



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas

**Impacto de incendios forestales en Ecuador:
Visualizador interactivo para la gestión del
riesgo**

Proyecto Integrador

Previo a la obtención del Título de:
Ingeniero en Estadística

Presentado por:

TELLO BURGOS ODALYS NATASHA
ZAMBRANO CHAVEZ JAIR ANTHONY

Guayaquil - Ecuador

2025

Agradecimientos

En primer lugar, expreso mi más profundo agradecimiento a mi papá, Lenin, a mi mamá, Blanca, a mi abuelita, Silvia, y a mi abuelito, Carlos, quien habría estado tan orgulloso y feliz de este logro si aún estuviera entre nosotros; a mis hermanos, Valeska, Bianka y Abrahan, así como a mi familia más cercana, quienes saben muy bien quiénes son. Gracias por alentarme siempre a no rendirme, por motivarme a confiar en mis capacidades y por recordarme que cada paso dado era valioso y fruto de mi esfuerzo. Su apoyo incondicional y sus palabras de aliento fueron la base que me sostuvo a lo largo de este camino.

A Leonardo García, mi enamorado, por enseñarme a ser mejor cada día y, durante este último año, ser parte fundamental de este recorrido, mirándome con orgullo y haciéndome sentir capaz.

A mis grandes amigos de curso, Pablo, Óscar, Jair y Hopkins, y a mi grupo de amigos “Los Alternativos”, con quienes compartí risas, lágrimas y largas jornadas de estudio. Gracias por enseñarme lo que desconocía, por sus explicaciones pacientes y por demostrarme que, muchas veces, solo hacía falta un empujón para comprender. Sin ustedes, mi vida universitaria no habría tenido el mismo significado.

A mi tutora de tesis, Miss Andrea García, porque, aunque quizá no lo sepa, gracias a sus clases y a su dedicación comencé a amar esta carrera.

A Miss Katherine Loor, por ser una profesora excepcional y, sobre todo, una amiga valiosa que siempre estuvo dispuesta a guiarme. A Miss Jessica Menéndez, por haberme involucrado en tantas actividades y ayudarme a construir una base sólida de contactos en el ámbito académico y profesional.

Finalmente, extendiendo mi gratitud a todas las personas que, de una u otra manera, formaron parte de este recorrido llamado universidad. Fue un trayecto que implicó incontables horas de estudio y momentos difíciles, pero que valió cada segundo, pues contribuyó a formar a la persona que soy hoy.

Odalys Tello Burgos

Agradecimientos

En primer lugar, deseo expresar mi más profundo agradecimiento a mi padre, Santiago Zambrano, a mi madre, Judith Chávez, y a mi padrastro, Antonio Ventura, quienes, con su amor, apoyo incondicional y ejemplo constante, han sido mi mayor inspiración. A mis hermanas, Pamela y Lady, y a mi hermano, Steeven, por estar siempre presentes en cada etapa de mi vida.

A Xavier, quien me impulsó a estudiar la carrera de Estadística y sembró en mí la motivación para dar este gran paso. A mis grandes amigos, Miguel y el grupo “Alternativo”, con quienes compartí risas y largas jornadas de estudio. Gracias por enseñarme lo que desconocía, por ayudarme a crecer como persona, por sus explicaciones pacientes y por demostrarme que no siempre uno tiene la razón. Sin ustedes, mi vida universitaria hubiera sido muy gris.

A mi gran amiga y compañera de tesis, Odalys, por recorrer esta travesía académica a mi lado; tu apoyo y amistad han sido invaluable en este proceso.

Asimismo, extiendo mi sincero agradecimiento a mi tutora de tesis, Miss Andrea García, porque, aunque a veces me quedaba dormido en sus clases, gracias a ellas mi interés en los diseños fue creciendo poco a poco. También a Miss Katherine y Miss Jessica, por guiarme siempre con generosidad y compromiso.

A todos ustedes, gracias por ser parte de este camino y por haber hecho de esta etapa una experiencia única e inolvidable.

Jair Zambrano Chavez

Declaración Expresa

Nosotros Odalys Natasha Tello Burgos y Jair Anthony Zambrano Chavez acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

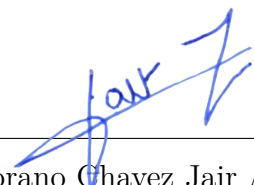
La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique a los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 8 de septiembre de 2025.



Tello Burgos Odalys Natasha



Zambrano Chavez Jair Anthony

Evaluadores

M.Sc. Roa López Heydi
Profesor de Materia

Ph.D. García Angulo Andrea
Tutor de proyecto

Resumen

La investigación analiza la dinámica de los incendios forestales en Ecuador entre 2010 y 2025, cuyos resultados se presentan en un visualizador interactivo. Se analizaron e integraron datos climáticos, de cobertura del suelo y de teledetección, y mediante un análisis de correspondencia múltiple se construyó un índice de vulnerabilidad que identificó variables críticas como: temperatura, humedad relativa, precipitación y viento, responsables de más del 80 % de la variabilidad observada. Los resultados evidencian que provincias como Loja, Pichincha y Tungurahua concentran los mayores niveles de riesgo, especialmente en zonas agrícolas y agropecuarias. A nivel nacional, se registraron más de 331.000 hectáreas afectadas, con un impacto directo sobre comunidades y ecosistemas. Estos hallazgos destacan la urgencia de fortalecer la gestión del riesgo mediante enfoques interdisciplinarios, sistemas integrados de monitoreo y estrategias de prevención orientadas a la sostenibilidad ambiental.

Palabras claves: Incendios forestales, Visualizador interactivo, Análisis multivariante, Índice de vulnerabilidad, Gestión del riesgo

Abstract

The research analyzes the dynamics of forest fires in Ecuador between 2010 and 2025, with the results presented in an interactive visualizer. Climatic, land cover, and remote sensing data were analyzed and integrated, and through multiple correspondence analysis, a vulnerability index was developed that identified critical variables such as temperature, relative humidity, precipitation, and wind, which together explained more than 80% of the observed variability. The results show that provinces such as Loja, Pichincha, and Tungurahua concentrate the highest levels of risk, especially in agricultural areas. At the national level, more than 331,000 hectares were affected, with a direct impact on communities and ecosystems. These findings highlight the urgency of strengthening risk management through interdisciplinary approaches, integrated monitoring systems, and prevention strategies aimed at environmental sustainability.

