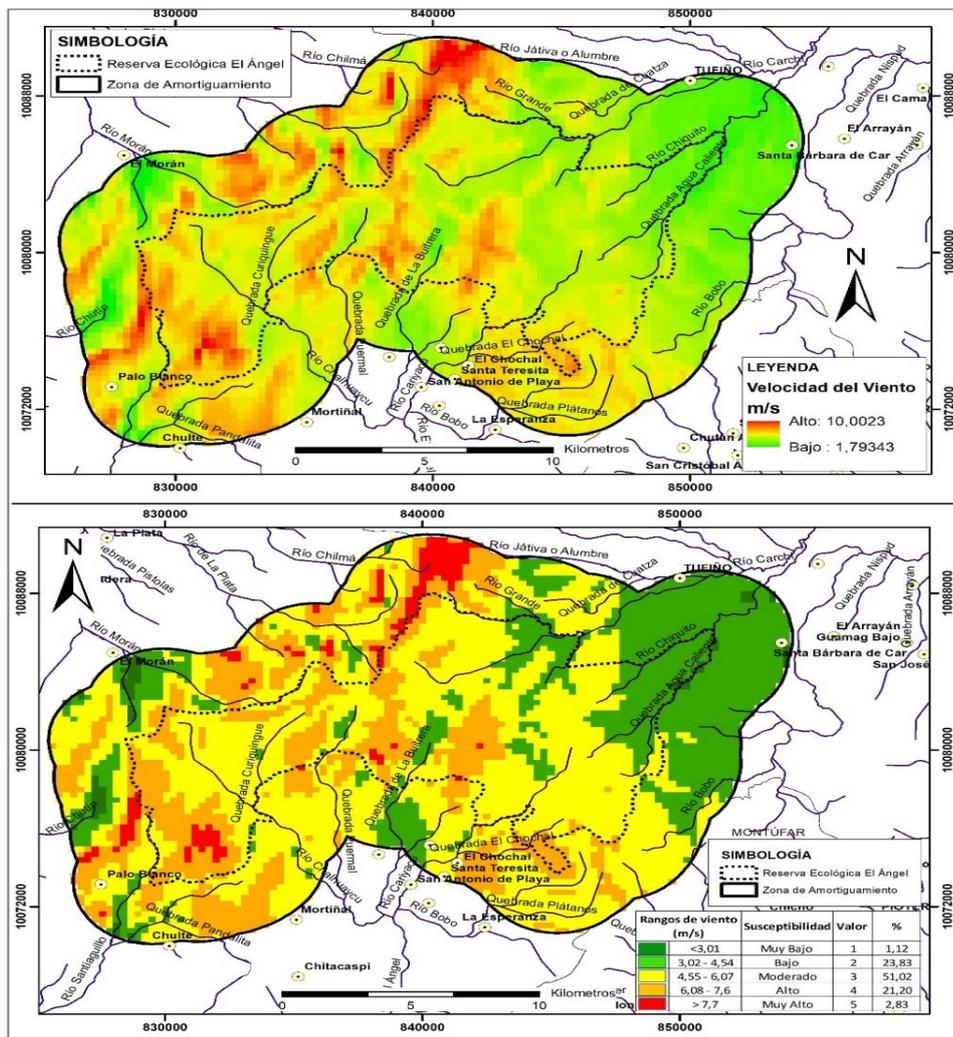


Figura 7. Valores de Velocidad del viento y susceptibilidad a incendios de la REEA y zona de amortiguamiento

3.2.2 Factores Topográficos

Los factores topográficos que inciden en la ocurrencia de incendios de cobertura vegetal son pendientes, orientación del terreno, cobertura vegetal y cercanía a las vías los cuales se describen a continuación:

1. Pendientes

En el área de estudio existen pendientes que van desde el 15% al 45%. Las pendientes son un factor muy importante en la ocurrencia de incendios ya que facilitan su propagación hacia arriba de la pendiente debido a la transferencia de calor por la continuidad vertical de la vegetación y su proximidad a los combustibles vegetales (Diniz-Aguiar, Fleury de Mello Santos, Trondoli-Matricardi y Batista, 2015; Jiménez, Urrego y Toro, 2016). En este sentido, al existir una relación directa entre la velocidad de propagación con respecto a la pendiente (Simental-Ávila y García-Pompa, 2016), los rangos de susceptibilidad y ponderación se tomaron en cuenta asumiendo que el incremento en el porcentaje de inclinación del terreno incrementa la ocurrencia de incendios (Figura 8).

Las zonas que presentan pendientes más pronunciadas se distribuyen al nor-oeste y oeste ocupando en total un 17% de la superficie que corresponden a la susceptibilidad alta y muy alta, mientras que las áreas con susceptibilidad muy baja y baja ocupan un 63% de la superficie y se encuentran distribuidas al este del área de estudio. La mayoría de la superficie de la Reserva Ecológica El Ángel presenta una susceptibilidad a incendios muy baja y baja esto debido a la presencia de pendientes menores a 10 % que son clasificadas como pendientes moderadamente inclinadas, ligeramente planas y planas. Diversos estudios confirman que, el desarrollo del fuego se produce con menor velocidad en los terrenos con características planas que en las áreas con pendientes ya que el movimiento de la columna de convección y la transmisión del fuego es más lento en una superficie plana (Aiji, Loghin, Vinod y Jacob, 2017; Jiménez, Urrego y Toro, 2016).

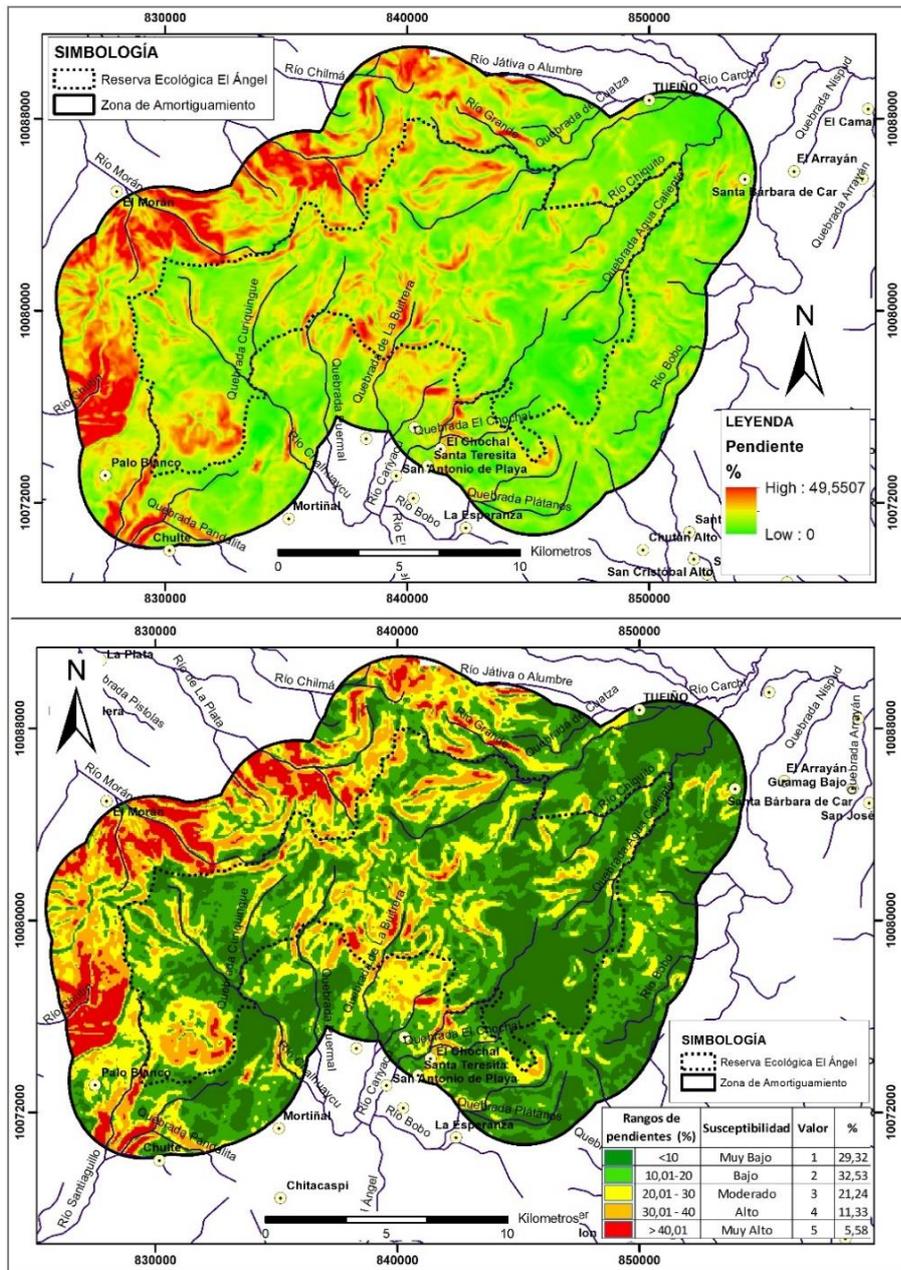


Figura 8. Clasificación de las pendientes y susceptibilidad a incendios de la REEA y zona de amortiguamiento

2. Orientación del terreno

La orientación del terreno influye en la ocurrencia de incendios de cobertura vegetal por la incidencia de la intensidad de la radiación solar sobre el terreno, lo cual genera una relación con la cantidad de radiación solar que reciben los combustibles y se manifiesta en la humedad del ambiente y en el contenido de humedad de estos materiales (Vilchis et al., 2015). En el área de estudio los rangos de susceptibilidad

y ponderaciones se realizó en base al histórico de incendios registrados para la Reserva Ecológica El Ángel desde el año 2014 a junio del 2019, en las que el 82% del total de incendios se presentaron en las orientaciones sur-este, sur-oeste, sur y este, las cuales se clasificaron con susceptibilidad alta y muy alta ocupando el 58% del total del área de estudio (Figura 9). Según Omena, Araki, Schimalski, Hiroshi, y Silva-Santos (2016) para el hemisferio sur las orientaciones que mayormente están expuestas a altas irradiaciones solares son hacia el este lo que nos permite establecer la relación de la ocurrencia de la mayoría de incendios sobre estas orientaciones.

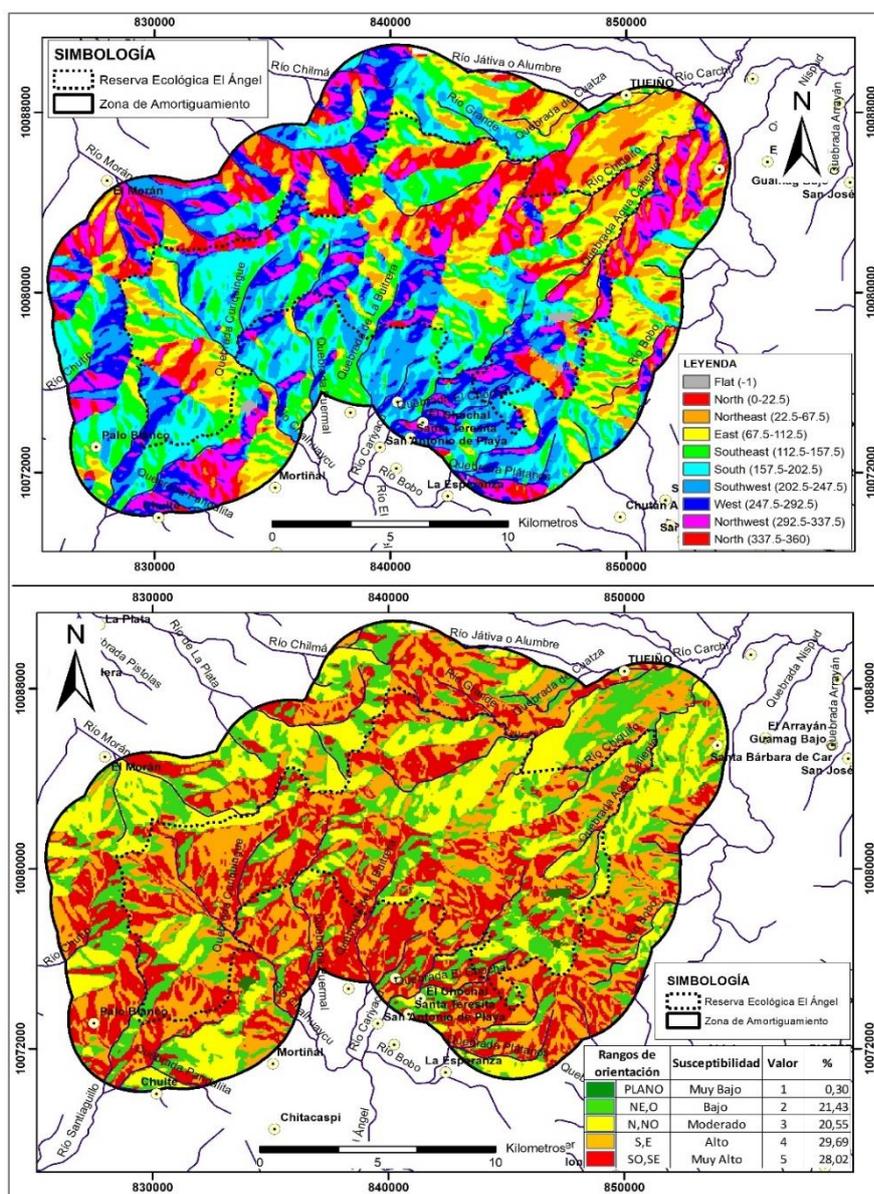


Figura 9. Orientación del terreno y clasificación de la susceptibilidad a incendios

3. Cercanía a las vías

En el área de estudio el 89 % del total de la superficie estudiada presentó la categoría de susceptibilidad muy baja (Figura 10), esto principalmente por el escaso desarrollo vial que presenta el área de estudio. Si bien algunos estudios consideran que el factor cercanía a las vías está relacionado con el aumento de incidencia de incendios forestales debido principalmente a actividades antrópicas (Coelho et al., 2016; Flores-Garnica, Benavides-Solorio, Valdez-Ramírez, Vega-Montes de Oca y Casillas-Díaz, 2016) en el área de estudio la presencia de redes viales es escasa por lo que la susceptibilidad disminuye, de esta manera la susceptibilidad con categoría muy alta y alta ocupan el 6% del total de la superficie estudiada.

