



**UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD Y EL SER HUMANO
CARRERA DE INGENIERÍA EN RIESGOS DE DESASTRES**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO EN RIESGOS DE DESASTRES**

TEMA:

“INCENDIOS FORESTALES Y SU IMPACTO EN LA COBERTURA VEGETAL EN
LA COMUNIDAD CRUZ DE VENTANAS, PARROQUIA SIMIÁTUG, CANTÓN
GUARANDA EN EL PERIODO 2021-2025”

AUTORES:

MAGARIZCA RIASCOS CRISTHOFER ALEXANDER
TUPIÑO GANAN DAYSI NAYELI

TUTOR:

ING. LUIS HERNÁN VILLACÍS TACO, Mgtr.

Guaranda – Ecuador

2025

TEMA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

INCENDIOS FORESTALES Y SU IMPACTO EN LA COBERTURA VEGETAL EN
LA COMUNIDAD CRUZ DE VENTANAS, PARROQUIA SIMIÁTUG, CANTÓN
GUARANDA EN EL PERIODO 2021-2025

Agradecimiento

Para Dios, por guiarme en momentos difíciles. Gracias por iluminar mi camino y darme la sabiduría para tomar las mejores decisiones. Tu amor y misericordia han sido mi refugio y mi paz en tiempos difíciles y por eso te doy mi eterna gratitud por todo lo que has hecho por mí.

A mí, por el esfuerzo y la dedicación para alcanzar mis metas. Por no rendirme ante los obstáculos y seguir adelante con determinación, sabiduría, calma y paz. Por creer en mí mismo y en mis capacidades, este, Mi logro máspreciado, es un reflejo de mi arduo trabajo y perseverancia

A mi madre, por su incondicional amor y apoyo constante. Gracias por ser mi ejemplo de vida y mi fuente de inspiración de sacrificio y lucha. Tu dedicación ha sido fundamental en mi crecimiento personal y académico. te amo madre mía gracias por ser parte de este logro.

A mis abuelitos, por su sabiduría, cariño y enseñanzas. Gracias por transmitirme sus valores. Su amor y apoyo han sido un regalo invaluable en mi vida. Los amo con todo mi corazón y les agradezco por ser parte de mi vida.

A mi novia, por estar a mi lado en cada momento. Gracias por su amor, comprensión y apoyo incondicional. Su presencia en mi vida ha sido un regalo de Dios. Juntos hemos crecido y seguiremos creciendo, te amo y gracias por siempre estar a mi lado, en las buenas en las malas y en las peores.

Cristhofer Alexander Magarizca Riascos

Agradecimiento

En primer lugar, a Dios, por haberme cuidado y guiado en cada paso de este largo y desafiante camino. Gracias por darme la fortaleza cuando sentí que no podía más, por iluminar mi mente en los momentos de duda.

A mi mamá, gracias por ser mi ejemplo de lucha y valentía. Tu enseñanza de no rendirme nunca, de siempre mostrar una sonrisa a la vida y de luchar por mis sueños ha sido mi mayor motivación. Papá, gracias por creer en mí y por estar presente en los momentos buenos y malos. Tu confianza en mi capacidad y tu apoyo han sido fundamentales para mí. Gracias a ambos por ser mi roca y mi guía. Su amor y apoyo han hecho posible que yo esté aquí hoy, culminando esta etapa de mi vida.

A mi novio Cristhofer, quien ha sido mi compañero, mi mejor amigo y mi refugio. Gracias por creer en mí, por caminar a mi lado en este viaje, por ese cariño tan lindo que me ofreces, por apoyarme y motivarme a seguir adelante. Tu presencia en mi vida ha sido un regalo y me siento muy feliz de compartir este logro contigo. A mi hermano, por motivarme a ser mejor cada día, por hacerme querer convertirme en un ejemplo a seguir, y por recordarme siempre la importancia de la familia. A mi gatito, mi compañero silencioso. Gracias por estar ahí en los momentos de estrés, por brindarme calma con tu presencia y por ser una fuente de alegría en los días más grises.

Gracias a todos por ser parte de este logro. Su amor, apoyo y confianza han hecho posible que yo alcance este sueño. Los amo con todo mi corazón.

Y también quiero agradecer a los ingenieros que han sido parte de mi formación académica, por compartir sus conocimientos y experiencia conmigo. En especial, agradezco profundamente a mi tutor de tesis, Ing. Luis Villacis, por su guía y apoyo constante en la realización de este trabajo.

Daysi Nayeli Tufiño Ganan

DEDICATORIA

A dios, por darme la voluntad y la fortaleza para seguir adelante, guiándome en cada paso y camino que he dado en mi vida, por protegerme, cuidarme y velar mis sueños.

A mi madre por ser mi mentora, mi guía, mi maestra, amiga y compañera, a la cual le debo tanto por cuidarme y enseñarme a siempre mirar el frente, a ser humilde y luchar para cumplir mis metas, hoy cumpla un sueño gracias a tus enseñanzas por eso te lo dedico madre mía.

A mis abuelitos, que de ellos he aprendido que las cosas se ganan con esfuerzo y dedicación, me enseñaron de la humildad y la bondad que el ser humano puede tener y dar sin recibir nada a cambio, y a pesar de todas las cosas que hemos pasamos juntos siempre seré un hijo más para ellos, a esa voluntad de acero y amor incondicional les dedico mi sueño de ser ingeniero.

A mi novia, a la cual le debo gran parte de este logro, por la cual no me he rendido y me apoyo incondicionalmente en las buenas y en las malas, me guio para ser un buen hombre y una persona diferente, ha sido una compañera increíble y le agradezco por compartir su vida conmigo, gracias por estar a mi lado y cumplir mis sueños junto a ti.

A mi gatito, ese compañero inesperado que llego a mi vida y me acompañó en las noches frías y las veladas de estudio, y a pesar que nunca dijiste una palabra entendías mis sentimientos y mi dolor interno, me acompañaste y acompañas con tus ronroneos y juegos. gracias por siempre estar allí.

Cristhofer Alexander Magarizca Riascos

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía y mi fortaleza en cada paso del camino.

A mi mamá, por su amor incondicional y su apoyo constante. Gracias por creer en mí, incluso cuando yo no creía.

A mi papá, por su sacrificio y su dedicación. Gracias por ser mi ejemplo de perseverancia y determinación.

A esa niña pequeña que enfrentó momentos difíciles y dolorosos. Que se propuso demostrar su valor y capacidad. Quiero que sepas que lo hiciste, que lo lograste. A pesar de que muchos no creyeron en ti, tú seguiste adelante y demostraste que eres capaz de todo lo que te propongas. A esa niña, quiero decirle que es fuerte y resiliente. Que merece ser feliz y tener éxito, no a pesar de sus heridas, sino gracias a ellas. Que ha demostrado que puede superar cualquier obstáculo y salir adelante.

Esta tesis es un testimonio de tu fuerza y tu capacidad para superar adversidades. Es un recordatorio de que, no importa cuántas veces te caigas, siempre puedes levantarte y seguir adelante.

A mi novio por el apoyo constante y la calma que necesité en este proceso, por tu compromiso incondicional y por creer en mis capacidades incluso en los momentos más difíciles. Tu presencia y tu aliento fueron fundamentales para mantenerme enfocada y motivada. Agradezco que seas mi compañero y que compartas este logro conmigo.

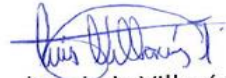
Daysi Nayeli Tufiño Ganan

El suscrito Ingeniero LUIS VILLACÍS TACO en calidad de TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, docente de la Universidad Estatal de Bolívar.

CERTIFICA

Que el Sr. Magarizca Riascos Cristhofer Alexander, y la Srta. Tufiño Ganan Daysi Nayeli, estudiantes de la FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD Y DEL SER HUMANO, culminados en la carrera de Ingeniería en Riesgos De Desastres, modalidad presencial, una vez revisado el documento: "Incendios forestales y sus efectos en la cobertura vegetal en la comunidad Cruz de Ventanas, parroquia Simiatug, cantón Guaranda. Período enero – mayo 2025"; pueden proceder a realizar el proceso del empaste de su trabajo de titulación.

Guaranda, 20 de noviembre de 2025



Ing. Luis Villacís Taco

Docente Tutor

DERECHOS DE AUTOR

Nosotros Magarizca Riascos Cristhofer Alexander y Tufiño Ganan Daysi Nayeli portadores de la Cédula de Identidad No 0250037728 y 1726797325 en calidad de autor/res y titular/ es de los derechos morales y patrimoniales del Trabajo de Titulación: Incendios forestales y sus efectos en la cobertura vegetal en la comunidad Cruz de Ventanas, parroquia Simiatug, cantón Guaranda. Período enero – mayo 2025, modalidad proyecto de investigación, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN, concedemos a favor de la Universidad Estatal de Bolívar, una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservamos a nuestro favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizamos a la Universidad Estatal de Bolívar, para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Digital, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Los autores declaran que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.


Cristhofer Alexander Magarizca Riascos


Tufiño Ganan Daysi Nayeli

CERTIFICADO DE SEGUIMIENTO AL PROCESO INVESTIGATIVO, EMITIDO POR EL TUTOR.

Guaranda, 26 de septiembre de 2025.

El suscrito Ingeniero Luis Villacis Taco MsC., Director del Proyecto de Investigación de Pre Grado de la carrera de Ingeniería en Riesgos de Desastres de la Universidad Estatal de Bolívar, en calidad de Docente – Tutor.

CERTIFICA:

Que el proyecto de investigación titulado: “INCENDIOS FORESTALES Y SUS EFECTOS EN LA COBERTURA VEGETAL EN LA COMUNIDAD CRUZ DE VENTANAS, PARROQUIA SIMIATUG, CANTÓN GUARANDA. PERÍODO ENERO - MAYO 2025”; realizado por los señores: **Cristhofer Alexander Magarizca Riascos y Daysi Nayeli Tufiño Ganán**, ha sido debidamente revisado e incorporado las observaciones realizadas durante las asesorías; en tal virtud, autorizo su presentación para la aprobación respectiva de acuerdo al reglamento de la Universidad.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a verdad.



Firmado electrónicamente por:
**LUIS HERNAN
VILLACIS TACO**

Validar únicamente con FirmaEC

ING. LUIS VILLACIS TACO.

TUTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN DE PRE GRADO

ÍNDICE DE CONTENIDO

TEMA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	II
DEDICATORIA.....	V
DEDICATORIA.....	VI
DERECHOS DE AUTOR.....	VII
RESUMEN	XVIII
ABSTRACT	XX
INTRODUCCIÓN.....	XXI
CAPÍTULO I. FORMULACIÓN GENERAL DEL PROYECTO	1
1.1. Planteamiento del Problema	1
1.2. Formulación del Problema.....	3
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo General.....	3
1.3.2. Objetivos Específicos	3
1.4. Justificación.....	4
1.5. Hipótesis / Idea a Defender	5
1.6. Operalización de Variables	6
1.6.1. Variable Independiente	6
1.6.2. Variable Dependiente.....	8
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. Marco Referencial	9
2.1.1. Antecedentes.....	9

2.1.2. Estado del arte	11
2.2. Marco Científico.....	14
2.2.1. Los incendios en la historia	14
2.2.2. Incendio forestal	15
2.2.3. Tipos de incendios forestales	15
2.2.4. Patrones de propagación.....	16
2.2.5. Ciclo de vida de un incendio forestal	18
2.2.6. Categorías de incendios forestales.....	18
2.2.7. Causas de los incendios forestales.....	19
2.2.8. Consecuencias de los incendios forestales	20
2.2.9. Efectos del fuego del primer y segundo orden	22
2.2.10. Mitigación del riesgo de un incendio	23
2.2.11. Medidas de prevención ante incendios	23
2.2.12. Manejo integral de fuego	24
2.2.13. Formas de evaluar el incendio forestal	25
2.2.14. Después de un incendio	27
2.2.15. Google Earth Engine GEE.....	28
2.2.16. Índice de quemado en imágenes satelitales	29
2.2.17. Degradación ambiental	32
2.2.18. Incendios forestales y la degradación ambiental	33
2.3. Marco Legal.....	35
2.3.1. Marco de Sendai	35

2.3.2. Constitución De La República.....	35
2.3.3. Reglamento al Código Orgánico Integral Penal (COIP)	35
2.3.4. Reglamento Código Orgánico Del Ambiente	36
2.3.5. Ley forestal y de conservación de áreas naturales y vida silvestre	38
2.4. Marco Conceptual.....	39
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	44
3.1. Tipo de Investigación	45
3.2. Enfoque de la Investigación	45
3.3. Métodos de Investigación.....	46
3.4. Técnicas e Instrumentos de Recopilación de Datos	46
3.5. Procesamiento de la Información	46
3.5.1. Adaptaciones de la metodología multicriterio para la evaluación de incendios forestales en la zona de estudio	53
CAPÍTULO IV. RESULTADOS POR OBJETIVOS	67
4.1. Resultados del Objetivo 1:.....	67
4.1.1. Variable “Susceptibilidad de la vegetación”.....	68
4.1.2. Variable “Precipitación”	78
4.1.3. Variable “Temperatura”	80
4.1.4. Variable “Pendiente”	81
4.1.5. Variable “Frecuencia”	83
4.1.6. Variable “Accesibilidad”	86

4.1.7. Mapa de susceptibilidad a incendios de la Comunidad Cruz de Ventanas de la parroquia Simiátug	88
4.2. Resultados del Objetivo 2:.....	91
4.2.1. Código para evaluar el impacto de los incendios forestales en la comunidad Cruz de Ventanas con el uso de la herramienta Google Earth Engine	91
4.2.2. Aplicación del código “Susceptibilidad de incendios” por año a partir del año 2021 al 2025.	95
4.2.3. Superficie afectada por niveles de severidad de incendios forestales durante el periodo 2021–2025	104
4.3. Resultados del Objetivo 3.....	105
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	109
5.1. Comprobación De La Hipótesis	109
5.2. Conclusiones.....	114
5.3. Recomendaciones	116
Referencia Bibliográfica.....	117
Anexos.....	124

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1 Ubicación Comunidad Cruz De Ventanas	68
Mapa 2 Mapa identificación del tipo de vegetación de la Comunidad Cruz de Ventanas	70
Mapa 3 Tipo de Combustible de la Comunidad Cruz de Ventanas	71
Mapa 4 Duración del Combustible de la Comunidad Cruz de Ventanas.....	73
Mapa 5 Carga Total de los Combustibles de la Comunidad Cruz de Ventanas.....	75
Mapa 6 Susceptibilidad Vegetación de la Comunidad Cruz de Ventanas.....	77
Mapa 7 Mapa precipitación de la Comunidad Cruz de Ventanas	79
Mapa 8 Mapa de la temperatura de la Comunidad Cruz de Ventanas	81
Mapa 9 Mapa de la pendiente – DEM de la Comunidad Cruz de Ventanas.....	82
Mapa 10 Mapa Densidad de la Comunidad Cruz de Ventanas.....	84
Mapa 11 Verificación de incendios en el área de estudio de la Comunidad Cruz de Ventanas.....	85
Mapa 12 Mapa De Vías de la Comunidad Cruz de Ventanas	88
Mapa 13 Mapa de susceptibilidad a incendios de la Comunidad Cruz de Ventanas	90
Mapa 14 Intervalo temporal de análisis: enero–diciembre de 2021	95
Mapa 15 Primer trimestre del año 2022 (Enero – Marzo).....	97
Mapa 16 Segundo trimestre del año 2022 (Abril – Junio).....	98
Mapa 17 Tercer trimestre del año 2022 (Julio – Septiembre).....	99
Mapa 18 Cuarto trimestre del año 2022 (Octubre – Diciembre).....	100
Mapa 19 Intervalo temporal de análisis: enero–diciembre de 2023	101
Mapa 20 Intervalo temporal de análisis: enero–diciembre de 2024	102
Mapa 21 Intervalo temporal de análisis: enero–junio de 2025.....	103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Comunidades Simiátug	10
Tabla 2 Patrones de Propagación	17
Tabla 3 Niveles de severidad en la vegetación	27
Tabla 4 Tipo de cobertura / Tipo de combustible.....	48
Tabla 5 Tipo de combustible / Categoría de amenaza.	49
Tabla 6 Tipo de cobertura / Duración de combustible.	50
Tabla 7 Duración de combustible / Categoría Amenaza.....	51
Tabla 8 Tipo de cobertura / Carga total.....	52
Tabla 9 Carga total / Categoría de amenaza.....	53
Tabla 10 Adaptación de la metodología multicriterio / Tipo de combustible predominante	54
Tabla 11 Adaptación de la metodología multicriterio / Duración del combustible predominante	54
Tabla 12 Adaptación de la metodología multicriterio / Carga Total de Combustible...	55
Tabla 13 Tabla de calificación para la variable precipitación.....	57
Tabla 14 Tabla de Calificación para la variable Temperatura	58
Tabla 15 Tabla Pendiente/ Categoría de Amenaza.....	59
Tabla 16 Tabla de calificación para la variable accesibilidad.....	61
Tabla 17 Justificación de valores para la susceptibilidad a incendios forestales.....	62
Tabla 18 Hectáreas por tipo de cobertura vegetal de la comunidad Cruz de Ventanas	69
Tabla 19 Hectáreas por tipo de combustible de la Comunidad Cruz de Ventanas.....	72
Tabla 20 Hectáreas por duración del combustible de la Comunidad Cruz de Ventanas	74
Tabla 21 Hectáreas por carga total de los combustibles de la Comunidad Cruz de Ventanas.....	76

Tabla 22 Hectáreas por susceptibilidad de la vegetación de la Comunidad Cruz de Ventanas.....	78
Tabla 23 Hectáreas por pendiente de la Comunidad Cruz de Ventanas.....	83
Tabla 24 Caracterización de incendios verificados de la Comunidad Cruz de Ventanas	86
Tabla 25 Tabla de calificación para la variable accesibilidad de la Comunidad Cruz de Ventanas.....	87
Tabla 26 Tabla de hectáreas por niveles de susceptibilidad a incendios de la Comunidad Cruz de Ventanas.....	91
Tabla 27 Nivel de afectación temporal de análisis: enero–diciembre de 2021.....	96
Tabla 28 Nivel de afectación temporal primer trimestre del año 2022.....	97
Tabla 29 Nivel de afectación temporal segundo trimestre del año 2022	98
Tabla 30 Nivel de afectación temporal tercer trimestre del año 2022	99
Tabla 31 Nivel de afectación temporal cuarto trimestre del año 2022	100
Tabla 32 Nivel de afectación temporal de análisis: enero–diciembre de 2023.....	101
Tabla 33 Nivel de afectación temporal de análisis: enero–diciembre de 2024.....	102
Tabla 34 Nivel de afectación temporal de análisis: enero–junio de 2025	103
Tabla 35 Superficie afectada por niveles de severidad de incendios forestales durante el periodo 2021–2025	104
Tabla 36 Valores Observados (Chi Cuadro)	110
Tabla 37 Valores Esperados (Chi Cuadrado).....	111
Tabla 38 Chi Cuadrado	112
Tabla 39 Decisión Final	113

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Manejo integral del fuego	24
Ilustración 2 Diferencia entre la intensidad del fuego y la severidad del incendio.	30
Ilustración 3 Simulador de expansión de incendios mediante el sistema Kitral	34
Ilustración 4 DEM Comunidad Cruz de Ventanas.....	59
Ilustración 5 Funciones para procesamiento de imágenes (Enmascaramiento de nubes).	65
Ilustración 6 Cálculo de índices de severidad.	65
Ilustración 7 Accesibilidad del shapefile al código y delimitación de la zona de estudio	66
Ilustración 8 Fragmento de Código 4.....	92
Ilustración 9 Fragmento de Código 5.....	92
Ilustración 10 Fragmento de Código 6 - Selección de Periodos.....	93
Ilustración 11 Fragmento de Código 7 - Cálculo de Índice NBR	93
Ilustración 12 Fragmento de Código 8 - Cálculo de índice dNBR	94
Ilustración 13 Fragmento de Código 9 - Clasificación de Severidad	94

RESUMEN

El trabajo denominado “Incendios forestales y su impacto en la cobertura vegetal en la comunidad Cruz de Ventanas, parroquia Simiátug, cantón Guaranda en el periodo 2022-2024” tuvo como objetivo general el analizar el impacto de los incendios forestales sobre la degradación ambiental, para ello se plantearon tres objetivos, la identificación del nivel de susceptibilidad a incendios forestales mediante la ejecución de la metodología Pro – Cálculo, para lo cual se consideró variables como la susceptibilidad de la vegetación (tipo, duración y carga del combustible), factores climáticos (precipitación y la temperatura), la densidad histórica de incendios, las vías y la pendiente. Los resultados obtenidos en ArcGIS fueron validados mediante una visita de campo, por lo tanto se comprueba la correspondencia entre el modelo generado y las condiciones reales, lo que confirma la ocurrencia de incendios en la zona, la evaluación del impacto de incendios forestales con el uso de la IA, al generar un código en la plataforma de análisis geoespacial basada en la nube, para obtener el índice de severidad de incendios mediante el uso datos del satélite Landsat 8, al obtener como resultado que entre el año 2022 y 2023, la susceptibilidad a incendios aumentó drásticamente en áreas cercanas a la actividad humana y la tendencia a incendios tuvo un declive considerable y continuó entre el año 2024 y mediados de 2025, con una reducción significativa en los incendios forestales, proponer estrategias de prevención y mitigación como la implementación del mapa de susceptibilidad a incendios forestales por los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) como una herramienta clave para la planificación territorial, permitiendo así una asignación de recursos más precisa y la priorización de intervenciones en áreas de riesgo, se sugiere que las instituciones de gestión de riesgos integren el análisis de imágenes satelitales a través de Google Earth Engine (GEE), ya

que esta metodología ofrece fundamentos técnicos sólidos para la restauración ecológica.

Palabras clave: incendios forestales, cobertura vegetal, susceptibilidad, código, bandas espectrales, incidencia.

ABSTRACT

The work entitled "Forest fires and their impact on vegetation cover in the Cruz de Ventanas community, Simiátug parish, Guaranda canton in the period 2022-2024." Its general objective was to analyze the impact of forest fires on environmental degradation, for this purpose three objectives were set, the identification of the level of susceptibility to forest fires by executing the Pro - Calculation methodology, considering variables such as vegetation susceptibility (type, duration and fuel load), climatic factors (precipitation and temperature), historical fire density, roads and slope, The results obtained in ArcGIS were validated through a field visit, checking the correspondence between the generated model and real conditions, confirming the occurrence of fires in the area, the evaluation of the impact of forest fires with the use of AI, generating a code in the cloud-based geospatial analysis platform, to obtain the fire severity index through the use of data from the Landsat 8 satellite, resulting in that between 2022 and 2023, fire susceptibility increased dramatically in areas close to human activity and the fire trend had a considerable decline and continued between the year 2024 and mid-2025, with a significant reduction in forest fires, propose prevention and mitigation strategies such as the implementation of the forest fire susceptibility map by the Decentralized Autonomous Governments (GAD) as a key tool for territorial planning, thus allowing a more precise allocation of resources and the prioritization of interventions in risk areas, it is suggested that risk management institutions integrate the analysis of satellite images through Google Earth Engine (GEE), since this methodology offers solid technical foundations for ecological restoration.

Keywords: forest fires, vegetation cover, susceptibility, Google Earth Engine, ArcGIS.

INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales son considerados como uno de los agentes de mayor perturbación que ocasionan daños severos tanto de índole social, económico y ecológicos en las áreas que son afectadas (Villers Ruiz, 2006), el termino, es utilizado para describir incendios de la vegetación natural y generalmente se refieren a incendios no planificados, que fueron provocados, incendios accidentales o aquellos iniciados por relámpagos; son incendios que se encuentran fuera de control. (Ríos Hervas, 2023, pág. 11)

En la comunidad Cruz de Ventanas, perteneciente a la parroquia Simiátug del cantón Guaranda, los incendios forestales se han manifestado con mayor frecuencia en los últimos años, convirtiéndose en un riesgo latente que pone en peligro la vegetación nativa y la reserva de agua existente en la zona. Esta situación no solo deteriora los servicios ecosistémicos, sino que también compromete el bienestar de la población local al afectar sus medios de vida y aumentar la vulnerabilidad del territorio frente a fenómenos futuros. Esto refleja la necesidad de analizar la susceptibilidad a incendios forestales para identificar las áreas de mayor riesgos y severidad, y desarrollar estrategias de prevención y control.

En el capítulo I se expone el problema de investigación relacionado con los incendios forestales en la comunidad Cruz de Ventanas, se justifica la necesidad del estudio y se formularon los objetivos y la idea a defender. El Capítulo II recopila el sustento científico y legal del tema, incorporando antecedentes de investigaciones previas, conceptos clave sobre incendios, degradación ambiental y cobertura vegetal, así como las disposiciones normativas vigentes en materia de gestión de riesgos e incendios forestales. En el Capítulo III se describe la metodología aplicada, detallando el uso del análisis multicriterio Pro – Cálculo para generar el mapa de susceptibilidad y el

procesamiento de imágenes satelitales en Google Earth Engine (cálculo de NBR y dNBR, comparación pre y post incendio, clasificación por severidad), junto con las técnicas de campo y revisión documental utilizadas. El Capítulo IV presenta los resultados obtenidos de cada objetivo: la zonificación de susceptibilidad, la cuantificación de la pérdida de cobertura vegetal y la validación de los datos en territorio. Finalmente, el Capítulo V recoge las conclusiones derivadas del análisis y formula recomendaciones basadas en los hallazgos, incluyendo estrategias de prevención y mitigación frente a incendios forestales aplicables a la comunidad y replicables en otros sectores similares.

CAPÍTULO I. FORMULACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

1.1. Planteamiento del Problema

En Ecuador, los incendios forestales son una problemática recurrente que perjudica la biodiversidad local, como a las poblaciones rurales. La combinación de factores como el cambio climático, la variedad de climas en las regiones, la mala ejecución en el manejo de fogatas, quemas agrícolas y la piromanía. Siendo este último uno de los factores que incide directamente en que los incendios sean devastadores.

Los incendios forestales han sido una problemática constante cada año. Estos han logrado consumir y destruir grandes áreas de vegetación en varias provincias del territorio nacional como lo son; Carchi, Azuay, Imbabura, Cotopaxi, Pichincha y Chimborazo. En muchos casos estos eventos son originados por las mismas comunidades e inclusive provocados por pirómanos, sin percatarse del daño que ocasionan a la fauna y vegetación nativa de dichas zonas afectadas. La extensión de la frontera agrícola y las prácticas inadecuadas en la quema de vegetación contribuyen a que este fenómeno se agrave año tras año. (Diario La Hora, 2024)

En el año 2020, el Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias, reportó la pérdida de aproximadamente 27.700 hectáreas de vegetación a causa de incendios forestales. Durante ese mismo período, se registraron 2.293 eventos de este tipo, afectaron principalmente a las provincias de Loja, Pichincha, Azuay y Chimborazo. (Plataforma sobre Adaptación al Cambio Climático de Ecuador, 2024).

En Guaranda, la topografía accidentada y la presencia de extensas áreas de vegetación nativa, combinadas con fuertes vientos, la falta de lluvias durante las épocas secas y la inaccesibilidad a ciertas zonas montañosas, hacen que los incendios se propaguen rápidamente, lo que provoca impactos severos en el suelo y la fauna local. La

pérdida de cobertura vegetal disminuye la capacidad de los ecosistemas para regular el ciclo hidrológico, lo que incrementa la susceptibilidad a otros eventos adversos como deslizamientos de suelos y sequías prolongadas en ciertas épocas del año. (GAD Guaranda, 2020, pág. 81)

En la comunidad Cruz de Ventanas, parroquia Simiátug, cantón Guaranda, los incendios forestales han incrementado su recurrencia y severidad en los últimos años, siendo la quema agrícola uno de los principales factores desencadenantes. Un evento significativo se registró el 13 de septiembre de 2015 en la comunidad de Rayopamba, donde un incendio de gran magnitud afectó aproximadamente 75 hectáreas de pajonal, arbustos y plantaciones forestales. A pesar de la intervención de comuneros y unidades de bomberos provenientes de Guaranda, Chillanes y Echeandía, las condiciones climáticas adversas, especialmente los fuertes vientos, facilitan la propagación del fuego. (El Comercio, 2015)

Este siniestro generó un impacto ambiental significativo, que devastó áreas de pastoreo y plantaciones de pino con más de 25 años de crecimiento, establecido con el respaldo del Ministerio del Ambiente. La recurrencia de estos incendios demuestra la necesidad urgente de poner en práctica estrategias de prevención y mitigación, orientadas a reducir el impacto ambiental y social que estos eventos generan tanto en los ecosistemas como en las poblaciones locales. (El Comercio, 2015)

Los incendios forestales provocados por las comunidades afectan principalmente a la vegetación de penachos, cubiertos por pajonales, poáceas y gramíneas, las cuales ejercen un papel clave en la estabilización del suelo y en la reducción del riesgo de deslizamientos. Estas quemas suelen realizarse con el fin de expandir las fronteras agrícolas. La degradación de los ecosistemas es de lenta recuperación, ya que estos incendios no son fenómenos naturales de nuestros bosques y matorrales. Además, los

incendios contribuyen a la erosión del suelo y reducen la capacidad de retener agua, lo que exacerba aún más la crisis hídrica que enfrenta la región.

Uno de los efectos más devastadores de esta degradación ambiental es el poco o casi nulo seguimiento idóneo de estos eventos, lo que impide la recuperación óptima de las zonas afectadas. Como consecuencia, estas áreas son frecuentemente destinadas a plantaciones agrícolas o incluso a desarrollos inmobiliarios, lo que exacerba el problema.

En el presente contexto de la investigación, se analizaron a los incendios forestales como variable independiente, y la cobertura vegetal, como variable dependiente. El objetivo principal fue la identificación y la relación entre estos dos fenómenos en el cantón Guaranda, con énfasis en la comunidad Cruz de Ventanas, parroquia Simiátug, cantón Guaranda, donde las consecuencias para la estabilidad ambiental son especialmente evidentes.