Keywords: Forest fires, Interactive visualizer, Multivariate analysis, Vulnerability index, Risk management

Índice de figuras

Figura 1 – Vista General del Visualizador	23
Figura 2 – Vista de los Filtros del Visualizador	23
Figura 3 – Mapa de calor de la localidad de ocurrencia de incendios forestales en Ecuador de 2012 a 2023	25
Figura 4 – Héctáreas de cobertura vegetal quemada por provincia durante los años 2012 y 2023	26
Figura 5 – Precipitación media	33
Figura 6 – Temperatura media	34
Figura 7 – Humedad Relativa	35
Figura 8 – Velocidad del viento	35
Figura 9 – Dimensiones	36
Figura 10 – Aportación de las variables a la dimensión 1	37
Figura 11 – Aportación de las variables a la dimensión 2	37
Figura 12 – Aportación de las variables a la dimensión 3	38
Figura 13 – Aportación de las variables a la dimensión 4	38
Figura 14 – Biplot con las 2 primeras dimensiones	39
Figura 15 – Índice de vulnerabilidad por provincia	40
Figura 16 – Índice de vulnerabilidad por tipo de uso del suelo	41

Índice de cuadros

Cuadro 1 – Eventos por tipo de terreno y temporada en la provincia del Azuay	27
Cuadro 2 – Porcentaje de área quemada e índice de proximidad por tipo de terreno y temporada en la provincia de Loja	28
Cuadro 3 – Porcentaje de área quemada e índice de proximidad por tipo de terreno y temporada en la provincia del Pichincha	29
Cuadro 4 – Porcentaje de área quemada e índice de proximidad por tipo de cobertura y temporada en la provincia de Zamora Chinchipe . . .	29
Cuadro 5 – Porcentaje de área quemada e índice de proximidad por tipo de terreno y temporada en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas	30
Cuadro 6 – Porcentaje de área quemada e índice de proximidad por tipo de terreno y temporada en la provincia de Orellana	30
Cuadro 7 – Distancia entre eventos y poblados e Índice de Vegetación Mejorado (EVI) por tipo de cobertura y temporada en la provincia del Azuay	31
Cuadro 8 – Distancia entre eventos y poblados e Índice de Vegetación Mejorado (EVI) por tipo de cobertura y temporada en la provincia de Loja .	32
Cuadro 9 – Distancia entre eventos y poblados e Índice de Vegetación Mejorado (EVI) por tipo de cobertura y temporada en la provincia de Pichincha	33

Índice general

1	Introducción	12
1.1	Motivación del proyecto	13
1.2	Descripción del problema	13
1.3	Justificación del problema	14
1.4	Objetivos	14
1.4.1	Objetivo General	14
1.4.2	Objetivos Específicos	15
2	Marco Teórico	16
2.1	Definición y efectos	16
2.2	Causas	16
2.3	Tecnología geoespacial y técnicas estadísticas como herramientas para la gestión del riesgo	17
2.4	Revisión de Literatura	17
3	Metodología	19
3.1	Fuentes de datos	19
3.1.1	Base de datos de eventos de la SNGR	19
3.1.2	Bases de información satelital	19
3.2	Desarrollo del visualizador interactivo	20
3.3	Análisis descriptivo correlacional	20
3.3.1	Correlación con el uso de suelo	20
3.3.2	Correlación con variables climáticas	21
3.3.3	Correlación con interacción humana	22
3.4	Construcción del índice de vulnerabilidad	22
4	Resultados de la investigación	23
4.1	Visualizador interactivo en Arcgis	23
4.1.1	Impacto general de los incendios forestales	24
4.1.2	Implicaciones sociales y territoriales	24
4.1.3	Visualización geoespacial de los incendios forestales	24
4.1.4	Cobertura vegetal afectada por provincia	26
4.2	Índice de proximidad entre eventos	26
4.3	Distancia de eventos hacia los poblados e Índice de Vegetación Mejorado (EVI)	30
4.4	Análisis de las variables climáticas	32
4.4.1	Precipitación media	33

4.4.2	Temperatura media	34
4.4.3	Humedad Relativa	34
4.4.4	Velocidad del viento	35
4.5	Análisis de correspondencia múltiple	35
4.6	Índice de Vulnerabilidad	39
5	Consideraciones Finales	42
5.1	Conclusiones	42
5.2	Recomendaciones	42
 Bibliografía		 44

1 Introducción

En las últimas décadas, los incendios forestales han aumentado significativamente en frecuencia e intensidad a nivel mundial, convirtiéndose en una amenaza crítica para la estabilidad ecológica y la sostenibilidad ambiental. De acuerdo con [MacCarthy *et al.* \(2023\)](#), el fuego fue responsable de aproximadamente el 33 % de la pérdida global de cobertura arbórea en años recientes, en comparación con el 20 % registrado en 2001, superando incluso a otras causas como la minería y la silvicultura. Este incremento alarmante refleja una fuerte asociación con el cambio climático, las sequías prolongadas y las prácticas humanas inadecuadas.

En este contexto, países con alta biodiversidad y ecosistemas sensibles, como Ecuador, con diversas entidades gubernamentales encargadas de la gestión ambiental y del riesgo operan en un entorno caracterizado por una alta complejidad geográfica y climática, así como por una notable diversidad ecosistémica. Estas instituciones enfrentan serias limitaciones para prevenir y responder eficazmente a los incendios forestales, especialmente durante la temporada seca, cuando su recurrencia aumenta considerablemente. A pesar de contar con registros generados por diferentes organismos, la información disponible no ha sido sistematizada, integrada ni aprovechada mediante herramientas tecnológicas que faciliten su análisis y aplicación práctica. La falta de un enfoque técnico y de plataformas de visualización interactivas dificulta la identificación oportuna de zonas críticas y restringe la formulación de estrategias basadas en evidencia. Como resultado, se compromete la capacidad institucional para priorizar recursos, proteger la biodiversidad y salvaguardar a las poblaciones más vulnerables frente a una amenaza que va en aumento.

Ante esta problemática, el presente proyecto propone el desarrollo de un visualizador interactivo en ArcGIS, que integre técnicas estadísticas y herramientas de sistemas de información geográfica (SIG) para transformar registros históricos dispersos sobre incendios forestales en Ecuador en insumos útiles para la toma de decisiones. El análisis descriptivo permitirá identificar patrones recurrentes durante la temporada seca, mientras que la construcción de un índice compuesto de severidad facilitará la categorización de los eventos según su impacto, priorizando las zonas más críticas. La representación geoespacial mediante una plataforma interactiva fortalecerá la gestión del riesgo, optimizando la asignación de recursos, protegiendo vidas humanas, conservando ecosistemas y brindando soporte técnico a las entidades encargadas de la planificación y prevención de emergencias.

1.1 Motivación del proyecto

Ecuador enfrenta una amenaza por incendios forestales que afectan gravemente su biodiversidad, economía y comunidades. La falta de un enfoque técnico y territorial adecuado para analizar y gestionar este problema ha limitado la efectividad de las acciones preventivas y la respuesta a emergencias. Este proyecto surge de la necesidad de integrar información dispersa en una herramienta interactiva que permita analizar patrones y, además, de la ausencia de índices que evalúen vulnerabilidades y fortalezcan la gestión del riesgo, de manera informada y precisa, para proteger los ecosistemas.

