

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

TEMA:

**ANÁLISIS DE LAS CAUSAS SOCIO AMBIENTALES DE LOS INCENDIOS
HISTÓRICOS FORESTALES DEL CANTÓN OTAVALO**

PLAN DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PARA OBTENER EL
TÍTULO DE INGENIERO/A EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

AUTORAS:

Mabel Paulina Quimbiulco Andrango

Jeimy Avigail Suárez Burgos

DIRECTOR:

Darío Paúl Arias Muñoz PhD.

Ibarra, junio 2024



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECA

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

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

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1727670927		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Quimbiulco Andrango Mabel Paulina		
DIRECCIÓN:	Cantón Cayambe - Comunidad San Esteban		
EMAIL:	mpquimbiulcoa1@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	-----	TELF. MÓVIL:	0981910302

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	0402093306		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Suárez Burgos Jeimy Avigail		
DIRECCIÓN:	Ibarra - El Olivo		
EMAIL:	jeimysuarez5@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	-----	TELF. MÓVIL:	0983463749


DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Análisis de las causas socio ambientales de los incendios históricos forestales del cantón Otavalo
AUTORAS:	Quimbiulco Andrango Mabel Paulina & Suárez Burgos Jeimy Avigail
FECHA:	27/06/2024
PROGRAMA:	GRADO X POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería en Recursos Naturales Renovables
ASESOR / DIRECTOR:	Paúl Arias PhD.

2. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 27 días del mes de junio de 2024

AUTORAS:

Firma: 

Nombre: Quimbiulco Andrango Mabel Paulina

Firma: 

Nombre: Suárez Burgos Jeimy Avigail

**CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR**



Ibarra, 27 de junio de 2024

DARÍO PAÚL ARIAS MUÑOZ PhD.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

(f) 

DARIO PAUL ARIAS MUÑOZ PhD.

C.C.: 1002443544

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR



El Comité Calificador del trabajo de Integración Curricular ANÁLISIS DE LA CAUSAS SOCIO AMBIENTALES DE LOS INCENDIOS HISTÓRICOS FORESTALES DEL CANTÓN OTAVALO elaborado por QUIMBIULCO ANDRANGO MABEL PAULINA & SUÁREZ BURGOS JEIMY AVIGAIL, previo a la obtención del título de INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

(f): 

DARÍO PAÚL ARIAS MUÑOZ PhD.

C.C.: 1002943544

(f): 

MSc. LAYANA BAJAÑA ELEONORA MELISSA

C.C.: 120490843-6

DEDICATORIA

*A Dios, quien ha sido mi guía de fe y sabiduría en este viaje llamado universidad.
Agradezco a mis padres, pilares de apoyo, inspiración y fortaleza, que me impulsaron a
completar esta etapa.*

*A mis hermanos, cuyas palabras de ánimo me motivaron a persistir hasta
el final de este camino.*

*A mis amigos, que en muchas ocasiones fueron mis consejeros y apoyo
en mi desarrollo académico.*

*Y a mí que la verdad nunca pesaba llegar a esto, que la mayoría de las veces pensaba que
fracasaría, sin embargo, hasta yo me sorprende de lo que logre, ya que sin deducirlo iba
cursando los semestres, no sé qué me repara el destino, pero esta historia aun continuara.*

Mabel Paulina Quimbiulco Andrango

*A Dios que fue la base en todo el proceso y por brindarme la fortaleza que me ha
permitido culminar esta etapa de mi vida.*

*A mis padres, las personas que admiro y amo, que me enseñaron que con perseverancia se
puede llegar lejos, por el sacrificio que día a día hicieron por mí. A mi niño bonito, mi hijo
Mathias, que siempre ha sido mi inspiración y la luz de mi vida. A mis hermanos por su apoyo
constante y la confianza que me brindaron.*

*A mis amigas y amigos que estuvieron presentes durante toda esta etapa compartiendo
alegrías y frustraciones, con quienes recorrí este camino para alcanzar un logro más en mi
vida, los llevare en mi corazón siempre tendrán mi gratitud y cariño.*

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

Jeimy Avigail Suárez Burgos

AGRADECIMIENTO

Expresamos nuestro agradecimiento a Dios por ser nuestro guía en esta etapa de nuestra vida y por brindarnos la sabiduría necesaria para afrontar los momentos difíciles.

A nuestros padres por su acompañamiento constante, su amor incondicional, su apoyo y su confianza en nuestro proceso de formación.

A los docentes que impartieron sus conocimientos, en particular al director Paúl Arias PhD, por su orientación en el desarrollo de nuestro trabajo de titulación, así como por su tiempo y paciencia. De igual manera, agradecemos a nuestra asesora, la Ing. Melissa Layana, por compartir su conocimiento y contribuir a mejorar nuestro trabajo de titulación.

Finalmente, queremos expresar nuestra gratitud a todos aquellos que nos asesoraron y apoyaron para alcanzar esta meta, incluyendo a nuestros amigos y familiares. Cada uno de ustedes fue fundamental en nuestro crecimiento como estudiantes y como personas, y siempre los llevaremos en nuestros corazones.

***Mabel Quimbiulco
Jeimy Suárez***

ÍNDICE

Contenido	Páginas
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 REVISIÓN DE ANTECEDENTES O ESTADO DEL ARTE	1
1.2 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN Y JUSTIFICACIÓN	3
1.3 OBJETIVOS	5
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	5
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	5
1.4 PREGUNTAS DIRECTRICES DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.5 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	5
CAPÍTULO II.....	6
MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	6
2.1.1 <i>Incendios forestales y quemas prescritas</i>	6
2.1.2 <i>Consecuencias positivas y negativas de los incendios forestales</i>	7
2.1.3 <i>Incendios forestales históricos</i>	8
2.1.4 <i>Factores y causas que inciden en el comportamiento del incendio</i>	8
2.1.5 <i>Medidas de prevención y mitigación</i>	11
2.2. MARCO LEGAL	12
2.2.1. <i>Constitución de la República del Ecuador 2008</i>	12
2.2.2. <i>Tratados y Convenios Internacionales</i>	13
2.2.3. <i>Leyes Orgánicas</i>	13
2.2.4. <i>Leyes Ordinarias</i>	14
CAPÍTULO III	15
METODOLOGÍA.....	15
3.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	15
3.2 METODOLOGÍA.....	18
3.2.1 <i>Determinación de la probabilidad de ocurrencia de los incendios forestales en el cantón Otavalo</i>	18

3.2.2 <i>Análisis las causas socio ambientales que provocan gran pérdida de cobertura vegetal debido al uso del fuego</i>	21
3.2.3 <i>Propuesta de estrategias de prevención y mitigación para futuros incendios forestales</i>	25
3.3 MATERIALES Y EQUIPOS	29
CAPÍTULO IV	30
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
4.1 ANÁLISIS DE PROBABILIDAD DE OCURRENCIA A INCENDIOS FORESTALES	30
4.1.1 <i>Probabilidad simple de ocurrencia a incendios forestales</i>	30
4.1.2 <i>Probabilidad de Incendios forestales según la ubicación</i>	34
4.1.3 <i>Probabilidad de Incendios forestales según la cobertura del suelo</i>	35
4.1.4 <i>Probabilidad de acuerdo con el rango de las pendientes</i>	37
4.2 ANÁLISIS DE LAS CAUSAS SOCIOAMBIENTALES DE LOS INCENDIOS FORESTALES EN EL CANTÓN OTAVALO	39
4.2.1 <i>Identificación de las causas socioambientales</i>	39
4.3. <i>Triangulación de resultados</i>	43
4.3 ESTRATEGIAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN PARA FUTUROS INCENDIOS DE COBERTURA VEGETAL EN EL CANTÓN OTAVALO.....	46
4.3.2 <i>Matriz FODA</i>	49
4.3.3 <i>Diseño de estrategias</i>	52
CAPÍTULO V	59
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59
5.1 CONCLUSIONES	59
5.2 RECOMENDACIONES.....	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
ANEXOS	69

ÍNDICE DE TABLAS

Contenido	Páginas
Tabla 1. Tipos de incendios según su origen	7
Tabla 2. Incidencias de los incendios forestales	9
Tabla 3. Causas sociales	10
Tabla 4. Clasificación de uso de suelo y cobertura.....	20
Tabla 5. Clasificación de pendientes para el cantón.....	21
Tabla 6. Causas socio ambientales	22
Tabla 7. Pasos para la realización de la matriz de vester.....	26
Tabla 8. Matriz foda.....	27
Tabla 9. Números de incendios forestales registrados del 2010-2022	30
Tabla 9. Probabilidad de incendios forestales según su ubicación	35
Tabla 10. Probabilidad de incendios forestales según la cobertura vegetal.....	36
Tabla 11. Probabilidad de ocurrencia de incendios según la pendiente del terreno	37
Tabla 12. Causas socioambientales de los incendios forestales	40
Tabla 13. Causas de las quemas agrícolas	41
Tabla 14. Test de tendencia.....	46
Tabla 15. Matriz de vester	47
Tabla 16. Matriz foda.....	50
Tabla 17. Cruce de variables del foda y problemas vester	50
Tabla 18. Programa de sistema de alerta temprana	53
Tabla 19. Programa de formación de brigadas comunitarias forestales	54
Tabla 19. Programa para implementación de líneas cortafuegos	55
Tabla 20. Programa de educación ambiental	56
Tabla 21. Coordenadas de la ubicación de las torres de monitoreo.....	57
Tabla 22. Programa de torres de monitoreo y control	58

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Figura 1. <i>Pirámide de kelsen</i>	12
Figura 2. <i>Mapa de ubicación del cantón otavalo</i>	15
Figura 3. <i>Mapa de temperatura del cantón otavalo</i>	16
Figura 4. <i>Mapa de precipitación del cantón otavalo</i>	16
Figura 5. <i>Diagrama ombrotérmico del cantón otavalo</i>	17
Figura 6. <i>Distribución de la población por área del cantón otavalo.</i>	18
Figura 7. <i>Resumen metodológico</i>	28
Figura 8. <i>Porcentaje de probabilidad mensual de ocurrencia de incendios forestales</i>	31
Figura 9. <i>Porcentaje de probabilidad diaria de ocurrencia de incendios forestales</i>	32
Figura 10. <i>Diagrama ombrotérmico del cantón otavalo</i>	33
Figura 11. <i>Mapa de probabilidad de incendios por parroquias</i>	34
Figura 12. <i>Mapa de uso y cobertura del suelo del cantón otavalo</i>	36
Figura 13. <i>Mapa de pendiente del terreno del cantón otavalo</i>	38
Figura 13. <i>Relación de la precipitación y la probabilidad de ocurrencia.</i>	38
Figura 13. <i>Comparación de climogramas del otavalo a) & b)</i>	44
Figura 14. <i>Resultados índices de mann kendall a); b); c)</i>	45
Figura 15. <i>Plano cartesiano de activos y pasivos</i>	48
Figura 16. <i>Árbol de problemas</i>	48
Figura 17. <i>Ubicación de torres de monitoreos</i>	57

RESUMEN

Los incendios forestales representan uno de los impactos ambientales más negativos para el ambiente, en su mayoría provocados por actividades antrópicas. Estos incendios contribuyen significativamente a la emisión de gases de efecto invernadero, por ende, al cambio climático. La presente investigación analizó la ocurrencia y las causas socio ambientales, que permiten identificar las causales que crean las condiciones óptimas para que se susciten los incendios forestales. Para determinar la probabilidad de ocurrencia se requirió de los antecedentes históricos de los incendios del 2010 hasta 2022 y variables como estacionalidad del tiempo, espacios geográficos políticos administrativos y naturales, adquirida esta información se aplicó la fórmula de la probabilidad simple. Para determinar las causas socioambientales se realizó un instrumento de medición cualitativo que abarco los aspectos de la población, conocimiento y sus actividades, posteriormente su validación con el índice de alfa de Cronbach y en la determinación de las causas el coeficiente de V Cramer. Los resultados mostraron que los meses de agosto y septiembre presentaron alta probabilidad de incidencia, junto a los factores físicos de pastos, cultivos y pendientes onduladas. Seguidamente de los factores ambientales como acumulación de desechos en las quebradas, cambio climático, y las quemas agrícolas locales, son las que reflejaron mayor incidencia significativa dentro del área de estudio. Utilizando la matriz de Vester, se identificó que los problemas críticos que inciden en la ocurrencia y propagación de incendios junto con la matriz Foda, se logró diseñar estrategias como sistemas de alerta temprana, brigadas comunitarias, líneas cortafuegos, educación ambiental y torres de vigilancia.

Palabras claves: Incendios forestales, factores ambientales, causas socioambientales, probabilidad de ocurrencias, quemas agrícolas.

ABSTRACT

Forest fires represent one of the most negative environmental impacts to the environment, mostly caused by anthropogenic activities. These fires contribute significantly to the emission of greenhouse gases and, therefore, to climate change. This research analyzed the occurrence and socio-environmental causes, which allow us to identify the causes that create the optimal conditions for forest fires to occur. To determine the probability of occurrence, the historical background of fires from 2010 to 2022 and variables such as seasonality of time, political, administrative and natural geographic spaces were required, and the simple probability formula was applied. To determine the socio-environmental causes, a qualitative measurement instrument was used to measure the aspects of the population, knowledge and its activities, then its validation with the Cronbach's alpha index and in the determination of the causes the V Cramer's coefficient. The results showed that the months of August and September presented a high probability of incidence, together with the physical factors of pastures, crops and undulating slopes. Next, environmental factors such as waste accumulation in streams, climate change, and local agricultural burns, are the ones that showed the highest significant incidence within the study area. Using the Vester matrix, it was identified that the critical problems that affect the occurrence and spread of fires together with the SWOT matrix, it was possible to design strategies such as early warning systems, community brigades, firebreak lines, environmental education and watchtowers.

Key words: Forest fires, environmental factors, socio-environmental causes, probability of occurrence, agricultural burning

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Revisión de antecedentes o estado del arte

El fuego es un fenómeno que surge en seguida de que las plantas terrestres se desarrollaran. Esto ha sido determinante en la configuración de patrones y procesos ecológicos, así como en la distribución y estructura vegetal, impactando directamente en el ciclo biogeoquímico del carbono y en las dinámicas climáticas, (Bowman et al., 2009). Sin embargo, desde ese entonces ha sido el originador de uno de los impactos ambientales más devastadores como son los incendios forestales. De acuerdo con Suresh Babu et al., (2017) son los responsables de la degradación de bosques, destrucción de los ecosistemas, desequilibrio económico y social.

A lo largo de la historia, los incendios han sido desencadenados por diversas de factores socioambientales. Según Sari (2022), menciona que estas causas se clasifican en naturales y antrópicas. Los factores naturales incluyen fenómenos como rayos, temperaturas extremas y la autoignición de materiales combustibles. Por otro lado, las causas antrópicas comprenden elementos como colillas de cigarrillos, actos de sabotaje intencionado y quemas controladas de rastrojos. La mayor parte de incendios se presentan en áreas de matorral y pastizales, donde la presencia de combustibles ligeros facilita tanto la ignición inicial como la posterior propagación del fuego (Vélez, 2000). Estos combustibles, debido a su baja humedad y alta disponibilidad, representan un riesgo significativo en la generación y expansión de incendios forestales.

Según un estudio de McWethy et al. (2018) los bosques de plantaciones exóticas, los pastizales y los cultivos anuales representan la mayor proporción del área anual quemada. La implementación de quemas prescritas, conocidas como "*quemas agrícolas*", es una práctica común para la eliminación de residuos de cosechas y rastrojos de cultivos de cereales. Sin embargo, la propagación no intencionada de estos fuegos puede incrementar significativamente el riesgo de incendios de gran magnitud en plantaciones forestales colindantes, tanto nativas como exóticas, que poseen alta concentración de biomasa. Esto apoyado "aún más por el terreno muy accidentado y las condiciones climáticas hostiles, incluidos los fuertes vientos que dificultan mucho el manejo del fuego" (Wang et al., 2021).

El aumento de las temperaturas globales y las sequías más prolongadas y severas en las últimas décadas están creando condiciones favorables para los incendios de cobertura vegetal (Tyukavina et al., 2022). De acuerdo con MacCarthy et al. (2022) uno de los peores años en

tema de incendios forestales fue en el 2021, ya que el fuego consumió una cobertura vegetal de 9,3 millones de hectáreas a nivel global. En América Latina los incendios forestales han sido uno de los desastres con mayor repercusión en sus ecosistemas. Solo en Brasil en lo que fue el 2021 contabilizaron 184.000 brotes de incendios forestales, mientras tanto Bolivia fue el segundo país que presentó el mayor número de incendios con más 34.000 brotes (Statista Research Department, 2023).

En Ecuador, la causante de la mayoría de los incendios forestales es la actividad humana, ya que usan el fuego para renovar pastizales, cambio de uso del suelo, preparación de tierras y cultivos, y se suma la acción piromaniaca de personas que aumenta el riesgo de incendios (Ministerio del Ambiente, 2019). Por lo tanto, las principales causas de la destrucción de los bosques y la pérdida de biodiversidad en Ecuador han sido los incendios forestales, puesto que desde el 2012 hasta el 2020 se han identificado pérdidas de más de 190.000 hectáreas quemadas por estos eventos (Alarcón, 2021). Por este motivo, se han desarrollado varios estudios en Ecuador donde se evalúa el peligro de incendios forestales y sus principales condicionantes ambientales, climáticos y sociales (Anrango et al. 2020; Arias, et al. 2024; Arias et al. 2024; Arias et al. 2020; Estacio & Narváez, 2012; Pazmiño, 2019; Ramos et al. 2021; Reyes & Balcázar, 2021).

Para Marcillo (2023) la provincia Imbabura ha sido afectada gravemente por los incendios forestales, puesto que desde el año 2010 hasta la fecha han ocurrido 1865 eventos de incendios. Estos eventos han llegado a consumir 22.943,56 hectáreas de cobertura vegetal quemada: siendo el cantón Cotacachi el que registra el mayor número de hectáreas quemadas (7 570,91) seguido del cantón Ibarra 6.001,46 ha. Por otro lado, los cantones de San Miguel de Urququí y Otavalo sobrepasan (3000 ha) de cobertura vegetal quemada. En Otavalo se han registrado incendios que han afectado gravemente a sus ecosistemas, que de acuerdo con la información se han producido incendios desde el 2010 al 2023, siendo los sectores más afectados San Juan de Ilumán, Gonzáles Suárez y San Pablo.

Es allí, que Marcillo (2023) menciona que uno de los incendios con mayor magnitud fue aquel que se registró San Juan de Ilumán en el año 2011 consumiendo 500 hectáreas, este incendio afectó a ecosistemas frágiles tales como páramo, bosques secundarios y bosque de Ciprés. En el 2015 se registró un incendio en el sector de Gonzáles Suárez en la comunidad San Agustín de Cajas donde consumió 490 hectáreas de páramo. El incendio más reciente se registró en los páramos del sector de Angla perteneciente a La Rinconada. Tal como menciona el diario

el Metro (2019) donde después de 3 días, personal del MAE y SNGRE realizaron la georreferenciación determinando 333,42 hectáreas afectadas de vegetación páramo. Estos incendios forestales se dieron por actividades antrópicas.

1.2 Problema de investigación y justificación

Bajo la incidencia de las influencias socioeconómicas y climáticas, la frecuencia de los incendios forestales ha cambiado en las últimas décadas y ha aumentado el número de incendios forestales, lo que se ha convertido en un problema ambiental muy grave (Cárdenas, 2013). De hecho, se ha identificado que normalmente las causas de los incendios son por acciones antrópicas Guo et al. (2023). Debido a que las personas aplican las quemas agrícolas para la preparación de tierras, limpia de restos de podas, avance de la frontera agrícola, entre otras actividades (Vélez, 2000). Por otro lado, proporcionan beneficios para el medio ambiente, como la regulación de las poblaciones, reducción del exceso de combustibles y la restauración de pastizales que alimentan al ganado y la vida silvestre (Cárdenas, 2013).

De acuerdo con Barría (2019) el aumento de la temperatura representa una amenaza para el medio ambiente y la sociedad, ya que altera las condiciones ambientales y crea largas temporadas secas y bajas precipitaciones, por ende, el aumento de los incendios forestales. Por lo tanto, los incendios son responsables de la contaminación del aire, degradación del suelo, afecta la belleza natural y modifica el régimen hídrico” (Valenzuela et al., 2012). Además de causar un impacto completo en el desequilibrio fisiológico, ya que altera los ritmos de la sucesión natural de la flora y fauna. La biodiversidad sufre alteraciones en su ciclo de vida por la situación del cambio climático (Nairobi, 2022).

La emisión y el transporte atmosférico de los productos de combustión de los incendios forestales (humo), representa una dificultad a la salud pública que afecta a las comunidades vulnerables y a las personas sensibles a la exposición al humo (Cascio, 2018). Por tanto, se generan afectaciones prolongadas en la salud de las personas (Nairobi, 2022). En sí, los incendios forestales provocan “impactos económicos, ecológicos y sociales como afecciones a los distintos recursos vitales, detención de las actividades lucrativas, reducción de jornadas de trabajo, entre otros aspectos” (Valenzuela et al., 2012).

Desde la década de 2010, el cantón Otavalo ha experimentado una serie de incendios forestales que han impactado negativamente en sus ecosistemas, especialmente en las áreas de páramo. Estos incendios han sido atribuidos a actividades humanas (Marcillo, 2023). Con una población de aproximadamente 104.874 habitantes (Instituto Nacional de Estadística y Censos,

2010). Otavalo cuenta con una cobertura vegetal de aproximadamente 42,91 hectáreas, que se utiliza de manera diversificada. La distribución de esta superficie se enfoca en actividades agrícolas, que representan una inversión significativa para la comunidad local, pastos cultivados para la alimentación del ganado, y áreas forestales, entre otros usos. Dada la importancia de estos ecosistemas para el bienestar y desarrollo sostenible del cantón, el Plan de Ordenamiento Territorial [PDOT], (2015) enfatiza la necesidad de implementar medidas de protección para preservar los servicios ecosistémicos esenciales para la región.

En vista de las consecuencias que ocasionan los incendios forestales al ambiente y la sociedad, este estudio está relacionado con el objetivo 9 del Plan de Creación de Oportunidades 2021 – 2025. Hace referencia a asegurar a los ciudadanos su integridad ante los riesgos por ocasionarse, teniendo en cuenta la normativa que habla sobre la limitación de desastres naturales o causados por el ser humano en el territorio ecuatoriano. Además, con el objetivo 11 que trata sobre la restauración, cuidado y protección de los recursos naturales para poder preservar los diferentes entornos (Secretaría Nacional de Planificación, 2021).

