



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

DETERMINACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A INCENDIOS DE
COBERTURA VEGETAL EN LA ESTACIÓN BIOLÓGICA GUANDERA

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

AUTORAS:

CORTEZ ANDRADE GENESIS JOHANNA
RIVERA GUERRERO JOSELYN

DIRECTOR:

ING. GABRIEL JÁCOME MSC.

OCTUBRE, 2022



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
UNIVERSIDAD ACREDITADA RESOLUCIÓN Nro. 001-073-CEAACES-2013-13
Ibarra-Ecuador

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES

CERTIFICACIÓN ENTREGA TRABAJO TITULACIÓN
TRIBUNAL TUTOR

Ibarra, 24 octubre del 2022

Para los fines consiguientes, CERTIFICAMOS que las señoritas CORTEZ ANDRADE GENESIS JOHANNA Y RIVERA GUERRERO JOSELYN autoras del trabajo de titulación: "DETERMINACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A INCENDIOS DE COBERTURA VEGETAL EN LA ESTACIÓN BIOLÓGICA GUANDERA", estudiantes de la Carrera de **INGENIERÍA RECURSOS NATURALES RENOVABLES** entrega el documento en digital.

Atentamente,

TRIBUNAL TUTOR

MSc. Gabriel Jácome.
DIRECTOR TRABAJO TITULACIÓN

FIRMA

MSc. Oscar Rosales.
MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

MSc. Jorge Ramírez.
MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TRITULACIÓN

Misión Institucional:
Contribuir al desarrollo educativo, científico, tecnológico, socioeconómico y cultural de la región norte del país. Formar profesionales críticos, humanistas y éticos comprometidos con el cambio social.



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

UNIVERSIDAD ACREDITADA RESOLUCIÓN NRO. 001-073-CEAACES-2013-13
Ibarra-Ecuador

**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 Orgánica de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte de manera digital para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA :	0402035729
NOMBRES Y APELLIDOS:	Cortez Andrade Genesis Johanna
DIRECCIÓN:	Priorato – Ibarra- Imbabura
EMAIL:	gjcorteza@utn.edu.ec
TELEFONO FIJO Y MOVIL:	----- 0983822201

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA :	1004030191
NOMBRES Y APELLIDOS:	Rivera Guerrero Joselyn
DIRECCIÓN:	Los Ceibos – Ibarra- Imbabura
EMAIL:	jriverag@utn.edu.ec
TELEFONO FIJO Y MOVIL:	----- 0962128063

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	DETERMINACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A INCENDIOS DE COBERTURA VEGETAL EN LA ESTACIÓN BIOLÓGICA GUANDERA
AUTORAS:	Cortez Andrade Genesis Johanna Rivera Guerrero Joselyn

MISIÓN INSTITUCIONAL: Contribuir al desarrollo educativo, científico, tecnológico, socioeconómico y cultural de la región norte del país. Formar profesionales críticos, humanistas y éticos comprometidos con el cambio social.



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

UNIVERSIDAD ACREDITADA RESOLUCIÓN NRO. 001-073-CEAACES-2013-13
Ibarra-Ecuador

FECHA:	25-10-2022		
SOLO PARA TRABAJO DE TITULACIÓN			
PROGRAMA:	<input type="checkbox"/>	PRESGRADO	<input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera en Recursos Naturales Renovables		
DIRECTOR:	Ing. Gabriel Jácome Msc.		

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) 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 son titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumimos la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldremos en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 25 días del mes de octubre de 2022

Cortez Andrade Genesis Johanna
CC: 0402035729

Rivera Guerrero Joselyn
CC: 1004030191

MISIÓN INSTITUCIONAL: Contribuir al desarrollo educativo, científico, tecnológico, socioeconómico y cultural de la región norte del país. Formar profesionales críticos, humanistas y éticos comprometidos con el cambio social.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por ser la luz que guía nuestros pasos para hacer de nosotras mejores personas y darnos la sabiduría para afrontar los momentos difíciles.

A nuestros padres por ser el pilar fundamental en nuestras vidas y gracias a su apoyo incondicional esta meta ha sido posible.

A la Universidad Técnica del Norte que nos permitió obtener conocimientos día a día dentro de sus aulas y nos enseñó a construir nuestros sueños.

A todos los ingenieros que forman parte de la Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, especialmente a nuestro director el Ingeniero Gabriel Jácome por sus conocimientos y orientación en el desarrollo del trabajo de titulación, de igual manera a nuestros asesores el Ingeniero Oscar Rosales y el Ingeniero Jorge Ramírez por su asesoría y guía, de manera muy especial a la Ingeniera Melissa Layana por su amistad y consejos a lo largo de nuestra carrera universitaria.

Agradecemos de manera especial al Señor José Cando quien en su rol de Administrador de la Estación Biológica nos brindó su conocimiento y colaboración para la realización de este trabajo.

Por último, agradecer a todos los amigos, compañeros y familiares que de una u otra manera nos supieron apoyar en nuestra formación académica y personal.

Genesis Johanna Cortez Andrade

Joselyn Rivera Guerrero

DEDICATORIA

Este logro va dedicado principalmente a mi madre Dora Cortez, por su sacrificio y esfuerzo durante todos estos años, por ser la que me impulsa a ser mejor día a día, por su cariño, sus consejos y su apoyo incondicional, por ser mi motivación en todas mis metas, porque todo lo que soy y seré es por y para ella.

A mi abuelita Blanca por haberme cuidado durante tanto tiempo y haberme brindado su amor y sus consejos, y aunque ahora no le pueda ver o sentir físicamente, sé que desde el cielo seguirá protegiéndome y guiando mi camino, y sé que estaría orgullosa de verme cumplir esta meta, de igual manera, a mi abuelito que aunque partió más temprano, sus enseñanzas y cariño siempre viven en mi corazón.

A Francisco por ser la persona que me ha apoyado desde que lo conocí, por brindándome su cariño y amor; dándome fuerza y aliento cada vez que lo necesitaba, además de motivarme siempre en mis estudios, y sobre todo por ser quien siempre nos acompañó y brindo apoyo en este trayecto.

A Joselyn por ser mi compañera y amiga durante la carrera, que con sus ocurrencias hizo de esta etapa una experiencia muy grata, por su amistad y dedicación, logrando así culminar juntas lo que juntas iniciamos.

Finalmente, a todos mis familiares y amigos que siempre estuvieron presentes con sus buenos ánimos y apoyo incondicional.

*** Con Cariño***

Genesis Cortez

DEDICATORIA

A mi padre Ramiro Rivera, por ser mi amigo y confidente, porque a pesar de las dificultades me dio su apoyo incondicional en el transcurso de mi carrera profesional, a mi madre María Guerrero por ser mi inspiración, y por luchar siempre por sacarnos adelante e impulsarnos para ser profesionales.

A mi hermana Johanna por ser mi ejemplo de superación y perseverancia, a mi hermana Cristina por enseñarme a ser fuerte ante las adversidades y tener el valor de tomar mis propias decisiones, a Marjury y Hilary mis pequeñas hermanas, por ser mi fuerza para salir adelante, las quiero mucho.

A mi sobrino Ismael y mis sobrinas Zoe y Pauleth, como muestra de que los sueños se logran con constancia y perseverancia.

A una persona muy especial, Richar Calderón, quien fue la persona que estuvo día a día a mi lado, en el desarrollo de este trabajo y en mi crecimiento personal, con su carisma, sus consejos, su amor y por todo el apoyo que me brindó en los momentos difíciles, por impulsarme siempre a no rendirme y lograr ser mejor.

A Genesis mi compañera y amiga, por tantos momentos buenos y malos a lo largo de nuestra carrera universitaria, y sobre todo por su amistad, paciencia y compromiso con este trabajo de titulación, “lo iniciamos y lo terminamos juntas”.

****Muchas gracias****

Joselyn Rivera Guerrero

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Revisión de antecedentes o estado del arte	1
1.2 Planteamiento del problema y justificación	4
1.3. Objetivos	6
1.3.1. Objetivo general	6
1.3.2. Objetivos específicos	6
1.4. Preguntas directrices de la investigación	7
CAPÍTULO II	8
REVISIÓN DE LITERATURA	8
2.1 Incendios de cobertura vegetal	8
2.1.1 Causas de los incendios de cobertura vegetal	9
2.1.1.1 Causas inmediatas.....	9
2.1.1.2 Causas estructurales.....	10
2.1.2 Tipos de incendios de cobertura vegetal	10
2.1.3 Incendios en los ecosistemas	11
2.1.4 Fases de inicio del fuego	12
2.1.5 Elementos determinantes del componente fuego	13
2.1.6 Impactos que ocasionan los incendios de cobertura vegetal	14
2.1.7 Factores que influyen en la ignición y propagación de incendios	15
2.1.8 Sistemas de información geográfica aplicado al estudio de incendios	16
2.1.8.1 Susceptibilidad a incendios	17
2.1.9 Proceso de análisis Jerárquico (AHP).....	19
2.1.10 Validación estadística	19
2.1.11 Gestión de riesgo de incendios	20
2.2. Marco legal	21
2.2.1. Constitución de la República del Ecuador	21
2.2.2 Convenios Internacionales	22

2.2.3	Código Orgánico Ambiental	22
2.2.4	Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización	23
2.2.5	Reglamento al Código Orgánico Ambiental	23
2.2.6	Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión de Suelo	23
2.2.7	Ordenanzas	24
CAPÍTULO III.....		25
MÉTODOS.....		25
3.1	Descripción del área de estudio	25
3.1.1	Ecosistemas	26
3.1.2	Clima.....	26
3.1.3	Servicios ambientales	26
3.1.4	Situación actual	27
3.2	Métodos.....	28
3.2.1	Caracterización de los factores físicos y meteorológicos	28
3.2.1.1	Factores físicos	28
3.2.1.2	Factores meteorológicos	33
3.2.2	Zonificación de la susceptibilidad a incendios de cobertura vegetal en la zona de estudio	41
3.2.2.1	Proceso de Análisis Jerárquico (AHP).....	41
3.2.2.2	Formulación de la ecuación de susceptibilidad.....	42
3.2.3	Elaboración de estrategias de prevención y mitigación de incendios de cobertura vegetal en la Estación Biológica Guandera.....	44
3.2.3.1	Matriz de Vester	44
3.2.3.2	Planteamiento y diseño de estrategias	46
3.1	Materiales y equipo.....	46
CAPÍTULO IV		47
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		47
4.1	Caracterización de los factores físicos y meteorológicos	47
4.1.1	Factores físicos	47
4.1.2	Variables meteorológicas	51
4.2	Zonificación de la susceptibilidad a incendios de cobertura vegetal en la zona de estudio.....	58
4.2.1	Validación de datos.....	61
4.3.1	Identificación de los problemas.....	63

4.3.2	Matriz de Vester	63
4.3.2.1	Árbol de problemas.....	65
4.3.3.1	Estrategia 1. Programa de prevención de incendios forestales y páramo 67	
4.3.3.2	Estrategia 2. Programa de sistema de alerta temprana.....	69
4.3.3.3	Estrategia 3. Programa de educación ambiental.....	73
4.3.1.1	Estrategia 4. Programa delimitación de zonas de importancia ecológica.....	77
	CAPÍTULO V.....	80
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	80
5.1	Conclusiones	80
5.2	Recomendaciones	81
	REFERENCIAS.....	82
	ANEXOS.....	103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Impactos de los incendios en el ambiente.....	14
Tabla 2. Factores que influyen en los incendios.....	15
Tabla 3. Niveles de susceptibilidad de incendios	18
Tabla 4. Servicios ambientales que brinda la Estación Biológica Guandera	27
Tabla 5. Clasificación de altitud y peso asignado al riesgo de incendio	29
Tabla 6. Clasificación de pendientes y peso asignado al riesgo de incendio	30
Tabla 7. Cobertura discriminada.....	30
Tabla 8. Valoración del coeficiente Kappa	32
Tabla 9. Estaciones meteorológicas y pluviométricas para precipitación.....	33
Tabla 10. Valores de ajuste para el modelo de validación (precipitación)	35
Tabla 11 Clasificación de la susceptibilidad para la precipitación	35
Tabla 12. Estaciones meteorológicas para temperatura	36
Tabla 13. Valores de ajuste para el modelo de validación (temperatura)	37
Tabla 14. Clasificación de la susceptibilidad para la temperatura.....	38
Tabla 15. Factor de corrección para evapotranspiración.....	39
Tabla 16. Clasificación de la susceptibilidad para la evapotranspiración.....	39
Tabla 17. Clasificación de la susceptibilidad para el déficit hídrico	40
Tabla 18. Escala fundamental de comparación por pares	42
Tabla 19. Escala de valores para matriz de Vester	44
Tabla 20. Clasificación de problemas en la Matriz de Vester	45
Tabla 21. Materiales y equipos.....	46
Tabla 22. Comparación pareada	58
Tabla 23. Ponderaciones con Saaty	59
Tabla 24. Prueba Chi-cuadrado de Pearson.....	62
Tabla 25. Matriz de Vester	64
Tabla 26. Programa de prevención de incendios	69
Tabla 27. Programa de sistema de alerta temprana	71
Tabla 28. Programa de Educación Ambiental	75
Tabla 29. Programa delimitación de zonas de importancia ecológica.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Triángulo de combustión.....	13
Figura 2. Ubicación de la Estación Biológica Guandera	25
Figura 3. Etapas del proceso de matriz de Vester.....	46
Figura 4. Susceptibilidad a incendios según la altitud.....	47
Figura 5. Susceptibilidad a incendios según la pendiente. A) Tipos de pendiente. B) Niveles de susceptibilidad según la pendiente.....	49
Figura 6. Susceptibilidad a incendios según la cobertura vegetal. A) Tipos de cobertura vegetal. B) Niveles de susceptibilidad según la cobertura vegetal.	50
Figura 7. Susceptibilidad a incendios según la precipitación. A) Precipitación media anual. B) Niveles de susceptibilidad según la precipitación.....	52
Figura 8. Susceptibilidad a incendios según la temperatura. A) Temperatura media anual. B) Niveles de susceptibilidad según la temperatura.....	54
Figura 9. Diagrama ombrotérmico para la Estación Biológica Guandera.	55
Figura 10. Susceptibilidad a incendios según la evapotranspiración. A) Evapotranspiración potencial. B) Niveles de susceptibilidad según la evapotranspiración.....	56
Figura 11. Diferencia entre precipitación y evapotranspiración. A) junio. B) julio. C) agosto. D) septiembre.....	57
Figura 12. Susceptibilidad a incendios de cobertura vegetal en la Estación Biológica Guandera	60
Figura 13. Curva ROC	62
Figura 14. Plano cartesiano de activos y pasivos	65
Figura 15. Árbol de problemas.....	65

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

DETERMINACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A INCENDIOS DE
COBERTURA VEGETAL EN LA ESTACIÓN BIOLÓGICA GUANDERA

Genesis Johanna Cortez Andrade

Joselyn Rivera Guerrero

RESUMEN

Los incendios de cobertura vegetal son la principal amenaza para ecosistemas sensibles como los páramos, debido a su fragilidad y baja resiliencia. En las zonas aledañas a la Estación Biológica Guandera se realizan quemas para obtener mejores pastos para el ganado, provocando en ocasiones que el fuego se extienda sin control, además de la creencia ancestral de quemar el páramo para atraer la lluvia en la época seca. Este estudio determina las áreas con mayor susceptibilidad a los incendios para proponer estrategias de prevención y mitigación. Los factores físicos y meteorológicos fueron caracterizados en el software ArcGIS 10.7; y a través del proceso de análisis jerárquico se establecieron valores de comparación entre los factores analizados. Los resultados mostraron que el factor con mayor influencia de los incendios en el área de estudio es la cobertura vegetal. La Estación Biológica Guandera tiene un área de susceptibilidad muy alta y extrema de 447,85 ha de las aproximadamente 1000 ha que posee, la mayoría de ellas ubicadas en zonas de transición de bosque a páramo y páramo. Utilizando la matriz de Vester, se identificó que los problemas críticos que inciden en la ocurrencia y propagación de incendios están asociados a la falta de educación ambiental, falta de alerta temprana y de herramientas para el control y prevención de incendios, por lo que se diseñaron estrategias como líneas cortafuegos, sistemas de alarma comunitaria y programas de educación ambiental como medidas de control y mitigación.

Palabras clave: Susceptibilidad a incendios, Análisis jerárquico, Prevención.

ABSTRACT

Vegetation fires are the main threat to sensitive ecosystems such as the páramos, due to their fragility and low resilience. In the areas adjacent to the Guandera Biological Station, fires are burned to obtain better pasture for cattle, sometimes causing the fire to spread uncontrollably, in addition to the ancestral belief of burning the páramo to attract rain in the dry season. This study determines the areas with the greatest susceptibility to fires to propose prevention and mitigation strategies. The physical and meteorological factors were characterized in ArcGIS 10.7 software; and through the process of hierarchical analysis, comparison values were established between the factors analyzed. The results showed that the factor with the greatest influence of fires in the study area is vegetation cover. The Guandera Biological Station has a very high and extreme susceptible area of 447.85 ha of the approximately 1000 ha it owns, most of them located in transition zones from forest to páramo and páramo. Using the Vester matrix, it was identified that the critical problems that affect the occurrence and spread of fires are associated with the lack of environmental education, lack of early warning and tools for fire control and prevention, which is why strategies such as firebreak lines, community alarm systems and environmental education programs were designed as control and mitigation measures.

Key words: Fire susceptibility, Hierarchical analysis, Prevention

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Revisión de antecedentes o estado del arte

A lo largo del tiempo las actividades antropogénicas y ciertas actividades naturales causaron perturbaciones y disturbios dentro de los ecosistemas. La variación y/o grado de afectación en el impacto que se genere a diferentes escalas depende en la mayoría de los casos del tipo de alteración al que se encuentre sometido (Oakman et al., 2021). La relación suelo-vegetación dentro de los ecosistemas juega un rol importante que fortalece la capacidad de resiliencia; dicha capacidad se ha visto afectada en presencia de incendios a lo largo del tiempo, e influye en el cambio de cobertura vegetal (Parra-Lara y Bernal-Toro, 2010).

En un estudio realizado por Fernández-García et al. (2021) se analiza las relaciones suelo-vegetación en los bosques mediterráneos tras un incendio; donde menciona que los sitios que tiene un tiempo corto de recuperación después del incendio van a contar con vegetación escasa y va a relacionarse con la presencia del fósforo existente en el suelo, a diferencia de un sitio con mayor tiempo de recuperación en el cual va a ser más probable la existencia de variedad y abundancia de especies. La vegetación cumple roles importantes dentro de la dinámica de los ecosistemas como: conservación de la biodiversidad, conservación de agua, proporcionan alimento, materia prima e intercambio de oxígeno (Oakman et al., 2021).

El impacto cuantitativo y cualitativo que generan los incendios dentro de un ecosistema dependen de la intensidad del fuego y la vegetación. El ecosistema páramo necesita aproximadamente doce meses para absorber los impactos ambientales causados por el fuego (Sarango et al., 2019). En América Latina y el Caribe, se ha visto un incremento en la vulnerabilidad de los ecosistemas debido a los impactos de las amenazas de los incendios forestales, ligados a factores como la expansión agrícola y urbana de manera descontrolada (Peralta, 2018). En el clima

mediterráneo la mayoría de los incendios inician de manera natural, y los demás por conveniencia del hombre con relación a sus actividades agropecuarias y agrícolas, esto presenta una importante afectación no solo por la cantidad de eventos relacionados con fuego sino también por la rapidez de propagación y la cantidad de superficie consumida a su paso (Ferrerías et al., 2001).

En México, se presentan incendios difíciles de controlar, la dinámica de estos radica en su propagación a nivel de copa, es decir se propagan a nivel aéreo por lo cual consumen una gran cantidad de material vegetal superficial, este tipo de incendios se presenta mayormente en épocas de sequía extrema (Villers, 2006). En países de Latinoamérica como Chile los incendios forestales se han convertido en una problemática para la economía, salud, y sobre todo en la pérdida de biodiversidad, erosión del suelo, reducción alarmante de bosques y áreas naturales, además de la contaminación que se genera por la emisión de partículas y carbono (Urzúa y Cáceres, 2011). Argentina se ha catalogado como el tercer país con mayor promedio de pérdida de superficie afectada por incendios al año, entre las causas más importantes se encuentran el sobrepastoreo y la quema de material combustible para regeneración de suelos (Bilbao et al., 2020).

Ecuador es conocido como un país mega diverso gracias a su diversidad, se menciona que alberga entre 20 000 y 25 000 especies de plantas vasculares, y presenta un grado de endemismo alto. Se conoce que en ciertas regiones ecuatorianas entre la Costa y Sierra se practica la quema de bosques y pajonales justificadas con tradiciones y creencias ancestrales, los cuales tienden a descontrolarse al no realizarse de una manera controlada, con supervisión y planificación debida (MAATE, 2016). Sin embargo, entre los meses de julio a septiembre del 2019, en el país se registraron alrededor de 1540 incendios forestales, principalmente en las provincias del Carchi, Imbabura, Pichincha, El Oro, Loja y Guayas (Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias [SNGRE], 2019). Según la resolución No. 111-2019 en el Art. 2 declara estado de alerta amarilla para las provincias mencionadas y delega a la Subsecretaría de Preparación y Respuesta Ante Eventos Adversos (PRAEA) que sea el encargado de

supervisar las decisiones y acciones que se generen a partir de dicha resolución (SNGR, 2019).

Durante la época de de verano la ocurrencia de incendios forestales tiende a incrementarse debido al aumento de temperatura, escasas de lluvias y cambio de uso de suelo (Peña, 2019). Las variaciones climáticas entre los meses entre junio y septiembre aumentan la probabilidad de ocurrencia de incendios de origen natural, al igual que condicionan el grado de combustibilidad de las especies vegetales por lo cual la ignición ocurriría en las condiciones indicadas (Renjifo, 2016).

Cabe mencionar que, la ocurrencia de incendios se ve condicionada por la región donde estos se presenten, es decir, los incendios pueden presentarse en distintos meses en relación de Costa y Sierra, en un estudio realizado en el cantón Esmeraldas los meses ecológicamente secos se presentaron entre agosto a diciembre, dichas variaciones se condicionan según el clima, vegetación y topografía (Lozada, 2021).

Dentro del cantón Ibarra, se desarrolló un estudio de caracterización de zonas propensas a incendios, donde se realizó una suma ponderada de nueve factores entre morfológicos y meteorológicos; en los resultados se encontraron niveles de susceptibilidad que van desde muy alto a extremo. Tras la reclasificación calculada determinaron que 15 810,7 ha se consideran como zonas de extrema susceptibilidad, en donde se presentan diferentes tipos de vegetación como pastizales, bosque, entre otros (Anrango et al., 2019).

En la provincia del Carchi, se encuentra la Reserva Ecológica el Ángel donde se encontró que el 39,33% del área fue considerada como zona con “alta” susceptibilidad a incendios y un 29,35% como una zona “muy alta” en susceptibilidad (Angulo et al., 2020). Según sus autores se consideró importante establecer estrategias de prevención y mitigación para los hechos que perturban dicha área natural.

Gutiérrez-Salazar y Ramsay (2020) en su estudio sobre las respuestas fisiológicas del pasto en el páramo luego de incendios, el cual se realizó en la Reserva Ecológica “El Ángel” y la Reserva Biológica La Bretaña, mencionan que los registros de incendios tomados localmente son muy importantes para monitorear mejor la efectividad de las políticas de manejo de incendios y su impacto en la biodiversidad. Esto debe ser responsabilidad de los administradores de las áreas protegidas, los cuales deben registrar las horas de los incendios y la extensión espacial del área afectada. Estos registros facilitarán el desarrollo de diferentes estudios y mejor comprensión de la ecología del páramo frente a los incendios de cobertura vegetal.

1.2 Planteamiento del problema y justificación

De acuerdo con Parra-Lara y Bernal-Toro (2010) el fuego se describe como una fuerza histórica evolutiva para las especies biológicas, ecosistemas y el paisaje, el mismo que no siempre tiene un impacto negativo en las áreas incendiadas. El problema radica cuando el ecosistema supera su capacidad de resiliencia debido a los constantes incendios, que provoca de manera irreversible afectaciones en los procesos naturales (Parra-Lara y Bernal-Toro, 2010). Los incendios son comúnmente generados por conflictos sociales, públicos y creencias tradicionales para beneficiar la entrada del hombre y la agricultura en áreas que aún no han sido intervenidas (Amaya y Armenteras, 2012).

Los efectos de los incendios se evidencian directamente en la biodiversidad de flora y fauna presente en distintos ecosistemas, en específico los incendios de cobertura vegetal afectan la riqueza del páramo, el cual presenta una gran importancia ecológica debido a los servicios ecosistémicos que presta, como la regulación de agua a las comunidades aledañas, usadas en áreas como alimentación y agricultura (Gualán y Orbe, 2019). Urzúa y Cáceres (2011) mencionan que un incendio produce la dispersión y muerte de especies de flora y fauna, además que afecta la cobertura forestal, erosión del suelo, pérdida de ecosistemas y contaminación del aire por grandes masas de humo y CO₂.

A nivel nacional se implementan campañas de prevención de incendios carentes de estructura, los cuales entran en auge por temporadas cortas y se concluyen sin más, por parte del sector privado específicamente las empresas relacionadas con la industria de la madera entre Ecuador y países aliados han llevado a cabo diferentes programas y proyectos guiados a la prevención de los incendios ejemplo de esto es la Red Regional Sudamericana creada en junio del 2004 (Espinoza, 2017).

La Estación Biológica Guandera es un área de importancia para la conservación ecológica, debido a que está conformada por bosque y páramo (Morillo, 2019). El páramo es uno de los ecosistemas más afectados por los incendios debido a su fragilidad y baja capacidad de resiliencia (Fernández-Méndez et al., 2016); esto causa daños en el suelo, pérdida de flora nativa y migración de especies. La conservación del páramo dentro del Ecuador tiene gran relevancia al ser el ecosistema principal para el abastecimiento de agua (Llambí et al., 2012). En las zonas contiguas a la Estación Biológica Guandera se realizan actividades agropecuarias que mantienen presión en áreas del bosque que no son protegidas, estas áreas son quemadas para obtener mejor pasto para el ganado y en ocasiones causa que el fuego se expanda incontrolablemente (BirdLife International, 2021).

Los incendios dentro de la cobertura vegetal son multicausales y dinámicos en tiempo y espacio, lo que genera diversidad de impactos dentro del medio natural y social, por ello es importante establecer medidas de prevención y una adecuada gestión, acorde a la información científica proporcionada (Jiménez et al., 2016). Tras una variedad de estudios se ha podido establecer la combustibilidad del material vegetal presente en ciertas zonas y la influencia de la topografía de un sitio a la hora de producirse un incendio, sin embargo, los factores climáticos son difíciles de predecir a pesar del gran avance tecnológico, y son estos los que condicionan la rapidez de propagación (Villers, 2006).

Las nuevas tecnologías asociadas a la integración de información geoespacial permiten recolectar, analizar y presentar datos espaciales, para la

evaluación y monitoreo de incendios (Velasco et al., 2020), esto contribuye a la obtención de la cartografía perteneciente las cuales permiten realizar una correcta gestión de riesgo de incendios en el área. Espinoza (2017) menciona que el implementar programas de prevención de incendios tiene una mayor rentabilidad que los sistemas de control y combate, ligado a convenios internacionales y acuerdos orientados a la prevención de incendios en áreas silvestres, en especial entre países que presentan una mayor susceptibilidad a incendios, con lo cual se espera reducir pérdidas materiales, naturales y humanas.

La presente investigación busca contribuir con el eje de Transición ecológica, objetivo 11 y 12 correspondiente al Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025 del Ecuador, que tienen como finalidad conservar, restaurar, proteger y hacer usos sostenibles de los recursos naturales y fomentar modelos de desarrollo sostenible que aplican medidas de adaptación y mitigación al Cambio Climático (Secretaría Nacional de Planificación, 2021).

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar la susceptibilidad a incendios de cobertura vegetal en la Estación Biológica Guandera para proponer estrategias de prevención y mitigación de incendios.

1.3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar los factores físicos y meteorológicos que influyen en los incendios de cobertura vegetal.
- Zonificar la susceptibilidad a incendios de cobertura vegetal en la zona de estudio.
- Elaborar estrategias de prevención y mitigación de incendios de cobertura vegetal en la Estación Biológica Guandera.

1.4. Preguntas directrices de la investigación

¿Qué áreas presentan mayor susceptibilidad a incendios dentro de la Estación Biológica Guandera?

¿Qué estrategias ayudarán a la prevención y mitigación de incendios dentro del área de estudio?

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Incendios de cobertura vegetal

Los incendios de cobertura vegetal (ICV) se consideran como perturbaciones ecológicas que tienen efectos discretos o difusos, severos o destructivos, los cuales pueden tener un origen natural o antrópico, su dinámica está relacionada con las concurrencias de diferentes condiciones en un mismo sitio (Parra-Lara y Bernal-Toro, 2010). El incendio influye en la estructura, composición y función de los ecosistemas (Morgan et al., 2001), ocasionando que la composición de especies se modifique y favorezca la ocurrencia de incendios posteriores (Díaz-Delgado et al., 2004). Al incendiarse la cobertura vegetal de un ecosistema se asume repercusiones, que en ocasiones son benéficas; no obstante, la incontrolable generación de incendios contribuye a agravar los efectos de este (Martínez-Fernández y Pilar, 2004).

Los principales factores que influyen en el comportamiento de los incendios son la topografía, las condiciones climáticas y los elementos combustibles (Dalmau et al., 2020), estos factores combinados de forma adecuada conforman los tres elementos esenciales (oxígeno, calor y combustible) para generar combustión (Ramos, 2010). El incendio repercute de diferente manera en cada tipo de ecosistema, lo que llega a provocar cambios en la cobertura vegetal, a esto se debe la necesidad de un monitoreo constante de las condiciones para la ignición del fuego y cambios post incendios con diferentes mecanismos de teledetección (Capador et al., 2021). La teledetección satelital permite obtener información de forma local, regional o global, esto da la oportunidad de realizar un seguimiento y detección de incendios (Jaiswal et al., 2002), los datos mapeados contribuyen a comprender como los factores influyen en la naturaleza y comportamiento del fuego en un área (Morgan et al., 2001).

2.1.1 Causas de los incendios de cobertura vegetal

El origen de un incendio dentro de un área depende mucho de los factores de incidencia presentes, los cuales llevan a un origen y propagación rápida del incendio. Estos factores son la disponibilidad de los combustibles, las condiciones meteorológicas del lugar y la existencia de fuentes de inflamación, las cuales están presentes en la superficie (Carrasco, 2016). Existen causas denominadas estructurales que son aquellas que se asocian a condiciones permanentes, ecológicas y sociales y causas inmediatas las cuales derivan de orígenes antrópicos o de agentes naturales (Ministerio del Ambiente de Panamá, 2015).

2.1.1.1 Causas inmediatas

El fuego se inicia de forma inmediata por agentes naturales o antrópicos por comportamiento humano. Las causas inmediatas se clasifican en tres tipos que son:

- a. Origen natural.** Incendios que se generan sin intervención del ser humano, principalmente por caída de rayos, que gracias a la presencia de combustible en el área puede originar y propagar rápidamente un incendio, esto es más común durante la época de sequía (Navarrete et al., 2007).
- b. Negligencias.** Se refiere a incendios producidos por descuidos del uso de fuego. Las quemas de residuos agrícolas, quemas de pastos, que para las personas en su trabajo les resulta conveniente (Vélez, 1995), llegan a descontrolarse expandiéndose a las áreas naturales.
- c. Intencional.** Son aquellas que se han provocado deliberadamente por el ser humano. Generando el fuego con intencionalidad producto de conflictos entre comunidades, creencias ancestrales y piromanía provocando que el fuego consuma grandes extensiones (Castillo et al., 2003).

2.1.1.2 Causas estructurales

Se relaciona con factores que influyen en el comportamiento y propagación del fuego, estas causas dependen de factores intrínsecos dentro de un área vegetativa y del entorno socioeconómico (Navarrete et al., 2007). Se considera como causa estructural la acumulación de cargas de combustibles y el uso tradicional del fuego en la agricultura, además del poco conocimiento de las personas sobre la fragilidad de los ecosistemas, aparte del poco espíritu de conservación por parte de las poblaciones rurales (Ministerio del Ambiente de Panamá, 2015).

2.1.2 Tipos de incendios de cobertura vegetal

Existen diferentes tipos de incendios de cobertura vegetal. La forma más común de clasificar es de acuerdo con la forma de propagación que son:

- a. Incendios de superficie.** En este tipo de incendios el combustible que se encuentra sobre el suelo es el factor principal para la propagación, generalmente se trata de hojas secas, ramas desprendidas de los árboles y troncos (Denham, 2007). El incendio de este tipo suele propagarse con rapidez. Para determinar la probabilidad de ignición en este tipo de incendios se evalúa la composición de la vegetación, sus combustibles, vegetación que se encuentra sobre la superficie del suelo, y la relación con los parámetros físicos y meteorológicos del ambiente (Ruiz y Blanco, 2004).