1.2 Descripción del problema

Los incendios forestales se han convertido en un problema recurrente y de alta preocupación en el Ecuador. Cada año, miles de hectáreas de vegetación natural son consumidas por el fuego, afectando no solo los ecosistemas y la biodiversidad, sino también a las comunidades. Provincias como Pichincha, Azuay y Guayas han registrado episodios críticos durante temporadas secas, generando pérdidas ambientales, económicas y sociales. Las causas de estos eventos son diversas y estas son agravadas por la variabilidad del clima. Aunque en el Ecuador existen registros y bases de datos sobre incendios forestales recopilados por distintas instituciones, esta información no ha sido adecuadamente tratada, analizada ni articulada en un sistema que permita su uso eficiente para la toma de decisiones. Esta situación limita la capacidad de los gobiernos locales y de las entidades competentes para actuar de manera oportuna en la prevención y respuesta, así como para planificar estrategias basadas en evidencia. El problema, por tanto, no radica únicamente en la ocurrencia de incendios, sino la ausencia de un enfoque técnico y territorial que permita comprender su impacto. Esta falta de herramientas dificulta la toma de decisiones informadas, dejando al país indefenso ante una amenaza creciente. El proyecto surge para llenar ese vacío, proponiendo un análisis integral de los registros históricos, la construcción de un índice que visibilice las zonas más críticas y el diseño de un visualizador que presente los resultados de forma amigable para el uso de los tomadores de decisiones. Todo ello se plantea como un insumo técnico que les permita priorizar recursos, proteger vidas humanas y fortalecer la gestión del riesgo a nivel nacional.

1.3 Justificación del problema

En los últimos años, el Ecuador ha experimentado eventos catastróficos como son los incendios forestales, los cuales representan una amenaza tanto para los ecosistemas naturales como para las comunidades humanas. Entre el 2010 y el 2025 se registraron más de 31.000 incendios forestales, afectando aproximadamente 331.000 hectáreas de vegetación a nivel nacional y afectando también a más de 689 familias. Estos eventos generan pérdidas ambientales, económicas y sociales considerables, comprometiendo la biodiversidad, la calidad del aire y la seguridad de las poblaciones cercanas. Este proyecto se realiza con el propósito de generar herramientas técnicas e informativas que permitan comprender la afectación y vulnerabilidad ante incendios forestales en el Ecuador. La necesidad de este estudio se fundamenta en la falta de sistematización y análisis territorializado que permita identificar con precisión las zonas más impactadas, y orientar así medidas efectivas de prevención, mitigación y respuesta. Es fundamental adoptar enfoques sustentados en información objetiva y análisis riguroso para generar una base sólida que motive la acción por parte del Estado. Esto implica considerar no solo los aspectos físicos del fenómeno, sino también las condiciones sociales, económicas y ambientales que incrementan la vulnerabilidad de los territorios. En este contexto, el desarrollo de un índice de afectación y vulnerabilidad permitirá integrar diversas dimensiones del riesgo y ofrecer herramientas estratégicas que fortalezcan la planificación territorial y orienten la formulación de políticas públicas más eficaces. Desde una perspectiva social, este estudio busca contribuir a la protección de las poblaciones expuestas y a la conservación de los recursos naturales, fortaleciendo la capacidad de las instituciones y comunidades locales para actuar con anticipación y resiliencia. Además, el uso de tecnologías de información geográfica como ArcGIS en este contexto representa un aporte importante al campo del análisis espacial y su aplicación en la gestión ambiental y de riesgos.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Categorizar los incendios forestales en Ecuador según su impacto mediante una herramienta interactiva basada en sistemas de información geográfica, con el propósito del fortalecimiento de la gestión del riesgo y la protección de los ecosistemas y las poblaciones vulnerables.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Analizar registros históricos de incendios en el territorio ecuatoriano mediante técnicas de estadísticas descriptiva para la identificación de zonas críticas de recurrencia.
- Construir un índice compuesto de vulnerabilidad de los incendios forestales, utilizando variables cuantificables, para la asociación de áreas prioritarias en la gestión del riesgo.
- Diseñar una plataforma interactiva utilizando ArcGIS para la visualización de datos, facilitando la interpretación y el acceso por parte de tomadores de decisiones.

2 Marco Teórico

Los incendios forestales constituyen una de las principales amenazas ambientales que afectan seriamente a los ecosistemas terrestres, en particular en naciones con alta diversidad biológica como el Ecuador, que alberga una amplia variedad de zonas ecológicas, incluidas regiones de la Amazonía. Estas áreas de alto valor ambiental se ven afectadas por incendios provocados tanto por condiciones climáticas extremas como por actividades humanas. Esta problemática resalta la necesidad de estudios que integren tecnologías de teledetección y análisis espacial a nivel nacional para diseñar estrategias de gestión ambiental más eficaces y sostenibles.

2.1 Definición y efectos

Los incendios forestales, según [Pausas \(2020\)](#), se refieren a la quema de vegetación en diversos ecosistemas terrestres como bosques, sabanas, pastizales y matorrales. Estos eventos, al propagarse sin intervención inmediata, generan impactos significativos en los ámbitos ecológico, meteorológico y socioeconómico. Los efectos de estos incendios son complejos y difíciles de cuantificar, ya que alteran las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo, afectando su fertilidad, la capacidad de regeneración y la resistencia de las especies vegetales frente a enfermedades y plagas.

2.2 Causas

Las causas de los incendios forestales pueden clasificarse en naturales y antrópicas. De acuerdo con la [Secretaría de Gestión de Riesgos \(2023\)](#), los factores naturales incluyen fenómenos como la caída de rayos y las erupciones volcánicas. No obstante, las condiciones meteorológicas extremas —como temperaturas elevadas, sequías prolongadas y vientos intensos— también desempeñan un papel fundamental en la propagación del fuego. Desde un enfoque físico-químico, la combinación de oxígeno, calor y material combustible crea un entorno propicio para la combustión espontánea.

Sin embargo, en Ecuador, la mayoría de los incendios forestales tienen origen antrópico, producto del descuido o de prácticas deliberadas. De acuerdo con el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (2025), entre las causas más frecuentes se encuentran la preparación de tierras agrícolas, la renovación de pastizales y el cambio de uso del suelo, acciones muchas veces realizadas de forma inadecuada o sin criterio técnico. Además, se suman actos piromaniacos y comportamientos irresponsables de

visitantes en áreas protegidas, motivados por la falta de conocimiento sobre el uso controlado del fuego [Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica \(s.f\)](#).

2.3 Tecnología geoespacial y técnicas estadísticas como herramientas para la gestión del riesgo

La aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG), combinada con técnicas estadísticas, resulta esencial para fortalecer la gestión del riesgo de incendios forestales. En Estados Unidos, más de 22 000 operativos coordinadores utilizan plataformas como *ArcGIS Dashboards* para visualizar en tiempo real los perímetros de incendios, alertas y datos meteorológicos, lo cual ha mejorado significativamente la coordinación interinstitucional y la autogestión comunitaria del riesgo [Schultz \(2022\)](#).