1.2. Formulación del Problema

¿Cuál es el impacto de los incendios forestales en la cobertura vegetal de la comunidad Cruz de Ventanas, parroquia Simiátug, cantón Guaranda en el período 2021-2025?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Analizar el impacto de los incendios forestales en la cobertura vegetal de la comunidad Cruz de Ventanas, parroquia Simiátug, cantón Guaranda.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar la susceptibilidad a incendios forestales en la comunidad Cruz de Ventanas, parroquia Simiátug, cantón Guaranda mediante un análisis multicriterio.

- Evaluar el impacto de los incendios forestales en la comunidad Cruz de Ventanas, parroquia Simiátug, cantón Guaranda, considerando la pérdida de cobertura vegetal.
- Proponer estrategias de prevención y mitigación que contribuyan a la reducción de incendios forestales y a la restauración ambiental de la comunidad Cruz de Ventanas, parroquia Simiátug, cantón Guaranda.

1.4. Justificación

En Ecuador, los incendios forestales se han convertido en uno de las principales amenazas significativas para el bienestar de las comunidades rurales. En la comunidad Cruz de Ventanas, parroquia Simiátug, ubicada en un entorno vulnerable. Los efectos de estos eventos se manifiestan en la pérdida de biodiversidad, el deterioro acelerado del suelo, la reducción de la calidad del aire y la afectación directa de servicios ecosistémicos fundamentales, como la regulación del agua y la prevención de la erosión.

El presente trabajo se centra en evaluar la amenaza de incendios forestales y su incidencia sobre la cobertura vegetal en la comunidad Cruz de Ventanas. El propósito principal fue analizar cómo cambia la cobertura vegetal después de la ocurrencia de incendios en este territorio, para posteriormente plantear estrategias viables de mitigación y restauración ambiental.

Este trabajo contribuirá a la comprensión de los efectos de los incendios forestales en áreas rurales vulnerables como en la comunidad Cruz de Ventanas, parroquia Simiátug, cantón Guaranda, y proporcionará datos valiosos para la planificación territorial y la gestión del riesgo. Además, los resultados podrán ser utilizados como referencia por el municipio, Bomberos, comunidades y estudiantes, para desarrollar planes de restauración ambiental y estrategias de reducción de riesgos. Esta investigación también posicionará a los estudiantes como pioneros en la aplicación

de tecnologías emergentes en la gestión de riesgos ambientales, alineándose con los objetivos de la carrera de Ingeniería en Riesgos de Desastres.

La combinación de un problema crítico como los incendios forestales con el uso de inteligencia artificial enriquecerá los resultados del proyecto, al tiempo que fortalecerá las competencias académicas y técnicas de los estudiantes. De esta manera, se justifica plenamente la pertinencia del tema, no solo por su impacto local y ambiental, sino también por la innovación en su metodología.

1.5. Hipótesis / Idea a Defender

Dada las características de la investigación se ha planteado la siguiente hipótesis / Idea a defender:

H₀: Los incendios forestales no generan un impacto significativo en la cobertura vegetal de la comunidad Cruz de Ventanas, parroquia Simiátug, cantón Guaranda, durante el periodo 2021–2025, manteniéndose sin diferencias estadísticas en los niveles de afectación de la vegetación entre los distintos años analizados.

H₁: Los incendios forestales generan un impacto significativo en la cobertura vegetal de la comunidad Cruz de Ventanas, parroquia Simiátug, cantón Guaranda, durante el periodo 2021–2025, evidenciado por variaciones estadísticamente significativas en los niveles de afectación de la vegetación entre los diferentes años evaluados.

1.6. Operalización de Variables

1.6.1. Variable Independiente

Variable	Definición	Dimensión	Indicador	Escala	Instrumento
Incendios forestales	los incendios forestales son fenómenos complejos que resultan de la interacción entre factores climáticos,	Factores climáticos	Precipitación – Valores anuales para estimar la humedad en la susceptibilidad	Milímetros anuales. (Litros por metro cuadrado de superficie)	Datos climáticos
	forestales son fenómenos complejos que resultan de la interacción entre factores climáticos,				
forestales	biológicos y humanos, cuya combinación	Factores topográficos	Pendiente – Grado de inclinación del terreno que influye en la propagación del incendio.	Extremadamente frio (1.5 – 6)	Datos climáticos
				Muy frio (6 – 12)	Procesamiento y reclasificación en
				Frio (12 –18)	reclasificación en
				Templado (18 – 24)	ArcGIS
			Muy baja (0 – 7%)	Modelo digital de elevación (DEM)	
			Baja (7 – 12%)		
			Moderada (12 – 25%)		
			Alta (25 – 75%)		

determina la ignición, propagación e intensidad del fuego en los ecosistemas naturales. (Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2006, pág. 5)	Factores espaciales	Frecuencia – Puntos de calor a lo largo de un intervalo tiempo para identificar tendencias y patrones en la ocurrencia de incendios.	Densidad de puntos de calor en un intervalo de tiempo.	Datos satelitales Nasa Firms
	Factores entrópicos	Accesibilidad – Distancia de vías, factor asociado a acción humana	Muy Alta (0 – 500 m) Alta (501 – 1000 m) Moderada (1001 – 1500 m) Baja (1501 – 2000 m) Muy baja (más de 2001)	Shapefiles de vías reclasificación en ArcGIS

1.6.2. Variable Dependiente

Variable	Definición	Dimensión	Indicador	Escala	Instrumento
Cobertura vegetal	Se refiere al porcentaje o proporción de la superficie cubierta de plantas respecto a la superficie total de un sitio determinado, como un distrito, una calle o un parque. (Touré, 2022)	Factores de vegetación	Susceptibilidad de la vegetación – Clasificación de la cobertura vegetal para identificar áreas con mayor potencial de combustión.	Tipo de combustible Duración de combustible Carga de combustible	Reclasificación ArcGIS
		Grado de afectación	Clasificación de severidad -Mide el nivel de impacto del incendio sobre la vegetación.	Sin cambio Afectación baja Afectación moderada Afectación alta Afectación muy alta	Imágenes satelitales landsat. Procesamiento digital en GEE.
		Superficie afectada	Hectáreas afectadas - Superficie total de vegetación dañada por el incendio.	Número de hectáreas afectadas	Cálculo de hectáreas afectadas mediante análisis multitemporal.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Marco Referencial

2.1.1. Antecedentes

La parroquia Simiátug, ubicada en el cantón Guaranda, provincia de Bolívar, es una de las zonas rurales más representativas de la región, caracterizada por su historia de resistencia indígena, su riqueza cultural y su interacción con un entorno natural diverso. Su origen se remonta a tiempos prehispánicos, cuando las comunidades indígenas establecieron asentamientos en estas tierras, desarrollaron prácticas agrícolas y ganaderas que aún se mantienen en la actualidad. Con la llegada de los colonizadores españoles, Simiátug experimentó cambios en su organización territorial y productiva, adaptándose a nuevas dinámicas económicas y sociales. (GAD Parroquial Rural Simiátug, 2021)

La parroquia de Simiátug se ubica en el extremo norte de la provincia de Bolívar. Limita al norte con la provincia de Cotopaxi, al sur con la parroquia de Salinas, al este con la provincia de Tungurahua y al oeste con la parroquia de Facundo Vela. Su extensión territorial es de aproximadamente 308,37 km², con un rango altitudinal que varía según la zona. El clima predominante es Ecuatorial de Alta Montaña, lo que influye en la producción agropecuaria y en la biodiversidad de la región. (GAD Parroquial Rural Simiátug, 2021)

En la actualidad, la parroquia está conformada por 40 comunidades organizadas en seis zonas estratégicas, lo que refleja la distribución poblacional y la planificación territorial establecida en su Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT 2021-2023). (GAD Parroquial Rural Simiátug, 2021)

Comunidades situadas en la Parroquia Simiátug.

Tabla 1

Comunidades Simiátug

Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6
Boliche	El Tingo	Salaleo	Guanguliquin	Quialó	Santa Teresa
Cutahua	Cocha	Mindina	Potrero	Talahua	Ingapirca
Llullimunllo	Colorada	Cascarillas	Simiátug Centro (8barrios)	Potrerillos	Mushullacta
Pímbalo	Tomaloma		Playapamba	La Y	Pungadahuas
Lihua	Allago		Chigue	El Aserradero	Puñahua
Kuriñan	Santo Domingo		Yatalo	Silagato	
Papaloma	Rayopamba		Pambugloma	Tahuato	
Chiquizungo			La Cabaña		
Cruz de Ventanas			Candio		
Gerrana			San Francisco Tacarpo		

Nota: Fuente: PDOT parroquia Simiatug 2021

La parroquia presenta una cobertura vegetal variada, con presencia de bosques, vegetación arbustiva, herbácea y zonas agropecuarias. Sin embargo, en los últimos años, la cobertura vegetal ha experimentado alteraciones significativas debido a la expansión agrícola, la ganadería y la ocurrencia de incendios forestales. Estos factores han generado impactos negativos en los suelos y en los cuerpos de agua, lo que incrementa la vulnerabilidad ambiental del territorio. Según el PDOT, Simiátug cuenta con 449 vertientes de agua, de las cuales 186 están destinadas para consumo humano y 99 para riego, pero el 100% de las vertientes requieren protección debido a la contaminación y la reducción de caudales. (GAD Parroquial Rural Simiátug, 2021)

El territorio enfrenta problemáticas ambientales relacionadas con la deforestación, el desgaste del suelo y la alteración de calidad del agua. La actividad agrícola y ganadera ha contribuido a la degradación del páramo, mientras que la falta de estrategias adecuadas para el manejo de residuos y la contaminación por desechos afectan la calidad del agua. Además, la presencia de incendios forestales es un problema recurrente en la parroquia, lo que agrava la pérdida de cobertura vegetal y afecta la biodiversidad local. (GAD Parroquial Rural Simiátug, 2021)

2.1.2. Estado del arte

Según (Soto, 2010) en su estudio ***“Comportamiento del fuego mediante simulación de incendios forestales en Chile”*** examina el impacto de los incendios forestales a nivel global, con un enfoque particular en Chile. Resalta la relación entre la deforestación, el fuego y el cambio climático. Este análisis aborda los efectos ecológicos, sociales y económicos de los incendios forestales, destaca la importancia de los acuerdos internacionales como herramientas clave para mitigar su impacto y proteger los ecosistemas. Además, enfatiza la necesidad de fortalecer la educación ambiental como una estrategia esencial para prevenir la negligencia humana y reducir la incidencia de estos eventos. Entre los aportes destacados del artículo se encuentra el Sistema KITRAL, un simulador de incendios desarrollado por la Universidad de Chile, reconocido a nivel mundial por su capacidad para modelar la propagación del fuego, ofreciendo soluciones innovadoras para la gestión y prevención de incendios forestales. Se vincula directamente con el análisis de los incendios forestales y su impacto en la degradación ambiental, al abordar los efectos ecológicos de estos eventos y la relevancia de los acuerdos internacionales en la lucha contra el cambio climático. La promoción de la educación ambiental, destacada como una prioridad en el artículo, es fundamental para mitigar la incidencia de incendios, ya que fomenta una mayor conciencia y responsabilidad social.

Según (Fernández & Palma, 2004) en la investigación ***“Incremento de los incendios forestales en bosques naturales y plantaciones forestales en Chile”*** se aborda el impacto de los incendios forestales en Chile, centrándose en el daño ocasionado tanto a los bosques naturales como a las plantaciones forestales. Se identifica un incremento exponencial en la frecuencia de incendios desde 1973- 1974, vinculado a la expansión de plantaciones de especies inflamables, la implementación de prácticas de silvicultura intensiva que aumentan la cantidad de material combustible y la creciente interacción entre áreas urbanas y forestales. Además, se señala que la mayor afectación a la vegetación natural responde a su ubicación en áreas inaccesibles, donde las dificultades topográficas impiden una respuesta eficaz y oportuna ante los incendios.

La información proporcionada por este artículo aporta elementos fundamentales para comprender los factores que intensifican los incendios forestales y su impacto en la degradación ambiental. El aumento en la carga de combustible debido a prácticas de silvicultura intensiva y la interacción ciudad-bosque evidencian cómo las actividades humanas agravan este fenómeno. Por otro lado, la inaccesibilidad de ciertos territorios y las limitaciones para combatir los incendios reflejan la vulnerabilidad de la vegetación natural, lo que refuerza la necesidad de implementar estrategias de prevención y manejo adaptadas a las condiciones topográficas y ecológicas. Estos elementos subrayan la importancia de un enfoque integral en los incendios forestales.

En el artículo de investigación de (Verdín, Linares, Ortiz, & Macias, 2013) titulado ***“Análisis espacio-temporal de la ocurrencia de incendios forestales en Durango, México”*** se aborda los incendios forestales en Durango, México, y se analizan sus causas, distribución y factores determinantes. A partir de datos de la Conafor (2000-2011), se identificó que los incendios tienen un patrón de distribución agregada y no estacionaria. Mediante un modelo de regresión geográficamente ponderada, se determinaron como factores clave la densidad de

población, la proximidad a vías de acceso y condiciones climáticas como bajas precipitaciones y altas temperaturas. Estos elementos reflejan el impacto significativo de las actividades humanas y las condiciones ambientales en la magnitud y frecuencia de los incendios, lo que resalta la necesidad de medidas integrales para su manejo.

Los resultados del artículo aportan información relevante sobre los factores más importantes que inciden en el tamaño de los incendios forestales y su impacto ambiental. Las bajas precipitaciones y las altas temperaturas, junto con la influencia antropogénica, demuestran cómo las condiciones climáticas y humanas interactúan para intensificar estos eventos. Además, se destaca la importancia de incrementar los apoyos en educación y capacitación como estrategias esenciales para mitigar los efectos del fuego y prevenir su propagación. Estas medidas pueden ser aplicadas en otros contextos para mejorar la gestión de los incendios forestales y reducir su impacto en la degradación de los ecosistemas.

Por último, el autor ecuatoriano (Pazmiño, 2019) en su artículo científico *“Peligro de incendios forestales asociado a factores climáticos en Ecuador”* analiza el impacto de los incendios forestales en Ecuador, destacando su severidad y las pérdidas económicas asociadas. Según datos del Ministerio del Ambiente, en 2012 se destruyeron 21,570 hectáreas debido a incendios, lo que generó un costo aproximado de cincuenta millones de dólares solo en Quito. Esta investigación es pionera en examinar el peligro de incendios forestales en la región tropical andina y utiliza el Índice de Peligro de Incendios Forestales (FFDI) de McArthur, originalmente diseñado para bosques de eucalipto, una especie particularmente vulnerable en los Andes ecuatorianos. Los resultados identifican julio a noviembre como la temporada crítica de incendios, con los valores más altos del índice acumulado durante el período 1997-2012. Resultando crucial la implementación estrategias de prevención y manejo, especialmente en la región andina, donde la degradación ambiental se agrava por

estos eventos. También, resalta la necesidad de desarrollar métricas locales que reflejen las particularidades ecológicas de Ecuador y permitan optimizar los esfuerzos de mitigación.

2.2. Marco Científico

2.2.1. Los incendios en la historia

El fuego a lo largo de la historia ha sido uno de los eventos documentados que más se han presentado en lo que va de la evolución humana. Documentos revelan que, los incendios forestales datan de épocas aún más antiguas que la humanidad, como lo explican en el libro “*La paradoja del fuego*”. (Meza, M. C, González, T, y Armenteras , D, 2023, pág. 22)

La historia del fuego en el planeta coincide con el desarrollo de la vida terrestre, la ruptura tectónica de la corteza primordial en continentes y la evolución de la atmósfera, por lo cual hay evidencias de fuego desde los primeros orígenes silúricos hace 440 millones de años. Así mismo, el fuego no solo impulso la evolución de los primeros homínidos (género Homo) hace 2,5 millones de años, dado que permitió la cocción de alimentos, sino que también, se configuró como parte esencial del nacimiento de las sociedades humanas. (Meza, M. C, González, T, y Armenteras , D, 2023)

El fuego también, ha sido un elemento importante en la gestión del territorio entre las sociedades humanas, registros de aproximadamente 1.5 millones de años muestran que el fuego fue la primera tecnología que le permitió a los humanos colonizar nuevas áreas, pero el fuego no solo permitió a la humanidad despejar territorios, si no también, les facilito el comienzo de sus viajes, cazar y generar fuentes de alimento vegetal para humanos y ganado. (Meza, M. C, González, T, y Armenteras , D, 2023)

Por otro lado, el fuego como se ha visto ha sido de las primeras amenazas que ponen en riesgo la integridad del ecosistema mundial, afectado a los mismos humanos, a la fauna nativa y de corral, devastando miles de millones de hectáreas a lo largo de la historia o bien causada por los incendios ocasionados por los seres humanos o de forma natural.

2.2.2. Incendio forestal

Como lo define en su libro Juli G. Pausas, este término se refiere a los fuegos no controlados sea de origen natural o antrópico que ocurren en los ecosistemas terrestres, y que se propagan por la vegetación sea esta del tipo que sea, (bosque sabana, matorral, pastizal, humedal, turbera, etc.). Por lo tanto, y en extensión de dicho libro, y como la autora lo redacta; “Incendio no solo hace referencia los bosques, como a veces se da por entendido, si no a cualquier tipo de ecosistema terrestre”. (Pausas, 2012)

2.2.3. Tipos de incendios forestales

Como bien sabemos los incendios forestales tienen variaciones dependiendo de cómo se origina, cuándo se origina, en que estación del año se encuentra, el clima de la zona, velocidad del viento, etc.

Tenemos tres tipos de incendios forestales, establecido en la comisión nacional forestal; Incendio de copa, incendio de subsuelo, incendio de superficie.

Incendio Superficial

Se trata de incendios que avanzan de manera horizontal a lo largo del suelo, y alcanzan una altura aproximada de hasta 1.5 metros. Este tipo de fuego impacta tanto a material vegetal vivo como seco, incluyendo pastos, ramas, hojas, arbustos y árboles de menor tamaño, troncos, humus, etc. Regenerados de forma natural o plantados artificialmente. (Fundación azul ambientalistas, 2019)

Incendio Subterráneo

Este tipo de incendio ocurre cuando el fuego se extiende por debajo de la superficie del suelo, y consume la materia orgánica subterránea. Puede incluso alcanzar zonas con presencia de rocas superficiales. Generalmente no presenta llamas visibles y la emisión de humo es mínima. (Fundación azul ambientalistas, 2019)

Incendio subsuelo

Este tipo de incendio representa uno de los más complejos de identificar y controlar, ya que consume materia orgánica subterránea, incluidas las raíces. Su escasa presencia de oxígeno limita la generación de llamas visibles, lo que dificulta su extinción y genera impactos significativos en el ecosistema, lo que repercute tanto en la flora como en la fauna que dependen de ese entorno.

Incendios de Copa o Aéreos

Se consideran los incendios más agresivos, complejos de contener y con mayor capacidad destructiva, ya que arrasan con toda la vegetación presente. Aunque su origen suele estar en el nivel del suelo, las llamas ascienden rápidamente siguiendo un patrón vertical a través del material vegetal disponible, y alcanza las copas de los árboles gracias a la continuidad del combustible en distintos niveles. (Fundación azul ambientalistas, 2019)

2.2.4. Patrones de propagación

Los incendios se caracterizan por su forma de propagación, dependiendo de algunos factores condicionantes como el viento, la topografía del lugar y la convección.

El avance de un incendio forestal se rige por regularidades físicas y ambientales que determinan tanto su dirección predominante como la intensidad con la que se desplaza. Molina (2009) identifica distintos patrones de propagación asociados a la topografía, la disponibilidad de combustible y la acción del viento, cuyo reconocimiento previo permite diseñar estrategias de control más eficaces.

Con base en dicha clasificación, en la tabla 2 se presenta una sistematización de los patrones de propagación más relevantes, utilizada como referencia técnica para el análisis y la planificación operativa en contextos de prevención y supresión.

Tabla 2*Patrones de Propagación*

Tipología del incendio	Factor dominante	Características del incendio
Topográficos	Es el movimiento de aire a nivel local generado por el calentamiento desigual del suelo por el sol, lo que provoca corrientes convectivas que pueden influir en la propagación del fuego.	Cambian de dirección siguiendo las laderas soleadas y la intensidad de los vientos en estas: <ul style="list-style-type: none">•Alta intensidad matinal•Baja intensidad nocturna
Viento	Vientos sinópticos generales	Conservan su dirección y velocidad de avance constante, mientras se mantiene la influencia de los vientos sinópticos que los impulsan. <ul style="list-style-type: none">•No cambian ni giran•Mantienen su intensidad•Mantienen su velocidad en el día y noche
Convección	Acumulación y disponibilidad de combustible que genera suficiente intensidad para generar ambiente de fuego y convección que domina el incendio	Incendios que no propagan por radiación. Lo que hacen por convección. Desarrollan comportamientos extremos y avanzan por focos secundarios masivos

Nota. Adaptado de Molina, D. (2009). Patrones de propagación de incendios forestales, en Vélez, R. (ed.), Incendios forestales: Fundamentos y aplicaciones. McGraw-Hill.

2.2.5. Ciclo de vida de un incendio forestal

Los incendios forestales se desarrollan en cuatro fases clave, cada una de las cuales orienta las acciones necesarias de los bomberos para controlar y extinguir el fuego. (Pérez, 2024).

➤ Activo

Es la fase inicial, donde el fuego se extiende rápidamente y sin restricciones. En este momento, los bomberos trabajan siguiendo protocolos específicos para frenar su propagación.

➤ Estabilizado

Aunque aún no se ha controlado por completo, el incendio avanza según lo previsto, y las labores de extinción se centran en contenerlo dentro de lo planificado.

➤ Controlado

En esta fase, se logra detener tanto el avance como la propagación del fuego, manteniéndolo dentro de las líneas de contención previamente establecidas.

➤ Extinguido

Es la etapa final, en la que ya no queda material combustible dentro del perímetro afectado, y no se prevé que el fuego pueda reavivarse bajo las condiciones existentes.

2.2.6. Categorías de incendios forestales

Según la (Comisión Nacional Forestal, 2010), existe una categoría de 3 niveles de incendios forestales.

➤ **Nivel I.** Los incendios de pequeña dimensión. Pueden ser manejados únicamente con el apoyo de brigadas pertenecientes a las entidades oficiales del estado, junto con la colaboración de voluntarios de las comunidades locales.(Comisión Nacional Forestal, 2010)

➤ **Nivel II.** Incendios de proporción mediana. Su control necesita del apoyo de diversas entidades, entre ellas Protección Civil, la Secretaría de la Defensa Nacional,

autoridades municipales y diferentes organismos del gobierno estatal, además de la participación de ciudadanos voluntarios. (Comisión Nacional Forestal, 2010)

➤ **Nivel III.** Los incendios de gran escala demandan la intervención y el respaldo de distintas entidades gubernamentales, e incluso pueden requerir apoyo internacional, incluyendo brigadas especializadas, equipos aéreos y tecnología específica. También, suelen sumarse voluntarios pertenecientes a organizaciones sociales y del sector privado. (Comisión Nacional Forestal, 2010)

2.2.7. Causas de los incendios forestales

Los incendios forestales están tanto influenciados por el cambio climático como contribuyen a su agravamiento. El aumento de las temperaturas representa un factor clave en la aparición de estos eventos. Su probabilidad se ve afectada por diversas condiciones, como el calor, la sequedad del suelo y la abundancia de vegetación como árboles y arbustos. El clima cambiante favorece el secado de la materia orgánica, lo que incrementa significativamente la posibilidad de que el fuego se extienda.

2.2.7.1 Causas antrópicas de los incendios forestales. Algunos incendios forestales tienen su origen en actividades humanas, ya sean de manera intencional o accidental.

➤ **Fuegos intencionados**

En la mayoría de los casos, los incendios de gran magnitud son provocados deliberadamente. Este tipo de acciones constituye un crimen que atenta contra el medio ambiente y pone en riesgo la seguridad pública. (Hernández, 2022)

➤ **Negligencia y descuidos**

Se incluyen aquellas actividades en las que no se han tomado las precauciones necesarias o que, sin intención, se salen del control humano. Entre estas se encuentran ciertos usos recreativos en áreas forestales, la mala gestión de desechos y el lanzamiento descuidado de colillas, entre otros. (Hernández, 2022)

➤ **Accidentes**

Es posible que ocurran incluso si se han aplicado las medidas preventivas necesarias, como en el caso de la quema regulada de residuos agrícolas o el uso de fuegos artificiales, entre otras actividades similares. (Hernández, 2022)

2.2.7.2 Causas naturales de los incendios forestales. Una parte de los incendios forestales tiene un origen natural. En casos como los que se producen por rayos durante una tormenta, la misma naturaleza puede apagarlos antes de que generen consecuencias graves. Sin embargo, en otras ocasiones, las condiciones presentes favorecen su propagación y dificultan su control.

2.2.8. Consecuencias de los incendios forestales

2.2.8.1. Consecuencias positivas de un incendio forestal. El impacto de los incendios forestales en el entorno natural varía según su magnitud y la frecuencia con que ocurren. Si bien sus efectos negativos sobre el medio ambiente son notorios, en ciertos casos también pueden generar resultados beneficiosos.

- Los incendios ayudan a remover la vegetación muerta o en estado de descomposición, lo que favorece el desarrollo de nuevas especies vegetales. Este proceso actúa como un mecanismo de renovación natural.
- También contribuyen al equilibrio ecológico al reducir la presencia de plagas y eliminar plantas afectadas por enfermedades.
- La quema de árboles y arbustos puede incrementar la cantidad de luz solar que llega al suelo, lo cual favorece la germinación de semillas con el paso del tiempo.
- En ciertos casos, los incendios pueden enriquecer la biodiversidad del ecosistema, al promover la aparición de distintas especies de flora y fauna.

2.2.8.2. Consecuencias negativas de un incendio forestal. Si los incendios forestales ocurren con demasiada frecuencia en una zona determinada, sus efectos pueden llegar a ser profundamente destructivos.

Alteración de ciclos hidrológicos

Uno de los efectos menos visibles, pero más críticos de los incendios forestales es la alteración de los ciclos hidrológicos locales. Los incendios eliminan la vegetación que ayuda a retener el agua en el suelo, y elevan significativamente el riesgo de inundaciones y deslizamientos de tierra posteriores al fuego. Sin la cobertura vegetal, el suelo se vuelve menos permeable y más susceptible a la erosión

Impacto en la salud del suelo

La intensidad del calor durante un incendio forestal puede esterilizar los suelos, destruyendo microorganismos beneficiosos que son esenciales para la regeneración del suelo y la salud de las plantas post-incendio. Esto puede llevar a un ciclo prolongado de degradación del suelo donde la tierra tarda mucho más en recuperar su fertilidad natural, lo que afecta la regeneración forestal y la agricultura local.

Efectos socioeconómicos indirectos

Más allá de la pérdida directa de propiedades y recursos naturales, los incendios forestales tienen efectos socioeconómicos profundos y duraderos. Afectan el turismo, uno de los pilares de la economía en muchas regiones forestales, y pueden desencadenar ciclos de desempleo y desplazamiento de comunidades. La interrupción de las actividades económicas locales crea un efecto dominó que puede afectar a las economías regionales mucho después de que las llamas se hayan extinguido.

Afectación a la biodiversidad y especies endémicas

Los incendios forestales representan una grave amenaza para las especies endémicas y la biodiversidad en general. Estas especies, que están adaptadas y evolucionadas para vivir en

ecosistemas muy específicos, se encuentran en particular riesgo porque tienen hábitats limitados. Cuando un incendio arrasa con estas áreas, no solo se destruyen los recursos vitales que estas especies necesitan para sobrevivir, sino que también, se reduce drásticamente su población al no poder trasladarse a otros lugares para escapar del peligro.

2.2.9. Efectos del fuego del primer y segundo orden

2.2.9.1. Primer orden. Los efectos directos del fuego ocurren durante el incendio o justo después de que este se ha extinguido, y se manifiestan en la zona afectada por las llamas. Estos efectos resultan fundamentales para anticipar impactos posteriores, como la regeneración de árboles, la evolución de la vegetación y las variaciones en la productividad del terreno, aunque también dependen de múltiples factores adicionales al fuego. (Tricone F & Anderson TR, 2020)

- Follaje quemado o chamuscado
- Cicatrices de fuego
- Tejido interno del árbol o meristemos muertos por calor
- Capas de hojarasca consumida
- Estructura y química del perfil de suelo alterado por calentamiento

2.2.9.2. Efectos de segundo orden. Los impactos inmediatos del fuego tienen lugar durante el incendio o poco tiempo después, y se concentran en el área que ha sido quemada. Estos efectos son clave para entender lo que ocurrirá más adelante, como el rebrote de los árboles, los cambios en la vegetación y las modificaciones en la productividad del sitio, aunque su evolución también está influenciada por otros factores aparte del fuego. (Tricone F & Anderson TR, 2020)

- Efectos retardados en el tiempo
- Efectos desplazados en el espacio
- Efectos en niveles superiores de organización biológica

Tras un incendio, es posible que árboles, arbustos y pastizales aparenten estar muertos; sin embargo, mediante un seguimiento adecuado se puede observar que su proceso de recuperación puede requerir un período prolongado. (Tricone F & Anderson TR, 2020)

- Regeneración de arboles
- Cambios en la composición y desarrollo de la vegetación.
- Erosión resultante de la lluvia en los suelos dañados
- Modificación en la competencia entre especies, como las que resisten el fuego frente a las más vulnerables, o entre árboles y arbustos

2.2.10. Mitigación del riesgo de un incendio

Es fundamental promover la creación de paisajes que ofrezcan mayor resistencia al fuego, implementar acciones que eviten incendios provocados por el ser humano, optimizar el uso de los recursos destinados a la extinción y disminuir la vulnerabilidad de propiedades de alto valor frente al fuego. También, resulta clave fomentar en la población local una conciencia más responsable sobre el riesgo, especialmente en zonas donde conviven áreas urbanas y forestales. En este contexto, el manejo adecuado de los combustibles se considera la estrategia principal para desarrollar entornos urbanos y paisajes más seguros frente a los incendios. (Alcasena-Urdíroz et al., 2019)

2.2.11. Medidas de prevención ante incendios

Cuando un bosque se quema, se transforma en un espacio degradado, pierde su funcionalidad y por tanto la capacidad de proveer bienes y servicios ambientales a la población. Por ello, es muy importante prevenir la aparición de incendios forestales, y crear condiciones que reduzcan las graves consecuencias de los incendios. Algunas de las medidas operativas incluyen:

- La sensibilización y educación de la población que utilice el fuego con prudencia en el entorno forestal para evitar situaciones de riesgo.