- b. Incendios de copas.** El fuego se propaga rápidamente por ascendencia vertical y quema la vegetación hacia arriba al usar las ramas como combustible, hasta llegar al dosel de los árboles (Hernández, 2019). Para evaluar el comportamiento de este tipo de incendios en zonas boscosas se toma en cuenta el tipo de vegetación, altura, carga combustible de las

copas, y la relación de volumen del combustible con la densidad de este (Domènech et al., 2013).

c. Incendios de suelo o subterráneo. En este caso el fuego se dispersa por debajo de la superficie al quemar raíces y materia orgánica seca (Denham, 2007). Hernández (2019) menciona que este tipo de incendio avanza muy lento, sin embargo, es difícil de detectar ya que es el producto de un incendio previo, y puede alcanzar una profundidad de hasta dos metros.

2.1.3 Incendios en los ecosistemas

El fuego es considerado una fuerza evolutiva que con el tiempo ha ayudado a moldear la estructura, composición y distribución de los diferentes ecosistemas de cobertura vegetal (Parra-Lara y Bernal-Toro, 2010). Nájera (2013) menciona que es importante considerar a la ecología del fuego dentro de la ciencia de la ecología, la cual se encarga del estudio del fuego en distintos componentes de los ecosistemas y las interrelaciones que se manifiestan entre los seres vivos y el ambiente. El fuego a lo largo del tiempo ha presentado influencia en la sucesión ecológica, es importante comprender la función que el fuego cumplen en los diferentes ecosistemas (Myers, 2006). La clasificación de los ecosistemas se basa de acuerdo con la respuesta de la vegetación al fuego.

a. Ecosistemas dependientes. Los ecosistemas requieren del fuego para conservar las especies, sus hábitats y paisajes (Myers, 2006), esto debido a que este tipo de ecosistemas se han desarrollado con el fuego (Armenteras et al., 2020). Donde el fuego es esencial y las especies que se encuentran dentro del ecosistema han desarrollado adaptaciones para mayor resistencia (Parra-Lara y Bernal-Toro, 2010).

b. Ecosistemas independientes. Estos ecosistemas son demasiado fríos, húmedos o secos para quemarse, por esto la influencia del fuego es muy pequeña o nula (Myers, 2006). Al ser áreas muy húmedas y no contar con

las características para la ignición y propagación del fuego, es muy poco probable que estos ecosistemas se ven afectados por incendios (Armenteras et al., 2020).

c. Ecosistemas sensibles. Las especies vegetativas dentro del ecosistema carecen de adaptación al fuego, y las condiciones en las que se encuentran impide la rápida propagación (Nájera, 2013), sin embargo, esta condición cambia por la invasión de pastos, cambio de uso de suelo, arbustos pirófilos y cambio climático (Armenteras et al., 2020), estas actividades causan la fragmentación del ecosistema, lo que altera el combustible que contribuye a que las igniciones aumenten, y debido a esto el ecosistema cambie a una vegetación más propensa al fuego (Myers, 2006).

d. Ecosistemas influidos. Estos ecosistemas están emparentados jerárquicamente entre los ecosistemas sensibles y dependientes (Myers, 2006), se encuentran en el punto de transición entre estos ecosistemas donde aún la respuesta de las especies vegetativas no es concreta y el mantenimiento de la diversidad dentro de este aún no se conoce (Nájera, 2013).

2.1.4 Fases de inicio del fuego

Para el inicio y propagación de un incendio se cumple tres fases que principalmente se distinguen por los niveles térmicos, estas fases son:

a. Fase de precalentamiento. Al comenzar el incendio el aire comienza a calentarse y a elevar la temperatura del combustible lo que ayuda a reducir la humedad (Aguirre, 2001). En esta fase se inicia la pérdida de humedad y comienza la destilación de la resina del combustible conforme aumenta la temperatura (Vélez, 1995).

b. Fase de combustión de gases. Esta fase establece un efecto dominó, donde, la madera genera gases que contienen propiedades inflamables, que al oxidarse con el aire dan inicio al fuego (Herrera et al., 2001). El desprendimiento de energía continua con la reacción del fuego al emanar calor y expandirse a la superficie y cuerpos cercanos (Botta, 2021).

c. Fase de combustión del carbón. La madera que debido a las altas temperaturas desprende calor, forma pequeños fragmentos denominados carbón, los cuales requieren una menor cantidad de oxígeno para continuar con la combustión (Herrera et al., 2001). Al quemarse el carbón combinado con el oxígeno quedan las cenizas formadas por sustancias minerales que no arden (Vélez, 1995).

2.1.5 Elementos determinantes del componente fuego

El fuego es el resultado de un proceso químico que tiene origen en la presencia de tres elementos que son: combustible, calor y oxígeno, denominado por algunos autores como triángulo de fuego o de combustión (Figura 1) (Ramos, 2010). Estos factores están presentes en el ambiente, es decir, su nivel de influencia dependerá de la cantidad en la que estos se encuentren. La humedad del suelo mantiene inactivo el combustible, pero una vez se inicia la ignición el viento aumenta la velocidad de las llamas, traslada el aire caliente que seca los combustibles y acelera la propagación del incendio (Herrera et al., 2001).

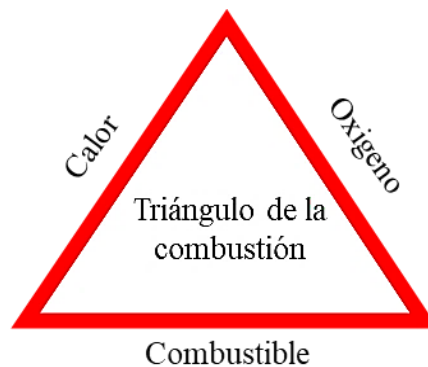


Figura 1. Triángulo de combustión

Fuente: Ramos (2010). *Manejo del Fuego*. 240.

2.1.6 Impactos que ocasionan los incendios de cobertura vegetal

Al existir una alteración en el funcionamiento natural del ecosistema, en este caso al pasar por un incendio, se producen cambios que alteran la naturalidad del medio físico alterando las variables químicas y físicas y los ciclos naturales a los que se someten (Parra-Lara y Bernal-Toro, 2010). Estos cambios pueden traer consecuencias positivas como negativas (Ramos, 2010), que de acuerdo con lo mencionado por Hirsch et al. (2001) el fuego puede ser usado de forma positiva al realizarse de forma prescrita y control; no obstante, los incendios incontrolados llegan a causar daños dependiendo de la respuesta del ecosistema y la adaptación de las especies. En ecosistemas sensibles los incendios causan modificaciones en la composición y ciclo de las especies donde la vegetación se vuelve más propensa, y los incendios se vuelven más recurrentes (Myers, 2006). En la tabla 1 se define de forma general los impactos negativos que causan los incendios de cobertura vegetal.

Tabla 1. Impactos de los incendios en el ambiente

Variable	Impacto
Suelo	El suelo sometido a un incendio sufre cambios en las propiedades químicas y físicas, aumentando la probabilidad de erosión y afectando en su capacidad de infiltración, disminuyendo así la capacidad de absorción y de retención del agua (González-Pérez et al., 2005), además de sufrir alteraciones en sus nutrientes, lo que afecta al microbiota que participa en diferentes procesos ecológicos (Parra-Lara y Bernal-Toro, 2010).
Agua	Los cambios que sufre el suelo y la vegetación luego de un incendio afectan la hidrología, contaminado el agua con sedimentos y solutos, además, de modificar el proceso de infiltración, evapotranspiración impidiendo que el agua llegue al cause o acuífero (Dinis et al., 2011).
Aire	La contaminación del aire es un impacto instantáneo al producirse un incendio, al consumir la materia orgánica o combustible se libera CO ₂ , CO, CH ₄ , N ₂ O y otros gases en menor proporción (Parra-Lara y Bernal-Toro, 2010). Armenteras et al. (2020) en su investigación menciona que la calidad del aire disminuye en áreas cercanas a las zonas afectadas por incendios, presentando altos niveles de material particulado producto de la quema de biomasa.
Vegetación	La vegetación al ser el principal combustible en la propagación de los incendios es la más afectada, al perder la vegetación nativa lo que causa la introducción de especies invasoras y cambio de cobertura vegetal

(Myers, 2006). El fuego altera la estructura y composición de las especies vegetativas, aquellas que han logrado sobrevivir luego de un incendio son vulnerables por lo que la regeneración luego del incendio es más lenta de lo normal (Armenteras et al., 2020).

Fauna El calor que emana el incendio o la falta de oxígeno afecta a la fauna, lo que ocasiona su desplazamiento o hasta su muerte; las especies que logran sobrevivir a este fenómeno se ven en la obligación de migrar ya que se hábitat ha sido destruido (Morales, 2007). Vargas y Rivera (1991) mencionan que la fauna silvestre de los páramos se ve afectada en el aislamiento al perder la conectividad con las áreas sub andinas, esto causa que las poblaciones de fauna se encuentren en un estado vulnerable al reducir su hábitat y fuentes de alimento obligando a las especies a desplazarse, y por lo tanto aumentar las posibilidades de ser presas para otros animales o ser cazados pro el ser humano.

2.1.7 Factores que influyen en la ignición y propagación de incendios

Una zona considerada propensa a incendios posee características ambientales que benefician en la ignición y propagación, relacionándose con las causas de ignición y recurrencia del incendio (Coelho et al., 2016). Los factores biofísicos que condicionan la repercusión de los incendios de cobertura vegetal se dividen en factores topográficos o físicos y factores climáticos o meteorológicos (Tabla 2) (Verdú y Salas, 2011; Coelho et al., 2016; Jaiswal et al., 2002; Dong et al., 2005).

Tabla 2. Factores que influyen en los incendios

Factores Topográficos	
Altitud	Suryabhadgavan et al. (2016) mencionan que la altitud es un factor condicionante en la temperatura, humedad y tipo de vegetación. Entre menor sea el rango altitudinal la temperatura será mayor, esto reducace el grado de humedad presente en el ambiente y la vegetación será más seca, esto facilita así la propagación rápida de un incendio (Aguirre, 2001) siendo lo contrario a medida que la altitud aumenta.
Pendiente	En un estudio realizado por Jaiswal et al. (2002) mencionan que la pendiente no es un factor que influye en la probabilidad de ocurrencia del incendio, sin embargo, posee una fuerte influencia en cómo se comporta el fuego. La rapidez de propagación de un incendio aumenta al presentarse pendientes elevadas o desniveles en el terreno (Dalmau et al., 2020). A mayor pendiente el fuego se propaga con mayor rapidez causando mayor pérdida de cobertura vegetal.

Orientación del Terreno	La luz del sol se refleja en las laderas aumentando más la probabilidad de ignición y rápida propagación (Dong et al., 2005), la inclinación del sol y exposición del terreno depende de la orientación y el hemisferio en el que se encuentre el área propensa a incendios (Guzmán et al., 2019).
Cobertura vegetal	La vegetación distribuida sobre el terreno es el principal combustible con el cual se inicia y propaga un incendio de cobertura vegetal (Páramo-Rocha, 2011). El tipo de vegetación y grado de inflamabilidad condiciona la rapidez de propagación y el nivel de afectación al área (Jaiswal et al., 2002).
Cercanía a vías	Las vías brindan un fácil acceso para actividades humanas o vehículos, esto causa mayor oportunidad para que se genere incendios accidentales o provocados (Jaiswal et al., 2002). El riesgo a incendio aumenta entre mayor sea la conectividad con las comunidades y zonas de cultivos, es por esto por lo que entre más lejos este el área de las vías, menor será la probabilidad de que se genere un incendio (Dong et al., 2005).
Factores Meteorológicos	
Precipitación	La lluvia mantiene la humedad, sin embargo, en la época seca esta disminuye causando que la ignición del fuego sea más fácil (Vélez, 1995). A mayor precipitación la probabilidad de que ocurra un incendio es baja, por el contrario, si existe unos escasos de lluvia la probabilidad de incendios aumenta (Rodríguez et al., 2017).
Temperatura	De acuerdo con Verdú y Salas (2011) los incendios son más recurrentes en zonas donde la temperatura es elevada, la misma que se relaciona con otros factores para formar condiciones adecuadas para la propagación del fuego. El material combustible en zonas o épocas donde la temperatura es elevada es más inflamable (Díaz y Encarnación, 2018).
Evapotranspiración	Los niveles de evapotranspiración aumentan en épocas donde las precipitaciones disminuyen y la temperatura aumenta, reduciendo la humedad de la cobertura (Ocampo-Zuleta y Beltrán-Vargas, 2018)
Déficit hídrico	El déficit hídrico se relaciona directamente con la generación de los incendios en épocas donde las precipitaciones son escasas (Díaz y Encarnación, 2018) a mayor grado de déficit hídrico mayor es la probabilidad de inicio de un incendio (Coelho et al., 2016).

2.1.8 Sistemas de información geográfica aplicado al estudio de incendios

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son piezas claves en la detección de cambios espacio temporales, ya que proporcionan registros gráficos georreferenciados de puntos de la tierra referentes a un tamaño y dimensión relativa (Columba y Quisilema, 2013). Esta herramienta brinda facilidad en la entrada de datos, velocidad de procesamiento y dinamismo permitiendo ser usadas en amplias

disciplinas investigativas entre ellos el estudio de incendios (Ferraz y Vettorazzi, 1998). Basildo y López (1998) recalcan la importancia de la integración del SIG en el mapeo de los incendios lo cual permite realizar estudios preventivos, de seguimiento y simulación del comportamiento del fuego.

Dong et al. (2005) en su investigación toma al SIG como un medio de superposición y combinación de imágenes satelitales para analizarlos y determinar zonas de riesgo a incendios, concluyendo que este método puede ser aplicado para la gestión de incendios en los lugares de alto riesgo y tomar medidas adecuadas para evitar daños a largo plazo; de igual manera, Jaiswal et al. (2002) emplea las capacidades de la teledetección y el SIG para zonificar áreas que presentan mayor riesgo a incendios, asociando los factores topográficos y meteorológicos que influyen en la ocurrencia de incendios, y finalmente compara el mapa de las zonas detectadas como mayor riesgo a incendios con los puntos de los lugares reales afectados con el fuego coincidiendo en su mayoría con las áreas con alto riesgo a incendio demostrando la confiabilidad de las herramientas aplicadas. Por su parte Díaz-Delgado et al. (1998) empleo la herramienta de SIG en el monitoreo de la regeneración de la vegetación luego de un incendio, realizando una comparación cronológica de la cartografía para determinar la tasa de recuperación de la vegetación luego del siniestro.

La susceptibilidad de incendio es considerada un proceso espacial y temporal, es por esto por lo que al estudiarlo se lo analiza de la misma manera usando una herramienta que trabaje adecuadamente con información espacial, es a causa de esto que el SIG es usado en varios estudios previos sobre la susceptibilidad a incendios (Chuvieco et al., 2010). Identificar áreas susceptibles a incendios mediante el mapeo con SIG ayuda en la prevención de incendios y el desarrollo de estrategias de mitigación para combatir los incendios (Suryabhagavan et al., 2016).

2.1.8.1 Susceptibilidad a incendios

La predisposición de un área a sufrir recurrentemente incendios es denominada susceptible. Para determinar la susceptibilidad a incendios de

cobertura vegetal de un área, se inicia con el análisis de los factores que influyen en la ignición y propagación de incendios (Suryabagavan et al., 2016). En un estudio realizado por Coelho et al. (2016) identifica los factores que influyen en los incendios en su área de estudio y cada factor es clasificado de acuerdo con la susceptibilidad debido a que cada variable afecta en los incendios de manera diferente, para posteriormente procesar la información y obtener un mapa general de la susceptibilidad a incendios dentro del área.

La susceptibilidad a incendios se la obtiene con la suma de los factores que influyen en la ignición, estos factores son caracterizados y clasificados acorde a su importancia, esto permite posteriormente zonificar las áreas más susceptibles a la ocurrencia incendios de cobertura vegetal (Jaiswal et al., 2002). Con el mapa de susceptibilidad se identifica la vulnerabilidad y predisposición del área a la ocurrencia y dispersión del incendio, de igual manera el mapeo permite cuantificar la probabilidad de ocurrencia para generar medidas de mitigación más acertadas (Ghorbanzadeh et al., 2019). De acuerdo con el estudio de varios autores la susceptibilidad de incendios se la clasifica de forma equitativa en cinco niveles cada nivel vario acorde a su traducción o definición (Tabla 3) (Suryabagavan et al., 2016; Jaiswal et al., 2002; Coelho et al., 2016; Dong et al., 2005; Arias et al., 2020).

Tabla 3. Niveles de susceptibilidad de incendios

Nivel	Definición
Muy Baja	La ocurrencia de incendios es escasa o nula.
Baja	Un incendio puede ocurrir bajo circunstancias muy anómalas.
Media	Existe la posibilidad de una convergencia de las variables de generación de incendios.
Alta	Posee todas las variables y condiciones necesarias para la generación del incendio.
Muy Alta	Zonas con antecedentes de incendios que tienen todas las condiciones de ignición por lo que se encuentra en un peligro latente.

Fuente: SNGRE, (2020). *Atlas de Espacios Geográficos Expuestos a Amenazas Naturales y Antrópicas*, 122.

2.1.9 Proceso de análisis Jerárquico (AHP)

De acuerdo con Bermúdez y Quiñones (2018) el proceso de análisis jerárquico desarrollado por Thomas Saaty está diseñado para resolver problemas que tengan multicriterio, por ello es de vital importancia conocer la finalidad de resolver el problema, para deducir el grado de cada criterio a analizar. Mediante el AHP se puede obtener resultados medibles para la matriz de evaluación, ponderando los criterios, donde se puede puntuar acorde a su importancia o relevancia frente a la problemática (Farfán et al., 2016), esto es posible mediante la correcta gestión de la información y métodos de adquirir conocimiento que permitan obtener los resultados deseados a la hora de resolver la problemática (Singh y Nachtnebel, 2016). Celemín (2014) en su investigación menciona que la evaluación multicriterio y el análisis jerárquico son empleados constantemente en los SIG donde es necesario realizar un proceso de verificación manual del procedimiento de AHP, donde se inicia con una tabla de comparación pareada de cada criterio y posteriormente se estandariza los valores, obteniendo el promedio de los procesos para obtener una ponderación para cada criterio.

2.1.10 Validación estadística

Las pruebas estadísticas están diseñadas para analizar cualquier tipo de información, utilizando esta facilidad para la aplicación en la validación de datos por medio de comparación de resultados o modelos (Flores et al., 2017). En el estudio de Soto y Salinas (2010) se realiza una comparación estadística entre los datos de incendios reales con el resultado de datos obtenidos de un simulador que analiza el comportamiento del fuego, en este caso se realizó un análisis multivariado de conjunto de dato lo que permitió demostrar la alta confiabilidad del modelo por medio del análisis estadístico. Por su parte Anrango et al. (2019) toma las pruebas de Chi-cuadrado y curva Roc para asociar dos variables independientes y validar el modelo las áreas susceptibles a incendios en el cantón Ibarra.

- a. Chi Cuadrado de Pearson.** La prueba estadística de Chi Cuadrado es una prueba no paramétrica que está destinada al análisis de dos o más criterios para para aceptar las hipótesis de no asociación y también para probar la bondad de ajuste de los datos (Rakesh, 2015). La prueba de Chi Cuadrado de Pearson permite relacionar variables mediante el uso de una tabla de contingencia donde el nivel de significancia debe ser menor a 0,05 para indicar asociación de las variables (Anrango et al., 2019).
- b. Curva ROC (Receiver Operating Characteristic).** La prueba de curva ROC representa gráficamente la sensibilidad a la especificidad de una prueba diagnosticada, donde las curvas representadas corresponden a los puntos de corte usados para determinar si el resultado es positivo (Mandrekar, 2010). En el grafico al observar la curva más cercana a la línea diagonal de referencia el resultado es menos específico, por el contrario, las curvas por encima de la línea de referencia representan que los datos corresponden a resultados correctamente predictivos, estos valores cuantificados deben acercarse a uno para que la especificidad sea mayor (Carter et al., 2016).

2.1.11 Gestión de riesgo de incendios

En Ecuador el SNGRE es el eje central para la atención de emergencias que juntamente con los Bomberos, el ECU-911, las fuerzas de control, los Gobiernos Autónomos Descentralizados, Ministerio del Ambiente y otras entidades que pertenecen a la cartera de estado, se encuentran atentas en los estudios de prevención y respuesta temprana (SNGRE, 2020). El implemento de leyes es importante para controlar igniciones y que los incendios se esparzan sin control causando impactos negativos en el ambiente, estas leyes deben estar enfocadas en sanciones, educación, programas de control las mismas que deben estar enfocadas para trabar en conjunto con el gobierno y las comunidades (Myers, 2006).

Los programas de prevención y mitigación se enfocan de acuerdo con el comportamiento del fuego y la recurrencia de estos, a la hora de combatir un incendio los programas para defensa se establecen entorno a evitar que el incendio se propague, esto por medio de líneas de defensa o de control, también con métodos correctos de combate aplicado por las líneas de emergencia (Aguirre, 2001). De igual manera Myers (2006) menciona que la educación hacia las comunidades es una parte fundamental para dar a conocer el funcionamiento del fuego, las técnicas correctas de quemas controladas y de este modo prevenir los incendios descontrolados de cobertura vegetal. Por su parte el SNGRE se encuentra en la labor de desarrollar brigadas acreditadas en el refuerzo de los incendios forestales, dirigidos al cuerpo de bomberos del país, con el propósito de formar equipos especializados en el control y combate de incendios con la finalidad de salvaguardar la seguridad de los ciudadanos y los recursos naturales (SNGRE, 2020).

2.2. Marco legal

La presente investigación se enmarca en la normativa vigente con base en la jerarquía conforme establece el artículo 425 de la Constitución de la República del Ecuador.

2.2.1. Constitución de la República del Ecuador

La Constitución del Ecuador (2008) dentro del Art.14, garantiza el derecho de las personas a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, donde establece mecanismos de control de la contaminación ambiental, por otro lado, en del Art.71 se menciona los derechos que posee la Pacha Mama, donde, cualquier persona comunidad o nacionalidad puede exigir el cumplimiento de estos, con la finalidad de proteger y promover el respeto de los ecosistemas.

En la sección VII de biósfera, ecología urbana y energías alternativas en los artículos 414 se indica la importancia del control y mitigación de los gases de efecto invernadero, deforestación y la contaminación atmosférica, además, en el

artículo 264 se resalta como una de las competencias de los gobiernos municipales el gestionar los servicios de prevención, protección, socorro y extinción de los incendios.

2.2.2 *Convenios Internacionales*

Entre los convenios internacionales que el Ecuador ha suscrito en relación con la conservación de los ecosistemas se encuentra el Convenio sobre Diversidad Biológica cuyo objetivo es la conservación de las zonas de importancia en cuanto a diversidad biológica, el uso sostenible de sus componentes, que acompaña al convenio de Viena para la protección de la capa de ozono (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 1992). De igual manera Ecuador ratificó su participación en la Convención Marco De Las Naciones Unidas sobre el cambio climático, el cual busca estabilizar la concentración de gases de efecto invernadero.

2.2.3 *Código Orgánico Ambiental*

El Código Orgánico Ambiental (2018) menciona, dentro de los artículos 26 y 27, la responsabilidad de los Gobiernos Autónomos Descentralizados tanto provinciales como metropolitanos y municipales en materia ambiental elaborar planes, programas y proyectos para prevenir y controlar incendios forestales y riesgos que puedan afectar los bosques, vegetación natural o bosques plantados. Dentro del artículo 98 del marco institucional especial, de las atribuciones de la Autoridad Nacional de Agricultura a dictar la normativa técnica para prever y controlar los incendios forestales y sistemas agroforestales de producción. De acuerdo con el artículo 261 dentro de las medidas mínimas para la adaptación y mitigación se resalta la identificación de acciones para prevenir y controlar incendios dentro de los diferentes ecosistemas (Código Orgánico Ambiental [COA], 2018).

2.2.4 Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización

El Art. 140 del presente código orgánico dentro del capítulo IV referente al ejercicio de las competencias constitucionales estipula que la gestión de los servicios de prevención, protección, socorro y extinción de incendios, que de acuerdo con la Constitución corresponde a los gobiernos autónomos descentralizados municipales, se ejercerá con sujeción a la ley que regule la materia (COOTAD, 2014).

2.2.5 Reglamento al Código Orgánico Ambiental

En el reglamento se identifica la importancia que genera la calidad ambiental y el cambio climático (Libro 3 y Libro 4) en estos libros se establece las normas de calidad que priorizan la calidad ambiental y técnicas que garanticen la estabilidad de los componentes biótico y abióticos enfocados a la realidad geográfica y sectorial del territorio nacional (Art. 461). En su artículo 675 se establece el objetivo de disminuir los gases de efecto invernadero con la planificación de medidas de mitigación. Cabe mencionar que el papel que cumplen las entidades competentes a nivel local debe estar articulado dentro de los Gobiernos Autónomos Descentralizados junto con los demás niveles de gobierno (Art. 698) (Reglamento al Código Orgánico del Ambiente [RCOA], 2019).

2.2.6 Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión de Suelo

La ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión de Suelo, mediante el registro oficial N.º 790, publicado el 5 de julio de 2016. En el Art 12, establece las medidas para el desarrollo sustentable y el uso racional del suelo, el sistema productivo para optimizar las relaciones de las actividades agrarias con las características biofísicas del medio natural, por su parte la ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua, mediante el registro Oficial N.º 305, publicado en agosto del 2014, en el Art. 12 menciona la responsabilidad del estado,

comunidades, juntas de agua y riego en conservar las fuentes de agua y manejo de páramo.

2.2.7 Ordenanzas

Dentro de la ordenanza que establece las políticas ambientales del Gobierno Provincial del Carchi en el Art. 3 de Políticas ambientales, establecidas en febrero del 2010; se promueve el desarrollo forestal sustentable de la provincia, para la prevención integral y sustentable del recurso forestal. Dentro de sus estrategias para su cumplimiento en el literal c se especifica la elaboración y ejecución de planes de manejo y reconocer zonas de protección ecológica para la conservación de páramo, bosques naturales y otras áreas de protección de fuentes de agua.

CAPÍTULO III

MÉTODOS

3.1 Descripción del área de estudio

La estación Biológica Guandera se estableció en marzo de 1994, posee una extensión de 1000 ha dentro de las cuales, aproximadamente 600 son de páramo y 400 de bosque. Se encuentra en la provincia del Carchi, cantón San Pedro de Huaca, parroquia Mariscal Sucre (Figura 2); limitada al norte con Guananguicho Sur y San Pedro de la Cruz; al sur con los caseríos Línea Roja, San Francisco y Loma el Tambo; al este con la provincia de Sucumbíos y al oeste con la parroquia Fernández Salvador y La Calera (Gobierno Parroquial de Mariscal Sucre, 2015).

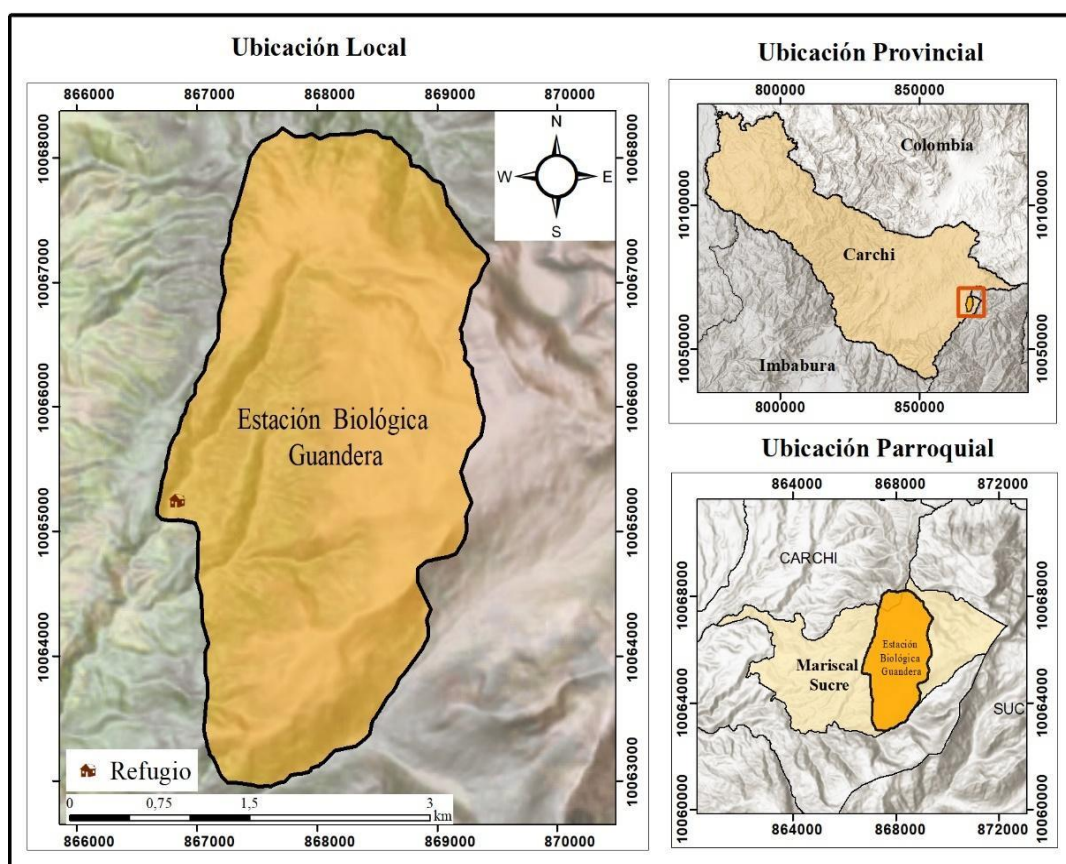


Figura 2. Ubicación de la Estación Biológica Guandera

3.1.1 Ecosistemas

Las Estación Biológica Guandera se encuentran dentro del Hotspot de los Andes tropicales, por esto el área es considerada de importancia para la conservación (Gobierno Autónomo Descentralizado de Huaca, 2014). De acuerdo con el sistema de clasificación de ecosistemas del Ecuador continental, el área pertenece al Bosque siempreverde montano alto del norte de la cordillera oriental de los andes (BsAn01) y al ecosistema rosetal caulescente y herbazal de páramo (RsSn01) (Ministerio del Ambiente del Ecuador [MAE], 2013). Dentro de este ecosistema se encuentra una vegetación muy densa principalmente conformada por árboles de guandera (*Clusia flaviflora*) (Cerón et al., 2006). Los árboles presentes en el bosque están cubiertos por musgos, bromelias, orquídeas, helechos, licopodios, briofitas y hepáticas los cuales forman el hábitat perfecto para una variedad de anfibios, aves y mamíferos (Morillo, 2019). En la zona del páramo se evidencia la presencia de pajonal (*Calamagrostis sp*) frailejones (*Espeletia sp*), achupallas (*Puya sp*), que forma un área propicia para el avistamiento de aves nativas y mamíferos, entre ellos el oso de anteojos (*Tremarctos ornatus*) (Gobierno Parroquial de Mariscal Sucre, 2015).

3.1.2 Clima

La Estación Biológica al encontrarse en la parroquia Mariscal Sucre posee un clima ecuatorial de alta montaña según la clasificación climática de Pourrut et al. (1995), y se sitúa en un rango altitudinal que va desde 3300 a 3900 m.s.n.m; con una precipitación anual que va en un rango de 1000 y 1200 mm y una temperatura media anual entre 4 a 9°C (Gobierno Parroquial de Mariscal Sucre, 2015).

3.1.3 Servicios ambientales

La Estación Biológica al poseer gran biodiversidad nativa como endémica, se convierte en una zona de importancia para la conservación debido a que la mayor parte de su extensión corresponde a páramo (Morillo, 2019) el mismo que es

importante para la provisión de agua. Los servicios ambientales que brinda la Estación Biológica Guandera a las comunidades aledañas y a la Parroquia Mariscal Sucre son significativos y se presentan en la Tabla 4 (Gobierno Parroquial de Mariscal Sucre, 2015), donde se recalca el aprovechamiento sustentable y la aplicación de planes de manejo para la conservación de los ecosistemas.

Tabla 4. Servicios ambientales que brinda la Estación Biológica Guandera

Ecosistemas	Servicios ambientales	Destinados a	Prioridad de conservación
Bosque siempreverde montano alto del norte de la cordillera oriental de los andes (BsAn01)	Servicios de Soporte	Conservación y aprovechamiento sustentable con fines económicos, sociales, ambientales, mediante la aplicación de planes de manejo.	Alta
	Servicios de Provisión		
Rosetal caulescente y herbazal de páramo (RsSn01)	Servicios de Regulación	Conservación de ecosistemas naturales como alternativa para mitigar los efectos del cambio climático.	