Las causas ambientales, sociales y económicas que repercuten en los incendios forestales y la identificación de las incidencias de estos dentro del cantón Otavalo. Permitirá reconocer zonas con mayor peligro y probabilidad de incendios que ayudará para enfocarse en las propuestas de prevención con la realización de talleres y programas. Así las poblaciones conocerán del tema y evitarán el deterioro al medio ambiente. Depende de la utilidad del fuego que hacen las personas en la preparación de sus terrenos, limpia de podas, ampliación de la frontera agrícola o actividades recreativas en zonas propensas a incendios en los ecosistemas sensibles. Asimismo, revertirá los efectos causados en los distintos ámbitos (Rodas, 2015).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Analizar las causas socio ambientales de los incendios históricos forestales del cantón Otavalo para proponer estrategias de prevención y mitigación.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar la probabilidad de ocurrencia de los incendios forestales en el cantón Otavalo.
- Determinar las causas socioambientales que provocan gran pérdida de cobertura vegetal debido al uso del fuego.
- Proponer estrategias de prevención y mitigación para futuros incendios forestales en el cantón Otavalo.

1.4 Preguntas Directrices de la investigación

- ¿Cuáles son las causas socio ambientales de los incendios históricos forestales que han ocurrido en el cantón?
- ¿Cuáles son las zonas con mayor susceptibilidad a incendios de cobertura vegetal por probabilidad de ocurrencia?

1.5 Hipótesis de la investigación

- Ho: No existe relación entre variables independiente (existencia de incendios en los últimos años con variable dependiente (posibles causas que la suscitan).
- Ha: Existe relación entre variables independiente (existencia de incendios en los últimos años con variable dependiente (posibles causas que la suscitan).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Marco teórico referencial

2.1.1 Incendios forestales y quemas prescritas

El fuego, definido como una reacción química de oxidación rápida que libera luz, calor y diversos productos de reacción, ha estado presente en la Tierra desde sus inicios. La actividad humana ha agravado la frecuencia e intensidad de los incendios (Aguilera, 2015). Desde una perspectiva ambiental, los incendios pueden tener orígenes naturales como antrópicos, y ocurren en una variedad de ecosistemas terrestres. Debido a su capacidad de propagarse rápidamente a través de diferentes tipos de vegetación, estos eventos se clasifican comúnmente como incendios forestales o incendios de vegetación, términos que reflejan la diversidad de ecosistemas afectados (García-Pausas, 2012).

Los incendios forestales se definen como la propagación no controlada de fuego en áreas de vegetación boscosa. Aunque la quema de rastrojos resultante de actividades agrícolas y la eliminación de residuos vegetales mediante fuego, no se clasifican inicialmente como prácticas de alto riesgo. La falta de control adecuado puede transformar estas acciones en causantes de incendios de gran magnitud (Aguilera, 2015). Por otro lado, las quemas controladas, también conocidas como quemas prescritas, son una técnica de manejo del fuego que, cuando se aplican correctamente, pueden disminuir significativamente la cantidad de material combustible en el suelo. Reduciendo así la probabilidad y la intensidad de futuros incendios forestales Wang et al. (2021).

Hay razones justificadas para la práctica de la quema prescrita, según García-Pausas (2012) “dadas sus características, suponen un reto para los silvicultores”, porque ellos no tienen un conocimiento profundo sobre el tiempo y la frecuencia para realizar dicha actividad. No obstante, “un conocimiento amplio en el tema, el análisis meteorológico y el control adecuado de la situación ayudan a mitigar el riesgo” (Cherlynka, 2023). Así también, para la monitorización de los bosques y control de las llamas es necesario el apoyo de la tecnología satelital en la gestión de las quemas prescritas. Existen distintos tipos de incendios según su origen, como se puede apreciar en la (Tabla 1).

Tabla 1. *Tipos de incendios según su origen*

TIPO	CARACTERÍSTICAS
Incendios naturales	Originados de manera espontánea por fuentes naturales, principalmente por rayos que se extiende sin control en terrenos forestales.
Incendios de origen antrópico	Incendios no intencionados, provocados
Accidentales	Por negligencia o por accidente.
Intencionados	Incendios originados a causa de actos delictivos o por pirómanos.
Quemas controladas (fuegos planeados)	Quemas realizadas de forma segura y planificada por profesionales para el control de combustibilidad.

Nota: La tabla indica los tipos de incendios y sus características. Tomado de García-Pausas (2012).

2.1.2 Consecuencias positivas y negativas de los incendios forestales

Entre las consecuencias positivas de los incendios, cabe destacar la alteración de la naturaleza en su estructura de flora y fauna, la distribución de los biomas y la variación de las comunidades (García-Pausas, 2012). Por otro lado, durante la última década se han observado consecuencias negativas relacionadas con el incremento del cambio climático provocado por la actividad humana. Debido al aumento de las temperaturas, condiciones de sequedad y un deshielo temprano que contribuye a un incremento en la frecuencia e intensidad de los incendios forestales (Thapa et al., 2023; Williams et al., 2019).

Las sequías, las olas de calor, la variabilidad y los patrones climáticos regionales han aumentado el riesgo y la alteración del comportamiento de los incendios forestales (Turco et al., 2018). La degradación de los servicios de los ecosistemas, provocan la pérdida de biodiversidad y ponen en peligro las fuentes de sustento (Wang et al., 2021), puesto que, se destruyen grandes áreas de vegetación en todo el mundo. De igual forma, los incendios forestales contribuyen al calentamiento global cuando liberan gases de efecto invernadero (GEI), debido a la quema de cobertura vegetal.

Otra consecuencia negativa según Valenzuela et al., (2012) es el humo, el cual resulta perjudicial para la salud humana al inducir diversas patologías, y para los ecosistemas, interfiriendo con la capacidad de las plantas para llevar a cabo la fotosíntesis eficientemente. Señala que los incendios provocan cambios notables en el suelo, alterando sus propiedades físicas, químicas y biológicas, lo cual varía según la naturaleza del incendio. Estas modificaciones pueden tener efectos duraderos en la estructura del suelo y, por ende, en la productividad y sostenibilidad de los hábitats afectados (González, 2017).

2.1.3 Incendios forestales históricos

En la historia se conoce que los incendios se categorizan desde leves hasta muy graves que afectan la biodiversidad. Los primeros incendios registrados por Glasspool et al., (2004) son los que sucedieron hace 440 millones de años con las plantas colonizadoras de la superficie terrestre, el cuál registra los restos fósiles quemados más antiguos. Durante la era Silúrica, se registraron concentraciones de oxígeno del 19%, superando el umbral mínimo del 13% necesario para la combustión, según indican los mismos investigadores. Es en esta época donde se encuentran evidencias de vegetación quemada y preservada en su totalidad dentro del carbón mineral, evidenciado por la abundancia de fósiles vegetales descubiertos en dicho material (Bajjnath-Rodino et al., 2023).

Los incendios forestales representan una amenaza significativa para los ecosistemas sensibles de Ecuador, particularmente en las regiones de páramo, que son vitales para la conservación del agua y la biodiversidad. La investigación de Bustos et al. (2019) destaca que las provincias de Carchi, Imbabura, Pichincha, Loja, Azuay, Chimborazo, Cañar, Cotopaxi y El Oro, ubicadas en las zonas montañosas y costeras, son las más vulnerables a los incendios. Estos eventos no solo afectan la flora y fauna local, sino que también tienen un impacto directo en las zonas de amortiguamiento de las áreas protegidas, lo que puede llevar a una disminución de la capacidad de estas áreas para cumplir con sus funciones ecológicas esenciales. Según datos del Ministerio del Medio Ambiente, entre 2012 y 2018, se ha observado una concentración del impacto de los incendios en estas zonas críticas, subrayando la necesidad de estrategias de manejo y prevención efectivas para proteger estos valiosos recursos naturales.

2.1.4 Factores y causas que inciden en el comportamiento del incendio

Se anticipa que la incidencia y severidad de los incendios forestales se intensificarán debido al incremento de niveles de monóxido de carbono, el incremento de las temperaturas promedio y la reducción de precipitaciones. (Rodas, 2015). Los incendios se comportan de manera distinta según el ambiente en cual se desarrolla. Existen distintos factores que inciden para su desarrollo (Tabla 2). La biomasa, altas temperaturas, área quemada, tiempo transcurrido desde el último incendio, tipo de suelo, pendiente y vegetación que son los que interfieren en la intensidad, la magnitud y la velocidad de los incendios (Aguilera-Sánchez, 2015).

Tabla 2. *Incidencias de los Incendios Forestales*

Factor / Causa	Características
Combustible	La combustibilidad puede generar incendios arrasadores dependiendo de su naturaleza, tamaño, volumen, disposición y grado de humedad del material combustible. Elementos como hojas, ramas, materia orgánica en descomposición, así como hierbas y arbustos de distintos tamaños, actúan como catalizadores de incendios. (Keller & Blodgett, 2004).
Meteorología	Existen tres factores críticos que incrementan la probabilidad de incendios forestales; el ritmo de las precipitaciones, más que su cantidad. La temperatura ejerce un papel significativo en la humedad relativa atmosférica. El viento contribuye a la desecación del combustible y proporciona oxígeno.
Topografía	La pendiente del terreno y su orientación pueden afectar significativamente el comportamiento del fuego, debido a su notable influencia de propagación. Puesto que el aire caliente provoca la desecación de los combustibles situados por encima de la zona de combustión.

Nota: Tomado de Aguilera-Sánchez (2015)

- **Causas sociales**

Las actividades humanas han tenido un impacto significativo en la pérdida de cobertura vegetal natural, particularmente a través del uso incontrolado del fuego. Esta práctica, lejos de ser un accidente o un evento sin explicación, es frecuentemente realizada con intenciones

específicas. Según Vélez (2000) la mayoría de los incendios forestales no ocurren por causas desconocidas ni por error; por el contrario, existe casi siempre un propósito deliberado detrás de estos eventos, lo que resulta en un número elevado de incendios y una extensa área afectada por las llamas. La Tabla 3 ilustra las causas sociales que están detrás de la incidencia de incendios, subrayando la necesidad de abordar estas cuestiones desde un enfoque preventivo y educativo para mitigar el daño ambiental y preservar la cobertura vegetal.

Tabla 3. *Causas sociales*

Causa	Definición
Densidad poblacional rural y uso de la tierra	A medida que la población rural aumenta, también lo hacen las interacciones entre las personas y los bosques. Esto puede llevar a un mayor riesgo de incendios causados por actividades humanas.
Quemas antropogénicas.	En las regiones tropicales, la prevalencia de incendios es mayor en prácticas intencionadas para el desmonte y transformación del terreno, métodos agrícolas de tala y quema, e incendios deliberados para el cambio de uso del suelo con fines agrícolas u otras actividades productivas.
Pastoreo	El pastoreo de ganado incrementa la creación de bordes secos en las áreas forestales dado que las especies vegetales herbáceas son reemplazadas por especies leñosas de mayor inflamabilidad.
Tala	En áreas de explotación forestal, los árboles talados dejan residuos que incrementan la combustibilidad, generando así condiciones propicias para la ocurrencia de incendios de alta intensidad y mayor recurrencia.

Nota: Tomado de Rodas (2015)

2.1.5. Medidas de prevención y mitigación

En Ecuador, el Programa Nacional de Restauración Forestal incluye el Plan de Prevención, Control de Incendios Forestales y Remediación de Áreas Afectadas. Este plan se centra en la rehabilitación de zonas dañadas por incendios durante la temporada seca y fomenta medidas preventivas contra los incendios forestales mediante la educación y sensibilización en las áreas más propensas (MAATE, 2019). Al determinar las zonas con alta probabilidad de incendios se puede desarrollar modelos de gestión de incendios para tratar de minimizar y evitar que eventos catastróficos ocurran (Bustos et al., 2019).

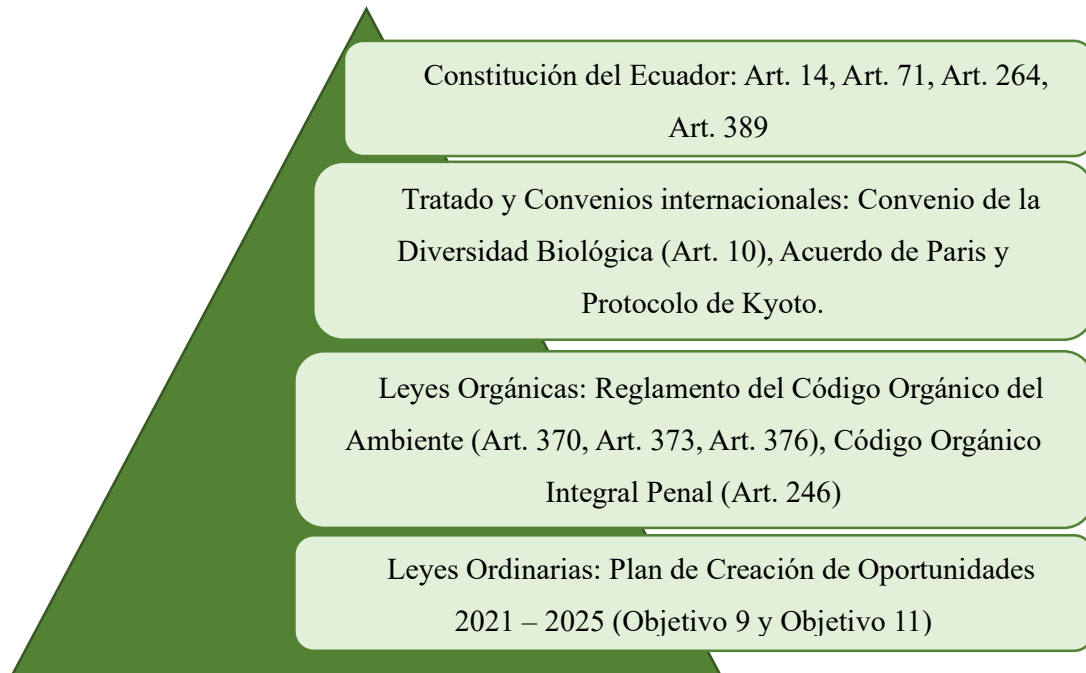
Vélez-Muñoz (2009) indica que la prevención de incendios forestales comprende una serie de estrategias diseñadas para disminuir o eliminar la posibilidad de iniciación de fuegos y para limitar sus consecuencias en caso de que ocurran. Estas estrategias pueden desarrollarse desde dos enfoques distintos:

- Al evaluar las causas que originan los incendios, es posible implementar acciones concretas para controlar cada una de ellas.
- Al analizar los elementos del triángulo del fuego, se pueden establecer medidas específicas para cada componente.

También, en el ámbito de la gestión del riesgo de incendios forestales, se fomenta la inclusión del factor de riesgo en los mecanismos de planificación territorial a nivel comunitario, con la finalidad de establecer medidas para mitigar el riesgo. Entre estas medidas se destacan la construcción de cortafuegos, la aplicación de prácticas de selvicultura preventiva y otras acciones, además de regular la conducta de la población, especialmente en las zonas de interfaz entre áreas urbanas y rurales. En este sentido, se emplea la matriz FODA como herramienta estratégica que ayuda en la gestión de los sectores comprendidos en la zona de estudio (Martínez et al., 2021).

2.2. Marco legal

Figura 1. Pirámide de Kelsen



2.2.1. Constitución de la República del Ecuador 2008

Esta investigación se alinea con los artículos constitucionales de Ecuador: el art. 14, que proclama la preservación ambiental, la conservación de ecosistemas y biodiversidad, así como la prevención y reparación de daños ambientales, como asuntos de interés público. Estos principios reflejan el compromiso del país con la protección y restauración de sus valiosos recursos naturales. El art. 71 promulga que es deber del Estado fomentar la protección ambiental tanto en individuos como en organizaciones, incentivando la conservación de la naturaleza. Además, se compromete a promover la valoración de cada componente del ecosistema, asegurando su respeto y cuidado. Según el art. 264, es responsabilidad única de los Gobiernos municipales organizar y administrar los servicios relacionados con la prevención y protección contra incendios, así como las labores de rescate y extinción de estos (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

Estos engloban a la relación sociedad- naturaleza, puesto que recalcan en toda su descripción la prevención, protección, conservación y respeto a los ecosistemas y a sus componentes que los conforman. El art. 389 establece que es deber del Estado salvaguardar a individuos, comunidades y el medio ambiente de los impactos adversos provocados por catástrofes naturales o causadas por el hombre. Esto se logra a través de la prevención de riesgos, la

reducción del impacto de los desastres, y la restauración y mejora de las condiciones sociales, económicas y ambientales para disminuir la vulnerabilidad

2.2.2. *Tratados y Convenios Internacionales*

El Convenio sobre la Diversidad Biológica es un acuerdo internacional que busca fomentar acciones para un futuro más sostenible. Este estudio se enfoca en el art. 10, que trata sobre la importancia de aplicar prácticas que permitan el aprovechamiento sostenible de los componentes de la biodiversidad, asegurando que su uso contribuya al bienestar humano sin comprometer las necesidades de las futuras generaciones. (Organización de las Naciones Unidas, 1992). Por otro lado, está el acuerdo de París que trata sobre el cambio climático que es una variable principal ante los incendios forestales. El Protocolo de Kyoto es un acuerdo internacional enfocado en la implementación de acciones para estabilizar y disminuir las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, con el fin evitar alteraciones perjudiciales frente al cambio climático.

2.2.3. *Leyes Orgánicas*

En el Reglamento del Código Orgánico Ambiental, Libro II Patrimonio Natural, Capítulo X Incendios Forestales y Manejo Integral del Fuego. El artículo 370 subraya la obligación de los ciudadanos de emprender medidas concretas para prevenir incendios forestales, especialmente si sus acciones amenacen a los recursos y servicios ambientales de áreas naturales protegidas. El artículo 373 otorga a los Gobiernos Autónomos Descentralizados Metropolitanos y Municipales la responsabilidad de crear programas enfocados en la prevención, manejo y eliminación de incendios forestales. Estos programas son esenciales para proteger tanto la flora natural como la cultivada dentro de sus zonas rurales y naturales en su territorio. (Reglamento al Código Orgánico del Ambiente, 2019).

El artículo 376 indica que la Autoridad Ambiental Nacional, junto con otras entidades, implementará una política nacional para el manejo integral del fuego. Esta política buscará reemplazar progresivamente el uso del fuego en áreas rurales, fomentando alternativas y el uso responsable de quemas controladas. Además, se enfocará en la prevención y manejo de incendios forestales para minimizar su impacto en los ecosistemas, promoviendo su recuperación y valorando el rol ecológico y cultural del fuego, con el fin de proteger y conservar el patrimonio natural. (Reglamento al Código Orgánico del Ambiente, 2019)

En El artículo 246 del Capítulo IV del Código Orgánico Integral Penal establece que causar incendios en bosques o páramos, ya sea directa o indirectamente, conlleva una sanción de uno

a tres años de prisión. Las quemas controladas para fines agrícolas o domésticos están permitidas; sin embargo, si estas provocan un incendio forestal, la pena será de tres a seis meses. Además, si el incendio resulta en la muerte de personas, la pena aumenta a entre trece y dieciséis años de prisión.

2.2.4. Leyes Ordinarias

La Ordenanza de funcionamiento del cuerpo de bomberos del cantón Otavalo, adscrito al gobierno autónomo descentralizado municipal del cantón Otavalo presenta las distintas funciones que realiza como la prevención y protección de ciudadanos y animales que pertenezcan al sector urbano o rural del cantón, al igual que presentar atención en casos de emergencia, socorro o catástrofes. Es importante promover el fortalecimiento y potencial el conocimiento de las actitudes que se deben tomar antes de que se produzca un suceso inesperado.

La investigación actual está vinculada con la implementación de la política 7.4, 7.5 y 7.6 del Plan de Desarrollo para el Nuevo Ecuador 2024-2025, con el eje de Infraestructura, energía y medio ambiente; que busca fomentar la conservación, restauración, protección, uso y aprovechamiento sostenible del patrimonio natural. Esta política incluye la aplicación de mecanismos regulatorios para la gestión ambiental, la reducción del riesgo de desastres y la adopción de modelos circulares para minimizar la contaminación de los recursos naturales. Asimismo, se enfoca en promover la gestión de riesgos asociados a diversos factores, tales como climáticos, ambientales, geológicos, oceánicos y antrópicos, además de impulsar la integración de normas de construcción sostenibles en las infraestructuras con el fin de asegurar la protección de los usuarios frente a posibles riesgos y peligros (Secretaría Nacional de Planificación, 2024).

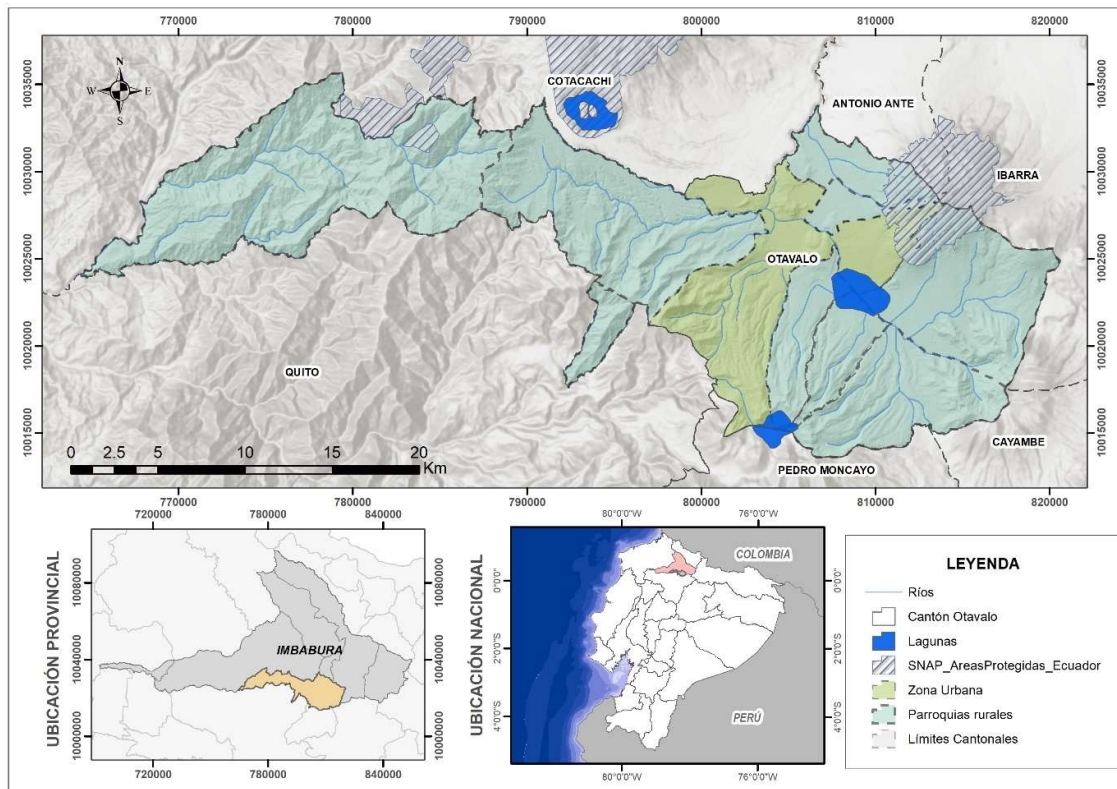
CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Descripción del área de estudio

El cantón Otavalo, con una superficie de aproximadamente 497,97 kilómetros cuadrados, se sitúa en la provincia de Imbabura, al sur de la misma. Este cantón presenta una variada altitud que oscila entre los 985 m.s.n.m. y los 4617 m.s.n.m. Geográficamente, Otavalo limita al norte con los cantones Cotacachi, Antonio Ante e Ibarra; por el sur, colinda con el cantón Pedro Moncayo y el Distrito Metropolitano de Quito; al este, con el cantón Cayambe; y al oeste, con el cantón Cotacachi. Esta ubicación estratégica le confiere una diversidad de climas y ecosistemas, lo que contribuye a su gran biodiversidad y atractivo turístico.