- Mantenimiento y cuidados apropiados de las masas forestales y los bosques Una red de caminos cortafuegos y senderos forestales con depósitos de agua, así como limpieza y desmontes periódicos del bosque, así como quemas preventivas y planificadas en periodos de bajo peligro de incendio.
- Legislación y medidas policiales y judiciales. Mejorar los medios de vigilancia (drones, puestos fijos de observación, satélites, etc.), especialmente durante los periodos de alto riesgo.

2.2.12. Manejo integral de fuego

Se trata de un enfoque aplicado tanto en la gestión operativa como en la planificación, que considera aspectos sociales, económicos, culturales y ecológicos con el propósito de reducir los impactos negativos del fuego y potenciar sus beneficios. Este tipo de sistema combina diversas estrategias de prevención y control de incendios, que incluye también el uso planificado de quemas controladas como herramienta de manejo. (Tricone F & Anderson TR, 2020)

Esta relación tripartita se representa en el esquema triangular mostrado a continuación, donde se evidencia la conexión entre acciones de prevención y control, factores socioculturales y los procesos ecológicos asociados al comportamiento del fuego.

Ilustración 1

Manejo integral del fuego



2.2.13. Formas de evaluar el incendio forestal

2.2.13.1. La aplicación de la IA para la detección y prevención de incendios

forestales. La inteligencia artificial o mejor conocida hoy en día por la abreviatura “IA”. en el artículo científico de (Rouhiainen, Lasse, 2018), dicta que, “Las tecnologías basadas en la IA ya están siendo utilizadas para ayudar a los humanos a beneficiarse de mejoras significativas y disfrutar de una mayor eficiencia en casi todos los ámbitos de la vida”.

Así como la IA nos ha brindado ayuda a un sinfín de investigadores alrededor del mundo en sus proyectos y estudios, de igual manera nos ha ayudado a cumplir con nuestros objetivos en la presentación de este proyecto, pero para definir a la IA tenemos que hacer énfasis en las palabras que define a la IA como “la habilidad de los ordenadores para hacer actividades que normalmente requieren inteligencia humana” (Rouhiainen, Lasse, 2018), o así mismo en una definición más detallada, podríamos decir que la IA es la capacidad de las máquinas para usar algoritmos, aprender de los datos y utilizar lo aprendido en la toma de decisiones tal y como lo haría un ser humano. Sin embargo, a diferencia de las personas, los dispositivos basados en IA no necesitan descansar y pueden analizar grandes volúmenes de información a la vez. Así mismo, la proporción de errores es significativamente menor en las máquinas que realizan las mismas tareas que sus contrapartes humanas. (Rouhiainen, Lasse, 2018).

Es así como, grandes empresas y negocios alrededor del mundo han comenzado a usar a la inteligencia artificial para suplir huecos de trabajo y mejorar sus producciones y productos, “en empresas como Google y Facebook, la experiencia de usuario se personaliza para que sea importante y relevante para éste, lo que es posible gracias a que la IA mejora sus productos” (Rouhiainen, Lasse, 2018).

Así como, existen aplicaciones webs que nos proporcionan datos geoespaciales y Sistemas de Información geográfica para identificar incendios forestales e inclusive en los

análisis predictivos como, **WIFIRE**, es una plataforma basada en la nube que se integra con sistemas GIS y servicios de respuesta a emergencias, utilizada principalmente en California. Combina datos provenientes de satélites, drones y redes de estaciones meteorológicas para crear modelos predictivos avanzados. Utiliza Inteligencia Artificial para mejorar la precisión en la predicción de la propagación de incendios forestales. Sus principales características incluyen la predicción en tiempo real de incendios mediante modelos basados en IA, integración con sistemas de monitoreo meteorológico y sensores, soporte para la planificación de respuestas a emergencias tanto en áreas urbanas como rurales, y una mejora continua de sus predicciones a través de algoritmos de Machine Learning. (González Martínez, y otros, 2024)

EWS-Fire (Early Warning System), es una plataforma basada en la nube que ofrece acceso tanto móvil como web, diseñada para predecir la probabilidad de incendios forestales a partir de datos climáticos, de viento y humedad, combinados con algoritmos de inteligencia artificial. Su principal objetivo es proporcionar alertas tempranas a las autoridades locales para prevenir incendios antes de que se propaguen. Entre sus características clave se encuentran los modelos predictivos basados en IA para alertar sobre riesgos de incendios, un enfoque en la prevención más que en la respuesta, integración con redes de sensores y datos meteorológicos, y la capacidad de enviar alertas tempranas a dispositivos móviles y estaciones de control. (González Martínez, y otros, 2024)

2.2.13.2. Niveles de severidad en la vegetación. Una vez que el fuego daña la copa de los árboles, es común observar un cambio en el color del follaje, fenómeno conocido como “soflamado de copa”, caracterizado por tonos amarillos o marrones. Si el follaje es completamente consumido por las llamas, la copa queda totalmente quemada, adquiriendo una coloración negra. Algunas investigaciones señalan que la probabilidad de muerte del árbol aumenta considerablemente cuando el fuego afecta más de dos tercios de su copa.

Además, el riesgo de erosión del suelo es mayor en zonas donde la vegetación ha sido completamente destruida por el fuego. (Adrián Silva-Cardoza et al., n.d.).

Con base en estos criterios visuales de afectación y sus implicaciones ecológicas, se han definido cuatro niveles de severidad para clasificar el daño sufrido por la vegetación, los cuales se sintetizan en la tabla siguiente.

Tabla 3

Niveles de severidad en la vegetación

Nivel de severidad en la vegetación	Descripción
No quemado	Arbolado no quemado
Baja	Soflamado <1/3 de la copa arbolado
Media	Soflamado > 1/3 y <2/3 de la copa arbolado
Alta	Soflamado > 2/3 y <90% de la copa arbolado
Extrema	Calcinado >90% de la copa arbolado

Nota. Adaptado de Adrián Silva-Cardoza

2.2.14. Después de un incendio

Después de un incendio forestal, una de las primeras acciones consiste en determinar el alcance del daño, lo cual incluye la delimitación del área quemada, el cálculo de la superficie afectada y la clasificación de la severidad del fuego. Estas evaluaciones son claves para priorizar la gestión y diseñar medidas de restauración, aunque presentan limitaciones debido a la dificultad de interpretar de manera uniforme los efectos ecológicos en distintos escenarios. (De las Heras Ibáñez, 2015) En este proceso, adquieren relevancia los conceptos de vulnerabilidad y resiliencia. La vulnerabilidad se refiere al grado de exposición y sensibilidad de un ecosistema frente a la perturbación, mientras que la resiliencia describe su capacidad de recuperarse, y recupera funciones ecológicas o manteniéndolas incluso con cambios en la estructura del bosque.

La literatura científica plantea tres vías principales de actuación tras un incendio: restauración, cuando se busca que el ecosistema retorne a condiciones similares a las originales; rehabilitación, centrada en recuperar procesos esenciales, aunque no necesariamente la composición inicial; y reemplazo, que implica transformar el área hacia un nuevo uso o cobertura más adaptada a las condiciones post-incendio. En el corto plazo, la prioridad es evitar la degradación del suelo mediante medidas de emergencia como el uso de coberturas protectoras, barreras de sedimentos, control de especies invasoras y estabilización de taludes. A mediano y largo plazo, las acciones deben definirse según la severidad del fuego y el potencial de regeneración natural: en algunos casos bastará dejar que la naturaleza se recupere (restauración pasiva), mientras que en otros se necesitará asistencia (clareos, podas, manejo de rebrotes) o incluso plantaciones cuando la regeneración natural resulte insuficiente (De las Heras Ibáñez, 2015)

2.2.15. *Google Earth Engine GEE*

Es una plataforma en la nube orientada al análisis geoespacial a gran escala, que aprovecha la capacidad computacional de Google para abordar distintos desafíos sociales de gran relevancia. Entre sus aplicaciones se incluyen el monitoreo de la deforestación, el análisis de sequías, la gestión de desastres naturales, enfermedades, seguridad alimentaria, recursos hídricos, seguimiento climático y la conservación ambiental.

Es así que, representa una opción alternativa a las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE), ya que ofrece un amplio catálogo con numerosos conjuntos de datos geoespaciales de acceso público. Este repositorio incluye información proveniente de múltiples sistemas de teledetección aérea y satelital, tanto de sensores activos como pasivos, así como, datos sobre variables ambientales, predicciones y registros climáticos y meteorológicos, uso del suelo, topografía y aspectos sociodemográficos. Toda esta información se encuentra disponible en su base de datos digital (Dataset), la cual conserva su formato original, pero con la

posibilidad de ser procesada mediante el editor de código, lo que facilita su uso y elimina obstáculos comunes en el manejo de grandes volúmenes de datos.

El catálogo se mantiene en constante actualización, al incorporar alrededor de 6000 nuevas escenas diarias provenientes de misiones en operación, con un tiempo de retraso de aproximadamente 24 horas desde que se captura cada imagen. Además, los usuarios tienen la posibilidad de solicitar la inclusión de nuevos conjuntos de datos en el catálogo público o subir su propia información privada con georreferenciación mediante el repositorio denominado Assets.

2.2.16. Índice de quemado en imágenes satelitales

El uso de índices espectrales en teledetección se ha consolidado como una estrategia clave para el análisis de incendios forestales. Entre ellos, el Índice Normalizado de Área Quemada (NBR, por sus siglas en inglés: Normalized Burn Ratio) ha demostrado ser uno de los más eficaces para identificar y caracterizar áreas afectadas por fuego a gran escala. Su fundamento se basa en la relación espectral entre la radiación del infrarrojo cercano (NIR) y el infrarrojo de onda corta (SWIR), lo cual permite diferenciar vegetación saludable de suelos desnudos o áreas recientemente quemadas (ONU-Spider, 2019).

En este sentido, el NBR constituye una herramienta relevante para la delimitación de superficies quemadas, la estimación de daños y la planificación de acciones de restauración, ya que proporciona una medida cuantitativa de la alteración en la cobertura vegetal posterior a un incendio (Landsat Missions, 2020)

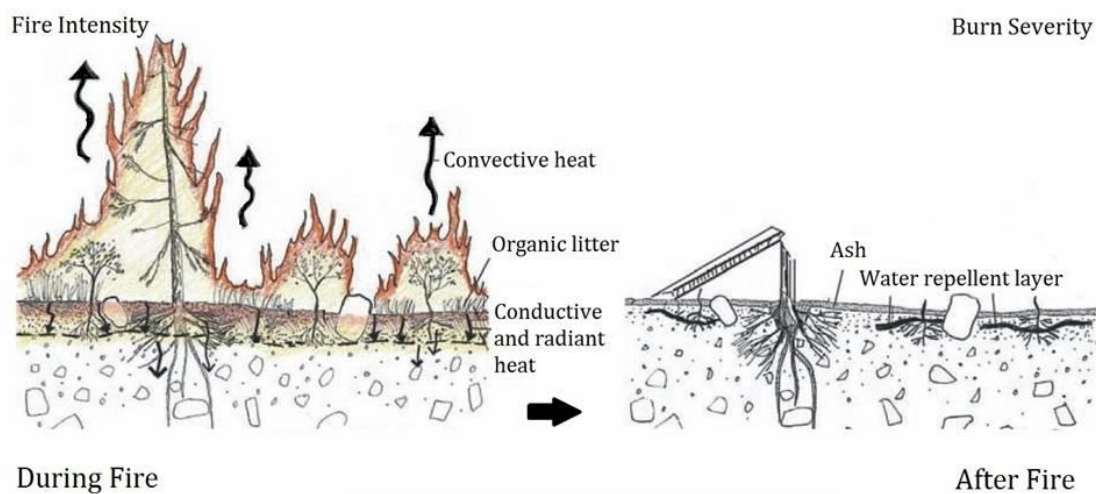
2.2.16.1. Intensidad de fuego y la severidad del incendio. Para comprender el alcance de los incendios forestales es fundamental distinguir entre intensidad y severidad. La intensidad del fuego se refiere a la cantidad de energía liberada durante el proceso de combustión y está vinculada al comportamiento del incendio en el momento en que ocurre. Por su parte, la severidad describe los efectos del fuego sobre el ecosistema, reflejados en la

pérdida de biomasa, cambios en la estructura de la vegetación y alteraciones en el suelo (ONU-Spider, 2019).

Mientras la intensidad se mide en términos de calor y propagación, la severidad se interpreta como el nivel de impacto ambiental posterior, lo que la convierte en un indicador más útil para planificar la recuperación de los ecosistemas afectados.

Ilustración 2

Diferencia entre la intensidad del fuego y la severidad del incendio.



2.2.16.2. Fórmula y funcionamiento del NBR. El cálculo del NBR se expresa

mediante la fórmula:

$$NBR = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)}$$

Nota. Fórmula extraída de NV5 Geoespacial Software. (2014). Burn índices tutorial. NV5 Geoespacial Software.

Donde NIR corresponde a la banda del infrarrojo cercano y SWIR a la banda del infrarrojo de onda corta. Los valores obtenidos presentan una interpretación clara: valores altos reflejan vegetación sana, mientras que valores bajos o negativos se asocian con suelos desnudos, cenizas o áreas quemadas. (Key & Benson, 2006)

Esta simplicidad en su cálculo, sumada a la disponibilidad de sensores satelitales como Landsat o Sentinel, ha permitido el uso extendido del NBR en programas de monitoreo ambiental a nivel global.

2.2.16.3. Fórmula y Funcionamiento del dNBR. El cálculo del dNBR se expresa de la siguiente manera:

$$dNBR = NBR_{PRE-INCENDIO} - NBR_{POST-INCENDIO}$$

En esta ecuación, el valor de NBR previo al incendio refleja la condición inicial de la vegetación, mientras que el dNBR posterior muestra el estado de la superficie tras el evento. La diferencia entre ambos permite identificar el grado de alteración: valores bajos o negativos indican ausencia de cambios o regeneración de vegetación; valores intermedios reflejan daños leves a moderados, y valores altos evidencian daños severos en la biomasa y exposición del suelo (Key & Benson, 2006; Miller & Thode, 2007).

El dNBR, al igual que el NBR, ha sido adoptado ampliamente en la gestión de incendios debido a su simplicidad de cálculo y la posibilidad de aplicarlo a diferentes series temporales. No obstante, se insiste en la necesidad de realizar calibraciones locales y verificaciones de campo para ajustar los umbrales de severidad a las particularidades ecológicas de cada región (UN-SPIDER, 2019).

2.2.16.4. dNBR (Diferencial del NBR) y severidad del fuego. Para evaluar la magnitud de los cambios causados por un incendio, se emplea el índice diferencial de área quemada (dNBR). Este se obtiene restando el valor del NBR previo al incendio con respecto al valor posterior al mismo, lo que permite cuantificar la severidad en función de la pérdida de vegetación. (Miller & Thode, 2007)

La interpretación del dNBR debe realizarse con precaución, ya que los valores pueden variar según el tipo de vegetación, la topografía y las condiciones climáticas. Por ello, en

muchos estudios se complementa el análisis satelital con verificaciones de campo, lo que aumenta la confiabilidad de los resultados (ONU-Spider, 2019).

2.2.17. Degradación ambiental

Según, (Colegio Mexiquense et al., n.d.) la degradación ambiental ocurre cuando los ciclos ecológicos y bioquímicos que permiten la recuperación natural se ven interrumpidos, y cuando la explotación de los recursos naturales se realiza tan aceleradamente que estos no logran regenerarse.

2.2.17.1. Tipos de degradación ambiental. Según (Ibáñez Martí , 2009), Son el producto del mal uso que el ser humano realiza de los recursos edáficos. Estos procesos son numerosos y a continuación se describen los más relevantes:

2.2.17.2. Indicadores de degradación ambiental. Los indicadores de degradación ambiental son parámetros que permiten evaluar el estado y las tendencias de los ecosistemas, los cuales ayudan a identificar problemas y tomar decisiones para su mitigación.

2.2.17.3. Pérdida de cobertura vegetal. La reducción de la cobertura vegetal es un fenómeno de gran impacto mundial, ya que afecta no solo el ciclo del agua, sino que también provoca graves problemas como la erosión del suelo, la salinización, la disminución de la productividad primaria y una menor capacidad del suelo para absorber agua, lo que afecta la recarga de los acuíferos.

Al combinar los impactos negativos que estos cambios generan, la pérdida de recursos y de fertilidad de los suelos, así como la merma en la productividad de los ecosistemas. La percepción sobre la cobertura vegetal se pone en duda si aún existe algún ecosistema natural exento de alteraciones ocasionadas por la actividad antropogénica que conducen a la espiral de pobreza–degradación ambiental. (Urbina Soria & Martínez Fernández , 2006)

2.2.18. Incendios forestales y la degradación ambiental

Desde hace mucho tiempo los incendios forestales se han considerado como uno de los factores más destructivos en la naturaleza, causado en su mayoría de casos por los mismos humanos.

El fuego ha desempeñado históricamente un papel clave en la transformación del paisaje, contribuyendo al mantenimiento y desarrollo de los ecosistemas. Además, ha sido un componente vital en la forma de vida de las sociedades humanas desde épocas antiguas. Su función como regulador ecológico ha sido esencial en la evolución de la Tierra, especialmente cuando surge como resultado de fenómenos naturales. (Castillo, Pedernera, y Peña 2003)

El Fuego también es considerado en algunas regiones del mundo como un regulador natural de algunos ecosistemas, respondiendo a susceptibilidad de la vegetación a la ignición e inflamabilidad generalmente en periodos de sequía prolongada o estacionaria, actualmente los incendios forestales presentes en el mundo causados por el ser humano, tienen una afectación de 10 a 15 millones de hectáreas anuales en bosques en regiones boreales y templadas y de 20 a 40 millones de hectáreas en bosques tropicales. (Castillo et al. 2003)

Uno de los mayores impactos visibles son los efectos de los incendios sobre el cambio climático, la gran cantidad de materia orgánica consumida, ha provocado la emisión de grandes cantidades de dióxido de carbono, monóxido de carbono, metano, óxido nítrico y partículas más pequeñas, Uno de los impactos inmediatos que provocan los incendios es la emisión a la atmósfera de gases y partículas generados por la quema de biomasa, proveniente principalmente de bosques tropicales, templados y boreales, así como de praderas y tierras agrícolas en cultivo. Entre estos gases destaca el dióxido de carbono, que, después del vapor de agua, representa el gas de efecto invernadero más relevante. Su presencia en la atmósfera incrementa a una velocidad media del 0,5 % anual. Existen diversas causas que explican este

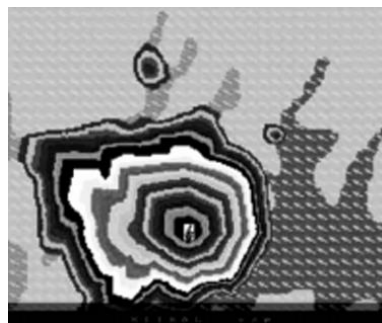
aumento, pero en el ámbito forestal la más significativa es la quema continua de los bosques tropicales en la franja ecuatorial del planeta, lo que produce grandes cantidades de CO₂, CO, metano y otros gases en menor proporción. (Castillo et al. 2003)

2.2.18.1. Sistema Kitral. Este sistema informático fue creado en 1997 con el fin de mejorar la eficiencia en la gestión de incendios forestales en Chile, tanto para entidades públicas como privadas. Está compuesto por cinco módulos principales que gestionan bases de datos sobre recursos terrestres y aéreos, incluyen simuladores para pronósticos meteorológicos, cálculo de índices de riesgo y peligro de incendios, apoyo en la asignación de recursos para el combate, y simulación de campos de viento. (Soto & Salinas, 2010)

La ilustración 3 muestra un mapa de simulación de la propagación de un incendio forestal, generado con el sistema Kitral, el cual permite modelar la expansión del fuego considerando factores como la topografía, la cobertura vegetal y las condiciones climáticas. Los distintos tonos de gris representan niveles de intensidad del fuego, donde las áreas más oscuras indican mayor severidad o densidad de combustión, mientras que los tonos más claros reflejan menor intensidad.

Ilustración 3

Simulador de expansión de incendios mediante el sistema Kitral



Nota: Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza, Universidad de Chile. (2023).

La foto indica la salida gráfica del Simulador de expansión de incendios forestales del Sistema KITRAL. Incendio real, simulado a 130 minutos de propagación del fuego.

2.3. Marco Legal

2.3.1. Marco de Sendai

De acuerdo con el Marco de Sendai, la responsabilidad fundamental de reducir los riesgos de desastres corresponde al Estado; no obstante, esta labor debe realizarse de forma colaborativa con distintos actores, entre los que se incluyen los Gobiernos Autónomos Descentralizados a nivel cantonal y provincial, el sector privado y diversos grupos de interés. (ONU , 2015)

2.3.2. Constitución De La República

La Constitución de la República del Ecuador, en su Título V relacionado con la organización territorial, establece en el artículo 242 que la estructura territorial del estado está conformada por regiones, provincias, cantones, parroquias urbanas y rurales. (Asamblea Nacional del Ecuador, 2008)

La Constitución reconoce los derechos de la naturaleza o Pachamama, y a partir de ello se asignan responsabilidades a distintos niveles de gobierno: nacional, provincial, cantonal y parroquial. Dentro de estas atribuciones, los municipios cuentan con la competencia exclusiva para gestionar los servicios relacionados con la prevención, atención, respuesta y control de incendios. Por su parte, el Estado tiene el deber de garantizar la protección tanto de las personas como del entorno natural frente a los impactos negativos causados por desastres, sean estos de origen natural o provocados por el ser humano. (Asamblea Nacional del Ecuador, 2008)

2.3.3. Reglamento al Código Orgánico Integral Penal (COIP)

La legislación ecuatoriana menciona el (COIP) en su Art. 246.- Quien cause incendios de manera intencional o por negligencia, o incite a otros a hacerlo, en zonas como bosques

nativos, áreas reforestadas o páramos, será sancionado con una pena de prisión que puede ir de uno a tres años, conforme a lo establecido en la normativa vigente.

Las quemas realizadas por comunidades o pequeños agricultores dentro de sus propios territorios, ya sean agrícolas o domésticas, no constituyen infracción mientras se mantengan bajo control. Sin embargo, si estas prácticas se descontrolan y derivan en incendios forestales, la persona responsable será sancionada por un delito culposo, con una pena de prisión que puede ir de tres a seis meses. En caso de que el incendio provoque la muerte de una o más personas, la sanción se incrementará, contemplando una pena privativa de libertad que oscila entre trece y dieciséis años. (República del Ecuador Asamblea Nacional, 2014)

2.3.4. Reglamento Código Orgánico Del Ambiente

Art. 26. Dentro de sus competencias ambientales, los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) Provinciales tienen la responsabilidad de formular planes, programas y proyectos orientados a la prevención de incendios forestales, así como a la reducción de riesgos que comprometan la integridad de los bosques nativos o plantaciones forestales. Esta atribución resulta especialmente relevante en territorios como Cruz de Ventanas, donde la cobertura vegetal cumple funciones clave para la regulación hídrica y la conservación ambiental, por lo que una planificación efectiva desde el nivel provincial es esencial para garantizar la protección del paisaje y la sostenibilidad del entorno natural. (Presidente de la República, 2019)

Art. 27. El monitoreo y seguimiento de las acciones relacionadas con la educación ambiental será responsabilidad de la entidad competente a nivel nacional en temas ambientales. Para ello, se requerirá a los distintos actores involucrados en procesos educativos ambientales tanto públicos como comunitarios que proporcionen información sobre sus avances y resultados. (Presidente de la República, 2019)

En el caso de Cruz de Ventanas, esto permite articular esfuerzos entre las instituciones educativas, el GAD cantonal y parroquial y las organizaciones locales, lo que garantiza que los procesos formativos en torno a la prevención de incendios forestales y al cuidado del entorno natural sean evaluados y mejorados de forma continua.

Art. 369. Las acciones dirigidas al manejo responsable del fuego y al control de incendios forestales, orientadas a la conservación de la biodiversidad y los recursos naturales, deben ser reconocidas como una prioridad colectiva. En este contexto, todas las estrategias adoptadas para este fin adquieren carácter obligatorio y deben ser asumidas de forma coordinada por las instituciones del Estado, los actores privados y la comunidad local, especialmente en territorios como Cruz de Ventanas, donde la protección de zonas ecológicas sensibles, como la reserva natural de agua, es fundamental para garantizar la sostenibilidad ambiental y la seguridad del ecosistema. (Presidente de la República, 2019)

Art. 370. Responsabilidad ciudadana. - El manejo adecuado del fuego requiere la participación activa y coordinada de todos los actores sociales, incluidos tanto propietarios de terrenos públicos y privados como la población en general, especialmente en zonas cercanas a áreas de valor ecológico. En comunidades como Cruz de Ventanas, donde existen espacios naturales clave como la reserva hídrica, es esencial que los ciudadanos adopten medidas concretas de prevención cuando sus actividades puedan representar una amenaza para los ecosistemas o los servicios ambientales del territorio. La corresponsabilidad comunitaria, por tanto, se convierte en un pilar fundamental para garantizar la protección y conservación del patrimonio forestal y la biodiversidad local. (Presidente de la República, 2019)

Art.374. La prevención y el control de incendios en plantaciones forestales y sistemas agroforestales destinados a la producción o con fines comerciales, requieren una coordinación interinstitucional. En este sentido, corresponde a la Autoridad Nacional de Agricultura emitir las normas técnicas pertinentes, en conjunto con la Autoridad Ambiental Nacional. Esta

articulación normativa es fundamental para territorios como Cruz de Ventanas, donde confluyen actividades agro productivas con áreas de vegetación estratégica, haciendo necesario establecer criterios técnicos claros para minimizar el riesgo de incendios y promover un uso sostenible del suelo. (Presidente de la República, 2019)

Art. 379. El plan nacional de contingencia frente a incendios forestales se concibe como una guía operativa compuesta por protocolos y lineamientos que regulan la actuación de las instituciones públicas en contextos de emergencia vinculados a este tipo de eventos. Este instrumento debe ser diseñado, aplicado y revisado anualmente por la Autoridad Ambiental Nacional, en coordinación con el Sistema de Seguridad Pública del Estado y otras entidades competentes. Su correcta implementación resulta clave para zonas vulnerables como Cruz de Ventanas, donde la vegetación y las fuentes hídricas requieren medidas organizadas y eficaces de prevención, respuesta y recuperación ante incendios forestales. (Presidente de la República, 2019)

2.3.5. Ley forestal y de conservación de áreas naturales y vida silvestre

Art. 57. El Ministerio del Ambiente tiene la responsabilidad de implementar acciones preventivas y de control frente a amenazas que afecten a los ecosistemas forestales, como incendios, plagas, enfermedades u otros factores que deterioren la vegetación nativa. Esta función es clave en zonas como Cruz de Ventanas, donde los recursos naturales cumplen un rol estratégico en la regulación hídrica y la conservación de la biodiversidad, por lo que se vuelve indispensable fortalecer los mecanismos institucionales y comunitarios de respuesta ambiental. (Comisión de Legislación y Codificación, 2004)

Art. 58. La autoridad ambiental competente tiene entre sus responsabilidades el desarrollo de campañas educativas orientadas a la prevención y control de incendios forestales. Estas acciones deben ser implementadas a través de actividades formativas en instituciones educativas, como charlas, talleres, proyecciones audiovisuales y otros recursos

didácticos. En comunidades como Cruz de Ventanas, estas estrategias resultan fundamentales para generar conciencia ambiental desde edades tempranas, fortalecer el conocimiento sobre los riesgos asociados al uso inadecuado del fuego y fomentar prácticas de protección del entorno natural. (Comisión de Legislación y Codificación, 2004)

Art. 59. Las personas responsables de áreas forestales incluyendo propietarios, administradores, usuarios o quienes realicen actividades de aprovechamiento tienen la obligación de aplicar medidas adecuadas que permitan evitar o mitigar la ocurrencia de incendios, la propagación de plagas, enfermedades y cualquier otra amenaza que afecte negativamente a los ecosistemas boscosos. Esta responsabilidad cobra especial relevancia en territorios como Cruz de Ventanas, donde la cobertura vegetal cumple funciones esenciales en la conservación del recurso hídrico y en la estabilidad ambiental de la zona. (Comisión de Legislación y Codificación, 2004)

Art. 60. Como parte de las políticas de protección ambiental y rural, se prevé la inclusión del componente forestal dentro del esquema de seguro agropecuario. Esta cobertura está dirigida a respaldar a los propietarios de áreas forestales cultivadas tanto personas naturales como jurídica frente a diversos tipos de amenazas, como incendios, enfermedades, plagas u otros factores de riesgo. En comunidades como Cruz de Ventanas, donde existen zonas de vegetación estratégica y una reserva hídrica, este tipo de seguros constituye una herramienta clave para fomentar la resiliencia ambiental y económica ante eventos adversos que afectan los recursos naturales. (Comisión de Legislación y Codificación, 2004)

2.4. Marco Conceptual

Incendio forestal: Según la (Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, 2025) se llama incendio forestal a un tipo de fuego no controlado que se extiende de manera rápida en áreas rurales o naturales, y tiene un impacto en la vegetación circundante como árboles, arbustos, pastizales e incluso zonas agrícolas.

Quema agrícola: Según la (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2022) es una práctica utilizada para remover los restos de vegetación que quedan después de una cosecha, con el objetivo de controlar ciertas plagas, siendo comúnmente aplicada en cultivos como el de la caña de azúcar.