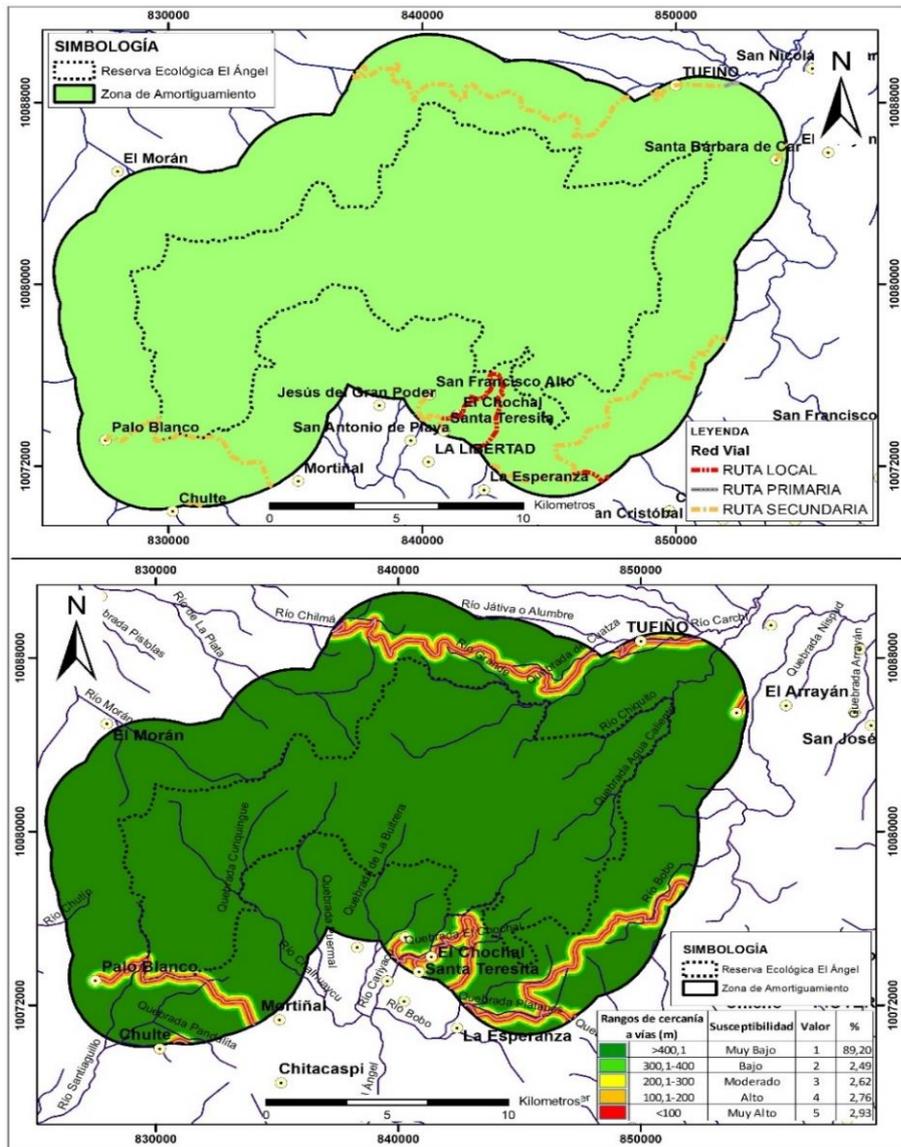


Figura 10. Cercanía a las vías y rangos de susceptibilidad a incendios

4. Cobertura Vegetal

Como resultado de la clasificación supervisada de la imagen se obtuvo un valor del coeficiente Kappa de 0,61 el cual está considerado con un grado de concordancia considerable para la clasificación de la imagen del área de estudio. El factor cobertura vegetal es considerado determinante al momento de evaluar los incendios de cobertura vegetal ya que comprende el principal material vegetal vivo o muerto que puede entrar en combustión al aplicarse calor; las características de propagación e intensidad de los incendios de cobertura vegetal dependen de la disponibilidad del material vegetativo combustible sobre el terreno y la humedad, así como también de su fenología y manejo (Morfin-Ríos, Jardel, Alvarado y Michel-Fuentes, 2012; Ocampo-Zuleta y Beltrán-Vargas, 2018; Parra, 2011).

Para el área de estudio la cobertura y uso del suelo que presenta una susceptibilidad alta y muy alta está dada principalmente en la categoría áreas intervenidas, páramo herbáceo y páramo de frailejón que se distribuye en casi el 70 % del total del área de estudio (Figura 11). En este sentido los factores determinantes de la susceptibilidad alta y muy alta están dados principalmente por las características del combustible. La vegetación herbácea es considerada como un combustible de rápida ignición debido a su bajo contenido de humedad y poca área foliar, lo que hace que el control del fuego sea más difícil, ya que la cobertura se quema más rápido y el impacto en términos de áreas afectadas es mayor, mientras el páramo de frailejón por sus características de contenido de humedad alto, su ignición es más lenta pero su duración para quemarse es mayor, por el tiempo que emplea para que el contenido de humedad se equilibre con la humedad del aire. (Carrera-Yandún y Guachi-Arque, 2018; Morfin-Ríos et al., 2012; Parra, 2011)

El área de estudio está también condicionada por las variables climatológicas las cuales condicionan las características de humedad de la vegetación haciéndolas más susceptibles en las épocas donde los niveles de precipitación son muy bajos o escasos (Jiménez, Urrego y Toro, 2016).

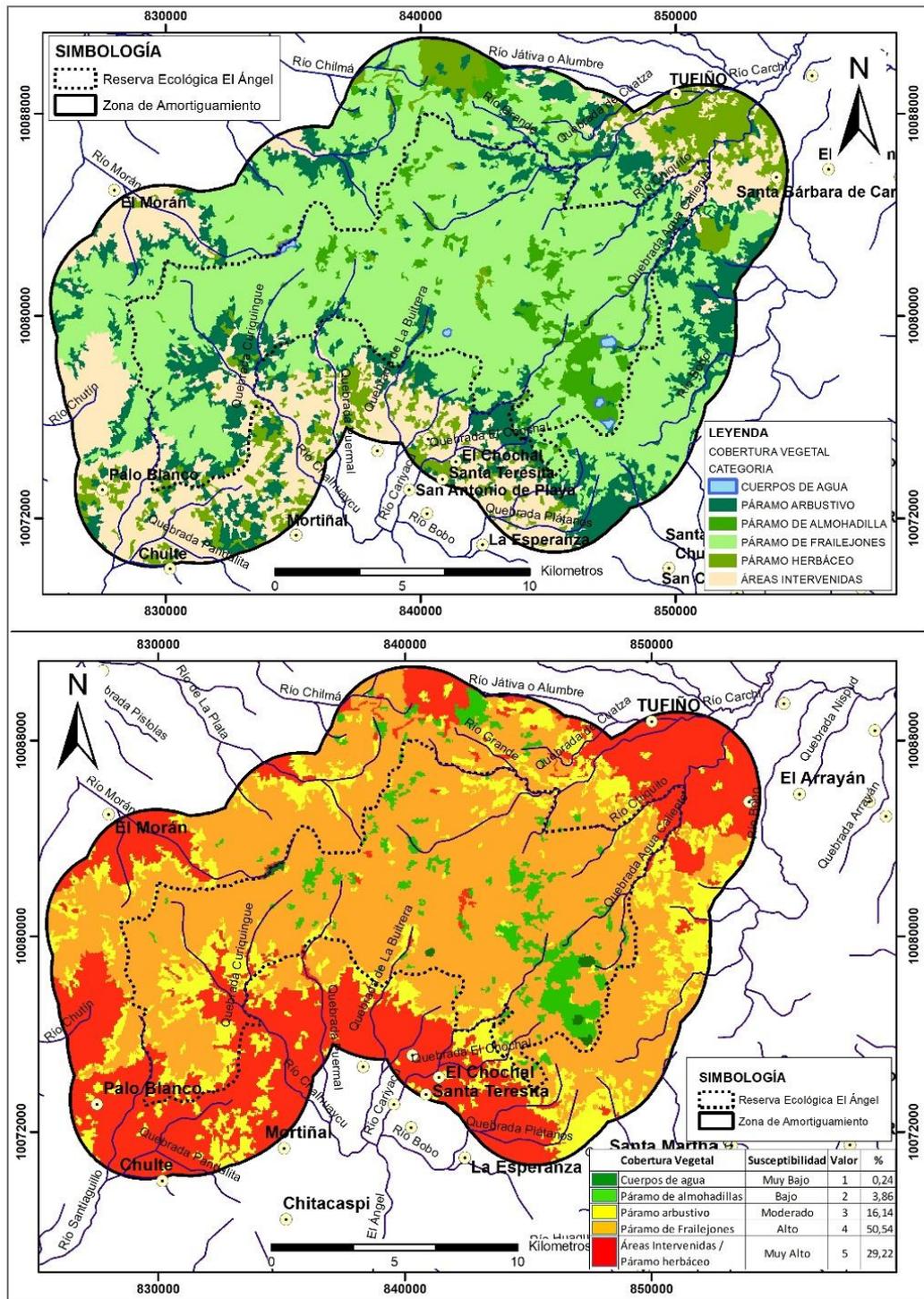


Figura 11. Clasificación de la cobertura vegetal y susceptibilidad a incendios

Tanto las variables climáticas como topográficas son factores que influyen en la susceptibilidad a incendios, la cual depende de la relación entre las condiciones climáticas y la funcionalidad del ecosistema, por lo tanto, es de vital importancia

identificar las áreas con mayor nivel de susceptibilidad para establecer las medidas necesarias de prevención, mitigación y respuesta ante la ocurrencia de incendios de cobertura vegetal (Ramos et al., 2017; Simental-Ávila y Pompa-García, 2016).

3.3. Zonificación del territorio de la REEA y zona de amortiguamiento en zonas de susceptibilidad a incendios muy alta, alta, moderada, baja y muy baja.

Una vez aplicado el método desarrollado por Saaty (1992), se obtuvieron las ponderaciones para cada uno de los factores que inciden en la susceptibilidad a incendios (Tabla 9), en la que se considera de mayor importancia al factor cobertura vegetal, con una ponderación de 0,2325. A partir del factor cobertura vegetal los valores de ponderación van disminuyendo, considerando de esta manera a los índices bajos como los factores que menor influencia tienen sobre el área de estudio ante la ocurrencia de incendios, siendo el de menor influencia el factor orientación del terreno, con un valor de 0,0587. El comportamiento del factor cobertura vegetal es fundamental ya que comprende el principal material generador de fuego, por la facilidad que presentan para iniciar la ignición y propagación. (Jiménez, Urrego y Toro, 2016; Morfin-Ríos et al., 2012; Páramo, 2011)

Tabla 9. Ponderación de los factores que inciden en la susceptibilidad a incendios de cobertura vegetal.

FACTORES	PONDERACIÓN
Cobertura vegetal	0,2325
Pendiente	0,2050
Precipitación	0,1772
Temperatura	0,1037
Velocidad del Viento	0,0799
Cercanía a las vías	0,0790
Evapotranspiración	0,0640
Orientación del terreno	0,0587

El modelo de la susceptibilidad a incendios de cobertura vegetal de la Reserva Ecológica el Ángel y zona de amortiguamiento en el que se consideró los 8 factores antes mencionados y en los que se priorizó el factor cobertura vegetal, se evidencia que la superficie presenta susceptibilidad alta con un 39,33%, muy alta con un 29,35% y moderada con un 21,02% principalmente distribuidas en el oeste y centro del área de estudio, mientras que las zonas con susceptibilidad muy baja y baja ocupan el un porcentaje menor de la superficie con un 10% distribuido principalmente el área este de la reserva ecológica el Ángel y zona de amortiguamiento. En este sentido el área de estudio está dominada por la susceptibilidad alta y muy alta que ocupa el 68 % de la superficie.

En la ecuación usada para realizar la susceptibilidad del área de estudio los factores climáticos también presentan una influencia considerable en la ocurrencia de incendios ya que las variables climáticas están relacionadas con las características intrínsecas de la vegetación al provocar variaciones fisiológicas y fenológicas en su estado, y por ende generan variabilidad espacial, temporal y estacional de los combustibles vegetales que las hacen más o menos propensas a los incendios (Díaz-Hormazábal y González, 2016; Jiménez, Urrego y Toro, 2016; Ramos et al., 2017; Simental-Ávila y Pompa-García, 2016)

Validación del modelo de susceptibilidad de la REEA

Para comprobar la validez y confiabilidad del modelo se procede a superponer los focos de calor descargados del Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales (INPE) con el modelo de zonificación de la Reserva ecológica El Ángel y zona de amortiguamiento, lo cual permitió evidenciar que el 79,28 % de los focos de calor coinciden con la susceptibilidad alta y muy alta, mientras para la susceptibilidad baja no muestra ninguna coincidencia (Tabla 10), con esto se puede asegurar que el modelo de susceptibilidad establecido se adaptó a el área de estudio.