Figura 2. Mapa de ubicación del cantón Otavalo



La caracterización del clima se basa en factores climáticos esenciales como la precipitación y la temperatura. Estos elementos son fundamentales para determinar las condiciones climáticas, tal como se presenta en el plan de Ordenamiento Territorial del Gobierno Autónomo Descentralizado. La temperatura ambiente promedio presenta un rango que oscila entre 10,7 a 14,6°C como se muestra en la figura 3, la cual se divide por estación indicando que la estación

de Otavalo presenta mayor temperatura. El mapa que se presenta en la figura 4 indica la precipitación del cantón, que oscila entre 860 a 2200 mm al año, se visualiza mayor precipitación en la estación de Selva Alegre.

Figura 3. Mapa de temperatura del cantón Otavalo

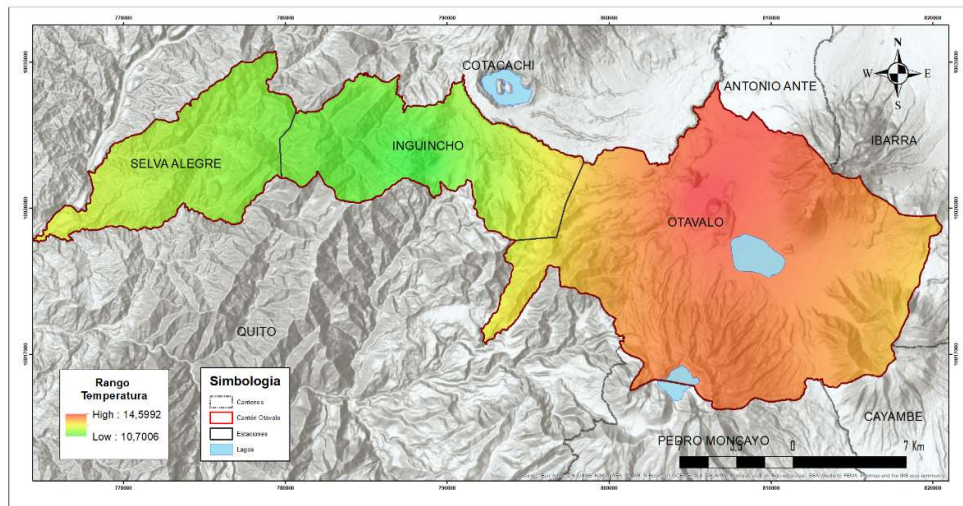
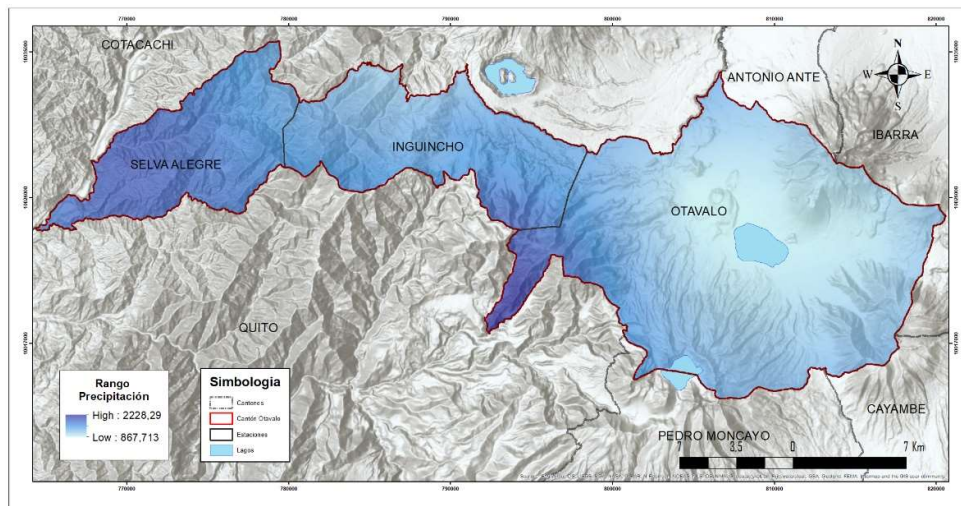


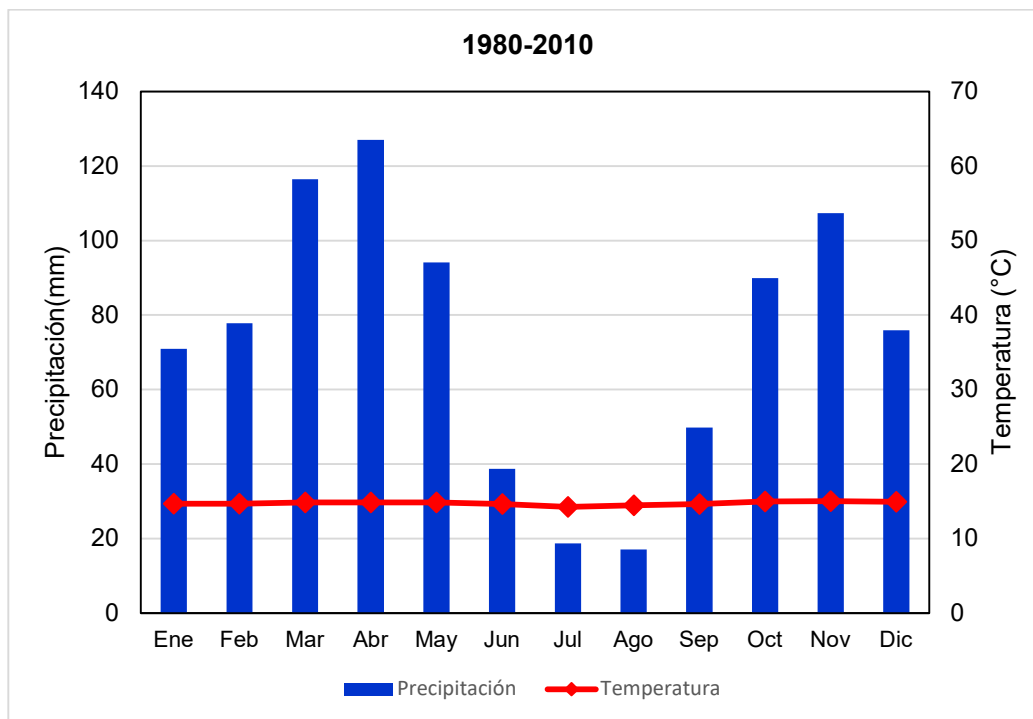
Figura 4. Mapa de precipitación del cantón Otavalo



El cantón Otavalo se caracteriza por su topografía variada, influenciada por el volcán Imbabura y el páramo de la laguna de Mojanda en los Andes occidentales. Ubicado entre las cuencas de los ríos Esmeraldas y Mira, y afectado por la cuenca del río Ambi en la región andina, contrasta con la cuenca del río Guayllabamba en la zona subtropical de Selva Alegre. Según la figura 5 y la clasificación de Pourrut sobre el régimen de lluvias, Otavalo presenta dos climas predominantes: el clima Ecuatorial mesotérmico semi-húmedo en Selva Alegre, Lago

San Pablo y la cabecera cantonal, y el clima Ecuatorial de Alta Montaña en áreas como el volcán Imbabura y Mojanda (Plan de Ordenamiento Territorial [PDOT], 2015).

Figura 5. Diagrama ombrotérmico del cantón Otavalo



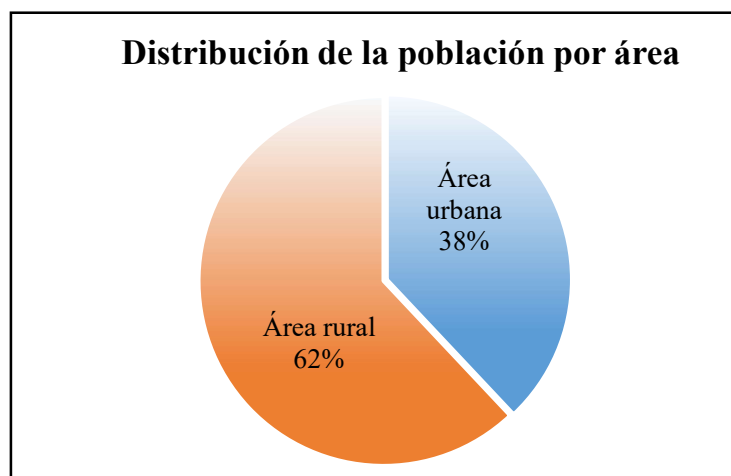
Nota. El gráfico representa la precipitación y temperatura media mensual de los años 1980 a 2010. Tomados del INHAMI

El climograma del cantón Otavalo, muestra una diferencia entre la época seca y la época lluviosa. Durante la época seca, que va de julio y agosto, las precipitaciones son muy escasas, con un promedio de 17,89mm en los dos meses. Por otro lado, durante la época lluviosa, que va de octubre a mayo, las precipitaciones son mucho más abundantes, con un promedio de 84,82mm por mes. La temperatura media anual es de alrededor de 14,7°C. En general, Otavalo se caracteriza por tener un clima ecuatorial, con una época seca no muy bien definida y una época lluviosa con precipitaciones abundantes. La información climática fue obtenida del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) en relación con las 3 estaciones meteorológicas que se ubican en el cantón Otavalo, mismas que son Otavalo, Inguincho y Selva Alegre.

Según distribución poblacional por área en el cantón Otavalo (Figura 6), la zona rural es el 65.925 habitante lo cual representa el 62,47%; mientras que la urbana es de 44.536 habitantes que representa el 37,53%. En cuanto a la parte étnica la población indígena es mayoritaria con

el 57,24%, que se enfoca en zonas rurales, destacándose por su notable crecimiento las parroquias de San Juan de Ilumán, Eugenio Espejo, San José de Quichinche y la cabecera cantonal (PDOT, 2015).

Figura 6. *Distribución de la población por área del Cantón Otavalo.*



3.2 Metodología

3.2.1 Determinación de la probabilidad de ocurrencia de los incendios forestales en el cantón Otavalo.

La metodología de la investigación presente se realizó por una cadena de procedimientos que ayudó a determinar la probabilidad de ocurrencia de los incendios forestales. Según McWethy et al. (2018) para identificar los controles primarios sobre la actividad de incendios, se evaluó una serie de variables a escala local a regional. Variables que representan las condiciones climáticas que influyen en la inflamabilidad (temperatura, precipitación), la continuidad y abundancia de combustibles (cobertura del suelo) y la distribución de las igniciones naturales y causadas por el hombre. De acuerdo con lo mencionado, se recolectó datos de los incendios históricos del cantón Otavalo y factores meteorológicos importantes.

La probabilidad de ocurrencia se determinó con el cálculo de la probabilidad simple (Ecuación 1). La probabilidad simple es la cantidad de veces que ocurre un determinado evento, dependiendo de la cantidad de elementos que puedan dar lugar a dicho suceso (Westreicher, 2020). En ese sentido, se determinó la probabilidad de ocurrencia por periodo de tiempo relacionado con la época seca y lluviosa, la probabilidad de ocurrencia geográfica a través de probabilidad de incendios por parroquias, para conocer la distribución política administrativa. Sin embargo, para conocer la distribución según condicionantes naturales se consideró: tipo de cobertura de suelo y tipo de pendientes.

$$P(A) = \frac{\text{Números de resultados favorables a } A}{\text{Cantidad total de combinaciones}} \quad (1)$$

3.2.1.1 Probabilidad de ocurrencia por estacionalidad diaria y mensual.

Para determinar el mes con la incidencia más alta de incendios de cobertura vegetal en el cantón Otavalo, se realizó una metodología técnica que involucre el análisis de datos históricos, primero, se recopiló información histórica sobre incendios previos en la zona de interés. Luego se realizó un análisis estadístico de los datos para identificar patrones y correlaciones. En cambio, para determinar la probabilidad de ocurrencia de incendios forestales en épocas de sequía y lluvia se utilizó climogramas basado en varios factores que influyen en la generación y propagación de incendios. Los climogramas mostraron la distribución de la temperatura y la precipitación a lo largo del año. Estos permiten identificar patrones climáticos que pueden influir en la probabilidad de incendios forestales, ya que muestran temperaturas altas y precipitaciones bajas durante ciertos periodos del año pueden indicar un mayor riesgo de incendios forestales.

Estos registros fueron contabilizados de acuerdo con los meses y días y las épocas mediante una matriz, la cual se realizó los cálculos con la fórmula 1 en donde se constante información de los incendios forestales ocurridos en el cantón del 2010 al 2022. También debe incluir la evaluación de factores humanos, las prácticas de uso de la tierra, ya que estas actividades pueden alterar significativamente el riesgo de incendios. La integración de todas estas fuentes de datos permite la creación de un modelo comprensivo que puede predecir la probabilidad de incendios con mayor precisión.

3.2.1.1 Probabilidad de ocurrencia por espacios geográficas

Para determinar la probabilidad de ocurrencia por espacios geográficos se consideró los límites parroquiales como espacios territoriales de referencia. Se implementó una metodología técnica que involucró el uso del software ArcMap bajo una licencia temporal. Este programa permitió la cartografía precisa de los eventos de incendios forestales registrados a nivel parroquial hasta el año 2022. La recopilación de datos históricos de incendios forestales, correspondientes al periodo 2010-2022, se llevó a cabo mediante la consulta de registros en la Secretaría de Gestión de Riesgos y Emergencias de Imbabura. Posteriormente, se procedió a la creación de una base de datos exhaustiva que integró la información adquirida, facilitando así el análisis espacial y temporal de los incendios forestales dentro del cantón. Esta base de datos se convirtió en una herramienta fundamental para la identificación de patrones de ocurrencia y la distribución geográfica de los incendios.

Los registros de incendios forestales en el cantón Otavalo, comprendidos entre los años 2010 y 2022, fueron contabilizados siguiendo una metodología estructurada por parroquia. Utilizando una matriz diseñada para tal fin, se llevaron a cabo los cálculos pertinentes empleando la fórmula (1), la cual se aplicó para obtener una estimación precisa de los incidentes de incendios. Además, se constató datos relacionados con cobertura vegetal, así como de la pendiente del terreno, factores ambos de relevancia crítica para comprender la dinámica de los incendios forestales en la región.

*3.2.1.2 Probabilidad de ocurrencia por espacios geográficos naturales del cantón:
Cobertura de suelo y tipo de pendientes*

En primer lugar, se emplearon imágenes satelitales Landsat 8 del 2015 y 2018 descargadas de la plataforma *Earth Explorer* (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) para identificar los tipos de cobertura del suelo en el cantón Otavalo (Tabla 4). Estas imágenes fueron procesadas y clasificadas en categorías a través de la técnica de clasificación de máxima verosimilitud, utilizando firmas espectrales con 238 coordenadas para agrupar píxeles similares. Luego, se realizó la validación con el análisis de exactitud global que evalúa la precisión de las coordenadas y la realidad; esta se representa de 0 a 1, de manera que 1 equivale al 100% de exactitud y 0 demuestra que no hay coincidencias; se generó así la precisión del usuario con la del productor. Mencionado lo anterior el mapa de uso de cobertura de suelo se validó con 93,94% de exactitud (Arias-Muñoz et al., 2024).

Tabla 4. *Clasificación de uso de suelo y cobertura*

Categorías de uso del suelo y cobertura vegetal
Páramo
Bosque nativo
Pastizales
Cultivos
Vegetación Arbustiva
Zona Urbana
Cuerpo de agua
Área sin vegetación

- *En segundo lugar, se identificó el relieve según el tipo de pendiente presente en el territorio.*

Con la herramienta Slope del software ArcMap se identificó los diferentes relieves del cantón Otavalo con ayuda del ráster (DEM). La topografía será más plana con un valor de pendiente más bajo y más pronunciada con un valor de pendiente más alto. Este método de análisis es fundamental para comprender la distribución espacial de los diferentes tipos de relieve y su correlación con potenciales usos del suelo, planificación territorial y gestión de riesgos naturales (Burrough & McDonell, 1998). Obtenidas las pendientes se clasificaron en base a la Tabla 5.

Tabla 5. *Clasificación de pendientes para el cantón.*

Clase	Pendientes (%)	Riesgo	Relieve
1	0 - 5	Muy bajo	Plano
2	5 - 12	Bajo	Ligeramente ondulado
3	12 - 25	Medio	Ondulado
4	25 - 45	Medio	Fuertemente ondulado
5	45 - 70	Alto	Montañoso
6	> 70	Muy alto	Escarpado

Nota. Modificado de Arias-Muñoz et al., (2020).

Finalmente, los registros históricos de los incendios forestales fueron contabilizados de acuerdo al tipo de cobertura de suelo y el tipo de pendiente, con base a la fórmula (1).

3.2.2 Análisis las causas socio ambientales que provocan gran pérdida de cobertura vegetal debido al uso del fuego.

Para analizar las causas socio ambientales que inciden en la ignición de incendios forestales, se realizó un análisis mediante un estudio de percepción social. Este estudio se efectuó aplicando una encuesta estructurada a los habitantes del área afectada. Los resultados obtenidos se cotejaron con información climática y ambiental pertinente al territorio estudiado. Este proceso de triangulación de datos permitió obtener una visión integral de cómo las dinámicas humanas y los factores naturales convergen para influir en la ocurrencia y gravedad de los incendios.

Para determinar las variables que reflejan las causas socio ambientales de los incendios forestales, se elaboró un marco conceptual que considera los factores sociales y ambientales como posibles fuentes de ignición. Este marco sirvió de base para la formulación de preguntas

y la estructuración de la encuesta del estudio actual. Se identificó la ocurrencia de incendios forestales en el área de estudio como la variable dependiente, mientras que los factores socio ambientales que predicen esta ocurrencia se definieron como variables independientes, tal como se detalla en la Tabla 6.

Tabla 6. *Causas socio ambientales*

Tipo de factor	Variable	Tipo de variable	Pregunta utilizada
Ninguno	Existencia de incendios	Independiente	Conoce Usted, si en su sector han existido incendios forestales en los últimos años.
Social	Nivel de educación	Dependiente	<ul style="list-style-type: none"> ✓ No tiene ✓ Primaria ✓ Secundaria sin finalizar ✓ Secundaria finalizada ✓ Universitaria ✓ Postgrado
Social	Quemas agrícolas que se fueron de control	Dependiente	Conoce Usted si en su sector han existido quemas agrícolas que se fueron de control y ocasionaron incendios forestales.
Ambiental	Rayo o relámpago causa un incendio forestal	Dependiente	¿Ha observado usted que un rayo o relámpago cause un incendio forestal en su sector o comunidad?
Ambiental	La basura en terrenos o en quebradas propaga un incendio forestal	Dependiente	Conoce Usted si la basura en terrenos o en quebradas ha propagado o extendido un incendio forestal, en su sector o comunidad.
Ambiental	El cambio climático es un factor que ocasiona más incendios forestales	Dependiente	Considera usted que el “cambio climático” es un factor que ocasiona más incendios forestales
Social	Conocimiento sobre las sanciones legales a las personas que causan incendios forestales	Dependiente	Conoce usted sobre las sanciones legales existentes a las personas que causan incendios forestales.

Nota. Vélez (2000). McWethy et al. (2018) Cucunubá (2019) Medina (2021).

Para el efecto, se elaboró una encuesta estructurada con el fin de comprender el conocimiento en aspectos vinculados a un incendio (Tabla 6). Se aplicó una prueba del instrumento (encuesta) a un grupo de personas para verificar si las preguntas están claras, también se definió entre los encuestados a un panel de personas que conocen del tema de investigación para evaluar si las preguntas están dentro del contexto del estudio. Luego se validó los datos recolectados para verificar si la encuesta es confiable al compararlos con un conjunto de reglas establecidas y definidas (Williams et al., 2019). Existen la validación cualitativa y la cuantitativa, esta última realiza un análisis factorial para valorar las similitudes y oposiciones entre las características de los individuos y la prueba de Alfa de Cronbach que verifica la fiabilidad del instrumento (Bowman et al., 2009).

Estos métodos permitieron determinar la fiabilidad de la correlación entre las preguntas de la encuesta con el tema central de la investigación (causas de los incendios forestales). El índice de fiabilidad de Alfa de Cronbach calculado con el software estadístico IBM SPSS statistic versión 26 con licencia temporal mostró un valor (0,699). Dato que indica una buena consistencia interna, es decir existe correlación entre cada una de las preguntas, porque de acuerdo con Antonio et al. (2013) un coeficiente igual o superior a 0,7 sugiere una fuerte relación entre las preguntas, mientras que valores inferiores indican una correlación más débil.

Esta afirmación es respaldada por la investigación de Ordóñez & Arias (2023) sobre los Factores que inciden en la seguridad hídrica en las zonas rurales del cantón Cotacachi en Ecuador. En ausencia de investigaciones locales que ofrezcan un marco de referencia para una herramienta más efectiva, se puede considerar que dicho valor es adecuado, apoyado por la evidencia presentada por (Oviedo & Campo-Arias, 2005). Se identificaron las áreas más propensas a estos eventos como un segmento específico del total de la población de estudio. Para determinar la muestra representativa, se aplicaron métodos que incluyen fórmulas matemáticas, razonamiento lógico y otros procedimientos que se verá más adelante. La selección de la muestra se basó en una fórmula estadística que se describirá a continuación.

$$n = \frac{(Z^2 pqN)}{(Ne^2 + Z^2 pq)} \quad (2)$$

Donde:

n: muestra

N: población total

Z: nivel de confianza, generalmente se utiliza un nivel de confianza de 95% o 90%

e: grado de error que puede haber en los resultados normalmente se emplea un 5% o 10%

p: probabilidad de ocurrencia, siendo común utilizar un 50%

q: probabilidad de no ocurrencia, se establece con un 50%.

En el estudio realizado, se estimó que la muestra representativa para la encuesta era de 96 individuos. Se utilizó el muestreo no probabilístico por conveniencia que acorde a Hernández (2021) la muestra se elige de acuerdo con el interés del investigador, le permite elegir de manera arbitraria cuántos participantes puede haber en el estudio. Para la recolección de datos, se visitaron diversas localidades, incluyendo domicilios y áreas de trabajo de los habitantes. Finalizado el número de encuestas necesarias, se recolectó la información para ser procesada, evaluada y contabilizada para el respectivo análisis.