Manejo integral del fuego: Según (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2023) consiste en procesos formativos orientados a generar conciencia sobre el uso adecuado del fuego en áreas naturales, promoviendo prácticas responsables y sostenibles que eviten impactos negativos en el ambiente.

Propagación del fuego: Según (Puertas Asturmex, 2020) hace referencia al inicio y evolución de un incendio cuando se presentan simultáneamente cuatro elementos fundamentales: una fuente de calor, material combustible, presencia de oxígeno (comburente) y la continuidad de una reacción química en cadena.

Cortafuegos: Según (Azada Verde, 2025) son medidas preventivas utilizadas en el control de incendios forestales y quemas planificadas, que consisten en franjas o barreras colocadas en puntos estratégicos para detener o ralentizar el avance del fuego, al reducir o eliminar la vegetación inflamable en esas zonas.

Cobertura vegetal: Según (Touré, 2022) corresponde a la proporción del terreno que está ocupada por vegetación en un área específica, ya sea un distrito, parque o zona urbana. Considera la presencia de distintas especies vegetales como árboles, arbustos y hierbas. Este indicador es clave en estudios ambientales, ya que permite analizar la relación entre el uso del suelo y variables climáticas como la temperatura y la evapotranspiración.

Cambio de uso del suelo: Según (Upadhyay, 2014) implica modificaciones en la cobertura natural del terreno debido a intervenciones humanas, como la expansión agrícola, forestal o urbana. Estas transformaciones están determinadas por diversos factores sociales, económicos y ambientales que actúan a diferentes escalas.

Fragmentación del hábitat: Según (Coppini, 2019) Es el proceso mediante el cual una zona natural extensa se divide en partes más pequeñas y aisladas, lo que altera su estructura y funcionamiento. Esta fragmentación de hábitats o ecosistemas puede afectar negativamente su capacidad para mantener procesos ecológicos y dificultar el desarrollo de la biodiversidad.

Reforestación: Según (Comisión Nacional Forestal, 2010) consiste en un conjunto de acciones que integran la planificación, ejecución, monitoreo y evaluación de todos los procedimientos necesarios para el establecimiento y manejo de áreas con cobertura arbórea.

Restauración ecológica: Según (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible., 2025) en un conjunto de acciones que integran la planificación, ejecución, monitoreo y evaluación de todos los procedimientos necesarios para el establecimiento y manejo de áreas con cobertura arbórea.

Amenaza: Según (Departamento Administrativo de la Función Pública, 2012) puede definirse como la posibilidad constante de que ocurra un fenómeno físico, ya sea de origen natural o resultado de actividades humanas —intencionales o accidentales—, con un nivel de intensidad capaz de provocar muertes, afectaciones a la salud, lesiones, así como daños materiales, pérdidas en la infraestructura, impactos en los medios de vida, interrupciones en los servicios básicos y afectaciones al entorno natural.

Vulnerabilidad: Según (Departamento Administrativo de la Función Pública, 2012) se refiere al grado en que una comunidad puede verse impactada por un fenómeno peligroso, considerando su debilidad en aspectos físicos, económicos, sociales, ambientales o institucionales. Esta condición implica una mayor probabilidad de experimentar daños o pérdidas, tanto en las personas y sus formas de sustento, como en los sistemas que los rodean y que les brindan apoyo, como la infraestructura, la economía, las redes sociales y los recursos naturales.

Exposición: Según (Departamento Administrativo de la Función Pública, 2012) es el nivel de exposición que tiene una comunidad frente a un evento peligroso, teniendo en cuenta sus limitaciones o carencias en los ámbitos físico, económico, social, ambiental e institucional. Esta condición aumenta la posibilidad de que ocurran afectaciones o pérdidas, tanto en la población y sus medios de vida, como en los sistemas que respaldan su funcionamiento, incluyendo la infraestructura, el entorno natural, la economía y las redes de apoyo social.

Gestión de riesgos de desastres: Según (Departamento Administrativo de la Función Pública, 2012) se trata de un proceso social que abarca la planificación, implementación, monitoreo y evaluación constante de políticas y medidas orientadas a comprender el riesgo, fomentar una mayor conciencia sobre este, prevenir su aparición, minimizarlo o gestionarlo cuando ya está presente, y estar preparados para responder ante situaciones de desastre, así como para llevar a cabo la recuperación posterior, con la rehabilitación y la reconstrucción. Todas estas acciones buscan, de manera directa, proteger la vida, mejorar el bienestar y la calidad de vida de las personas, y promover un desarrollo sostenible.

Teledetección: Según (Instituto Geográfico Nacional, 2020) la teledetección consiste en obtener información sobre la superficie terrestre mediante sensores ubicados en satélites u otras plataformas espaciales. Esta tecnología se basa en la interacción de la energía electromagnética entre el suelo y el sensor, lo que produce datos que, una vez procesados, permiten generar información comprensible sobre las características y condiciones del planeta.

Imágenes satelitales: Según (Geosolutions Consulting, 2023) son imágenes satelitales son capturas visuales de la superficie terrestre obtenidas desde satélites artificiales en órbita. Este tipo de imágenes resulta valioso para analizar diversos aspectos como el clima, la cobertura vegetal, los niveles de contaminación, las formaciones geológicas, las

características del relieve y la organización del espacio urbano, entre muchas otras aplicaciones.

Bandas espectrales (infrarrojo cercano y medio): Según (Shen, 2020) es un tipo especializado de imagen espectral que captura una serie continua de bandas espectrales en cada píxel de una imagen, que proporciona información detallada sobre la composición del área representada

Fuego: “Es el fenómeno de combustión que se manifiesta mediante luz, llama y calor. O también es el período de actividad de llamas y combustión lenta”. (Carl H. Key & Nathan C. Benson, 2006, págs. 223-224)

Quema/Área Quemada: “Lesión, daño o efecto producido por el calentamiento. Los resultados de la combustión, también un área donde ha ocurrido un incendio en el pasado”. (Carl H. Key & Nathan C. Benson, 2006, págs. 223-224)

Intensidad: “La fuerza de un agente, o la cantidad de energía liberada. El nivel de calor producido por el fuego”. (Carl H. Key & Nathan C. Benson, 2006, págs. 223-224)

Severidad: “La cualidad o grado de afectación infligida por un agente. La magnitud del cambio ambiental causado por el fuego, o el nivel resultante de coste en términos socioeconómicos”. (Carl H. Key & Nathan C. Benson, 2006, págs. 223-224)

Intensidad Del Fuego:

Acordé a (Carl H. Key & Nathan C. Benson, 2006) la magnitud de calor producido por el fuego es una medida empírica que evalúa el estado del incendio durante la combustión. Comúnmente se define en referencia a la intensidad de la línea de fuego, que equivale a la producción de energía por longitud de frente de fuego por unidad de tiempo. Puede medirse mediante lecturas de termopares en series temporales, como en situaciones experimentales, o más comúnmente en incendios forestales, en proporción a la longitud de llama observada y la velocidad de propagación. La intensidad del

fuego puede dividirse en dos componentes térmicos: penetración descendente en el suelo y transferencia ascendente a la vegetación y la atmósfera. Estos dependen del tiempo residual de llama y son función de las características del combustible y las condiciones meteorológicas. (Carl H. Key & Nathan C. Benson, 2006, págs. 223-224)

Severidad De La Quema:

Según (Carl H. Key & Nathan C. Benson, 2006) el resultado del incendio es el efecto acumulativo posterior al hecho del fuego sobre el ecosistema. Los criterios ecológicos para juzgar la severidad de la quema difieren, naturalmente, hablamos de cambios físicos y químicos en el suelo, conversión de vegetación y combustibles a carbono inorgánico, y transformaciones estructurales o composicionales que generan nuevos microclimas y ensamblajes de especies. El alcance incluye todos los grados de efecto, y termina con el más extremo donde esencialmente todos los organismos sobre el suelo son eliminados, y la comunidad debe regenerarse desde "punto cero". (Carl H. Key & Nathan C. Benson, 2006, págs. 223-224)

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo de Investigación

La investigación mixta, es un enfoque metodológico que combina elementos tanto de la investigación cuantitativa y cualitativa en un mismo estudio.

Para el análisis del impacto de los incendios forestales en la cobertura vegetal se tiene una investigación Mixta la cual cuenta con un enfoque cuantitativo y cualitativo, produciendo así datos más precisos y ricos en información, mediante la multiplicidad de observaciones, ya que en esta investigación se considera diversas fuentes y tipos de datos.

En el enfoque cuantitativo nos permite medir variables específicas, como la extensión de áreas afectadas por los incendios forestales e inclusive la pérdida de cobertura vegetal producida por los mismos. Estos datos son fundamentales para establecer patrones y cuantificar los impactos observados.

El enfoque cualitativo, se centra en analizar el uso del suelo antes y después de los incendios. Esto implica una comparación entre los tipos de cobertura vegetal, actividades humanas.

3.2. Enfoque de la Investigación

En esta investigación se adopta un alcance descriptivo correspondiente a los incendios forestales.

La investigación descriptiva se enfoca en examinar y detallar las características o comportamientos de un fenómeno, grupo o situación, sin intervenir en sus variables, con el propósito de registrarlos y representarlos tal como ocurren en su contexto real.

Los incendios forestales representan una problemática significativa en la comunidad Cruz de Ventanas, parroquia Simiátug, ya que afectan de manera directa la cobertura vegetal, un componente crucial para la estabilidad ecológica y el equilibrio ambiental. Este fenómeno, caracterizado por la quema descontrolada de áreas naturales, genera la pérdida de flora nativa y altera los ciclos de regeneración del suelo y modifica los patrones de biodiversidad local.

Al analizar este contexto desde un enfoque descriptivo, es posible documentar la extensión de los incendios, las áreas más afectadas y los cambios en la composición y densidad de la vegetación, sin intervenir en las dinámicas de los elementos involucrados. De esta manera, se puede obtener información relevante para comprender el impacto ambiental de estos eventos y orientar futuras estrategias de conservación y manejo sostenible.

3.3. Métodos de Investigación

El método inductivo es el más adecuado para esta investigación, ya que parte de observaciones de fenómenos específicos para elaborar conclusiones generales. En este caso se analizarán distintos ejemplos de áreas afectadas por incendios forestales, a través de la recopilación y revisión de datos sobre estos eventos, se buscará identificar patrones y relaciones causales que expliquen cómo los incendios forestales contribuyen a la pérdida de cobertura vegetal y al cambio del uso del suelo.

3.4. Técnicas e Instrumentos de Recopilación de Datos

- **Recolección de datos en Google Engine:** Se utilizará esta herramienta debido a su capacidad para analizar imágenes satelitales de manera detallada y acceder a datos históricos y actuales sobre la cobertura vegetal y el uso de suelo
- **Comparación de imágenes satelitales:** permitirá observar los cambios en el territorio antes y después de los incendios forestales, indicando áreas quemadas, pérdida de cobertura vegetal.
- **Fuentes de investigación secundarias:** revisión de informes y bases de datos proporcionados por instituciones como el Cuerpo de Bomberos Guaranda, policía Nacional del Ecuador y la secretaria nacional de Gestión de Riesgos

3.5. Procesamiento de la Información

- **Objetivo 1.-** Para identificar las zonas con mayor susceptibilidad a incendios forestales, la información se procesó mediante la metodología multicriterio **pro-**

cálculo, basada en el método Analytic Hierarchy Process (AHP) de Saaty. Este procedimiento permitió asignar ponderaciones a cada criterio a través de una matriz de comparación por pares, definiendo su importancia relativa en el contexto territorial.

Las variables consideradas fueron:

- Susceptibilidad de la vegetación
- Precipitación
- Temperatura
- Pendiente
- Frecuencia histórica de incendios
- Accesibilidad

Estas variables se trabajaron en el software ArcGIS, para la variable susceptibilidad de la vegetación, previamente se obtuvo una imagen satelital **sentinel 2** obtenida de la web **copernicus browser**, con un máximo de cobertura nubosa de 30% y la capa **true color** (color verdadero) basada en las bandas **B4, B3 y B2**, correspondiente al mes de febrero del año 2025 de la zona de la comunidad Cruz de Ventanas de la parroquia Simiátug,

Para la variable vegetación, se trabajará con la imagen satelital previamente descrita, con la finalidad de elaborar un shapefile resultante del tipo de vegetación presente en la comunidad y su respectiva susceptibilidad a incendios.

Se elaboró un nuevo shapefile de puntos en el que se creó 6 grupos y cada grupo de puntos se le asignó un tipo de vegetación y que, en conjunto con la imagen satelital de alta resolución, se identificó los tipos de vegetación presente en la comunidad.

Se logró reconocer 5 tipos de vegetación, los cuales son:

- Bosque
- Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales
- Pastos limpios
- Herbazal
- Almohadilla

Una vez identificados los tipos de vegetación con un análisis propio de ArcGIS y con la herramienta de **ArcToolbox –Spatial Analyst Tools– Multivariate – Maximum likelihood Classification (clasificación supervisada)**.

Se asignaron los valores de acuerdo a cada tabla que nos proporciona la metodología Pro – cálculo: *Tipo de combustible, Duración del combustible y Carga total del combustible*.

La siguiente tabla se muestra los tipos de combustible predominante y la relación que estos poseen con el tipo de cobertura, para identificar los materiales que son susceptibles a incendios forestales.

Tabla 4

Tipo de cobertura / Tipo de combustible.

Tipo de cobertura (Corine Land Cover Nivel 3)	Tipo de combustible predominantes
Afloramientos rocosos	No combustibles
Bosque denso	Arbustos
Bosque fragmentado	Árboles
Bosque de galería y ripario	Árboles
Bosque denso	Árboles
Arbustal	Arbustos
Lagunas, lagos y ciénegas naturales	No combustibles

Tipo de cobertura (Corine Land Cover Nivel 3)	Tipo de combustible predominantes
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Pastos/hierbas
Mosaico de pastos con espacios naturales	Pastos/hierbas
Mosaico de pastos y cultivos	Pastos/hierbas
Mosaico de cultivos	Hierbas
Pastos enmalezados	Pastos
Pastos limpios	Pastos
Mosaico de pastos con espacios naturales	Pastos/hierbas
Herbazal	Hierbas
Zonas de glaciares y nivales	No combustibles

Nota. Datos tomados de la metodología pro-cálculo del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) del Ecuador.

Esta tabla asigna un valor o nivel de amenaza a cada tipo de combustible según su capacidad para arder y propagar el fuego.

Tabla 5

Tipo de combustible / Categoría de amenaza.

Tipo de combustible	Categoría de amenaza	Calificación
Árboles	Baja	2
Árboles y arbustos	Moderada	3
Arbustos	Alta	4
Hierbas	Alta	4
Patos / hierbas	Muy Alta	5
Pastos	Muy Alta	5

No combustibles	Muy Baja	1
Áreas urbanas	Muy Baja	1

Nota. Datos tomados de la metodología pro-cálculo del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) del Ecuador.

Esta tabla muestra la duración del combustible, un parámetro que indica el tiempo aproximado que tarda consumirse por las llamas un material vegetal.

Tabla 6

Tipo de cobertura / Duración de combustible.

Tipo de cobertura (Corine Land Cover Nivel 3)	Duración del combustible predominante
Afloramientos rocosos	No combustibles
Bosque denso	10 horas
Bosque fragmentado	100 horas
Bosque de galería y ripario	100 horas
Bosque denso	100 horas
Arbustal	100 horas
Lagunas, lagos y ciénegas naturales	No combustibles
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	1 hora
Mosaico de pastos con espacios naturales	1 hora
Mosaico de pastos y cultivos	1 hora
Mosaico de cultivos	10 horas
Pastos enmalezados	1 hora
Pastos limpios	1 hora
Mosaico de pastos con espacios naturales	1 hora
Herbazal	10 horas

Tipo de cobertura (Corine Land Cover Nivel 3)	Duración del combustible predominante
Zonas de glaciares y nivales	No combustibles

Nota. Datos tomados de la metodología pro-cálculo del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) del Ecuador.

Esta tabla clasifica la duración del combustible según el nivel de amenaza que representa frente a un incendio.

Tabla 7

Duración de combustible / Categoría Amenaza

Duración de los combustibles	Categoría de amenaza	Calificación
No combustibles	Muy baja	1
Áreas urbanas	Muy baja	1
100 horas (Predominio de árboles)	Baja	2
10 horas (Predominio de arbustos y hierbas)	Moderada	3
1 hora (predominio de pastos)	Alta	4

Nota. Datos tomados de la metodología pro-cálculo del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) del Ecuador.

Esta tabla relaciona la carga total de biomasa disponible como combustible.

Tabla 8*Tipo de cobertura / Carga total*

Tipo de cobertura (corine Land Cover Nivel 3)	Carga total (biomasa) de combustibles
Afloramientos rocosos	No combustibles
Bosque denso	Moderada (50-100 ton/ha)
Bosque fragmentado	Muy alta (más de 100 ton/ha)
Bosque de galería y ripario	Muy alta (más de 100 ton/ha)
Bosque denso	Muy alta (más de 100 ton/ha)
Arbustal	Muy alta (más de 100 ton/ha)
Lagunas, lagos y ciénegas naturales	No combustibles
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Moderada (50-100 ton/ha)
Mosaico de pastos con espacios naturales	Moderada (50-100 ton/ha)
Mosaico de pastos y cultivos	Moderada (50-100 ton/ha)
Mosaico de cultivos	Baja (1-50 ton/ha)
Pastos enmalezados	Baja (1-50 ton/ha)
Pastos limpios	Baja (1-50 ton/ha)
Mosaico de pastos con espacios naturales	Moderada (50-100 ton/ha)
Herbazal	Baja (1-50 ton/ha)
Zonas de glaciares y nivales	No combustibles

Nota. Datos tomados de la metodología pro-cálculo del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) del Ecuador.

La tabla asigna un nivel de amenaza según la carga total de combustibles, que corresponde a la cantidad de biomasa disponible para arder en un área.

Tabla 9

Carga total / Categoría de amenaza

Carga total de combustibles	Categoría de amenaza	Calificación
No combustibles	Muy baja	1
Áreas urbanas (menos de 1 ton/ha)	Muy baja	1
Baja (1-50 ton/ha)	Baja	2
Moderada (50-100 ton/ha)	Moderada	3
Muy alta (más de 100 ton/ha)	Alta	4

Nota. Datos tomados de la metodología pro-cálculo del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) del Ecuador.

3.5.1. Adaptaciones de la metodología multicriterio para la evaluación de incendios forestales en la zona de estudio

Se elaboro nuevas tablas acorde a los tipos de vegetación identificada anteriormente, con la diferencia que, se agregó al tipo de cobertura una nueva categoría **almohadilla**, ya que este tipo de vegetación no viene por defecto en las tablas de la metodología Pro – cálculo. Se le asigna el tipo de **arbustos con gran densidad de agua** y una calificación de 3 correspondiente a un tipo de combustible inflamable moderado, gracias a la gran cantidad de agua que posee en su interior que evita que se consuma por completo.

Tabla 10*Adaptación de la metodología multicriterio / Tipo de combustible predominante*

Tipo de cobertura (corine land cover nivel 3)	Tipo de combustible predominantes	Calificación
Bosque fragmentado y arbustal	Árboles y arbustos	3
Almohadilla	Arbustos con gran densidad de agua	3
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Pastos y hierbas	5
Pastos limpios	Pastos	5
Herbazal	Hierbas	4
Afloramiento rocoso	No combustibles	1

Nota. Datos tomados de la metodología pro-cálculo del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) del Ecuador.

La adaptación de esta tabla resume, el parámetro duración del combustible según las coberturas vegetales presentes en la zona de estudio. A partir de la caracterización local de la vegetación, se asignó a cada tipo de cobertura el tiempo de respuesta del combustible

Tabla 11*Adaptación de la metodología multicriterio / Duración del combustible predominante*

Tipo de cobertura (Corine Land Cover Nivel 3)	Duración del combustible predominante	Calificación
Bosque fragmentado y arbustal	100 horas	2

Tipo de cobertura (Corine Land Cover Nivel 3)	Duración del combustible predominante	Calificación
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	1 hora	4
Pastos limpios	1 hora	4
Herbazal	10 horas	3
Almohadilla	10 horas	3
Afloramiento rocoso	No combustible	1

Nota. Datos tomados de la metodología pro-cálculo del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) del Ecuador.

Esta tabla representa la carga total de combustibles ajustada a las condiciones reales de la zona de estudio, se estimó la cantidad de biomasa disponible y se le asignó una calificación que refleja su potencial para alimentar un incendio forestal.

Tabla 12

Adaptación de la metodología multicriterio / Carga Total de Combustible

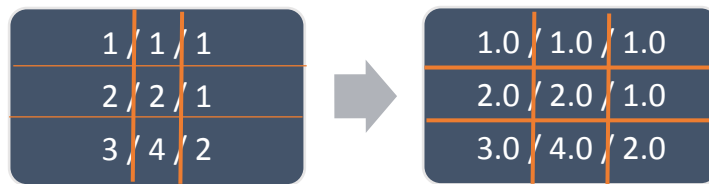
Tipo de cobertura (corine land cover nivel 3)	Carga total (biomasa) de combustibles	Calificación
Bosque fragmentado y arbustal	Muy alta (más de 100 ton/ha)	4
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Moderada (50-100 ton/ha)	3
Almohadilla	Baja (1-50 ton/ha)	2
Pastos limpios	Baja (1-50 ton/ha)	2
Herbazal	Baja (1-50 ton/ha)	2

Afloramiento rocoso	No combustible	1
---------------------	----------------	---

Nota. Datos tomados de la metodología pro-cálculo del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) del Ecuador.

Una vez obtenidos los 3 ráster de tipo, duración y carga, se procedió a hacerlos flotantes que convierte el valor de cada celda de un ráster en una representación con punto flotante.

Ejemplo:



con en la herramienta de ArcGIS – Map Algebra: **float(*ráster*)**.

Para normalizar las variables se ejecutará las funciones trigonométricas COS y SEN, la función cos se usa con los valores de calificación de mayor a menor de 5 a 1 y el sen con los valores de menor a mayor de 1 a 5.

Se Normalizo el ráster flotante, con la finalidad de aumentar el contraste, permitiendo identificar mejor las características del ráster, se aplicó la función trigonométrica **SEN** para los 3 ráster; tipo, duración y carga.

Aplicamos la fórmula:

$$\text{Sen } ((3.1416 / 2) * ((\text{“flotante de la variable”} - \# \text{ menor}) / (\# \text{ mayor} - \# \text{ menor})))$$

Posteriormente y luego de normalizar el tipo, duración y carga del combustible, se sumó:

TC(Tipo de combustible) + **DC**(Duración del combustible) + **CC**(Carga del combustible), para obtener la variable Susceptibilidad de la Vegetación.

$$\text{SUSC} = (\text{N TC} + \text{N DC} + \text{N CC}) / 3$$

Los datos de precipitación media anual para la comunidad Cruz de Ventanas se obtuvieron del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador **INAMHI**, el proceso de convertir un shapefile a ráster se ejecuta dentro del entorno del Sistema de

Información Geográfica **SIG**, implica definir la capa vectorial de entrada y seleccionar en este caso la fila de calificación que previamente se agregó como un nuevo campo tomando en cuenta los valores de la tabla para la precipitación anual de la metodología Pro - cálculo, con el ráster resultante y con la herramienta ráster calculator se flota el ráster, posteriormente, se aplicó la función trigonométrica **COS** utilizando la calculadora ráster o álgebra de mapas y finalmente para normalizar, este paso es esencial para eliminar el sesgo que podrían generar el uso directo de unidades dispares, este nuevo ráster flotante empleando una fórmula restando el ráster con su valor mínimo y dividiendo por la resta del valor máximo y mínimo del ráster.

Fórmula: $\text{Cos}((3.1416/2) * ((\text{"precipitación_flo"} - 4) / (5 - 4)))$

En la tabla se clasifica la precipitación media anual en rangos y se relaciona cada uno con una calificación.

Tabla 13

Tabla de calificación para la variable precipitación

Precipitación media anual (mm)	Categoría de amenaza	Calificación
Árido (0-500)	Muy baja	1
Pluvial (>7000)	Muy baja	1
Muy húmedo (3000-7000)	Moderada	2
Húmedo (2000-3000)	Moderada	3
Seco (1000-2000)	Alta	4
Muy seco (500-1000)	Muy alta	5

Nota. Datos tomados de la metodología pro-cálculo del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) del Ecuador.

Con los datos de la temperatura obtenidos de igual forma del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador **INAMHI**, para la comunidad Cruz de Ventanas, se

procedió de la misma manera que la variable precipitación, se convirtió de shapefile a ráster utilizando el campo o fila **calificación**, se aplicó la función trigonométrica **SEN**, que toma cada pixel de la variable y calcula el seno de su valor, finalmente se aplicó la fórmula para la normalización de la variable.

$$\text{Fórmula: } \text{Sen} \left(\left(\frac{3.1416}{2} \right) * \left(\frac{\text{“temperatura_flo”} - 1}{5 - 1} \right) \right)$$

Tabla 14

Tabla de Calificación para la variable Temperatura

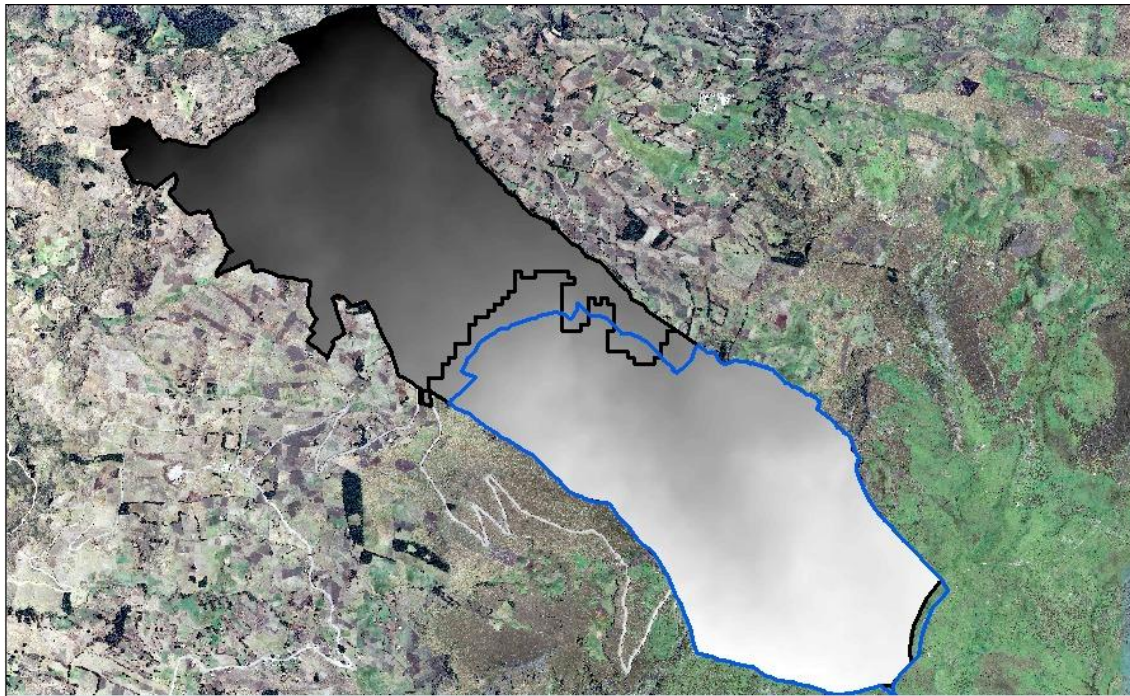
Temperatura media anual (°c)	Categoría de amenaza	Calificación
Nival (<1.5)	Muy baja	1
Extremadamente frío (1.5 - 6)	Muy baja	1
Muy frío (6 -12)	Moderada	2
Frío (12 -18)	Moderada	3
Templado (18 -24)	Alta	4
Cálido (>24)	Muy alta	5

Nota. Datos tomados de la metodología pro-cálculo del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) del Ecuador.

Para elaborar la variable pendiente se descargaron Modelos digitales de elevación **DEM** con una resolución de 12,5 metros y una corrección radiométrica, con el sistema de coordenadas **WGS_1984_UTM_ZONE_17S**, el archivo se obtuvo de la plataforma **Alos Palsar**, el **Palsar – 2**, a bordo del **Alos – 2** un satélite japonés de observación de la tierra lanzado el año 2014, que utiliza un radar de apertura sintética **SAR** de banda L para mapear la superficie del planeta.

Ilustración 4

DEM Comunidad Cruz de Ventanas



Nota. Elaborado por : Magarizca, C. y Tufiño, D., 2025

Tabla 15

Tabla Pendiente/ Categoría de Amenaza

Pendiente media (%)	Categoría de amenaza	Calificación
0 – 7%	Muy Baja	1
7% – 12%	Baja	2
12% – 25%	Moderada	3
25% – 75%	Alta	4
>75%	Muy Alta	5

Nota. Datos tomados de la metodología pro-cálculo del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) del Ecuador.

Para obtener el mapa de pendientes, se cargó el **dem** en ArcGIS y se ejecutaron los siguientes pasos; **arctoolbox – spatial analyst tools – surface – slope**, para luego, aplicar un álgebra de mapas con la función **SEN**.

Fórmula: Sen ((3.1416/2) * ((“pendiente_flo” – 1) / (5 – 1)))

La frecuencia histórica de incendios estos datos encontrados resultaron ser inconsistentes y desactualizados en cuanto a datos geoespaciales se refieren a geoportales, por lo tanto, dicha información es extraída del portal **NASA FIRMS** que utiliza un mapa interactivo que usa sensores como VIIRS y MODIS, sensores de detección remota a bordo de satélites de la **NASA** y la **NOAA**, El sensor VIIRS a bordo del satélite **Suomi National Polar- orbiting Partnership** ofrece una mejor resolución espacial de 375 metros que sirve para la detección de incendios activos, en cambio, el sensor MODIS a bordo del satélite Terra y Aqua de la NASA, pasa por el Ecuador en la mañana y proporciona datos matutinos con una resolución espacial de 1km.