Además, *Fire Neural Network* socio de Esri integró sensores de rayos, datos de vientos, sensores térmicos, drones y análisis con inteligencia artificial dentro de entornos SIG para identificar zonas con mayor probabilidad de ignición por descargas eléctricas. Esta solución ha demostrado reducir considerablemente el tiempo de respuesta ante incendios provocados por rayos, fortaleciendo la planificación preventiva [Esri \(2024\)](#).

En América Latina, el estudio de [Barcia-Sardiñas et al. \(2019\)](#) en la provincia de Cienfuegos (Cuba) demostró cómo el uso de percepción remota y SIG permitió identificar los focos de calor con mayor recurrencia, interpretar los factores meteorológicos asociados y proponer estrategias de mitigación más precisas. Este enfoque validó la efectividad de las herramientas geoespaciales para el monitoreo activo y la mejora de sistemas de alerta temprana.

En conjunto, los avances en tecnologías geoespaciales y estadísticas permiten transformar la gestión del riesgo en torno a los incendios forestales, pasando de un enfoque reactivo a uno predictivo y colaborativo.

2.4 Revisión de Literatura

La literatura nacional ha comenzado a profundizar en el análisis espacial y temporal de los incendios forestales. Por ejemplo, [Cisneros Vaca et al. \(2024\)](#) determinaron que entre 2010 y 2020, la región Litoral concentró la mayor superficie afectada, con más de 380 mil hectáreas quemadas. Las tierras agropecuarias y la vegetación arbustiva y herbácea fueron las más impactadas, evidenciando un vínculo entre uso del suelo y riesgo de incendios.

Por otra parte, Pazmiño (2019) aplicó el índice FFDI (Forest Fire Danger Index) de McArthur para analizar la estacionalidad del peligro de incendios en Ecuador, estableciendo que los meses de mayor riesgo se extienden de julio a noviembre, en concordancia con la temporada seca. Estos hallazgos refuerzan la necesidad de enfoques preventivos ajustados al comportamiento estacional del fenómeno.

Adicionalmente, la investigación de Ramos-Rodríguez *et al.* (2021) analizó la ocurrencia de incendios forestales en el cantón Santa Ana, provincia de Manabí, durante el periodo 2012-2018. Este estudio descriptivo identificó los factores temporales y espaciales que influyen en la ocurrencia de incendios, destacando la importancia de considerar las características locales en la gestión del riesgo de incendios.

A diferencia de las investigaciones previas, este estudio propone un análisis nacional de los incendios forestales en Ecuador mediante el uso de plataformas de teledetección ArcGIS y herramientas de análisis estadístico. Este enfoque permite identificar las zonas más vulnerables, ver patrones temporales de ocurrencia. La información generada busca ser un insumo para instituciones gubernamental, con el fin de diseñar estrategias de prevención y mitigación basadas en evidencia solidas.

3 Metodología

El presente estudio adopta un enfoque cuantitativo, descriptivo y aplicado, con componentes exploratorios, debido a la naturaleza del fenómeno analizado y los objetivos planteados.

3.1 Fuentes de datos

Para el desarrollo del presente estudio se emplearon tres bases de datos oficiales ecuatorianas y bases descargadas de plataformas con información satelital.

3.1.1 Base de datos de eventos de la SNGR

La primera base de datos corresponde a los registros históricos de eventos peligrosos recopilados por la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR), la cual contiene un total de 95.461 observaciones y 87 variables. Esta base presenta información sobre distintos tipos de desastres naturales registrados en el territorio ecuatoriano.

Sin embargo, un análisis inicial reveló que muchas variables contenían una alta proporción de valores faltantes o valores nulos, incluyendo variables completas sin datos útiles. Para depurar la información y focalizar el análisis, se procedió en primer lugar a filtrar la base por el tipo de evento, seleccionando únicamente aquellos catalogados como incendios forestales, lo que redujo el conjunto a 31.745 observaciones.

Posteriormente, se aplicó una estrategia de limpieza orientada a la identificación de variables con escasa o nula información. Para ello, se calculó el número de valores faltantes por variable, y se eliminaron aquellas que presentaban más del 90 % de datos faltantes, por carecer de utilidad analítica. Tras este proceso, la base quedó reducida con aproximadamente 65 variables, manteniéndose únicamente aquellas con contenido informativo suficiente para el análisis posterior.

3.1.2 Bases de información satelital

Para complementar la información oficial proporcionada sobre las variables climáticas, se recopiló información satelital de temperatura, precipitación, humedad relativa y velocidad del viento correspondiente a los cinco días previos al incendio. Estos datos fueron obtenidos de la plataforma NASA POWER (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>) para el año 2018.

Adicionalmente, se optó por trabajar con el Índice EVI (Enhanced Vegetation Index), ya que es un índice de vegetación optimizado que corrige las influencias atmosféricas y reduce la interferencia del suelo y la señal de fondo [U.S. Geological Survey \(2022\)](#). Para el cálculo del mismo se obtuvo la información por el satélite Landsat 7 en un periodo de tiempo que abarca del 2016-2019 con mediana de las imágenes satelitales por Google Earth Engine (<https://code.earthengine.google.com/>) .

3.2 Desarrollo del visualizador interactivo

El visualizador interactivo que contiene un análisis descriptivo de las principales variables de la base de datos de eventos de incendios forestales fue desarrollado en ArcGIS, una plataforma especializada en sistemas de información geográfica.

El visualizador permite explorar variables clave como las hectáreas de cobertura vegetal quemadas, las hectáreas de cultivos perdidos, la cantidad de familias afectadas, el número de personas heridas, los bienes privados y públicos afectados, y el nivel de la emergencia. Para representar esta información se desarrollaron distintos elementos visuales, entre ellos un mapa de eventos georreferenciados, un mapa de calor que muestra las zonas de mayor concentración de incendios, un gráfico de pastel que resume los eventos por provincia, un gráfico de líneas para observar la evolución temporal por año, tablas que evidencian la frecuencia de los distintos niveles de emergencia, y un gráfico de barras que representa la superficie vegetal afectada. Además, se incorporaron indicadores numéricos que muestran valores acumulados de las variables más relevantes.

Todos estos componentes están integrados mediante una interfaz interactiva que permite filtrar los datos según año, mes, provincia, cantón y parroquia, brindando así una experiencia analítica más flexible y adaptada a los intereses del usuario.

3.3 Análisis descriptivo correlacional

El análisis correlacional se basa en tres grupos de variables principales: uso de suelo, variables climáticas e interacción humana.