3.2.2.1 Análisis de resultados

Los resultados obtenidos tras la implementación de la encuesta se sometieron a un análisis utilizando técnicas de estadística descriptiva e inferencial. La estadística descriptiva permitió resumir y describir las características fundamentales de los datos recogidos, facilitando así una comprensión clara y concisa del conjunto de datos. Por otro lado, el análisis inferencial se centró en la relación entre las variables independientes y la variable dependiente identificada en la Tabla 6. Para este propósito, se aplicó el coeficiente estadístico V de Crammer, que es otra extensión del Coeficiente Phi, seleccionado por su capacidad para medir la fuerza de asociación en variables con categorías nominales y ordinales. Toma valores entre 0 y 1 que se los interpretó de la siguiente manera; valor que cercano a 0 indica una intensidad de asociación de las variables muy baja y valor que próximo a 1 muestra una intensidad de asociación entre las variables muy fuerte (Arias et al., 2014).

La tabla de contingencia, introducida por Karl Pearson en 1904, se ha establecido como un método estándar para sintetizar datos categóricos. Esta herramienta estadística es esencial para evaluar la relación y la fuerza de la interacción entre dos variables. Proporciona una visión profunda de datos que, aunque no son evidentes a primera vista, son cruciales para interpretar los resultados de encuestas y estudios. Las tablas están organizadas en celdas que muestran las frecuencias observadas, facilitando el análisis de datos (Millán, 2017). Estos métodos fueron cruciales para establecer la relación entre la variable dependiente, con categorías nominales, y las variables independientes, con categorías ordinales. Las hipótesis formuladas para examinar esta relación son las siguientes:

Ho: No existe relación entre variables independiente (existencia de incendios en los últimos años con variable dependiente (posibles causas que la suscitan).

Ha: Existe relación entre variables independiente (existencia de incendios en los últimos años con variable dependiente (posibles causas que la suscitan).

3.2.2.2 Triangulación de la información

Para corroborar la validez de los datos recabados sobre la percepción poblacional, se implementó la metodología de triangulación de datos. Esta técnica consistió en la integración de diversas fuentes de información: revisión de literatura especializada, realización de entrevistas con informantes clave y la recolección de datos meteorológicos específicos para la región de estudio. El propósito de esta estrategia multidimensional fue contrastar la percepción del cambio climático reportada por la población con los patrones observados en la distribución de las precipitaciones durante el periodo comprendido entre 1988 y 2018. En el análisis de la variabilidad climática, se aplicó el test estadístico de Mann-Kendall, partiendo de la formulación de dos hipótesis fundamentales.

Se realizó la comparación secuencial de los valores de la precipitación, con la ayuda de la Test de Mann-Kendall, que de acuerdo con Berger (1986) es un método apropiado para analizar tendencias en series climáticas y ambientales, mismo que ayudó a saber si existe o no una tendencia de los datos de la precipitación. Para la ejecución de estos cálculos, se empleó el software TREND (<https://toolkit.ewater.org.au/trend>). Fue aplicado en los datos anuales de precipitación del periodo de 1988 hasta 2018, de las estaciones meteorológicas de Otavalo, Inguincho y Selva Alegre, se propuso como hipótesis nula (H0) no existe tendencia creciente o decreciente, lo que no evidencia variabilidad climática y como hipótesis alternativa (H1) Existe una tendencia creciente o decreciente, lo que evidencia variabilidad climática. Según Koudahe et al (2017) el test Mann-Kendall es un test no paramétrico que compara los datos que componen una misma serie temporal en orden secuencial, para explicar los resultados se toma a consideración que si los valores de significancia son inferiores al valor (0,05) se acepta la (Ha).

3.2.3 Propuesta de estrategias de prevención y mitigación para futuros incendios forestales.

El análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) es una herramienta estratégica utilizada para evaluar la posición actual de un proyecto y planificar estrategias futuras. Por otro lado, la matriz de Vester es una técnica que ayuda a analizar la complejidad de

problemas, identificando las interacciones entre diferentes variables y determinando su influencia e importancia. Ayudando a comprender cómo diferentes factores, como las condiciones climáticas y las prácticas de gestión del terreno, interactúan y contribuyen al riesgo de incendios. Al integrar ambos análisis, se pueden desarrollar estrategias más adaptativas que no solo respondan a la situación actual, sino que también preparen a la población para posibles escenarios futuros. Esta sinergia entre FODA y VESTER es crucial para una planificación estratégica efectiva y para la toma de decisiones informadas en el entorno de la sociedad, para trabajar con las variables de las categorías críticos y activos que son los que más influyen (Huera & López, 2022). la prevención y manejo de incendios forestales.

3.2.2.1 Matriz de Vester

La matriz ayudó a establecer el nivel de casualidad entre las variables, el valor que se asigne en la matriz depende del propietario, se debe seguir unos pasos que están descritos a continuación (Tabla 7). Las variables se clasifican en un rango de valores desde 0 que significa que no existe afectación hasta 3 en el que la causa es muy directa. Se representa con una gráfica para caracterizar los problemas pasivos, activos, críticos e indiferentes.

Tabla 7. *Pasos para la realización de la matriz de Vester*

Pasos	Descripción
1	Identificación y enumeración de los problemas o variables relevantes.
2	Análisis de los problemas identificados
3	Etiquetar con un identificador a cada problema
4	Creación de la matriz y ubicación de los problemas
5	Evaluación del impacto de cada problema en función de sus causas y efectos
6	Suma de filas y columnas para una visión global
7	Graficar visualización de información
8	Clasificación gráfica según relevancia y prioridad.

Nota. (Camargo et al., 2020, como se citó en Huera & López, 2022)

3.2.2.2 FODA

En base a los resultados que se obtuvieron, se aplicó una metodología que analiza las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas denominada matriz FODA. El análisis FODA se refiere al proceso de elaboración de una matriz que categoriza los elementos internos como fortalezas y debilidades, así como los factores externos en oportunidades y amenazas, los

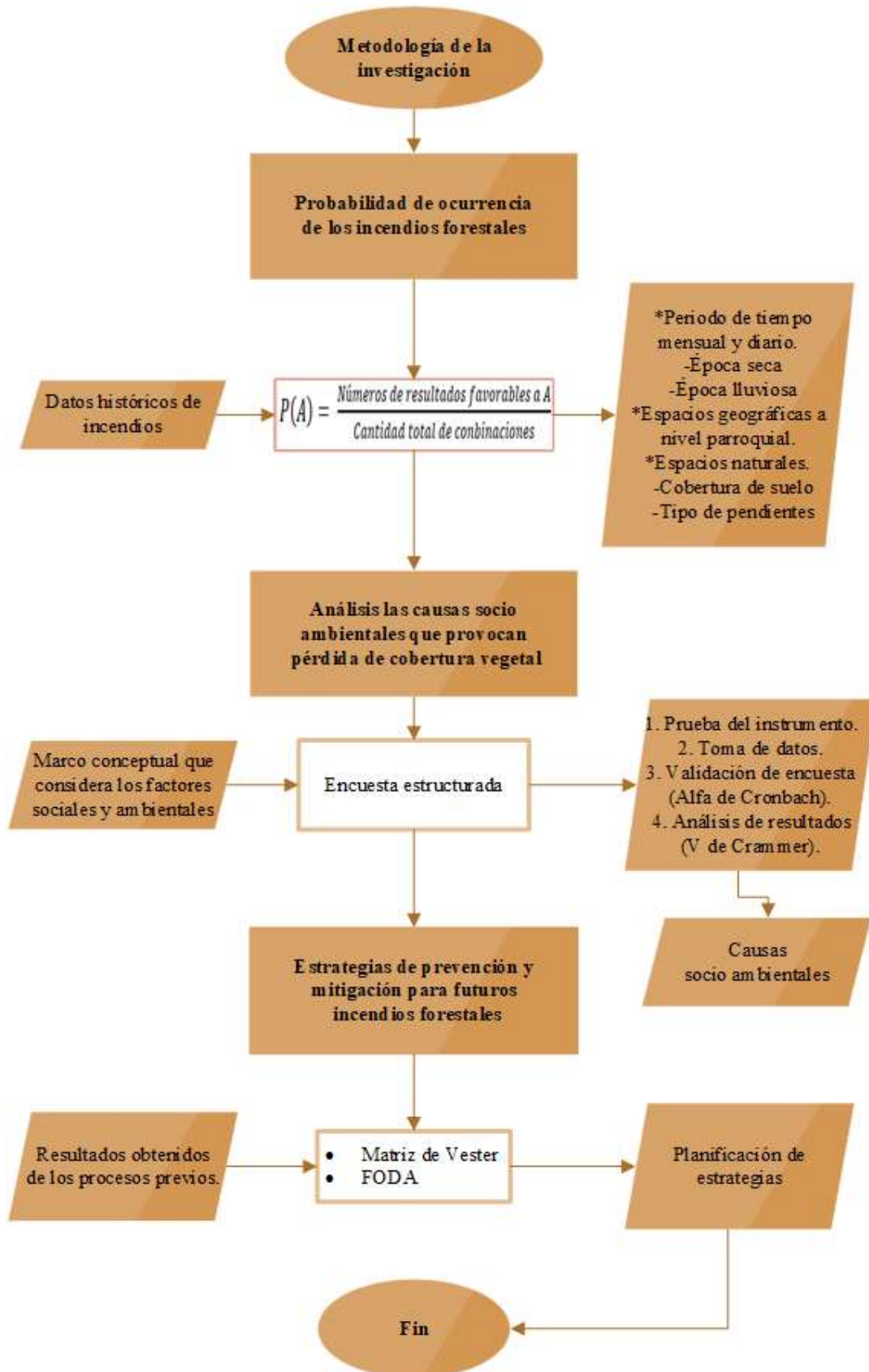
cuales son determinantes en la actuación de una entidad. Este enfoque sistemático permite a las organizaciones evaluar su posición estratégica dentro de un contexto competitivo, facilitando la toma de decisiones basada en un estudio detallado de sus capacidades y del entorno en el que operan (Nikulin & Becker, 2015).

Tabla 8. *Matriz FODA*

	OPORTUNIDADES	AMENAZAS
	<ul style="list-style-type: none"> - Transformaciones en ámbitos: social, económico, político, tecnológico - Adopción de tecnologías avanzadas - Satisfacer demandas emergentes 	<ul style="list-style-type: none"> - Oposición al cambio - Rivalidad para destacar en el mercado - Factores que afectan negativamente el desempeño
FORTALEZAS	Estrategias ofensivas: Usar las fuerzas para aprovechar las oportunidades	Estrategias defensivas: Capitalizar las fortalezas como estrategia para contrarrestar las amenazas y mantener la ventaja competitiva.
DEBILIDADES	Estrategias Adaptativas: Aprovechar las oportunidades para mitigar las debilidades y potenciar el rendimiento.	Estrategias de supervivencia: Minimizar las vulnerabilidades mediante la prevención de las amenazas para fortalecer la posición competitiva.

Nota. Tomado de Nikulin & Becker, 2015

Figura 7. Resumen metodológico



3.3 Materiales y equipos

Materiales y Equipos	
	Cámara fotográfica
Equipos de Campo	Navegador GPS
	Computadora HP
Equipos de Oficina	Impresora
	Impresiones
	Libreta de campo
	Imágenes de sensores remotos
Varios	Software ArcGIS 10.5
	Microsoft office 2008
	The climatol R package

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis de probabilidad de ocurrencia a incendios forestales

El cantón Otavalo del 2010-2022 contó con 342 antecedentes de incendios forestales, de acuerdo con la información obtenida de la Secretaría de Gestión de Riesgos Imbabura. La mayoría de los incendios boscosos fueron identificados en las parroquias; San Pablo del Lago, González Suárez, Dr. Miguel Egas Cabezas (Peguche), San José de Quichinche, Jordán y San Luis. El 2018, es el año que muestra gran número de incendios forestales ocurridos en los meses de julio, agosto, septiembre y octubre, seguido del 2012 y 2019, es decir, que experimentaron condiciones climáticas favorables para los incidentes de biomasa. Menos del 10% de los incidentes ocurrieron en los años 2010, 2011, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2020, 2021 y 2022 ya que un pequeño número de meses experimentaron condiciones climáticas propicias para los incendios forestales.

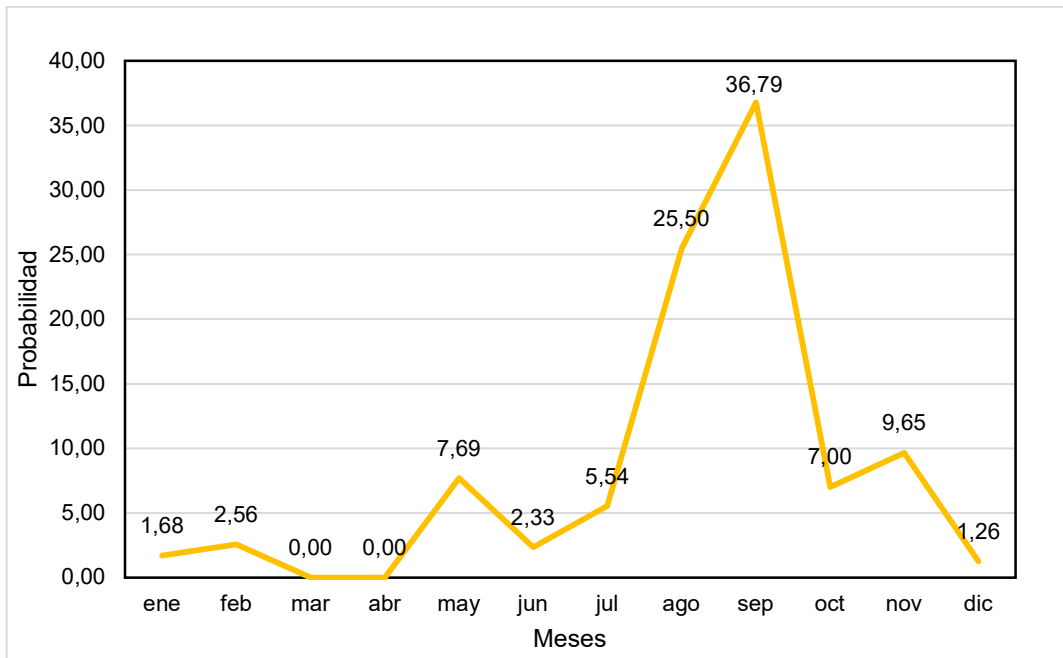
Tabla 9. *Números de incendios forestales registrados del 2010-2022*

Años	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Total
2010	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
2011	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	4
2012	0	0	0	0	0	2	8	14	44	8	0	0	76
2013	1	0	0	0	0	2	2	3	15	0	0	1	24
2014	1	0	0	0	0	1	1	2	1	0	0	0	6
2015	0	0	0	0	0	0	0	2	11	0	0	0	13
2016	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	3
2017	0	0	0	0	0	0	0	4	4	1	1	0	10
2018	1	0	0	0	0	0	11	22	29	29	2	1	95
2019	0	3	0	0	0	2	11	32	26	0	0	0	74
2020	0	3	0	0	0	0	2	4	2	3	6	0	20
2021	0	1	0	0	0	0	0	1	5	0	0	0	7
2022	0	0	0	0	0	0	0	4	4	0	0	1	9

4.1.1 Probabilidad simple de ocurrencia a incendios forestales

A continuación, se representan los resultados de la aplicación de la probabilidad simple, dentro de este aspecto se consideró el número de incendios por cada mes de 2010-2022.

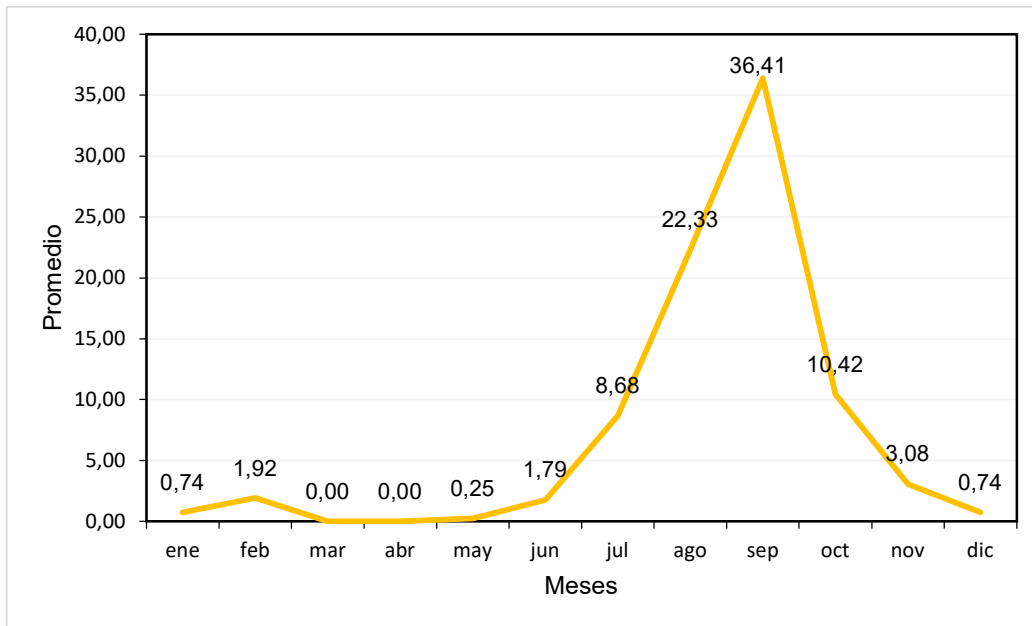
Figura 8. Porcentaje de probabilidad mensual de ocurrencia de incendios forestales



La probabilidad de ocurrencia de incendios forestales varía según diferentes factores y puede ser analizada de manera mensual y diaria. En 12 años según la figura 8, septiembre presentó un 36,79% de probabilidad mensual de incendios, seguido por agosto con un 25,50% de probabilidad. El porcentaje explica las veces que se espera que ocurra un incendio en estos meses en relación con el total de posibles resultados. Por lo que, esta probabilidad orienta que hay una probabilidad alta de que ocurran incendios en estos meses, en comparación con la probabilidad de que no ocurran. Al contrario, los meses con menor ocurrencia de incendios fueron: enero (1,68%), febrero (2,56%), junio (2,33%), diciembre (1,26%). Esta probabilidad orienta que hay una probabilidad baja de que ocurran incendios en estos meses.

A la vez, se observa que los meses de marzo y abril tienen probabilidad nula de ocurrencia a incendios de cobertura vegetal, esto debido a que estos meses presentan los picos más altos de lluvias que de acuerdo con el climograma figura 5 sus precipitaciones son de 116 a 127mm. El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología- INAMHI (2012) menciona que estos son los meses con mayores precipitaciones al norte de la región interandina. En esos meses la mayoría de los campesinos dedicados a la agricultura comienzan la cosecha sus productos, periodo donde no requieren del fuego para preparar los terrenos y es la época con más precauciones, ya que asumen que cualquier descuido perjudicaría su sustento económico.

Figura 9. Porcentaje de probabilidad diaria de ocurrencia de incendios forestales



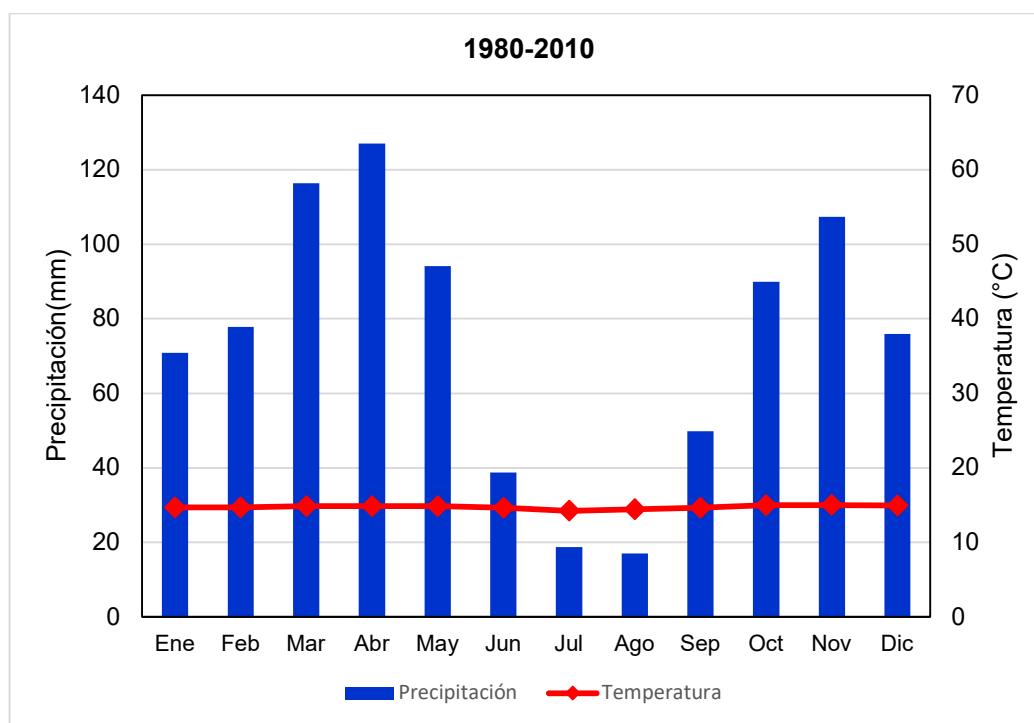
De la misma forma, en la figura 9 septiembre también presentó una alta probabilidad diaria de ocurrencia a incendios con un 36,41%, estos datos reflejan la evaluación de riesgo y peligro de incendios en diferentes escalas temporales. Lo que implica aproximadamente que uno de cada tres días puede ocurrir un incendio de cobertura vegetal. Continúa agosto con una probabilidad diaria del 22,33%, es decir, en promedio uno de cada cinco días podría haber un incendio en este mes. Esto se debe a la combinación de factores climáticos y antrópicos que hacen que agosto y septiembre sean unos meses propensos a incendios forestales. Ya que, es común que en estas fechas marque el final de la temporada de cultivo y el momento de preparar los terrenos para la siguiente siembra. Esto implica labores como la recolección de cultivos, la limpieza de terrenos (quema de residuos de cultivos agrícolas y la eliminación de vegetación no deseada) y la preparación del suelo para la próxima temporada agrícola, lo que incrementa la posibilidad de ignición.

En los meses de julio y octubre presenta una variación de 8 a 10% de probabilidad diaria de ocurrencia de un incendio de cobertura vegetal, esto indica que cada 10 a 12 días se puede ocasionar un incendio en estos meses. Por lo tanto, presenta una probabilidad moderada ya que en el mes hay una posibilidad de que ocurra de 2 a 3 incendios en el mes. Finalmente, en los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo, junio, noviembre y diciembre las probabilidades de ocurrencia de incendios son muy bajas. Sin embargo, a pesar de las bajas probabilidades, no se puede descartar por completo la posibilidad de que ocurra un incendio, ya que factores imprevistos como una chispa de un cigarrillo mal apagado o un descuido pueden desencadenar

un incendio en cuestión de segundos. Es importante mantenernos alerta y tomar precauciones ante cualquier eventualidad.