Fuente: Gobierno Parroquial de Mariscal Sucre (2015). *Estación Biológica Guandera* 26-27

3.1.4 Situación actual

La expansión agrícola y la velocidad con la que aumenta en los últimos años ha afectado a la cobertura vegetal y al páramo en una proporción menor (Terán et al., 2019). Las quemadas en las zonas de páramo son realizadas directamente por los habitantes, para la expansión agrícola o por creencias ancestrales para atraer la lluvia en las épocas de sequía; estas quemadas no controladas marcan un claro límite entre el bosque y la zona agrícola por lo que con el pasar de los años se ha perdido parte del ecotono y zona de transición (BirdLife International, 2021). El señor José Cando, administrador de la Estación Biológica Guandera, manifiesta que el área se encuentra en un momento de crisis, a causa de los problemas administrativos que por parte de la fundación Jatun Sacha. Los donativos y programas de investigación dentro del área han sido suspendidos y los trabajadores han sido despedidos. Actualmente, se estudia la posibilidad de que la estación biológica pase a manos de una institución pública y se pueda reactivar en el área turística.

3.2 Métodos

3.2.1 Caracterización de los factores físicos y meteorológicos

El presente estudio se realizó con base en el trabajo de investigación realizado por Coelho et al. (2016) en Brasil, y fue adaptada al área de estudio. De este estudio se seleccionó los factores que inciden en el inicio y propagación de incendios, donde se encuentran factores físicos (altitud, uso y cobertura de suelo, proximidad a las vías, pendiente y orientación del terreno) y factores meteorológicos (temperatura, precipitación, evapotranspiración y déficit hídrico), para las cuales se obtuvo los datos de las estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio. Los mapas se realizaron en el software ArcGIS 10.7, con el sistema de coordenadas Universal transversal de Mercator (UTM) en la Zona 17 Sur con sistema geodésico Datum Horizontal World Geodetic Survey 1984 (WGS84) (Jácome, 2015).

Se realizó una entrevista (Anexo 1) de seis preguntas a expertos y personas cercanas a la Estación Biológica, con la finalidad de obtener su experiencia sobre los factores que influyen en la ocurrencia de incendios acorde a la problemática y antecedentes dentro del área. Para aplicar la entrevista se empleó la metodología de “Bola de nieve” que es una técnica de muestreo no probabilístico que consiste en seleccionar un grupo inicial que integren a otros contactos y estos a su vez a otros, y finaliza al tener la suficiente información o cuando se recomiende a un participante que ya fue entrevistado (Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía de México, 2011). Para la tabulación de la información se usó la moda estadística para identificar los datos que presentan mayor frecuencia y posteriormente ponderar las respuestas y adaptarlos al área de estudio.

3.2.1.1 Factores físicos

Para caracterizar los factores físicos que influyen en la generación y dispersión de incendios dentro del área de estudio es necesario un modelo de

elevación digital (DEM). Se ingresó a la plataforma del Centro de acceso abierto de Copernicus (www.copernicus.eu), donde se obtuvo una imagen satélite (*Sentinel 2*) que posteriormente, fue procesada en la aplicación SNAP para obtener un DEM con resolución de 10 m.

- **Altitud**

Para categorizar el valor de susceptibilidad dentro de las cinco categorías adaptadas de Coelho et al. (2016). Se procedió a calcular la media y desviación estándar del ráster, para otorgar un rango a cada categoría por medio de la “regla práctica del intervalo” (Tabla 5), la cual menciona que la mayoría de los datos o valores (hasta 95%) se ubicarán dentro de dos desviaciones estándar a partir de la media (Triola, 2009). Finalmente se clasificó DEM con los rangos calculados.

Tabla 5. Clasificación de altitud y peso asignado al riesgo de incendio

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

Fuente: Triola (2009). y Coelho et al. (2016). *Applying GIS to develop a model for forest fire risk.*

- **Pendientes**

Para calcular el grado de inclinación de la superficie ráster (DEM) descargada se aplicó la herramienta *Slope* del software ArcGIS 10.7. A continuación, se usó el ráster generado se procedió a determinar los rangos de susceptibilidad en porcentaje, para esto se tomó en cuenta la metodología de Coelho et al. (2016) como se indica en la Tabla 6. Finalmente, se asignó una ponderación que va desde 1 al nivel más bajo de riesgo, hasta 5 que representa el nivel más alto en riesgo.

Tabla 6. Clasificación de pendientes y peso asignado al riesgo de incendio

Rangos pendientes (%)	Susceptibilidad	Ponderación
<15	Baja	1
25	Moderada	2
35	Elevada	3
45	Muy alta	4
>45.1	Extrema	5

Fuente: Coelho et al. (2016). *Applying GIS to develop a model for forest fire risk.*

- Cobertura vegetal

a.- Georreferenciación de coberturas en campo

Se realizó una salida de campo al área de estudio para realizar la georreferenciación de la cobertura de suelo presente en el área (Tabla 7). Previamente se calculó el tamaño de muestra representativa con la finalidad de saber la cantidad de puntos necesarios a tomar para que la información sea válida. Para esto se aplicó la Ecuación 1 del cálculo de la muestra, a un nivel de confianza del 95%; donde se obtuvo como resultado que es necesario georreferenciar como mínimo 384 puntos en toda la extensión de la estación biológica.

Tabla 7. Cobertura discriminada

Cobertura y uso de suelo	Categoría
Bosque	1
Veg. Arbustiva	2
Pastizal	3
Páramo	4

$$n = \frac{(N \cdot Z_{\alpha}^2 \cdot p \cdot q)}{e^2 \cdot (N-1) + Z_{\alpha}^2 \cdot p \cdot q} \quad (1)$$

Donde:

n = tamaño de muestra buscado

N = tamaño de la población o universo (m^2)

Z = paramétrico estadístico de nivel de confianza (1,95)

e = error de estimación máxima aceptado (5%)

p = probabilidad de que ocurra el evento estudiado (50%)

q = probabilidad de que no ocurra el evento estudiado (50%)

b.- Clasificación de la imagen

Se descargó una imagen satélite (*Sentinel 2*) del año 2021 con un tamaño de píxel de 10 m, posteriormente se realizó una corrección a la imagen para eliminar nubes y sombras que puedan afectar los resultados. Una vez lista la imagen se procedió a realizar una clasificación supervisada; esta metodología hace uso de las firmas espectrales para clasificar la imagen y representar las clases que se necesita extraer (Environmental Systems Research Institute [ESRI], 2016), este procesamiento se ejecutó mediante el software ArcGIS 10.7.

c.- Validación de la clasificación supervisada

Para validar la información obtenida de la clasificación supervisada se procedió a realizar una matriz de confusión. François et al. (2003) mencionan que esta matriz permite comparar la información de los puntos de verificación, tomados en campo con anterioridad, con la imagen que se pretende evaluar. En las filas se colocó las clases de los puntos de verificación y en las columnas las clases obtenidas en la imagen clasificada, la diagonal de la matriz expresa el número de sitios de verificación que tienen concordancia con la imagen y los puntos de verificación; finalmente los marginales indican los errores de asignación (François et al., 2003). Para la evaluación de la concordancia de los datos se aplicó el coeficiente Kappa que toma valores entre 0 y 1 (Tabla 8), mientras más cercano esté el valor a uno mayor es la concordancia (Cerdeja y Villarroel, 2008).

Tabla 8. Valoración del coeficiente Kappa

Coeficiente kappa	Fuerza de la concordancia
0,00	Pobre
0,01-0,20	Leve
0,21-0,40	Aceptable
0,41-0,60	Moderada
0,61-0,80	Considerable
0,81-1,00	Casi perfecta

Fuente: Landis y Koch, (1977).

d.- Establecer rangos de susceptibilidad

Para los rangos de susceptibilidad se estableció con base en la información obtenida en la pregunta N.º 2 de la entrevista aplicada, sobre la probabilidad de ignición de las coberturas vegetales presentes en la estación biológica. Se tabuló las respuestas y se usó la moda estadística para identificar las respuestas que tiene mayor frecuencia y de esta manera asignar una ponderación para cada nivel de susceptibilidad de los cuatro tipos de cobertura vegetal presentes en el área de estudio.

- Orientación del terreno

Coelho et al. (2016) realiza el cálculo de la orientación del terreno en función a las condiciones de luz solar que afectan el contenido de humedad y tipo de combustible basados en la orientación de las laderas para el hemisferio sur. El Ecuador se encuentra en el cruce de la línea equinoccial con una latitud de 0°, donde se divide el hemisferio norte y sur. En la latitud 0° la proyección de la carta estereográfica es simétrica sin mayor diferencia en la cantidad de horas con luz natural (Guzmán et al., 2019). La Estación Biológica Guandera al encontrarse a pocos km al norte de la línea equinoccial, su latitud será baja y la orientación de los rayos del sol no tendrán un valor significativo por lo que no se tomó a este factor para el análisis de la susceptibilidad.

- Proximidad con las vías

Para determinar este factor se descargó la red vial del área, disponible en la plataforma del Instituto Geográfico Militar del Ecuador (www.geoportaligm.gob.ec), posteriormente en el programa ArcGIS 10.7 se proyectó el shapefile de vías y la delimitación del área; donde se determinó que no existen vías que influyen dentro de la Estación Biológica Guandera. Esta información se verificó con una visita de campo, donde se comprobó que las vías se encuentran lo suficientemente lejos del área por lo cual no presentan ninguna influencia para el estudio.

3.2.1.2 Factores meteorológicos

- Precipitación media anual

La información se obtuvo mediante los anuarios publicados en la base de datos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) y por medio de una solicitud verbal. Se tomó en cuenta las estaciones meteorológicas más cercanas a la Estación Biológica Guandera (Tabla 9) con datos registrados en un lapso de 30 años (1989 a 2018); este lapso es el recomendado para el cálculo de una normal o en este caso la media de un mes o meses determinado según la Guía de prácticas climatológicas establecidas por la Organización Meteorológica en el año 2011 (Organización Meteorológica Mundial [OMM], 2017).

Tabla 9. Estaciones meteorológicas y pluviométricas para precipitación

Código	Tipo	Nombre
M101	CO	EL CARMELO
M103	CO	SAN GABRIEL
M104	CO	MIRA
M315	PV	PIMAMPIRO
M305	PV	JULIO ANDRADE
M310	PG	MARIANO ACOSTA
M314	PV	AMBUQUÍ
M301	PV	CARCHI

Nota: CO: Climatológica Ordinaria; PV: Pluviométrica; PG:Pluviográfica. **Fuente:** INAMHI

a. Relleno de datos

De las nueve estaciones que se obtuvo información, existió un 12,74% de datos faltantes. Para el relleno se usó el método de regresión lineal simple con la ecuación de la recta (Ecuación 2) a través de la aplicación del Software ArcGIS 10.7 y Excel 2016, esto se realizó basándose en los estudios de Anrango et al. (2019); Carrera-Villacrés et al. (2016); Díaz y Encarnación, (2018); Herrera et al. (2017), este último menciona que el método de regresión lineal se recomienda para la estimación de datos mensuales y anuales en estaciones que refieren cercanía, en donde se realiza una regresión y correlación que sea superior a 0,70 representado en un diagrama de dispersión.

$$y = ax + b \quad (2)$$

Donde:

y = precipitación estimada (mm)

x = precipitación patrón (mm)

a y b = constante de regresión

b. Validación de datos

Se descargó los datos meteorológicos mensuales históricos de precipitación del periodo 1989 a 2018 de la plataforma WorldClim (www.worldclim.org), posteriormente se procesó cada ráster en el programa ArcGIS 10.7 para extraer la media anual de cada estación, con la herramienta *Extract Values to Points*. Para la validación de datos se aplicó dos modelos; el R^2 , que permite medir el grado de beneficio que se obtiene con la predicción de la variable a partir de otra variable conocida (Pardo y Ruiz, 2005), y el coeficiente de Nash-Sutcliffe que mide la variabilidad de las observaciones que se aplica a la simulación o predichos (Trucios et al., 2007). Para el cálculo de cada modelo se tomó como datos observados a los datos del INAMHI y como predichos a los datos obtenidos de la plataforma WoldClim. En la Tabla 10 se detallan los valores

obtenidos por cada modelo, que de acuerdo con (Andersen et al., 2001) y (Ritter y Muñoz, 2013) los niveles de ajuste son válidos.

Tabla 10. Valores de ajuste para el modelo de validación (precipitación)

Modelo	INAMHI vs WorlClim	Nivel de ajuste
R ²	0,83	Bueno
Nash-Sutcliffe	0,71	Aceptable

c. Interpolación de precipitación

En este estudio se toma como referencia la investigación realizada por (Moreano, 2008) que al comparar métodos de interpolación de datos sobre el clima en Ecuador se establece que el mejor método de interpolación es el kriging. Por ello, para la interpolación de los datos de precipitación se utilizó la herramienta kriging, con el fin de obtener predicciones de valores desconocidos en una función aleatoria, ya que este asocia la variabilidad de una estimación en referencia a la distancia entre puntos (Redrován, 2018).

d. Establecer rangos de susceptibilidad

Para obtener los rangos se aplicó la regla práctica del intervalo (Tabla 11), para esto se reclasificará el ráster para obtener los valores de riesgo que se encontrarán en rangos como bajo, moderado, alto, muy alto y extremo (Tabla 11) (Coelho et al., 2016).

Tabla 11 Clasificación de la susceptibilidad para la precipitación

Regla práctica del intervalo	Susceptibilidad	Ponderación
$>X - 2\sigma$	Baja	1
$X - \sigma$	Moderada	2
X	Elevada	3
$X + \sigma$	Muy Alta	4
$<X + 2\sigma$	Extrema	5

Fuente: Coelho et al. (2016). *Applying GIS to develop a model for forest fire risk.*

- Temperatura media anual

La información de la temperatura media anual se obtuvo a través del INAMHI con datos de un lapso de 30 años (1989 – 2019) al igual que la información de precipitación. Las estaciones meteorológicas de las cuales se sustrajo la información se las eligió de acuerdo con la cercanía al área de estudio (Tabla 12), además de la disponibilidad de datos, esto debido a que no todas las estaciones meteorológicas cuentan con la medición de la temperatura.

Tabla 12. Estaciones meteorológicas para temperatura

CÓDIGO	TIPO	NOMBRE
M101	CO	EL CARMELO
M102	CO	EL ÁNGEL
M103	CO	SAN GABRIEL
M104	CO	MIRA
M086	CP	SAN VICENTE

Nota: CO: Climatológica Ordinaria; CP: Climatológica Principal. **Fuente:** INAMHI

a. Relleno de datos

De la información obtenida de las cinco estaciones existió un 21% de datos faltantes, donde una estación presentó datos completos y se usó como base para el relleno de datos. Se aplicó el método de regresión lineal simple con la ecuación de la recta (Ecuación 2) donde se tomó como covariable la altura de cada estación para realizar la imputación (Salgado, 2018). Se realizó el gráfico de dispersión para determinar la correlación de las variables con un valor igual o mayor de R^2 a 0,70 con esto se demuestra una asociación alta (Amat, 2016).

b. Validación de datos

Se usó la plataforma WorldClim (www.worldclim.org) para la descarga del promedio mensual de los 30 años de temperatura, donde se obtuvo un ráster de promedio para cada mes, posteriormente se procesó cada ráster en ArcGIS 10.7 para extraer la media anual de cada estación. Al igual que en la validación de la

precipitación se usó dos modelos, el R^2 y el coeficiente de Nash-Sutcliffe (Tabla 13). Donde se obtuvo que el nivel de ajuste es válido para los dos según lo establecido por Ritter y Muñoz (2013).

Tabla 13. Valores de ajuste para el modelo de validación (temperatura)

Modelo	INAMHI vs WorlClim	Nivel de ajuste
R^2	0,93	Bueno
Nash-Sutcliffe	0,87	Bueno

c. Interpolación de temperatura

Para realizar la interpolación de la temperatura se ejecutó la (Ecuación 3) de la temperatura determinada (Fries et al., 2012) en Excel 2016.

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

Donde:

T_{Det} = Temperatura a determinar (°C).

$T_{mensual}$ = Temperatura mensual de la estación (°C).

r = Valor de r_x en la ecuación o constante de la correlación.

Z_{Det} = Altitud referencial (m.s.n.m).

$Z_{estación}$ = Altitud de la estación (m.s.n.m).

Con el diagrama de dispersión se obtuvo el valor para r_x y se determinó la altitud referencial, mediante ello se determinó el valor de la temperatura determinada para la cual se usó la ecuación de la temperatura real (Ecuación 4)

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

Donde:

$T_{x,y}$ = Temperatura real (°C).

T_{Det} = Temperatura determinada (°C).

r = Valor de r_x en la ecuación o constante de la correlación.

Z_{DEM} = Modelo digital del terreno (DEM) del área de estudio (m.s.n.m)

Z_{Det} = Valor de altitud referencial (1000 m.s.n.m)

d. Establecer rangos de susceptibilidad

Se calculó la desviación estándar y la media para aplicar la regla del intervalo, y así posteriormente clasificar el ráster de la temperatura real en cinco categorías (Tabla 14), a las cuales se le asignó una ponderación acorde a cada nivel (Coelho et al., 2016). Cabe señalar que la propagación y ocurrencia de incendios puede relacionarse con las temperaturas altas.

Tabla 14. Clasificación de la susceptibilidad para la temperatura

Regla práctica del intervalo	Susceptibilidad	Ponderación
$>X - 2\sigma$	Baja	1
$X - \sigma$	Moderada	2
X	Elevada	3
$X + \sigma$	Muy Alta	4
$<X + 2\sigma$	Extrema	5

Fuente: Coelho et al., (2016). *Applying GIS to develop a model for forest fire risk.*

– **Evapotranspiración potencial (ETP)**

Para el cálculo de este parámetro se aplicó la ecuación de evapotranspiración de Thornthwaite (Thornthwaite, 1948) (Ecuación 5) donde se usaron los siguientes parámetros:

$$ETP = 16 \left(\frac{10 \cdot tm}{I} \right)^a \quad (5)$$

Donde:

ETP = evapotranspiración en mm/año

I = índice de calor anual que se calcula mediante la ecuación 6:

$$I = \left(\frac{tm}{5} \right)^{1,51} \quad (6)$$

a = variable establecida que tiene por expresión la ecuación 7:

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

tm = temperatura media anual en °C

Una vez calculado la evapotranspiración potencial se procedió a aplicar la ecuación de la evapotranspiración potencial corregida mediante la Ecuación 8 expresada a continuación:

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

Donde:

e = evapotranspiración mensual calculada (mm)

L = factor establecido para la latitud cero (Tabla 15)

Tabla 15. Factor de corrección para evapotranspiración

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Lat 0°	1,04	0,94	1,04	1,01	1,04	1,01	1,04	1,04	1,01	1,04	1,01	1,04

Fuente: Thornthwaite, (1948). *An approach toward a rational classification of climate*. 55-94.

e. Establecimiento de rangos de susceptibilidad

Se tomó en cuenta los valores de evapotranspiración de la Estación Biológica y la base de datos de incendios reportados, que se obtuvo del cuerpo de Bomberos de Huaca por medio de la entrevista realizada. Se calculó la media y la desviación estándar del ráster de evapotranspiración para posteriormente clasificar la imagen y asignar la ponderación de la susceptibilidad que se encuentran en rangos bajo, moderado, alto, muy alto y extremo (Tabla 16) (Coelho et al., 2016).

Tabla 16. Clasificación de la susceptibilidad para la evapotranspiración

Regla práctica del intervalo	Susceptibilidad	Ponderación
$>X - 2\sigma$	Baja	1
$X - \sigma$	Moderada	2
X	Elevada	3
$X + \sigma$	Muy Alta	4
$<X + 2\sigma$	Extrema	5

Fuente: Coelho et al. (2016). *Applying GIS to develop a model for forest fire risk*.

- **Déficit hídrico**

Para este parámetro se calculó el déficit hídrico simplificado expresado en la Ecuación 9, establecida por Thornthwaite y Mather (1955) basado en el balance hídrico, se tomó como en cuenta las entradas de agua (P) y las salidas (ETP) (Anrango et al, 2019).

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

Donde:

DH = Déficit hídrico (mm)

P = Precipitación media (mm)

PET = Evapotranspiración potencial (mm)

- a. Interpolación del déficit hídrico y establecimiento de rangos de susceptibilidad

Una vez obtenido el ráster del resultado de la ecuación planteada se procedió a realizar la interpolación con el método de kriging, ya que es uno de los métodos más comunes y usados en este tipo de estudios. Posteriormente, para establecer los rangos de susceptibilidad se procedió a calcular la desviación estándar y la media del ráster obtenido y así calcular los rangos que permitieron clasificar en los cinco niveles de susceptibilidad establecidos (Coelho et al., 2016). Como se presenta en la Tabla 17.

Tabla 17. Clasificación de la susceptibilidad para el déficit hídrico

Regla práctica del intervalo	Susceptibilidad	Ponderación
$>X - 2\sigma$	Baja	1
$X - \sigma$	Moderada	2
X	Elevad	3
$X + \sigma$	Muy Alta	4
$<X + 2\sigma$	Extrema	5

Fuente: Coelho et al., (2016). *Applying GIS to develop a model for forest fire risk.*

3.2.2 Zonificación de la susceptibilidad a incendios de cobertura vegetal en la zona de estudio

3.2.2.1 Proceso de Análisis Jerárquico (AHP)

Este proceso está diseñado para facilitar la toma de decisiones mediante una evaluación de manera subjetiva a la importancia relativa de cada uno de los criterios; con los resultados de la evaluación posteriormente se puede tomar decisiones de manera jerarquizada (Toskano, 2005). Esta metodología permite demostrar los criterios que tienen mayor prioridad al relacionarlos en una matriz de comparación pareada. A continuación, se especifica el procedimiento a seguir para cumplir este proceso.

a.- Tabulación de datos

Con la pregunta N.º 3 de la entrevista se buscó identificar el nivel de influencia de los factores biofísicos que influyen en la susceptibilidad de incendios de cobertura vegetal dentro del área de estudio. Se aplicó la moda como medida de tendencia central para la tabulación de la información e identificar las respuestas que presentan mayor frecuencia (Ruston, 2012) estos valores permitirán el desarrollo de la escala de importancia del método AHP.

b.-Matriz de comparación pareada

Se trata de un procedimiento de comparación de criterios que parte de una matriz compuesta en las filas y columnas por los criterios a ponderar (Ramírez, 2004). La comparación binaria usa la escala de medida establecida por Saaty (Tabla 18) donde se expresa la preferencia entre dos elementos, mediante valores numéricos, esta escala está justificada teóricamente y su eficiencia ha sido validada empíricamente aplicándola a varias situaciones reales con aspectos tangibles con una comparación adecuada (Martínez, 2007).

Tabla 18. Escala fundamental de comparación por pares

Escala numérica	Escala verbal	Explicación
1	Igual importancia	Los dos elementos contribuyen igualmente a la propiedad o criterio.
3	Moderadamente más importante un elemento que el otro	El juicio y la experiencia previa favorecen a un elemento frente al otro.
5	Fuertemente más importante un elemento que en otro	El juicio y la experiencia previa favorecen fuertemente a un elemento frente al otro.
7	Mucho más fuerte la importancia de un elemento que la del otro	Un elemento domina fuertemente. Su dominación está probada en práctica.
9	Importancia extrema de un elemento frente al otro	Un elemento domina al otro con el mayor orden de magnitud posible.
2, 4, 6 y 8	Valores intermedios entre los anteriores, cuando es necesario matizar	

Fuente: Saaty, (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*, McGraw-Hill.

3.2.2.2 Formulación de la ecuación de susceptibilidad

Para obtener el mapa de la zonificación del área de susceptibilidad se aplicó la ecuación de susceptibilidad (Ecuación 10) modificada de Coelho et al., (2016).

$$Susceptible = (x^*cob + x^*pen + x^*ori + x^*alt + x^*pre + x^*tem + x^*ETP + x^*def) \quad (10)$$

Donde:

cob = ráster reclasificado de uso y cobertura del suelo

pen = ráster reclasificado de pendientes

ori = ráster reclasificado de orientación del terreno

alt = ráster reclasificado de altitud

tem = ráster reclasificado de temperatura

pre = ráster reclasificado de precipitación

ETP = ráster reclasificado de evapotranspiración

def = ráster reclasificado de déficit hídrico

x = coeficiente obtenido de la metodología AHP

Para validar el modelo se usó focos de calor, que se obtuvieron del Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales de Brasil (INPE) (Coelho et al., 2016) y el registro del histórico de incendios del área. Con estos datos se comprobó la coincidencia que tiene el modelo obtenido al aplicar la metodología planteada y las áreas de susceptibilidad de la Estación Biológica Guandera, esto se realizó aplicando pruebas estadísticas.

- Pruebas estadísticas

Las pruebas estadísticas son empleadas para establecer la probabilidad de que una conclusión obtenida de una muestra sea aplicable a la población en general, donde se toma en cuenta el componente de varianza el cual representa un error, por lo cual es necesario verificarlo (Flores et al., 2017). En la investigación se estableció la relación entre dos variables: 1.- Los focos de calor con el registro de incendios (datos esperados) y 2.- El modelo obtenido (datos observados). Para esto se realizó una tabla de contingencia para aplicar la prueba estadística de Chi cuadrado de Pearson (X^2) y la curva Característica Operativa Relativa (ROC), donde se utiliza el software IBM SPSS Statistics (Anrango et al., 2019).

Para verificar la asociación de las variables se planteó dos hipótesis:

H0= No existe una relación entre el modelo obtenido y los datos esperados

H1 = Existe una relación entre el modelo obtenido y los datos esperados

Al aplicar la prueba del Chi cuadrado donde se relacionan las dos variables se puede aceptar una de las dos hipótesis planteadas. Si el dato obtenido es mayor a 0,05 (5%) se acepta la hipótesis nula (H0) la cual rechaza la asociación entre las variables, por el contrario, si el dato obtenido es menor a 0,05 se acepta la hipótesis alterna (H1) que permite aceptar la relación que tiene el modelo con los focos de calor y los registros de incendios.

La prueba estadística de la curva ROC se aplicó para determinar la especificidad del modelo. Al someter los datos a este análisis se obtiene una gráfica que expresa la relación de las variables y el valor del área bajo la curva. Este valor entre más se acerque a 1 indica que es más exacto el modelo y tiene un mayor nivel de confiabilidad (Bauce y Moya-Sifontes, 2020). Si el valor obtenido es representativamente mayor a 0,50 se acepta la hipótesis alterna y permite validar satisfactoriamente el modelo de susceptibilidad obtenido para el área de estudio.

3.2.3 *Elaboración de estrategias de prevención y mitigación de incendios de cobertura vegetal en la Estación Biológica Guandera*

Para identificar adecuadamente los problemas críticos que influyen en los incendios dentro del área de estudio se empleó la matriz de Vester y en base a los resultados elaborar las estrategias de prevención y mitigación.

3.2.3.1 Matriz de Vester

Esta matriz es considerada como un instrumento en la planificación que ayuda a identificar como se relacionan los problemas con las causas y efectos que estos generan (Yupari y Rau, 2021). Por medio de esta matriz se cuantifica el problema asignando un numero para examinar el grado de incidencia del problema con los otros, usando una escala de valoración (Tabla 19) (Sevilla, 2018).

Tabla 19. Escala de valores para matriz de Vester

Influencia	Rango
Sin relación	0
Baja Influencia	1
Mediana Influencia	2
Alta Influencia	3

Fuente: Sevilla, (2018). *Identificación y análisis de problemas mediante la matriz de Vester.*

Esta metodología es aplicable a diferentes situaciones que necesiten del desarrollo de propuestas que se enfoquen en solucionar una problemática (Yupari

y Rau, 2021), los valores asignados de acuerdo con la escala de la matriz permiten graficar en un plano donde se clasifican los problemas en activos, pasivos, indiferentes y críticos (Tabla 20) (Delgado-Yanes y Pérez-Jacinto, 2020). Esta metodología es aplicable a diferentes situaciones que necesiten del desarrollo de propuestas que se enfoquen en solucionar un problema central (Yupari y Rau, 2021).

Tabla 20. Clasificación de problemas en la Matriz de Vester

Problema	Descripción
Activos	El problema activo infiere del problema central, teniendo una alta influencia en los demás problemas, pero no son problemas causados por los demás.
Pasivos	No influyen en los demás problemas, pero son causados por los demás, generalmente se los analiza como indicadores de cambio.
Indiferentes	Estos problemas son considerados de baja priorización dentro del análisis, ya que no presenta influencia en los demás y no son un resultado causal.
Críticos	Problemas con alto nivel de influencia y causalidad, es por ello por lo que se toma estos problemas como la base de análisis y manejo del problema central.

Fuente: Delgado-Yanes y Pérez-Jacinto, (2020) *Principales demandas educativas por evaluar en la formación de profesionales en la Universidad de Artemisa*, 84.

El proceso para desarrollar esta matriz está conformado por nueve etapas (Figura 3). Los investigadores deben llegar a un acuerdo mutuo sobre la asignación de valores de causalidad acorde a la investigación previamente desarrollada, la cual facilita la participación, negociación y ampliación de conocimientos (Sevilla, 2018). Las variables o problemas se definieron con la ayuda de la pregunta N.º 1 de la entrevista (Anexo 1), además de una revisión bibliográfica para respaldar la información registrada. Donde se obtuvo 11 problemas principales que inciden en los incendios dentro del área de estudio.

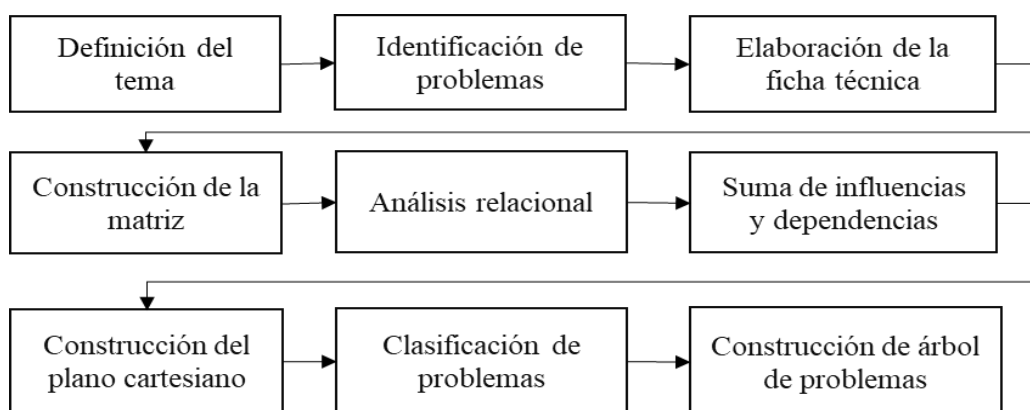


Figura 3. Etapas del proceso de matriz de Vester

Fuente: Sevilla, (2018). *Identificación y análisis de problemas mediante la Matriz de Vester*.

3.2.3.2 Planteamiento y diseño de estrategias

Las estrategias se diseñaron en base a las áreas con mayor susceptibilidad a incendios y la evaluación de las variables críticas obtenidas al aplicar la matriz de Vester, las cuales se enfocaron en la prevención, control, mitigación y recuperación de las áreas más susceptibles (Ministerio del Ambiente de Perú [MINAM], 2009). Las estrategias desarrolladas se socializaron al señor José Cando, Administrador de la Estación Biológica Guandera y al presidente de la junta parroquial de Mariscal Sucre.

3.1 Materiales y equipo

A continuación, se enlistan los materiales y equipos necesarios para el desarrollo de la investigación (Tabla 21).

Tabla 21. Materiales y equipos

Materiales Campo	Equipos	Materiales de oficina	Software y programas
Tablero para sujetar hojas	Memoria externa	Hojas	ArcGIS 10.7
	Computador	Esferos	Excel
	GPS		SPSS
	Cámara		WorldClim

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización de los factores físicos y meteorológicos

Enseguida se detalla la información obtenida al caracterizar los factores mencionados de acuerdo con el nivel de susceptibilidad que presenta cada uno.

4.1.1 Factores físicos

- Altitud

Morgan (2010) expresa que en las partes bajas se favorece al calentamiento por acción del sol y esto repercute en el desarrollo y propagación de incendios, por el contrario, la probabilidad se reduce conforme aumenta la altitud. De acuerdo con los rangos de susceptibilidad para la altitud (Figura 4B), el área está conformada en su mayoría por susceptibilidad “elevada”.