3.3.1 Correlación con el uso de suelo

El análisis de correlación con el uso de suelo se realizó por temporada: lluviosa (Enero - Junio) y seca (Julio - Diciembre) del año 2018, año en el cual fue proporcionada la información del uso de suelo, tanto a nivel nacional como provincial. En el análisis se calculó:

- a. **Conteo estandarizado del número de eventos por categoría de uso de suelo:** Defina A_C el número total de áreas en el territorio nacional o provincial en la categoría c ; $n(a_c)$ el total de eventos en el área a_c y $H(a_c)$ el número de hectáreas totales en el área a_c . El conteo estandarizado del número de eventos por categoría de uso de suelo se calculó como:

$$\text{número de eventos por hectárea en la categoría } c = \sum_{a_c=1}^{A_C} \frac{n(a_c)}{H(a_c)}$$

- b. **Índice de proximidad del número de eventos por categoría de uso de suelo:** Se calcularon las distancias euclidianas entre cada par de eventos d_{ij} en la temporada en el área a_c de la categoría de uso de suelo c . El índice de proximidad del número de eventos por categoría de uso de suelo se calculó como

$$\text{Índice de proximidad en la categoría } c = \frac{1}{A_c} \sum_{a_c=1}^{A_C} \frac{\sum_{i=1}^{j-1} \sum_{j=i+1}^{n(a_c)} d_{ij}}{\binom{n(a_c)}{2}}$$

- c. **Hectáreas quemadas por categoría de uso de suelo:** Se calculó el total y el porcentaje de hectáreas quemadas por categoría del suelo en cada temporada a nivel nacional y provincial.

3.3.2 Correlación con variables climáticas

Para el análisis de correlación de los eventos y las variables climáticas, se convirtieron los registros de incendios y las estaciones meteorológicas en objetos espaciales utilizando sus respectivas coordenadas geográficas. A continuación, se calcularon las distancias euclidianas entre cada evento de incendio y todas las estaciones disponibles. Para cada incendio, se identificó la estación más cercana, aquella con la menor distancia lineal. Finalmente, se contabilizó el total de eventos que fueron asignados a cada estación climática de forma mensual. La manipulación de las dos bases de datos se realizó en R.

Con el número de eventos asignados a cada estación se elaboró una exploración gráfica de mapas de calor de las estaciones georeferenciadas relacionando temperatura, precipitación, velocidad del viento y el número de eventos por temporada seca y lluviosa de dos años con mayor recuento de eventos y un año con menor recuento de eventos en el periodo de información disponible. Adicionalmente, a nivel nacional, se realizaron gráficos de líneas (a través de los años) del número de eventos con temperaturas y precipitación total mínimas y máximas en cada temporada.

3.3.3 Correlación con interacción humana

Para analizar la posible correlación de los eventos de incendios con la interacción humana se calculó el promedio de la distancia euclidiana de los eventos de cada temporada al centroide más cercano de un poblado a nivel provincial. Éste cálculo se realizó solo para los eventos identificados en áreas forestales o de vegetación.

3.4 Construcción del índice de vulnerabilidad

Se construyó un índice de vulnerabilidad para el año 2018, considerando cada categoría de uso de suelo, por provincia y por temporada. Para la construcción del índice de vulnerabilidad se seleccionaron las variables: temperatura, precipitación, humedad relativa, velocidad del viento, el índice de EVI. Estas variables fueron seleccionadas de la revisión bibliográfica con especial atención a la metodología del proyecto para un sistema de predicción de incendios forestales en México [CONAFOR-CONACYT \(2011\)](#) y el estudio de [Parvar *et al.* \(2024\)](#). Adicionalmente, se incluyó el conteo estandarizado de eventos, el índice de proximidad y el índice de cercanía a poblados para las áreas forestales calculados. Se realizó una reducción dimensional por medio de Componente de Análisis Principales (PCA). Se seleccionaron los componentes principales con mayor aportación que expliquen en conjunto no menos del 80 % de la variabilidad total. Finalmente, se construyó el índice como una ponderación de las variables que aportaban mayor variabilidad a las dimensiones, usando como pesos la contribución de cada componente principal a la variabilidad total. Para ello, se consideraron únicamente las variables con mayor contribución en cada componente principal seleccionado. El cálculo del índice se realizó multiplicando el valor estandarizado de cada variable por el peso asignado al componente correspondiente, así como por el peso de la variable dentro de dicho componente. Adicionalmente, se incorporó el signo asociado a la relación de cada variable con la ocurrencia del evento como lo indica el estudio de México.

4 Resultados de la investigación

4.1 Visualizador interactivo en Arcgis

En este visualizador mostrado en la Figura 1 se crearon varios apartados donde se pueden evidenciar diferentes indicadores relacionados con los datos disponibles. Además, se pueden realizar consultas mediante filtros de año, mes, provincia, cantón y parroquia, como se puede observar en la Figura 2 lo que permite obtener los siguientes resultados de manera general:

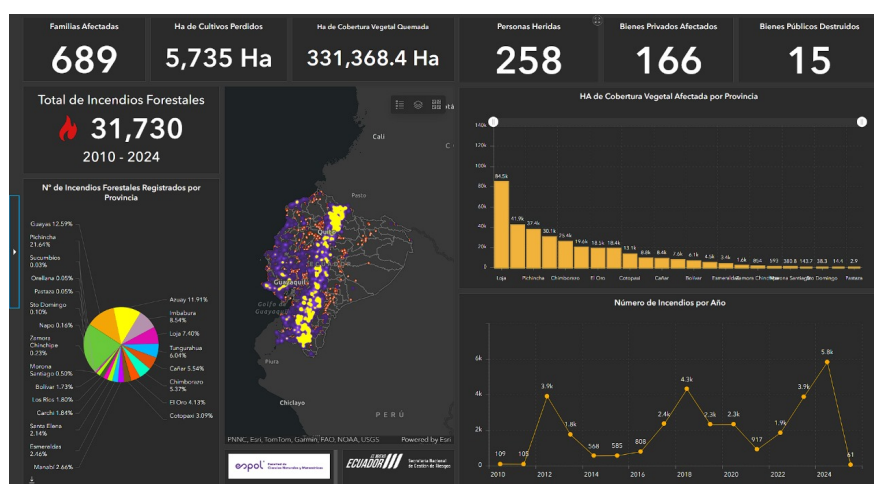


Figura 1 – Vista General del Visualizador

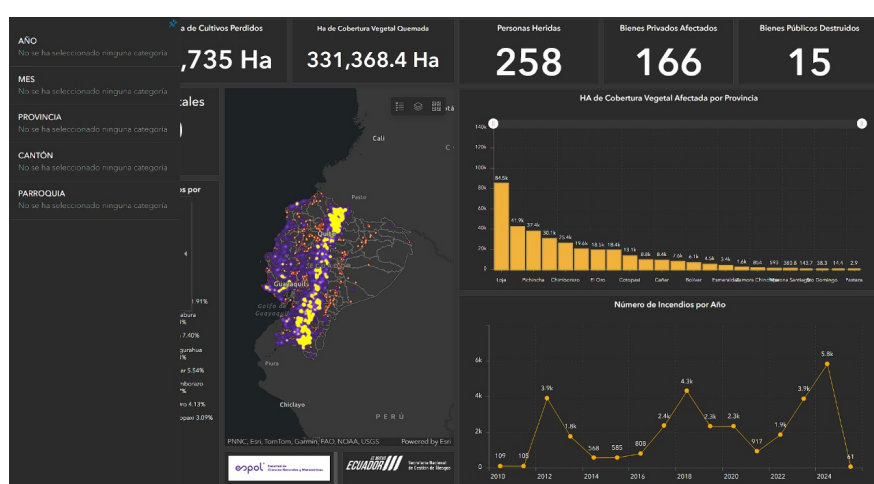


Figura 2 – Vista de los Filtros del Visualizador

4.1.1 Impacto general de los incendios forestales

Dentro del análisis exploratorio realizado mediante el visualizador interactivo, se identificaron diversos indicadores clave correspondientes al período 2010-2024, lo que permitió dimensionar la magnitud del impacto de los incendios forestales en Ecuador. En total, se registraron aproximadamente 331.400 hectáreas de cobertura vegetal quemada, lo que representa una pérdida significativa para los ecosistemas del país. Además, se reportaron 5.700 hectáreas de cultivos perdidos, afectando la producción agrícola local.