En la figura 10 se realizó un climograma para analizar la probabilidad simple de ocurrencia a incendios por épocas, el cual se observó que en el cantón Otavalo mantiene una época seca que va de julio a agosto. Por lo tanto, son los meses que mostraron probabilidades altas de ocurrencia de los incendios forestales, puesto que son el resultado de las menores incidencias de la época lluviosa, dando una probabilidad del 15,52% de posibilidad a incendios de cobertura vegetal. Pazmiño (2019) en su investigación peligro de incendios forestales asociado a factores climáticos en Ecuador, establece por primera vez mediante un análisis cuantitativo que la temporada de incendios forestales en la región andina abarca el período de julio-noviembre. Época que se asocia con una mayor probabilidad de incendios forestales y aumentan aproximadamente el doble, especialmente en las zonas de la Sierra y la zona tropical costera del país (El Norte, 2023).

Figura 10. *Diagrama Ombrotérmico del cantón Otavalo*



Nota. El gráfico representa la precipitación y temperatura media mensual de los años 1980 a 2010.

En cambio, los meses restantes no poseen una probabilidad notable, ya que presentan el 6,90 % de posibilidad de incendios de biomasa, son en respuesta al menor número de eventos registrados en el tiempo investigado, que la mayor parte de estos precisamente concuerdan con

la época lluviosa. Época en la cual, por efectos de las alteraciones se obtienen las condiciones óptimas para la generación de grandes cantidades de combustibilidad ya que al haber lluvias frecuentes existe una acumulación mayor de humedad en las plantas, por lo tanto, cuando llegue la época seca abra una mayor evaporación generando características que facilitan su ignición (Maldonado, 2024).

4.1.2 Probabilidad de Incendios forestales según la ubicación

Los incendios forestales ejercen un impacto significativo en la composición y funcionamiento de muchos ecosistemas en la tierra, siendo una fuente principal de CO₂ y otros gases en la atmósfera (Orozco et al., 2011). La localización a nivel de parroquias juega un papel crucial en la ocurrencia de incendios, debido a la confluencia de varios elementos. La probabilidad de incendios se ha categorizado basándose en la frecuencia de eventos pasados registrados en cada parroquia entre 2010 hasta el 2022, distribuyéndose en cuatro niveles de probabilidad que van desde muy bajo, con un rango del 0 al 4%, hasta alto, con un rango del 15 al 20%, tal como se muestra en la figura 11.

Figura 11. Mapa de probabilidad de incendios por parroquias

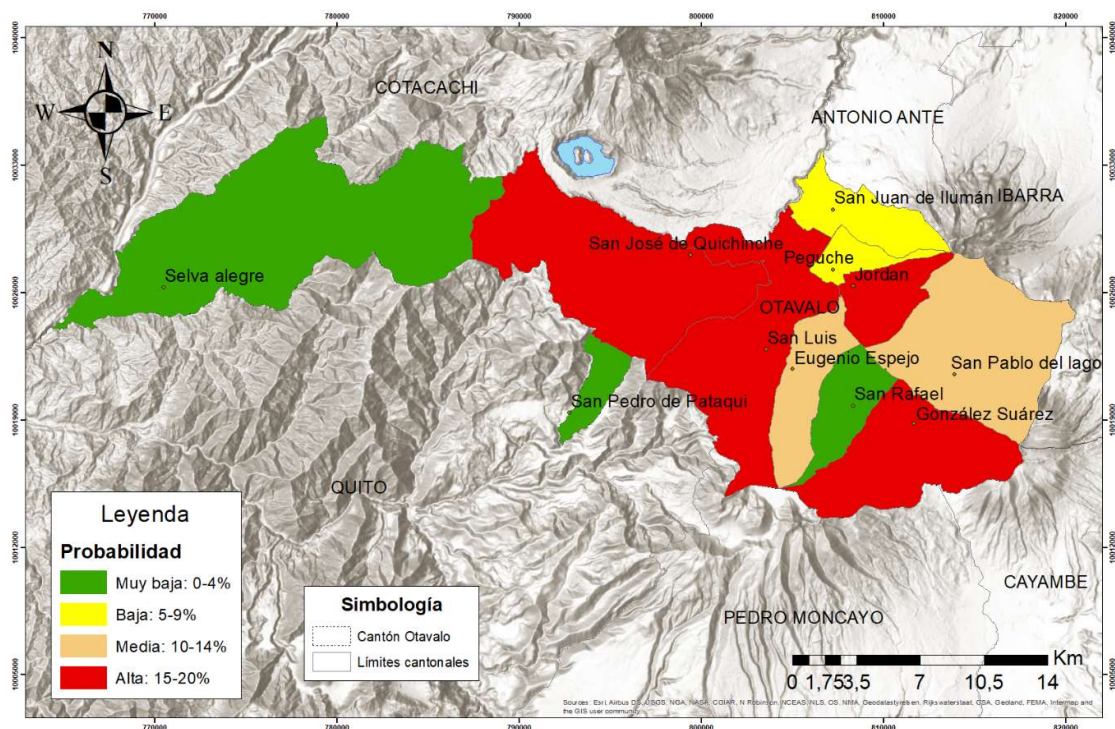


Tabla 9. *Probabilidad de incendios forestales según su ubicación*

Ubicación		
Parroquia	#Incendios	Probabilidad
San Juan de Ilumán	15	4,39
Eugenio Espejo	31	9,06
San José de Quichinche	52	15,20
González Suárez	49	14,33
Selva Alegre	7	2,05
San Pablo del lago	38	11,11
San Rafael	9	2,63
Dr. Miguel Egas Cabezas (Peguiche)	22	6,43
San Pedro de Pataqui	2	0,58
Jordán	57	16,67
San Luis	60	17,54

Como se visualiza en la tabla 9 las parroquias con mayor probabilidad de ocurrencia de incendios son Jordán, San Luis, Quichinche y Gonzáles Suárez. Esto se debe a varios factores que influyen en el riesgo de incendios forestales en la región. Las parroquias se caracterizan por tener una topografía accidentada, con elevaciones y valles que pueden favorecer la propagación de incendios. Además, la vegetación en la zona es predominantemente de tipo boscoso y arbustivo, lo que puede aumentar el riesgo de incendios debido a la cantidad de combustible disponible. Además, cuentan con una alta densidad de población y actividad económica, lo que puede generar una mayor cantidad de residuos y desechos que pueden ser fuentes de ignición. La proximidad a centros urbanos y la actividad agrícola también aumentan el riesgo de incendios debido a la presencia de combustibles y la generación de calor.

4.1.3 Probabilidad de Incendios forestales según la cobertura del suelo

Por lo general, el fuego se inicia en las fases de vegetación más vulnerables, propagándose hacia otras según las características de sus combustibles. Por lo tanto, en la tabla 10 se describe la probabilidad simple de ocurrencia de incendios de acuerdo con el uso y cobertura vegetal del cantón Otavalo del año 2015.

Figura 12. Mapa de uso y cobertura del suelo del cantón Otavalo

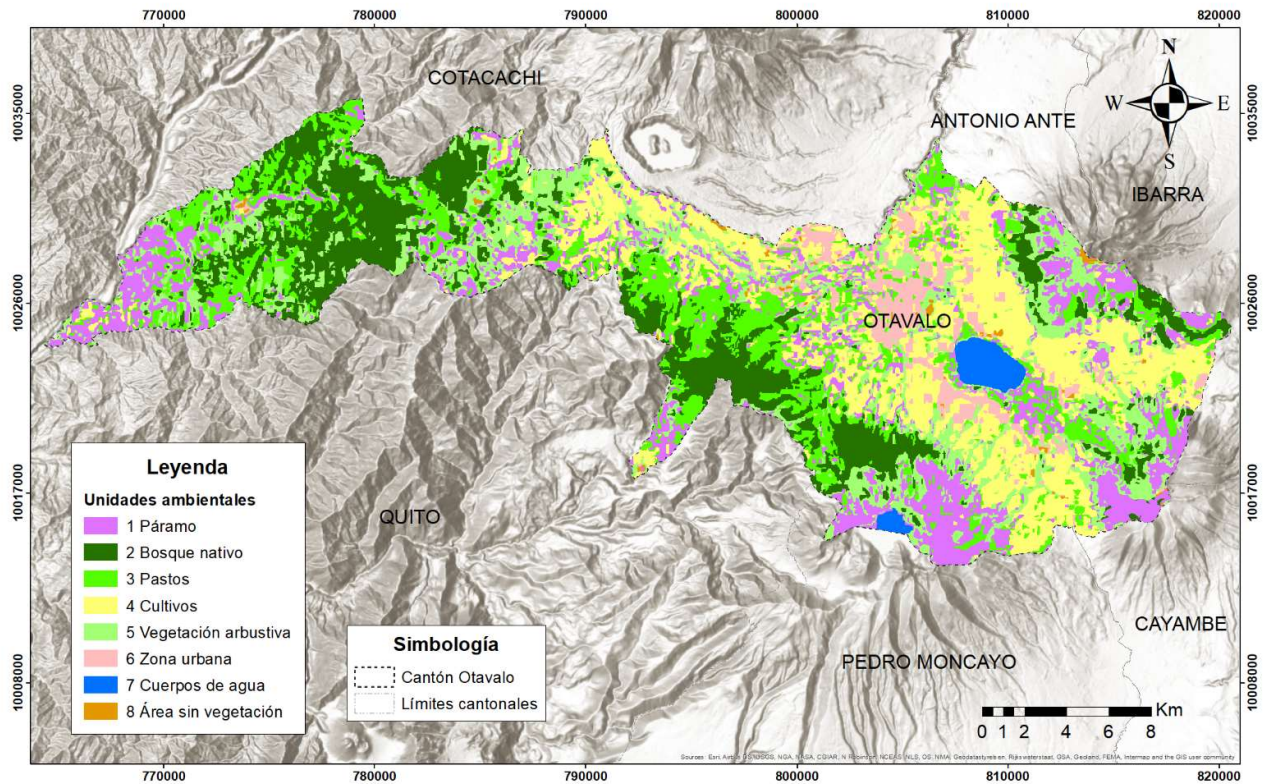


Tabla 10. Probabilidad de incendios forestales según la cobertura vegetal

Uso y cobertura del suelo	Nr. incendios	Probabilidad en %
1 Páramo	51	14,91
2 Bosque nativo	7	2,05
3 Pastos	35	10,23
4 Cultivos	160	46,78
5 Vegetación arbustiva	62	18,13
6 Zona urbana	27	7,89
7 Cuerpos de agua	0	0,00
8 Áreas sin vegetación	0	0,00

En Otavalo del 2010-2022 se registran 195 incendios forestales, correspondientes a la zona agropecuaria (cultivos y pastos), por lo que presenta mayor probabilidad de ocurrencia con un 57,02%, además la zona urbana aporta un 7,89% de posibilidad. Esto se debe a que la mayor parte de la ciudadanía altera el uso del suelo aplicando quemas agrícolas en las diferentes actividades que favorecen a la zona agropecuaria. Al igual que Conde (2019) en su estudio encontró que la cercanía a los centros poblados y zonas de producción agropecuaria incrementa la probabilidad de incendios con un 95%, esto se debe a la alteración de factores físicos,

biológicos y climáticos y las causas intencionales ocasionadas por el ser humano (cultivos ilícitos, caza, pirómanos).

El cantón Otavalo desde el año 2010 al 2022 mantuvo 120 antecedentes de incendios forestales que afectaron a los páramos, bosques nativos y vegetación arbustiva, por tanto, estos acontecimientos plasman una probabilidad del 35,09% de ocurrencia a incendios. Esto se debe a que estos tipos de biomasa natural tienen la cantidad y disposición del material combustible, lo que significa que tiene un mayor riesgo a incendios forestales. Vasco et al. (2022) expresan que los páramos exhiben una elevada severidad de incendios debido a su configuración estructural y composición, caracterizadas por la presencia abundante de vegetación de tipo poáceas, lo que resulta en la presencia de combustibles altamente volátiles, factores que contribuyen significativamente a la ocurrencia de incendios en esta área geográfica. Los demás usos del suelo no reportan porcentajes significativos, por lo tanto, no existe probabilidad de ocurrencia.

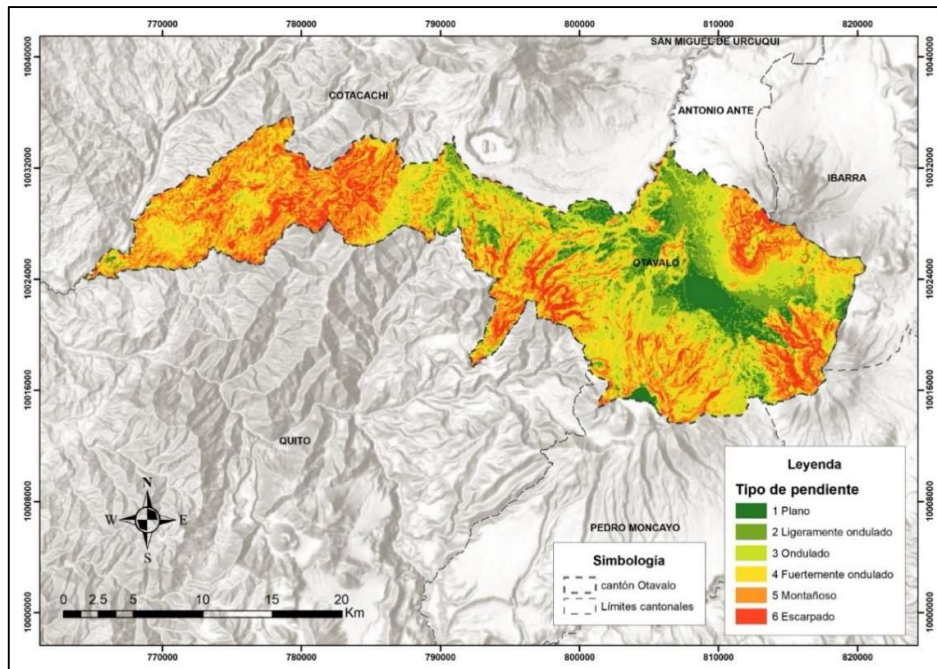
4.1.4 Probabilidad de acuerdo con el rango de las pendientes

La pendiente del terreno influye en la intensidad, comportamiento, dificultad de extinción de un incendio y la velocidad dependiendo de su pendiente. La tabla 11, describe la probabilidad simple de ocurrencia a incendios de cobertura vegetal de acuerdo con la inclinación del terreno del cantón Otavalo.

Tabla 11. *Probabilidad de ocurrencia de incendios según la pendiente del terreno*

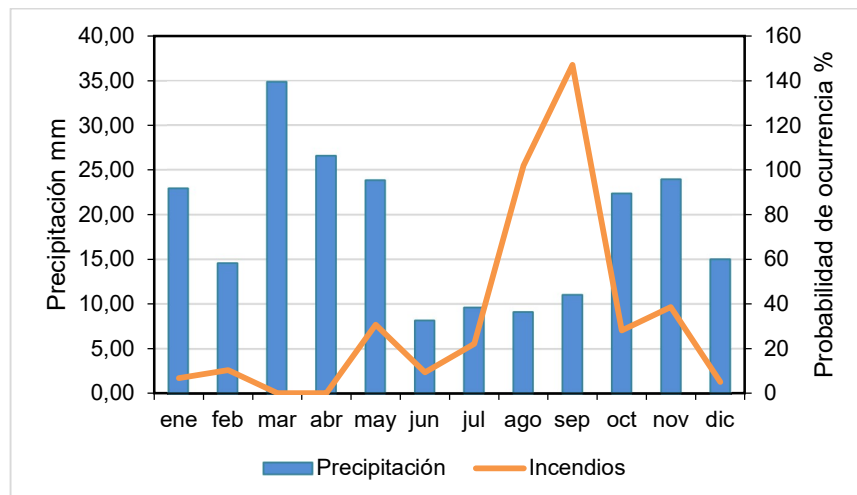
Pendiente		Nr. Incendios	Probabilidad en %
0 - 5%	Plano	23	6,73
5 - 12%	Ligeramente ondulado	89	26,02
12 - 25%	Ondulado	78	22,81
25 - 45%	Fuertemente ondulado	122	35,67
45 - 70%	Montañoso	23	6,73
> 70%	Escarpado	7	2,05

Figura 13. Mapa de pendiente del terreno del cantón Otavalo



Según la tabla 11 la probabilidad de ocurrencia se ve afectado notablemente en pendientes que va desde ligeramente ondulada a pendiente fuertemente ondulada que varía de los 5 a 45% de inclinación de la pendiente. Dando una probabilidad de 84,44%. Esto se da por que pueden permitir una propagación más rápida del fuego debido a la mayor disponibilidad de oxígeno, especialmente cuando hay viento, lo que dificulta su control, también el fuego tiende a comportarse de manera más compleja, creando incendios de mayor magnitud y dificultando las labores de extinción. Todo esto hace que los incendios en pendientes onduladas puedan afectar a mayores superficies, lo que se ha evidenciado en incendios que han superado las 500 hectáreas (Oliveira, 2016).

Figura 13. Relación de la precipitación y la probabilidad de ocurrencia.



En el cantón de Otavalo, se ha establecido una relación directa entre la disminución de las precipitaciones y el incremento en la incidencia de incendios forestales figura 13. Factores climatológicos como el aumento de la temperatura y la escasez de lluvias juegan un papel determinante en la frecuencia de estos siniestros. Para Jiménez, Urengo y Toro 2016, -destacan que la vegetación no solo intensifica la severidad de los incendios, sino que también facilita su expansión, siendo las áreas agrícolas las más susceptibles, especialmente aquellas cercanas a zonas urbanas como Jordán, San Luis, Quichinche y Gonzáles Suárez. Además, las pendientes onduladas provocan de la región promueve la propagación de las llamas, incrementando así la probabilidad de ocurrencia de incendios forestales.

4.2 Análisis de las causas socioambientales de los incendios forestales en el cantón Otavalo

Los datos presentados corresponden a los resultados obtenidos de la aplicación de métodos estadísticos variados, con el objetivo de validar el instrumento de recolección de datos (encuestas) y estimar la población en la región de estudio específica. Según los datos del censo del año 2020, la población rural en el cantón Otavalo ascendía a 65.935 individuos. Para determinar una muestra representativa, se estableció un nivel de confianza del 95%, resultando en la selección de 96 encuestas. Estas encuestas fueron administradas dentro del área de estudio, permitiendo así obtener una visión representativa de la población objetivo. Este proceso asegura que los resultados son confiables y reflejan con precisión las características demográficas del cantón Otavalo.

4.2.1 Identificación de las causas socioambientales

Se realizó el análisis de datos de los resultados de las encuestas con la tabla contingencia, utilizando la V de Cramer para evaluar la asociación de dos variables categóricas; variables sociales y ambientales.

Tabla 12. *Causas socioambientales de los incendios forestales*

Variable dependiente	Variable independiente	V de Cramer	Nivel de significancia	Causa	% Conoce	Descripción
Existe la presencia de incendios en el sector	Nivel de educación	0,210	0,377	Social	----	No hay relación
	Quemas agrícolas fuera de control	0,499	0,001	Social	31,25	Si hay relación
	Sanciones legales	0,128	0,812	Social	----	No hay relación
	Basura en terrenos o quebradas	0,575	0,000	Ambiental	39,6	Si hay relación
	Cambio climático	0,373	0,010	Ambiental	41,6	Si hay relación
	Rayo o relámpago	0,202	0,415	Ambiental	----	No hay relación

La interpretación de los valores de la tabla de contingencia sobre la existencia de incendios forestales en los últimos años con el nivel de educación que tienen las personas no presenta una correlación ya que el índice V de Cramer da un valor cercano a 0, lo que indica que no hay intensidad de asociación entre las variables. El resultado no es estadísticamente significativo, debido a que el valor de $p > 0,05$. Es decir que, independientemente del nivel de educación de las personas, los incendios forestales siguen existiendo.

El análisis de datos con la tabla cruzada describe la presencia de incendios forestales en los últimos años con quemas agrícolas fuera de control, mostró un índice V de Cramer próximo a 1, lo que indica que existe una moderada asociación entre las variables. El resultado es estadísticamente significativo, debido a que el valor de $p < 0,05$, bajo estos resultados, alrededor del 31% de los encuestados manifiesta que la existencia de los incendios forestales en el sector fue provocada por las quemas prescritas fuera de control. Esto indica que es una causa social que, al no ser manejada correctamente, propicia el inicio de los incendios de cobertura vegetal. Asimismo, ciertas investigaciones coinciden con este hallazgo puesto que, al ser utilizado como una técnica para reducir la combustibilidad y limpiar los rastrojos en beneficio de la agricultura, la mayoría de las veces es la causa de la generación de incendios forestales a gran escala (McWethy et al., 2018; Wang et al., 2021).

Las quemas agrícolas encontradas como una causa social en el surgimiento de los incendios de cobertura vegetal en el cantón Otavalo, pueden ser producidos debido a ciertos aspectos, mostrados en la tabla 14. En el instrumento para la identificación de las causas socioambientales de los incendios, se planteó las razones por las cuales podrían hacer uso de las quemas agrícolas. El cual, desde el conocimiento un 24% de las personas aseguraron que las quemas agrícolas fuera de control serían causadas por el uso del fuego para preparar el terreno para la próxima siembra. Por otro lado, el 36% de los encuestados desconocían de las quemas prescritas fuera de control y de la causa para atraer las lluvias. Del mismo modo, el 23% de los encuestados mencionaron que desconocían sobre las quemas agrícolas fuera de control y las causas para mantener las costumbres de sus antepasados. Por tanto, el 44% de las personas desconocían que exista alguna otra razón para que las quemas agrícolas se hayan descontrolado.

Tabla 13. Causas de las quemas agrícolas

Variable dependiente	Variable independiente	Nivel de significancia	Porcentaje de encuestados/ conocimiento o desconocimiento		Descripción
Quemas agrícolas fuera de control	Quemas agrícolas para atraer la lluvia	0	36,46	Desconocimiento	Si hay relación
	Quemas agrícolas para preparar el terreno	0,022	23,96	Conocimiento	Si hay relación
	Quemas agrícolas para mantener las costumbres	0,002	22,92	Desconocimiento	Si hay relación
	Quemas agrícolas para alguna otra razón	0,34	43,75	Desconocimiento	No hay relación
	Coberturas vegetales tienen combustibilidad	0,003	21,88	Conocimiento	Si hay relación

Por ello, las quemas prescritas no controladas y planificadas habrían sido la causa primordial para desencadenar la existencia de incendios boscosos en el cantón Otavalo, debido a que es utilizada por los campesinos como una técnica para preparar el suelo para los cultivos. Esto concuerda con la Secretaría de Gestión de Riesgos (2024) menciona que la mayoría de los incendios ocurridos se dan por descuido del hombre, cuando se escapa el fuego. En lo que concuerda con Aguirre et al. (2018) que destacan que los seres humanos son responsables de

una mayor proporción de incendios forestales en comparación con la causada por la naturaleza. Además, señalan que los incendios actuales son predominantemente de origen antropogénico y muestran ser particularmente susceptibles a la degradación ambiental.