Tabla 10. Coincidencia de focos de calor con el área de estudio.

Susceptibilidad	Focos de calor	Porcentaje (%)
1	0	0,00
2	8	4,15
3	32	16,58
4	70	36,27
5	83	43,01
Total	195	100

Tanto factores topográficos como climáticos relacionados en el presente estudio afectan la susceptibilidad a incendios en grados diferentes. La cobertura vegetal y las condiciones climáticas indican las características de inflamabilidad duración e intensidad del fuego sobre la superficie, así como diferencias del contenido de humedad entre los materiales combustibles, la pendiente está asociada a la velocidad y dirección de propagación mientras que la orientación del terreno indica indirectamente el contenido de humedad del material combustible y afecta también la tasa de propagación de los incendios. Los vientos fuertes indican las direcciones de mayor probabilidad de propagación, Por lo tanto, no es adecuado considerar que presenten la misma importancia, pero si su relación ante la ocurrencia de incendios (Carrasco et al., 2017; Coelho et al., 2016; Jiménez, Urrego y Toro, 2016; Morfin-Ríos et al., 2012; Ocampo y Beltrán, 2018; Ojeda, 2017; Quiroga, 2015; Ramos et al., 2017; Xelhuantzi-Carmona et al., 2011)

Análisis estadístico del modelo de zonificación

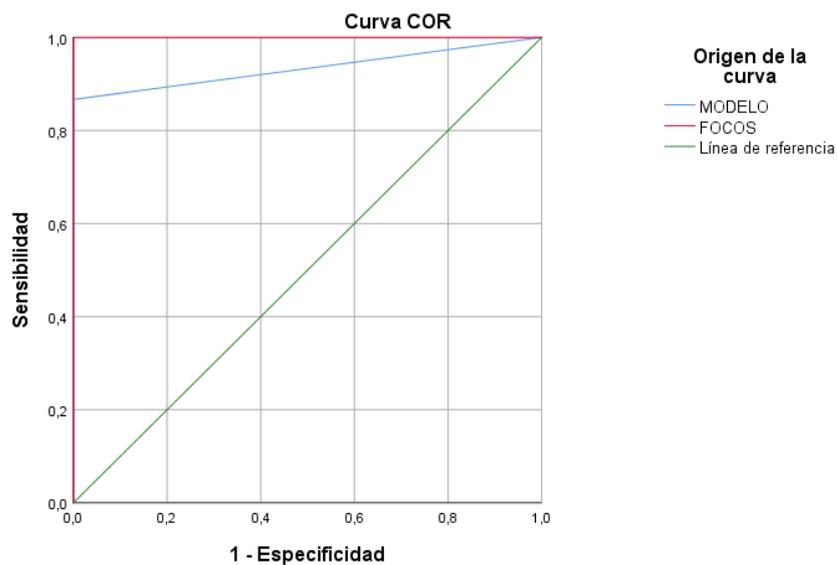
La prueba de chi-cuadrado que se aplicó al modelo de zonificación de la reserva Ecológica El Ángel y zona de amortiguamiento mostró una significancia de X^2 de Pearson de 0,012 (Tabla 11), lo que permitió comprobar la asociación de los focos de calor con el modelo de susceptibilidad propuesto, aceptando de esta manera la hipótesis alternativa la cual establece que existen semejanzas entre el modelo obtenido y los focos de calor y se rechaza la hipótesis nula. Con esto podemos comprobar la asociación que existe ente los resultados encontrados (modelo) con los esperados (focos de calor).

Tabla 11. Prueba de Chi-cuadrado

	Valor	df	Significancia asintótica (bilateral)	Significancia exacta (bilateral)	Significancia exacta (unilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	6,291 ^a	1	0,012		
Corrección de continuidad ^b	1,110	1	0,292		
Razón de verosimilitud	3,997	1	0,046		
Prueba exacta de Fisher				0,138	0,138
Asociación lineal por lineal	6,259	1	0,012		
N de casos válidos	196				

Curva ROC

El valor obtenido en el análisis de la curva ROC permite seleccionar los modelos posiblemente óptimos y descartar modelos subóptimos, en este sentido el área bajo la curva mostro un valor de 0,850 (Figura 13) es decir se acerca a una prueba perfecta por lo que el modelo de zonificación a Incendios es considerado como un modelo posiblemente óptimo.



Los segmentos de diagonal se generan mediante empates.

Figura 13. Modelo - Focos de Calor

PROPUESTA

Diseño de una propuesta con estrategias de riesgo de incendio de cobertura vegetal para la Reserva Ecológica El Ángel:

Estrategia 1. Capacitación y conformación de Brigadas de Emergencia para dar una respuesta oportuna ante eventos de Incendios.

Ubicación: Poblados cercanos a la zona de amortiguamiento (Figura 14).

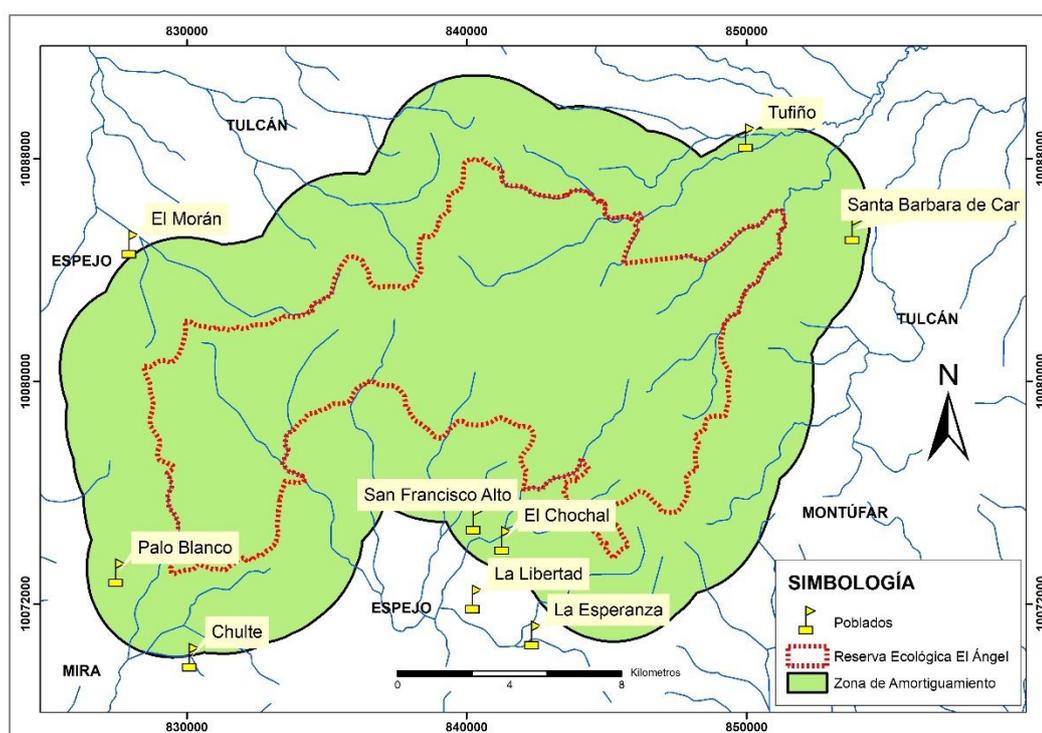


Figura 14. Poblados seleccionados para la conformación de brigadas de emergencia

Justificación: El personal capacitado para brindar respuesta ante cualquier evento de incendio es fundamental, porque son aquellos que brindan apoyo al cuerpo de Bomberos. De esta manera la capacitación a personas de la localidad permitirá dar una respuesta oportuna y adecuada al momento de combatir este tipo de sucesos, y de esta manera se evita tener mayor afectación o pérdidas dentro de la reserva.

Objetivo General:

Conformar brigadas comunitarias debidamente entrenadas para brindar una respuesta oportuna y adecuada ante cualquier emergencia de incendios.

Meta: Establecer brigadas comunitarias organizadas y capacitadas para brindar apoyo en cualquier evento de incendios dentro de la Reserva Ecológica El Ángel (Tabla 12).

Tabla 12. Capacitación y conformación de brigadas de emergencia.

Actividades	Indicadores	Medios de verificación	de Alcance	Responsables
Convocatoria para conformación de brigadas comunitarias	Número de asistentes a la convocatoria	Hojas de registro de asistentes. Registro fotográfico	Conformar equipos diversos que cuenten con personas que brinden apoyo al momento de actuar en un incendio	Ministerio del Ambiente Autoridades de la Reserva Ecológica El Ángel. Cuerpo de Bomberos de los cantones Espejo, Mira y Tulcán.
Capacitación constante a las brigadas	Número de personas que asisten a las capacitaciones	Hojas de registro de los asistentes Registro fotográfico	Brigadas con una capacidad de respuesta oportuna en un incendio.	Ministerio del Ambiente Autoridades de la Reserva Ecológica El Ángel. Bomberos de los cantones Espejo, Mira y Tulcán.
Simulacros ante incendios	Número de personas que participen en el simulacro	Hojas de asistencia de los participantes Registro fotográfico Tiempo de llegada al lugar del incendio.	Evaluar la capacidad de respuesta que tiene cada una de las brigadas ante un incendio y de esta manera mejorar las falencias.	Autoridades de la Reserva Ecológica El Ángel. Bomberos de los cantones Espejo, Mira y Tulcán.

Estrategia 2. Implementación de torres de vigilancia en zonas con riesgo alto y muy alto.

Ubicación: Zonas identificadas con alto y muy alto susceptibilidad a Incendios ubicadas principalmente en el cantón Espejo y en el cantón Tulcán (Tabla 13).

Tabla 13. Ubicación torres de control

TORRES	Coordenada x	Coordenada Y
TORRE 1: Tulcán	841562	10089545
TORRE 2: Espejo	841371	10077612
TORRE 3: Espejo	831434	10075289
TORRE 4: Espejo	845689	10074115

La construcción de las torres de control se debe realizar en cuatro lugares establecidos con el fin de cubrir la mayor superficie susceptible a incendios (Figura 15).

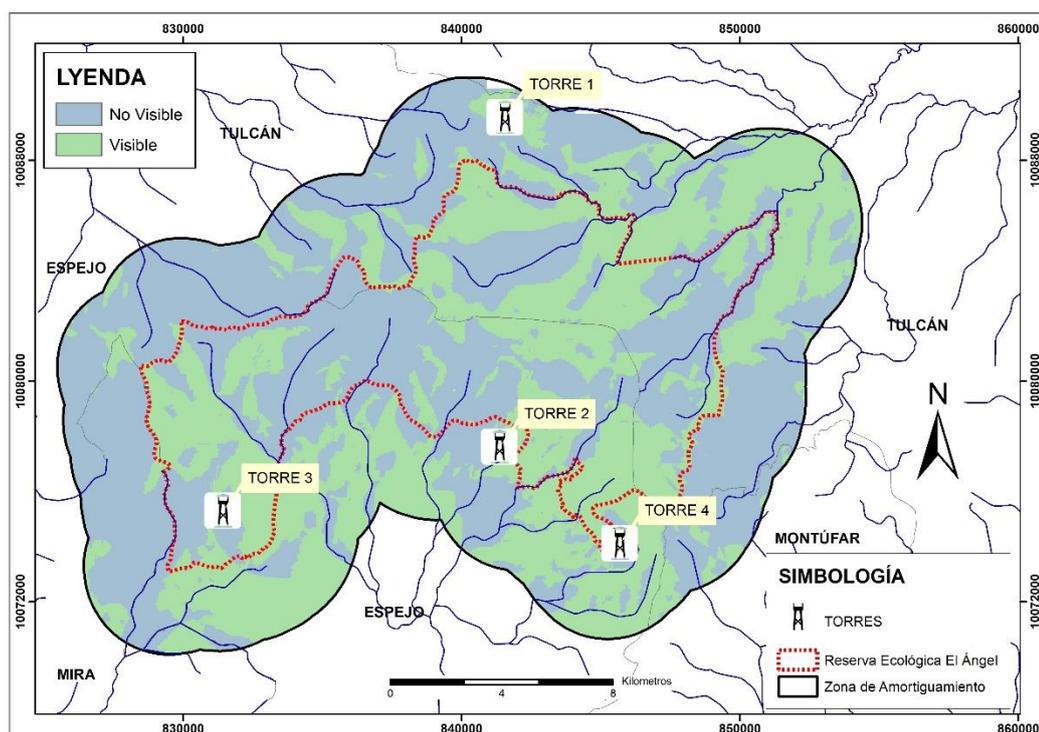


Figura 15. Ubicación torres de control

Justificación: A pesar de que la Reserva cuenta con guardabosques comunitarios, no pueden cubrir toda la superficie, en especial las áreas con mayor susceptibilidad a incendios. Por esta razón es recomendable instalar torres de control a 10 metros de altura, porque con esta altura se cubre la mayoría de las áreas susceptibles.

Objetivo General:

Instalar torres de control en la Reserva Ecológica El Ángel, para mantener un monitoreo constante en las zonas de riesgo alto y muy alto.

Meta: Detectar y alertar de conatos de incendios en un momento oportuno, para de esta manera tener una respuesta oportuna y evitar afectaciones mayores al ambiente (Tabla 14).