La obtención de un polígono de los incendios forestales registrados en un período de 4 años y medio (2021-2022-2023-2024 y los primeros trimestres del año 2025) se llevó a cabo a partir de los datos satelitales de puntos de calor (hotspots) proporcionados por la plataforma NASA FIRMS (Fire Information for Resource Management System). El polígono, fueron descargados en formato shapefile y posteriormente procesados en ArcGIS. Para delimitar dentro de la zona de estudio las áreas afectadas para lo cual se aplicó la densidad de Kernel y la conversión de puntos a polígonos, lo cual permitió identificar los lugares con mayor recurrencia de incendios.

Al ser un shapefile se procedió a elaborar la densidad de Kernel que es una técnica de análisis espacial que sirve principalmente para determinar la concentración o densidad de un conjunto de datos, entidades o puntos. El resultado es un ráster continuo que representa la

distribución de la densidad. Se realizó el flotante de la densidad con el ráster y posteriormente se normaliza con **SEN**.

$$\text{Fórmula : Sen}((3.1416/2) * ((\text{“densidad_flo”} - 0) / (185,354 - 0)))$$

En la variable accesibilidad, la red de vías de la comunidad Cruz de Ventanas se basa en 2 tipos, caminos mantenidos para la circulación vehicular y caminos para el paso de personas o peatones con un total de 18.57km de vías, esta información se obtuvo del Geoportal **Sig tierras**, se considera las vías que están fuera de esta zona ya que, solo una pequeña parte de la vía de circulación vehicular está dentro de la zona de estudio, siendo insuficiente para elaborar el mapa, por lo tanto se elabora un buffer de 5km alrededor de la comunidad Cruz de ventanas, luego se hace un Clip de las vías con el buffer.

Con las vías a 5km de la comunidad, mediante la ejecución de la distancia euclidiana se obtuvo el ráster **“vías en distancia euclidiana”**, se aplica el flotante y se normaliza con **COS**, de acuerdo a la tabla 16 de “distancia a la vía (Grosor del buffer en m)” que nos proporciona la metodología Pro – cálculo.

Tabla 16

Tabla de calificación para la variable accesibilidad

Distancia a la vía (Grosor del buffer en m)	Categoría de amenaza	Calificación
0 – 500	Muy alta	5
500 - 1000	Alta	4
1000 – 1500	Moderada	3
1500 – 2000	Baja	2
Mas de 2000	Muy baja	1

Nota. Datos tomados de la metodología pro-cálculo del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) del Ecuador.

Fórmula: $\text{Cos} \left(\frac{3.1416}{2} * \left(\frac{\text{“vias_flo”} - 0}{2.217,648926 - 0} \right) \right)$

Mediante la aplicación de una fórmula en donde se suman todas las variables con sus respectivos pesos, se obtiene el mapa de mapa de la susceptibilidad a incendios de la comunidad Cruz de Ventanas.

Tabla 17

Justificación de valores para la susceptibilidad a incendios forestales

Variable	Valor	Justificación
Susceptibilidad de la vegetación	0,25	Al presentarse como la principal fuente de combustible, el tipo, la cantidad y el estado de la vegetación, en este caso al ser tipos de vegetación de páramo, estos van desde pajonal, herbazal, pastos y arbustos. Siendo estos más susceptibles a incendios ya que en la época de verano o sequía, la cantidad de humedad que contienen se reduce drásticamente.
Precipitación	0,20	Cruz de Ventanas al ubicarse en una zona cercana al páramo centro ecuatoriano, la precipitación en época seca se presenta como; Nubosidades, Llovizna, Brizna y en época de invierno con grandes a medianas precipitaciones, ocasionando que la vegetación como la almohadilla almacene la humedad suficiente para sobrevivir el verano.
Temperatura	0,10	El clima frío predominante en Cruz de Ventanas, al no alcanzar temperaturas con niveles críticos no

Variable	Valor	Justificación
		favorece la ignición espontánea o la evaporación de la humedad en la vegetación.
Pendiente	0,15	Las pendientes elevadas favorecen negativamente a que la propagación del fuego sea acelerada cuesta arriba, el pajonal que se encuentra en esta zona de ladera se vería altamente consumida.
Frecuencia	0,15	Debido a las acciones humanas o ambientales el historial de incendios en Cruz de Ventanas indica una mayor probabilidad de recurrencia, debido a que el medio de vida en la zona es generalmente la agricultura y ganadería, haciendo que, eliminen partes de la vegetación con la ignición de fuegos que en su mayoría no son controlados.
Accesibilidad	0,15	Cuando hay una mayor cantidad de vías cercanas a una zona, se aumenta el riesgo de que haya más acciones humanas que puedan causar incendios u otros eventos que dificulten o impidan el acceso a dicha zona.

Para el cálculo de la amenaza por incendio forestal se utilizó la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned}
 \text{Amenaza incendio forestal} = & \text{ (“Susceptibilidad de la vegetación” * 0,25) + } \\
 & \text{ (“Precipitación” * 0,20) + (“Temperatura” * 0,10) + (“Pendiente” * 0,15) + } \\
 & \text{ (“Frecuencia” * 0,15) + (“Accesibilidad” * 0,15)}
 \end{aligned}$$

Nota. Fórmula tomada de la metodología pro-cálculo del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) del Ecuador

Esta fórmula permite combinar los diferentes factores que influyen en la amenaza de incendios forestales, asignando a cada uno un peso de ponderación determinado mediante el método de análisis jerárquico de Saaty, el cual establece la importancia relativa de cada variable con base en criterios comparativos.

La integración de las capas se realizó mediante álgebra de mapas, lo que permitió generar un mapa sintético de susceptibilidad. Dicho mapa fue **reclasificado en cinco categorías de riesgo: muy bajo, bajo, moderado, alto y muy alto**, lo que facilita su interpretación.

- **Objetivo 2.-** Para el cumplimiento del segundo objetivo se trabajó en la plataforma Google Earth Engine (GEE) empleando imágenes satelitales con una escala 1:50.000 a 30 metros del sensor Landsat 8 (Colección 2, Nivel 2). Se establecieron dos períodos de análisis (pre y post incendio) que permitieron comparar la cobertura antes y después del evento. Previamente, las imágenes fueron sometidas a un proceso de enmascaramiento de nubes y cirros, con el fin de asegurar la calidad espectral de los datos.

La línea de código “var qa = image.select('QA_PIXEL');”, usa la banda de calidad de landsat 8 que contiene la información y satos sobre las nubes sus sombras y cirros, todo en formato de bits.

Ilustración 5

Funciones para procesamiento de imágenes (Enmascaramiento de nubes).

```
// =====  
// FUNCIONES PARA PREPROCESAMIENTO DE IMÁGENES  
// =====  
function maskL8Clouds(image) {  
  var opticalBands = image.select('SR_B.').multiply(0.0000275).add(-0.2);  
  var thermalBands = image.select('ST_B.*').multiply(0.00341802).add(149.0);  
  var qa = image.select('QA_PIXEL');  
  var cloudMask = qa.bitwiseAnd(1 << 3).eq(0);  
  var cirrusMask = qa.bitwiseAnd(1 << 4).eq(0);  
  return image.addBands(opticalBands, null, true)  
    .addBands(thermalBands, null, true)  
    .updateMask(cloudMask.and(cirrusMask));  
}
```

Nota. Elaborado por: Magarizca, C. y Tufiño, D., 2025

Posteriormente, se calculó el (NBR) a partir de las bandas 5 (infrarrojo cercano) y 7 (infrarrojo medio), lo que permitió resaltar la vegetación afectada. A partir de ello, se generó el dNBR (diferencia del NBR entre fechas), que facilitó la identificación de áreas quemadas y su clasificación en distintos niveles de severidad (sin cambio, baja, moderada, alta y muy alta).

En este fragmento de código se calcula los índices de severidad con las bandas 5 y 7, tanto de la imagen del antes del incendio forestal y de la imagen después del incendio.

Ilustración 6

Cálculo de índices de severidad.

```
// =====  
// CÁLCULO DE ÍNDICES DE SEVERIDAD  
// =====  
function calcularNBR_L8(image) {  
  var nbr = image.normalizedDifference(['SR_B5', 'SR_B7']).rename('NBR');  
  return image.addBands(nbr);  
}  
  
function calcularDNBR(preImg, postImg) {  
  var preNBR = calcularNBR_L8(preImg).select('NBR');  
  var postNBR = calcularNBR_L8(postImg).select('NBR');  
  var dnbr = preNBR.subtract(postNBR).rename('dNBR');  
  var severidad = ee.Image(0)  
    .where(dnbr.lt(0.1), 0)  
    .where(dnbr.gte(0.1).and(dnbr.lt(0.27)), 1)  
    .where(dnbr.gte(0.27).and(dnbr.lt(0.44)), 2)  
    .where(dnbr.gte(0.44).and(dnbr.lt(0.66)), 3)  
    .where(dnbr.gte(0.66), 4)  
    .rename('severidad');  
  return severidad;  
}
```

Con el uso de funciones automatizadas en JavaScript, se obtuvieron imágenes compuestas para cada periodo y se delimitó el territorio de estudio a través de un shapefile cargado como asset.

La clasificación de severidad fue visualizada mediante una paleta de colores (verde a rojo oscuro), complementada con una tabla interactiva que calculó las superficies afectadas en hectáreas para cada categoría, y una leyenda de apoyo que permitió una interpretación clara de los resultados.

Ilustración 7

Accesibilidad del shapefile al código y delimitación de la zona de estudio

```
// Cargar un shapefile subido como asset
var shape = ee.FeatureCollection("projects/crisfoox/assets/Territorio_Cruz_de_Ventanas");

// Centrar el mapa en el shape
Map.centerObject(shape, 10);

// Estilo: solo contorno negro, sin relleno
var estiloContorno = {
  color: 'black',
  fillColor: '00000000', // transparencia total en relleno (RGBA: 00 = 0%)
  width: 2 //
};

// Agregar el shape
Map.addLayer(shape.style(estiloContorno), {}, 'Contorno Negro');
```

- **Objetivo 3.-** Se centró en el análisis de los resultados obtenidos en los dos primeros objetivos, con el fin de proponer medidas de mitigación frente a los incendios forestales en la comunidad Cruz de Ventanas. Con base al cruce de información de los objetivos, se elaboró una matriz de estrategias estructurales y no estructurales, enmarcadas en la normativa vigente y adaptadas al contexto local, lo que facilitó la definición de acciones prácticas como la creación de cortafuegos, programas de capacitación comunitaria y propuestas de ordenanzas parroquiales orientadas a la prevención y gestión del riesgo.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS POR OBJETIVOS

4.1. Resultados del Objetivo 1:

Determinar la susceptibilidad a incendios forestales en la comunidad Cruz de Ventanas, parroquia Simiátug, cantón Guaranda mediante un análisis multicriterio

El mapa 1 muestra la localización del área de estudio en la comunidad Cruz de Ventanas, situada a una altitud aproximada de 3.300 msnm dentro de la meseta andina, perteneciente a la parroquia Simiátug, cantón Guaranda, provincia de Bolívar. En el mapa se representa el polígono de análisis, el cual corresponde a una delimitación oficial con una extensión cercana a 381 hectáreas. Asimismo, se identifica dentro de este perímetro la zona de conservación hídrica, que abarca aproximadamente 198 hectáreas de la superficie total. La información espacial presentada fue definida con base en cartografía oficial.

Mapa 1

Ubicación Comunidad Cruz De Ventanas



Nota. Elaborado por: Magarizca, C. y Tufiño, D., 2025

4.1.1. Variable “Susceptibilidad de la vegetación”

Mediante la aplicación de una clasificación supervisada se logró realizar un mapa detallado de los tipos de vegetación presentes en la zona, identificándose **seis** tipos.

Tipos de cobertura vegetal de la zona

Consumibles

- Bosque
- Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales
- Pastos limpios

- Herbazal
- Almohadilla

No consumibles

- Afloramiento rocoso

La tabla 18 expone la distribución espacial de la cobertura vegetal presente en el área de estudio. Donde se aprecia mayor ocupación en zonas con mezcla de cultivos, pasturas y áreas naturales, así como en pastos limpios; en proporciones menores se registran herbazales, áreas boscosas, afloramientos rocosos y vegetación tipo almohadilla. En conjunto, estas coberturas conforman aproximadamente 381 hectáreas, correspondientes a la superficie total analizada.

Tabla 18

Hectáreas por tipo de cobertura vegetal de la comunidad Cruz de Ventanas

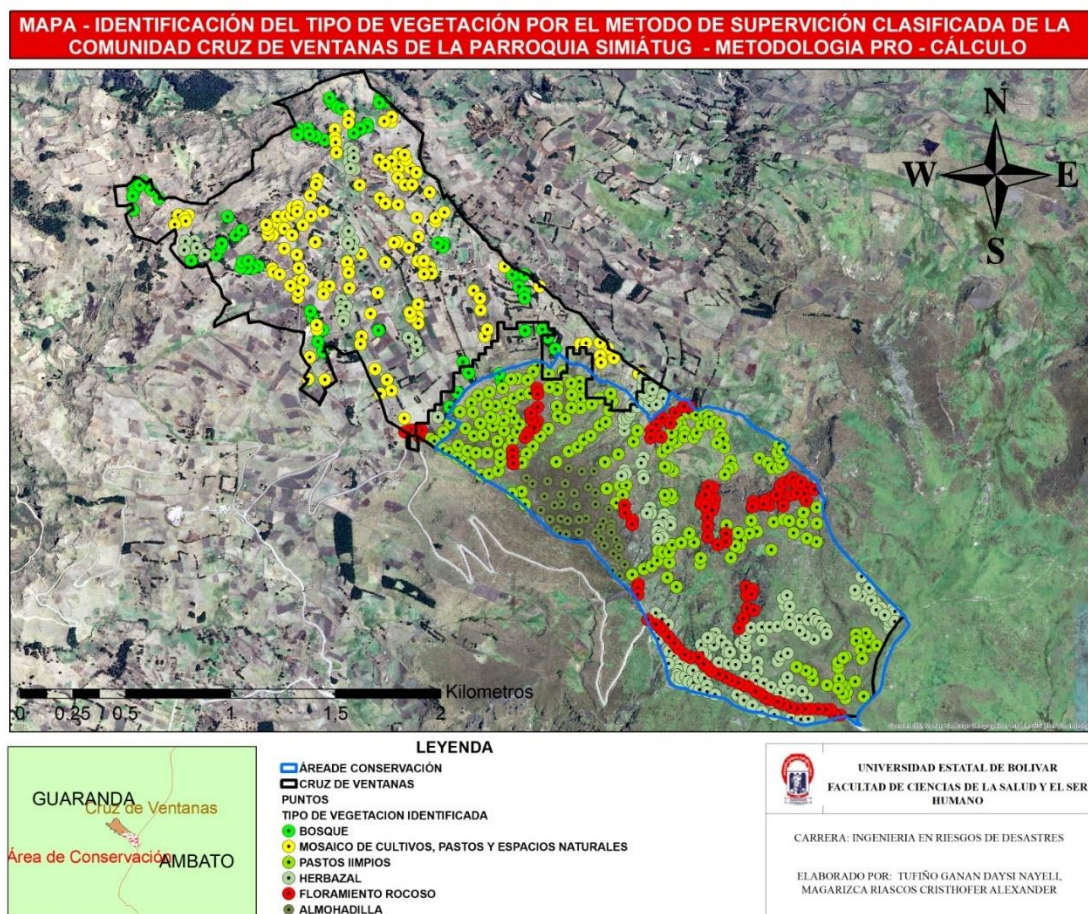
Tipo de cobertura	Hectáreas	Porcentaje
Bosque	41,67 ha	10,94%
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	103,16 ha	27,09%
Pastos limpios	101,62 ha	26,68%
Herbazal	68,93 ha	18,10%
Almohadilla	21,32 ha	5,60%
Afloramiento rocoso	44,09 ha	11,58 %
Total, hectáreas	380,83013 ha	100%

Nota. Elaborado por: Magarizca, C. y Tufiño, D., 2025

El mapa 2 presenta la distribución espacial de los distintos tipos de vegetación dentro de la comunidad Cruz de Ventanas. En él se diferencian las principales coberturas presentes en el área de estudio como bosques, herbazales, pastizales, mosaicos de uso agropecuario y formaciones naturales específicas permitiendo reconocer su localización y extensión relativa dentro del polígono analizado. Este insumo cartográfico sirve como base para posteriores evaluaciones.

Mapa 2

Mapa identificación del tipo de vegetación de la Comunidad Cruz de Ventanas

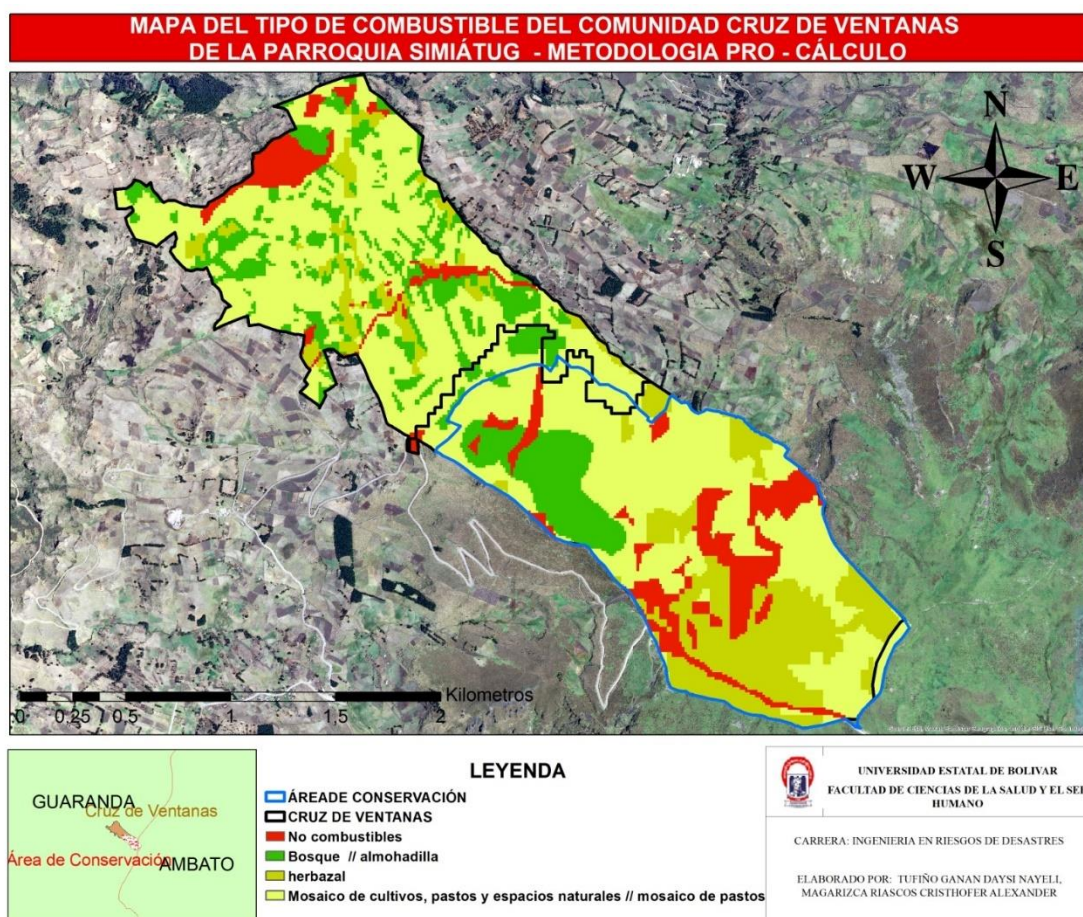


Nota. Elaborado por: Magarizca, C. y Tufiño, D., 2025

El mapa 3 representa la clasificación del territorio según el tipo de combustible vegetal presente en la comunidad Cruz de Ventanas. Se distinguen áreas sin material combustible, así como sectores con bosque o vegetación tipo almohadilla, zonas dominadas por herbazales y superficies con uso mixto agropecuario y pastos limpios. Esta diferenciación permite reconocer qué porciones del área presentan mayor disponibilidad de biomasa susceptible de arder ante un evento de incendio.

Mapa 3

Tipo de Combustible de la Comunidad Cruz de Ventanas



Nota. Elaborado por: Magarizca, C. y Tufiño, D., 2025

La tabla 19 resume la proporción de superficie ocupada por cada tipo de combustible vegetal en el área de estudio. Se observa que más de la mitad del territorio corresponde a zonas con usos agropecuarios y pastos limpios, lo que representa la categoría de mayor

disponibilidad de biomasa para la propagación del fuego. En menor medida se registran herbazales y formaciones boscosas o de almohadilla, mientras que una fracción reducida del polígono no posee material combustible. La suma de todas las clases equivale a la totalidad del área analizada, cercana a las 381 hectáreas.

Tabla 19

Hectáreas por tipo de combustible de la Comunidad Cruz de Ventanas

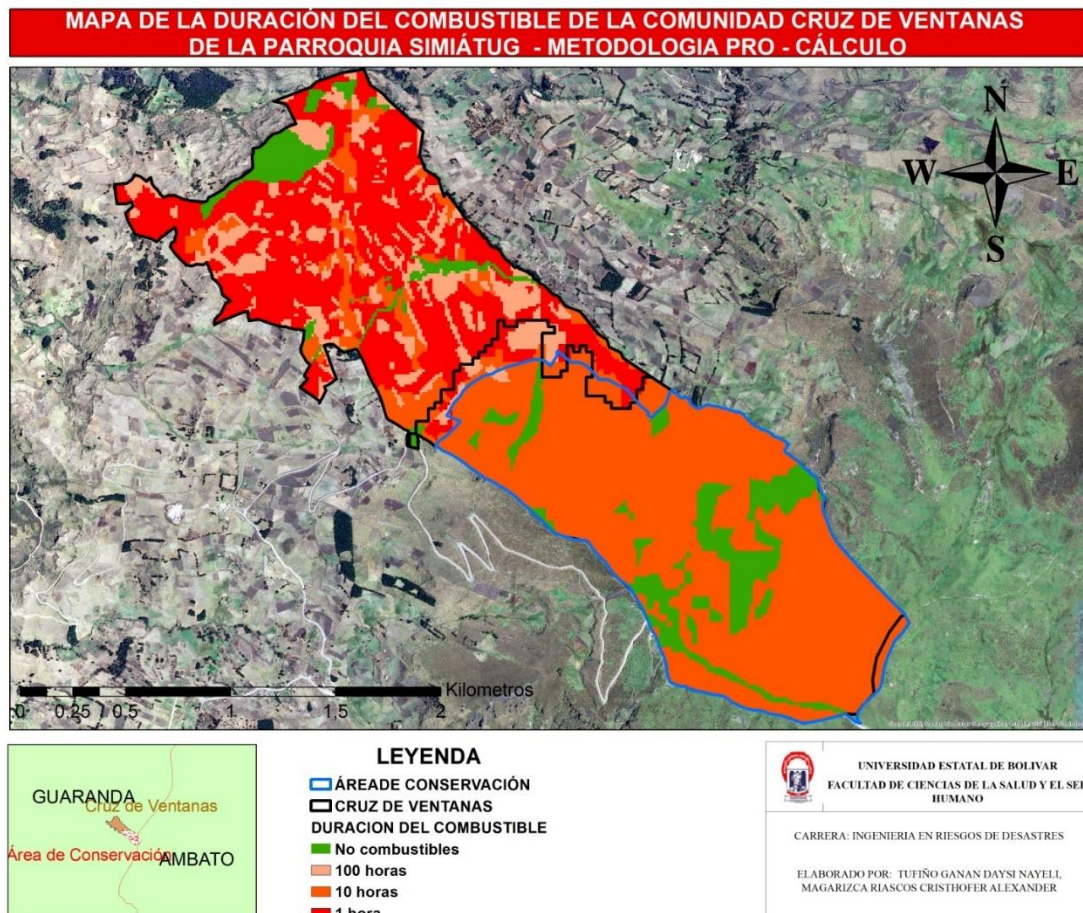
Tipo de combustible	Hectáreas	Porcentaje
No combustible	44,03 ha	11,58%
Bosque / almohadilla	63,30 ha	16,64%
Herbazal	68,70 ha	18,06%
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales / pastos limpios	204,45 ha	53,73%
Total, hectáreas	380,4912 ha	100 %

Nota. Elaborado por: Magarizca, C. y Tufiño, D., 2025

El mapa 4 representa la clasificación del territorio de la comunidad Cruz de Ventanas en función del tiempo de permanencia del combustible disponible para arder. Se diferencian áreas sin material combustible y zonas con combustibles de corta, media y mayor duración, identificadas en categorías aproximadas de 1, 10 y 100 horas, respectivamente. Esta representación permite ubicar espacialmente qué sectores conservan biomasa capaz de mantener el fuego por distintos lapsos, información clave para estimar la continuidad y el comportamiento potencial de un incendio.

Mapa 4

Duración del Combustible de la Comunidad Cruz de Ventanas



Nota. Elaborado por: Magarizca, C. y Tufiño, D., 2025

La tabla 20 muestra la proporción del área evaluada según la duración estimada del combustible presente en la comunidad Cruz de Ventanas. La mayor parte del territorio corresponde a combustibles de 10 horas, seguidos por sectores con combustibles de 1 hora. En menor medida se registran superficies con combustibles de mayor duración (100 horas) y zonas carentes de material combustible. La suma de todas las categorías equivale a aproximadamente 381 hectáreas, correspondientes a la totalidad del polígono analizado.

Tabla 20*Hectáreas por duración del combustible de la Comunidad Cruz de Ventanas*

Duración del combustible	Hectáreas	Porcentaje
No combustibles	44,03 ha	11,58%
100 horas	41,88 ha	11,01%
10 horas	191,60 ha	50,36%
1 hora	102,96 ha	27,06%
Total, hectáreas	380,4912 ha	100%

Nota. Elaborado por: Magarizca, C. y Tufiño, D., 2025

El mapa 5 muestra la distribución espacial de la carga de combustibles en la zona de estudio, clasificada según su cantidad de biomasa disponible por hectárea. La carga de combustible representa la cantidad de material vegetal combustible, como hojarasca, arbustos, pastos y árboles, que puede influir directamente en la intensidad y propagación de un incendio forestal.

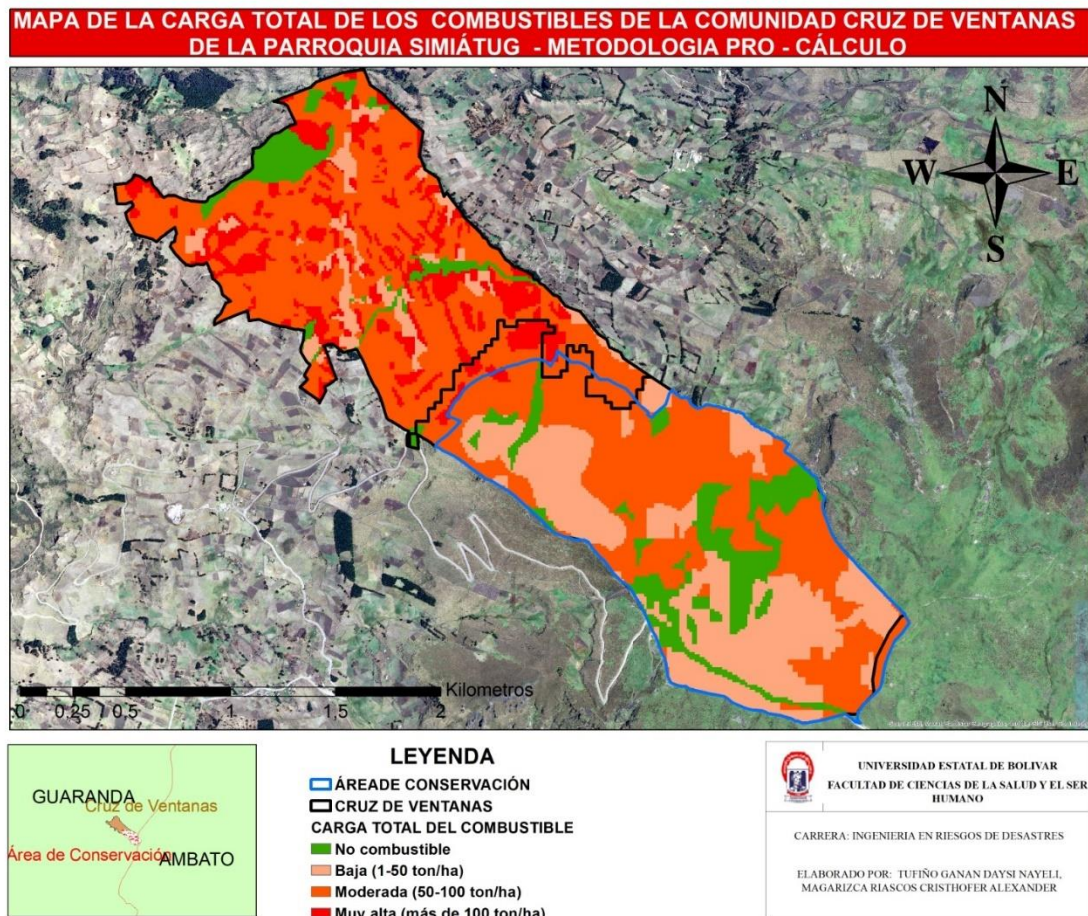
Las categorías del mapa son las siguientes:

- No combustibles: Áreas donde no se registra biomasa susceptible de arder, como cuerpos de agua, zonas urbanas o áreas con vegetación muy escasa. Estas zonas actúan como barreras naturales que dificultan la propagación del fuego.
- Baja (1 – 50 ton/ha): Sectores con una carga ligera de vegetación, donde la probabilidad de propagación rápida del fuego es menor y la intensidad del incendio sería limitada.
- Moderada (50 – 100 ton/ha): Áreas con suficiente biomasa para que un incendio se mantenga y se propague de manera sostenida, presentando un riesgo medio de afectación a la vegetación y estructuras cercanas.