La interpretación de los valores de la tabla de contingencia de la presencia de incendios forestales en los últimos años a causa de un rayo o relámpago indicó un valor V de Cramer cercano a 0, lo que demuestra una ausencia de relación entre las variables. El resultado no es estadísticamente significativo, debido a que el valor de $p > 0,05$, por lo que los encuestados desconocen que la existencia de estos hubiese sido originada por relámpagos o rayos. Ecuador no mantiene información relevante de que esta causa ambiental sea la que origina estos eventos. Sin embargo, en otros países es la causa principal de ignición natural de los incendios forestales, puesto que son zonas que cumplen condiciones climáticas y de biomasa para que los rayos o relámpagos produzcan incendios (Stallard, 2022).

El análisis de la tabla de contingencia revela que los incendios forestales registrados en los últimos años presentan una correlación significativa con la acumulación de basura en terrenos baldíos y quebradas. El índice V de Cramer, cercano a 1, indica una fuerte asociación entre las variables estudiadas. Este resultado es estadísticamente significativo, con un valor de p inferior a 0,05. Por lo tanto, el 40% de los participantes reconocen la basura como un elemento crítico en la propagación de estos desastres. Esto sucede por la negligencia humana, manifestada en la disposición inadecuada de desechos y la falta de infraestructura adecuada para la gestión de residuos vegetales en zonas rurales, así como la ausencia de herramientas y equipos alternativos al uso del fuego para la eliminación de estos residuos, son factores determinantes en esta problemática ambiental. tal como lo menciona Conaf, (2022) los residuos acumulados pueden actuar como un agente catalizador, incrementando significativamente el riesgo y la intensidad de los incendios forestales.

La ponderación de datos de la tabla de contingencia confirmó que la presencia de incendios que han existido en los últimos años se origina por el cambio climático. Ya que el índice V de Cramer se acerca a 1, lo que demuestra una afinidad entre variables. El resultado es estadísticamente significativo, debido a que el valor de $p < 0,05$. El 41,6% de personas encuestadas aseguran que el cambio climático es un factor indispensable en este riesgo natural, puesto que altera los factores atmosféricos generando mayor intensidad de temperatura y precipitación. (Medina A, 2021).

Al considerar los valores de la tabla de contingencia de la presencia de incendios forestales en los últimos años a causa del desconocimiento de sanciones legales se visualizó un índice V de Cramer de cercano a 0, lo que indica una inexistencia de relación entre variables. El resultado no es estadísticamente significativo, debido a que el valor de $p > 0,05$. Los encuestados conocen de la existencia de incendios, pero no lo asocian con las sanciones legales, ya que no conocen de manera precisa las leyes que existen para los causantes de este peligro, por lo tanto, no se considera un factor social influyente.

Al estudiar la relación entre la ocurrencia de incendios forestales recientes y los factores socioambientales implicados, se observa que solo tres de las seis asociaciones posibles tienen una correlación estadísticamente significativa, con un valor de p menor a 0,05 según el índice de V de Cramer. Esto sugiere que, aunque hay múltiples factores en juego, no todos tienen un impacto directo en la frecuencia de estos desastres naturales.

4.3. Triangulación de resultados

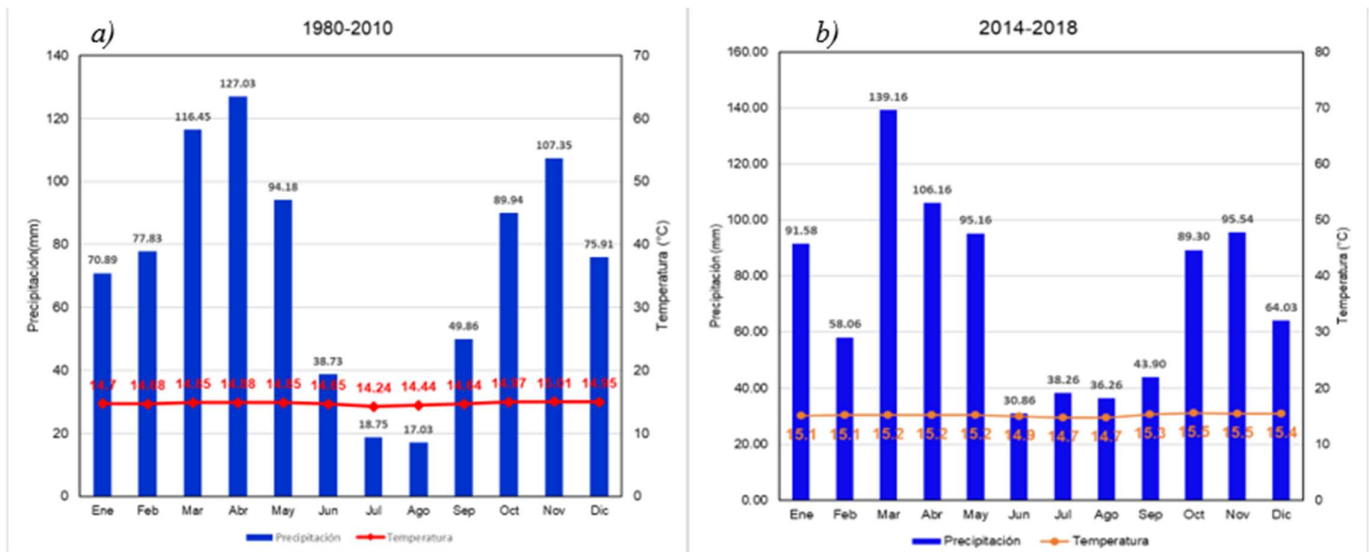
Los meses con mayor probabilidad mensual y diaria de ocurrencia a incendios son agosto y septiembre, porque son el resultado de las menores incidencias de las lluvias de acuerdo con el climograma del cantón Otavalo. Aunque esas probabilidades muestran el peligro a incendios hay que recalcar que, independientemente de que exista época seca y lluviosa, el riesgo de formarse incendios forestales casi siempre existe, pero en unos meses más que otros. De este modo, se identifica que el clima como tal no presenta gran incidencia, es decir, no es un valor determinante más bien son las costumbres, porque de acuerdo con ciertas entrevistas concluyeron que en el cantón el periodo de siembra va de julio a septiembre. Así, los campesinos hacen uso de las quemadas agrícolas para preparar los terrenos para los cultivos.

Así mismo, los encuestados mencionaron que la basura en terrenos o quebradas es causa de preocupación, ya que sabían que objetos como vidrios y plásticos pueden causar incendios. También, indicaron que personas que visitan las coberturas naturales o los mismos dueños de los predios arrojan basura y señalan que suman un mayor riesgo en la formación y propagación de incendios en los meses que consideran secos. Para las personas del lugar la época seca llega en junio, junto con el inicio del Inti Raymi, celebración que coincide con el inicio de la temporada seca, que se extiende hasta septiembre aproximadamente en los Andes. A pesar de que en el cantón no se identifica específicamente a la época seca, se observa que los meses con menores lluvias (figura 13a). coinciden con los comentarios de las personas, de tal modo que la probabilidad de ocurrencia a incendios es alta en esos meses.

El cambio climático considerado como causa ambiental, también fue un tema interesante con los encuestados ya que identificaron las variaciones de las lluvias y la temperatura en los últimos años. Meses donde debería llover ahora hace sol o viceversa, o también en el mismo día se presencia sol y lluvia. Esto se ajusta a la comparación de los climogramas del cantón de los años 1980 hasta 2010 y del 2014 hasta el 2018, puesto que hay una ligera diferencia en las variables meteorológicas (figura 13b) dado que se ve un leve aumento de la temperatura en los meses de junio a septiembre y variabilidad de las precipitaciones. Con esto, contribuyen al aumento de los incendios forestales al crear condiciones más propicias para la propagación del fuego y la acumulación de combustible en los ecosistemas forestales.

Para Heidari et al. (2021), -menciona que un aumento de la temperatura combinado con cambios en la distribución mensual de las precipitaciones puede llegar a alterar las temporadas de incendios forestales y es probable que la tasa de incendios se distribuya en meses que no son secos. Sin embargo, la mayor probabilidad de incendios forestales prevalece en los meses cálidos y secos. Para analizar el cambio se realizó la comparación secuencial de los valores de la precipitación, con la ayuda de la Test de Mann-Kendall.

Figura 13. Comparación de climogramas del Otavalo a) & b)



Este test es una modificación de la prueba de Mann y Kendall, optimizada para el análisis de conjuntos de datos que presenten una componente estacional, como las series temporales climatológicas Márquez et al. (2022).

Figura 14. Resultados índices de Mann Kendall a); b); c)

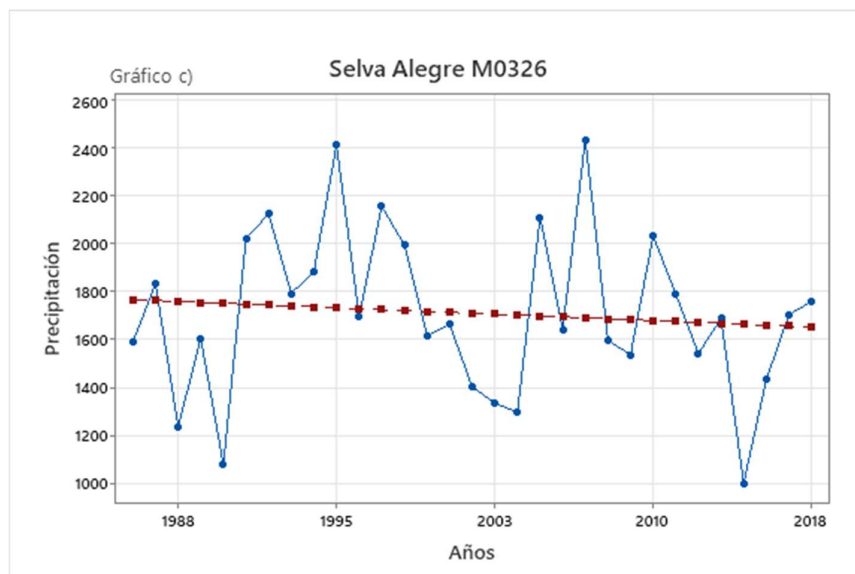
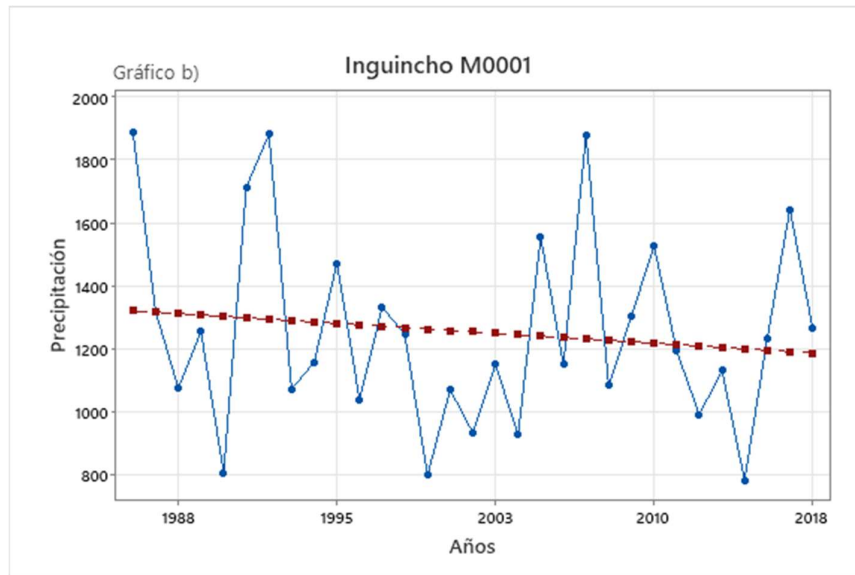
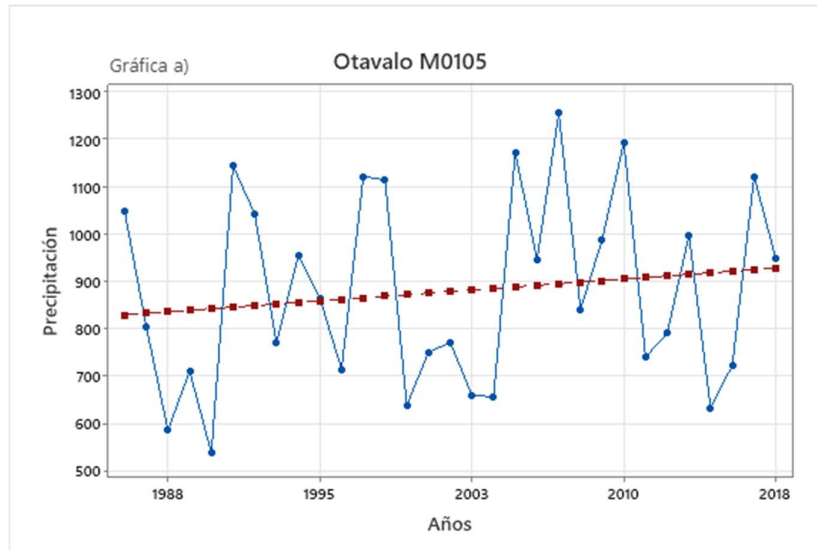


Tabla 14. Test de Tendencia

Estación	Test de Mann Kendall (Total S Score)	Niveles de significancia	Resultado
Otavaló	40	0,663	No significativo
Inguincho	-36	-0,595	No significativo
Selva Alegre	-35	-0,578	No significativo

El resultado de la serie de datos (Tabla 14) no revela una tendencia significativa, dado que los valores se encuentran dentro del intervalo establecido entre -1,96 y 1,96. Esta observación conduce a la aceptación de la hipótesis nula, la cual postula la ausencia de tendencia en el conjunto de datos examinado. Aunque no se identifica una evidencia estadística significativa de tendencia, en la figura 14 se presencia una variación aproximada de 100 mm en el periodo estudiado, para Otavaló de forma ascendente y para la estación de Inguincho y Selva Alegre de forma descendente en las representaciones gráficas.

Esta fluctuación podría atribuirse a una variedad de factores, incluyendo influencias externas como cambios políticos y ambientales, los cuales tienen el potencial de alterar los resultados y generar interpretaciones erróneas de los datos. Es crucial en el análisis de datos tener en cuenta estas variables externas y evaluar su impacto potencial en los resultados observados. La ausencia de una tendencia clara en los datos puede ser indicativa de la complejidad de las interacciones entre los diferentes factores que afectan al sistema estudiado.

4.3 Estrategias de prevención y mitigación para futuros incendios de cobertura vegetal en el cantón Otavaló.

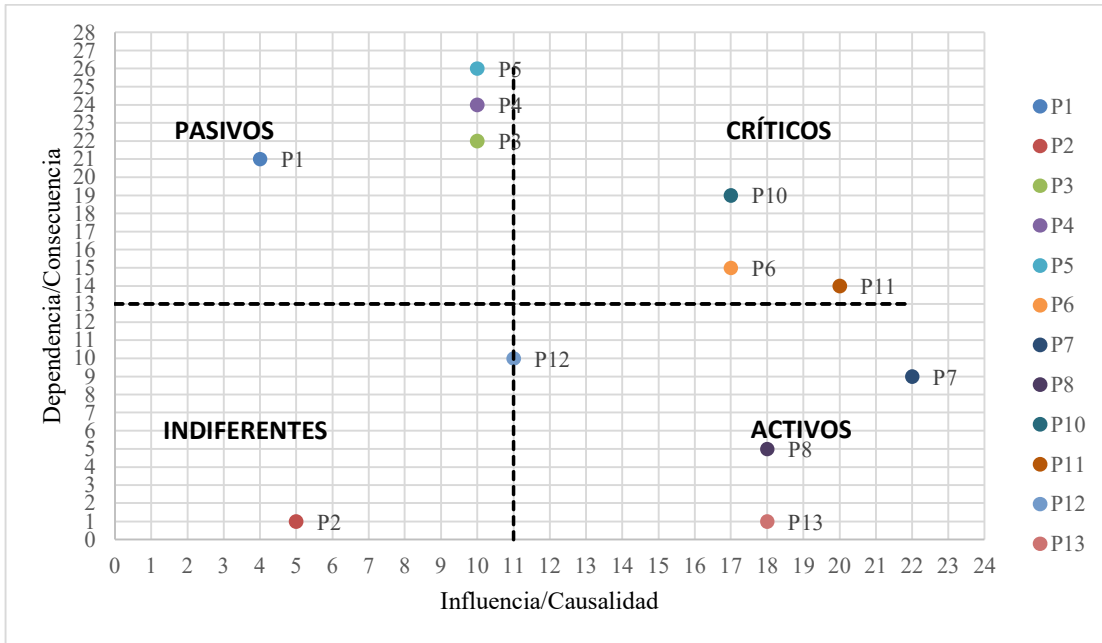
Tras el análisis de la encuesta realizada en el cantón Otavaló, se identificaron los problemas existentes, los cuales se muestran en la tabla 15 junto con la medida de su relación causal. A través de la utilización de la matriz de Vester, se logra visualizar de forma destacada las principales contradicciones surgidas entre los incendios forestales y los factores relacionados con los mismos.

Tabla 15. Matriz de Vester

Situación problemática															
Incendios Forestales															
Código	Variable	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	INFLUENCIA
P1	Cobertura Vegetal	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	4
P2	Rayo o relámpago	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	5
P3	Emisiones de gases de efecto invernadero	2	0	0	3	3	0	0	0	1	0	1	0	0	10
P4	Dstrucción de ecosistemas	0	0	2	0	3	1	1	1	1	0	1	0	0	10
P5	Perdida de Recursos Naturales	2	0	2	2	0	0	1	0	1	0	2	0	0	10
P6	Expansión de la zona agropecuaria	3	0	2	2	3	0	1	0	0	3	3	0	0	17
P7	Expansión de la zona urbana	2	1	3	3	3	3	0	0	0	2	3	2	0	22
P8	Falta de zonificación de la zona	0	0	2	2	2	3	3	0	0	2	2	2	0	18
P9	Época seca	3	0	2	2	2	1	0	0	0	3	0	1	0	14
P10	Quemas Agrícolas fuera de control	3	0	3	3	3	2	0	1	2	0	0	0	0	17
P11	Basura en terrenos	2	0	3	2	3	0	0	0	3	3	0	3	1	20
P12	Pirómanos	2	0	2	2	3	0	0	0	1	1	0	0	0	11
P13	Falta de sanciones Legales	0	0	1	1	1	3	3	3	0	3	1	2	0	18
DEPENDENCIA		21	1	22	24	26	15	9	5	9	19	14	10	1	118

En la construcción del plano cartesiano, referido como Figura 16, se destina a cada cuadrante una categoría de demanda distinta. De acuerdo con Delgado & Pérez, (2020) los problemas hallados en los cuadrantes I, II y III tienen un impacto comparativamente menor frente a los del cuadrante IV. Cabe resaltar que los problemas del cuadrante IV se consideran críticos y, por ende, necesitan un análisis detallado y profundo.

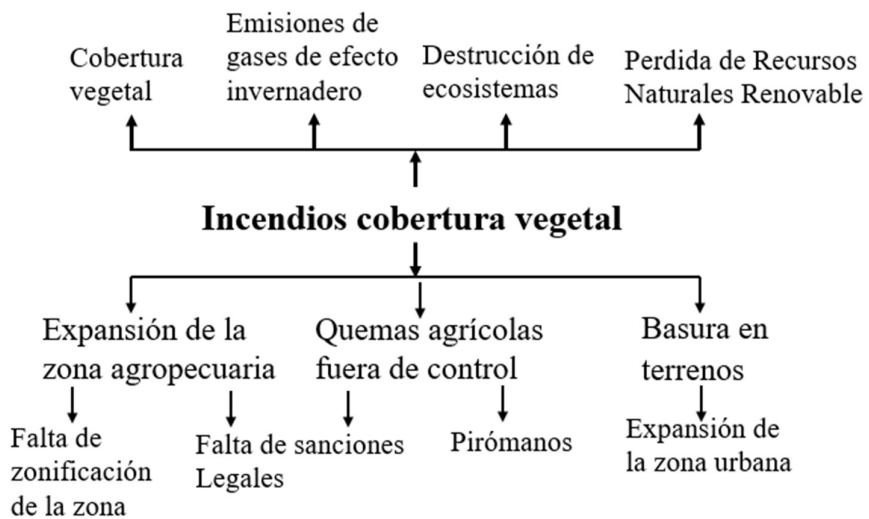
Figura 15. Plano cartesiano de activos y pasivos



4.3.1.1 *Árbol de problemas*

Por medio de la elaboración de la matriz de Vester se conocieron los principales y críticos problemas que aquejan a los pobladores de la zona del cantón Otavalo, con el fin de elaborar estrategias que estén basadas en la educación ambiental, promover la concientización y apoyo continuo de las autoridades competentes y las comunidades. En la figura 16 se describe los problemas relevantes, las causas y sus efectos.

Figura 16. *Árbol de problemas*



4.3.1.2 *Problemas críticos encontrados*

P6. Expansión de la zona agropecuaria

La expansión de la superficie agrícola y ganadera es un problema crítico que contribuye a una alta probabilidad de incendios forestales. En el cantón Otavalo se ha identificado que los cultivos en conjunto con los pastos asumidos como zona agropecuaria, tienen más del 57% de probabilidad de ocurrencia a incendios de cobertura vegetal. Esto se debe a que el fuego siempre ha sido utilizado como una herramienta de los agricultores y de los pastores para el beneficio de sus actividades, esto acompañado con el desprecio de los campesinos hacia las masas forestales que no les proporciona rentabilidad alguna (Vélez, 2000).

P10. Quemadas agrícolas fuera de control

Aunque las quemadas agrícolas en la eliminación de restos de cosechas y preparación de suelos, así como las quemadas de pastos y matorrales para el pastoreo están reglamentadas, sin embargo, son frecuentísimos los incumplimientos en casi todas las regiones (Vélez, 2000). El cual presenta una importante causa de incendios forestales, lo que pone en riesgo vidas humanas y genera impactos negativos en el medio ambiente. Es decir que los pequeños agricultores que dependen del fuego o que cultivan en paisajes propensos a incendios, los riesgos actuales y crecientes de la inflamabilidad del paisaje probablemente plantean desafíos considerables Carmenta et al. (2021). Por esta razón, es importante tomar medidas de precaución y seguir las condiciones y recomendaciones establecidas por los expertos técnicos para las quemadas agrícolas.

P11. Basura en terrenos

La acumulación de basura en terrenos puede aumentar el riesgo de incendios forestales, especialmente durante períodos de sequía o altas temperaturas. Especialmente materiales inflamables como plásticos, residuos de materiales de construcción, objetos punzantes, desechos hospitalarios y material tóxico, puede ser un factor desencadenante de incendios forestales Cucunubá (2019). Esta basura puede actuar como combustible adicional para los incendios, facilitando su propagación y aumentando la intensidad de las llamas. La recolección regular de basura y la limpieza de terrenos y áreas forestales pueden ayudar a reducir el riesgo de incendios forestales.

4.3.2 Matriz FODA

En la tabla 16 se detallan las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas que presenta el área de estudio.