Tabla 14. Torres de Control

Actividades	Indicadores	Medios de verificación	Alcance	Responsables
<p>Detectar los lugares estratégicos para la instalación de las torres de control.</p> <p>Construcción y equipamiento de las torres de control y vigilancia.</p>	<p>Puntos GPS para la instalación de las torres de control.</p> <p>Presupuesto para la construcción de las torres de control</p>	<p>Registro fotográfico</p> <p>Facturas de los materiales para cada una de las torres</p>	<p>Disminuir o eliminar la ocurrencia de eventos de incendios en la Reserva Ecológica El Ángel, a través del control y vigilancia de las áreas de alto y muy alto riesgo.</p>	<p>Autoridades de la Reserva Ecológica El Ángel.</p> <p>Cuerpo de Bomberos del Cantón Espejo y Tulcán</p>

respuesta oportuna a este tipo de eventos, para disminuir el impacto y la pérdida de cobertura vegetal (Tabla 15).

Tabla 15. Identificación de rutas de acceso más rápidas

Actividades	Indicadores	Medios de verificación	Alcance	Responsables
Identificación de zonas con alta y muy alta susceptibilidad a incendios.	Superficie en hectáreas que tienen susceptibilidad alta y muy alta a incendios	Mapa de la REEA zonificado, con áreas susceptibles a incendios	Tener identificadas las zonas con mayor probabilidad de ocurrir un incendio.	Autoridades de la Reserva Ecológica El Ángel. Cuerpo de Bomberos del Cantón Espejo, Tulcán y Mira.
Establecimiento de rutas de accesos rápido a áreas susceptibles a incendios.	Puntos georreferenciados de las rutas de acceso	Registro fotográfico y geoespacial	Conocer los accesos a seguir hacia las áreas con mayor susceptibilidad a incendios, para rápido acceso por parte del cuerpo de bomberos y guardabosques	Autoridades de la Reserva Ecológica El Ángel. Cuerpo de Bomberos del Cantón Espejo, Tulcán y Mira.
Actualización de cartografía con rutas de rápido y fácil acceso a zonas de alta susceptibilidad a incendios.	Mapa de la Reserva debidamente identificadas las rutas de rápido acceso.	Cartografía impresa Registro fotográfico	Dar a conocer a los interesados y responsables ante un posible incendio, las rutas que deben tomar en cuenta para acceder.	Autoridades de la Reserva Ecológica El Ángel. Cuerpo de Bomberos del Cantón Espejo, Tulcán y Mira.

Estrategia 4. Implementar un sistema de monitoreo y alerta de quemas controladas.

Ubicación: Principales estaciones de bomberos de los cantones Espejo, Mira y Tulcán (Figura 17).



Figura 17. Monitoreo y alertas de quemas

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

Establecer monitoreos para las quemas agrícolas permite tener control de esta actividad, la cual debe ser coordinada con el cuerpo de bomberos del cantón quienes monitorearán y facilitarán las recomendaciones para las personas que realizan esta técnica de aclareo de tierras en las zonas cercanas a la Reserva, para evitar la propagación del fuego.

Objetivo General:

Establecer un plan para el control y el manejo adecuado de las quemas agrícolas en la zona de amortiguamiento y en terrenos cercanos a la Reserva.

Meta: Concientizar a las personas que usan el fuego en la agricultura, para que tengan en cuenta las medidas y técnicas adecuadas al momento de realizar estas quemadas agrícolas (Tabla 16).

Tabla 16. Alertas y monitoreos de quemadas controladas

Actividades	Indicadores	Medios de verificación	de Alcance	Responsables
Socialización de la zonificación de áreas susceptibles a incendios en la Reserva Ecológica El Ángel.	Número de asistentes a la socialización	Hojas de registro asistentes Registro fotográfico	de Dar a conocer las zonas de alta y muy alta susceptibilidad dentro de la Reserva.	Directivos de la REEA. Cuerpo de Bomberos Comunidad Universitaria
Elaboración de un manual para las quemadas agrícolas controladas.	Número de colaboradores para la elaboración del manual	Hojas de registro asistentes Registro fotográfico	de Poseer los lineamientos básicos para las quemadas agrícolas controladas	Directivos de la REEA. Cuerpo de Bomberos
Capacitación a cerca de las quemadas controladas a los agricultores de terrenos aledaños a la Reserva	Número de personas que asisten a la capacitación	Hojas de registro asistentes Registro fotográfico	de Conocimientos acerca del adecuado uso del fuego en las actividades agrícolas.	Directivos de la REEA. Cuerpo de Bomberos
Dar charlas acerca de la normativa ambiental y las sanciones establecidas a los pirómanos	Número de asistentes	Hojas de registro asistentes Registro fotográfico	de Dar a conocer las sanciones aquellos que ocasionen incendios con o sin intención.	Ministerio del Ambiente Directivos de la REEA. Cuerpo de Bomberos

Estrategia 5. Educación ambiental enfocada a los pobladores de la zona de amortiguamiento con énfasis en manejo del fuego como una herramienta.

Ubicación: Principales poblados cercanos a las zonas con susceptibilidad alta y muy alta (Figura 18)

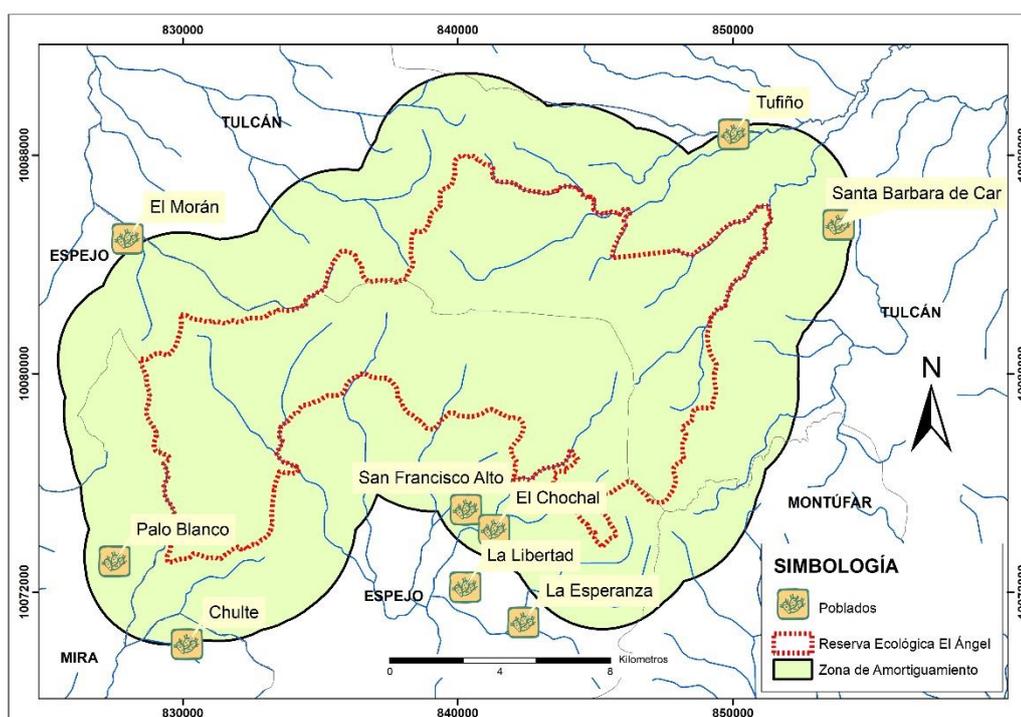


Figura 18. Educación ambiental

Justificación: La educación ambiental es una herramienta básica para generar hábitos en las personas y de esta manera llegar a la sostenibilidad. Los agricultores no poseen los conocimientos básicos acerca de las consecuencias que genera un incendio en un ecosistema. Como es el páramo de frailejones, el cual es vital para obtener el recurso agua, que abastece a diversos cantones como Espejo y Mira.

Objetivo General:

Concientizar a la población de la zona de amortiguamiento acerca del manejo adecuado del fuego.

Meta: Educar a la población acerca del cuidado de los recursos naturales y el uso correcto del fuego en las diversas actividades y de esta manera disminuir la pérdida de cobertura vegetal y degradación de los diversos ecosistemas (Tabla 17).

Tabla 17. Educación ambiental

Actividades	Indicadores	Medios de verificación	Alcance	Responsables
Socializar los resultados de la presente investigación, para conocer las áreas de alta y muy alta susceptibilidad al fuego.	Número de personas que asisten a la socialización	Registro de asistentes Registro fotográfico	Conocer las zonas con alta y muy alta susceptibilidad para tomar las medidas necesarias y evitar la generación de incendios Educar a los pobladores acerca del uso adecuado del fuego y las consecuencias negativas que para los ecosistemas.	Directivos de la REEA. Cuerpo de Bomberos Comunidad Universitaria
Dar charlas de educación ambiental y manejo adecuado del fuego.	Número de personas que asisten a las charlas de educación ambiental	Registro de asistentes Registro fotográfico	Conocer las zonas con alta y muy alta susceptibilidad para tomar las medidas necesarias y evitar la generación de incendios Educar a los pobladores acerca del uso adecuado del fuego y las consecuencias negativas que para los ecosistemas.	Directivos de la REEA. Cuerpo de Bomberos

CAPÍTULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- La susceptibilidad a incendios en la Reserva ecológica el Ángel está determinada por los factores climáticos precipitación, evapotranspiración, temperatura, velocidad del viento y factores topográficos pendiente, orientación del terreno, cercanía a las vías, cobertura vegetal.
- Los factores que presentaron mayor ponderación son la cobertura vegetal, la precipitación, temperatura, la pendiente y la velocidad del viento; la cobertura vegetal porque determina la ignición, la precipitación y la temperatura son los factores condicionantes de la fenología y fisiología de la vegetación, la pendiente y la velocidad del viento inciden en la velocidad de propagación e intensidad de los incendios de cobertura vegetal.
- La Reserva Ecológica El Ángel y zona de amortiguamiento presentó susceptibilidad al fuego en el 68% de su superficie, de los cuales el 21,02% (8771,4 ha) corresponde a la susceptibilidad moderada, en la que predominó la cobertura páramo arbustivo; con susceptibilidad alta se presentó en el 39,33% (16411,6 ha) que está cubierto por páramo de frailejón y con muy alta susceptibilidad se presentó en el 29,35% (12244,1 ha) en la que la superficie está cubierta por pajonal y áreas intervenidas.
- El valor de significancia de Pearson (0,012) permitió comprobar la asociación de los focos de calor, con el modelo de susceptibilidad propuesto, de este modo la hipótesis alternativa es aceptada por lo que se asegura que existe una relación entre el modelo obtenido y los focos de calor.

4.2. Recomendaciones

- La fiabilidad del modelo es aceptable, es decir que la metodología usada en el presente estudio tiene una total funcionalidad, por lo que se recomienda aplicar la metodología en otras zonas que presenten problemas continuos de incendios.
- Se recomienda a las autoridades de la Reserva Ecológica El Ángel tomar en cuenta las estrategias planteadas en la presente investigación, con el fin de prevenir y proteger la biodiversidad de la reserva y evitar futuros daños al ecosistema.
- Socializar los resultados con los pobladores del área de estudio y dirigentes de los GADS municipales de los cantones que conforman la reserva ecológica El Ángel, para tomar las medidas necesarias de prevención y reducción de los efectos causados por incendios de cobertura vegetal.
- La reserva ecológica El Ángel es una de las principales fuentes hídricas para la provincia de Carchi, por lo que la población debería sensibilizarse en el cuidado de este ecosistema

REFERENCIAS

- Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional. (2006). *Operaciones de Prevención y Control de Incendios Forestales*. Recuperado de <https://scms.usaid.gov/>
- Aguilera, M. (2015). *El régimen jurídico de los incendios forestales*. doi: 10.17345/9788484243434
- Baldin, N. y Munhoz, E. (2011). *Snowball (Bola de Neve): Uma Técnica Metodológica para Pesquisa em Educação Ambiental Comunitária*. Curitiba, Brasil: Pontifícia Universidad Católica Do Paraná.
- Borràs, J., Delegido, J., Pezzola, A., Pereira, M., Morassi, G., Campos-Valls, G. (2017). Clasificación de usos del suelo a partir de imágenes Sentinel-2. *Revista de Teledetección*, 48, 55-66. doi.org/10.4995/raet.2017.7133
- Capó, M. y Drane, J., (2014) Planteamientos Bioéticos del Medio Ambiente. *Bioethikos*, 8(1):46-52.
- Cárdenas, M. y Conrado-Tobón, C. (2017). Recuperación del funcionamiento hidrológico de ecosistemas de páramo en Colombia. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 20(2): 403-412.
- Carrasco, Y., Ramos, M., Batista, A., Martínez, L., y Tetto, A. (2017). Diseño de un índice de peligro de incendio forestal para a provincia Pinar del Río, Cuba. *Floresta*, 47(1), 65-74. doi: 10.5380/rf.v47i1.47652
- Carrera-Yandún, A. y Guachi-Arque, S. (2018). *Evaluación de carbono fijo en páramo andino mediante la estimación de biomasa en la reserva Sabia Esperanza* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Castillo, M., Pedernera, P. y Peña, E. (2003). Incendios forestales y medio ambiente: una síntesis global. *Ambiente y desarrollo de CIPMA*, 19(3y4), 44-53.
- Chuvieco, E. (2008). *Earth observation of global change: The role of satellite remote sensing in monitoring the global environment*. doi: 10.1007/978-1-4020-6358-9
- Coelho, Rosa dos Santos, Fiedler, Assunção, Gomes, Banhos, Gaburro, Schettino, (2016), Applying GIS to develop a model for forest fire risk: A case study

- in Espírito Santo, Brazil. *Journal of Environmental Management*, 173(20), 65-71.
- Constitución de la república del Ecuador. (2008). Registro Oficial, 449 (20 de Octubre de 2008).
- Cruz, M., Rodríguez, D., Villanueva, A., y Santillán, J. (2017). Factores sociales de uso del suelo y vegetación asociados a los incendios forestales en Hidalgo. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 8(41), 139-163.
- Díaz, G., Sánchez, I., Quiroz, R., Garatuza, J., Watts, C., y Cruz, R. (2008). Interpolación espacial de la precipitación pluvial en la zona de Barlovento y Sotavento del Golfo de México. *Agricultura Técnica en México*, 34(3)279-287.
- Díaz-Hormazábal, I. y González, M. (2016). Análisis espacio-temporal de incendios forestales en la región del Maule, Chile. *Bosque* 37(1): 147-158. doi: 10.4067/S0717-92002016000100014
- Diniz-Aguiar, R., Fleury de Mello Santos, L., Trondoli-Matricardi, F. y Batista, I. (2015). Zoneamento de risco de incêndios florestais no parque nacional da Chapada Dos Veadeiros – Go. *Centro Científico Conhecer* 11(2).
- Flores-Garnica, J., Benavides-Solorio, J., Valdez-Ramírez, C., Vega-Montes de Oca, D. y Casillas-Díaz, U. (2016). Descripción de variables para definición de riesgo de incendios forestales en México. Folleto Técnico. Núm. 1. INIFAP-CIRPAC. Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco, México. 61 p
- Gutiérrez, G., Orozco, M., Ordóñez, J., Díaz, B. y Camacho, J. (2015). Régimen y distribución de los incendios forestales en el Estado de México (2000 a 2011). *Revista mexicana de ciencias forestales*, 6(29), 92-107.
- Hernández-Criado, J., Herrera-Galviz, J. y Otalvaro-Valencia, K. (2018). Riesgo de incendios a partir del análisis espacial de pendientes y de combustibilidad por uso del suelo, en las veredas colindantes con la zona urbana de Aguachica, Cesar. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada* 1(33). 93-97.