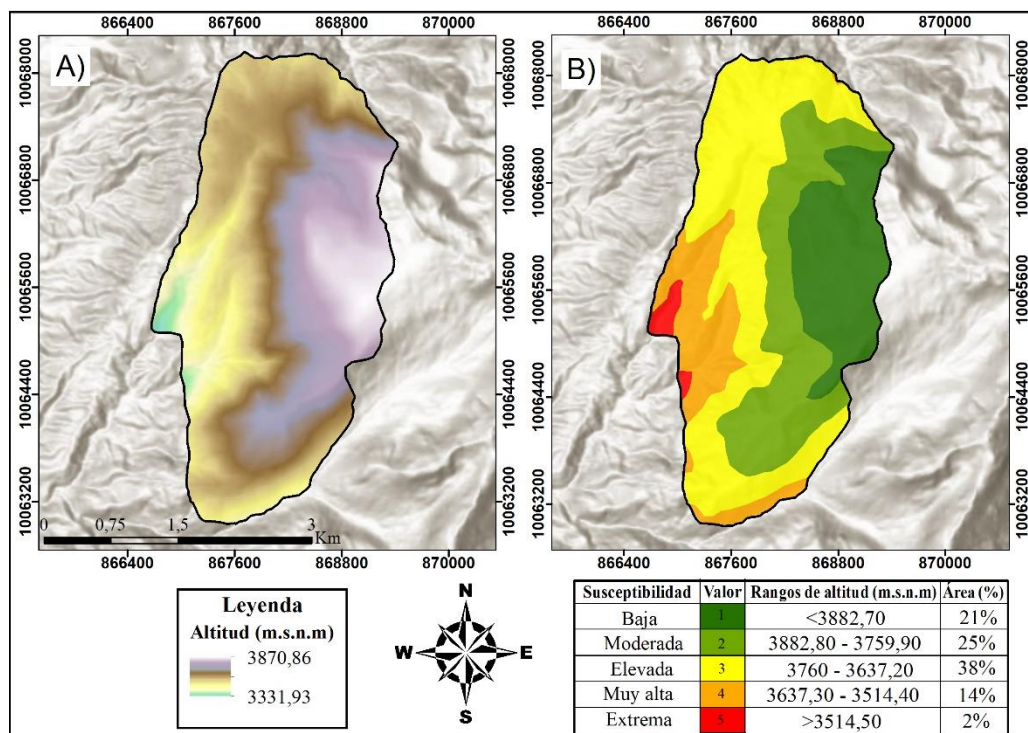


Figura 4. Susceptibilidad a incendios según la altitud.
A) Rango de altitud. B) Niveles de susceptibilidad según la altitud.

La altitud es una de las variables topográficas que influye en la ocurrencia y propagación de incendios por la relación que tiene con las demás variables analizadas (Verdú y Salas, 2011). Las elevaciones sobre el nivel del mar afectan en el comportamiento climático del área, entre mayor sea la elevación el clima será más frío y húmedo, por el contrario, en las partes más bajas el clima tiende a ser más cálido por lo que la tendencia a tener temporadas de riesgo de incendios es más larga (Diniz-Prudente, 2010). Aguirre (2001) indica que a mayor altitud la temperatura del aire será menor, debido a esto la humedad del combustible será mayor y tardará más tiempo en llegar a punto de ignición; por el contrario, a medida que la altura disminuye, los combustibles pierden humedad por lo que su punto de ignición será mayor. Conforme la altitud va aumentando, se reduce la disponibilidad de materia orgánica seca en el suelo, disminuyendo la incidencia de incendios (Suryabagavan et al., 2016). En el área de estudio, las zonas susceptibles al fuego de acuerdo con los niveles de susceptibilidad elevada, muy alta y extrema en la altitud se encuentran en un rango de 3331,93 a 3760 m.s.n.m.

- Pendiente

En una investigación realizada por Jaiswal et al. (2002) mencionan que la pendiente no es un factor que influye significativamente en la probabilidad de ocurrencia del incendio, sin embargo, posee una fuerte influencia en cómo se comporta el fuego. Por su parte Dong et al. (2005) menciona que la pendiente llega a influir en la ignición del incendio en pendientes donde el reflejo de la luz del sol sea constante. Dalmau et al. (2020) señala que a medida que la pendiente es más pronunciada la velocidad del fuego será mayor y las llamas más altas, esto precalienta la vegetación que se encuentra frente al fuego, lo que causa que se queme con mayor facilidad. El fuego tiende a propagarse más rápido en pendientes ascendentes y empinadas que en pendientes descendentes y suaves (Suryabagavan et al., 2016). Para la Estación Biológica Guandera las zonas con pendientes mayores al 25% de inclinación presentaron los niveles más altos de susceptibilidad conformadas por pendientes montañosas, muy montañosas y escarpadas (Figura 5) que componen el 59% del total del área de estudio.

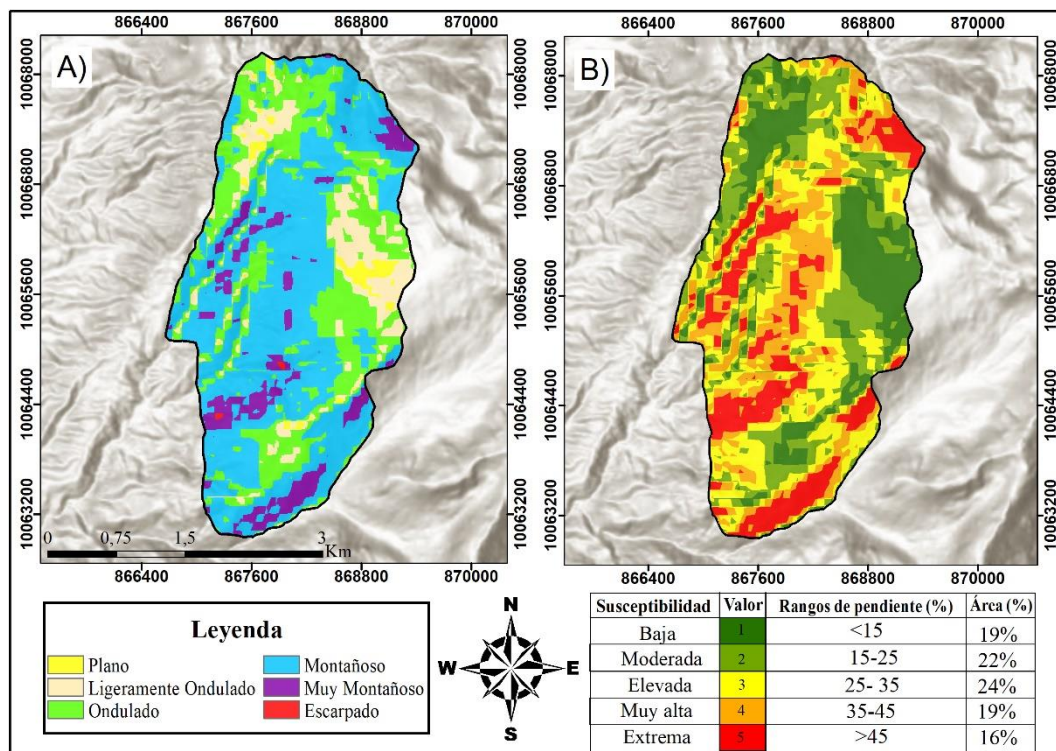


Figura 5. Susceptibilidad a incendios según la pendiente.

A) Tipos de pendiente. B) Niveles de susceptibilidad según la pendiente.

Entre más elevada sea la pendiente, la ola de aire caliente provocada por el fuego, se dirigirá con mayor rapidez a la parte superior de la montaña, renovando el suministro de oxígeno en la zona de combustión (Diniz-Prudente, 2010). Además, Aguirre (2001) menciona que el desprendimiento de pavesas rodantes o saltantes en pendientes muy elevadas pueden causar que estas lleguen a zonas con combustible no quemado y empezar nuevos incendios. Por su parte Jaiswal et al. (2002) manifiesta que la pendiente además de influir en el comportamiento del fuego también incide al momento de contrarrestarlo, esto debido a que, entre mayor sea la pendiente más difícil será el acceso para las líneas de emergencia. La Estación Biológica Guandera al estar conformada en su mayoría por un terreno montañoso (Figura 5A) dificulta significativamente el trabajo de los bomberos y personal a la hora de combatir un incendio, además, al no tener vías de acceso para vehículos, la movilidad por parte de las líneas de emergencia y sus equipos se debe hacer por caminos empinados dificultado la llegada a la zona afectada.

- Cobertura vegetal

Al realizar la clasificación supervisada de cobertura vegetal del año 2021 para el área de estudios, la validación con el coeficiente Kappa dió un resultado de 0,86 en la concordancia de datos, lo cual indica que la fuerza de correlación es casi perfecta, clasificando así en cuatro tipos la cobertura vegetal del área (Figura 6A). La susceptibilidad de cada cobertura vegetal se estableció con las respuestas de la pregunta N.º 2 de la entrevista, las mismos que contribuyeron a establecer que el páramo posee una susceptibilidad extrema a incendios, la misma que ocupa un 47% del área total de estudio (Figura 6). Morales-Betancourt y Estévez-Varón, (2006), mencionan que la necro masa aérea de los frailejones y pajonales presentes en el follaje del páramo son un buen combustible para el fuego (Morales-Betancourt y Estévez-Varón, 2006), es por esto por lo que el páramo sufre frecuentemente de incendios y es una de las áreas más afectadas (Estacio y Narváez, 2012).

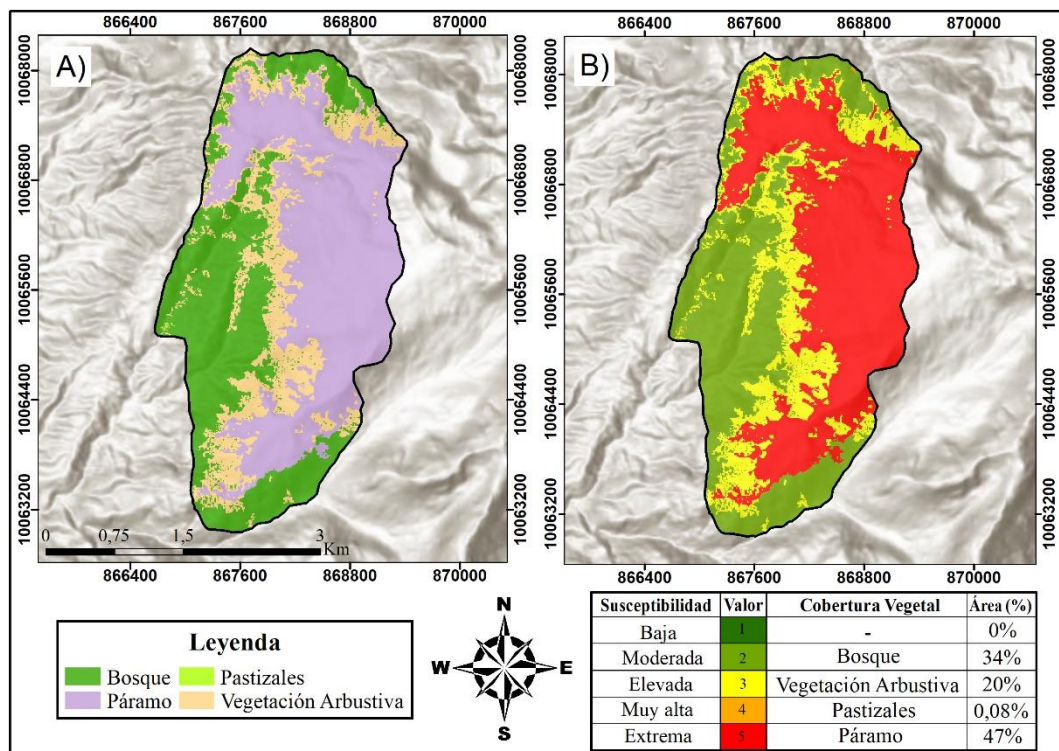


Figura 6. Susceptibilidad a incendios según la cobertura vegetal.

A) Tipos de cobertura vegetal. B) Niveles de susceptibilidad según la cobertura vegetal.

El material combustible es uno de los componentes principales en el triángulo del fuego, por lo que es esencial para la ocurrencia y propagación de los incendios (Diniz-Prudente, 2010). La vegetación distribuida sobre el terreno es el combustible en los incendios del cual depende la propagación e intensidad del fuego (Páramo-Rocha, 2011); que responde de diferentes maneras de acuerdo con la cantidad, disposición y grado de combustibilidad de la vegetación (Muñoz y Santana, 2018). De acuerdo con la investigación de Páramo-Rocha (2011) los incendios no ocurren solo en regiones muy secas, sino que depende plenamente de donde puede existir suficiente masa combustible para su propagación. La inflamabilidad del combustible es una característica importante a la hora de la ignición y propagación; Pereira et al. (2020) mencionan que el material combustible fino que pierde humedad fácilmente es de alta combustibilidad quemándose por completo rápidamente como las ramas delgadas, hojas secas y paja. La resistencia que presenta la vegetación a periodos largos de sequía y su eficiencia en el uso del agua, incentivan la producción de material seco que se convierte en combustible para la propagación de incendios (Ocampo-Zuleta y Beltrán-Vargas, 2018). Por su parte los pajonales se caracterizan por ser un combustible de rápida ignición debido a su bajo contenido de humedad, baja área foliar y bajos porcentajes de lignina (Jiménez et al., 2016).

4.1.2 Variables meteorológicas

Se presentan los resultados de las variables meteorológicas calculadas dentro de la Estación Biológica Guandera.

- Precipitación media anual

Según Pourrut et al. (1995), la región andina recibe la influencia alternada de masas de aire oceánico y amazónico debido a su posición, como resultado la región andina presenta dos estaciones lluviosas, estación húmeda (febrero-mayo, octubre-noviembre) y estación seca (junio-septiembre, diciembre-enero) y precipitaciones anuales que oscilan entre 500 y 2000 mm. Como se puede apreciar

en el mapa (Figura 7) las precipitaciones anuales en la Estación Biológica Guandera se encuentran entre 1000 y 1200 mm anuales, en donde, una extensión mínima de su territorio presenta una alta susceptibilidad a incendio. Las zonas con altas precipitaciones imposibilitan la probabilidad de que el fuego ocurra, la humedad en el ambiente y la cobertura vegetal se mantiene constante lo cual hace más difícil que el fuego pueda mantenerse o llegar a dispersarse en gran magnitud, las condiciones favorables para la ignición del fuego se ven asociadas con la falta de precipitaciones, esto refiere que la presencia o ausencia de precipitaciones causa incidencia en el inicio, duración y fin de los incendios de cobertura vegetal (Diniz-Prudente, 2010). En el cantón Riobamba se determinó que el factor que más influencia presentó entre los factores meteorológicos fue la precipitación, al comparar los valores medios diarios de junio a septiembre la precipitación presentó los menores valores, por ello, los meses de sequía presentan condiciones idóneas para la ocurrencia de incendios (Yungan, 2021).

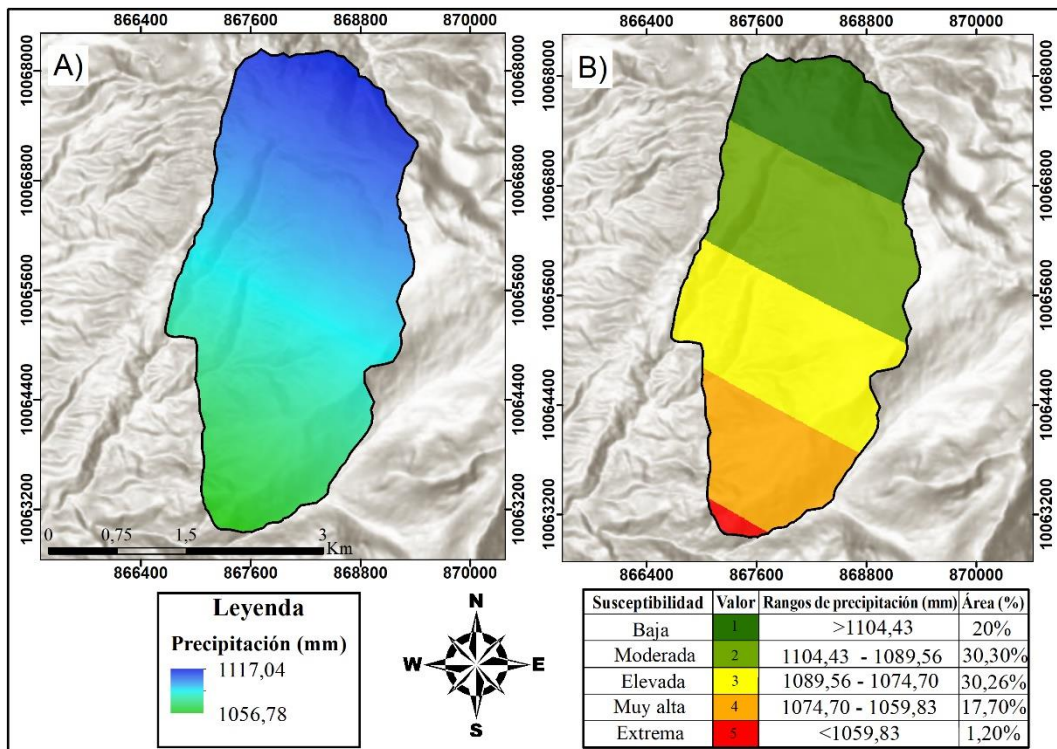


Figura 7. Susceptibilidad a incendios según la precipitación.
 A) Precipitación media anual. B) Niveles de susceptibilidad según la precipitación.

En sitios con precipitaciones menores a 1000 mm anuales se presenta un mayor riesgo a incendios, esto en conjunto con otros factores meteorológicos como las altas temperaturas (Díaz y Encarnación, 2018). Vélez, (1995), menciona en su investigación que la ocurrencia de incendios de cobertura vegetal tiende a crecer en épocas secas, y que esto influye en el origen y la dificultad para combatir los incendios. Por lo cual la evolución de los ecosistemas tanto positiva como negativa se verá afectada según la frecuencia de la ocurrencia de incendios y la dificultad de su combate según la presencia de precipitaciones.

- **Temperatura media anual**

Pazmiño (2019) en su estudio “*Peligro de Incendios Forestales ligados a Factores Climáticos en Ecuador*” obtuvo que al calcular el índice de peligro de incendios forestales (FFDI) la temperatura presenta una relación directamente proporcional con el índice calculado, y la humedad relativa una relación inversamente proporcional, lo que establece que a mayor temperatura y menor humedad relativa se presentará un mayor riesgo a ocurrencia de incendios. La susceptibilidad calculada en la Estación Biológica Guandera representada como extrema se encuentra en zonas bajas más cercanas a la zona de ingreso y zonas colindantes (Figura 8). Otro factor que afecta el aumento de las temperaturas es el cambio climático, lo que ocasiona el aumento de la temperatura, que suscita un mayor número de eventos adversos producto de las altas temperaturas como los incendios forestales (Bilbao et al., 2020). A través del tiempo y el desarrollo de estudios se llega a determinar la estructura de un incendio, en su estudio Molina y Llinares (2000), concluyeron que al aumentar los focos de ignición (temperatura del aire y la sequedad de la vegetación y el suelo) se intensifica la intensidad del incendio. La gravedad de un incendio forestal se verá condicionado por las temperaturas altas y la sequedad del ambiente, el material combustible, cambio de uso de suelo y actividades antrópicas (Moreno, 2009). Las temperaturas altas predisponen al entorno, en específico a la vegetación y la disminución de la humedad relativa, a una mayor probabilidad de ocurrencia de un incendio forestal en épocas de sequía (Vidal, 2017).

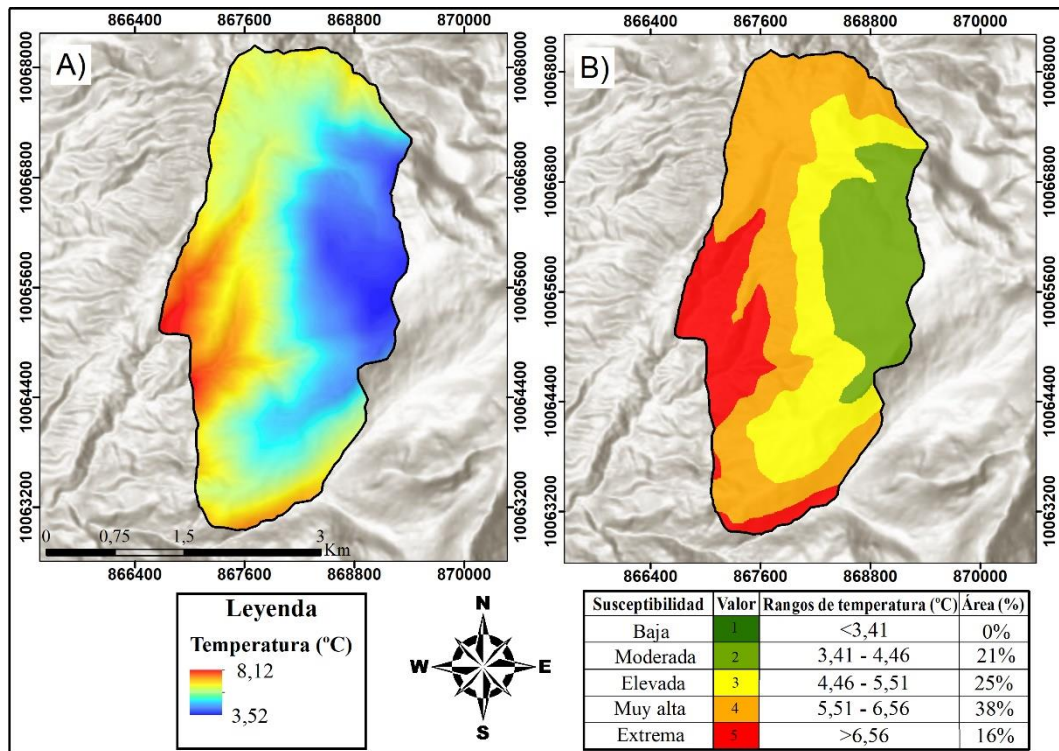


Figura 8. Susceptibilidad a incendios según la temperatura.

A) Temperatura media anual. B) Niveles de susceptibilidad según la temperatura.

La gravedad de un incendio forestal se verá condicionado por las temperaturas altas y la sequedad del ambiente, el material combustible, cambio de uso de suelo y actividades antrópicas (Moreno, 2009). Las temperaturas altas predisponen al entrono, en específico a la vegetación y la disminución de la humedad relativa, a una mayor probabilidad de ocurrencia de un incendio forestal en épocas de sequía (Vidal, 2017). El fenómeno del fuego conocido como la reacción entre combustible, calor y oxígeno refiere que la temperatura presente en el entorno favorece la susceptibilidad a incendios, esto debido a que, las altas temperaturas asociadas con la humedad baja del ambiente aumentan la evaporación de la cantidad de agua presente en las especies vegetales, lo que causa la sequedad del ambiente y por ende aumenta la combustibilidad del material vegetal (Pereira, 2020).

Verdezoto (2017) en su estudio sobre el “Diagnostico de la resiliencia al cambio y variabilidad climática en la ciudad de Guaranda” menciona que la relación entre precipitación y temperatura de 27 años reflejada en el diagrama ombrotérmico

muestra que la mayoría de los incendios, se registraron en los meses ecológicamente secos, de junio a septiembre, debido a las condiciones climatológicas que presenta el factor clave para la ignición del fuego son las diferentes actividades antropogénicas. El diagrama ombrotérmico obtenido para la Estación Biológica Guandera indica que la época lluviosa se presenta en todo el año, por otra parte, en el análisis realizado se muestra que no se presentan épocas secas, sin embargo, en los meses de agosto y septiembre los valores de precipitación disminuyen conforme a la estación seca presente en los meses de agosto y septiembre (Figura 9).

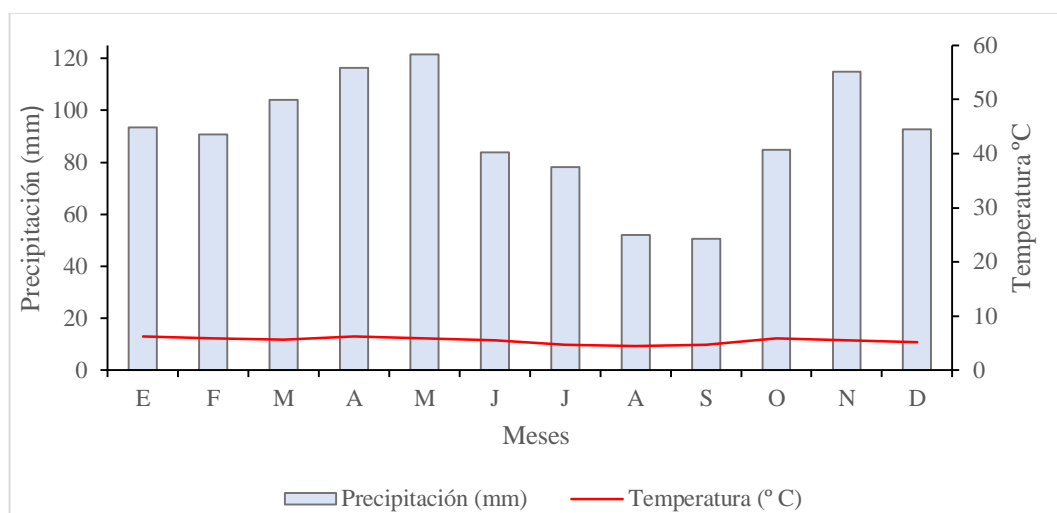


Figura 9. Diagrama ombrotérmico para la Estación Biológica Guandera.

- **Evapotranspiración potencial**

La evapotranspiración potencial, se ve representada como la pérdida de agua influenciada por la evaporación y transpiración del suelo (Camargo y Camargo, 2000). Ocampo-Zuleta y Beltrán-Vargas (2018), mencionan que debido a las condiciones climáticas la ausencia de lluvias y alta evapotranspiración que se presenta en épocas de verano, sumado al fenómeno del niño propician la ocurrencia de incendios. Para la Estación Biológica Guandera se identifica que, las zonas con pérdida de humedad en nivel extremo se encuentran en un 18% del total del área de estudio (Figura 10), estas áreas susceptibles se encuentran al Este del área, límite con la provincia de Huaca donde se realizan prácticas de actividades agropecuarias sin un control adecuado.

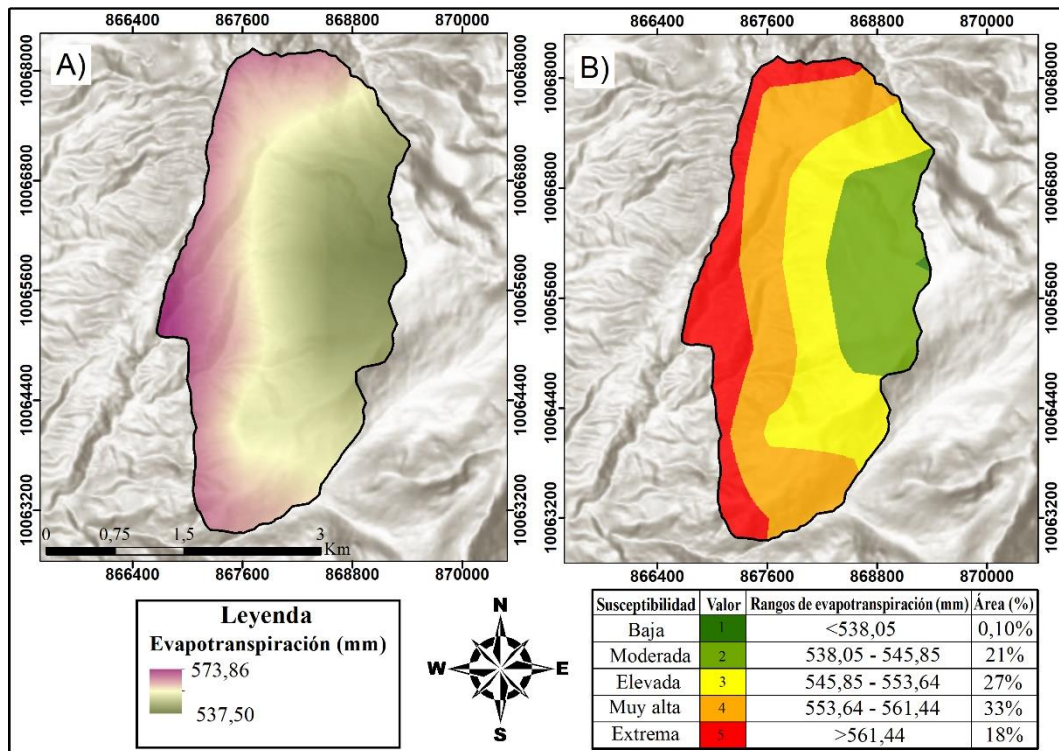


Figura 10. Susceptibilidad a incendios según la evapotranspiración.

A) Evapotranspiración potencial. B) Niveles de susceptibilidad según la evapotranspiración.

Quiroga (2015), menciona que para verificar la influencia de la evapotranspiración en los incendios de cobertura vegetal se debe conocer sobre la influencia del sol en el área de estudio ya que este junto con la presencia o ausencia de precipitaciones condicionan la evapotranspiración del área. Por otra parte, en un estudio realizado en Cerro de la Muerte, ubicado en la cordillera de Talamanca en Costa Rica, se demostró que a pesar de que las precipitaciones son altas en el área de estudio, la evapotranspiración y aumento de temperatura se ha visto en aumento, según el autor la disminución de las temperaturas es un hecho alarmante y está relacionado con un incendio de gran magnitud registrado en el área de estudio que consumió gran parte del ecosistema páramo, lo cual está afectando la dinámica de las precipitaciones (Vega y Rodríguez, 2018).

- Precipitación menos evapotranspiración

Los ecosistemas de páramo presentan características propias de ecosistemas húmedos, su vegetación, materia orgánica y factores atmosféricos

favorecen la captación de agua proveniente de las precipitaciones verticales u horizontales (captación de neblina) (Llambí et al., 2012). Dos de los factores climáticos principales en la ocurrencia de incendios, especialmente en épocas secas son las temperaturas altas y el déficit hídrico en su mayor grado (Medina, 2021). Las sequías y los incendios forestales han sido parte del cambio de un país, en donde el déficit de la humedad del suelo, altas temperaturas, y demás factores ambientales han incrementado la probabilidad de incendios y por ende los daños que este genera en el ambiente y los ecosistemas (Rodríguez y Santana 2016). En la Estación Biológica Guandera la relación de precipitación menos evapotranspiración, no presenta significancia, en la figura 11 se muestra que en los meses ecológicamente secos Figura 11 (c) agosto y (d) septiembre no se presentan valores negativos.

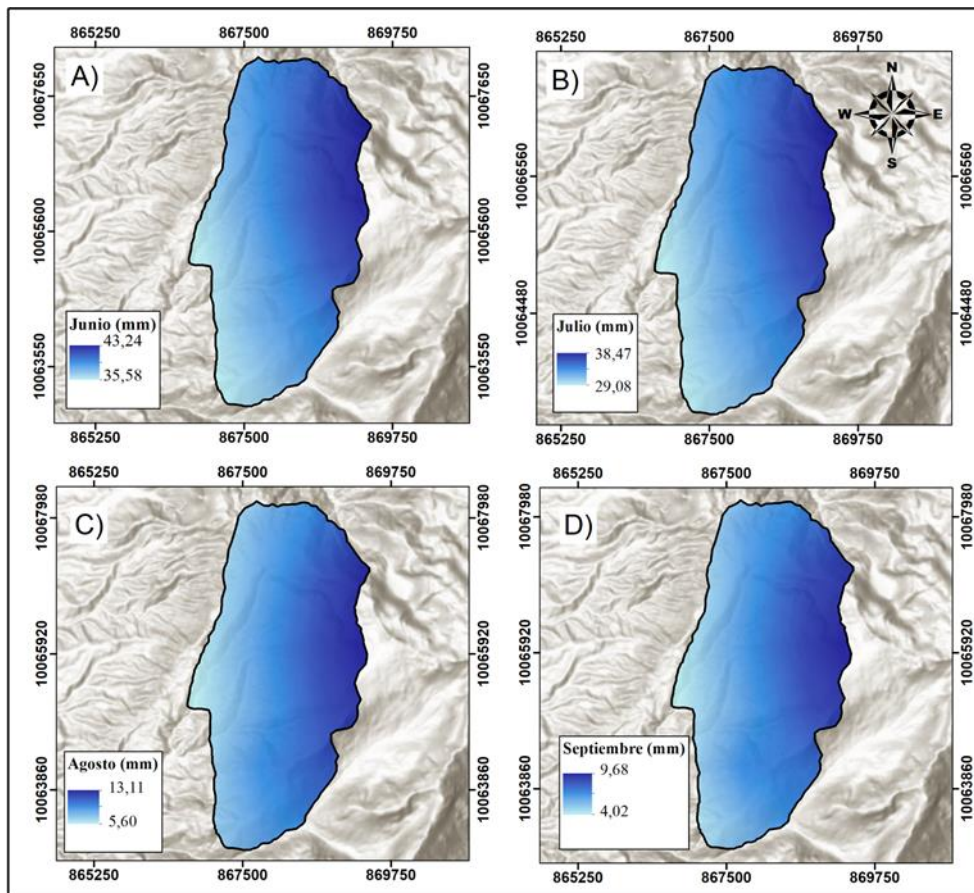


Figura 11. Diferencia entre precipitación y evapotranspiración.
A) junio. B) julio. C) agosto. D) septiembre.