Tabla 16. Matriz FODA

Fortalezas	Oportunidades
F1: Interés por parte de la comunidad. F2: Se conoce la probabilidad de ocurrencia de incendios según los factores físicos y climáticos. F3: Presencia del cuerpo de bomberos. F4: Se conoce las causas socioambientales de incendios forestales.	O1: Aporte de diferentes instituciones públicas para ejecutar acciones de emergencia. O2: Normativa legal vigente (Código integral penal Art. 246) O3: Implementación de buenas prácticas cooperativas para la prevención.
Debilidades	Amenazas
D1: Uso de quemas agrícolas para preparar el terreno. D2: Avance de la frente agrícola D3: Presencia de desechos en terrenos y quebradas. D4: Imprudencia del ser humano por el desconocimiento del riesgo.	A1: Falta de control por parte de las autoridades pertinentes. A2: Control ineficiente de sanciones por incendios forestales. A3: Destrucción de los ecosistemas causado por quemas agrícolas fuera de control.

4.3.2.1 Identificación de estrategias

Encontradas las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas del cantón Otavalo, se procedió al cruce de los elementos de la matriz FODA conjunto con los problemas críticos y subproblemas evaluados en la matriz Vester para establecer las estrategias que aportes a la prevención y mitigación de futuros incendios de cobertura vegetal como se puede visualizar en la tabla 17.

Tabla 17. Cruce de variables del FODA y problemas VESTER

Criterios	Variables FODA	Problemas Vester	Estrategias
Fortalezas y oportunidad	F1: Interés por parte de la comunidad. F2: Se conoce la probabilidad de ocurrencia de incendios según los factores físicos y climáticos. O3: Implementación de buenas prácticas cooperativas para la prevención.	P10. Quemas agrícolas fuera de control. P13. Falta de sanciones legales.	Ejecutar un sistema de alerta temprana para la prevención de incendios en base a la información física y climática del territorio.

	<p>F4: Se conoce las causas socioambientales de incendios forestales.</p> <p>O1: Aporte de diferentes instituciones públicas para ejecutar acciones de emergencia.</p>	<p>P10. Quemadas agrícolas fuera de control.</p> <p>P6. Expansión de la zona agropecuaria.</p>	<p>Fortalecer el trabajo conjunto entre las comunidades y las instituciones mediante socializaciones periódicas.</p>
Fortalezas y amenazas	<p>F3: Presencia del cuerpo de bomberos.</p> <p>A3: Destrucción de los ecosistemas causado por quemadas agrícolas fuera de control.</p>	<p>P10. Quemadas agrícolas fuera de control.</p>	<p>Construir líneas de defensa en los sectores con mayor susceptibilidad con el apoyo de los pobladores.</p>
	<p>F2: Se conoce la probabilidad de ocurrencia de incendios según los factores físicos y climáticos.</p> <p>A1: Falta de control por parte de las autoridades pertinentes.</p>	<p>P6. Expansión de la zona agropecuaria.</p> <p>P13. Falta de sanciones legales.</p>	<p>Generación de una guía física sobre las buenas prácticas en temas agrícolas.</p>
	<p>F4: Se conoce las causas socioambientales de incendios forestales.</p> <p>A2: Control ineficiente de sanciones por incendios forestales.</p>	<p>P10. Quemadas agrícolas fuera de control.</p> <p>P12. Pirómanos.</p>	<p>Implementar estructuras de monitoreo y control en sectores estratégicos.</p>
Debilidad y amenaza	<p>D1: Uso de quemadas agrícolas para preparar el terreno.</p> <p>A3: Destrucción de los ecosistemas causado por quemadas agrícolas fuera de control.</p>	<p>P10. Quemadas agrícolas fuera de control.</p> <p>P8. Falta de zonificación en la zona.</p>	<p>Coordinación y capacitación del procedimiento adecuado de las quemadas agrícolas.</p>

	D2: Avance de la frente agrícola.		
	D3: Presencia de desechos en terrenos y quebradas.	P6. Expansión de la zona agropecuaria.	Ejecutar proyectos de educación ambiental a la población por parte de la academia y autoridades pertinentes.
	A1: Falta de control por parte de las autoridades pertinentes.	P11. Basura en terrenos.	
Debilidad y oportunidad	D4: Imprudencia del ser humano por el desconocimiento del riesgo.	P12. Pirómanos.	Capacitar a los pobladores en temas de control y vigilancia de incendios.
	O2: Normativa legal vigente (Código integral penal Art. 246)	P13. Falta de sanciones legales.	
	D1: Uso de quemas agrícolas para preparar el terreno.	P6. Expansión de la zona agropecuaria.	Generación de una guía física sobre las buenas prácticas en temas agrícolas.
	O3: Implementación de buenas prácticas cooperativas para la prevención.	P10. Quemas agrícolas fuera de control.	

4.3.3 Diseño de estrategias

4.3.3.1 Estrategia 1: Sistema de alerta temprana (SAT)

Ubicación: Cantón Otavalo

Justificación

En el cantón Otavalo se identificó las parroquias que presentan más probabilidad de incendios de cobertura vegetal que son Jordán, San Luis, San José de Quichinche y González Suárez, por lo tanto, es necesario implementar un programa de SAT para proteger a la población y su bienestar ante los riesgos naturales en especial los incendios y permita alertar a la población de manera eficaz y oportuna. Ya que son elementos clave de la adaptación del cambio climático y la reducción del riesgo de desastres, estos incluyen detección, análisis, predicción y difusión de advertencias ante posibles incendios, seguidas de toma de decisiones e implementación de

respuestas. La efectividad dependerá de la integración de actores locales, la capacidad de respuesta del personal y la colaboración por las partes interesadas (Climate-ADAPT, 2018).

Objetivo general

Diseñar un Sistema de alerta temprana para prevenir y controlar los incendios de cobertura vegetal en las parroquias con mayor susceptibilidad en el cantón Otavalo.

Meta

El sistema de alerta temprana permitirá alertar de manera eficaz a la población de los sectores más susceptibles a incendios de cobertura vegetal y actores involucrados minimizando el impacto de desastres en la infraestructura, el medio ambiente y la economía local causados por incendios de cobertura vegetal.

Tabla 18. Programa de Sistema de alerta temprana

Actividades	Indicadores	Medios de verificación	Alcance	Responsables
Socializar los resultados de la investigación con las autoridades competentes y representantes de diferentes parroquias rurales.	Número de socializaciones. Número de asistentes por sector.	Registro de asistencias. Fotografías.	Lograr equipamientos adecuados para evaluar la preparación y la respuesta, identificando áreas de mejora.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ GAD parroquial ▪ Cuerpo de bomberos ▪ Secretaría de Gestión de riesgos ▪ Presidentes de comunas parroquiales
Implementar estaciones meteorológicas para monitoreo de tiempo atmosférico	Número de estaciones	Fotografías. Facturas entregadas.		
Mejorar la gestión ante una emergencia de incendio.	Número de responsables por sector y entidades públicas.	Informes técnicos. Fotografías.		

4.3.3.2 Estrategia 2: Programa de formación de brigadas comunitarias forestales en el manejo integral del fuego.

Ubicación: Cantón Otavalo

Justificación

Es aconsejable contar con un equipo capacitado que funcione como un equipo de respuesta de emergencia listo para actuar de inmediato ante un riesgo. Las comunidades ubicadas cerca de áreas identificadas como susceptibles a incendios son los actores principales en la protección de su entorno junto con el departamento de bomberos. Por lo tanto, las charlas informativas permitirán a los residentes participar en las medidas de respuesta ante situaciones que puedan causar daños, garantizando una pronta y eficaz actuación en caso de producirse un incendio.

Objetivo general

Capacitar un equipo de apoyo en sectores con mayor probabilidad a incendios por cobertura vegetal con técnicas que permita su reducción y mitigación.

Meta

Formar equipos comunitarios integrados por individuos preparados y coordinados, con capacidad de reaccionar rápidamente en caso de incendios forestales, con el objetivo de reducir al máximo las consecuencias del fuego.

Tabla 19. Programa de formación de brigadas comunitarias forestales en el manejo integral del fuego.

Actividades	Indicadores	Medios de verificación	Alcance	Responsables
Crear y entrenar grupos de voluntarios de la comunidad para actuar en situaciones de incendios.	Número de asistentes.	Registro de asistencias. Fotografías.	Tener un enfoque integral para coordinar la respuesta y las acciones frente al riesgo de incendios forestales	<ul style="list-style-type: none"> ▪ GAD parroquial ▪ Cuerpo de bomberos ▪ Secretaría de Gestión de riesgos ▪ Presidentes de comunas parroquiales
Mingas comunitarias y mantenimiento de áreas verdes	Número de personas colaborativas. Visitas periódicas a las áreas verdes	Registro de Actividades. Fotografías		
Establecimientos de protocolo de emergencia.	Número de reuniones técnicas	Registro de Actividades. Fotografías.		

4.3.3.3 Estrategia 3: Implementación de líneas cortafuegos en zonas que presentan alta probabilidad a incendios.

Ubicación: Zonas rurales del cantón Otavalo

Justificación

El fuego usado por los campesinos en la reducción de la combustibilidad para la facilidad del manejo de sus tierras para cultivo, crean situaciones aptas para se generen incendios forestales, todo esto se debe al no tener un control adecuado con la técnica de las quemas agrícolas. Por lo tanto, es indispensable establecer estrategias de prevención como las líneas cortafuegos que son un medio que evitan la propagación descontrolada de los incendios, consiguiendo menores afectaciones a las masas de cobertura vegetal.

Objetivo general

Establecer franjas cortafuegos en lugares estratégicos dentro del cantón Otavalo.

Meta

La instalación de franjas cortafuegos en el cantón evitará que los incendios se propaguen sin control, permitiendo su contención de manera más sencilla al establecer barreras de protección.

Tabla 19. Programa para Implementación de líneas cortafuegos

Actividades	Indicadores	Medios de verificación	Alcance	Responsables
Identificar las zonas donde se implementarán líneas cortafuegos	Áreas seleccionadas	Registro Fotográfico.	Construir franjas cortafuegos en sitios estratégicos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ GAD parroquial ▪ Cuerpo de bomberos ▪ Secretaría de Gestión de riesgos ▪ Presidentes de comunas parroquiales
Definir y construir la estructura de las líneas cortafuegos	Número de franjas implementadas	Inspecciones <i>In situ</i> Fotografías	dentro de las áreas con mayor probabilidad a incendios	
Limpieza gradual de las líneas construidas	Desbroce de material combustible acumulado	Registro de los mantenimientos de línea cortafuegos		

4.3.3.4 Estrategia 4: Educación ambiental enfocado en las buenas prácticas en temas agrícolas.

Ubicación: Parroquias rurales del cantón Otavalo

Justificación

La principal causa de incendios forestales en el cantón Otavalo es la falta de conocimiento de los agricultores sobre los impactos ambientales y sociales. Por lo tanto, es fundamental educar a la población sobre el medio ambiente y promover buenas prácticas para fomentar valores, actitudes y hábitos sostenibles en las actividades agrícolas, ganaderas y culturales, con el objetivo de crear comunidades más sustentables en el futuro.

Objetivo general

Educar a las comunidades rurales identificadas con mayor probabilidad de incendios forestales del cantón Otavalo a través de la difusión de información especializada en cuanto a la concienciación sobre los riesgos asociados y las medidas de prevención correspondientes.

Meta

Capacitar a los residentes locales en aspectos elementales relacionados con los impactos ambientales y sociales derivados de los incendios forestales, así como en las estrategias para su gestión adecuada.

Tabla 20. Programa de educación ambiental

Actividades	Indicadores	Medios de verificación	Alcance	Responsables
Generar una guía física y didáctico para promover la cultura de las buenas prácticas en temas agrícolas.	Número de reproducciones y folletos entregados.	Registro fotográfico	Fomentar la concientización de la comunidad acerca de las prácticas adecuadas de control de incendios y de los factores desencadenantes y efectos de los incendios en vegetación.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ GAD parroquial ▪ Cuerpo de bomberos ▪ Secretaría de Gestión de riesgos ▪ Presidentes de comunas parroquiales
Organizar charlas informativas sobre la importancia de la prevención de incendios y el manejo adecuado del fuego en zonas con probabilidad de ocurrencia alta y extrema.	Número de capacitaciones. Número de asistentes.	Registro de asistencias. Fotografías		

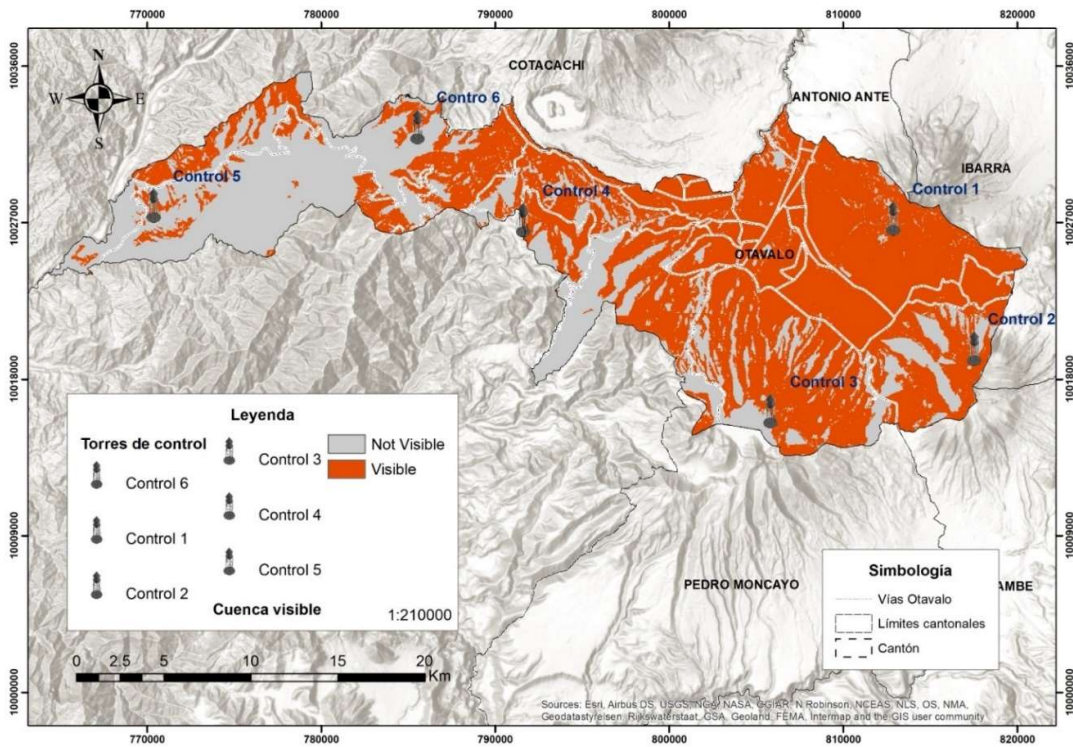
4.3.3.5 Estrategia 5: Implementar torres de monitoreo y control en sectores estratégicos.

Ubicación: Parroquias rurales con mayor presencia de incendios de cobertura vegetal.

Tabla 21. Coordenadas de la ubicación de las torres de monitoreo

Nombre	Parroquia	Altura	Coordenadas		Área visible Km2
			X	Y	
Control 1	San Pablo	15m	-78,189323	0,246575	12798,41
Control 2	San Pablo	15m	-78,147634	0,178928	16050,72
Control 3	Gonzáles Suárez	15m	-78,252634	0,146488	13207,98
Control 4	San José de Quichinche	15m	-78,380217	0,245712	10479,71
Control 5	Selva Alegre	15m	-78,570814	0,253287	1271,98
Control 6	Selva Alegre	15m	-78,43484	0,294173	3788,07

Figura 17. Ubicación de torres de monitoreos



Justificación

El cantón Otavalo presentó zonas con alta probabilidad ocurrencia de incendios, por ende, es necesario se creen estructuras de control con alta visibilidad para detectar a tiempo los incendios e impedir mayores afectaciones a la superficie forestal. La instalación de torres de control en las grandes altitudes de las montañas andinas ofrece ubicaciones estratégicas para la detección temprana de incendios forestales siendo así una propuesta viable y valiosa (P. Arias-Muñoz, Cabrera-García, et al., 2024). Estas instalaciones incluyen la detección y prevención temprana, la maximización de la visibilidad y el alcance de detección, el apoyo a los esfuerzos de extinción de incendios, el cumplimiento normativo y la gestión de riesgos.

Objetivo general

Construir seis estructuras de control y vigilancia en diferentes puntos dentro del cantón.

Meta

Mejorar la capacidad de reacción en tiempo real para prevenir y combatir eficazmente los incendios, proporcionando visibilidad y colaboración entre equipos y asociados para preservar el conocimiento organizacional y acelerar la toma de decisiones.

Tabla 22. Programa de torres de monitoreo y control

Actividades	Indicadores	Medios de verificación	Alcance	Responsables
Identificar las zonas donde se implementarán torres de control.	Áreas seleccionadas	Registro fotográfico Oficios entregados.	Construir torres de monitoreo en sitios estratégicos dentro de las áreas con mayor probabilidad a incendios	<ul style="list-style-type: none">▪ GAD parroquial▪ Cuerpo de bomberos▪ Secretaría de Gestión de riesgos▪ Presidentes de comunas parroquiales
Construcción de las torres de control.	Número de torres construidas.	Registro fotográfico Facturas de materiales		
Realizar monitoreo frecuente ante una emergencia de incendio.	Número de monitoreos diarios registrados.	Registro fotográfico Informes técnicos		

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Los meses de agosto y septiembre presentaron alta probabilidad de que pueda ocurrir un incendio forestal en el cantón Otavalo, independientemente si haya o no una época seca muy marcada, la probabilidad es alta debido a una causa social “quemadas agrícolas”, puesto que estos meses son considerados periodos de siembra. Además, en los últimos años hubo un ligero aumento de temperatura y variaciones en las precipitaciones lo que aumenta aún más las condiciones óptimas para que los incendios forestales surjan fácilmente. También los factores físicos de unidades ambientales pastos, cultivos y pendientes onduladas, mostraron ser muy probables para que los incendios se formen y se propaguen.
- La investigación ha revelado que ciertos factores ambientales, específicamente la acumulación de desechos en las quebradas, ejercen una influencia considerable en la incidencia de incendios. También, se ha reconocido al cambio climático como un factor contribuyente adicional. Por otro lado, se ha constatado que las prácticas agrícolas locales, como las quemadas para la preparación del terreno, refleja una incidencia significativa dentro del área de estudio.
- Las estrategias implementadas se centran en abordar los problemas críticos que contribuyen a la frecuencia de incendios de cobertura vegetal, particularmente en áreas con alta y muy alta probabilidad de estos eventos. El enfoque es colaborativo, buscando la integración activa de las autoridades locales y los residentes en el proceso de toma de decisiones. Esta integración es esencial para preservar y proteger las zonas de conservación en el cantón Otavalo, ya que la participación comunitaria es clave para fomentar la responsabilidad compartida y el compromiso con la gestión ambiental sostenible.

5.2 Recomendaciones

- Los factores climáticos son necesarios para este tipo de investigaciones, por eso se necesita del fortalecimiento de los generadores de información para tener la disponibilidad de datos necesarios en la aplicación de la probabilidad compuesta.

- Es crucial que las autoridades y miembros de las comunidades del cantón asignen la debida importancia al tema de incendios de cobertura vegetal, para tomar las medidas necesarias de recuperación de zonas afectadas, establecer protocolos de prevención y acciones para minimizar el impacto ambiental.

- Las estrategias están enfocadas en la implementación y divulgación entre habitantes de diversas edades, es necesario fortalecer los canales de difusión para llegar a promover la conciencia y sensibilización ambiental en todo el cantón Otavalo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera Sánchez, Marta. (2015). *El régimen jurídico de los incendios forestales*. 207. <https://doi.org/10.0/CSS/ALL.MIN.D74D1A5D029B.CSS>
- Aguirre Mejía, G., Aguirre Mejía, P., & Arias Muñoz, P. (2018). Percepciones sobre el efecto de los incendios forestales en el turismo sustentable de la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapa, Ecuador [Perceptions about the effect of forest fires on sustainable tourism of the Cotacachi Cayapa Ecological Reserve, Ecuador]. En *Sustentabilidad(es)* (Vol. 9). www.sustentabilidades.usach.cl
- Alarcon, I. (2021, agosto 3). 190 000 hectáreas afectadas por incendios durante la última década en Ecuador. *El Comercio*. <https://www.elcomercio.com/tendencias/ambiente/hectareas-afectadas-incendios-forestales-ecuador-2020.html>
- Anrango, S. , Chingal, M. , & Arias-Muñoz, P. (2020). Zonificación de Cobertura Vegetal Propensa a Incendios en el Cantón Ibarra: Una Mirada al Centro Poblado Más Grande de la Cuenca del Río Mira. En *Riesgos Naturales en la cuenca del río Mira. Variabilidad del clima, deslizamientos, incendios y vulnerabilidad volcánica*. *Cuvillier Verlag*, 55-74. <https://sustentabilidadyambiente.files.wordpress.com/2020/12/riesgos-naturales-en-la-cuenca-del-rio-mira.pdf>
- Antonio, M. J., Molina, B., Lina, M., Aranda, L., María, M., Flores, E. H., Eusebio, M. I., & López, J. (2013). *Utilización del alfa de Cronbach para validar la confiabilidad de un instrumento de medición de satisfacción del estudiante en el uso del software Minitab*.
- Arias, A. V., Luz, M., Arias, B., & Rodríguez-Lora, V. (2014). Intención de uso del e-learning en el programa de Administración Tecnológica desde la perspectiva del modelo de aceptación tecnológica. *Revista Electrónica Educare (Educare Electronic Journal) EISSN*, 18(2), 247-264. <https://doi.org/10.15359/ree.18-2.13>
- Arias-Muñoz, P. , Cabrera-García, S. , & Jácome-Aguirre, G. (2024). *A Multicriteria Geographic Information System Analysis of Wildfire Susceptibility in the Andean Region: A Case Study in Ibarra, Ecuador*. . <https://doi.org/10.3390/fire7030081>
- Arias-Muñoz, P. , Chuma-Pomasqui, L. , Coronado Cacuango, P. , & Jácome-Aguirre, G. (2024). Susceptibilidad para incendios de cubierta vegetal: Una evaluación desde los métodos multicriterio y radiofrecuencia (Cantón Cotacachi, Ecuador). *Cuadernos de Investigación Geográfica*. . <https://doi.org/10.18172/cig.5867>