- Huerta-Martínez, F., y Ibarra-Montoya, J. (2014). Incendios en el bosque la primavera (Jalisco, México): un acercamiento a sus posibles causas y consecuencias. *CienciaUAT*, 9 (1), 23-32.
- Jiménez, G., Urrego G. y Toro R. (2016). Evaluación del comportamiento de incendios de la vegetación en el norte de Antioquia (Colombia): Análisis del paisaje. *Colombia Forestal*, 19(2), 37-55.
- Landis., J. y Koch, G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometric*, 33(1), 159-174.
- López-Moctezuma, M., Rodríguez- Trejo, D., Cortés, F., Sereno-Chávez, V. y Granados-Sánchez, D. (2015). Tolerancia al fuego en *Quercus magnoliifolia*. *Revista Árvore*, 39(3), 523-533.
<https://dx.doi.org/10.1590/0100-67622015000300013>
- Malpartida-Mauricio, R. (2016). *Riesgo a incendios forestales en la provincia de Satipo – Junín* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Perú.
- Martínez, J. (2018). *Gestión territorial del riesgo antrópico de ignición forestal en Castilla-La Mancha* (Tesis doctoral). Universidad de Castilla, La Mancha, España.
- Martínez-Villa, J., Rodríguez-Trejo, D., Borja-de la Rosa, M., Rodríguez- Yam, G. (2018). Propiedades físicas y dinámica de los combustibles forestales en un bosque de encino. *Madera y bosques*, 24(2), e2421467 doi: <https://dx.doi.org/10.21829/myb.2018.2421467>
- Mejía, C. E. (2017). *Zonificación de riesgos a incendios forestales en la cuenca del río Coello en el departamento del Tolima*. (Tesis doctoral). Universidad de Manizales. Manizales.
- Ministerio del Ambiente (MAE). (2008). Plan de manejo de la Reserva Ecológica El Ángel. Quito-Ecuador.
- Ministerio del Ambiente (MAE). (2013). Mapa de vegetación del Ecuador Continental. Quito: MAE, Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, Sistema Nacional de Información.
- Ministerio del Ambiente (MAE). (2015). Plan de manejo de la Reserva Ecológica El Ángel. Quito-Ecuador.

- Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE). (2009). Reglamento para quemas agrícolas controladas. Costa Rica: Autor.
- Morfin-Ríos, J.E, E.J. Jardel P., E. Alvarado C. y J.M. Michel-Fuentes. 2012. *Caracterización y cuantificación de combustibles forestales*. Comisión Nacional Forestal-Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México.
- Morga, L. (2012). Teoría y técnica de la entrevista. Ciudad de México: Editorial Red Tercer Milenio S.C.
- Návar, J. (2011). Modelación del contenido de agua de los suelos y su relación con los incendios forestales en la Sierra madre Occidental de Durango, México. *Madera y Bosques* 17(3). 65-81.
- Ocampo-Zuleta K. (2018). Modelo descriptivo de restauración ecológica en zonas afectadas por incendios forestales e invasión de retamo espinoso en los Cerros Orientales de Bogotá. *Acta Biológica Colombiana*, 24(1):1-12. DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v24n1.71953>
- Ocampo, K. y Beltrán, J. (2018). Modelación Dinámica de incendios forestales en los Cerros Orientales de Bogotá, Colombia. *Madera y Bosques*, 24(3), 1-20. doi: 10.21829/myb.2018.2431662
- Ojeda, F. (2017). *Determinación experimental del balance hídrico y análisis de las relaciones precipitación y escorrentía de la Microcuenca del río Blanco – provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas* (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Quito.
- Omena, M., Araki, E., Schimalski, M., Hiroshi, M. y Silva-Santos, P. (2016). Zoneamento do Risco de Incêndio Florestal para o Parque Nacional de São Joaquim – SC. *Diversidade Brasileira* 6(2).173-186.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO). (2012). Manejo del fuego. *Estrategias de manejo del fuego*. Recuperado de <http://www.fao.org/forestry/firemanagement/es/>.
- Pacheco, J., Avilés, A. y Delgado, O. (2016). Análisis de métodos de interpolación geoestadísticos para la estimación espacial de la precipitación en la cuenca del Río Paute. *Bosques Latitud Cero*, 6 (2), 142-159.

- Parra-Lara, A. (2011). *Incendios de la cobertura vegetal en Colombia*. Valle del Cauca, Colombia: Universidad Autónoma de Occidente.
- Pourrut, P. (1995). El agua en Ecuador, clima precipitaciones, escorrentía. Orstom. Programa de Bosques Andinos. (2018). *Saberes comunales e incendios forestales*. Recuperado de <http://www.bosquesandinos.org>
- Puccio, C. (2004). *Evaluación del Efecto Ecológico sobre la Vegetación Arbórea del Cerro Adencul*. Chile.
- Quiroga, L. (2015). *Implementación de un Índice de Posibilidad de Incendio para las Sierras de Córdoba* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Quistial, G. (2016). *Propuesta de un plan de prevención de incendios forestales, en las parroquias la carolina y salinas, cantón Ibarra, provincia de Imbabura*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador
- Ramírez, D., Aponte, H., Lertora, G., y Gil, F.(2018). Incendios en el humedal Ramsar Los Pantanos de Villa (Lima-Perú): Avances en su conocimiento y perspectivas futuras. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 20(3), 347-360. doi: <http://dx.doi.org/10.18271/ria.2018.398>
- Ramos, M., Carrasco, Y., Miranda, A., Batista, A. y Tetto, A. (2017). Relación entre Variables meteorológicas e incendios Forestales en la provincia Pinar del Río, Cuba. *Floresta*47(3), 343- 352. doi:10.5380/rf.v47i1.50900
- Rico, R., (2011). Cuerpo oficial de Bomberos de Ibagué. *Plan de contingencia para incendios forestales municipio de Ibagué – Tolima*. Recuperado de <https://cortolima.gov.co>
- Rodríguez J. (2014). *Energía y Ambiente, Colombia: Grupo de Investigación en Eficiencia Energética y Energías Alternativas - GEAL.2013*
- Saaty, T. (1992). *Decision making for leaders*. Pittsburgh, USA: RWS Publication.
- SGR/ECHO/UNISDR. (2017). Referencias Básicas para la Gestión de Riesgos 2013 - 2014, 236.
- Simental-Ávila, J y Pompa-García, M. (2016). Incendios forestales: autocorrelación espacial de topografía y temporalidad. *Ciencia UANL* 19(77). 41-45.

- Tituaña, J. (2018). *Desarrollo de un método para la clasificación automatizada de imágenes landsat 8 mediante redes neuronales artificiales* (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Valencia-Leguizamón, J. y Tobón, C. (2017). Influencia de la vegetación en el funcionamiento hidrológico de cuencas de humedales de alta montaña tropical. *Ecosistemas* 26(2): 10-17. Doi.: 10.7818/ECOS.2017.26-2.02
- Vargas, D. y Quezada, A. (2018). Influencia geomorfológica en la vulnerabilidad a incendios forestales en el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*, 52 (2), 1-15. doi.org/10.15359/rca.52-2.1
- Vaersa. (2012). Manual de buenas prácticas, en prevención de incendios forestales. Valencia, España: servicio de prevención y extinción.
- Vera, T. (2015). *Estudio integral de riesgos en una zona sujeta a amenazas, para generar escenarios de riesgo usando herramientas SIG e información técnica* (Tesis de postgrado). Universidad San Francisco de Quito, Ecuador.
- Vilchis, A., Díaz, C., Magaña, D., Bâ1, K. y Gómez, M. (2015). Modelado espacial para peligro de incendios forestales con predicción diaria en la cuenca del Río Balsas. *Agrociencia*, 49(7), 803-820.
- Villers, L. y López, J. (2010). *Incendios forestales en Mexico, metodos de evaluación*. México.
- Xelhuantzi-Carmona, J., Flores-Garnica, J. y Chávez-Durán, A. (2011). Análisis comparativo de cargas de combustibles en ecosistemas forestales afectados por incendios. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 2(3), 37-52.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Combustible: Que puede arder o que arde con facilidad.

Ignición: Acción y efecto de estar un cuerpo ardiendo o incandescente.

Materia vegetativo combustible: Parte de la biomasa de un ecosistema, formada por los cadáveres y órganos muertos de las ramas, hojas e inflorescencias que puede arder o que arde con facilidad.

ANEXO 1



Anexo 1a: Instrumento utilizado en las entrevistas a expertos

CONSULTA A EXPERTOS SOBRE LA PROBABILIDAD DE IGNICIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL DEL ECOSISTEMA DE PÁRAMO

Estimado profesional, la presente encuesta tiene por objetivo conocer su criterio sobre la **probabilidad de ignición** de la cobertura vegetal del ecosistema páramo, por favor sírvase en contestar las siguientes preguntas en la escala del 1 al 5:

1. ¿Qué cobertura vegetal del ecosistema páramo piensa Usted que es más propensa a incendios de acuerdo a su probabilidad de ignición?

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

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

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

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

Cultivos y pastos				
Muy Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
1	2	3	4	5

2. ¿En las plantas de páramo qué tipo de forma de vida piensa usted que presenta mayor probabilidad de ignición?

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

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

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

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

3. ¿Qué especies de plantas que pertenecen al páramo arbustivo, páramo herbáceo, páramo de almohadillas son más propensa a incendios?

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

4. ¿Qué considera usted que hace más inflamables al tipo de plantas que crecen en el páramo?

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

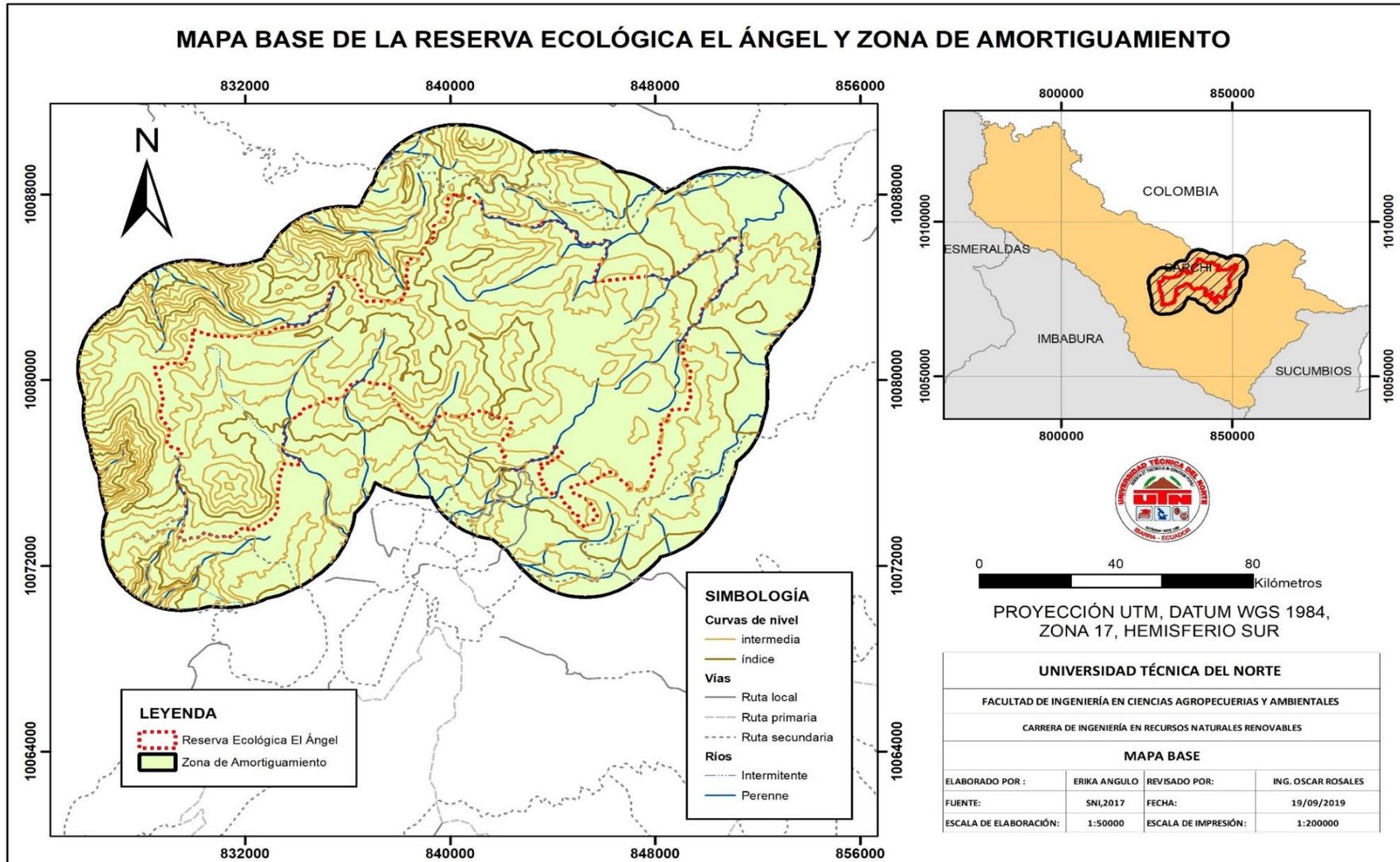
Aceites esenciales				
Muy Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
1	2	3	4	5