Una vez realizado los cálculos y obtener que la precipitación presenta valores mayores que los valores de evapotranspiración, se establece que dentro de la Estación Biológica Guandera no se presenta un déficit hídrico, por lo cual, este factor no se tomó en cuenta al momento de aplicar la ecuación de susceptibilidad.

4.2 Zonificación de la susceptibilidad a incendios de cobertura vegetal en la zona de estudio

El Proceso de Análisis Jerárquico permitió establecer los valores de comparación adaptados al área de estudio, con una matriz de doble entrada que relaciona los seis factores que influyen en la susceptibilidad de incendios. En la Tabla 22 se presenta la relación de cada factor de acuerdo con la escala numérica de importancia establecida por Saaty (1980), donde la valoración se asignó en base a la adaptación de las respuestas de la entrevista y de la revisión bibliográfica de investigaciones sobre incendios de cobertura vegetal (Jaiswal et al., 2002; Angulo et al., 2020; Coelho et al., 2016; Dong et al., 2005; Arias et al., 2020).

Tabla 22. Comparación pareada

Factores	Cob.Veg	Pend	Alt	Prec	Tem	ETP
Cob.Veg	1	3	3	5	3	5
Pend	0,30	1	1	1	2	3
Alt	0,30	1	1	1	3	1
Prec	0,20	1	1	1	1	3
Tem	0,30	0,50	0,30	1	1	1
ETP	0,20	0,30	1	0,30	1	1
Total	2,40	6,80	7,30	9,30	11	14

Nota. Cob.Veg: cobertura vegetal, Pend: pendiente, Alt: altitud, Prec: precipitación, Tem: temperatura, ETP: evapotranspiración potencial

Para obtener la ponderación para los factores, se tomó los datos de la comparación pareada, donde se divide cada valor para el total de la suma vertical de cada factor, para posteriormente calcular el promedio de los valores resultantes en forma horizontal, y así obtener las ponderaciones para cada criterio. En la Tabla 23 se expone el resultado del del Proceso de Análisis Jerárquico, donde el promedio

representa de mayor a menor la ponderación asignada para cada factor que incide en la ocurrencia y propagación de los incendios dentro del área de estudio.

Tabla 23. Ponderaciones con Saaty

Factores							Promedio
Cobertura Vegetal	0,41	0,44	0,41	0,54	0,27	0,36	0,41
Pendiente	0,13	0,15	0,15	0,11	0,18	0,21	0,15
Altitud	0,13	0,15	0,14	0,11	0,27	0,07	0,15
Precipitación	0,08	0,15	0,14	0,11	0,09	0,21	0,13
Temperatura	0,14	0,07	0,05	0,11	0,09	0,07	0,09
Evapotranspiración potencial	0,08	0,05	0,14	0,03	0,09	0,07	0,07
Suma							1

Una vez obtenidas las ponderaciones de cada factor se completó la ecuación de la susceptibilidad (Ecuación 11).

$$\begin{aligned}
 \text{Susceptibilidad} = & 0,41 * cob + 0,15 * pen + 0,15 * alt + \\
 & 0,13 * Pre + 0,09 * Tem + 0,07 * ETP \qquad (11)
 \end{aligned}$$

Como resultado en la ecuación se obtuvo que la cobertura vegetal es el factor con mayor influencia en la generación y dispersión de incendios, seguido de la pendiente. Suryabhagavan et al. (2016) en su investigación determinó que el peso de la vegetación y la pendiente es mayor en los incendios, con variaciones de acuerdo con el tipo de combustible presente en la pendiente. Las características de la vegetación en el área de estudio, principalmente la necromasa de los frailejones y pajonales en el páramo, representan un buen combustible el cual es un elemento principal que determina las características del incendio (Morales-Betancourt y Estévez-Varón, 2006; Huerta-Martínez e Ibarra-Montoya, 2014). La importancia de los factores se representa jerárquicamente de acuerdo con el nivel de influencia en los incendios. Por su parte la ponderación de la pendiente se relaciona con la influencia que tiene sobre los demás factores como la precipitación y la temperatura. Dentro de los resultados se destaca que para la Estación Biológica Guandera los factores físicos tienen mayor relevancia que los factores meteorológicos debido a su influencia directa en la propagación de incendios; lo

que respalda que los incendios no solo ocurren en áreas secas, sino que dependen plenamente del combustible y los factores de propagación (Jaiswal et al., 2002; Páramo-Rocha, 2011; Villers y López, 2004).

El modelo obtenido (Figura 12), muestra que la Estación Biológica Guandera presenta cuatro categorías de las cinco establecidas, dejando a la susceptibilidad “baja” fuera. Las zonas con susceptibilidad moderada son pocas (0,52%) y en su mayoría se encuentra en la parte colindante norte del área; por su parte la susceptibilidad elevada y muy alta conforman la mayoría de la extensión del territorio, donde la susceptibilidad elevada se encuentra en su mayoría en zonas de bosque cuya susceptibilidad a incendios fue catalogada como moderada, esto debido a los escasos de materia orgánica seca presente en el suelo. Según la SNGRE (2020), en este nivel de susceptibilidad los incendios pueden ocurrir al existir convergencia entre todos los factores asociados a los incendios.

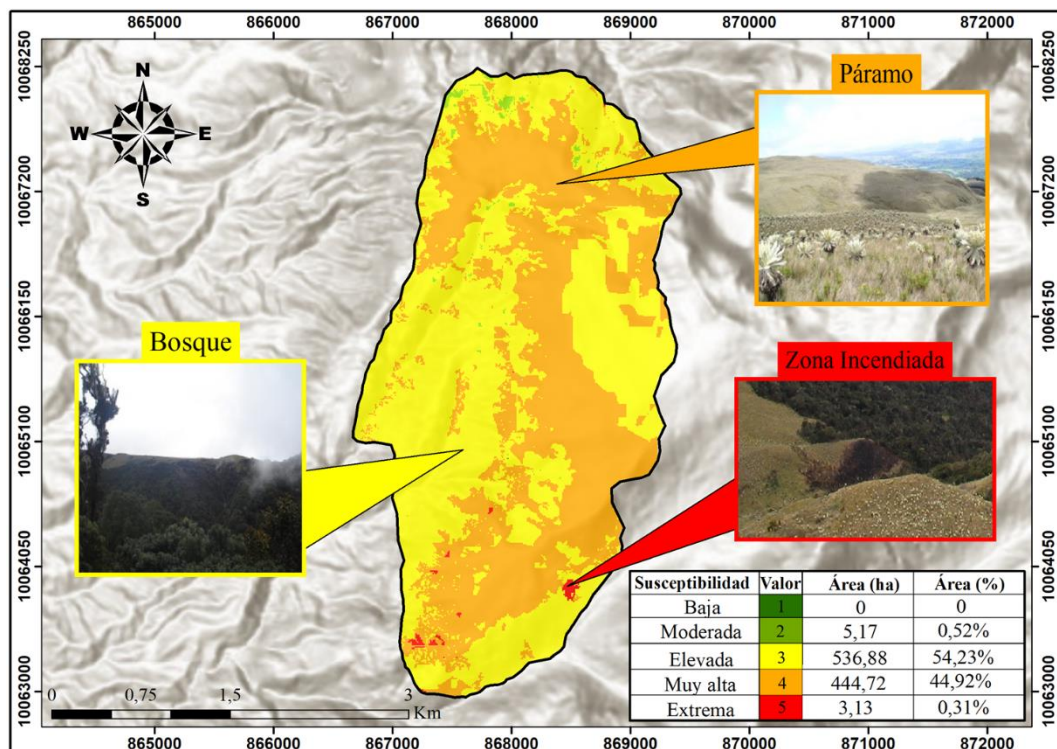


Figura 12. Susceptibilidad a incendios de cobertura vegetal en la Estación Biológica Guandera

Las zonas con susceptibilidad muy alta se encuentran principalmente en zonas con pendientes elevadas conformadas por páramo y zonas de transición de vegetación arbustiva a páramo al igual que las zonas con susceptibilidad extrema, que se encuentran en menor proporción en la zona colindante sur del área; además que estas áreas coinciden en lugares donde ha existido reincidencia de incendios de acuerdo con el mapa histórico de incendios del área de estudio (Anexo 3.11). Arias et al. (2020) toma a la susceptibilidad muy alta y extrema como referente principal y acorde a la SNGRE (2020) estos niveles de susceptibilidad poseen todas las condiciones necesarias para una rápida ignición y propagación, al mismo tiempo que en zonas con extrema susceptibilidad existe un peligro latente de reincidencia, es por ellos que se consideró a la susceptibilidad muy alta y extrema como las más importantes con una suma total de 447,85 ha.

4.2.1 Validación de datos

Para validar el modelo de susceptibilidad de incendios obtenido para la Estación Biológica Guandera se relacionó puntos de focos de calor y registros de incendios, donde se obtuvo que, un 75% de los puntos de incendios anteriores coinciden con la susceptibilidad muy alta y extrema del modelo obtenido, el cual permite demostrar que el modelo se adecuó al área de estudio. Este análisis permitió preparar adecuadamente los datos para ejecutar los dos modelos estadísticos propuestos, el Chi cuadrado de Pearson y la curva ROC, donde se asocian los datos esperados (puntos de focos de calor y registros de incendios) con los datos observados (modelo obtenido).

- Chi cuadrado de Pearson

De acuerdo con Tinoco (2008) el objetivo de esta prueba estadística es contrastar las hipótesis planteadas mediante el nivel de significancia si este es menor o mayor que el alfa (0,05). Las variables en el estudio se relacionan con una tabla de contingencia donde se espera valores menores a 0,05 para indicar que existe una asociación de las variables (Anrango et al., 2019). En la investigación se

determinó una significancia de 0,02 que es menor a 0,05 (Tabla 24) lo que permitió aceptar la hipótesis alterna, la cual indica que existe una asociación entre el modelo de susceptibilidad con los datos esperados (puntos de focos de calor e incendios previos), validando el modelo de susceptibilidad a incendios para la Estación Biológica Guandera.

Tabla 24. Prueba Chi-cuadrado de Pearson

	Valor	gl	Significancia asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	7,47 ^a	1	0,02

- Curva ROC

Carter et al. (2016) indica que los valores de la curva que se representan sobre la línea de referencia representan que el modelo es más sensible y posee mayor especificidad, donde el valor límite es 1 y entre más se acerque el resultado a este valor, el resultado del modelo es más predictivo. En la Figura 13 se observa la curva ROC del análisis de las dos variables examinadas en la validación del modelo, donde se indica un valor de área bajo la curva de 0,89 acercándose mucho a uno, lo que representa que el modelo realizado tiene un alto nivel de confiabilidad.

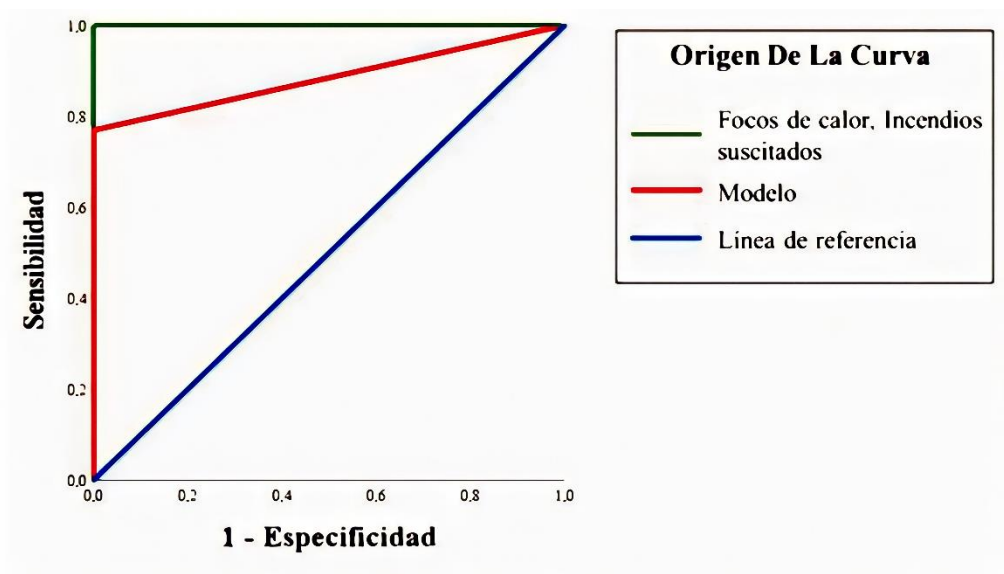


Figura 13. Curva ROC

4.3 Estrategias de prevención y mitigación de incendios de cobertura vegetal para la Estación Biológica Guandera

Para generar propuestas de prevención y mitigación de incendios de cobertura vegetal, se tomó en cuenta los actores sociales directos e indirectos que contribuyen a la conservación de la Estación Biológica Guandera, para ello se identificó las principales causas de los incendios de cobertura vegetal, la influencia de los pobladores, autoridades y la Fundación Jatun Sacha.

4.3.1 Identificación de los problemas

Los problemas que influyen dentro de la estación Biológica Guandera se identificaron con las respuestas obtenidas de la pregunta N.º 1 de la entrevista realizada a nueve expertos y personas cercanas al área de estudio. La información recolectada se corroboró con la revisión bibliográfica sobre la problemática.

Entre los problemas identificados se encuentran las creencias de la población en quemar el pajonal en época de sequía para atraer la lluvia (Chicaiza et al., 2002), la falta de personal, la influencia que genera el cambio climático, la práctica de los agricultores de quemar el rastrojo de los sembríos que causa que en varias ocasiones las quemas se descontroren y lleguen a quemar parte del páramo (Mena, 2009); la expansión agrícola, las zonas de difícil acceso que dificulta el accionar para líneas de emergencia, escasez de herramientas para prevenir incendios, la alerta temprana inexistente, la falta de técnicas y herramientas para combatir incendios y falta de educación ambiental en la comunidad.

4.3.2 Matriz de Vester

Como resultado de la encuesta, se enlistó los problemas demostrados en la Estación Biológica Guandera (Tabla 25), con lo que se cuantificó la relación causal de los mismos. Mediante la matriz de Vester se consigue evidenciar las contrariedades más importantes que se presentan entre los incendios forestales y factores asociados (Hernández y Mendoza, 2021).

Tabla 25. Matriz de Vester

	Variab	P	P	P	P	P	P	P	P	P	p	p	Total
		1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	ativos
P1	Creencias de la población (Quema del pajonal)		0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	7
P2	Falta de personal	2		0	0	2	3	3	3	2	3	3	21
P3	Cambio climático	1	0		0	0	0	0	0	1	0	0	2
P4	Quema de rastrojo de sembríos	1	0	1		0	0	0	0	2	0	0	4
P5	Expansión agrícola	0	0	3	0		2	0	0	1	0	2	8
P6	Zonas de difícil acceso para líneas de emergencia	1	0	0	0	0		0	3	1	0	0	5
P7	Escases de herramientas para prevenir incendios	3	0	2	0	0	3		3	3	3	2	19
P8	Alerta temprana inexistente	3	0	1	0	0	0	3		3	0	2	12
P9	Quema de pastizal	0	0	3	0	1	3	1	0		0	1	9
P10	Falta de técnicas y herramientas para combatir incendios	3	0	3	0	0	3	0	3	2		2	16
P11	Falta de educación ambiental	3	0	3	3	3	0	3	1	3	3		22
Total pasivos		17	0	17	3	6	15	11	14	19	10	13	

Para la obtención del plano cartesiano cada cuadrante corresponde a un tipo de demanda; Delgado-Yanes y Pérez-Jacinto (2020) señalan que los problemas que se encuentren entre los cuadrantes I, II y III del plano cartesiano presentan una influencia en menor cuantía, los problemas categorizados como críticos o presentes en el IV cuadrante son los deben ser examinados. Es así como en el análisis realizado se encontró que la Estación Biológica Guandera presenta tres problemas críticos que son; la escases de herramientas para combatir incendios, la carencia de un sistema de alerta temprana y la falta de educación ambiental que presenta la población aledaña a la Estación (Figura 14).

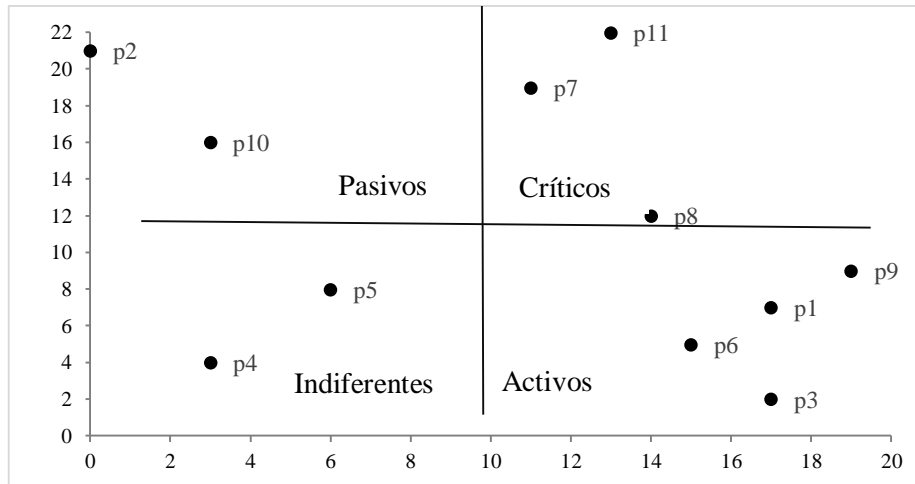


Figura 14. Plano cartesiano de activos y pasivos

4.3.2.1 Árbol de problemas

La participación social presenta una gran influencia en la prevención de incendios, en zonas vulnerables a incendios ante la falta de técnicas de prevención, es importante generar información para la toma de decisiones y acciones inmediatas (Estacio y Narváez, 2012). Como se muestra en la (Figura 15) la falta de herramientas de prevención y la falta de educación ambiental producen la pérdida de biodiversidad que es alarmante debido a las especies de flora y fauna que alberga la Estación Biológica Guandera, sumado a esto, la falta de alerta temprana ocasiona que la respuesta de las líneas de emergencia sea tardía.

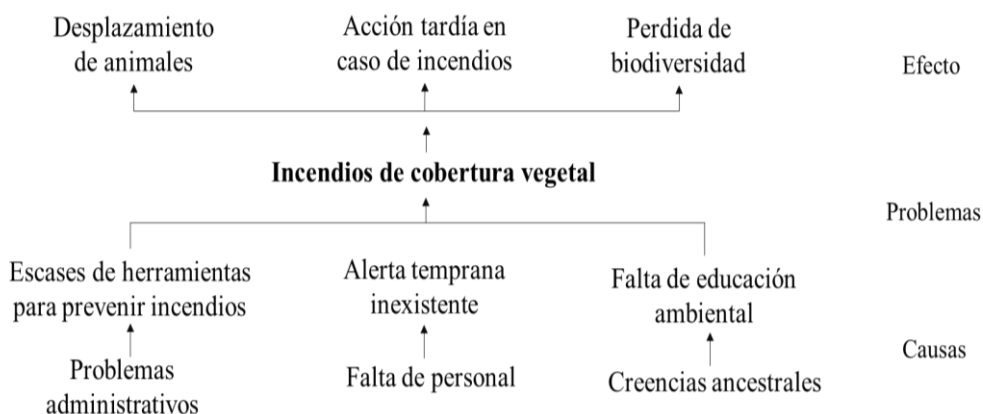


Figura 15. Árbol de problemas

4.3.3 Problemas críticos encontrados

P1. Escasez de herramientas para prevenir incendios

En las zonas susceptibles a incendios que no cuentan con técnicas de prevención, se corre un mayor peligro en cuanto a la ocurrencia de incendios (Vélez, 1995). En la Estación Biológica Guandera se ha identificado que más del 70% de la superficie total, tiene una susceptibilidad muy alta y extrema a incendios de cobertura vegetal. Los incendios se ocasionan en zonas vegetativas con alta combustibilidad y fácil propagación, en donde, no existe ningún método o herramientas para prevención.

P2. Alerta temprana inexistente

La falta de cobertura móvil y un sistema de alerta ante incendios influyen en que el accionar de las líneas de emergencia sea tardío, adicional a esto, la falta de personal impide una vigilancia constante en las zonas propensas a incendios. Las zonas de difícil acceso y la falta del recurso hídrico para contención de incendios pueden ser determinantes para el alcance de la intensidad y afectación del incendio (Ortiz y Rivas, 2014).

P3. Falta de educación ambiental

Las quemas del terreno realizadas por los agricultores como medida de acondicionamiento para futuros sembríos han sido el epicentro de incendios forestales de gran magnitud; esto refleja una falta de educación ambiental e impactos negativos por la ausencia de información (Condori, 2020). Mediante la entrevista realizada se encontró que el páramo ha sido quemado de manera premeditada a lo largo de los años. Estas quemas consumían hectáreas de páramo, y dicha actividad estaba sustentada en una creencia ancestral, la cual menciona que en épocas de sequía hay que quemar el páramo para así generar lluvia.

Con la finalidad de prevenir incendios y conservar el ecosistema natural de la Estación Biológica Guandera, a continuación, se establecen estrategias conformadas por programas y proyectos, en base a los problemas críticos señalados en la matriz de Vester (Tabla 25).

4.3.3.1 Estrategia 1. Programa de prevención de incendios forestales y páramo

La práctica de incendios forestales controlados puede ser beneficiosos para mantener la biodiversidad del ecosistema, por el contrario, los incendios de cobertura vegetal no controlados constituyen una de las principales causas para la deforestación, fragmentación y pérdida de flora y fauna, e incluso un riesgo para la salud y seguridad humana (Comisión Nacional Forestal, 2010). En un estudio realizado por Cevallos (2014) se menciona que para prevenir incendios se debe eliminar uno de los elementos que conforman el triángulo del fuego o aislarlos y no dejar que estos lleguen a combinarse; es por ello por lo que analizar las causas que originan los incendios servirá para la efectividad de la técnica preventiva que se aplique.

El mantener técnicas de prevención de incendios de manera activa y constante en ecosistemas sensibles como redes cortafuegos y áreas cortafuegos contribuye a mantener y controlar la ocurrencia de estos, de igual manera es importante mantener un equilibrio entre las prácticas preventivas y la contribución social, para disminuir los conflictos socioambientales (Ruiz et al., 2007).

De la variedad de métodos a utilizarse como medida preventiva para la ocurrencia de incendios, se debe destacar que la técnica de líneas cortafuegos es la técnica más eficaz para la disminución del alcance de los daños y apartar el riesgo del fuego del resto de la zona (Moscovich, et al., 2014). Para la presente estrategia se propone un programa de prevención de incendios, en donde, se plantea implementar los distintos tipos de líneas cortafuegos dentro de las zonas identificadas como susceptibles a incendios y capacitar de manera oportuna a los

actores sociales involucrados de manera voluntaria en el cuidado y protección de la Estación Biológica Guandera en caso de incendios forestales.

Objetivo general

Plantear la creación de zanjas cortafuegos dentro de la zona de páramo de la Estación Biológica Guandera, con la finalidad de prevenir la expansión del fuego en caso de incendios.

Objetivos específicos

- Recopilar información sobre las especificaciones de la creación de líneas cortafuegos y los parámetros a tomar en cuenta.

- Establecer las zonas dentro de la Estación Biológica Guandera susceptibles a incendios en donde se establecerán los puntos para las líneas cortafuegos.

- Promover la participación de las entidades gubernamentales dentro del cantón y la parroquia en la planificación y ejecución de las líneas cortafuegos dentro de la Estación Biológica Guandera.

Tabla 26. Programa de prevención de incendios

Proyectos	Actividades	Indicadores	Responsable
Proyecto de líneas de control “prevención de incendios en páramo”	<ul style="list-style-type: none"> ● Identificar las zonas adecuadas para implementar el proyecto. ● Señalización del sitio donde se construirán las líneas cortafuegos. ● Socialización de la creación de líneas de control con el Cuerpo de Bomberos de Huaca y voluntarios del sector. ● Construcción de líneas de control en los sitios señalados 2 a 3 metros. ● Mantenimiento de las líneas de control. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Sitios seleccionados. ● Nómina de asistencia. ● Líneas de control construidas. ● Rastrojo recogido del mantenimiento. 	GAD Parroquial, Administración EBG, Tesisistas
	Proyecto líneas de defensa “Combate de incendios en páramo”	<ul style="list-style-type: none"> ● Creación del instructivo técnico sobre líneas cortafuegos. ● Socialización del instructivo técnico con el Cuerpo de Bomberos del cantón Huaca. ● Capacitación a voluntarios sobre la construcción de líneas de defensa en caso de incendio. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Instructivo técnico ● Fotografías ● Nómina de asistencia

4.3.3.2 Estrategia 2. Programa de sistema de alerta temprana

Debido a la extensión del área de estudio, la falta de personal, la dificultad de acceso del área y los antecedentes de incendios en la zona, se propone la instalación de un sistema de una red de comunicación por radio. Este sistema permite que la transmisión de la información del vigilante sea transmitida de manera inmediata hacia los sistemas de recepción de información y viceversa. Así entonces mediante el sistema de radiocomunicaciones se puede alertar de los inicios de los incendios y al mismo tiempo recibir instrucciones de cómo actuar hasta que las líneas de emergencia y combate lleguen al área afectada (Aguirre, 2001).

El conjunto de instrumentos y procesos que monitorean eventos o amenazas de origen ya sea natural o antrópico, es conocido como sistema de alerta temprana o SAT; esta es una de las principales herramientas para la reducción del riesgo ante la ocurrencia de desastres (Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres [EIRD], 2004). Su principal objetivo es la detección y pronóstico de eventos extremos, mediante la recolección de información, que procesada arroja predicciones de los hechos a suscitarse en el área para el combate inmediato y mitigación del impacto (Norambuena, 2011).

Magaña et al. (2002) menciona que los sistemas de alerta temprana involucran control, vigilancia constante y prevención en los incendios; este tipo de sistemas requieren un establecimiento de métodos de evacuación y rutas de ingreso para las líneas de emergencia, la intervención de la comunidad tanto para alertar del hecho como para combatirlo contribuirá a contrarrestar de manera más rápida. Por esto el proponer la instalación de un sistema de alerta comunitaria es beneficioso para tener un control, vigilancia y respuesta inmediata en el caso de suscitarse un incendio, lo que permite disminuir el daño y la intensidad del fuego.

Objetivo general

Determinar los aspectos técnicos para la instalación de un sistema de alerta temprana en la Estación Biológica Guandera.

Objetivos específicos

- Establecer las zonas más susceptibles dentro de la Estación Biológica Guandera donde es necesario la creación de rutas de evacuación e ingreso de líneas de emergencia.
- Instalar las herramientas electrónicas necesarias para la funcionalidad del sistema de alarma comunitaria.
- Socializar con las autoridades de la comunidad la instalación de un sistema de alerta temprana dentro de la Estación Biológica Guandera.

Tabla 27. Programa de sistema de alerta temprana

Proyectos	Actividades	Indicadores	Responsable
Proyecto “Red de alarma comunitaria”	<ul style="list-style-type: none"> ● Levantamiento de información social y socialización para la implementación del sistema de alarma comunitaria (número de casas, habitantes). ● Instalación del sistema de botón de pánico en la EBG conectado directamente a líneas de emergencia dentro del cantón Huaca. ● Obtención de sistema de radiocomunicaciones para compartir información con el cuerpo de Bomberos de Huaca ● Socialización del proyecto de sistema de alerta temprana con autoridades de la parroquia y la comunidad. ● Vinculación del Cuerpo de Bomberos con el proyecto de sistema de alerta temprana. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Informe preliminar ● Firmas de aprobación ● Fotografías ● Facturas ● Contrato ● Nómina de asistencia 	Administración EBG, GAD Parroquial.
Proyecto “Guandera unida”	<ul style="list-style-type: none"> ● Solicitud de instalación de torres repetidoras de red móvil. ● Obtención de botón de pánico dentro de la oficina conectado con líneas de emergencia. ● Socialización con la comunidad los contactos de líneas de emergencia en caso de incendios. ● Adecuación de rutas óptimas de acceso para atención de Bomberos y comunidad en caso de incendios. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Fotografías ● Nómina de asistencia ● Mapa de rutas de acceso 	Administración EBG, GAD Parroquial, Cuerpo de Bomberos

Proyecto brigada de
vigilancia “Guandera a
salvo”

- Estructuración de brigadas de vigilancia de manera periódica dentro de las áreas susceptibles.
 - Revisión de material peligroso para la ignición de incendios ingresado por los visitantes.
 - Indicación de medidas de prevención y acciones en caso de incendios a los visitantes.
 - Colocación de letreros de prevención de incendios en los senderos de la EBG.
- Listado de vigilantes
 - Horario y ruta de vigilancia
 - Fotografías
 - Número de letreros

Administración EBG, GAD
Parroquial.

4.3.3.3 Estrategia 3. Programa de educación ambiental

La educación ambiental debe ser vista como una oportunidad de aprendizaje y mejoras para la comunidad, la cual busca que la sociedad y sus elementos formen parte de la prevención y solución de los problemas ambientales presentes en la actualidad (López et al., 2011). Debido al riesgo a incendios de cobertura vegetal al que se encuentra expuesta la Ecuación Biológica Guandera, específicamente el ecosistema páramo, a consecuencia de creencias ancestrales de los pobladores, se requiere un proyecto de educación ambiental guiado principalmente a la comunidad, donde se busca demostrar lo equívoco de su creencia y difundir la importancia de los bosques y páramos.

Es importante mencionar que la educación ambiental contribuye al cuidado de la naturaleza, prevención de incendios y protección de ecosistemas en las personas. Esta es una herramienta que contribuye a fundar hábitos y buenas prácticas ambientales en las personas, al educar a los agricultores y poblaciones cercanas a ecosistemas sensibles en cuanto a riesgo de incendios y las consecuencias, se busca disminuir la ocurrencia de incendios específicamente en el ecosistema páramo (Angulo et al., 2020). La educación ambiental debe ir guiado a solucionar de raíz los problemas medioambientales, es por ello por lo que se debe analizar a fondo las causas de los incendios forestales y como el humano y la población contribuyen en la generación de estos; para proponer soluciones y compromisos para erradicar dichos problemas (Pinto y Ondurria, 2004).

Objetivo general

Realizar un proyecto de educación ambiental, guiado a las autoridades, comunidad y unidades educativas de la parroquia Mariscal Sucre, cantón Huaca., con énfasis en la prevención de incendios

Objetivos específicos

- Contar con técnicas de difusión de información en donde se abarque temas sobre prevención de incendios.
- Difundir el proyecto de educación ambiental con unidades educativas, autoridades, comunidad y visitantes de la Estación Biológica Guandera.
- Programar visitas a la Estación Biológica Guandera con fines educativos y recreativos, para fomentar el cuidado y protección de la naturaleza.

Tabla 28. Programa de Educación Ambiental

Proyectos	Actividades	Indicadores	Responsable
Proyecto “menos quemas más páramos”	<ul style="list-style-type: none"> ● Creación de contenido visual y audiovisual acerca de: <ul style="list-style-type: none"> - Riesgo de los incendios - prevención de incendios - Qué hacer en caso de incendios 	<ul style="list-style-type: none"> ● Afiches ● Carteles ● Diapositivas ● Videos ● Fotografías ● Nómina de asistencia 	Administración EBG, GAD Parroquial
	<ul style="list-style-type: none"> ● Realización de simulacros en colaboración del Cuerpo de Bomberos de Huaca. 		
	<ul style="list-style-type: none"> ● Socialización del proyecto con autoridades de la parroquia y los agricultores principalmente de los alrededores a la EBG. 		
	<ul style="list-style-type: none"> ● Difusión de información en medios de comunicación local. 		
Proyecto “Guandera linda”	<ul style="list-style-type: none"> ● Creación de contenido visual y audiovisual acerca de: <ul style="list-style-type: none"> - Importancia ecológica - Biodiversidad de la EBG 	<ul style="list-style-type: none"> ● Afiches ● Carteles ● Diapositivas ● Videos ● Fotografías ● Nómina de asistencia 	Administración EBG, GAD Parroquial
	<ul style="list-style-type: none"> ● Minga comunitaria de limpieza y mantenimiento de la EBG. 		
	<ul style="list-style-type: none"> ● Socialización del proyecto con autoridades de la parroquia y la comunidad. 		
	<ul style="list-style-type: none"> ● Difusión de información para concientizar a la comunidad acerca de la importancia del páramo. 		

Proyecto “Yo aprendo, yo conservo”	<ul style="list-style-type: none"> ● Creación de contenido visual y audiovisual acerca de: <ul style="list-style-type: none"> - Importancia ecológica - Biodiversidad de la EBG - Riesgo de los incendios - Prevención de incendios - Que hacer en caso de incendios 	<ul style="list-style-type: none"> ● Afiches ● Carteles ● Diapositivas ● Videos ● Fotografías ● Nómina de asistencia 	Administración EBG
	<ul style="list-style-type: none"> ● Realización de charlas de los temas mencionados a los estudiantes de la Unidad Educativa “Mariscal sucre”. ● Socialización del proyecto con autoridades de la parroquia y los agricultores principalmente de los alrededores a la EBG. ● Exposición de talleres de educación ambiental dentro de la Estación a visitantes. ● Programación de visitas guiadas al páramo de la EBG. 		