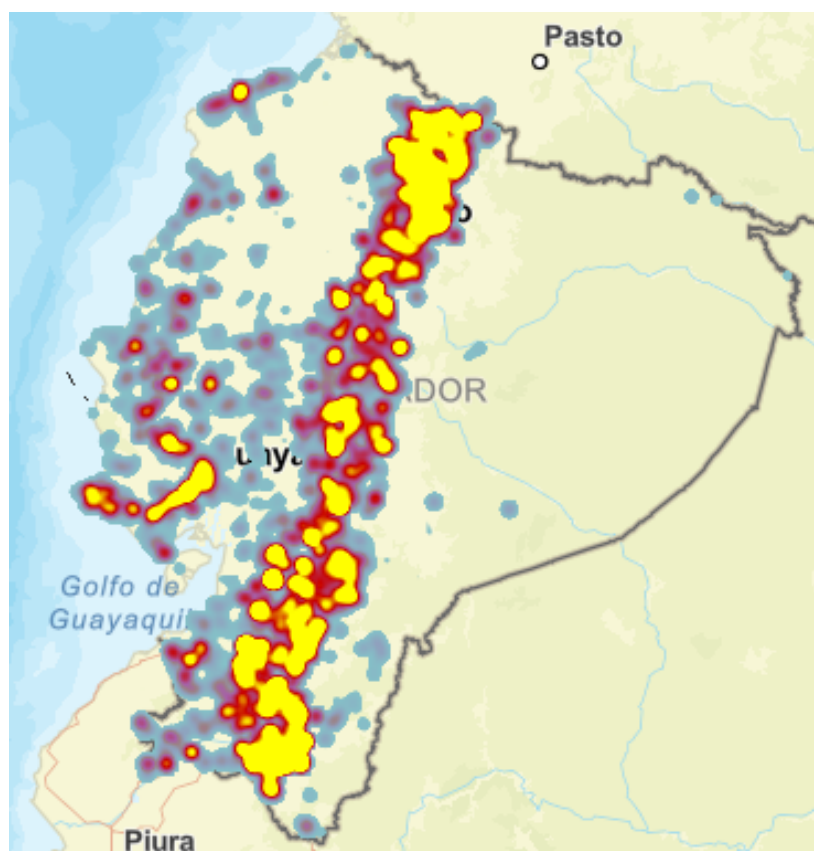
4.1.2 Implicaciones sociales y territoriales

Desde el punto de vista social, los incendios han impactado directamente a un promedio de 689 familias, y se registraron al menos 258 personas heridas, lo que evidencia consecuencias significativas para la salud y el bienestar de las comunidades. A esto se suman las afectaciones materiales, con un total de 166 bienes privados y 15 bienes públicos dañados, lo que implica repercusiones económicas y operativas tanto para los hogares como para las instituciones locales.

4.1.3 Visualización geoespacial de los incendios forestales

La Figura 3 muestra el mapa de calor correspondiente a la distribución espacial de incendios forestales registrados en el Ecuador. En esta visualización, las zonas con mayor concentración de eventos se representan en colores cálidos (amarillo y rojo), mientras que las áreas con menor incidencia aparecen en tonos más fríos (azul claro).

Figura 3 – Mapa de calor de la localidad de ocurrencia de incendios forestales en Ecuador de 2012 a 2023



A partir del análisis visual, se observa una alta densidad de eventos en la región interandina, especialmente en provincias como Loja, Azuay, Cañar, Chimborazo, Tungurahua y Cotopaxi. Estas áreas coinciden con zonas de transición entre coberturas vegetales y usos antrópicos, lo que podría indicar una mayor vulnerabilidad a la ocurrencia de incendios por factores tanto climáticos como humanos. También se evidencia cierta concentración en zonas del sur de la Costa, particularmente en El Oro y el suroeste de Guayas.

La presencia extendida de puntos calientes a lo largo del perfil andino sugiere que esta región es especialmente susceptible durante la temporada seca.

4.1.4 Cobertura vegetal afectada por provincia

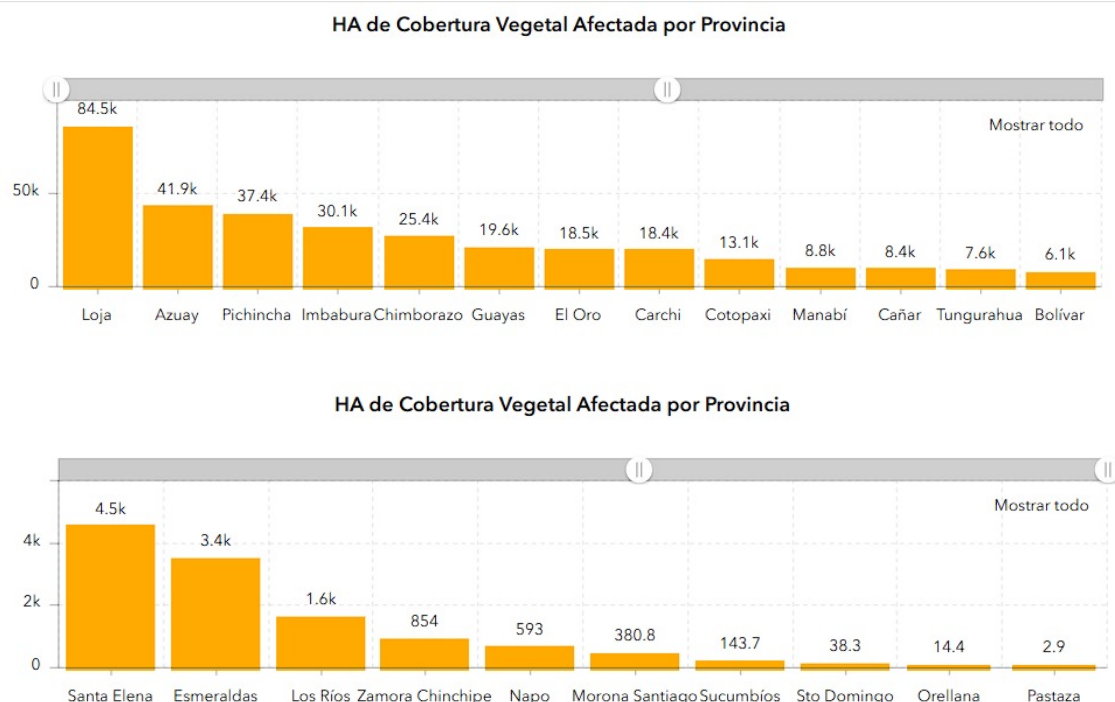


Figura 4 – Héctáreas de cobertura vegetal quemada por provincia durante los años 2012 y 2023