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

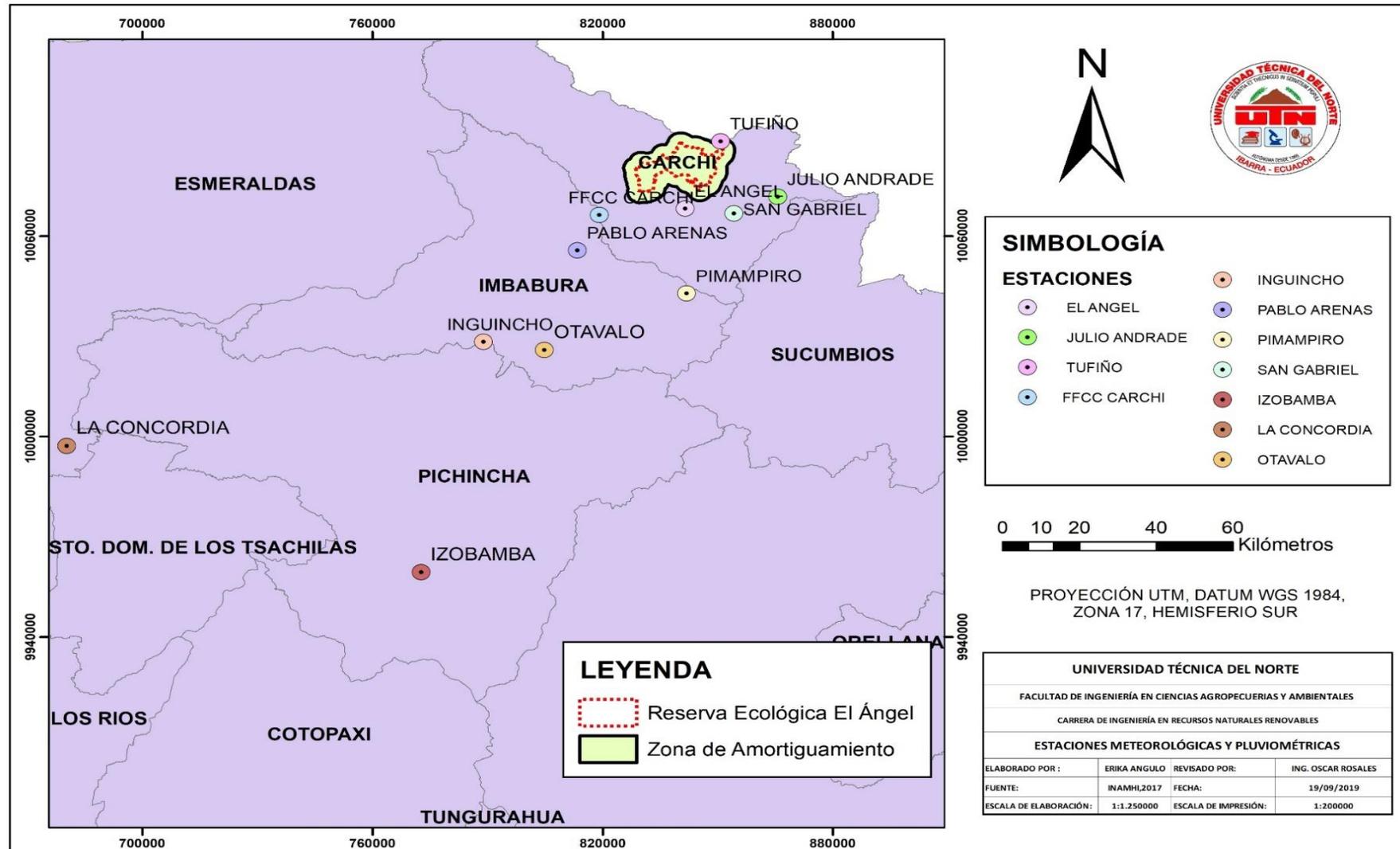
Otros:

ANEXO 2: MAPAS

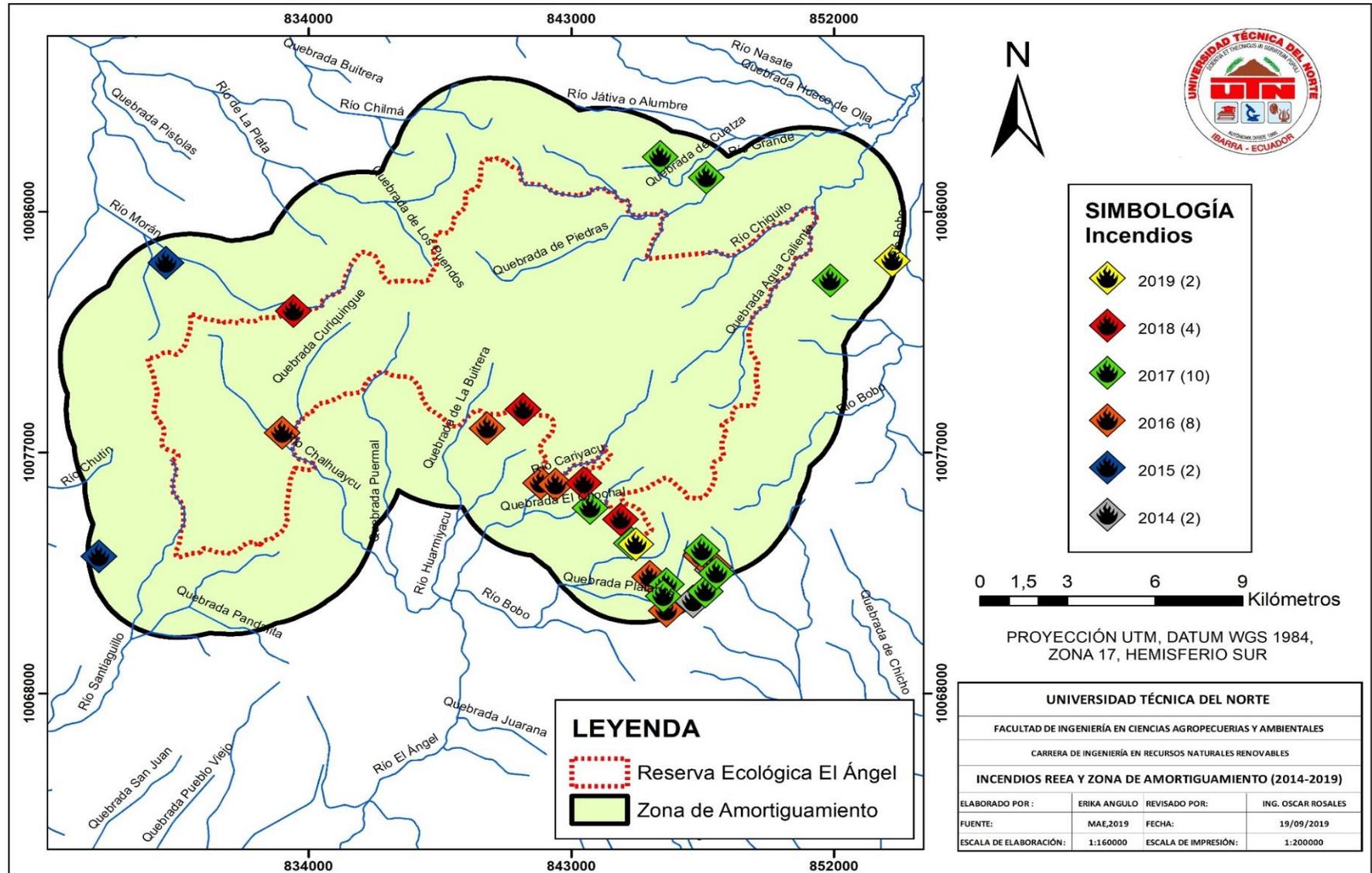
Anexo 2 a. Mapa Base de la Reserva Ecológica El Ángel y zona de amortiguamiento



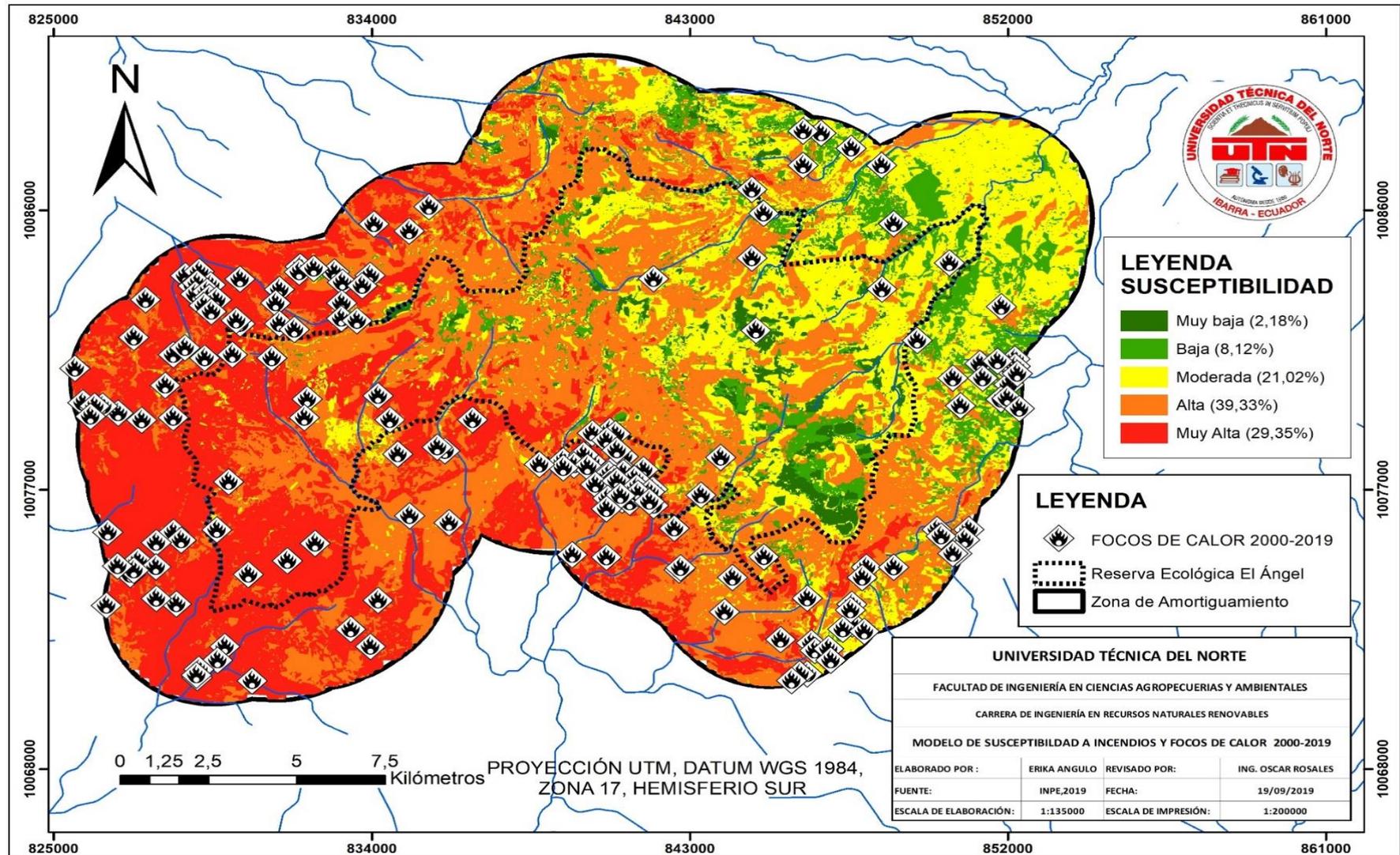
Anexo 2 b. Ubicación de estaciones meteorológicas y pluviométricas