- Arias-Muñoz, P. , Encarnación, G. , Díaz, A. , & Herrera, F. (2020). onificación de Áreas Propensas a Incendios de Cobertura Vegetal en la Subcuenca del Río Mataquí ubicada en la Provincia Imbabura. En Riesgos Naturales en la cuenca del río Mira. Variabilidad del clima, deslizamientos, incendios y vulnerabilidad volcánica . *Cuvillier Verlag.* , 41-56. <https://sustentabilidadyambiente.files.wordpress.com/2020/12/riesgos-naturales-en-la-cuenca-del-rio-mira.pdf>
- Arias-Muñoz, P., Ángel-Saz, M., & Escolano, S. (2024). Tendencias de cambio de usos y coberturas de suelo en la cuenca hidrográfica media-alta del río Mira en Ecuador. *Investigaciones Geográficas*, 155-179. <https://zaguan.unizar.es/record/132807>
- Baijnath-Rodino, J. A., Le, P. V. V., Foufoula-Georgiou, E., & Banerjee, T. (2023). Historical spatiotemporal changes in fire danger potential across biomes. *Science of The Total Environment*, 870, 161954. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2023.161954>
- Barría P., R. M., & Barría P., R. M. (2019). Los incendios forestales como una problemática de salud pública: un ámbito para la enfermería en desastres. *Investigación y Educación en Enfermería*, 37(3), 1-4. <https://doi.org/10.17533/UDEA.IEE.V37N3E01>
- Berger, A. (1986). Annual and saesonal climatic variations the northern hemisphere and Europe during the last century. *Annales Geophysicae*.
- Bowman, D. M. J. S., Balch, J. K., Artaxo, P., Bond, W. J., Carlson, J. M., Cochrane, M. A., D'Antonio, C. M., DeFries, R. S., Doyle, J. C., Harrison, S. P., Johnston, F. H., Keeley, J. E., Krawchuk, M. A., Kull, C. A., Marston, J. B., Moritz, M. A., Prentice, I. C., Roos, C. I., Scott, A. C., ... Pyne, S. J. (2009). Fire in the earth system. *Science*, 324(5926), 481-484. https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1163886/SUPPL_FILE/BOWMAN.SOM.PDF
- Burrough, P., & McDonell, R. (1998). Principles of Geographical Information Systems Oxford University Press. *New York*.
- Bustos, A., Segura, D., Coronel, J., & Onofa, Á. (2019, marzo 25). *Los incendios forestales en Ecuador - Osbodigital. Todo sobre gestión forestal*. <https://osbodigital.es/2019/03/25/los-incendios-forestales-en-ecuador/>
- Cárdenas, P. S. (2013). La problemática de los incendios forestales y bases para su teledetección en el Perú. *Apuntes de Ciencia & Sociedad*, 3(2), 140-149. <https://doi.org/10.18259/ACS.2013017>

- Carmenta, R., Cammelli, F., Dressler, W., Verbicaro, C., & Zaehring, J. G. (2021). Between a rock and a hard place: The burdens of uncontrolled fire for smallholders across the tropics. *World Development*, *145*, 105521. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2021.105521>
- Cascio, W. E. (2018). Wildland fire smoke and human health. *Science of The Total Environment*, *624*, 586-595. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2017.12.086>
- Cherlynka, L. (2023, febrero 12). *Quema Prescrita: Tipos, Ventajas Y Desventajas De Esta Técnica*. <https://eos.com/es/blog/quema-prescrita/>
- Climate-ADAPT. (2018). Establecimiento de sistemas de alerta rápida. *Plataforma Europea de Adaptación al Clima*. <https://climate-adapt.eea.europa.eu/es/metadata/adaptation-options/establishment-of-early-warning-systems>
- Conaf. (2022). *PLAN DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS FORESTALES*.
- Conde, E. (2019). *Impacto del cambio de cobertura y uso de suelo e incendios forestales, sobre los recursos hídricos y biodiversidad, en dos subcuencas ganaderas de la Costa Sur de Jalisco, México*. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/9011>
- Constitución de la Republica del Ecuador. (2008). *Registro Oficial 449 de 20-oct-2008*. https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf
- Cucunubá, G. (2019). *Incendios forestales vs Quemas de basuras*. <https://bomberossantamarta.org/incendios-forestales-vs-quemas-de-basuras/>
- Delgado, N., & Pérez, A. (2020). Principales demandas educativas por evaluar en la formación de profesionales en la Universidad de Artemisa, Cuba. *Virtu@lmente*, *8*(1). <https://doi.org/10.21158/2357514x.v8.n1.2020.2634>
- Estacio, J. , & Narváz, N. (2012). Incendios forestales en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ): Conocimiento e intervención pública del riesgo. *Letras Verdes: Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientale*, *27-52*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5444128>
- Estefanía Ordóñez Pozo, V., & Paul Arias-Muñoz, D. (2023). Factores que reflejan la seguridad hídrica en las comunidades rurales del cantón Cotacachi-Ecuador y su relación con los conflictos por el agua. *Revista Universitaria de Geografía*, *32*(1), 71-90. <https://doi.org/10.52292/j.rug.2022.31.1.0033.0052>

- García i Pausas, J. (s. f.). *Incendios forestales: una visión desde la ecología*.
<https://doi.org/10.0/CSS/ALL.MIN.D74D1A5D029B.CSS>
- Glasspool, I., Edwards, D., & Hacha, L. (2004). Carbón en el Silúrico como evidencia del primer incendio forestal. *Geología 2004, VOL. 32*.
- González, P. (2017). Impacto de los incendios forestales en suelo, agua, vegetación y fauna. En *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile/ BCN*.
- Guo, M., Yao, Q., Suo, H., Xu, X., Li, J., He, H., Yin, S., & Li, J. (2023). The importance degree of weather elements in driving wildfire occurrence in mainland China. *Ecological Indicators, 148*, 110152. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2023.110152>
- Heidari, H., Arabi, M., & Warziniack, T. (2021). Effects of Climate Change on Natural-Caused Fire Activity in Western U.S. National Forests. *Atmosphere, 12*(8), 981. <https://doi.org/10.3390/atmos12080981>
- Hernández, O. (2021). Aproximación a los distintos tipos de muestreo no probabilístico que existen. *Revista Cubana de Medicina General Integral*.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-21252021000300002
- Huera, J., & López, A. (2022). *03 RNR 431 TRABAJO DE GRADO*.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2010). *Fascículo provincial Imbabura*.
<https://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/imbabura.pdf>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2012). *Boletín mensual de precipitación estacional climática*.
<https://www.inamhi.gob.ec/guayaquil/prediccion/mensuales/marzo/marzo.pdf>
- Keller, E., & Blodgett, R. (2004). *Riesgos Naturales Procesos de la Tierra como riesgos, desastres y catástrofes* (pp. 01-422). PEARSON EDUCACIÓN, S.A.
- Koudahe, K., Kayode, A. J., Samson, A. O., Adebola, A. A., & Djaman, K. (2017). *Trend Analysis in Standardized Precipitation Index and Standardized Anomaly Index in the Context of Climate Change in Southern Togo*. 7, 401-423.
<https://doi.org/10.4236/acs.2017.74030>

- MacCarthy, J., Tyukavina, S., Weisse, M., & Harris, N. (2022). *Los nuevos datos lo confirman: los incendios forestales están empeorando*. <https://www.wri.org/insights/nuevos-datos-los-incendios-forestales>
- Marcillo, J. (2023). *Base_Eventos Incendios Forestales Imababura* .
- Marisol Vasco-Lucio, M. I., María Orna-Puente, L. I., Margoth Ati-Cutiupala III, G., & Ximena Lara-Vásquez, N. I. (2022). Detección de la severidad de los incendios que afectan la biodiversidad de los ecosistemas del área protegida “Ichubamba Yasepan” mediante análisis geoestadístico. *Polo del conocimiento* , 70, 209-228. <https://doi.org/10.23857/pc.v7i8>
- Marquez, A. M., Guevara Pérez, E., Pérez Pacheco, S. A., & Buroz Castillo, E. (2022). Spatio-temporal prediction of water production in basins without records. *DYNA*, 89(220), 110-120. <https://doi.org/10.15446/dyna.v89n220.95985>
- Martínez, R., Quintanal, J., & Trillo, M. (2021). La matriz DAFO: un recurso en el contexto socioeducativo. En *Universidad Nacional de Educación a Distancia*.
- McWethy, D. B., Pauchard, A., García, R. A., Holz, A., González, M. E., Veblen, T. T., Stahl, J., & Currey, B. (2018). Landscape drivers of recent fire activity (2001-2017) in south-central Chile. *PLOS ONE*, 13(8), e0201195. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0201195>
- Medina Alexandro. (2021). *Incendios forestales y cambio climático*. Instituto de Ecología A.C.
- Metro. (2019, agosto 23). *Segundo día que se combate incendio forestal en Otavalo*. <https://www.metroecuador.com.ec/ec/noticias/2019/08/23/segundo-dia-se-combate-incendio-forestal-otavalo.html>
- Millán, I. (2017). *Tablas de Contingencia* [Universidad de Sevilla]. <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/66971/1/Inmaculada%20Mill%C3%A1n%20D%C3%ADaz%20TFG.pdf?sequence=1>
- Ministerio del Ambiente, A. y T. E. (2019). *Prevención y control de incendios una prioridad nacional – Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica*. <https://www.ambiente.gob.ec/prevencion-y-control-de-incendios-una-prioridad-nacional/>
- Nairobi. (2022). *Incendios forestales mortales, contaminación acústica y interrupción en los ciclos de vida: informe de la ONU identifica amenazas ambientales inminentes*.

<https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/incendios-forestales-mortales-contaminacion-acustica-y>

- Nikulin, C., & -Becker, G. (2015). Una metodología Sistémica y creativa para la gestión estratégica: Caso de Estudio Región de Atacama-Chile A Systematic and Creative Methodology to Drive Strategic Management: Chilean Case Study in Atacama-Region. En *J. Technol. Manag. Innov* (Vol. 10, Número 1). <http://www.jotmi.org>
- Oliveira, E. (2016). *La Prevención a la Escala del Paisaje para hacer frente a los Grandes Incendios Forestales. Análisis en el Alto Minho. Portugal*. Universidad Técnica de Madrid (UPM).
- Organización de las Naciones Unidas. (1992). *Convenio sobre la Diversidad Biológica*.
- Orozco, M., Mireles, P., Valdez, M., & Peña, V. (2011). *INCENDIOS FORESTALES Y DEGRADACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS TERRESTRES: IMPACTOS LOCALES Y EMISIONES GLOBALES. EXPLORACIÓN DE LA SITUACIÓN EN EL ESTADO DE MÉXICO* .
- Oviedo, H. C., & Campo-Arias, A. (2005). Aproximación al uso del coeficiente alfa de Cronbach. *Revista Colombiana de Psiquiatría*, 34(4), 572-580. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=s0034-74502005000400009&script=sci_arttext
- Pazmiño, D. (2019). Peligro de incendios forestales asociado a factores climáticos en Ecuador. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 7(1), 10-18. <https://doi.org/10.29166/REVFIG.VIII.1800>
- Plan de Ordenamiento Territorial [PDOT]. (2015). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Otavalo-Provincia de Imbabura*.
- Ramos-Rodríguez, M. P. , García-Castro, H. J. , França Tetto, A. , Carlos Batista, A. , Manrique-Toala, T. O. , & Estévez-Valdés, I. (2021). Ocurrencia de incendios forestales en el cantón Santa Ana, provincia de Manabí, Ecuador (2012-2018). *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 322-339. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2310-34692021000300322&lng=es&tlng=es
- Reglamento al Código Orgánico del Ambiente. (2019). *Registro Oficial suplemento 507. Ministerio del Ambiente y Agua*:

- Reyes Bueno, F. , , & Balcázar Gallegos, C. (2021). Factores que inciden en la probabilidad de ocurrencia de incendios forestales en Ecuador. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 50-60. <https://doi.org/10.29166/revfig.v11i1.2634>
- Rodas, M. (2015). “*ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE INCENDIOS FORESTALES EN LA CUENCA DEL RÍO PAUTE MEDIANTE SENSORES REMOTOS*”. Universidad de Cuenca.
- Sari, F. (2022). Identifying anthropogenic and natural causes of wildfires by maximum entropy method-based ignition susceptibility distribution models. *Journal of Forestry Research*, 34(2), 355-371. <https://doi.org/10.1007/S11676-022-01502-4/TABLES/8>
- Secretaría de Gestión de Riesgos. (2024). *Incendios Forestales – Secretaría de Gestión de Riesgos*. <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/incendios-forestales/>
- Secretaria Nacional de Planificación. (2021). *Plan-de-Creación-de-Oportunidades-2021-2025-Aprobado_compressed*.
- Secretaria Nacional de Planificación. (2024). Plan de desarrollo para el nuevo Ecuador 2024 - 2025. *Secretaría Nacional de Planificación, 2024*. <https://www.planificacion.gob.ec/plan-de-desarrollo-para-el-nuevo-ecuador-2024-2025/>
- Stallard, E. (2022, agosto 10). *Qué son los «rayos secos», causantes de devastadores incendios forestales - BBC News Mundo*.
- Statista Research Department. (2023, mayo 31). *Número de incendios forestales en América del Sur en 2021, por país*.
- Suresh Babu, K. V., Roy, A., & Prasad, P. R. (2017). Forest fire risk modeling in Uttarakhand Himalaya using TERRA satellite datasets. <https://doi.org/10.5721/EuJRS20164921>, 49(1), 381-395. <https://doi.org/10.5721/EUJRS20164921>
- Thapa, S. B., Jenkins, J. S., & Westerling, A. L. (2023). Perceptions of wildfire management practices in a California wildland-urban interface. *Environmental Advances*, 12, 100382. <https://doi.org/10.1016/J.ENVADV.2023.100382>
- Turco, M., Rosa-Cánovas, J. J., Bedia, J., Jerez, S., Montávez, J. P., Llasat, M. C., & Provenzale, A. (2018). Exacerbated fires in Mediterranean Europe due to anthropogenic warming projected with non-stationary climate-fire models. *Nature Communications 2018 9:1*, 9(1), 1-9. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-06358-z>

- Tyukavina, A., Potapov, P., Hansen, M. C., Pickens, A. H., Stehman, S. V., Turubanova, S., Parker, D., Zalles, V., Lima, A., Kommareddy, I., Song, X.-P., Wang, L., & Harris, N. (2022). Global Trends of Forest Loss Due to Fire From 2001 to 2019. *Frontiers in Remote Sensing*, 3, 9. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/frsen.2022.825190>
- Valenzuela, N. U., Valenzuela, N. V. U., & Bueno, M. F. C. (2012). Incendios forestales: principales consecuencias económicas y ambientales en Chile. *Revista Interamericana de Ambiente y Turismo - RIAT*, 7(1), 18-24. <https://doi.org/10.4067/riatvol7iss1pp18-24%0718-235X>
- Vélez Muñoz, R. (2009). *Defensa contra incendios forestales: fundamentos y experiencia (2a. ed.)*. 866. <https://doi.org/10.0/CSS/ALL.MIN.D74D1A5D029B.CSS>
- Vélez R. (2000). *LAS QUEMAS INCONTROLADAS COMO CAUSA DE INCENDIOS FORESTALES* (Vol. 9).
- Wang, S. W., Lim, C. H., & Lee, W. K. (2021). A review of forest fire and policy response for resilient adaptation under changing climate in the Eastern Himalayan region. <https://doi.org/10.1080/21580103.2021.1979108>, 17(4), 180-188. <https://doi.org/10.1080/21580103.2021.1979108>
- Westreicher. (2020). *Probabilidad*. economipedia.
- Williams, A. P., Abatzoglou, J. T., Gershunov, A., Guzman-Morales, J., Bishop, D. A., Balch, J. K., & Lettenmaier, D. P. (2019). Observed Impacts of Anthropogenic Climate Change on Wildfire in California. *Earth's Future*, 7(8), 892-910. <https://doi.org/10.1029/2019EF001210>

ANEXOS

Anexo 1. *Formato de la encuesta realizada a la población de las diferentes parroquias rurales del cantón Otavalo.*

ENCUESTA

Objetivo: El objetivo de la presente encuesta es identificar las causas sociales de los incendios forestales y la encuesta es totalmente anónima

- ✓ Género M () F ()
- ✓ Edad ()
- ✓ Educación No tiene () Primaria () Secundaria sin finalizar () Secundaria finalizada ()
Universitaria () Postgrado ()
- ✓ ¿A qué tipo de actividades se dedica usted? Agricultura () Ganadera () Comercio () Construcción
() Servidor Público () Empleado Privado () Otro ()
- ✓ ¿A qué tipo de actividades se dedica principalmente su familia? Agricultura () Ganadera ()
Comercio () Construcción () Servidor Público () Empleado Privado () Otro ()
- ✓ ¿Es usted cabeza de familia? SI ___ NO ___

1. Sabe usted que es un incendio forestal.

Desconocía totalmente () Desconocía parcialmente () Ni conocía ni desconocía ()
Algo Conocía () Sabía/conocía totalmente del tema ()

2. ¿Conoce usted los peligros de los incendios forestales? Cite algún peligro que conozca.

Desconocía totalmente () Desconocía parcialmente () Ni conocía ni desconocía ()
Algo Conocía () Sabía/conocía totalmente del tema ()

Peligro _____ -

3. ¿Conoce usted que en las coberturas vegetales tienen combustibilidad? (es decir que cada cobertura vegetal puede quemarse de forma distinta).

Desconocía totalmente () Desconocía parcialmente () Ni conocía ni desconocía ()
Algo Conocía () Sabía/conocía totalmente del tema ()

4. Conoce usted que cada cobertura vegetal tiene una posibilidad de ignición (es decir de prenderse).

Desconocía totalmente () Desconocía parcialmente () Ni conocía ni desconocía ()
Algo Conocía () Sabía/conocía totalmente del tema ()

5. Conoce Usted, si en su sector han existido incendios forestales en los últimos años.

Desconocía totalmente () Desconocía parcialmente () Ni conocía ni desconocía ()
Algo Conocía () Sabía/conocía totalmente del tema ()

6. Conoce Usted, si en su sector se han realizado quemas agrícolas para atraer las lluvias.

Desconocía totalmente () Desconocía parcialmente () Ni conocía ni desconocía ()

Algo Conocía () Sabía/conocía totalmente del tema ()

7. Conoce Usted, si en su sector se han realizado quemas agrícolas para “mantener las costumbres enseñadas por sus antepasados”

Desconocía totalmente () Desconocía parcialmente () Ni conocía ni desconocía ()

Algo Conocía () Sabía/conocía totalmente del tema ()

8. Conoce Usted, si en su sector se han realizado quemas agrícolas para “preparar el terreno para la próxima siembra”.

Desconocía totalmente () Desconocía parcialmente () Ni conocía ni desconocía ()

Algo Conocía () Sabía/conocía totalmente del tema ()

9. Conoce usted alguna otra razón por la que se realiza quemas agrícolas en su sector.

Desconocía totalmente () Desconocía parcialmente () Ni conocía ni desconocía ()

Algo Conocía () Sabía/conocía totalmente del tema ()

10. Conoce usted si en su sector han existido quemas agrícolas que se fueron de control y ocasionaron incendios forestales.

Desconocía totalmente () Desconocía parcialmente () Ni conocía ni desconocía ()

Algo Conocía () Sabía/conocía totalmente del tema ()

11. ¿Ha observado usted que un rayo o relámpago cause un incendio forestal en su sector o comunidad?

Desconocía totalmente () Desconocía parcialmente () Ni conocía ni desconocía ()

Algo Conocía () Sabía/conocía totalmente del tema ()

12. Conoce Usted si la basura en terrenos o en quebradas ha propagado o extendido un incendio forestal, en su sector o comunidad.

Desconocía totalmente () Desconocía parcialmente () Ni conocía ni desconocía ()

Algo Conocía () Sabía/conocía totalmente del tema ()

13. Considera usted que el “cambio climático” es un factor que ocasiona más incendios forestales.

Desconocía totalmente () Desconocía parcialmente () Ni conocía ni desconocía ()

Algo Conocía () Sabía/conocía totalmente del tema ()

14. Conoce usted sobre las sanciones legales existentes a las personas que causan incendios forestales.

Desconocía totalmente () Desconocía parcialmente () Ni conocía ni desconocía ()

Algo Conocía () Sabía/conocía totalmente del tema ()

15. Estaría de acuerdo con que se definen las zonas de riesgo de incendio forestal en su comunidad o sector.

Totalmente en desacuerdo () Parcialmente en desacuerdo () Ni de acuerdo ni desacuerdo ()

Parcialmente de acuerdo () Totalmente de acuerdo ()

16. Estaría de acuerdo con que existan capacitaciones sobre el procedimiento adecuado para el control de quemas agrícolas.

Totalmente en desacuerdo () Parcialmente en desacuerdo () Ni de acuerdo ni desacuerdo ()

Parcialmente de acuerdo () Totalmente de acuerdo ()

Anexo 2. Quemadas Agrícolas



Anexo 3. Incendio forestal



Anexo 4. Evidencia de toma de datos



QUEMAS CONTROLADAS

Precauciones y cuidados para que las quemas no se salgan de control

Condiciones	Desfavorables	Favorables
 <p>40° Temperatura</p>		
 <p>Vientos</p>		
 <p>Hora</p>		
 <p>Ayudantes</p>		
 <p>Brecha cortafuegos</p>		

La principal causa de incendios forestales es la acción humana. Acabar con ellos depende de nosotros, es tiempo de actuar.

Realiza quemas controladas responsablemente



BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS FRENTE A LOS INCENDIOS FORESTALES



*Valenzuela, N. U., Valenzuela, N. V. U., & Bueno, M. F. C. (2012). Incendios forestales: principales consecuencias económicas y ambientales en Chile. Revista Interamericana de Ambiente y Turismo - RIAT, 7(1), 18-24. <https://doi.org/10.4067/riatvol7iss1pp18-24%0718-235X>

*Fundación Amigos de la Naturaleza. (2013). ¿Cómo realizamos una quema controlada? Serie didáctica "Aprendamos a manejar el fuego". Editorial FAN. https://issuu.com/fundacionamigosdelanaturaleza/docs/cartilla_quemas_controladas





INCENDIO FORESTAL

Definido como la propagación no controlada de fuego en áreas de vegetación boscosa.

CAUSAS

Naturales: **Antrópicas:**

- Rayos
- Erupciones volcánicas
- Colilla de cigarrillo
- Quemas agrícolas

CONSECUENCIAS

- ✓ Contaminación del aire
- ✓ Degradación del suelo
- ✓ Afecta la belleza natural
- ✓ Modifica el régimen hídrico
- ✓ Salud humana y vida silvestre

TÉCNICAS DE QUEMA CONTROLADA

Quemas realizadas de forma segura y planificada, para el control de combustibilidad.

1

Quema en retroceso

Consiste en hacer que el fuego avance en contra del viento.



Quema frontal

2

Consiste en que el fuego avance a favor del viento en terreno plano.



3

Quema por fajas

Consiste en establecer líneas de encendido en varias fajas en contra de la dirección del viento.



Quema por puntos

4

Consiste en encender varios focos de fuego que pueden ser controlados mediante la propagación de otros puntos.



ANTES DE LA ÉPOCA SECA

Mantenga limpias las áreas alrededor de sus cultivos.

Establecer cortafuegos naturales.



DURANTE LA ÉPOCA SECA

Realice quemas controladas solo en condiciones climáticas favorables y con supervisión adecuada.



DESPUÉS DE LA ÉPOCA SECA

Implementar sistemas de rotación de cultivos para mantener la salud del suelo.

Comunicación activa con autoridades locales.