- Muy alta (más de 100 ton/ha): Zonas con gran acumulación de combustible, como bosques densos o plantaciones, donde el fuego puede desarrollarse con gran intensidad y velocidad, representando un riesgo alto para la seguridad ambiental y humana.

Mapa 5

Carga Total de los Combustibles de la Comunidad Cruz de Ventanas



Nota. Elaborado por: Magarizca, C. y Tufiño, D., 2025

La tabla 21 muestra la distribución del área evaluada según la carga total de combustibles en la zona de estudio. La mayor parte del territorio corresponde a áreas con carga moderada con 205,37 ha, seguidas por sectores con carga con 89,89 ha. En menor medida se registran superficies con carga muy alta 40,96 ha y zonas sin combustibles. La

suma de todas las categorías equivale a aproximadamente 380,49 hectáreas, correspondientes a la totalidad del polígono analizado.

Tabla 21

Hectáreas por carga total de los combustibles de la Comunidad Cruz de Ventanas

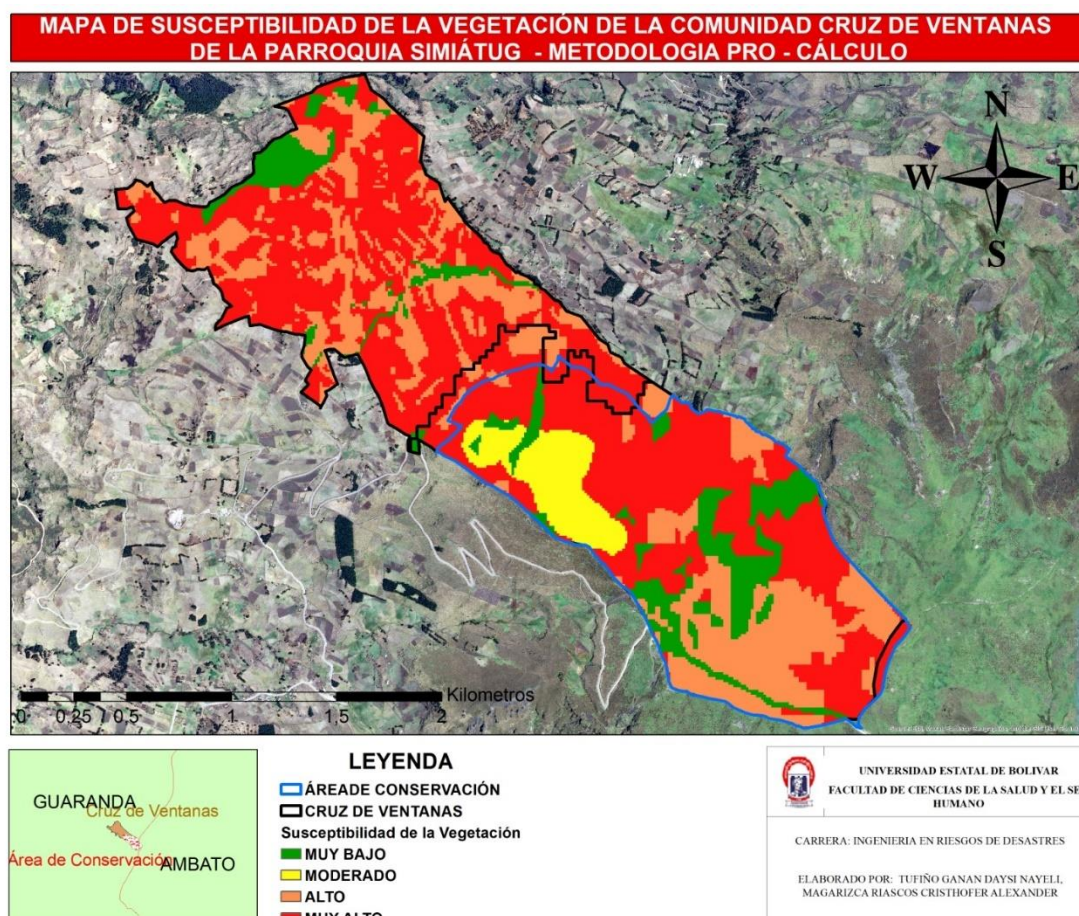
Carga total de los combustibles	Hectáreas	Porcentaje
No combustibles	43,84 ha	11,52%
Baja (1 – 50 ton/ha)	89,89 ha	23,63%
Moderada (50 – 100 ton/ha)	205,37 ha	53,98%
Muy alta (más de 100 ton/ha)	40,96 ha	10,77%
Total, hectáreas	380,4912 ha	100%

Nota. Elaborado por: Magarizca, C. y Tufiño, D., 2025

El mapa 6 representa la clasificación del territorio de la comunidad Cruz de Ventanas según la susceptibilidad de la vegetación al fuego. Se diferencian áreas con riesgo muy bajo, bajo, moderado, alto y muy alto, lo que refleja la capacidad de la vegetación de favorecer la propagación de un incendio. Esta representación permite identificar espacialmente los sectores más vulnerables y aquellos con menor riesgo, información clave para estimar el comportamiento potencial del fuego y planificar estrategias de prevención y manejo de incendios.

Mapa 6

Susceptibilidad Vegetación de la Comunidad Cruz de Ventanas



Nota1. Elaborado por: Magarizca, C. y Tufiño, D., 2025

Nota2. Se asignó una calificación del 1 a 5 dependiendo del tipo, duración y carga predominante y la categoría de la amenaza (muy baja 1, baja 2, moderada 3, alta 4 y muy alta 5).

La tabla 22 muestra la distribución del área de la comunidad Cruz de Ventanas según la susceptibilidad de la vegetación al fuego. La mayor parte del territorio se encuentra en la categoría muy alta (53,73 %), seguida por áreas con susceptibilidad alta (29,07 %). En menor medida se registran sectores con susceptibilidad baja (11,58 %) y moderada (5,63 %), mientras que no se identifican áreas con susceptibilidad muy baja. La suma de todas las

categorías equivale a aproximadamente 381 hectáreas, correspondientes a la totalidad del polígono analizado.

Tabla 22

Hectáreas por susceptibilidad de la vegetación de la Comunidad Cruz de Ventanas

Susceptibilidad de la vegetación	Hectáreas	Porcentaje
Muy bajo	0 ha	0 %
Bajo	44,03 ha	11,58%
Moderado	21,41 ha	5.63%
Alto	110,59 ha	29,07%
Muy alto	204,45 ha	53,73%
Total, hectáreas	380,4912 ha	100%

Nota. Elaborado por: Magarizca, C. y Tufiño, D., 2025

En la comunidad Cruz de Ventanas, la cobertura vegetal está compuesta principalmente por pajonales, almohadillas y matorrales, lo que facilita la propagación del fuego durante las temporadas secas o de verano. Aunque el área mantiene niveles de humedad relativamente altos y precipitaciones frecuentes, las variaciones estacionales provocan que la vegetación se reseque temporalmente, lo que reduce la humedad del combustible natural y aumenta la susceptibilidad a los incendios forestales.

4.1.2. Variable “Precipitación”

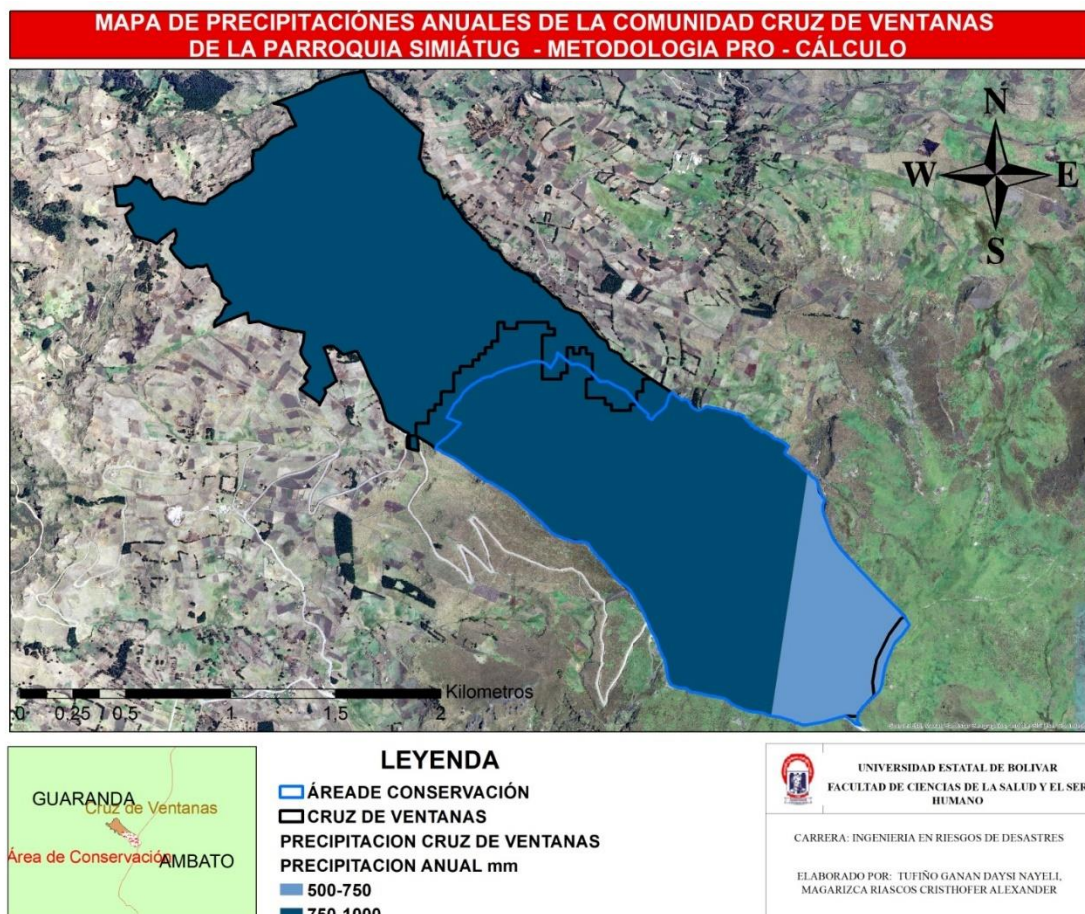
En el análisis de la precipitación media anual, se elaboró un mapa temático que permitió identificar la distribución de la precipitación en la zona de estudio. Para su representación, se asignaron valores, donde los sectores con registros entre 500 y 750 mm/año obtuvieron un valor de 5, y aquellos comprendidos entre 750 y 1000 mm/año un

valor de 4. Esta clasificación evidenció una variabilidad pluviométrica moderada, en la que las áreas con menor precipitación presentan mayor susceptibilidad a la propagación de incendios forestales, mientras que las zonas con mayores niveles de lluvia mantienen una mayor humedad ambiental y, por ende, menor riesgo de ignición.

El mapa 7 de precipitaciones anuales de la comunidad Cruz de Ventanas, muestra la distribución espacial de la lluvia en milímetros durante un año. En él se observan dos rangos principales de precipitación: de 500 a 750 mm y de 750 a 1000 mm, representados con tonalidades de azul. Las zonas con mayor precipitación se ubican hacia el norte y centro del área, lo que indica una influencia de factores orográficos y climáticos locales.

Mapa 7

Mapa precipitación de la Comunidad Cruz de Ventanas



Nota. Elaborado por: Magarizca, C. y Tufiño, D., 2025

4.1.3. Variable “Temperatura”

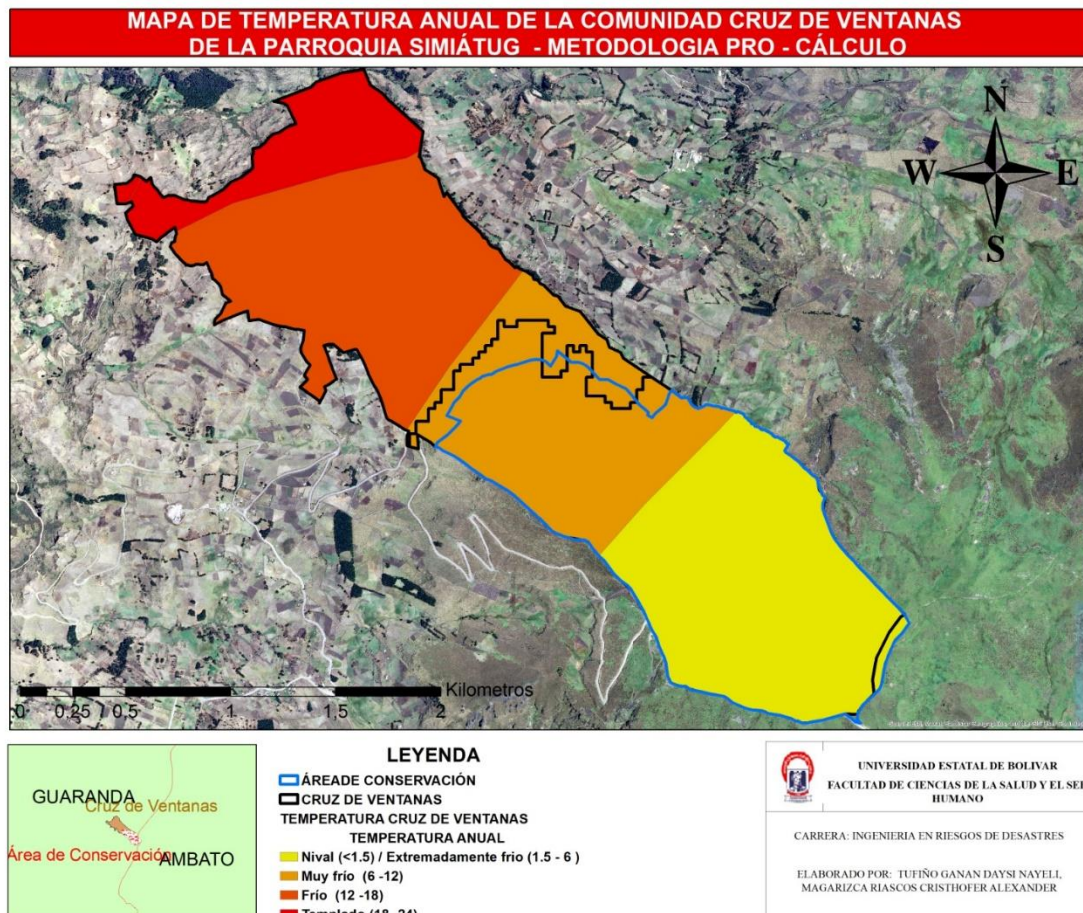
En el análisis de la temperatura media anual, se elaboró un mapa temático que permitió identificar la distribución de la temperatura dentro de la comunidad Cruz de Ventanas. Los valores se clasificaron según su influencia en la susceptibilidad a incendios forestales, y se asignó categorías de la siguiente manera: nival ($<1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$) / extremadamente frío ($1.5\text{--}6\text{ }^{\circ}\text{C}$), muy frío ($6\text{--}12\text{ }^{\circ}\text{C}$), frío ($12\text{--}18\text{ }^{\circ}\text{C}$) y templado ($18\text{--}24\text{ }^{\circ}\text{C}$).

El resultado evidencia que la mayor parte del territorio presenta condiciones frías a templadas, donde las temperaturas más elevadas incrementan la disponibilidad y sequedad del combustible vegetal, lo que favorece la propagación del fuego. En contraste, las áreas más frías mantienen mayor humedad ambiental, reduciendo el riesgo de ignición.

El mapa 8 de temperatura anual de la comunidad Cruz de Ventanas refleja la variación térmica promedio en el territorio, clasificada en diferentes rangos que van desde “nival o extremadamente frío” hasta “templado”. Las zonas del norte presentan temperaturas más bajas, mientras que hacia el sur se registran condiciones más templadas, evidenciando un gradiente térmico influenciado por la altitud.

Mapa 8

Mapa de la temperatura de la Comunidad Cruz de Ventanas



Nota. Elaborado por: Magarizca, C. y Tufiño, D., 2025

4.1.4. Variable “Pendiente”

En el análisis de la pendiente del terreno, se generó un mapa temático que permitió representar la variación topográfica de la comunidad Cruz de Ventanas. Para su clasificación, se establecieron los siguientes rangos de inclinación: muy baja (0–7%), baja (7–12%), moderada (12–25%) y alta (25–75%).

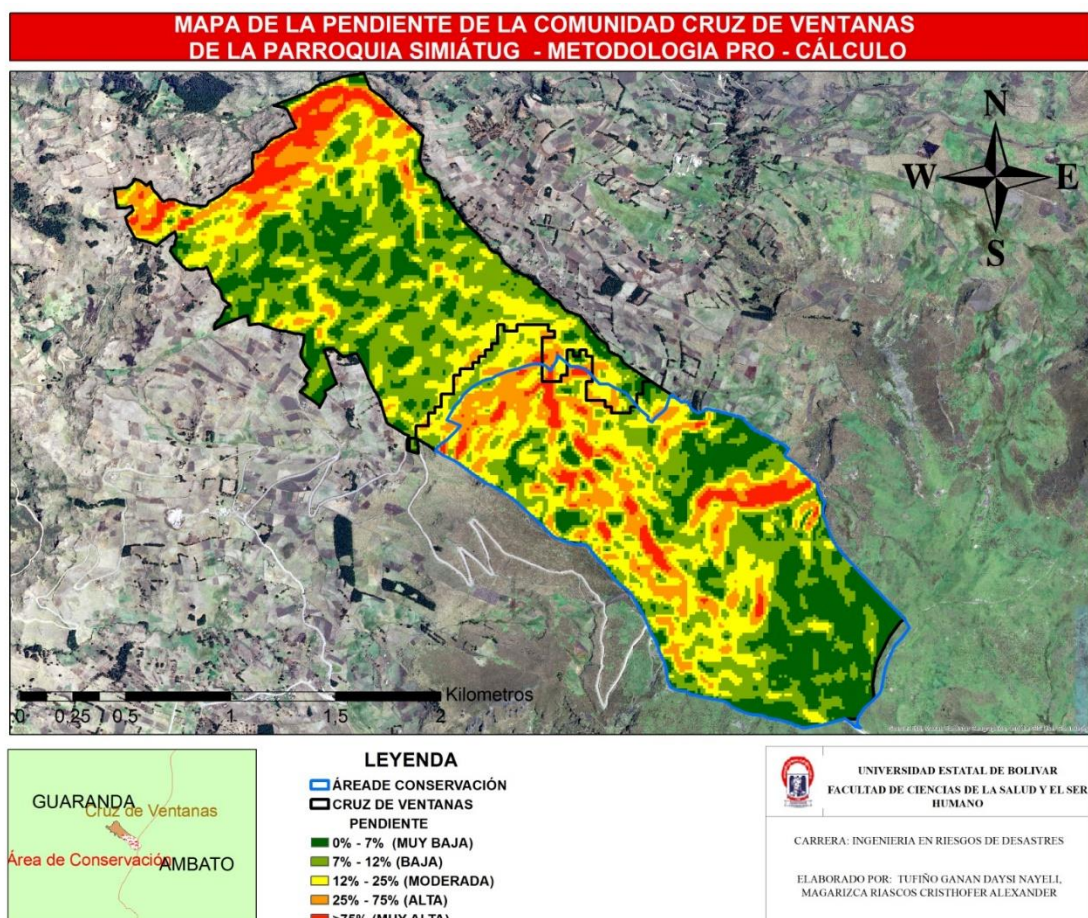
Los resultados muestran que gran parte del territorio presenta pendientes moderadas a altas, lo que favorece la propagación del fuego, ya que las llamas tienden a desplazarse con mayor rapidez en terrenos inclinados y dificultan las labores de control. En cambio, las zonas

con pendientes bajas o muy bajas presentan menor susceptibilidad, debido a que el fuego se propaga de manera más lenta y con menor intensidad.

El mapa de pendiente de la comunidad Cruz de Ventanas, ubicada en la parroquia Simiátug, muestra la variación del relieve en función del grado de inclinación del terreno. Se identifican cinco rangos de pendiente: muy baja (0–7%), baja (7–12%), moderada (12–25%), alta (25–75%) y muy alta (>75%), representados con una escala de colores desde el verde hasta el rojo intenso. Las zonas con pendientes altas y muy altas se concentran principalmente en el norte y suroeste del área de estudio, mientras que las pendientes más suaves se localizan hacia el centro y sur.

Mapa 9

Mapa de la pendiente – DEM de la Comunidad Cruz de Ventanas



Nota. Elaborado por: Magarizca, C. y Tufiño, D., 2025

La tabla 23 muestra la distribución del área de la comunidad Cruz de Ventanas según el porcentaje de pendiente del terreno. La mayor parte del territorio presenta pendientes bajas (7%–12 %) con 31,82 %, seguida por áreas de pendiente muy baja (0%–7 %) con 24,35 % y pendientes moderadas (12%–25 %) con 23,80 %. En menor proporción se encuentran sectores con pendientes altas (25%–75 %) y muy altas (>75 %) con 14 % y 5,51 %, respectivamente. La suma de todas las categorías equivale a 380,49 hectáreas, correspondientes a la totalidad del polígono analizado, información útil para evaluar la influencia del relieve en la propagación de incendios y la vulnerabilidad del terreno.

Tabla 23

Hectáreas por pendiente de la Comunidad Cruz de Ventanas

Pendiente	Porcentaje de pendiente	Hectáreas	Porcentaje
Muy baja	0% - 7 %	92,65 ha	24,35 %
Baja	7% - 12%	121,09 ha	31,82 %
Moderada	12% -25%	90,56 ha	23,80 %
Alta	25% - 75%	53,28 ha	14 %
Muy alta	>75%	30,95 ha	5,51 %
Total		380,49 ha	100 %

Nota. Elaborado por: Magarizca, C. y Tufiño, D., 2025

4.1.5. Variable “Frecuencia”

El mapa 10 de densidad de incendios de la comunidad Cruz de Ventanas, muestra la distribución espacial de las áreas afectadas por incendios forestales. Las zonas con mayor densidad de incendios se representan en color naranja, concentrándose principalmente en la parte central y norte de la comunidad, mientras que las áreas con menor o nula ocurrencia se localizan en las periferias y en las zonas cercanas al área de conservación hídrica, indicadas

en azul. Este patrón evidencia que la susceptibilidad al fuego es mayor en áreas con cobertura vegetal dominante de pajonales, matorrales y zonas de actividad humana, mientras que las áreas protegidas o de conservación presentan menor riesgo de propagación.

Mapa 10

Mapa Densidad de la Comunidad Cruz de Ventanas



Nota. Elaborado por: Magarizca, C. y Tufiño, D., 2025

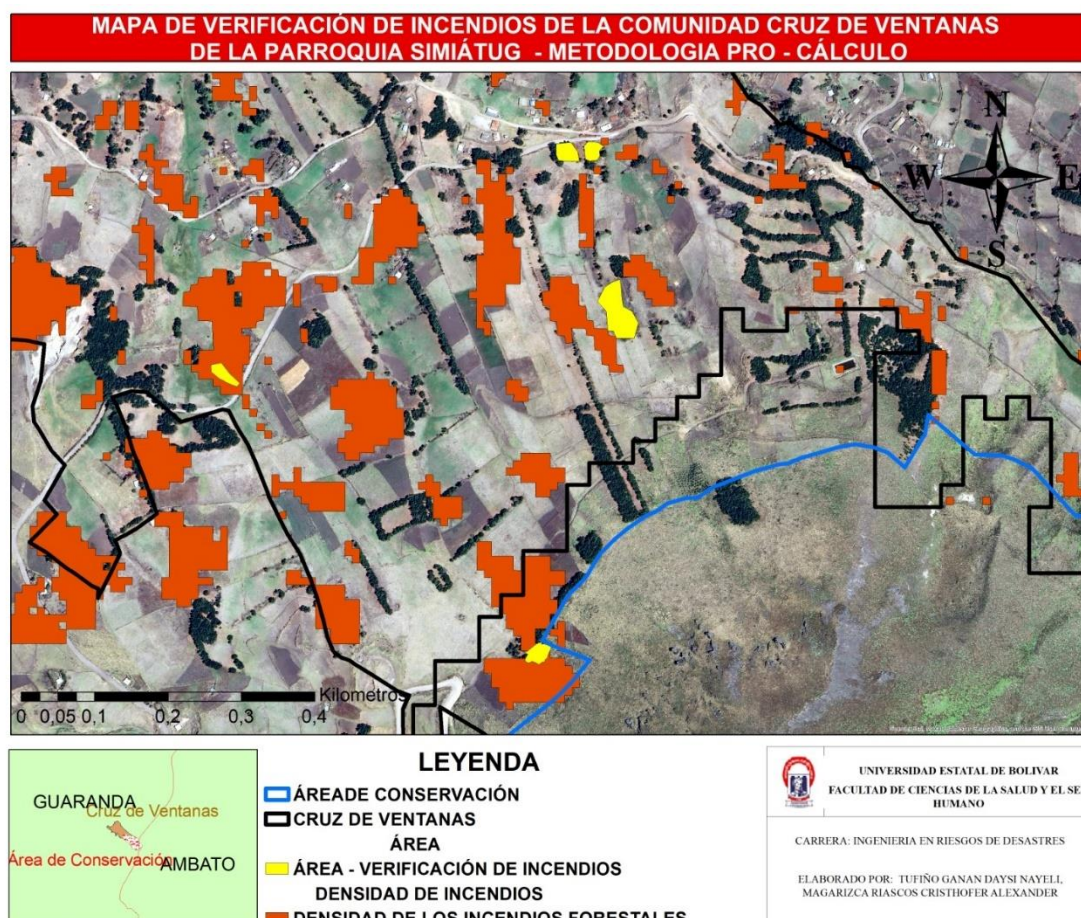
4.1.5.1. Verificación de incendios

En el mapa 11 se muestra la verificación de incendios ocurridos en el área de estudio, donde se contrasta la información satelital con la validación realizada en campo. Las zonas marcadas en amarillo representan los polígonos confirmados como áreas afectadas por incendios forestales.

Esta verificación permitió asegurar la precisión de los datos obtenidos mediante NASA-FIRMS.

Mapa 11

Verificación de incendios en el área de estudio de la Comunidad Cruz de Ventanas



Nota. Elaborado por: Magarizca, C. y Tufiño, D., 2025

En la tabla 24 se presenta la caracterización de los incendios forestales identificados en la comunidad Cruz de Ventanas de la parroquia Simiátug. Los polígonos fueron identificados y confirmados mediante las inspecciones de campo, lo cual ayudó a tener una precisión espacial de estos eventos.

Las coordenadas corresponden al centro de cada polígono afectado y al área aproximada de afectación en metros cuadrados (m^2). Para la identificación de la cobertura vegetal se aplicaron técnicas de clasificación supervisada y no supervisada en el software ArcGIS.

Caracterización de incendios verificados:

Tabla 24

Caracterización de incendios verificados de la Comunidad Cruz de Ventanas

Nº de polígono	Coordenadas	Áreas (M ²)	Cobertura vegetal
0	- 729942,843 N	711m ²	Bosque
	- 9856288,392 E		
1	- 729513,978 N	573m ²	Herbazal
	- 9856668,935 E		
2	- 729983,112 N	683m ²	Bosque
	- 9856971,959 E		
3	- 730016,334 N	523m ²	Bosque
	- 9856973,973 E		
4	- 730051,57 N	2451m ²	Bosque y Mosaico de cultivos
	- 9856751,486 E		

Nota. Elaborado por: Magarizca, C. y Tufiño, D., 2025

4.1.6. Variable “Accesibilidad”

La tabla 25 clasifica el territorio según la distancia a la vía principal para estimar el nivel de amenaza asociado a la accesibilidad humana, de acuerdo con la metodología pro-cálculo. Las áreas ubicadas entre 0–500 m y 500–1000 m se consideran de amenaza muy alta y alta por la mayor probabilidad de ignición por actividades humanas. Conforme aumenta la distancia (1000–1500 m y 1500–2000 m), la amenaza disminuye a niveles moderados y bajos. Las zonas ubicadas a más de 2000 m se clasifican con amenaza muy baja, indicando menor presión antrópica. La calificación asignada a cada rango se utiliza como ponderación dentro del análisis de amenaza de incendios.

Tabla 25

Tabla de calificación para la variable accesibilidad de la Comunidad Cruz de Ventanas

Distancia a la vía (grosor del buffer en m)	Categoría de amenaza	Calificación
0 – 500	Muy Alta	5
500 - 1000	Alta	5
1000 – 1500	Moderada	3
1500 – 2000	Baja	2
Mas de 2000	Muy Baja	1

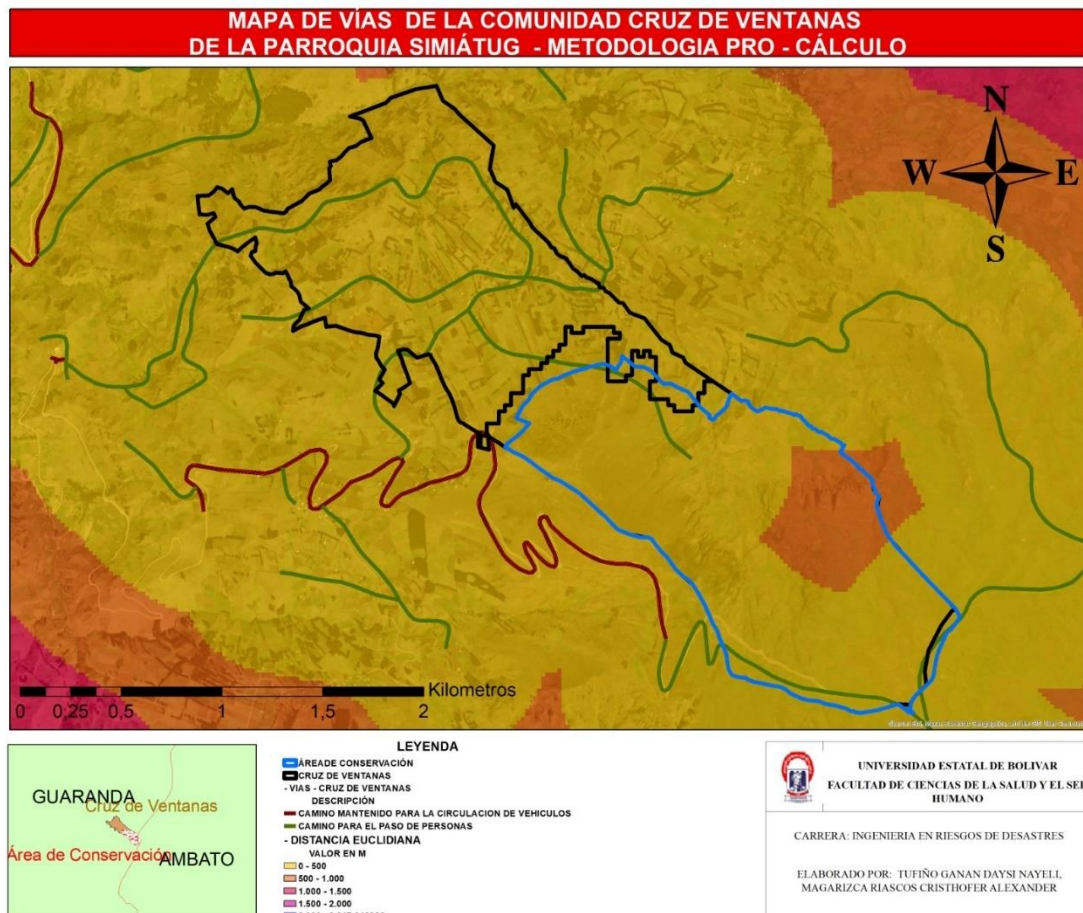
Nota. Datos tomados de la metodología pro-cálculo del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) del Ecuador.