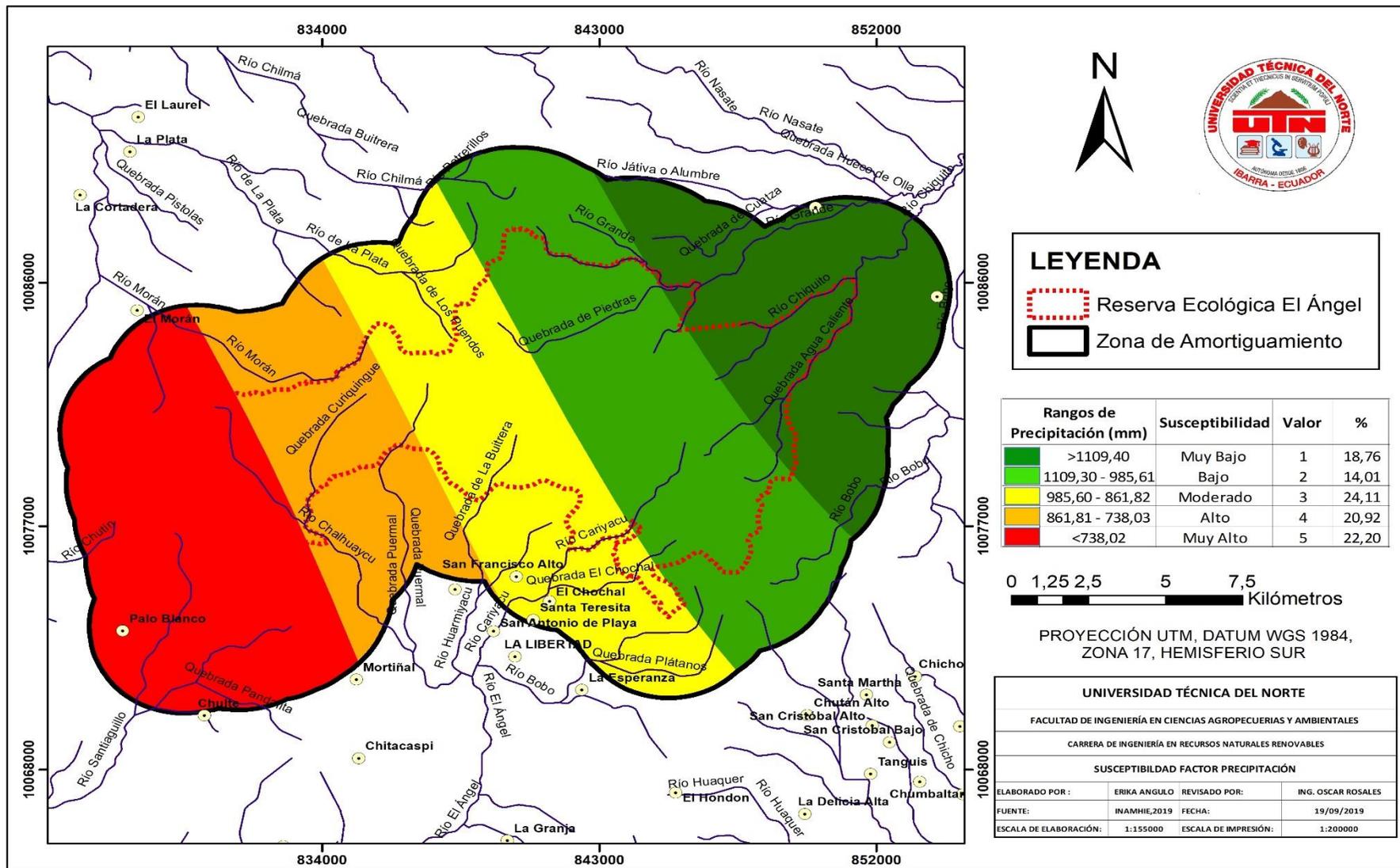
Anexo 2 c. Incendios ocurridos en la reserva ecológica El Ángel y zona de amortiguamiento en el período 2014-2019



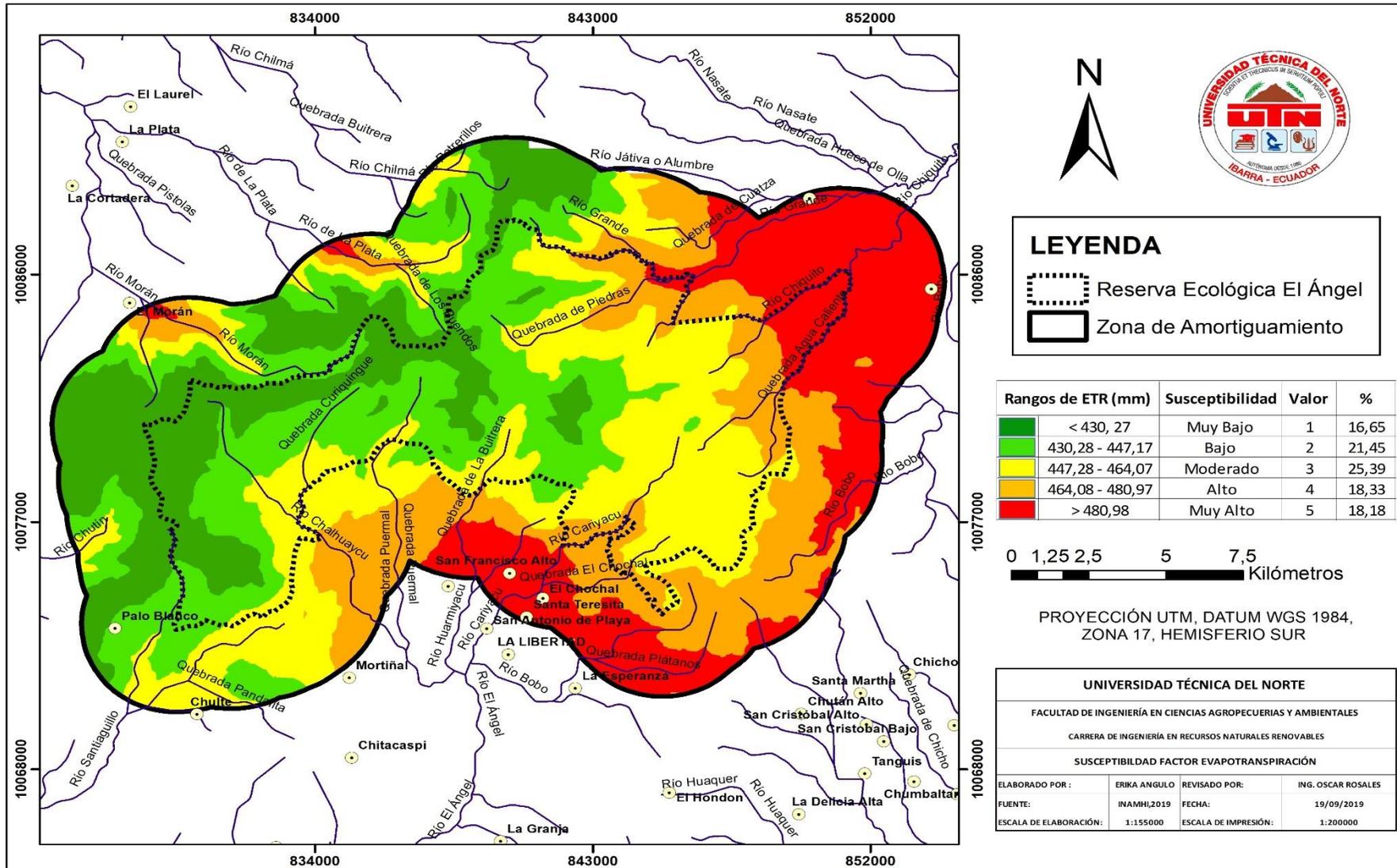
Anexo 2 d. Modelo de susceptibilidad a incendios y focos de calor (2000-2019) de la REEA y zona de amortiguamiento



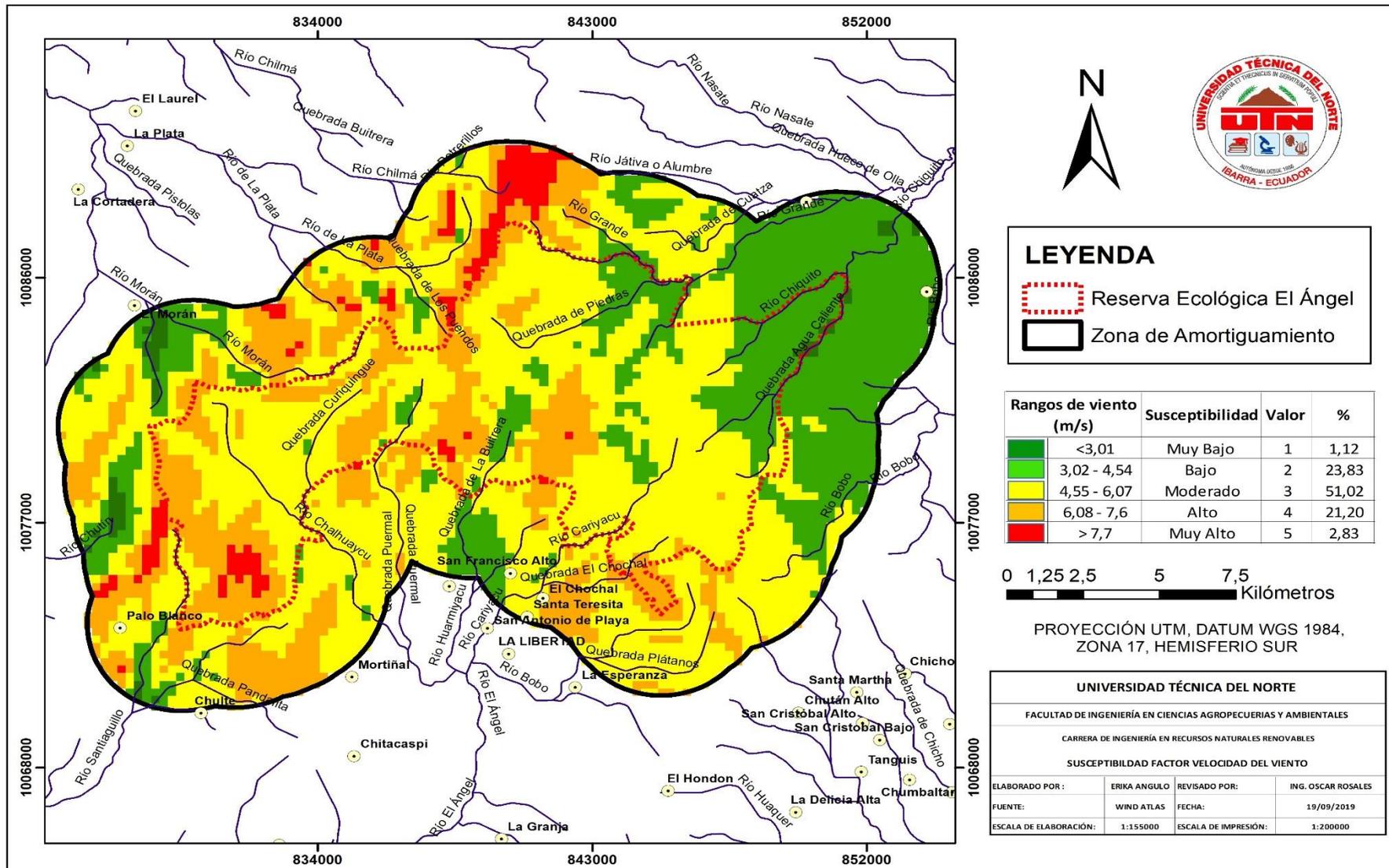
Anexo 2 e. Susceptibilidad del factor precipitación



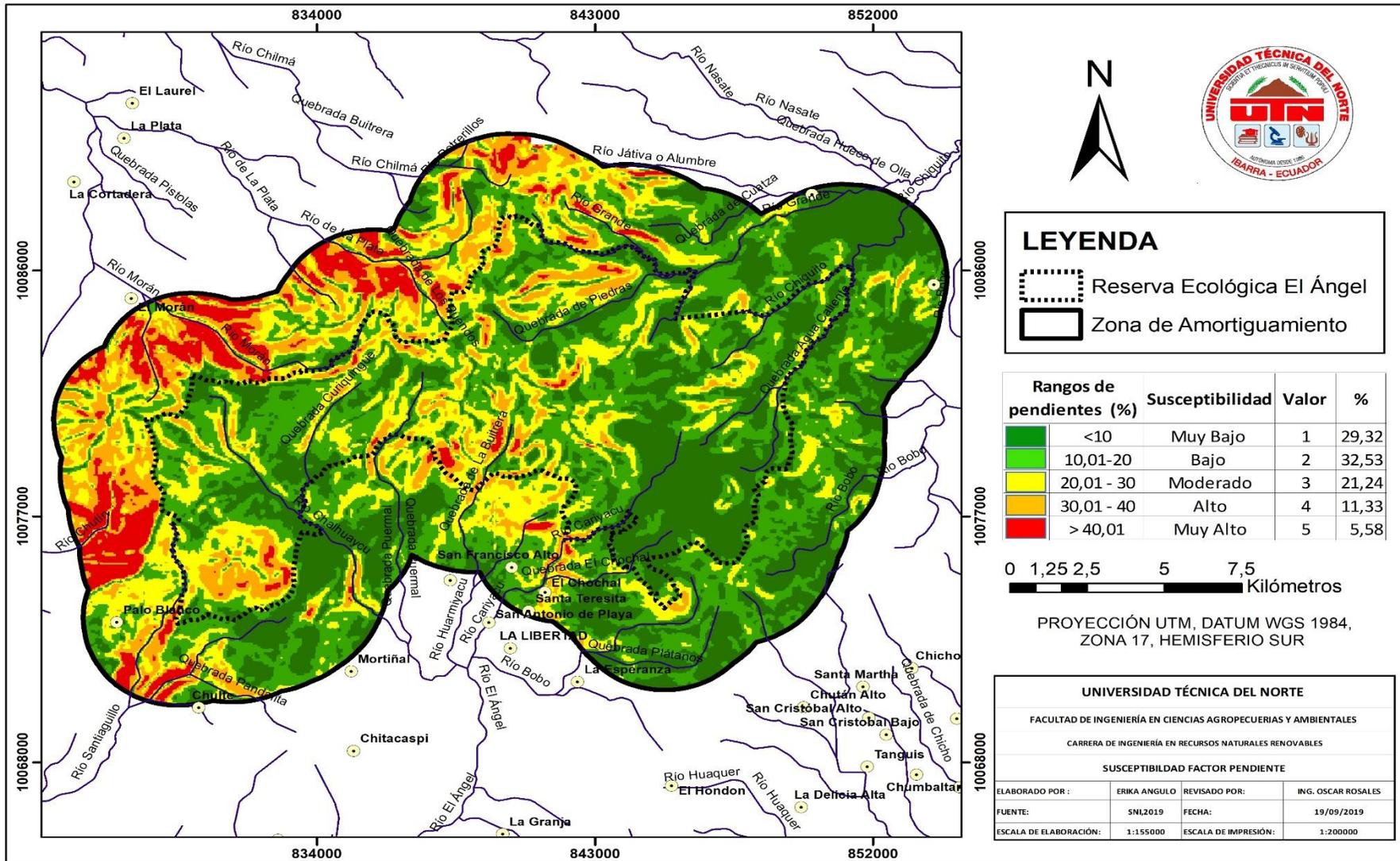
Anexo 2 g. Susceptibilidad del factor evapotranspiración