4.3.1.1 Estrategia 4. Programa delimitación de zonas de importancia ecológica

Los servicios ecosistémicos de provisión y regulación que brinda el páramo indican la importancia de conservación que presenta el mismo, sin embargo, la presión a la cual se encuentra expuesto debido a la ganadería, agricultura, asentamientos humanos, entre otros; han vulnerado gran parte de su territorio (Gómez y Ramírez, 2019). Es por esto por lo que establecer zonas de importancia ecológica asegura una protección adicional al ecosistema, como: reducir las presiones sobre la zona protegida, ayudar a mantener los procesos naturales, y mantener la diversidad biológica dentro del área (Mora et al., 2015). Es por ello por lo que se prevé que el establecer zonas de importancia que brindan servicios ecosistémicos contribuye a disminuir las presiones a las cuales se encuentran expuestos, para así priorizar su conservación.

Mora et al. (2015) menciona que establecer zonas de protección hídrica, zonas de recopilación ecológica y de conservación es importante para garantizar su mantenimiento. La Estación Biológica Guandera brinda a la comunidad servicios de soporte, provisión y regulación, estos servicios están destinados a la conservación y aprovechamiento sustentable (Gobierno Parroquial de Mariscal Sucre, 2015); para el cuidado, protección y mantenimiento de estas áreas es importante delimitarlas y promover el cuidado y manejo adecuado.

Objetivo general

Delimitar las áreas de importancia ecológica de la Estación Biológica Guandera y crear estrategias de conservación y cuidado de esta.

Objetivos específicos

- Identificar las áreas que brindan servicios ecosistémicos dentro del área de estudio.

- Georreferenciar las áreas de importancia ecológica de la Estación Biológica Guandera.
- Generar estrategias para el manejo adecuado de las zonas de importancia.

Tabla 29. Programa delimitación de zonas de importancia ecológica

Proyectos	Actividades	Indicadores	Responsable
Proyecto “Nuestros Recursos”	<ul style="list-style-type: none"> • Visita al área de estudio para la identificación de los servicios ecosistémicos que brinda la EBG. • Clasificación de los servicios de acuerdo con su importancia para la comunidad. • Georreferenciación de las zonas que brindan servicios ecosistémicos dentro de la EBG. • Socialización de los servicios ambientales que brinda la EBG a la comunidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Puntos GPS de los servicios ecosistémicos • Nómina de asistencia • Fotografías 	Administración EBG
Proyecto “Zonas de protección”	<ul style="list-style-type: none"> • Elaboración de una propuesta de delimitación de las áreas consideradas de importancia. • Zonificación de las áreas de importancia que se encuentra dentro de la EBG. • Elaboración medidas de cuidado y protección para cada zona de importancia. • Elaboración de señalética para colocar dentro de las áreas consideradas de importancia. • Socialización del proyecto con autoridades y comunidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Propuesta escrita • Mapa de las zonas de importancia ecológica • Señalética • Nómina de asistencia • Fotografías 	GAD Parroquial, Administración EBG

Nota. Las estrategias establecidas están guiadas a la protección y conservación de la Estación Biológica Guandera, con las cuales se prevé minimizar la ocurrencia de incendios y resaltar la importancia de este, se socializará con la administración encargada y autoridades pertinentes para su debida ejecución

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

El factor físico de cobertura vegetal presenta 41% de influencia en la ocurrencia y propagación de los incendios de cobertura vegetal, esto debido a que el área de estudio está conformada en su mayoría por páramo, que al constituirse en su mayoría por pajonal y poseer la materia orgánica seca de los frailejones es uno de los factores determinantes en la ocurrencia y dispersión del incendios; de igual manera, la pendiente al ser el segundo factor con 15%, siendo una zona montañosa, influye en el comportamiento del fuego, además, de dificultar el acceso para combatir los incendios.

Las zonas con susceptibilidad muy alta y extrema a incendios se encuentran en una extensión total de 447,85 ha, lo cual representa un 45% del total del área de estudio, estas áreas se identifican específicamente en zonas de transición entre bosque – páramo y páramo, donde se ha presentado reincidencia de estos eventos según el historial de incendios registrados en la Estación Biológica Guandera.

Los programas planteados en las estrategias se enfocan en resolver los problemas críticos que afectan en la incidencia de incendios, enfocados en las áreas que presenta susceptibilidad muy alta y extrema, donde se busca vincular a las autoridades locales y comunidad en la toma de acciones y decisiones, guiadas a la prevención y protección de la Estación Biológica Guandera, que contribuye a la conservación del ecosistema, especialmente el bosque, páramo de almohadillas y páramo de frailejones.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda usar datos meteorológicos de fuentes confiables como WorldClim (www.worldclim.org) o servidor de la Nasa Giovanni (giovanni.gsfc.nasa.gov) y en caso de presentar datos faltantes aplicar la metodología de relleno de datos que mejor se adecue al tipo de información, con la finalidad de trabajar con datos lo más precisos posibles.

Contratar personal o voluntarios que contribuyan a realizar la vigilancia y control de visitantes y pobladores para evitar la ocurrencia de incendios. De igual manera a las autoridades y entidades gubernamentales que correspondan, se recomienda tomar acciones inmediatas para regular el manejo y control de la Estación Biológica.

Aplicar las estrategias planteadas en la investigación, con la finalidad de prevenir y controlar incendios en un futuro y proteger los servicios ambientales que la Estación Biológica Guandera brinda a la comunidad. Solicitar el apoyo de entidades gubernamentales para el financiamiento de los proyectos planteados, además de trabajar en conjunto con la alcaldía del cantón Huaca, la junta parroquial de Mariscal y los habitantes de la comunidad.

REFERENCIAS

- Aguirre, F (2001). *Manual de Formación de Incendios Forestales para Cuadrillas*. Zaragoza: Gobierno de Aragón. ISBN: 84-7753-865-4
- Amat, J. (2016). *Correlación y Regresión Lineales Simple*. *Cienciadedatos.Net*. (CC BY 4.0). https://www.cienciadedatos.net/documentos/24_correlacion_y_regresion_lineal
- Amaya, D., & Armenteras, D. (2012). Fire Incidence on Vegetation in Cundinamarca and Bogota D.C. (Colombia) During the 2001-2010 Period. *Acta Biológica Colombiana*. 17. 143-158.
- Andersen, J., Refsgaard, J. C., & Jensen, K. H. (2001). Distributed hydrological modelling of the Senegal River Basin - Model construction and validation. *Journal of Hydrology*, 247(3-4), 200-214. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00384-5](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00384-5)
- Angulo, E., Rosales, O., y Herrera, F. (2020). Estrategias de Gestión de Riesgos de Incendios en la Reserva Ecológica El Ángel: Un Nuevo Paradigma para la Conservación de las Cuencas Hidrográficas a través de la Reducción de la Vulnerabilidad en las Áreas Protegidas. En P. Aguirre (Ed). *Riesgos Naturales en la Cuenca del Río Mira*. (pp. 75, 88) *CUVILLIER VERLAG, Göttingen, Germany* 2020. SBN 978-3-7369-6292-7
- Anrango, S., Chingal, M., y Arias, P. (2019). Zonificación de Cobertura Vegetal Propensa a Incendios en el Cantón Ibarra, Provincia de Imbabura. En P. Aguirre (Ed). *Riesgos Naturales en la Cuenca del Río Mira*. (pp. 57, 71) *CUVILLIER VERLAG, Göttingen, Germany* 2020. SBN 978-3-7369-6292-7
- Arias, P., Encarnación, G., Díaz, A. y Herrera, F. (2020). Zonificación de áreas propensas a incendios de cobertura vegetal en la subcuenca del río Mataquí ubicada en la Provincia Imbabura. En P. Aguirre (Ed.), *Riesgos naturales en la cuenca del río Mira. Variabilidad del clima, deslizamientos, incendios*

y *vulneración volcánica* (pp. 39-51). Germany, Göttingen: Editorial CUVILLIER VERLAG.

Armenteras D, González TM, Vargas Ríos O, Meza Elizalde MC y Oliveras I. (2020). Incendios en Ecosistemas del Norte de Suramérica: Avances en la Ecología del Fuego Tropical en Colombia, Ecuador Y Perú. *Caldasia* 42(1):1–16. doi: <https://dx.doi.org/10.15446/caldasia.v42n1.77353>.

Asamblea Nacional de la Republica del Ecuador. (5 de julio de 2016). ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua, Registro Oficial N°305. [Archivo PDF]. <http://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/03/Ley-Org%C3%A1nica-de-Recursos-H%C3%ADricos-Usos-y-Aprovechamiento-del-Agua.pdf>

Asamblea Nacional de la República del Ecuador. (5 de julio de 2016). Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión de Suelo, Registro Oficial N°790, 1-32. [Archivo PDF]. <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu166410.pdf>

Basildo Martín, R. M., y López Nieva, P. (1998). Aproximación bibliográfica a los Sistemas de Información Geográfica aplicados a la Ordenación del Territorio y los Recursos Naturales. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 18, 319. <https://revistas.ucm.es/index.php/AGUC/article/view/AGUC9898110319A>

Bauce G, y Moya-Sifontes M. (2022). Análisis de la Curva ROC en la Evaluación de Indicadores Antropométricos. *Rev Digit Postgrado*. 11(1): e333. doi: 10.37910/RDP.2022.11.1.e333

Bermúdez Irreño, C. y Quiñones Aguilar. E. (2018). Aplicación práctica del proceso de análisis jerárquico (AHP), para la toma de decisiones. *Revista Ingeniería, Matemáticas y Ciencias de la Información*, 5(9), 91-100. DOI: <http://dx.doi.org/10.21017/rimci.2018.v5.n9.a43>

Bilbao, B., L. Steil, I.R. Urbieta, L. Anderson, C. Pinto, M.E. Gonzalez, A. Millán, R.M. Falleiro, E. Morici, V. Ibarregaray, D.R. Pérez-Salicrup, J.M. Pereira y J.M. Moreno. (2020): Incendios forestales. En: *Adaptación Frente a los*

Riesgos del Cambio Climático en los Países Iberoamericanos – Informe RIOCCADAPT [Moreno, J.M., C. Laguna-Defior, V. Barros, E. Calvo Buendía, J.A. Marengo y U. Oswald Spring (eds.)]. McGraw-Hill, Madrid, España (pp. 459-524, ISBN: 9788448621643).

BirdLife International. (2021). *Important Bird Areas Factsheet: Estación Biológica Guandera-Cerro Mongus*.

<http://datazone.birdlife.org/site/factsheet/estacion-biologica-guandera-cerro-mongus-iba-ecuador>

Botta, N. (2021). *El Fuego: Dinámica de los Incendios*. 2a ed. - Rosario: Red. ISBN 978-987-4035-35-6

Camargo, Â. P. D., & Camargo, M. B. P. D. (2000). Uma Revisão Analítica da Evapotranspiração Potencial. *Bragantia*. doi: 59, 125-137.

Carrasco Rodríguez, Y. (2016). *Índice Meteorológico de Peligro de Incendio Forestal para la Provincia Pinar del Río, Cuba*. [Tesis de Doctorado], Universidad de Pinar del Río, Cuba.

Carrera-Villacrés, David Vinicio, Guevara-García, Paulina Valeria, Tamayo-Bacacela, Lizbeth Carolina, Balarezo-Aguilar, Ana Lucía, Narváez-Rivera, César Alfonso, y Morocho-López, Diana Rosa. (2016). Llenado de Series Anuales de Datos Meteorológicos por Métodos Estadísticos en la Zona Costera de Ecuador y Andes, y Cálculo De Precipitaciones. *Idesia (Arica)*, 34 (3), 81-90. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292016000300010>

Carter, JV, Pan, J., Rai, SN y Galandiuk, S. (2016). ROC-ing Along: Evaluación e interpretación de las curvas características operativas del receptor. *Cirugía*, 159(6), 1638–1645. doi: 10.1016/j.surg.2015.12.029

Castillo, M., Pedernera, P., y Pena, E. (2003). Incendios forestales y medio ambiente: una síntesis global. *Revista Ambiente y Desarrollo*, 9(3), 44-53.

Celemín, J. (2014). El proceso analítico jerárquico en el marco de la evaluación multicriterio: Un análisis comparativo; Universidad Nacional de Luján.

Departamento de Ciencias Sociales; *Geografía y sistemas de información geográfica*; 6; 6; 47-63

Cerda L, y Villarroel, L. (2008). Evaluación de la Concordancia Inter Observador en Investigación Pediátrica: Coeficiente de Kappa. *Revista chilena de pediatría*, 79 (1),54-58. <https://dx.doi.org/10.4067/S0370-41062008000100008>

Cerón, Martínez, C, Carmita I. Reyes y Gallo V. 2006. Remanentes de Bosque Altoandino en la Cuenca del Río Apaqui, Carchi-Ecuador. *Cinchonia* 7(1): 28-39.

Cevallos Polanco. P.A. (2014) Diseño de un Plan de Control de Incendios a partir de la Determinación de la Masa Combustible en la Unidad Académica Caren. U.T.C. Latacunga. 143 p. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/6518>

Chicaiza, L., Chontasi, R., Correa, G., y Maldonado, P. (2002). Caracterización y Diagnóstico de los Páramos. *IEDECA*. [Archivo PDF]. <https://camaren.org/wp-content/uploads/2021/11/Caracterizacion-y-Diagnostico-de-los-paramos.pdf>

Chuvieco, E., Aguado, I., Yebra, M., Nieto, H., Salas, J., Martín, M. P., & Zamora, R. (2010). Development of a framework for fire risk assessment using remote sensing and geographic information system technologies. *Ecological Modelling*, 221(1), 46–58. doi:10.1016/j.ecolmodel. 2008.11.017

Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización. COOTAD, (2014). Quito, Ecuador: Sector Público Gubernamental.

Código Orgánico del Ambiente, [COA]. (2018). Libro Tercero de la Calidad Ambiental. Registro Oficial Suplemento 983 de 12 de abril del 2017.

Coelho, F.E., Dos Santos, A.R., Fiedler, N.C., Ribeiro, G.A., Da Silva, A.G., Dos Santos, A.B. & Schettino, V.R. (2016). Applying GIS to develop a model for forest fire risk: A case study in Espírito Santo, Brazil. *Journal of*

Environmental Management, 173, 65-71. doi:
10.1016/j.jenvman.2016.02.021

Columba, M. y Quisilema, W. (2013). *Determinación De Áreas Vulnerables a Incendios Forestales y Cálculo de Probabilidad de Ocurrencia Mediante Lógica de Fuzzy Aplicando Herramientas Geoinformáticas en el Distrito Metropolitano de Quito*. (Tesis de pregrado). Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Sede Sangolquí.
<http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/7291>

Comisión Nacional Forestal. [CONAFOR] (2010). *Incendios Forestales. Guía Práctica para Comunicadores*.
<http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/10/236Gu%C3%ADa%20pr%C3%A1ctica%20para%20comunicadores%20-%20Incendios%20Forestales.pdf>

Condori, L. (2020). *Percepción de la Educación Ambiental a los Pobladores para Evitar Incendios Forestales en el Sector de Calcapampa - Echarate - La Convención - Cusco, 2020*. Universidad César Vallejo.
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/58640>

Constitución de la República del Ecuador. (2008). Registro Oficial 449 de 20 de octubre de 2008. Quito, Ecuador.

Dalmau R, F., Quinto P, F., y Belenguer P, E.(2020). *Guía Práctica de Jardinería Adaptada a la Prevención de Incendios Forestales*. ISBN: 78-84-09-25133.

Delgado-Yanes, N. y Pérez-Jacinto, A. O. (2020). Principales demandas educativas por evaluar en la formación de profesionales en la Universidad de Artemisa, Cuba. *Revista Virtu@lmente*, 8(1), 77-91. DOI:
<https://doi.org/10.21158/2357514x.v8.n1.2020.2634>

Denham, P. (2017). *Predicción de Incendios Forestales Basada en Algoritmos Evolutivos Guiados por los Datos*. (Tesis de Doctorado). Universidad Autónoma de Barcelona. CORE. <https://core.ac.uk/works/5571869>

- Díaz, y Encarnación, G. (2020). *Zonificación de Áreas Propensas a Incendios de Cobertura Vegetal en el Cantón Pimampiro, Provincia de Imbabura. [Tesis de Grado]* Universidad técnica del Norte. Repositorio UTN. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8655>
- Díaz-Delgado, R., Lloret, F. & Pons, X. Spatial patterns of fire occurrence in Catalonia, NE, Spain. *Landscape Ecol.* 19, 731–745 (2004). <https://doi.org/10.1007/s10980-005-0183-1>
- Díaz-Delgado, R., Salvador., & Pons, X. (1998). Monitoring of plant regeneration after fire by remote sensing. Pages 315–326 in L. Trabaud, editor. *Fire management and landscape ecology. International Association of Wildland Fire*, Fairfield, Washington, USA
- Dinis Ferreira A.J., S Ferreira C., Bento, C., Esteves, T y Carreiras, M. (2011). Fuego y agua: El impacto de los incendios forestales en el ciclo hidrológico, *Métode* 70, 97-99.
- Diniz-Prudente, T. (2010). Geotecnologias aplicadas ao mapeamento de risco de incêndio florestal no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros e área de entorno. Dissertação (Mestrado em Ciências Humanas) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2010. <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/16084>
- Domènech Jardí, R., Pastor Ferrer, E., Agueda Costafreda, A., Sans, A., Navascués, P., y Planas Cuchi, E. (2013). Modelos de combustible para caracterizar el comportamiento de los incendios en regenerados clareados de pino carrasco. *Montes*, (115), 22-29.
- Dong, X., Li-min Dai, Guo-fan, S., Lei, T., & Hui, W. (2005). Forest fire risk zone mapping from satellite images and GIS for Baihe Forestry Bureau, Jilin, China. *Journal of Forestry Research*, 16(3), 169–174. doi:10.1007/bf02856809
- Environmental Systems Research Institute [ESRI]. (2016). *Conceptos del Conjunto de Herramientas de Superficie*.

<https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-aspect-works.htm>.

Estacio, J., y Narváez, N. (2012). Incendios forestales en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ): Conocimiento e intervención pública del riesgo. Letras Verdes, *Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*. <https://doi.org/10.17141/letrasverdes.11.2012.914>

Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (EIRD). (2004). *Vivir con el Riesgo: Informe Mundial Sobre Iniciativas para la Reducción de Desastres*. Ginebra. CH. 16481

Farfán Gutiérrez, M., Rodríguez Tapia, G., y Mas, J.-F. (2016). Análisis jerárquico de la intensidad de cambio de cobertura/uso de suelo y deforestación (2000-2008) en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, México. *Investigaciones Geográficas*, (90). doi:10.14350/rig.48600

Fernández-García, V., Marcos, E., Huerta, S., & Calvo, L. (2021). Soil-vegetation relationships in Mediterranean Forests After Fire. *Forest Ecosystems*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/s40663-021-00295-y>

Fernández-Méndez, F., Velasco-Salcedo, V. M., Guerrero-Contecha, J., Galvis, M., y Neri, A. V. (2016). Recuperación Ecológica de Áreas Afectadas por un Incendio Forestal en la Microcuenca Tintales (Boyacá, Colombia). *Colombia Forestal*, 19(2), 143–160. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2016.2.a02>

Ferraz, S. D. B., & Vettorazzi, C. A. (1998). Mapeamento de risco de incêndios florestais por meio de sistema de informações geográficas (SIG). *Scientia Forestalis*, 53(4), 39-48. ISSN 1413-9324.

Ferreras, J., Estada, P., Herrero, T., y Martín, M. (2001). Los incendios forestales: *Revista Ecosistemas*, Revista Científica de Ecología y Medio Ambiente 10(1). <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/28>

- Flores-Ruiz E, Miranda-Novales MG, y Villasís-Keever. (2017). El Protocolo de Investigación VI: Cómo Elegir la Prueba Estadística Adecuada. Estadística inferencial. *Rev Alerg Mex.* 64(3):364-370
- François Mas, J., Reyes Díaz-Gallegos, J., y Pérez Vega, A. (2003). Evaluación de la Confiabilidad Temática de Mapas o de Imágenes Clasificadas: Una Revisión. *Investigaciones geográficas*, (51), 53-72.
- Fries, Andreas., Rollenbeck, Rütger., Nauss, Thomas., Thorsten, Peters & Bendix, Jörg. (2012). Near Surface Air Humidity in a Megadiverse Andean Mountain Ecosystem of Southern Ecuador and its Regionalization. *Agricultural and Forest Meteorology.* 152. 17–30. 10.1016/j.agrformet.2011.08.004.
- Ghorbanzadeh, O., Blaschke, T., Gholamnia, K., & Aryal, J. (2019). Forest fire susceptibility and risk mapping using social/infrastructural vulnerability and environmental variables. *Fire*, 2(3), 50. <https://doi.org/10.3390/fire2030050>
- Gobierno Autónomo Descentralizado de Huaca. (2014) *Actualización Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Huaca.* [Archivo PDF]. <https://huaca.gob.ec/gadhuaca/images/pdf/LOTAIP2021/PDyOT.pdf>
- Gobierno Parroquial de Mariscal Sucre. (2015). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Mariscal Sucre.* [Archivo PDF]. http://mariscalsucre.gob.ec/carchi/wp-content/uploads/2017/02/ACTUALIZACION_DEL_PDyOT_MARISCAL_SUCRE_2015.pdf
- Gobierno Provincial del Carchi. (15 de enero del 2010). Ordenanza que Establece las Políticas Ambientales del Gobierno Provincial del Carchi. [Archivo PDF]. <https://carchi.gob.ec/Ordenanzas/ORDENANZASYREGLAMENTOSGPC2010MARCO.pdf>
- González-Pérez, J. A., González-Vila, F. J., Almendros, G., & Knicker, H. (2004). The effect of fire on soil organic matter a review. *Environment International*, 30(6), 855–870. doi:10.1016/j.envint.2004.02.003

- Gualán, A. y Orbe, K. (2019). Plan de Reforestación de Zonas Afectadas por Incendios Forestales Nivel 2 en la Comunidad de Pesillo – Cantón Cayambe. (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana UPS. Sede Quito. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17695>
- Gutiérrez-Salazar, P., & Ramsay, P. M. (2020). Physiognomic Responses of Páramo Tussock Grass to Time Since Fire in Northern Ecuador. *Revista Peruana de Biología*, 27(2), 205–214. <https://doi.org/10.15381/rpb.v27i2.17876>
- Guzmán Rodríguez, A., Mejía Gómez, G., Velásquez Zambrano, V., y Rosón Mesa, R. (2019). Enseñanza de Dimensionamiento lumínico natural en latitud cero: El caso de la ciudad de Quito = Natural illumination teaching on latitude zero: The case of study of city of Quito. *Advances in Building Education*, 3(2), 58-74. doi:<https://dx.doi.org/10.20868/abe.2019.2.3990>
- Hernández, H. (2019). “*Lo que Usted Debe Saber Sobre Incendios de Cobertura Vegetal*”. Sistema Nacional De Gestión Del Riesgo De Desastres. Colombia. ISBN digital: 978-958-5509-18-4.
- Hernández, H. y Mendoza, E. (2021). *Evaluación Diagnóstica de la Pérdida de Cobertura Vegetal por Incendios Forestales y Propuesta de Plan de Acción Para Su Prevención en el Municipio de Puerto Carreño – Vichada. (Tesis de Pregrado)*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D.C
- Herrera, C., Campos, J. y Carrillo, F. (2017) Estimación de Datos Faltantes de Precipitación por el Método de Regresión Lineal: Caso de Estudio Cuenca Guadalupe, Baja California, México. *Investigación y Ciencia*, vol. 25, núm. 71, pp. 34-44. <https://www.redalyc.org/journal/674/67452917005/html/>
- Herrera, M., Martínez, E. y Aguilar, J. (2001). *Guía de Formación para Campos de Voluntariado Ambiental. Madrid*. https://www.miteco.gob.es/eu/ceneam/recursos/materiales/conservacion-medio-ambiente/Guia_Formacion.aspx

- Hirsch, K., Kafka, V., Tymstra, C., McAlpine, R., Hawkes, B., Stegehuis, H., y Peck, K. (2001). Gestión forestal inteligente con respecto al fuego: un enfoque pragmático para la gestión forestal sostenible en ecosistemas dominados por incendios. *La Crónica Forestal*, 77 (2), 357-363.
- Huerta-Martínez, F e Ibarra-Montoya, J. (2014). Incendios en el Bosque la Primavera (Jalisco, México): un Acercamiento a sus Posibles Causas y Consecuencias. *Ciencia UAT*, 9 (1),23-32. ISSN: 2007-7521. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44194293200>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía de México (INEGI). (2011). *Diseño de la Muestra en Proyectos de Encuesta / Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. – México. https://www.snieg.mx/documentacionportal/normatividad/vigente/doctos_genbasica/muestra_encuesta.pdf
- Jácome, G. (2015). Propuesta de gestión de los conflictos socio-ambientales generados por el agua de consumo humano dentro de la microcuenca de la Laguna de Yahuarcocha. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Jaiswal, R., Mukherjee, S., Raju, D., & Saxena, R. (2002). Forest Fire Risk Zone Mapping from Satellite Imagery and GIS. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 4(1), 1-10. 10.1016/S0303-2434(02)00006-5.
- Jiménez, G. A. M., Urrego, G. L. E., y Toro, R. L. J. (2016). Evaluación del Comportamiento de Incendios de la Vegetación en el Norte de Antioquia (Colombia): *Análisis del paisaje*. *Colombia Forestal*, 19(2), 161–180. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2016.2.a03>
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, 33(1), 159–174. <https://doi.org/10.2307/2529310>
- Liuva Rodríguez Ceballo y Yamila Santana Palma (2016): “Valoración Económica de los Riesgos Causados por los Incendios Forestales en la Provincia Las

Tunas”, *Revista Caribeña de Ciencias Sociales* (julio 2016). ISSN: 2254-7630. <https://www.eumed.net/rev/caribe/2016/07/incendios.html>

Llambí, L., Soto, A., Borja, P., Ochoa, B., Celleri, R., y Bievre, B. (2012). Páramos Andinos: Ecología, Hidrología y Suelos de Páramos. In *Los suelos del Páramo*. ISBN: 9789942115492 <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/56477.pdf>

López, E., López, Eduardo., Rodríguez, A., Guzmán, G. y López, C., (2011). Educación Ambiental para la Sustentabilidad, un Paradigma que se Reinventa Después de Treinta Años. *Horizonte Sanitario*, 10(1),32-48. ISSN: 1665-3262. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=457845137002>

Lozada, J. (2021). Comportamiento Histórico de los Incendios Forestales en el Cantón Esmeraldas, Ecuador (2009-2018). (Tesis de pregrado). Universidad Estatal del Sur /3023

Magaña, J., Guerra, L., Morales, A., y Cruz, R. (2002). Experiencias y propuesta de un sistema de alerta local para incendios forestales. Proyecto Prevención y Control Local de Incendios Forestales (PRECLIF II). <http://cidbimena.desastres.hn/pdf/spa/doc14518/doc14518-contenido.pdf>

Mandrekar, JN (2010). Curva característica operativa del receptor en la evaluación de pruebas de diagnóstico. *Revista de Oncología Torácica*, 5(9), 1315–1316. doi:10.1097/jto.0b013e3181ec173d

Martínez Rodríguez, E. (2007). Aplicación del Proceso Jerárquico de Análisis en la Selección de la Localización de una PYME. *Anuario Jurídico y Económico Escurialense*, 40, 523–542. ISSN.1133-3677

Martínez-Fernández, J y Martín, M. (2004). El factor humano en los incendios forestales: Análisis de factor socio-económicos relacionados con la incidencia de incendios forestales en España. In E. Chuvieco y M. Martín (Eda.) *Nuevas tecnologías para la estimación del riesgo de incendios forestales* (pp. 101-141). Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

- Medina, A. (2021). Incendios Forestales y Cambio Climático. Inecol.mx. Recuperado el 18 de mayo de 2022, de <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/2013-06-05-10-34-10/17-ciencia-hoy/1424-incendios-forestales-y-cambio-climatico>
- Mena, B y Solano, F. (2018). Dinámica de la estructura del paisaje en el ecosistema de páramo y su relación con factores climáticos e incendios: Cerro de la Muerte (Buena Vista) 1992 y 2012. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional. Costa Rica, Heredia. <http://hdl.handle.net/11056/14868>
- Mena, P. (2009). El Estado de Salud de los Páramos en el Ecuador: Alternativas Interesantes y Pronósticos Complicados. Pp. 23-39 en: Gente y Ambiente de Páramo: Realidades y Perspectivas en el Ecuador, *Ecociencia*, Abya Yala.
- Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (2016). Sistema Nacional de Control de Manabí. Manabí. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000Forestal>. Quito. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/07/1.CONTROL-FORESTAL.pdf>
- Ministerio del Ambiente de Panamá [MiAmbientePma]. (2015). *Metodología de Investigación de Causas que Provocan los Incendios Forestales*. [Archivo PDF]. http://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2902/Technical/INVESTIGACION%20DE%20CAUSAS%20DE%20OCURRENCIA%20DE%20INCENDIOS%20FORESTALES.pdf
- Ministerio del Ambiente de Perú [MINAM]. (2009). *Guía de Evaluación De Riesgos Ambientales*. [Archivo PDF]. https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/guia_riesgos_ambientales.pdf
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2013). *Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental*. Subsecretaría de Patrimonio Natural. Quito.

- Molina, J. y Llinares, J. (2000). *Comportamiento del Fuego, Intensidad y Efectos Sobre el Suelo en Quemadas Controladas de Matorral Valenciano en verano y en otoño*. Centro de Investigaciones sobre Desertificación -CIDE (CSIC-Universidad Valencia-Generalitat Valenciana). Camí de la Marjal s/n 46470 Albal, Valencia. Cuadernos de la S.E.C.F, N.O 9, junio 2000, pp. 155-161
- Mora, F., Orellana, A., Ortiz, C. (2015). Zonas de amortiguamiento como herramienta de conservación de las áreas protegidas. Caso: parque recreacional y bosque protector Jerusalem. Ecuador, *Revista DELOS: Desarrollo Local Sostenible*, n. 23 (junio 2015). En línea: <http://www.eumed.net/rev/delos/23/areas-protegidas.html>
- Morales-Betancourt, Juan Alejandro, y Estévez-Varón, Jaime Vicente (2006). El Páramo: Ecosistema en Vía de Extinción. *Revista Luna Azul*, (22),39-51. E-ISSN: 1909-2474. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=321727224004>
- Moreano, R. (2008). *Sistema de Información para la Interpolación Espacial y Temporal de datos sobre el Tiempo Atmosférico y el Clima en Ecuador*. (Tesis de pregrado) Escuela Politécnica Nacional. Quito. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/719/1/CD-1664%282008-09-15-10-33-24%29.pdf>
- Moreno F., y Patricia L. (2009). Respuesta de las Plantas al Estrés por Déficit Hídrico. *Una Revisión. Agronomía Colombiana*, 27 (2), 179-191. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-99652009000200006&lng=en&tlng=es.
- Morgan, J. (2010). Evaluación del Riesgo Ante Incendios Forestales en la Cuenca del Río Tempisque, Costa Rica: *Revista Geográfica de América Central*. N° 45 II Semestre 2010 pp. 33-64E. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=451744669002>
- Morgan, P., C.C. Hardy, T.W. Swetnam, M. G. Rollins & D. G. Long. (2001). Mapping fire regimes across time and space: understanding coarse and fine-scale fire patterns. *Wildland Fire*. doi: 10: 329-342.