El mapa 12 representa la red vial de la comunidad Cruz de Ventanas, generada mediante la Metodología Pro – Cálculo para analizar la conectividad y accesibilidad dentro del territorio. En él se destacan los trazos verdes que corresponden a caminos mantenidos y transitables por vehículos, mientras que los tramos en color rojo representan rutas de acceso restringido o de tránsito peatonal.

Además, se incorpora un análisis de distancia expresado en un gradiente de colores que va del amarillo al rojo, lo que indica la proximidad a las vías principales. Las zonas en tonos amarillos representan sectores con alta accesibilidad (distancia menor a 500 m), mientras que los tonos anaranjados y rojizos marcan áreas con mayor dificultad de acceso (distancias mayores a 1.500 m). estos resultados permiten identificar los sectores que presentan condiciones favorables para la intervención rápida en caso de emergencia, así como aquellos que podrían enfrentar retrasos por limitaciones en la infraestructura vial.

Mapa 12

Mapa De Vías de la Comunidad Cruz de Ventanas



Nota. Elaborado por: Magarizca, C. y Tufiño, D., 2025

4.1.7. Mapa de susceptibilidad a incendios de la Comunidad Cruz de Ventanas de la parroquia Simiátug

Los resultados muestran una distribución geográfica marcada hacia niveles altos y muy altos de susceptibilidad en la parte norte y noroeste de la comunidad, representados en tonos rojos y anaranjados. Estas zonas presentan cobertura vegetal de tipo herbácea y pastizales secos, una radiación solar media y temperaturas medias superiores a las del resto del sector, además, de una frecuencia recurrente de incendios registrados en años anteriores. La presencia de pendientes pronunciadas también contribuye al incremento del riesgo, ya que favorece la rápida propagación del fuego. En contraste, la parte sur y sureste del área de

estudio exhibe valores moderados a bajos, influenciados por una mayor humedad del suelo, vegetación más densa y menor intervención antrópica. Dentro del área de conservación (delimitada en azul), predominan las categorías baja y moderada de susceptibilidad, lo que se asocia a un manejo más controlado del territorio y a la ausencia de quemas agrícolas.

Luego de procesar todas las variables se ejecuta la fórmula de la metodología pro-cálculo del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. Con la herramienta Ráster Calculator – Algebra de mapas, se agrega las variables previamente normalizadas multiplicadas con su respectivo peso.

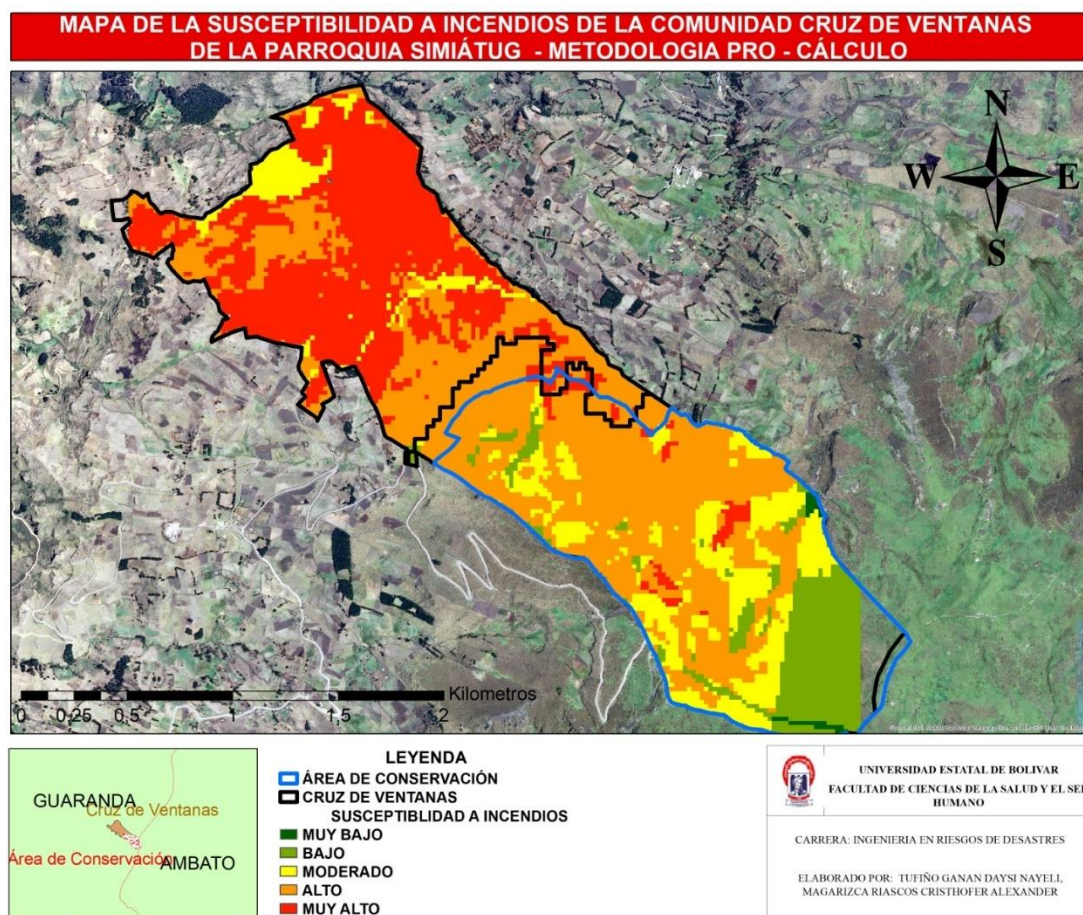
$$\begin{aligned} \text{Amenaza incendio forestal} = & \text{ (“Susceptibilidad de la vegetación” * 0,25) +} \\ & \text{ (“Precipitación” * 0,20) + (“Temperatura” * 0,10) + (“Pendiente” * 0,15) +} \\ & \text{ (“Frecuencia” * 0,15) + (“Accesibilidad” * 0,15)} \end{aligned}$$

Nota. Fórmula tomada de la metodología pro-cálculo del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) del Ecuador

El mapa 13 representa la distribución espacial de la susceptibilidad a incendios en la comunidad Cruz de Ventanas, clasificada mediante la metodología PRO-cálculo del MAATE. Se distinguen cinco niveles de susceptibilidad: muy bajo, bajo, moderado, alto y muy alto. Visualmente se observa que gran parte del territorio se encuentra en las categorías alta y muy alta, lo que indica amplias áreas con condiciones que favorecen la ignición y propagación del fuego. Las zonas con susceptibilidad moderada, baja o muy baja son menos extensas y se distribuyen principalmente en sectores puntuales del polígono analizado. Esta representación cartográfica permite identificar los sectores de mayor riesgo para priorizar acciones de prevención, manejo y planificación territorial frente a incendios forestales.

Mapa 13

Mapa de susceptibilidad a incendios de la Comunidad Cruz de Ventanas



Nota. Elaborado por: Magarizca, C. y Tufiño, D., 2025

La tabla 26 presenta la distribución del territorio según los niveles de susceptibilidad al fuego en la comunidad Cruz de Ventanas. Se observa que la mayor parte del área se clasifica con susceptibilidad alta (43,42 %), seguida por zonas con susceptibilidad muy alta (28,42 %) y moderada (14,47 %), lo que evidencia una amplia extensión con condiciones favorables para la propagación del fuego. En menor proporción se registran superficies con susceptibilidad baja (9,47 %) y un porcentaje mínimo clasificado como muy bajo (0,26 %).

Tabla 26

Tabla de hectáreas por niveles de susceptibilidad a incendios de la Comunidad Cruz de Ventanas

Niveles de susceptibilidad	Hectáreas	Porcentaje
Muy Bajo	1	0,26 %
Bajo	36	9,47%
Moderado	55	14,47%
Alto	165	43,42%
Muy Alto	108	28,42%

Nota. Elaborado por: Magarizca, C. y Tufiño, D., 2025

4.2. Resultados del Objetivo 2:

Evaluar el impacto de los incendios forestales la comunidad Cruz de Ventanas, parroquia Simiátug, cantón Guaranda, considerando la pérdida de cobertura vegetal y la afectación en el uso de suelo

4.2.1. Código para evaluar el impacto de los incendios forestales en la comunidad Cruz de Ventanas con el uso de la herramienta Google Earth Engine

El análisis con Landsat 8 logró identificar y medir las superficies afectadas por incendios forestales, y clasificó los daños en cinco grados de severidad. Los hallazgos validan el empleo del índice dNBR para estimar los efectos del fuego a nivel local.

El fragmento de código 4 se encarga de obtener y procesar imágenes satelitales previas y posteriores al incendio desde Landsat 8 en Google Earth Engine. Se filtran por área y fecha, se aplica una máscara para eliminar nubes, se genera una composición por mediana y luego se recortan al área de estudio, verificando que las bandas necesarias estén disponibles para continuar con el análisis.

Ilustración 8

Fragmento de Código 4

```
// =====  
// OBTENCIÓN Y PROCESAMIENTO DE IMÁGENES  
// =====  
  
// PRE Y POST INCENDIO (LANDSAT 8)  
var l8Pre = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C02/T1_L2')  
  .filterBounds(geometry)  
  .filterDate(preFechaInicio, preFechaFin)  
  .map(maskL8Clouds)  
  .median()  
  .clip(geometry);  
  
var l8Post = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C02/T1_L2')  
  .filterBounds(geometry)  
  .filterDate(postFechaInicio, postFechaFin)  
  .map(maskL8Clouds)  
  .median()  
  .clip(geometry);  
  
// Verificar disponibilidad de imágenes  
var countPre = l8Pre.bandNames().size();  
var countPost = l8Post.bandNames().size();
```

Posteriormente se calcula el índice dNBR en el fragmento del código 5, se utiliza las imágenes pre y post incendio para estimar la severidad del evento. Finalmente, las capas generadas se visualizan en el mapa mediante combinaciones de bandas y una paleta de colores que facilita la interpretación del impacto del incendio en el territorio.

Ilustración 9

Fragmento de Código 5

```
// =====  
// CÁLCULO DE AMENAZA DE INCENDIO  
// =====  
var amenazaFinal = calcularDNBR(l8Pre, l8Post);  
  
// =====  
// VISUALIZACIÓN  
// =====  
Map.addLayer(l8Pre, {  
  bands: ['SR_B5', 'SR_B4', 'SR_B3'],  
  min: 0,  
  max: 0.3  
}, 'Landsat 8 Pre-Incendio');  
  
Map.addLayer(l8Post, {  
  bands: ['SR_B5', 'SR_B4', 'SR_B3'],  
  min: 0,  
  max: 0.3  
}, 'Landsat 8 Post-Incendio');  
  
Map.addLayer(amenazaFinal, {  
  min: 0,  
  max: 4,  
  palette: ['green', 'yellow', 'orange', 'red', 'darkred']  
}, 'Amenaza de Incendio');
```

Fragmentos claves del código usado:

- Selección de Períodos

Ilustración 10

Fragmento de Código 6 - Selección de Periodos

```
var preFechaInicio = ee.Date('2024-01-01');  
var preFechaFin = ee.Date('2024-12-01');  
var postFechaInicio = ee.Date('2025-01-01');  
var postFechaFin = ee.Date('2025-12-01');
```

Nota. Fragmento de código que define los intervalos temporales empleados en el análisis satelital. Se establecen dos periodos: uno previo (pre) comprendido entre el 1 de enero y el 1 de diciembre de 2024, y otro posterior (post) entre el 1 de enero y el 1 de diciembre de 2025. Estas fechas permiten realizar una comparación temporal de las condiciones de la superficie antes y después del evento de estudio, facilitando la evaluación de los cambios en la cobertura vegetal.

- Cálculo de Índice NBR

Ilustración 11

Fragmento de Código 7 - Cálculo de Índice NBR

```
function calcularNBR_L8(img) {  
  return img.addBands(img.normalizedDifference(['SR_B5', 'SR_B7']).rename('NBR'));  
}
```

Nota. Función “calcular NBR” utilizada para obtener el índice Normalized Burn Ratio (NBR) a partir de imágenes Landsat 8. Este índice se calcula mediante la diferencia normalizada entre las bandas del infrarrojo cercano (SR_B5) y del infrarrojo de onda corta (SR_B7), permitiendo detectar zonas afectadas por incendios y evaluar la severidad de la pérdida de vegetación.

- Cálculo de índice dNBR

Ilustración 12

Fragmento de Código 8 - Cálculo de índice dNBR

```
function calcularDNBR(pre, post) {  
  return calcularNBR_L8(pre).select('NBR')  
    .subtract(calcularNBR_L8(post).select('NBR'))  
    .rename('dNBR');
```

Nota. Función “calcular DNBR” empleada para determinar la variación del índice NBR entre los periodos preincendio y postincendio. La diferencia resultante, denominada dNBR, constituye un indicador esencial para estimar el grado de afectación y la magnitud del impacto sobre la cobertura vegetal después del evento de fuego.

- Clasificación de Severidad

Ilustración 13

Fragmento de Código 9 - Clasificación de Severidad

```
// Clasificación severidad  
function clasificarSeveridad(dnbr) {  
  return ee.Image(0).where(dnbr.lt(0.1),0)  
    .where(dnbr.gte(0.1).and(dnbr.lt(0.27)),1)  
    .where(dnbr.gte(0.27).and(dnbr.lt(0.44)),2)  
    .where(dnbr.gte(0.44).and(dnbr.lt(0.66)),3)  
    .where(dnbr.gte(0.66),4).rename('severidad');
```

Nota. Función “clasificar Severidad” utilizada para categorizar los valores del índice dNBR según rangos de severidad del daño. El script asigna clases que van desde ausencia de afectación hasta severidad alta, permitiendo identificar de manera precisa el grado de impacto del incendio sobre la cobertura vegetal.

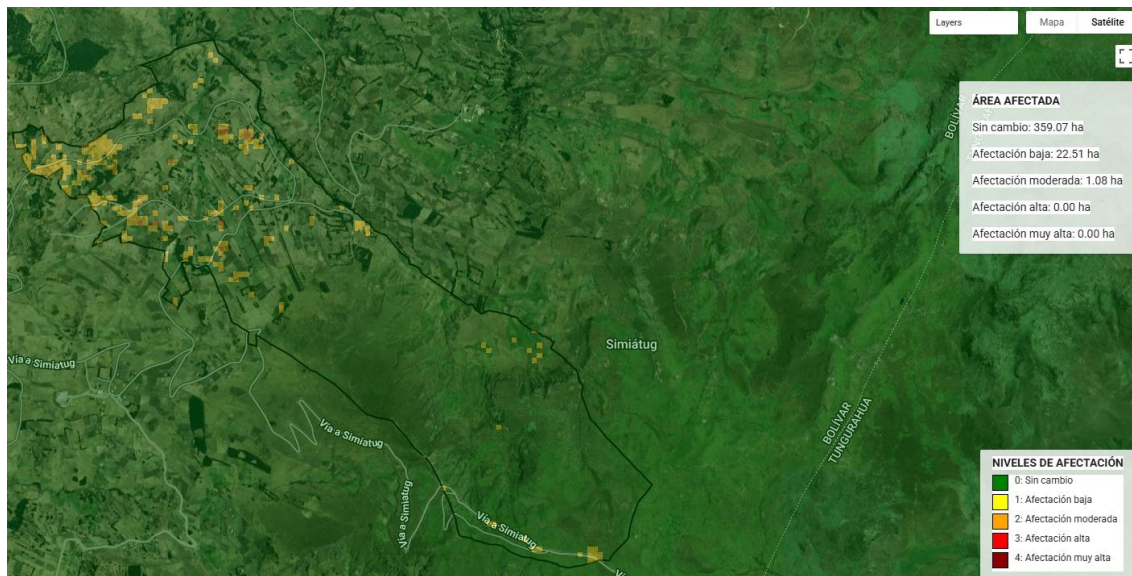
4.2.2. Aplicación del código “Susceptibilidad de incendios” por año a partir del año 2021 al 2025.

Los mapas de clasificación espacial de la severidad del incendio, elaborados mediante el índice dNBR, permiten visualizar la distribución del daño sobre la cobertura vegetal en la parroquia Simiátug a lo largo de los distintos años analizados. Cada mapa representa la magnitud del impacto generado por los incendios forestales, expresada en hectáreas afectadas según cinco categorías de severidad: sin cambio, afectación baja, moderada, alta y muy alta. Esta clasificación facilita la comparación temporal del grado de afectación y contribuye a identificar las zonas con mayor vulnerabilidad frente a los incendios forestales.

Intervalo temporal de análisis: enero–diciembre de 2021

Mapa 14

Intervalo temporal de análisis: enero–diciembre de 2021



Nota. Mapa Elaborado en GEE

En la tabla 27 se demuestra que, de un total de 381 hectáreas correspondientes a la comunidad cruz de ventanas de la parroquia Simiátug, un 5.92% de las hectáreas sufrieron una afectación baja y un 0.28% sufrieron de una afectación moderada. Siendo consumidas

por los incendios zonas con presencia vegetal como bosques, cultivos, pastos, espacios naturales y herbazal.

Tabla 27

Nivel de afectación temporal de análisis: enero–diciembre de 2021

Niveles de afectación	Área afectada	Porcentaje
Sin cambio	359,07 ha	94,49 %
Afectación baja	22,51 ha	5,92 %
Afectación moderada	1,08 ha	0,28 %
Afectación alta	0,00 ha	0 %
Afectación muy alta	0,00 ha	0 %

Nota. Elaborado por: Magarizca, C. y Tufiño, D., 2025

Intervalo temporal de análisis: enero–diciembre de 2022

En este año se realizó el análisis de las imágenes pre evento y post evento por trimestres ya que dicho año se generaron más incendios forestales que los demás años. En donde el segundo y cuarto trimestre del año 2022 correspondientes a los meses de abril, mayo, junio, octubre, noviembre y diciembre se registró un aumento en la cantidad de incendios. Mientras, que en el primer los incendios forestales consumieron una pequeña parte de vegetación dentro de la zona, el tercer trimestre no registra cambios en la vegetación por causa de incendios.

Primer trimestre del año 2022 (Enero – Marzo)

Mapa 15

Primer trimestre del año 2022 (Enero – Marzo)



Nota. Mapa Elaborado en GEE

En la tabla 28 se muestra que, en el primer trimestre del año 2022, se presencia la afectación baja en la zona con un 0.34%, consumiendo la vegetación nativa de la zona, herbazales y pastos limpios.

Tabla 28

Nivel de afectación temporal primer trimestre del año 2022

Niveles de afectación	Área afectada	Porcentaje
Sin cambio	381,37 ha	99,66 %
Afectación baja	1,29 ha	0,34 %
Afectación moderada	0,00 ha	0 %
Afectación alta	0,00 ha	0 %
Afectación muy alta	0,00 ha	0 %

Nota. Elaborado por: Magarizca, C. y Tufiño, D., 2025

Segundo trimestre del año 2022 (Abril – Junio)

Mapa 16

Segundo trimestre del año 2022 (Abril – Junio)



Nota. Mapa Elaborado en GEE

En la tabla 29 se muestra que, en el segundo trimestre del año 2022, la afectación baja consumió un 26.28 ha (6.87%), correspondiente a bosques, pastos, cultivos, pastos limpios y herbazal, un 0.74% de hectáreas sufrieron de afectación moderada.

Tabla 29

Nivel de afectación temporal segundo trimestre del año 2022

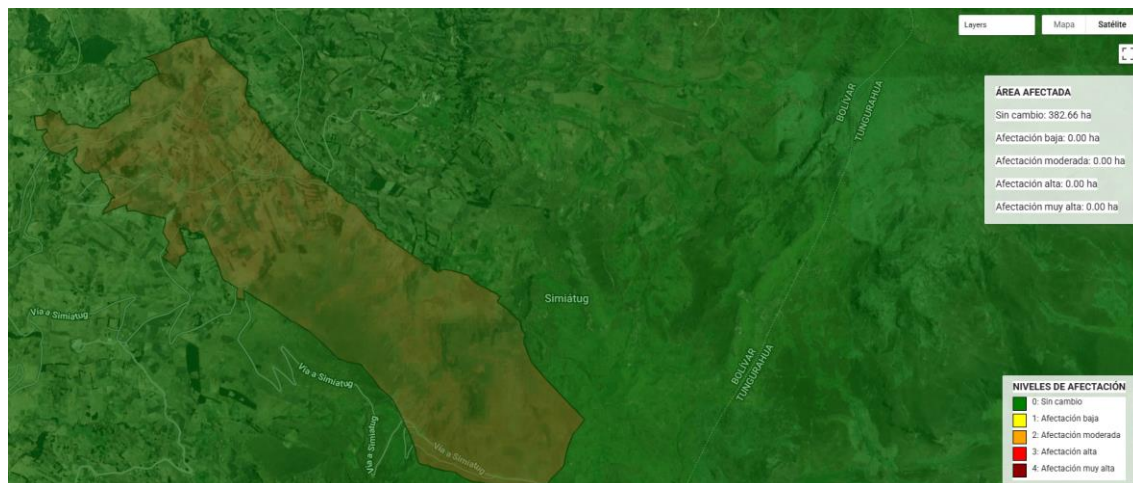
Niveles de afectación	Área afectada	Porcentaje
Sin cambio	353.45 ha	92,37%
Afectación baja	26.28 ha	6,87%
Afectación moderada	2.85 ha	0.74%
Afectación alta	0.09 ha	0.02 %
Afectación muy alta	0.00 ha	0.00%

Nota. Elaborado por: Magarizca, C. y Tufiño, D., 2025

Tercer trimestre del año 2022 (Julio – Septiembre)

Mapa 17

Tercer trimestre del año 2022 (Julio – Septiembre)



Nota. Mapa Elaborado en GEE

En la tabla 30 se reconoce que entre julio y septiembre no se registró ningún incendio forestal.

Tabla 30

Nivel de afectación temporal tercer trimestre del año 2022

Niveles de afectación	Área afectada	Porcentaje
Sin cambio	380.66 ha	100%
Afectación baja	0.00 ha	0.00%
Afectación moderada	0.00 ha	0.00%
Afectación alta	0.00 ha	0.00%
Afectación muy alta	0.00 ha	0.00%

Nota. Elaborado por: Magarizca, C. y Tufiño, D., 2025

Cuarto trimestre del año 2022 (Octubre – Diciembre)

Mapa 18

Cuarto trimestre del año 2022 (Octubre – Diciembre)



Nota. Mapa Elaborado en GEE

En la tabla 31 se muestra que, para finales del año 2022 se visualiza un aumento en la presencia de incendios forestales que inclusive la afectación alta tiene un 0.09% de hectáreas consumidas que se extiende por zonas con cultivos y en partes donde existe herbazal.

Tabla 31

Nivel de afectación temporal cuarto trimestre del año 2022

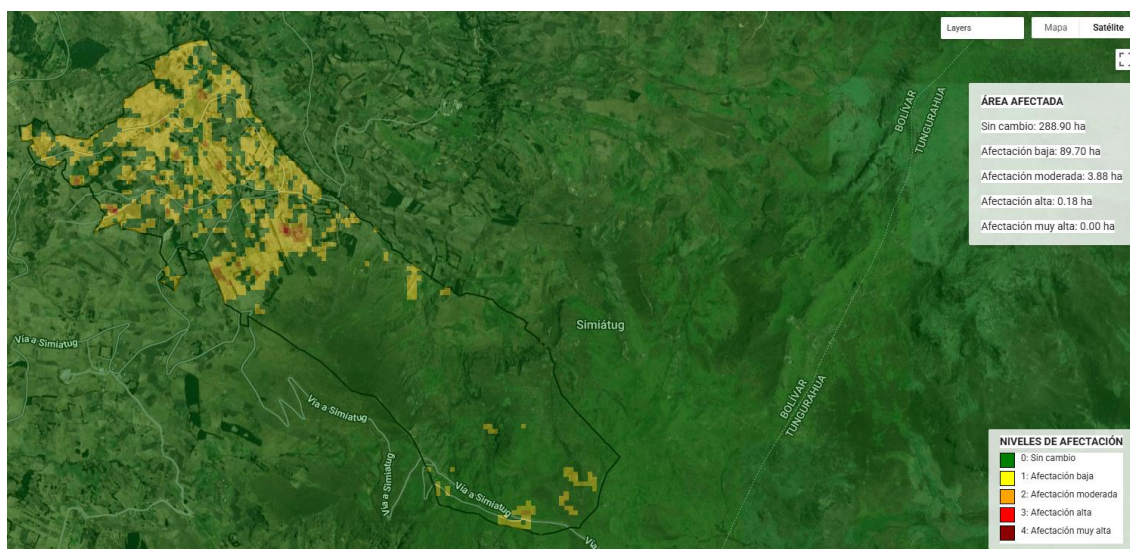
Niveles de afectación	Área afectada	Porcentaje
Sin cambio	332.33 ha	86.85%
Afectación baja	46.82 ha	12.24%
Afectación moderada	3.15 ha	0.82%
Afectación alta	0.36 ha	0.09%
Afectación muy alta	0.00 ha	0.00%

Nota. Elaborado por: Magarizca, C. y Tufiño, D., 2025

Intervalo temporal de análisis: enero–diciembre de 2023

Mapa 19

Intervalo temporal de análisis: enero–diciembre de 2023



Nota. Mapa Elaborado en GEE

En la tabla 32 se observó que existe un pico de afectación alta de 0.18 ha consumidas en todo el año, mientras que la afectación baja (23.44%) y moderada (1.01%) consumieron 24,45 ha, estos incendios forestales consumieron zonas en donde prevalecen los bosques y cultivos.

Tabla 32

Nivel de afectación temporal de análisis: enero–diciembre de 2023

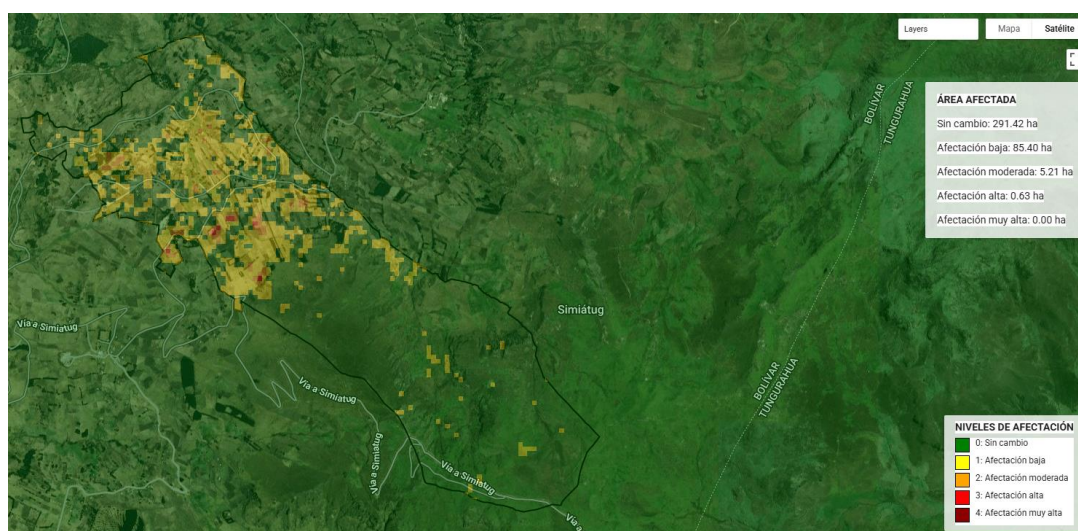
Niveles de afectación	Área afectada	Porcentaje
Sin cambio	288.90 ha	75.50%
Afectación baja	89.70 ha	23.44%
Afectación moderada	3.88 ha	1.01%
Afectación alta	0.18 ha	0.05%
Afectación muy alta	0.00 ha	0.00%

Nota. Elaborado por: Magarizca, C. y Tufiño, D., 2025

Intervalo temporal de análisis: enero–diciembre de 2024

Mapa 20

Intervalo temporal de análisis: enero–diciembre de 2024



Nota. Mapa Elaborado en GEE

En la tabla 33 se nota la presencia de incendios forestales en el área de conservación hídrica es alarmante, y aun que la afectación sea baja (22.32%) no hay que minimizar el hecho de que de manera directa o indirecta la comunidad está afectando a la vegetación nativa e inclusive dichos incendios pudieron ser provocados por efectos antrópicos libres de la mano humana.