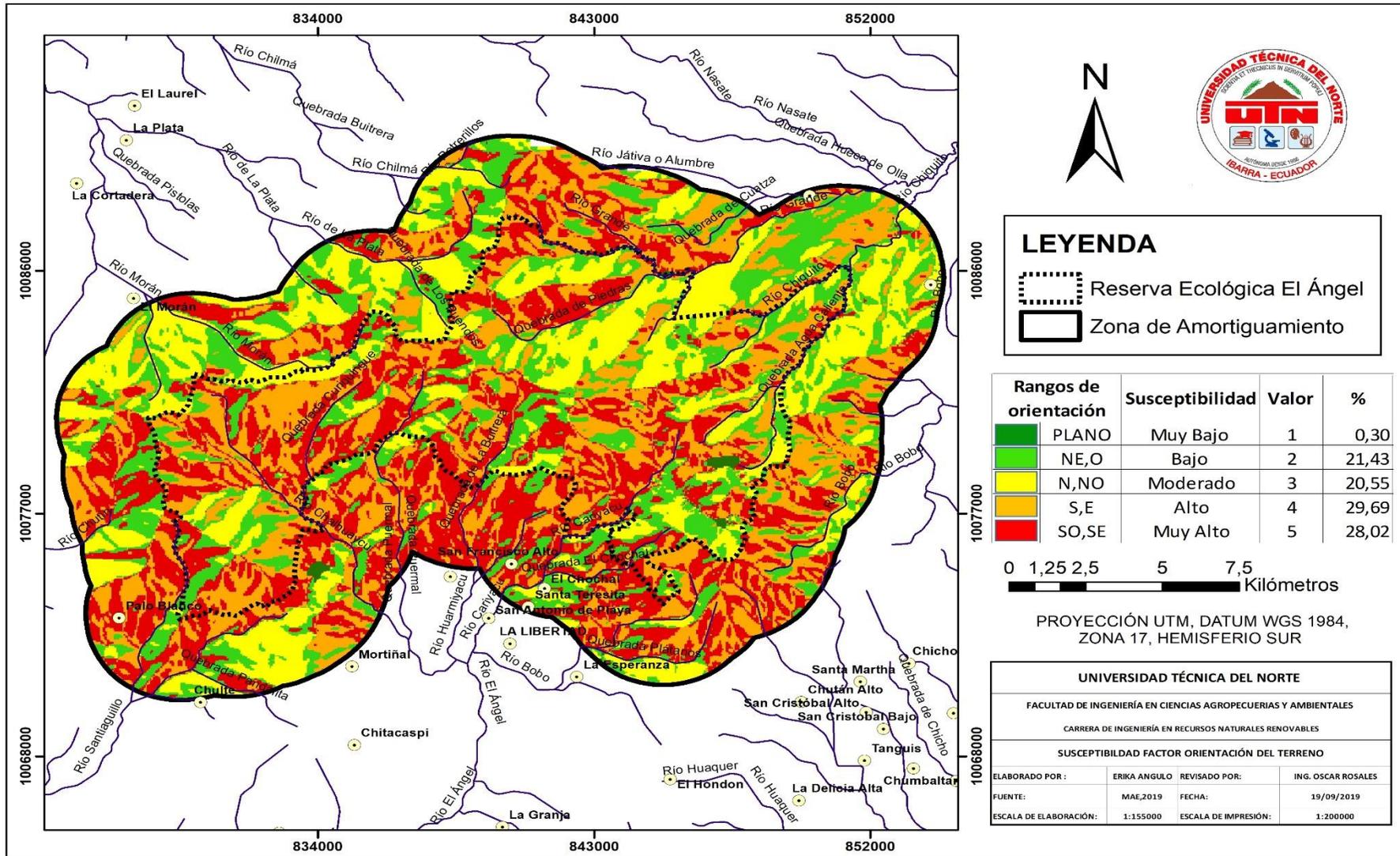
Anexo 2 h. Susceptibilidad del factor velocidad del viento



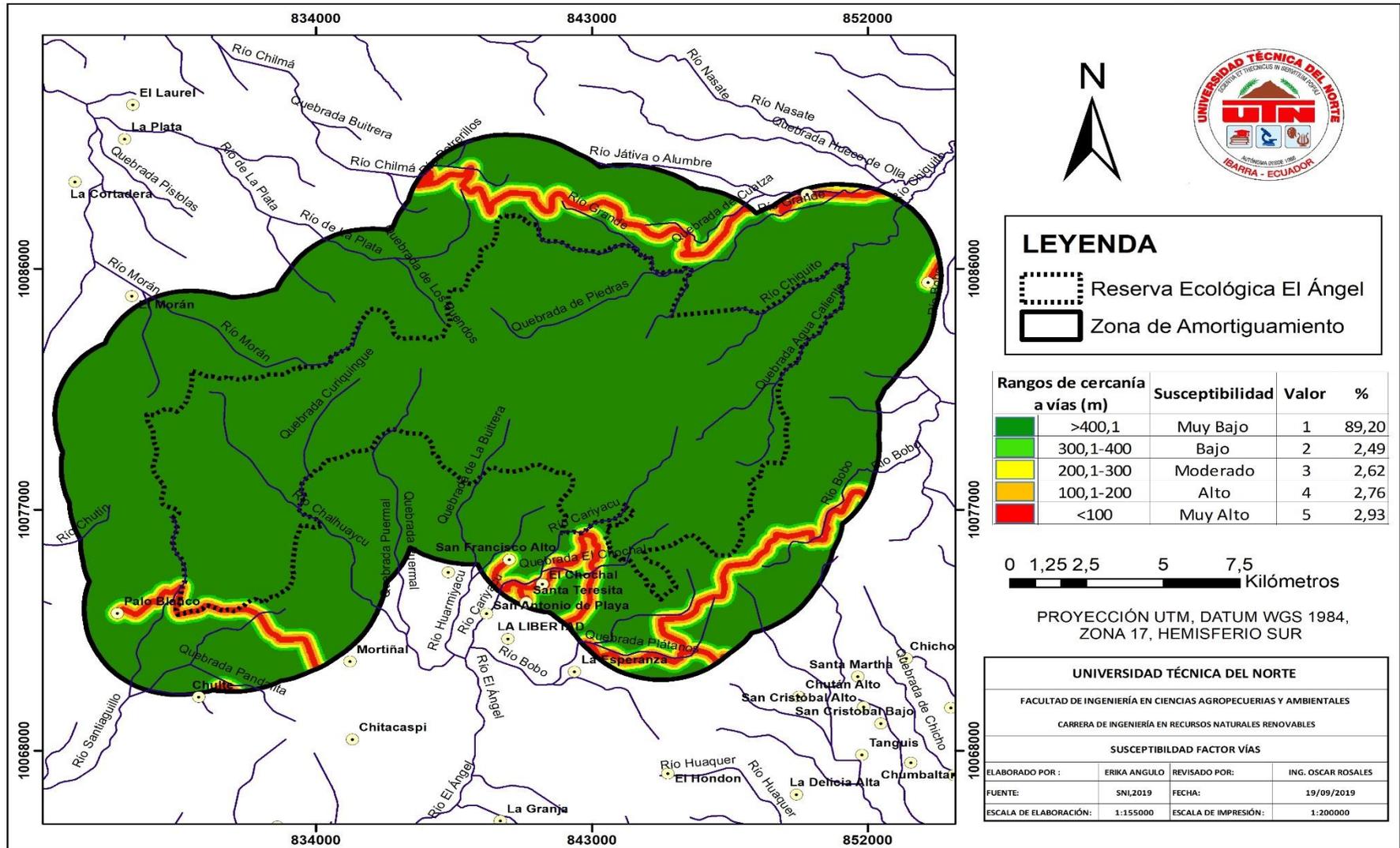
Anexo 2 i. Susceptibilidad del factor pendiente



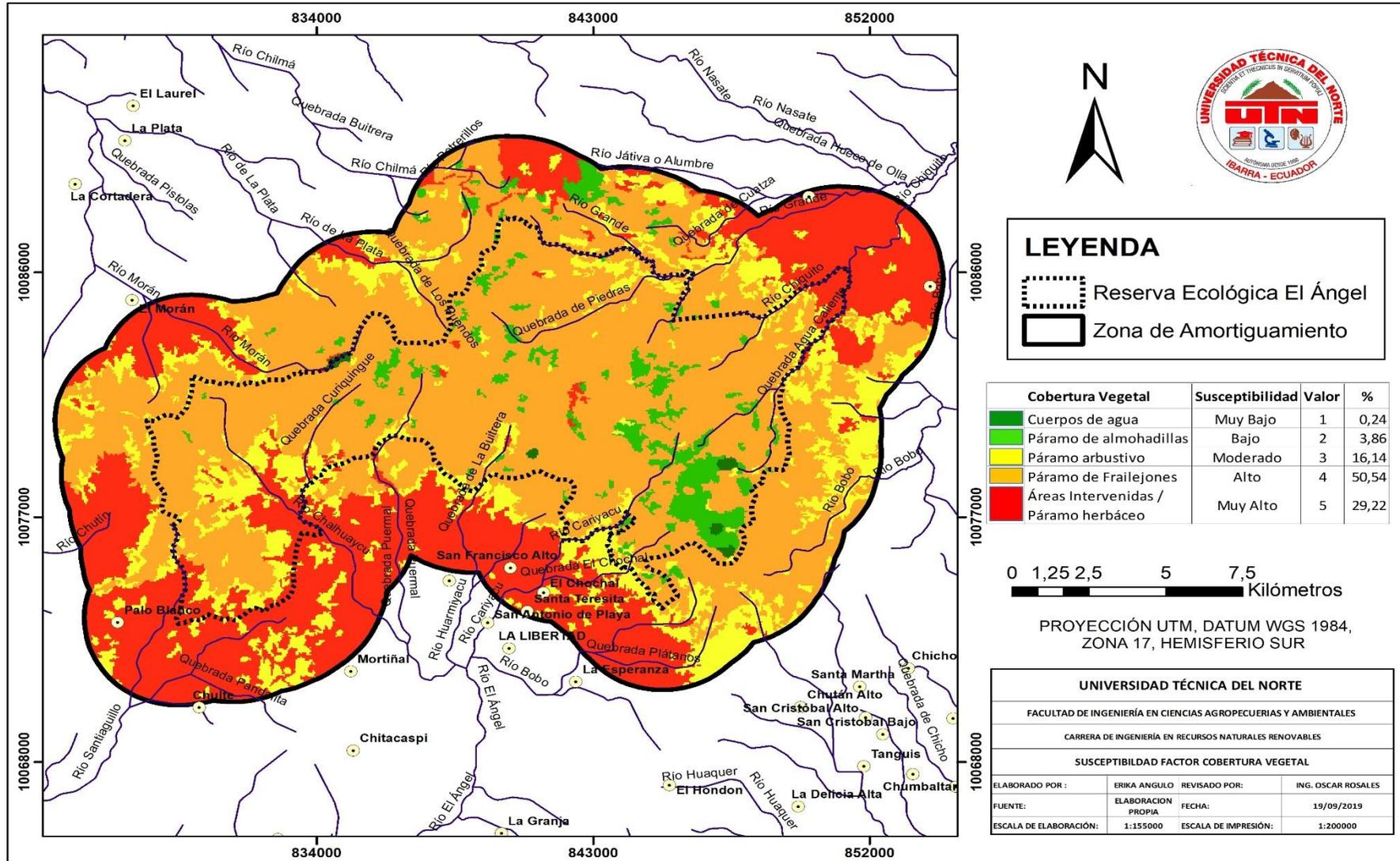
Anexo 2 j. Susceptibilidad del factor orientación del terreno



Anexo 2 k. Susceptibilidad del factor cercanía a las vías



Anexo 2 I. Susceptibilidad del factor cercanía a las vías



Anexo 2 m. Modelo de susceptibilidad a incendios de cobertura vegetal de la REEA y zona de amortiguamiento