- Morillo, I. (2019). *Fauna Vertebrada Representativa de Guandera*. Quito-Ecuador. ISBN: 9942-35-957
- Moscovich, F. A., Ivandic, F. y Besold, L. C. (2014). *Manual de Combate de Incendios Forestales y Manejo de Fuego*. (Nivel Inicial). <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/5780>
- Muñoz, C., & Santana, R. (2018). Fire Hotspots in Sierra Madre Oriental, San Luis Potosí: Spatial Patterns and Related Factors. *Madera Bosques*, 24(1). <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2411565>
- Myers, R. L. (2006). Convivir con el fuego. *Manteniendo los ecosistemas y los medios de subsistencia mediante el Manejo Integral del Fuego*. Tallahassee, FL: TNC, 30.
- Nájera, A. (2013). Fuego en la Naturaleza. J, Guevara (ed.). *Colección Bordeando el Monte* Num. 2. http://www.sema.gob.mx/descargas/manuales/2_El%20fuego.pdf
- Navarrete, R., Oberhuber, T y Reina, J. (2007). Incendios Forestales Manual Práctico: *Ecologistas en Acción- Marqués de Leganés*. ISBN: 978-84-935622-2-9. https://www.ecologistasenaccion.org/wp-content/uploads/adjuntos-spip/pdf_Manual_practico_Incendios_2007.pdf
- Norambuena, R. (2011). Diagnóstico de los Sistemas de Alerta Temprana ante Tsunami en el Pacífico Sudeste. Proyecto DIPECHO VI “Aprendizajes y Adaptación Frente a Tsunami en Colombia, Ecuador, Perú y Chile”. Santiago de Chile. Recuperado de <http://www.crid.or.cr/digitalizacion/pdf/spa/doc18317/doc18317-contenido.pdf>.
- Oakman, E. C., Hagan, D. L., Waldrop, T. A., & Barrett, K. (2021). Understory Community Shifts in Response to Repeated Fire and Fire Surrogate Treatments in the Southern Appalachian Mountains, USA. *Fire Ecology*, 17(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/s42408-021-00097-1>

- Ocampo-Zuleta, K., & Beltrán-Vargas, J. (2018). Dynamic Modeling of Forest Fires in the Eastern Hills of Bogota, Colombia. *Madera Bosques*, 24(3), 1–20. <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2431662>
- Organización de las Naciones Unidas (1992). Convenio sobre la Diversidad Biológica. [Archivo PDF]. <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>
- Organización Meteorológica Mundial [OMM]. (2017). *Directrices de la Organización Meteorológica Mundial sobre el Cálculo de las Normales Climáticas*. OMM-N°1203. ISBN 978-92-63-311203-7. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4167
- Ortiz, C., y Rivas, E. (2014). *Diseño de una red de Aspersión con Alimentación Directa a Partir de Unidades Hidrogeológicas Favorables (Acuíferos y/o Acuitardos) de la Zona Intervenida (o sus cercanías) y de Activación Automática ante Anomalías Físicas Detectadas Mediante Sensores, para la Prevención y Mitigación de Incendios Forestales o Similares, en Zonas de Difícil Acceso - Propuesta Metodológica - Caso Progreso, Provincia del Guayas*. Trabajo final para la obtención del título: Ingeniero en Geología. ESPOL. FICT, Guayaquil. 265 p
- Páramo, G. E., (2011). Susceptibilidad de las Coberturas Vegetales de Colombia al Fuego. *In Incendios de la Cobertura Vegetal en Colombia. Tomo I*. Ed. por Álvaro del Campo Parra Lara. Universidad Autónoma de Occidente. Cali, Colombia. <https://gfmc.online/wp-content/uploads/Incendios-de-la-Cobertura-Vegetal-en-Colombia-Tomo-I-2011.pdf>
- Pardo, A y Ruiz, M. (2005). *Análisis de datos con SPSS 13 Base*. In M. M.-H. / Interamericana (Ed.), MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S. A. U. (Vol. 1).
- Parra-Lara, C., y Bernal-Toro, F. (2010). Incendios de Cobertura Vegetal y Biodiversidad: una Mirada a los Impactos y Efectos Ecológicos Potenciales Sobre la Diversidad Vegetal. *El Hombre y La Máquina*, 35, 67–81. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47817140008>

- Pazmiño, D. (2019). Peligro de Incendios Forestales Asociado a Factores Climáticos en Ecuador. FIGEMPA: Investigación y Desarrollo, 1(1), 10-18.
- Peña, M. (2019). Evaluación del Impacto de los Incendios forestales por Medio de Imágenes Satelitales Sentinel 2, Durante el Periodo de Incendios Estivales 2016 – 2017, en la Comuna de Pumanque, Región del Libertador Bernardo O'higgins, Chile. (Tesis de pregrado). Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/178221>
- Peralta, J. (2018). Plan de Contingencia Contra Incendios Forestales en el Sector de “El Batán”. (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador PUCE. Sede Quito. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/15888>
- Pinto, P. M., y Ondurria, D. V. (2004). La Educación como Herramienta en la Prevención de Incendios Forestales. Tabanque: Revista Pedagógica, (18), 189-206.
- Pourrut P., Gómez G., Bermeo A., y Segovia A. (1995). *Factores Condicionantes de los Regimenes Climaticos e Hidrologicos*. In: Pourrut Pierre (ed.). El agua en el Ecuador: clima, precipitaciones, escorrentia. Quito (ECU); Quito (ECU); Quito: Corporacion Editora Nacional; Colegio de Geografos del Ecuador; ORSTOM, p. 7-12. (Estudios de Geografia; 7). ISBN 9978-84-035-4.
- Quiroga, L. (2015). *Implementación de un Índice de Posibilidad de Incendio para las Sierras de Córdoba*. (tesis de posgrado). Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- Rakesh, R S. (2015) Chi-square test and its application in hypothesis testing. *Journal of the Practice of Cardiovascular Sciences*. 1:69-71. IP: 190.107.233.211
- Ramírez, M. (2004). *El Método de Jerarquías Analíticas de Saaty en la Ponderación de Variables. Aplicación al Nivel de Mortalidad y Morbilidad en la Provincia del chaco*. Universidad Nacional del Nordeste. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. 4 p.

- Ramos, M. P. (2010). *Manejo del Fuego*. Plaza de la Revolución, Cuba: Empresa Editorial Poligráfica Félix Varela. 240. ISBN 978-959-07-1333-4
- Redrován, K. 2018. *Aplicación de Sistemas de Información Geográfico para el Análisis Espacial de la Variable Radiación Solar en la Ciudad de Cuenca*. (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. Ecuador.
- Reglamento al Código Orgánico del Ambiente, RCOA. (2019). Título VII, Gestión integral de residuos y desechos. Registro Oficial Suplemento 507 del 12 de junio del 2019.
- Renjifo, V. (2016). *Los Incendios Forestales Vulneran los Derechos de la Naturaleza en el Distrito Metropolitano de Quito, en la Parroquia de Puenbo en el Año 2015*. (Tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/7391>
- Ritter, A., & Muñoz-Carpena, R. (2013). Performance Evaluation of Hydrological Models: *Statistical Ssignificance for Reducing Subjectivity in Goodness-of-fit Assessments*. *Journal of Hydrology*, 480, 33–45. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.12.004>
- Rodríguez, M. P. R., Rodríguez, Y. C., Sierra, C. A. M., Batista, A. C., & Tetto, A. F. (2017). Relación entre variables meteorológicas e incendios forestales en la Provincia Pinar del Río, Cuba. *Floresta*, 47(3). doi:10.5380/rf.v47i3.50900
- Ruiz L, V., Blanco J, L., Ruiz L, V., y Blanco J, L. (2004). Comportamiento del fuego y evaluación del riesgo por incendios en las áreas forestales de México: un estudio en el Volcán la Malinche. *Incendios forestales en México. Métodos De Evaluación*. México: Universidad Nacional Autónoma de México- CONACYT- ISBN 970-36
- Ruiz-Mirazo, J., Robles Cruz, A. B., Jiménez, R., Martínez, J. L., López-Quintanilla, J., & González-Rebollar, J. L. (2007). La prevención de incendios forestales mediante pastoreo controlado: el estado del arte en Andalucía. <https://digital.csic.es/handle/10261/42910>

- Ruston, A. J. (2012). *Estadística Descriptiva, Probabilidad e Inferencia*. Santiago de Chile: Departamento de Economía Agraria, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, 2012. Santiago de Chile: Departamento de Economía Agraria, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, 2012.
- Saaty Thomas L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. New York; London: McGraw-Hill International Book. ISBN: 0070543712 9780070543713.
- Salgado, A. (2018). "Imputación De Datos Faltantes De Temperatura Máxima Media Mensual Mediante Métodos Geoestadísticos En Estaciones Climáticas Del Valle Del Cauca En El Periodo 2013-2014". *Imputación De Datos Faltantes De Temperatura Máxima Mediante Métodos Geoestadísticos en el Valle del Cauca*, 1, 64.
- Sarango, J., Muñoz, J., Muñoz, L., y Aguirre, Z. (2019). Impacto Ecológico de un Incendio Forestal en la Flora del Páramo Antrópico del Parque Universitario "Francisco Vivar Castro", Loja, Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 9(2), 101–114.
- Secretaría Nacional de Planificación. (2021). *Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025*. Quito, Ecuador. https://observatorioplanificacion.cepal.org/sites/default/files/plan/files/Plan-de-Creaci%C3%B3n-de-Oportunidades-2021-2025-Aprobado_compressed.pdf
- Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias [SNGRE]. (2019). Informe de Situación No.39 - *Incendios Forestales a nivel nacional 2019*. *Incendios Forestales a Nivel Nacional 2019*, 111, 1–6. <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/2019/09/Informe-de-Situaci%C3%B3n-No-32-Incendios-Forestales-24092019.pdf>
- Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias [SNGRE]. (2020). *Atlas de Espacios Geográficos Expuestos a Amenazas Naturales y Antrópicas*.

Ed. 2.
<https://nube.gestionderiesgos.gob.ec/index.php/s/posFfNmWXfHPna7#pdfviewer>

Sevilla, R. (2018). *Identificación y Análisis de Problemas Mediante la Aplicación de la Matriz Vester*. <https://docplayer.es/77607651-Identificacion-y-analisis-de-problemas-mediante-la-aplicacion-de-la-matriz-vester.html>

Singh, RP y Nachtnebel, HP (2016). Aplicación del proceso de jerarquía analítica (AHP) para reforzar la estrategia hidroeléctrica en Nepal. *Revisiones de energía renovable y sostenible*, 55, 43–58. doi: 10.1016/j.rser.2015.10.138

Soto, M. C., y Salinas, R. G. (2010). Estudio del comportamiento del fuego mediante simulación de incendios forestales en Chile. *Geographicalia*, (58), 81-103.

Suryabhadgavan, K.V., Alemu, M y Balakrishnan, M. (2016). GIS-Based Multicriteria Decision Analysis Approach for Forest Fire Susceptibility Mapping: A Case Study in Hareenna Forest, southwestern Ethiopia. *Tropical Ecology*. 57. 33-43. ISSN 0564-3295

Terán-Valdez, A., Pinto, E., y Cuesta, F. 2019. *Carchi y sus Bosques Montanos: Investigación y Conservación. Proyecto. Proyecto EcoAndes*, CONDESAN. Quito – Ecuador.

Thorntwaite, C. W., y Mather, J. R. (1955). The Water Balance. Drexel Institute of Technology. Laboratory of Climatology. Publication in *Climatology*, 8, 1–104.

Thorntwaite, C., (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, Vol. 38, No.1, pp. 55-94.
<https://doi.org/10.2307/210739>

Tinoco Gómez, Ó. (2008). Una Aplicación de la Prueba Chi Cuadrado con SPSS. *Datos Industriales*, 11 (1),73-77. ISSN: 1560-9146.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81611211011>

- Torres, F., Lima, G., Oliveira, E., Lourenço, L., Félix, F., Ribeiro, G e Fonseca, Ê. (2020). Manual de Prevenção e Combate de Incêndios Florestais. CDD22.ed.378.8962. ISBN 978-65-992285-0-6
- Toskano, G. (2005). *El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) como Herramienta para la Toma de Decisiones en la Selección de Proveedores: Aplicación en la Selección del Proveedor para la Empresa Gráfica Comercial MyE S.R.L.* Lima.
- Triola, M. (2009). Distribuciones de Probabilidad Discreta. En M. Triola, *Estadística* (pp. 197-243). México, México: PEARSON Educación
- Trucios Caciano, R., Martínez Rodríguez, J. G., Navarrete Blando, J. L., y Sánchez Cohen, I. (2007). Calibración y Validación del Modelo Hidrológico Swat en la Cuenca del Río Sextin en Durango, Mexico Swat: Calibration and Validation on Sextin River Water- Shed in Durango, Mexico. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 4, 91–101. <https://www.redalyc.org/pdf/4555/455545068010.pdf>
- Urzúa, N. y Cáceres, F. (2011). Incendios forestales: principales consecuencias económicas y ambientales en Chile. *RIAT: Revista Interamericana de Medioambiente y Turismo*, 7(1), 18-24.
- Vargas, O. y Rivera, D. (1991). El páramo un ecosistema frágil. *Revista de la Universidad de Tolima. Colombia*. Vol. 6., No 12. pp. 1.176. ISSN: 0120-7660
- Velasco, J. J. B., Ramírez, I. L. C., Arce, B. G., Hernández, J. C. M., y Romero, B. C. (2020). El Uso de los Sistemas de Información Geográficas para el Análisis e Interpretación de Anomalías Térmicas de la Región Costa-Sierra [en] *The use of Geographical Information Systems for the analysis and interpretation of thermal anomalies of the Costa-Si.* 40(2), 283–298.
- Vélez M, R. (1995). El peligro de incendios forestales derivado de la sequía. *Cuadernos De La Sociedad Española De Ciencias Forestales*, (2). <https://doi.org/10.31167/csef.v0i2.9074>

- Verdezoto, F. (2017). Diagnóstico de la Resiliencia al Cambio y Variabilidad Climática en la Ciudad de Guaranda.(Tesis de posgrado). Escuela Superior Politécnica del Litoral.
<http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/49682>
- Verdú, Felipe y Salas, Javier. (2011). Caracterización de variables biofísicas en los incendios forestales mayores de 25 ha de la España peninsular (1991-2005). *Boletín de la Asociación de Demografía Histórica*. 57. 79-100.
- Vidal de Prados, Adrián (2017). *Análisis de la Incidencia de las Variaciones Climáticas en el Régimen de Incendios Forestales de la Comuna de Valparaíso (Chile) entre 1986 y 2014*. Trabajo Fin de Grado, E.T.S.I. Montes, Forestal y del Medio Natural (UPM), Madrid, España.
- Villers, R. y B. López. (2004). *Comportamiento del Fuego y Evaluación del Riesgo por Incendios Forestales de México: un Estudio en el Volcán la Malinche*. *Atmósfera* 4:57-74
- Yungan Mendoza, Anna Pamela. (2021). *Estudio de Variabilidad Climática e Incendios Forestales en el Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo Durante el Período 2015-2019*. (Tesis de pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba.
- Yupari, K y Rau, J. (2021). Análisis y propuesta de mejora en el sistema logístico de una empresa comercializadora de equipos de tratamiento de agua. *Prospective and trends in technology and skills for sustainable social development. Leveraging emerging technologies to construct the future: Proceedings of the 19th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology*. ISSN: 2414-6390.
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.80>

ANEXOS

Anexos 1. Entrevista y fotografías

La presente entrevista tiene por objetivo conocer su criterio sobre la probabilidad de inicio y propagación de un incendio, que afecte la cobertura vegetal dentro de la Estación Biológica Guandera.

Por favor responda las siguientes preguntas dando valoración del 1 al 5, en donde, (1- baja, 2- moderada, 3- elevada, 4 – muy alta, 5 – extrema)

1. ¿Cuál piensa Ud. que es la principal causa de los incendios suscitados en la Estación Biológica Guandera?

2. ¿Qué tipo de vegetación es más propensa a propagar incendios dentro de la Estación Biológica Guandera?

	2	3	4	5
Bosque				
Veg. Arbustiva				
Páramo				
Pastizales				
Cultivos				

3. ¿Cuáles de los siguientes factores piensa Ud. que tienen mayor influencia en la ignición de incendios forestales dentro de la Estación Biológica Guandera? Ordene de mayor a menor.

FACTORES	INFLUENCIA
Altitud	
Orientación del terreno	
pendiente	
Cobertura vegetal	
Proximidad a las vías	
Precipitación	
Temperatura	
Evapotranspiración	
Déficit hídrico	

4. ¿Con que frecuencia se han suscitado incendios dentro y cerca de la Estación Biológica Guandera y que extensión territorial se vio afectada?

5. ¿Qué medidas recomienda Ud. para la prevención de incendios dentro de la Estación Biológica Guandera?

Anexo 2. Fotografías



Fotografía 1.- Georreferenciación de zonas de pastizales



Fotografía 2.- Georreferenciación de zonas arbustivas



Fotografía 3.- Georreferenciación de zonas de bosque



Fotografía 4.- Georreferenciación de zonas de páramo

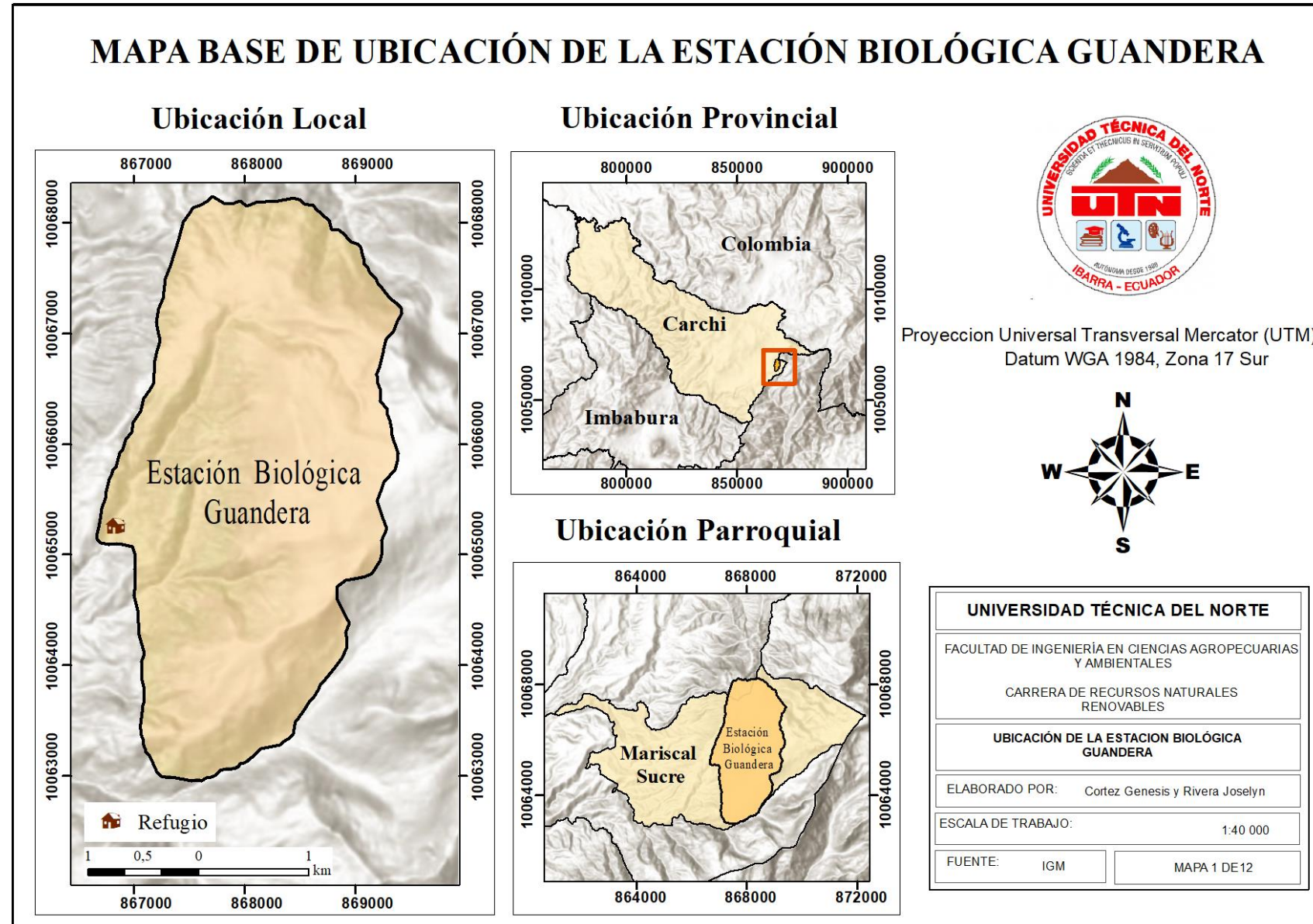


Fotografía 5.- Entrevista al presidente de la parroquia.



Fotografía 6.- Entrevista a bomberos del Cantón Huaca

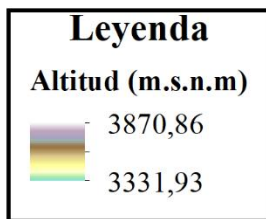
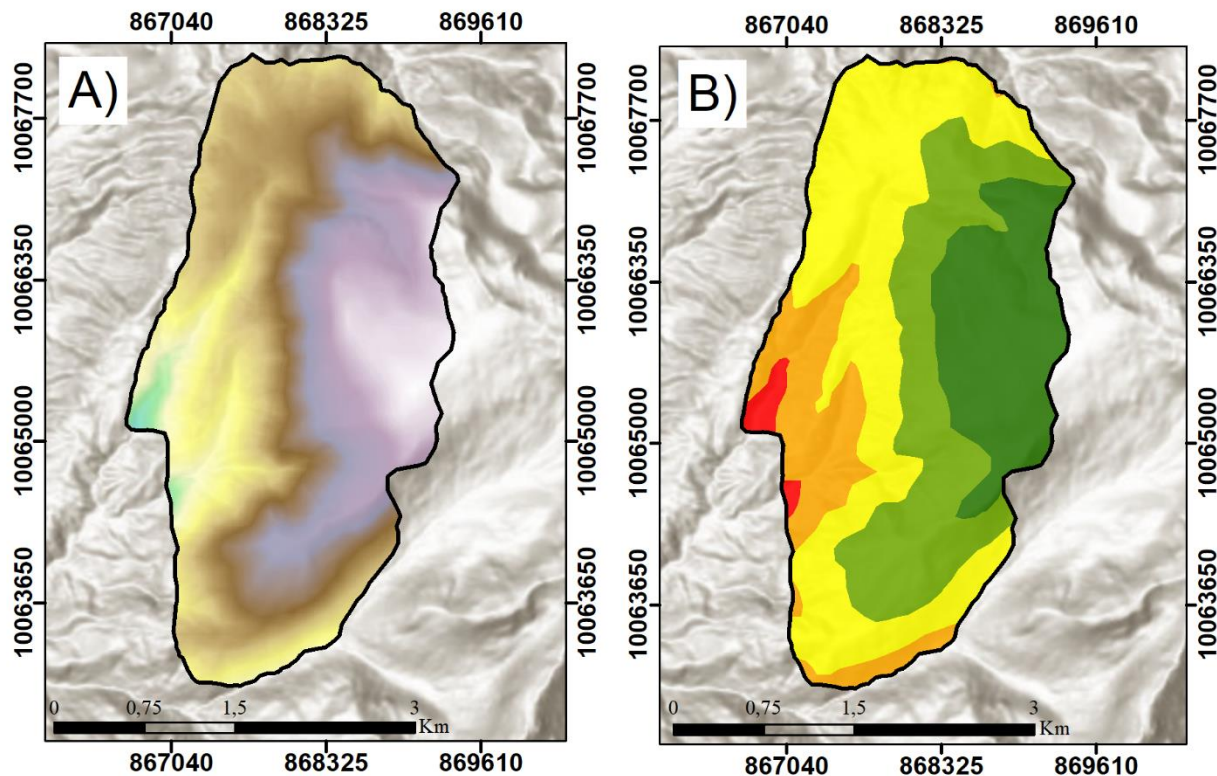
ANEXO 3. Cartografía



Anexo 3. 1. Ubicación de la Estación Biológica Guandera

SUSCEPTIBILIDAD A INCENDIOS SEGÚN LA ALTITUD.

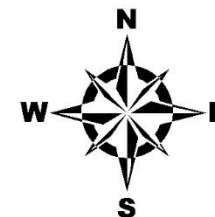
A) RANGO DE ALTITUD. B) NIVELES DE SUSCEPTIBILIDAD SEGÚN LA ALTITUD.



Susceptibilidad	Valor	Rangos de altitud (m.s.n.m)	Área (%)
Baja	1	<3882,70	21%
Moderada	2	3882,80 - 3759,90	25%
Elevada	3	3760 - 3637,20	38%
Muy alta	4	3637,30 - 3514,40	14%
Extrema	5	>3514,50	2%



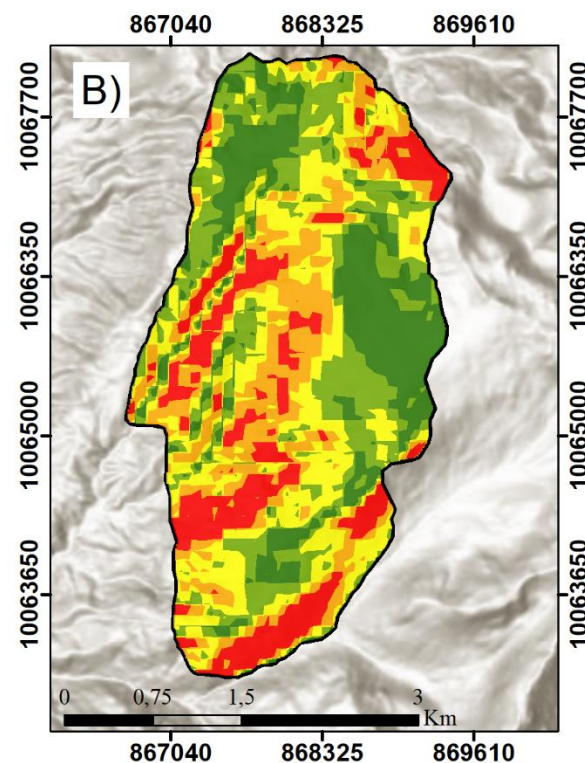
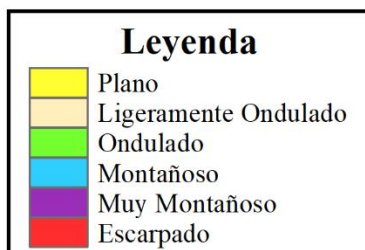
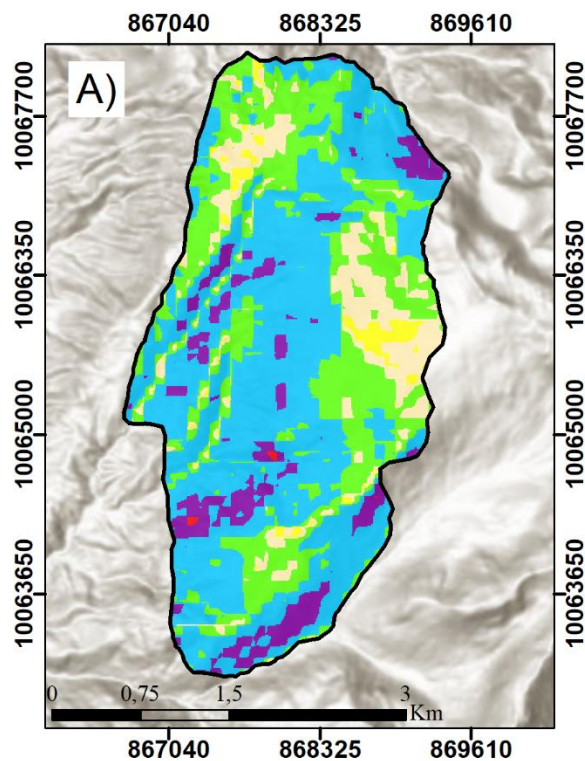
Proyeccion Universal Transversal Mercator (UTM)
Datum WGA 1984, Zona 17 Sur



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES	
CARRERA DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES	
SUSCEPTIBILIDAD A INCENDIOS SEGÚN LA ALTITUD.	
ELABORADO POR:	Cortez Genesis y Rivera Joselyn
ESCALA DE TRABAJO:	1:50 000
FUENTE:	Elaboración Propia
MAPA 2 DE 12	

SUSCEPTIBILIDAD A INCENDIOS SEGÚN LA PENDIENTE.

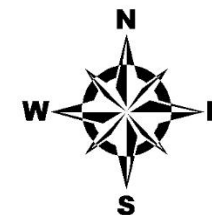
A) TIPOS DE PENDIENTE. B) NIVELES DE SUSCEPTIBILIDAD SEGÚN LA PENDIENTE



Susceptibilidad	Valor	Rangos de pendiente (%)	Área (%)
Baja	1	<15	19%
Moderada	2	15-25	22%
Elevada	3	25-35	24%
Muy alta	4	35-45	19%
Extrema	5	>45	16%



Proyeccion Universal Transversal Mercator (UTM)
Datum WGA 1984, Zona 17 Sur



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE RECURSOS NATURALES
RENOVABLES

SUSCEPTIBILIDAD A INCENDIOS SEGÚN LA PENDIENTE.

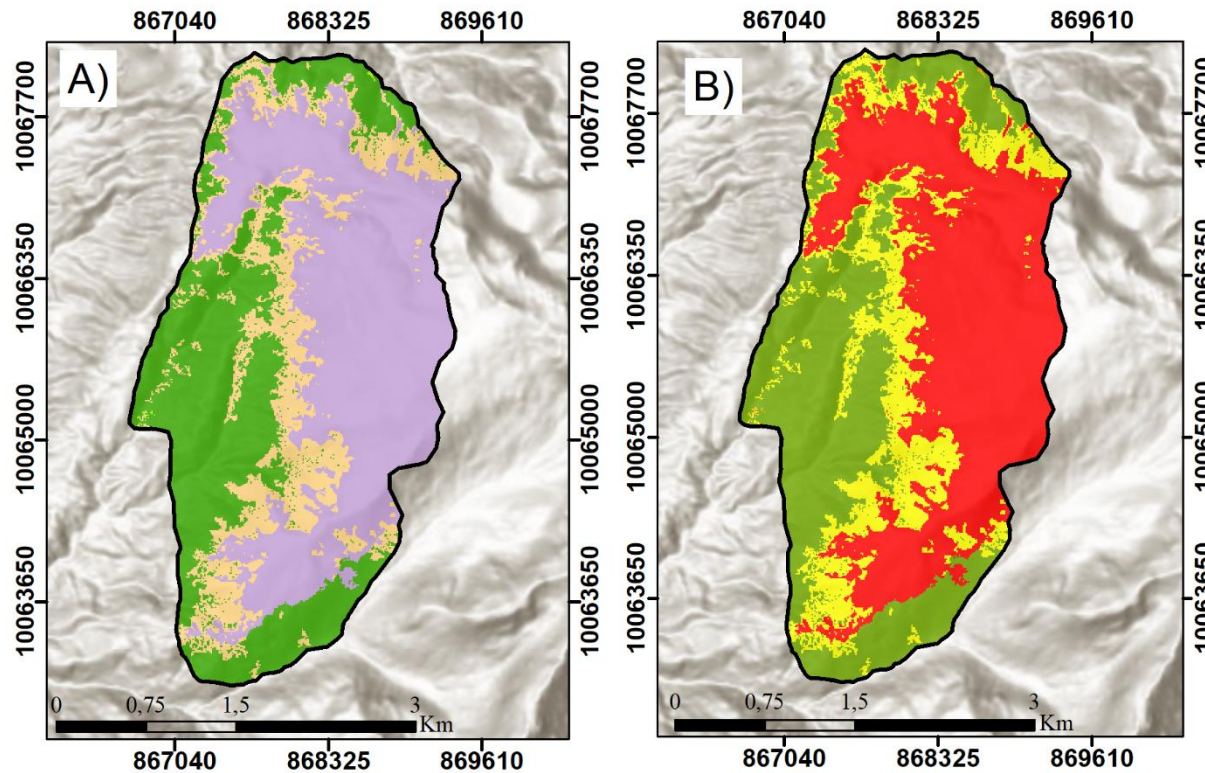
ELABORADO POR: Cortez Genesis y Rivera Joselyn

ESCALA DE TRABAJO: 1:50 000

FUENTE: Elaboración Propia

MAPA 3 DE 12

SUSCEPTIBILIDAD A INCENDIOS SEGÚN LA COBERTURA VEGETAL.
A) TIPOS DE COBERTURA VEGETAL. B) NIVELES DE SUSCEPTIBILIDAD SEGÚN LA COBERTURA VEGETAL.