El análisis provincial de la cobertura vegetal afectada revela una concentración marcada de daños en ciertas regiones del país. Tal como se observa en la Figura 4, la provincia de Loja lidera el ranking con más de 50.000 hectáreas quemadas, seguida por Pichincha (41.900 ha), Chimborazo (37.400 ha), y El Oro (30.100 ha). Estas cuatro provincias acumulan una proporción significativa del total nacional de cobertura vegetal afectada.

En el otro extremo, provincias como Pastaza, Orellana, Santo Domingo y Sucumbíos reportan niveles considerablemente más bajos de cobertura vegetal afectada. Este contraste evidencia la necesidad de enfoques diferenciados en la gestión del riesgo, considerando las particularidades territoriales en la ocurrencia y extensión de los incendios forestales.

4.2 Índice de proximidad entre eventos

Luego de calcular el promedio de proximidad de eventos según la provincia, el tipo de suelo y la temporada correspondiente, se decidió analizar seis provincias en función de su relevancia, evidenciada previamente en el Dashboard. El criterio para la

selección fue escoger las tres provincias con mayor cobertura vegetal quemada en el año 2018: Azuay y Loja, con más de 4.000 hectáreas de cobertura vegetal quemada, y Pichincha, con más de 3.000 hectáreas. Por otra parte, también se seleccionaron las tres provincias con menor extensión de cobertura vegetal quemada para el mismo año: Zamora Chinchipe, con 30 hectáreas; Santo Domingo de los Tsáchilas, con 22 hectáreas; y Orellana, con 7 hectáreas de cobertura vegetal quemada.

Como se puede observar en la Tabla 1 para la provincia del Azuay, la vegetación arbustiva, el área poblada y los cultivos son los tipos de uso de suelo con mayor afectación, según el porcentaje de área quemada. Además, en cada uno de estos casos se evidencia que el promedio de proximidad entre los eventos es bastante reducido, variando entre 1,83 y 2,19 metros. Este análisis indica que los incendios en estas áreas tienden a ocurrir muy próximos entre sí.

Cuadro 1 – Eventos por tipo de terreno y temporada en la provincia del Azuay

Tipo de suelo	Temporada	% Ha quemada	Índice proximidad
área poblada	Lluviosa	0,0118	2,1947
área poblada	Seca	0,3265	11,6965
bosque nativo	Seca	0,1127	5,7556
cultivo	Lluviosa	0,0414	0,0353
cultivo	Seca	0,1507	0,5582
erial	Seca	0,7486	0,0000
infraestructura antrópica	Seca	0,1567	15,1164
páramo	Lluviosa	0,2114	5,3081
páramo	Seca	0,0116	0,0000
pastizal	Lluviosa	0,0233	1,5373
pastizal	Seca	0,1375	2,3576
plantación forestal	Seca	0,1734	0,0000
vegetación arbustiva	Lluviosa	0,0117	0,4061
vegetación arbustiva	Seca	0,6104	1,1836
vegetación herbácea	Lluviosa	0,0015	0,0000
vegetación herbácea	Seca	0,1042	1,1312

Para la provincia de Loja, se puede observar en la Tabla 2 que la plantación forestal, el área poblada y la vegetación arbustiva son las tres áreas de uso de suelo más afectadas. El promedio de proximidad de los eventos en estas áreas varía entre 0 y 4,79 metros. Un valor de 0 puede indicar dos situaciones: que solo se registró un evento, o que todos los eventos ocurrieron en el mismo lugar. Asimismo, se observa que la plantación forestal presenta un 1,69 % de área quemada, representando hasta ahora el porcentaje más alto de cobertura vegetal afectada según su proporción.

Cuadro 2 – Porcentaje de área quemada e índice de proximidad por tipo de terreno y temporada en la provincia de Loja

Cobertura	Temporada	% Ha quemada	Índice proximidad
área poblada	Lluviosa	0,3241	15,9429
área poblada	Seca	1,1344	4,7920
bosque nativo	Seca	0,2011	3,3400
cobertura nubosa	Seca	0,1104	0,0000
cultivo	Lluviosa	0,0166	0,0000
cultivo	Seca	0,1101	0,0142
infraestructura antrópica	Lluviosa	0,1999	0,0000
infraestructura antrópica	Seca	0,1999	0,0000
mosaico agropecuario	Lluviosa	0,0377	0,0238
mosaico agropecuario	Seca	0,1369	0,0017
páramo	Seca	0,0912	0,6401
pastizal	Lluviosa	0,0089	1,3366
pastizal	Seca	0,1677	5,1215
plantación forestal	Lluviosa	0,0002	0,0000
plantación forestal	Seca	1,6945	0,0000
vegetación arbustiva	Lluviosa	0,0072	0,6114
vegetación arbustiva	Seca	0,2999	1,6241
vegetación herbácea	Lluviosa	0,0084	0,0000
vegetación herbácea	Seca	0,0875	5,9147

Para la provincia de Pichincha, se puede observar en la Tabla 3 que la infraestructura antrópica, el pastizal y el cultivo son los tres tipos de uso de suelo con mayor porcentaje de área quemada. El promedio de proximidad entre eventos varía entre 0,01 y 1,16 metros, lo que indica que estos eventos se registraron muy cerca entre sí, aunque la distancia promedio es menor que en la provincia de Loja, pero mayor que en la provincia de Azuay. Además, se observa que la infraestructura antrópica presenta un 1,1 % de área quemada, siendo este el segundo valor más alto, detrás de la plantación forestal de Loja.