Tabla 33

Nivel de afectación temporal de análisis: enero–diciembre de 2024

Niveles de afectación	Área afectada	Porcentaje
Sin cambio	291.42 ha	76.16%
Afectación baja	85.40 ha	22.32%
Afectación moderada	5.21 ha	1.36%

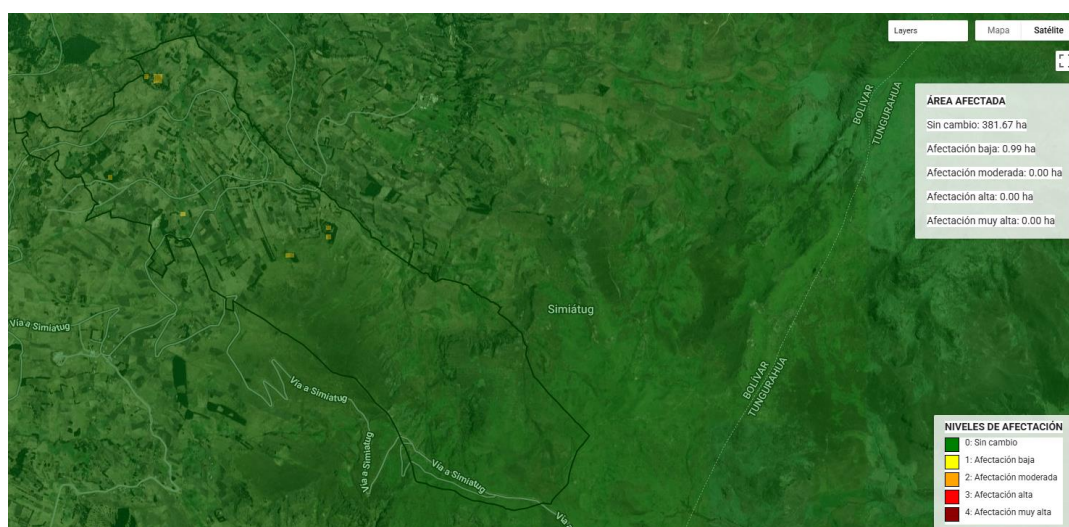
Afectación alta	0.63 ha	0.16%
Afectación muy alta	0.00 ha	0.00%

Nota. Elaborado por: Magarizca, C. y Tufiño, D., 2025

Intervalo temporal de análisis: enero–junio de 2025

Mapa 21

Intervalo temporal de análisis: enero–junio de 2025



Nota. Mapa Elaborado en GEE

En la tabla 34 se demuestra que en la primera mitad del año 2025 se evidencia que los incendios forestales han tenido una drástica disminución, con tan solo un 0,26% de afectación baja en zonas con bosque y cultivos.

Tabla 34

Nivel de afectación temporal de análisis: enero–junio de 2025

Niveles de afectación	Área afectada	Porcentaje
Sin cambio	381.67 ha	99.74%
Afectación baja	0.99 ha	0.26%
Afectación moderada	0.00 ha	0.00%
Afectación alta	0.00 ha	0.00%
Afectación muy alta	0.00 ha	0.00%

Nota. Elaborado por: Magarizca, C. y Tufiño, D., 2025

4.2.3. Superficie afectada por niveles de severidad de incendios forestales durante el periodo 2021–2025

Se evidencia que, en el intervalo de tiempo del año 2021, la mayoría de incendios se encuentra en las zonas destinadas a la agricultura y ganadería, posiblemente la mayoría o en la totalidad de estos incendios hayan sido causados por la mano humana.

En cambio, en el intervalo de tiempo del año 2022, se logra visualizar que, la susceptibilidad a incendios se eleva drásticamente en las zonas aledañas en donde se presencia la actividad humana.

En el intervalo de tiempo del año 2023, se presenta una caída en los polígonos de susceptibilidad a incendios a diferencia de los años posteriores, aun así, los incendios presentes en este intervalo siguen presentes en las zonas destinadas a la agricultura, por la quema de los residuos de las cosechas y despejar de maleza para la próxima temporada de siembra.

A partir del intervalo de tiempo del año 2024 a la mitad del año 2025, se visualiza nuevamente una drástica disminución de incendios forestales en la comunidad Cruz de Ventanas.

Tabla 35

Superficie afectada por niveles de severidad de incendios forestales durante el periodo 2021–2025

Año	Sin cambio	Afectación baja	Afectación moderada	Afectación alta	Afectación muy alta
2021	359,07 ha	22,51 ha	1,08 ha	0,00 ha	0,00 ha
2022	288,90 ha	89,70 ha	3,88 ha	0,18 ha	0,00 ha

2023	291,42 ha	85,40 ha	5,21 ha	0,63 ha	0,00 ha
2024	381,67 ha	0,99 ha	0,00 ha	0,00 ha	0,00 ha
2025	381,67 ha	0,00 ha	0,00 ha	0,00 ha	0,00 ha
Suma ha por afectación	1321,26 ha	198,69 ha	10,17 ha	0,81 ha	0,00 ha

Nota. Elaborado por: Magarizca, C. y Tufiño, D., 2025

4.3. Resultados del Objetivo 3

Proponer estrategias de prevención y mitigación que contribuyan a la reducción de incendios forestales y a la restauración ambiental de la comunidad Cruz de Ventanas, parroquia Simiátug, cantón Guaranda

Con base en los análisis realizados en los objetivos anteriores y en base a la validación de la salida de campo en la comunidad Cruz de Ventanas, se plantean estrategias orientadas a la prevención y mitigación de incendios forestales, conforme la normativa vigente en el Ecuador, la presencia del área de conservación hídrica Cruz de Ventanas y la necesidad de generar acciones sostenibles junto con la comunidad.

Estrategias para la Prevención y Mitigación de Incendios Forestales en Cruz de Ventanas

N.º	Tipo de estrategia	Problema Identificado	Estrategia	Descripción	Responsables y colaboradores
1	Legal / Normativa	Quema agrícola sin regulación	Ordenanza municipal sobre incendios forestales	Seguimiento de las ordenanzas que regulan la prevención y respuesta ante incendios forestales, con obligaciones claras y sanciones.	•GAD Guaranda (Consejo Municipal)
2	Social / Comunitaria	Demora en el tiempo de respuesta	Creación de brigadas comunitarias	Formación y equipamiento de brigadas locales de respuesta rápida ante incendios.	•GAD Guaranda •Bomberos •Directiva de la Comunidad
3	Social / Comunitaria	Uso inapropiado del fuego en prácticas agrícolas.	Fomento de prácticas agrícolas sostenibles	Promover prácticas agrícolas alternativas que minimicen el uso de fuego	•GAD Guaranda •Bomberos

4	Estructural / Técnico	Zonas afectadas sin restauración ecológica.	Restauración ecológica participativa	Jornadas comunitarias de reforestación con especies nativas en zonas afectadas.	<ul style="list-style-type: none"> •Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. •Universidad Estatal de Bolívar •GAD Guaranda
5	Estructural / Técnico	Reportes tardíos de incendios	Sistema de alerta temprana comunitario	Implementar radios, mensajería instantánea o altavoces para reportes rápidos.	<ul style="list-style-type: none"> •GAD Guaranda •Bomberos •Comunidad
6	Estructural / Técnico	Incendios descontrolados que amenazan la biodiversidad del sector	Creación de cortafuegos naturales	Establecer barreras vegetativas controladas en zonas de alto riesgo para evitar la propagación del fuego.	<ul style="list-style-type: none"> •GAD Guaranda •Bomberos •Universidad Estatal de Bolívar •Comunidad

7	Técnico / Educativo	Cobertura vegetal degradada sin monitoreo	Monitoreo participativo de cobertura vegetal	Capacitación a la comunidad para utilizar herramientas como Google Earth Engine y evaluar el estado de la vegetación.	<ul style="list-style-type: none"> •GAD Guaranda •Bomberos •Universidad Estatal de Bolívar
8	Técnico / Educativo	Zonas vulnerables sin señalización	Instalación de señalética preventiva	Colocación de letreros en puntos estratégicos con mensajes educativos y advertencias sobre riesgo de incendios.	<ul style="list-style-type: none"> •GAD Guaranda •Bomberos •Universidad Estatal de Bolívar •GAD Guaranda •Bomberos •Universidad Estatal de Bolívar

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Comprobación De La Hipótesis

Para la comprobación de la hipótesis se trabajó con la tabla del resultado del objetivo número dos.

Planteamiento de la hipótesis

H₀: Los incendios forestales no generan un impacto significativo en la cobertura vegetal de la comunidad Cruz de Ventanas, parroquia Simiátug, cantón Guaranda, durante el periodo 2021–2025, manteniéndose sin diferencias estadísticas en los niveles de afectación de la vegetación entre los distintos años analizados.

H₁: Los incendios forestales generan un impacto significativo en la cobertura vegetal de la comunidad Cruz de Ventanas, parroquia Simiátug, cantón Guaranda, durante el periodo 2021–2025, evidenciado por variaciones estadísticamente significativas en los niveles de afectación de la vegetación entre los diferentes años evaluados.

La tabla 36 representa la distribución empírica de la superficie afectada por incendios forestales ocurridos en la comunidad Cruz de Ventanas, se expresa en hectáreas y se categoriza por niveles de severidad, correspondientes a cinco periodos anuales consecutivos, del 2021 al 2025, en el año 2022 se identificó un mayor impacto en la cobertura vegetal, con 89,7 hectáreas en afectación baja y 0,18 hectáreas en afectación alta, mientras que en el año 2025 se exhibe una condición favorable libre de incendios forestales.

Tabla 36

Valores Observados (Chi Cuadro)

Tabla de valores observados							
Intervalo / Categoría	Sin cambio	Afectación baja	Afectación moderada	Afectación alta	Afectación muy alta	Total, columna	
2021–2022	359,07	22,51	1,08	0	0	382,66	
2022–2023	288,9	89,7	3,88	0,18	0	382,66	
2023–2024	291,42	85,4	5,21	0,63	0	382,66	
2024–2025	381,67	0,99	0	0	0	382,66	
Total, hectáreas	1321,06	198,6	10,17	0,81	0	1530,64	

Nota. Elaborado por: Magarizca, C. y Tufiño, D., 2025

La tabla 37 explica la distribución hipotética de hectáreas afectadas, calculada bajo el supuesto de independencia estadística entre el factor temporal (2021-2025) y los niveles de afectación, los valores esperados uniformes entre el año 2021 y el 2025; 330,27 hectáreas sin afectación, 49,65 hectáreas con afectación baja, 2,54 hectáreas con afectación moderada y 0,20 hectáreas con afectación alta, constituyen el escenario teórico de referencia.

Tabla 37

Valores Esperados (Chi Cuadrado)

Tabla de valores esperados						
Intervalo / Categoría	Sin cambio	Afectación baja	Afectación moderada	Afectación alta	Afectación muy alta	Total, fila
2021–2022	330,26	49,65	2,54	0,20	0	382,66
2022–2023	330,26	49,65	2,54	0,20	0	382,66
2023–2024	330,26	49,65	2,54	0,20	0	382,66
2024–2025	330,26	49,65	2,54	0,20	0	382,66
Total (ha)	1321,06	198,6	10,17	0,81	0	1530,64

Nota. Elaborado por: Magarizca, C. y Tufiño, D., 2025

El análisis de chi cuadrado arroja que el valor total de X2 es igual a 149.03, este resultado permite rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis de investigación, confirmando que existe una relación estadística entre la variable temporal y los niveles de afectación.

Tabla 38

Chi Cuadrado

Chi Cuadrado						
Intervalo / Categoría	Sin cambio	Afectación baja	Afectación moderada	Afectación alta	Afectación muy alta	Chi2 fila
2021–2022	2,51	14,83	0,84	0,2025	0	18,39
2022–2023	5,18	32,30	0,70	0,0025	0	38,19
2023–2024	4,56	25,74	2,79	0,9025	0	34,01
2024–2025	8,00	47,68	2,54	0,2025	0	58,43
Total, Chi2						149,03

Nota. Elaborado por: Magarizca, C. y Tufiño, D., 2025

Se demuestra una relación significativa entre las variables, el valor de p indica que la probabilidad de que esta relación sea producto del azar es nula.

Grado de libertad (gl): 12

χ^2 (Chi-cuadrado): 399.97

Valor p: >0,0001

Cramér's V: 0,180153425

Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis de investigación, indicando que existe evidencia estadística suficiente para afirmar que los incendios forestales si generan un impacto significativo en la cobertura vegetal.

Tabla 39

Decisión Final

Decisión	Se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis de investigación (H_1).
conclusión	Esto confirma que los incendios forestales produjeron un impacto estadísticamente significativo en la cobertura vegetal durante el periodo analizado.

Nota. Elaborado por: Magarizca, C. y Tufiño, D., 2025

5.2. Conclusiones

La aplicación de la metodología pro- cálculo permitió determinar que la comunidad Cruz de Ventanas tiene un nivel de susceptibilidad a incendios forestales medio – alto, el análisis de las variables evidencio que 71.6% del territorio tiene un nivel alto y muy alto de susceptibilidad, dichas zonas con mayor susceptibilidad se concentran en el sector occidental y suroriental de la comunidad correspondiendo con áreas de mayor pendiente y cobertura vegetal combustible. Los resultados validan la necesidad prioritaria de implementar medidas de gestión preventiva en el 71.6% del territorio clasificado como de alta y muy alta susceptibilidad.

En el mapa de susceptibilidad a incendios permitió determinar 5 categorías de daños; muy bajo con 1 hectárea, bajo con 36 hectáreas, moderado con 55 hectáreas, alto con 165 hectáreas y muy alto con 108 hectáreas, siendo la categoría de alto con el mayor índice que daños, lo cual indica que la comunidad Cruz de Ventanas se encuentra en un nivel de susceptibilidad medio – alto, siendo necesario implementar medidas de prevención, mitigación y monitoreo

El análisis mediante Google Earth Engine GEE permitió evidenciar la evolución temporal en la afectación por incendios forestales en la comunidad Cruz de Ventanas entre los años 2021 y 2015, el período 2021-2022 se registró un predominio de las áreas sin cambio (359,07 ha), con afectación baja (22,51 ha) concentrada en zonas agropecuarias. La situación se agravó notablemente en 2022-2023, donde la superficie sin afectación se redujo a 288,90 ha mientras la afectación baja se incrementó a 89,70 ha, expandiéndose hacia áreas urbanas, sin embargo, se observó una recuperación progresiva en los periodos siguientes, en el año 2025 se alcanzó las condiciones más favorables ya que el 99% de la zona se encontró sin cambios en la vegetación, el balance total de las hectáreas mostro que 1.321,26 hectáreas no sufrieron cambios frente

a 198,69 hectáreas afectadas, confirmando que los incendios forestales si han impactado significativamente a la cobertura vegetal.

La formulación de estrategias para la comunidad Cruz de Ventanas permitió estructurar un conjunto de medidas integrales que responden a las causas y consecuencias de los incendios forestales. Estas propuestas se organizaron en tres enfoques principales: legal/normativo, social/comunitario y técnico/educativo-estructural, lo que asegura una visión inclusiva y participativa. Entre las acciones más destacadas se encuentran la creación de una ordenanza municipal que regule el uso del fuego, la conformación de brigadas locales de respuesta inmediata, la promoción de prácticas agrícolas sostenibles y la puesta en marcha de programas de restauración ecológica.

Adicionalmente, a nivel técnico se planteó la instalación de un sistema comunitario de alerta temprana, el establecimiento de cortafuegos naturales, el monitoreo participativo de la vegetación mediante herramientas digitales y la colocación de señalética preventiva en puntos críticos. En conjunto, estas medidas subrayan la importancia de articular esfuerzos entre el GAD de Guaranda, el Cuerpo de Bomberos, el Ministerio del Ambiente, la Universidad Estatal de Bolívar y la comunidad organizada. Con ello, se sientan las bases para una gestión sostenible del territorio que reduzca la ocurrencia de incendios y, al mismo tiempo, fortalezca la conservación de los ecosistemas y de la biodiversidad en el área de conservación hídrica Cruz de Ventanas.

5.3. Recomendaciones

Se recomienda que el GAD Municipal de Guaranda incorpore el mapa de susceptibilidad dentro de sus instrumentos de planificación y formule una ordenanza que regule el uso del fuego. Esto permitirá orientar la asignación de recursos, priorizar intervenciones en áreas críticas y consolidar la prevención de incendios forestales como eje transversal de la gestión ambiental. Además, se debe fortalecer la coordinación interinstitucional con el Ministerio del Ambiente, la Universidad Estatal de Bolívar y el Cuerpo de Bomberos, asegurando una gestión articulada del riesgo.

A nivel comunitario, es recomendable promover la creación de brigadas capacitadas en prevención y control de incendios, acompañadas de campañas de educación ambiental que fomenten prácticas agrícolas sostenibles y reduzcan el uso del fuego en la preparación de terrenos. Asimismo, se sugiere replicar esta metodología en otras comunidades para favorecer la comparación de escenarios y el desarrollo de un sistema nacional de información sobre incendios forestales.

En el ámbito técnico, se aconseja implementar un sistema de alerta temprana apoyado en monitoreo satelital y digital, establecer cortafuegos naturales, mantener vías de acceso estratégicas y ejecutar programas de restauración ecológica en zonas de alta y muy alta susceptibilidad, priorizando especies nativas y control del acceso a áreas sensibles. Finalmente, se recomienda integrar la investigación aplicada y el uso de herramientas de inteligencia artificial para el análisis geoespacial, incentivando la participación universitaria en proyectos de monitoreo y conservación.

Referencia Bibliográfica

- Coppini, M. (2019). *Fragmentación de hábitats: problemática, indicadores y soluciones*. Obtenido de Geoinnova: https://geoinnova.org/blog-territorio/fragmentacion-de-habitats/?gad_source=1&gad_campaignid=1432387646&gbraid=0AAAAADNcCUw9vsKv8H1X0tSrrGiJjrMoM&gclid=CjwKCAjwp_LDBhBCEiwAK7Fnkni vNR46z3t_kWis98QEy4JuCPidSwH-fFlJs3rM92HBMoWu53eznhoCCGsQAvD_BwE
- González Martínez, M. D., Sansores Quintana, M. F., Gómez Aquino, H. A., Gallardo Díaz, J., García Monterrosas, F. R., & Flores Asis, R. (2024). Revisión de antecedentes para la Predicción de. *Congreso estudiantil de inteligencia artificial aplicada a la ingeniería y tecnología, UNAM, FESC, Estado de México, 2024.*, 36.
- Asamblea Nacional del Ecuador. (20 de 10 de 2008). *Constitución de la República del Ecuador. Registro Oficial No. 449*. Obtenido de Constitución de la República del Ecuador. Registro Oficial No. 449.: https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf
- Azada Verde. (2025). *¿Qué son los cortafuegos y por qué son tan importantes para gestionar los incendios forestales?* Obtenido de <https://azadaverde.org/que-son-los-cortafuegos>
- Carl H. Key, & Nathan C. Benson. (2006). Evaluación del Paisaje (PA), Métodos de Muestreo y Análisis. *FIREMON: Sistema de Monitoreo e Inventario de Efectos del Fuego*, 223-224.
- Comisión de Legislación y Codificación. (2004). *Ley forestal y de conservación de áreas naturales y vida silvestre. Registro Oficial Suplemento No. 418*. Obtenido

- de Código Orgánico del Ambiente. Registro Oficial Suplemento No. 983. h:
<https://www.ambiente.gob.ec/codigo-organico-del-ambiente/>
- Comisión Nacional Forestal. (2010). *Manual Practicas de reforestación*. Mexico.
Obtenido de
https://www.conafor.gob.mx/BIBLIOTECA/MANUAL_PRACTICAS_DE_REFORESTACION.PDF
- De las Heras Ibáñez, J. (2015). ¿Qué hacer después del fuego? Principales retos y algunas respuestas. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, págs. 213–235.
- Departamento Administrativo de la Función Pública. (2012). Ley 1523. Obtenido de
https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=47141
- Diario La Hora. (03 de 09 de 2024). Carchi es la tercera provincia más afectada por incendios forestales. Ecuador.
- El Comercio. (14 de 09 de 2015). *El Comercio*. Obtenido de El Comercio:
<https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/bolivar-incendio-pajonal-bosque-simiatug.html>
- Fernández, E., & Palma, L. (2004). Incremento de los incendios forestales en bosques naturales y plantaciones forestales en Chile. . *Una Visión Global*, 595 - 612.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2006). *Fire Management: Voluntary Guidelines – Principles and Strategic Actions*. Roma: FAO.
- Fundacion Aquae. (s.f.). *Fundacion Aquae*. Obtenido de Fundacion Aquae:
<https://www.fundacionaquae.org/como-luchar-contraincendios-forestales/>

Fundación azul ambientalistas. (2 de 10 de 2019). *Fundacion azul ambientalistas*.

Obtenido de Fundacion azul ambientalistas:

https://azulambientalistas.wordpress.com/enlaces/desastresnaturales/incendiosforestales/?utm_source=chatgpt.com

GAD Guaranda. (12 de 2020). *Alcaldía de Guaranda*. Obtenido de Alcaldía de

Guaranda: <https://www.guaranda.gob.ec/newsiteCMT/3d-flip-book/plan-de-desarrollo-y-ordenamiento-territorial-2020-2025/>

GAD Parroquial Rural Simiátug. (2021). *GAD Simiátug*. Obtenido de GAD Simiátug:

<https://www.gadpsimiátug.gob.ec/wp-content/uploads/2022/04/PDOT-SIMAITUG-2021-2023.pdf>

Geosolutions Consulting. (2023). *Conceptos básicos sobre imágenes satelitales – fotogrametría pt. 1*. Obtenido de

<https://www.geosolutionsconsulting.com/tecnologia/conceptos-basicos-de-las-imagenes-satelitales/>

Hernández, D. (19 de 07 de 2022). *Diario de Sevilla*. Obtenido de Diario de Sevilla:

https://www.diariodesevilla.es/sociedad/causas-incendios-forestales_0_1703229967.html?utm_source=chatgpt.com

Ibáñez Martí, J. J. (2009). *Google Academico*. Obtenido de Google Academico:

https://www.researchgate.net/publication/255685963_El_Suelo_y_su_degradacion

Instituto Geográfico Nacional. (2020). *Fundamentos de teledetección radar*. Obtenido de

https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/actividades/OBS/Programa_Marco_Copernicus_User_Uptake/5_Fundamentos_de_teledeteccion_radar.pdf

- Key, C. h. (2006). *Landscape Assessment: Ground measure of severity, the Composite Burn Index; and Remote sensing of severity, the Normalized Burn Ratio*.
- Key, C., & Benson, N. (2006). *Landscape Assessment (LA): Sampling and Analysis Methods*. USDA Forest Service.
- Landsat Missions. (2020). *Burn Severity and the dNBR*. Obtenido de United States Geological Survey: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-normalized-burn-ratio>
- Meza, M. C, González, T, y Armenteras , D. (2023). *La paradoja del fuego del contexto internacional al caso de colombia*. Bogotá: Univesidad Nacional de Colombia.
- Miller, J. D., & Thode, A. E. (2007). *Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR)*. Elsevier.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (3 de 2025). *Estrategia nacional de restauración 2023–2026*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/direccion-de-bosques-biodiversidad-y-servicios-ecosistemicos/restauracion-2/>
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (2023). *Guía metodológica para la elaboración de planes*. Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2024/04/GUIA-METODOLOGICA-PIIF-PASF.pdf>
- ONU . (2015). *Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030*. Naciones Unidas. Obtenido de Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030. Naciones Unidas.: https://www.unisdr.org/files/43291_spanishsendaiframeworkfordisasterri.pdf
- ONU-Spider. (2019). *Índice Normalizado de Área Quemada (NBR)*. Obtenido de United Nations Office for Outer Space Affairs: <https://un-spider.org/es/node/10959?>

- Pausas, J. G. (2012). *¿Qué sabemos de? Incendios forestales*. Madrid : los libros de Catarata. 2012.
- Pazmiño, D. (2019). Peligro de incendios forestales asociado a factores climáticos en Ecuador. *FIGEMPA*, 10-18.
- Pérez, M. J. (2024). *Las 4 fases de los incendios forestales*. Obtenido de Las 4 fases de los incendios forestales: <https://oroel.com/actualidad/las-4-fases-de-los-incendios-forestales/#:~:text=Un%20incendio%20atraviesa%20cuatro%20fases,el%20fuego%20pueda%20resultar%20imparable>.
- Plataforma sobre Adaptación al Cambio Climático de Ecuador. (5 de 10 de 2024). *Ministerio del Ambiente, Agua y Transición ecológica*. Obtenido de Ministerio del Ambiente, Agua y Transición ecológica: <https://www.adaptacioncc.com/noticias/incendios-forestales-y-su-relacion-con-el-cambio-climatico>
- Presidente de la República. (12 de 6 de 2019). *Reglamento al Código Orgánico del Ambiente*. Quito: Decreto Ejecutivo No. 752. Obtenido de Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica: https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2019-09/Documento_RCOA%20RO%20507.pdf
- Puertas Asturmex. (2020). *Propagación del fuego*. Obtenido de <https://puertasasturmex.com/blog/propagacion-del-fuego/#:~:text=Se%20conoce%20como%20propagaci%C3%B3n%20del,y%20una%20reacci%C3%B3n%20en%20cadena>.
- República del Ecuador Asamblea Nacional. (2014). *Código Orgánico Integral Penal, Registro Oficial Suplemento No. 180*. Quito. Obtenido de Código

- Orgánico Integral Penal, Registro Oficial Suplemento No. 180.:
<https://www.asambleanacional.gob.ec/es/leyes-aprobadas>
- Ríos Hervas, J. G. (2023). Causas y origen de los incendios forestales en el Ecuador.
INNDEV ISSN 2773-7640.
- Rouhiainen, Lasse. (2018). Inteligencia artificial 101 cosas que debes saber hoy sobre nuestro futuro. Obtenido de
https://planetadelibrosar0.cdnstatics.com/libros_contenido_extra/40/39307_Inteligencia_artificial.pdf
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (13 de 07 de 2022). El fuego ya no es una alternativa. Mexico . Obtenido de <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/el-fuego-ya-no-es-una-alternativa#:~:text=El%20fuego%20en%20la%20agricultura,como%20la%20ca%C3%B1a%20de%20az%C3%BAcar>.
- Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos. (2025). Incendios Forestales. Obtenido de <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/incendios-forestales/>
- Shen, Q. (2020). Inversión indirecta hiperespectral de cobre pesado en suelos contaminados. *Environmental Pollution*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/spectral-band>
- SNGR. (2023). *Gestión de riesgos gob Ecuador* . Obtenido de gestión de riesgos gob Ecuador : <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/incendios-forestales/>
- Soto, M. C. (2010). Estudio del comportamiento del fuego mediante simulación de incendios forestales en Chile. *Geographicalia*. Obtenido de <https://papiro.unizar.es/ojs/index.php/geographicalia/article/view/818>
- Touré, A. A. (2022). Dynamics of wind erosion and impact of vegetation cover in the Sahel. *Revista de Biología Termica*. Obtenido de

<https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/vegetation-cover>

Upadhyay, T. (2014). *Uso de modelos para analizar los cambios en el uso de la tierra, la degradación forestal/suelo y la captura de carbono en países en desarrollo.*

(N. K. Alfen, Ed.) Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/land-use-change-process>

Urbina Soria , J., & Martínez Fernández , J. (2006). *Google Academico* . Obtenido de Google Academico : https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2010/10/4775mas_alla_del_cambio_climatico.pdf#page=123

Verdín, G. P., Linares, M. A., Ortiz, A., & Macias, M. (junio de 2013). Análisis espacio-temporal de la ocurrencia de incendios forestales en Durango, México. *Madera y bosques*, 37-58. Obtenido de

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712013000200003

Villers Ruiz, M. d. (2006). Incendios forestales. *revista de cultura científica facultad de ciencias, universidad nacional autónoma de México.*

Zurrita, A., M.H. , B., Guillen, A., Lugo , S., & Aguilar Garnica, J. (9 de 12 de 2015).

Internacional Journal Of Good Conscience . Obtenido de Internacional Journal Of Good Conscience : [http://www.spentamexico.org/v10-n3/A1.10\(3\)1-9.pdf](http://www.spentamexico.org/v10-n3/A1.10(3)1-9.pdf)

Anexos

Anexo 1. Determinación de pesos por el método de Saaty

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	Wi	Ci	LAMDAi
C1	1,00	1,25	2,50	1,67	1,67	1,67	1,56	0,25	0,99
C2	0,8	1,00	2,00	1,33	1,33	1,33	1,25	0,20	1,07
C3	0,4	0,5	1,00	0,67	0,67	0,85	0,65	0,10	1,00
C4	0,6	0,8	1,5	1,00	1,00	1,00	0,94	0,15	0,99
C5	0,6	0,8	1,5	1,0	1,00	1,00	0,94	0,15	0,99
C6	0,6	1,2	1,2	1,0	1,0	1,00	0,97	0,15	1,05
Pi	4,00	5,43	9,66	6,67	6,67	6,85	6,30		6,10

C1	Susceptibilidad de la vegetación	0,25
C2	Precipitación	0,20
C3	Temperatura	0,10
C4	Pendiente	0,15
C5	Frecuencia	0,15
C6	Accesibilidad	0,15
		1,00

$$Ci = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

$$Rci = \frac{1,98 * (n - 2)}{n}$$

$$CR = Ci/Rci$$

Ci=	0,01971508	
Rci=	1,32	
CR=	0,0149	Consistente

Nota. La calificación se da en función del problema (vulnerabilidad/amenaza/riesgo), es directamente proporcional.

**Anexo 2. Imágenes Satelitales usadas para la supervisión clasificada 2022/09/18 -
2025/03/25**



Nota. Son fotos satelitales, por el peso y el formato .tif que no se puede agregar a un documento Word.

Anexo 3. Memorias Fotográficas



Fotografía 1. Primera salida de campo.



Fotografía 2. Segunda salida de campo



Fotografía 3. Toma de coordenadas



Fotografía 4. Toma de coordenadas



Fotografia 5. Monitoreo atmosferico