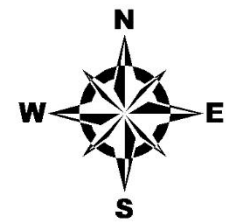
Leyenda

	Bosque
	Páramo
	Pastizales
	Vegetación Arbustiva

Susceptibilidad	Valor	Cobertura Vegetal	Área (%)
Baja	1	-	0%
Moderada	2	Bosque	34%
Elevada	3	Vegetación Arbustiva	20%
Muy alta	4	Pastizales	0,08%
Extrema	5	Páramo	47%



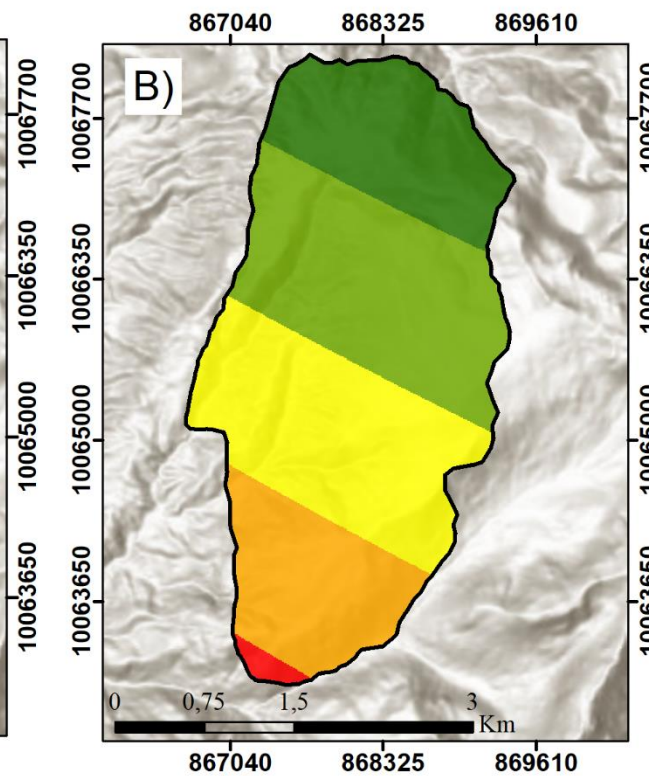
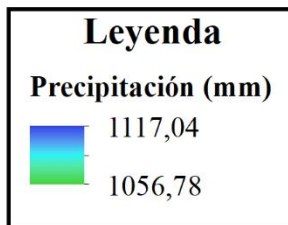
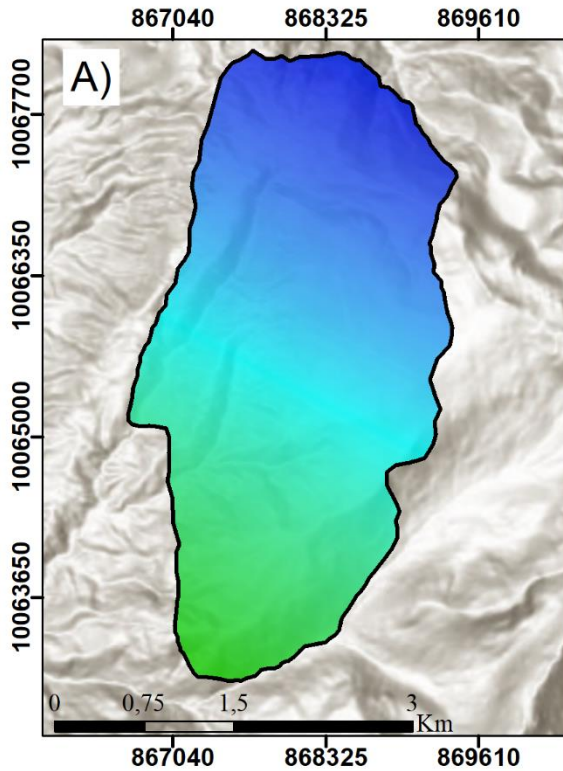
Proyeccion Universal Transversal Mercator (UTM)
Datum WGA 1984, Zona 17 Sur



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES	
CARRERA DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES	
SUSCEPTIBILIDAD A INCENDIOS SEGÚN LA COBERTURA VEGETAL.	
ELABORADO POR: Cortez Genesis y Rivera Joselyn	
ESCALA DE TRABAJO: 1:50 000	
FUENTE: Elaboración Propia	MAPA 4 DE 12

SUSCEPTIBILIDAD A INCENDIOS SEGÚN LA PRECIPITACIÓN.

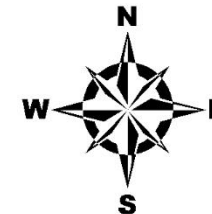
A) PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL. B) NIVELES DE SUSCEPTIBILIDAD SEGÚN LA PRECIPITACIÓN.



Susceptibilidad	Valor	Rangos de precipitación (mm)	Área (%)
Baja	1	>1104,43	20%
Moderada	2	1104,43 - 1089,56	30,30%
Elevada	3	1089,56 - 1074,70	30,26%
Muy alta	4	1074,70 - 1059,83	17,70%
Extrema	5	<1059,83	1,20%



Proyeccion Universal Transversal Mercator (UTM)
Datum WGA 1984, Zona 17 Sur



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE RECURSOS NATURALES
RENOVABLES

SUSCEPTIBILIDAD A INCENDIOS SEGÚN LA PRECIPITACIÓN.

ELABORADO POR: Cortez Genesis y Rivera Joselyn

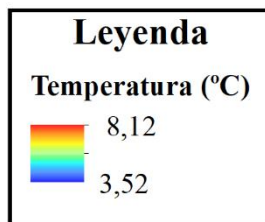
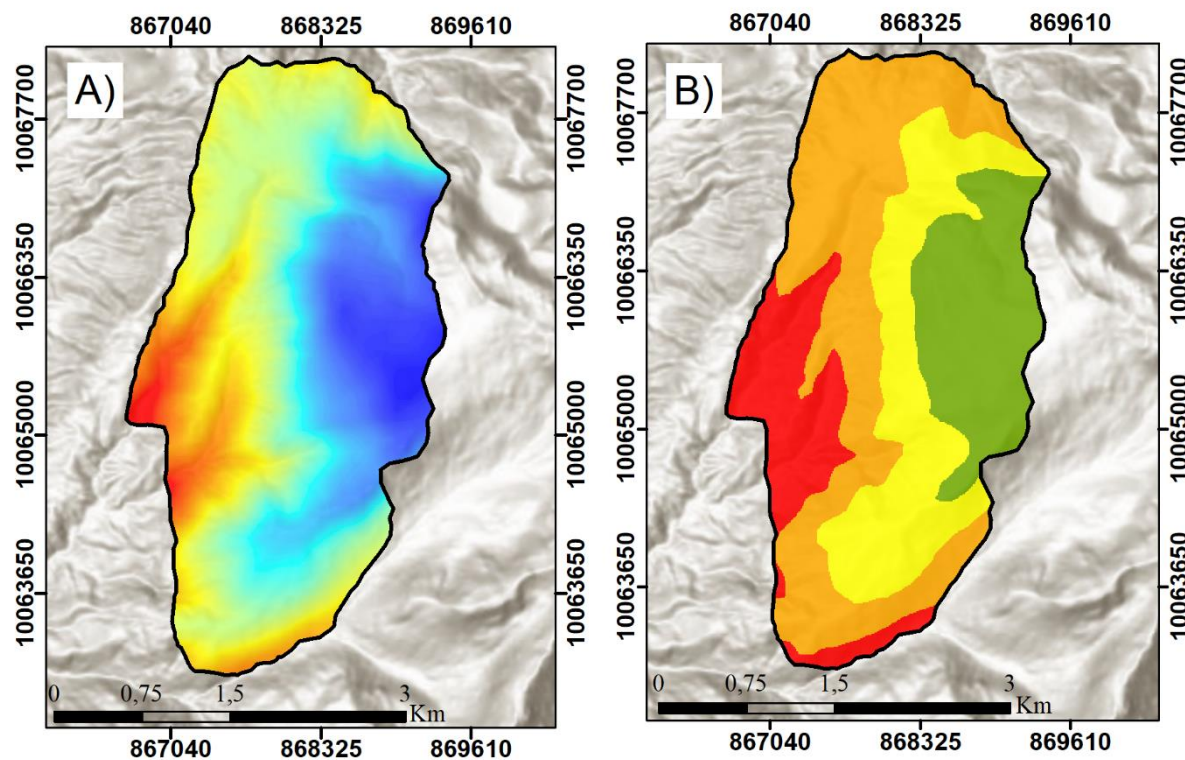
ESCALA DE TRABAJO: 1:50 000

FUENTE: Elaboración Propia

MAPA 5 DE 12

SUSCEPTIBILIDAD A INCENDIOS SEGÚN LA TEMPERATURA.

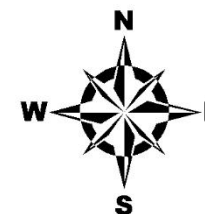
A) TEMPERATURA MEDIA ANUAL. B) NIVELES DE SUSCEPTIBILIDAD SEGÚN LA TEMPERATURA.



Susceptibilidad	Valor	Rangos de temperatura (°C)	Área (%)
Baja	1	<3,41	0%
Moderada	2	3,41 - 4,46	21%
Elevada	3	4,46 - 5,51	25%
Muy alta	4	5,51 - 6,56	38%
Extrema	5	>6,56	16%



Proyeccion Universal Transversal Mercator (UTM)
Datum WGA 1984, Zona 17 Sur

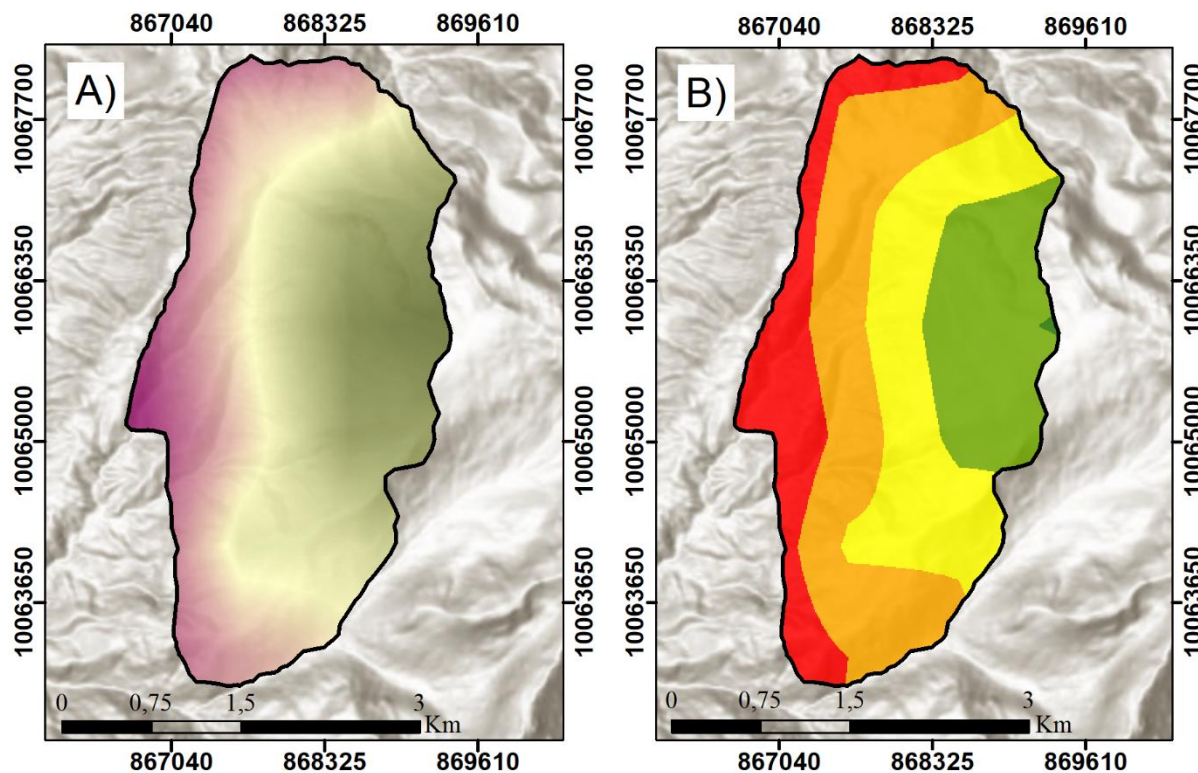


UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES	
CARRERA DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES	
SUSCEPTIBILIDAD A INCENDIOS SEGÚN LA TEMPERATURA.	
ELABORADO POR:	Cortez Genesis y Rivera Joselyn
ESCALA DE TRABAJO:	1:50 000
FUENTE:	Elaboración Propia
MAPA 6 DE 12	

Anexo 3. 6. Susceptibilidad a incendios según la temperatura

SUSCEPTIBILIDAD A INCENDIOS SEGÚN LA EVAPOTRANSPIRACIÓN.

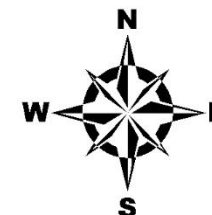
A) EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL. B) NIVELES DE SUSCEPTIBILIDAD SEGÚN LA EVAPOTRANSPIRACIÓN.



Susceptibilidad	Valor	Rangos de evapotranspiración (mm)	Área (%)
Baja	1	<538,05	0,10%
Moderada	2	538,05 - 545,85	21%
Elevada	3	545,85 - 553,64	27%
Muy alta	4	553,64 - 561,44	33%
Extrema	5	>561,44	18%

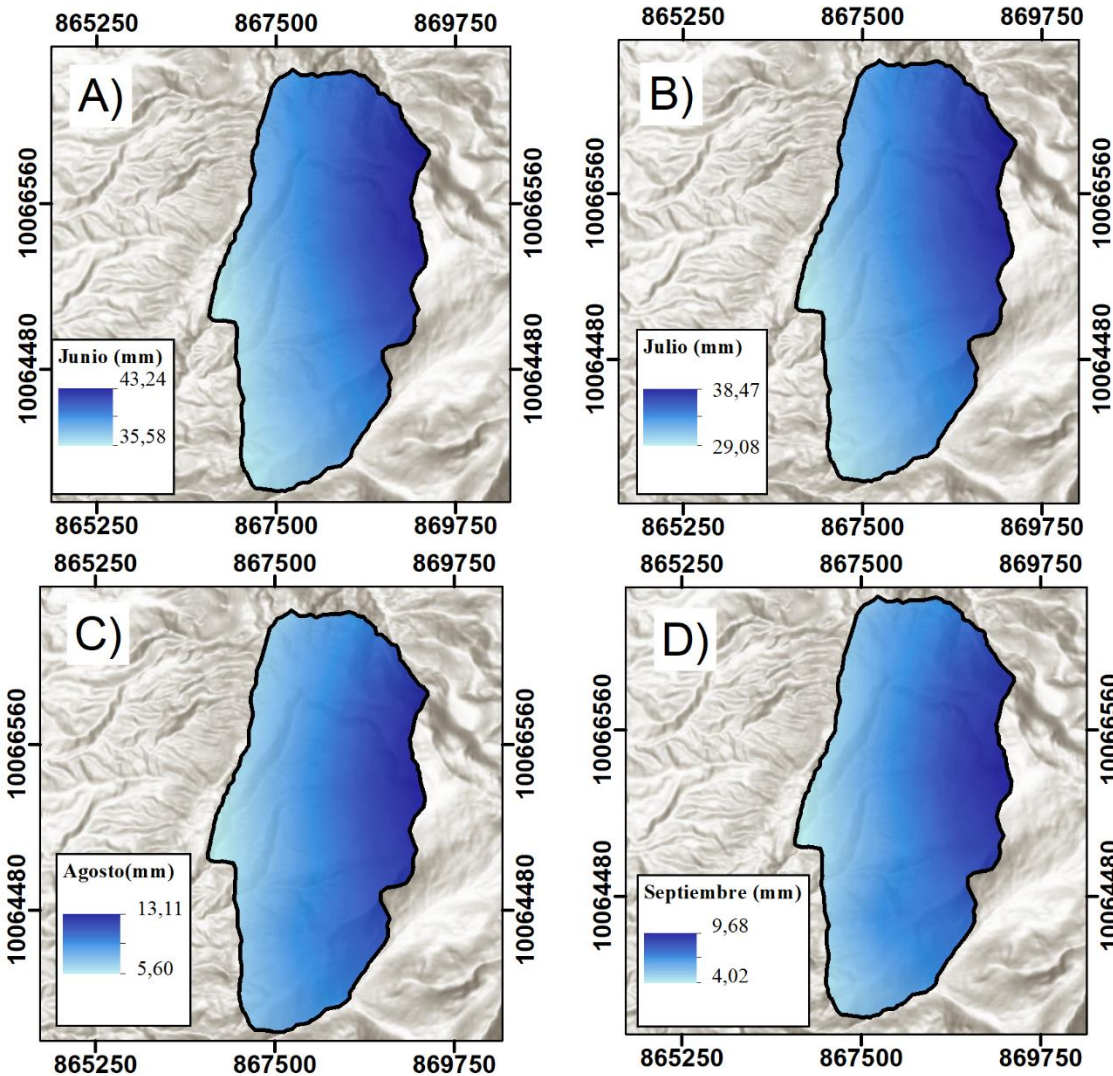


Proyeccion Universal Transversal Mercator (UTM)
Datum WGA 1984, Zona 17 Sur

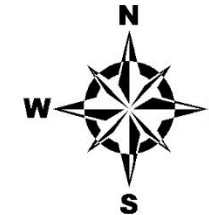


UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES	
CARRERA DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES	
SUSCEPTIBILIDAD A INCENDIOS SEGÚN LA EVAPOTRANSPIRACIÓN.	
ELABORADO POR:	Cortez Genesis y Rivera Joselyn
ESCALA DE TRABAJO:	1:50 000
FUENTE:	Elaboración Propia
	MAPA 7 DE 12

DIFERENCIA ENTRE PRECIPITACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN PARA LOS MESES DE A) JUNIO. B) JULIO. C) AGOSTO. D) SEPTIEMBRE

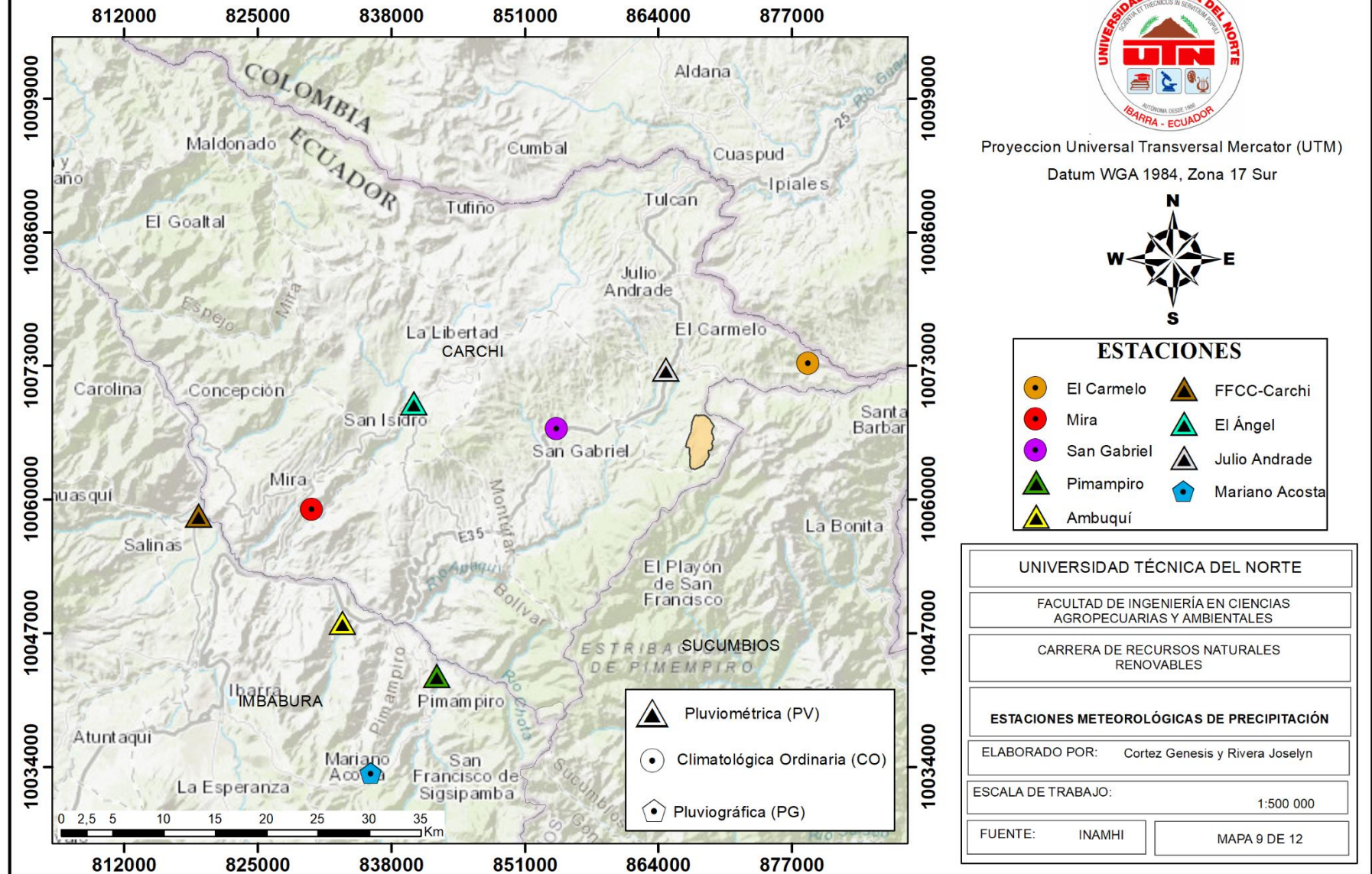


Proyección Universal Transversal Mercator (UTM)
Datum WGA 1984, Zona 17 Sur



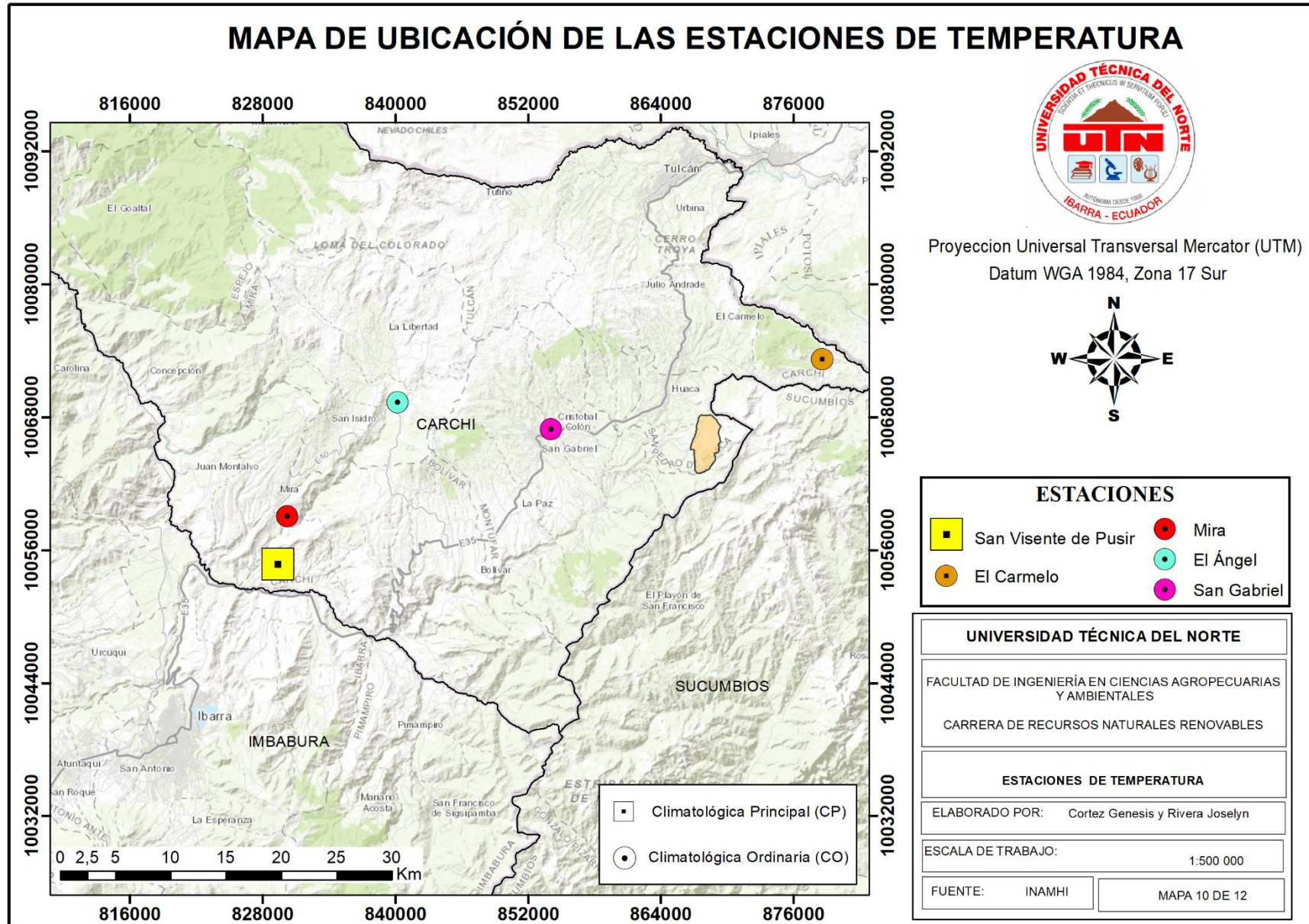
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES	
CARRERA DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES	
DIFERENCIA ENTRE PRECIPITACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN	
ELABORADO POR:	Cortez Genesis y Rivera Joselyn
ESCALA DE TRABAJO:	1:50 000
FUENTE:	Elaboración Propia
MAPA 8 DE 12	

MAPA DE UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE PRECIPITACIÓN



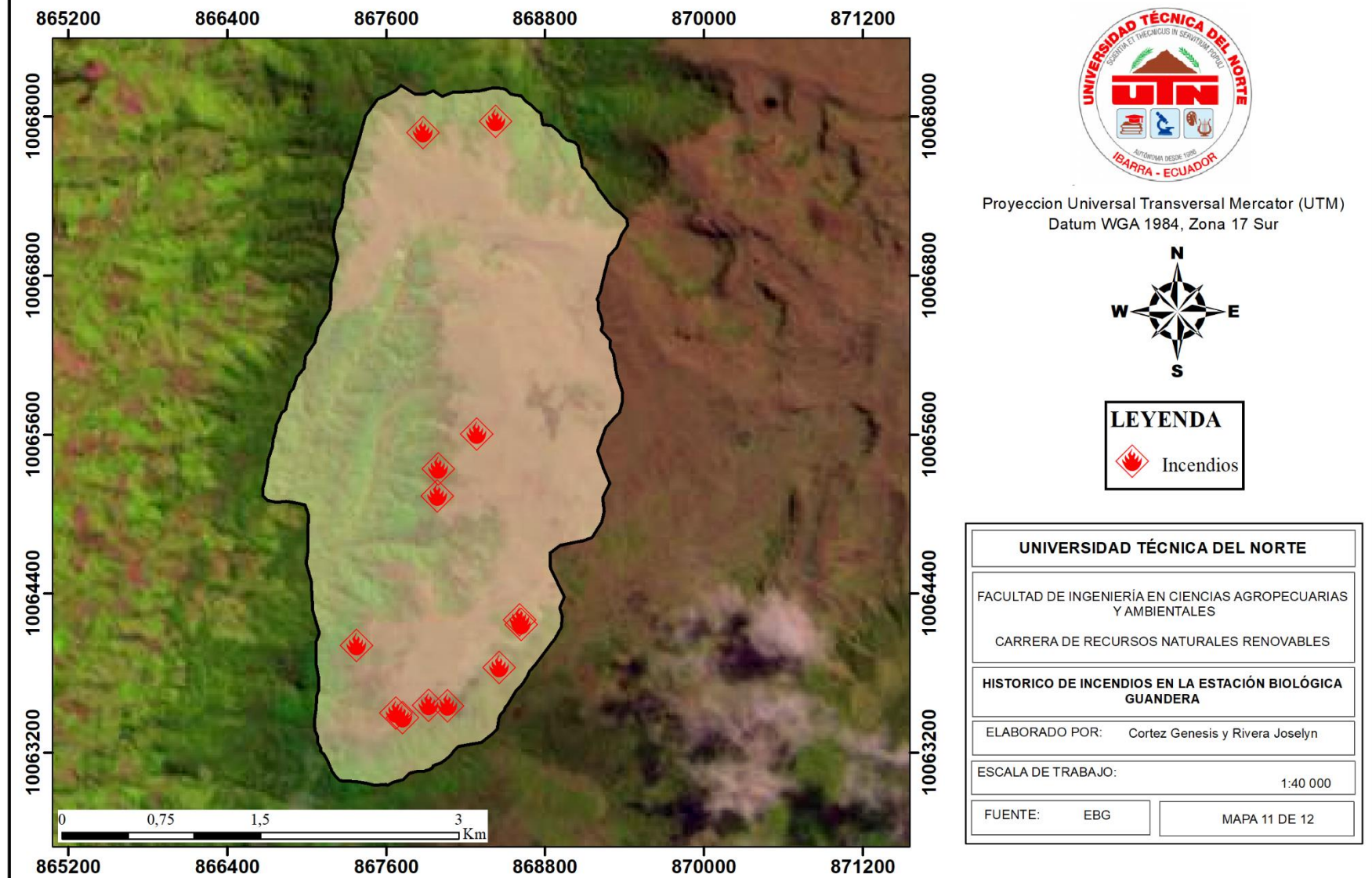
Anexo 3. 9. Ubicación de las estaciones de precipitación

MAPA DE UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE TEMPERATURA



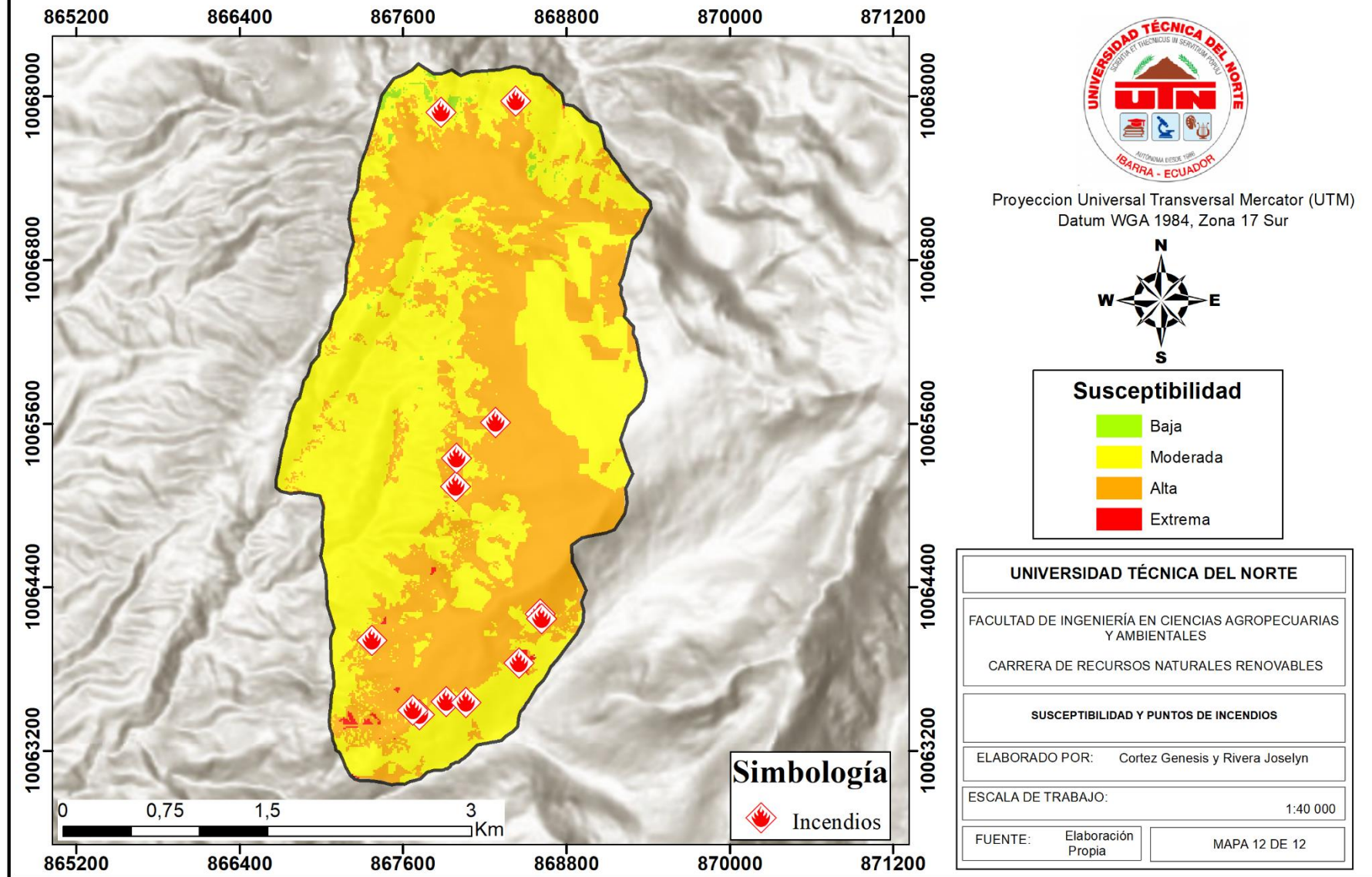
Anexo 3. 10. Ubicación de las estaciones de temperatura

MAPA DE INCENDIOS EN LA ESTACIÓN BIOLÓGICA GUANDERA



Anexo 3. 11. Incendios en la Estación Biológica Guandera

MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD Y PUNTOS DE INCENDIOS EN LA ESTACIÓN BIOLÓGICA GUANDERA



Anexo 3. 12. Mapa de susceptibilidad y puntos de incendios de la Estación Biológica Guandera