Cuadro 3 – Porcentaje de área quemada e índice de proximidad por tipo de terreno y temporada en la provincia del Pichincha

Cobertura	Temporada	% Ha quemada	Índice proximidad
Área poblada	Lluviosa	0,0002	9,2422
Área poblada	Seca	0,0727	25,3421
Bosque nativo	Seca	0,1124	0,0221
Cultivo	Lluviosa	0,0486	0,0128
Cultivo	Seca	0,2710	0,0196
Infraestructura antrópica	Lluviosa	0,0006	0,0000
Infraestructura antrópica	Seca	1,1073	0,8472
Mosaico agropecuario	Seca	0,4211	0,0000
Páramo	Lluviosa	0,0689	15,0413
Páramo	Seca	0,0178	43,5714
Pastizal	Lluviosa	0,0112	0,1096
Pastizal	Seca	0,5741	1,1673
Plantación forestal	Lluviosa	0,0688	1,8564
Plantación forestal	Seca	0,0969	3,1611
Vegetación arbustiva	Lluviosa	0,0016	1,8120
Vegetación arbustiva	Seca	0,0530	6,4076
Vegetación herbácea	Lluviosa	0,0022	0,0000
Vegetación herbácea	Seca	0,0075	0,0000

En la provincia de Zamora Chinchipe, según la Tabla 4, se observa que las áreas de vegetación quemada son bastante reducidas; asimismo, el promedio de proximidad entre eventos es de 0 metros. Esta situación también se evidencia en la provincia de Orellana, como se muestra en la Tabla 6, lo que indica que, según los registros, solo se presentó un evento.

Cuadro 4 – Porcentaje de área quemada e índice de proximidad por tipo de cobertura y temporada en la provincia de Zamora Chinchipe

Cobertura	Temporada	% Ha quemada	Índice proximidad
Área poblada	Lluviosa	0,0181	0,0000
Bosque nativo	Lluviosa	0,0001	0,0000
Bosque nativo	Seca	0,0027	0,0000
Pastizal	Seca	0,0012	0,0000
Vegetación arbustiva	Seca	0,0000	0,0000
Vegetación herbácea	Seca	0,0241	0,0000

En la Tabla 5, correspondiente a la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, se observa un comportamiento similar al de Orellana y Zamora Chinchipe.

Sin embargo, en el área poblada se registra un promedio de proximidad entre eventos de 5,7 metros, con un total de 5 eventos según los registros.

Cuadro 5 – Porcentaje de área quemada e índice de proximidad por tipo de terreno y temporada en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas

Cobertura	Temporada	% Ha quemada	Índice proximidad
Área poblada	Seca	0,0454	5,7024
Bosque nativo	Seca	0,0025	0,0000
Cultivo	Seca	0,0113	0,0000
Infraestructura antrópica	Seca	0,0000	0,0000
Pastizal	Seca	0,0014	0,0000
Vegetación arbustiva	Seca	0,0002	0,0000

Cuadro 6 – Porcentaje de área quemada e índice de proximidad por tipo de terreno y temporada en la provincia de Orellana

Cobertura	Temporada	% Ha quemada	Índice proximidad
Bosque nativo	Seca	0,0001	0,0000
Pastizal	Lluviosa	0,0059	0,0000
Pastizal	Seca	0,0012	0,0000

4.3 Distancia de eventos hacia los poblados e Índice de Vegetación Mejorado (EVI)

En esta sección se presenta el promedio de la distancia de los eventos al poblado más cercano, así como el Índice de Vegetación Mejorado (EVI), previamente obtenido de datos satelitales.

En la Tabla 7, correspondiente a la provincia de Azuay, se observa que el área de infraestructura antrópica se encuentra considerablemente más cercana a un poblado, con una distancia de 144,60 metros. Por el contrario, el páramo es la cobertura que se encuentra más alejada, aproximadamente a 6 kilómetros.

En cuanto al EVI, se puede apreciar que el bosque nativo, los cultivos y los pastizales presentan la mejor salud vegetativa entre las diferentes coberturas analizadas.

Cuadro 7 – Distancia entre eventos y poblados e Índice de Vegetación Mejorado (EVI) por tipo de cobertura y temporada en la provincia del Azuay

Cobertura	Temporada	Dist eventos pobl	Índice EVI
Área poblada	Lluviosa	0,0000	0,3007
Área poblada	Seca	0,0000	0,2633
Bosque nativo	Seca	3008,3524	0,4879
Cultivo	Lluviosa	902,3541	0,4550
Cultivo	Seca	1144,4094	0,3761
Erial	Seca	883,7734	0,2109
Infraestructura antrópica	Seca	144,6060	0,1567
Páramo	Lluviosa	4436,1551	0,2518
Páramo	Seca	5926,2978	0,2334
Pastizal	Lluviosa	989,8001	0,4499
Pastizal	Seca	1360,6093	0,3886
Plantación forestal	Seca	1326,7002	0,3405
Vegetación arbustiva	Lluviosa	1764,2927	0,3369
Vegetación arbustiva	Seca	2014,0112	0,3796
Vegetación herbácea	Lluviosa	1236,4706	0,2985
Vegetación herbácea	Seca	1735,7832	0,2358

Para la provincia de Loja, según la Tabla 8, se observa que la cobertura nubosa es el área más cercana a los poblados con solo 80.46 metros de distancia, mientras que el páramo vuelve a ser el área más alejada con 3.21 kilómetros.

En cuanto al EVI, se aprecia que la infraestructura antrópica, el pastizal y la plantación forestal presentan una mejor salud vegetal en comparación con las demás coberturas; sin embargo, se registran múltiples áreas con valores altos de este índice.

Cuadro 8 – Distancia entre eventos y poblados e Índice de Vegetación Mejorado (EVI) por tipo de cobertura y temporada en la provincia de Loja

Cobertura	Temporada	Dist eventos pobl	Índice EVI
Área poblada	Lluviosa	0,0000	0,2793
Área poblada	Seca	0,0000	0,2752
Bosque nativo	Seca	3130,5912	0,3827
Cobertura nubosa	Seca	80,4657	0,2917
Cultivo	Lluviosa	2362,6525	0,3399
Cultivo	Seca	1473,2682	0,3494
Infraestructura antrópica	Lluviosa	163,0980	0,3507
Infraestructura antrópica	Seca	257,3837	0,4693
Mosaico agropecuario	Lluviosa	1772,1034	0,2995
Mosaico agropecuario	Seca	1465,0783	0,3701
Páramo	Seca	3214,7628	0,3444
Pastizal	Lluviosa	1580,4640	0,4256
Pastizal	Seca	1659,9659	0,3860
Plantación forestal	Lluviosa	146,9158	0,4120
Plantación forestal	Seca	1970,5410	0,3481
Vegetación arbustiva	Lluviosa	1054,3032	0,2301
Vegetación arbustiva	Seca	2144,6804	0,3605
Vegetación herbácea	Lluviosa	1645,6874	0,2999
Vegetación herbácea	Seca	2898,0621	0,3188

Finalmente, en la Tabla 9 se observa que la infraestructura antrópica se encuentra más cercana al poblado, con apenas 0,95 metros, siendo la menor distancia entre todas las categorías comparadas anteriormente. Por el contrario, el páramo es el área más alejada, con 5,6 kilómetros de distancia, situación que se repite en las provincias de Azuay y Loja.

En cuanto al EVI, es de notar que el bosque nativo, el pastizal y el páramo presentan la mejor salud vegetativa.

4.4 Análisis de las variables climáticas

Los datos presentados en los siguientes gráficos fueron obtenidos a partir de información satelital. Cada valor corresponde al promedio de los cinco días previos a cada incendio registrado en el año 2018. El tamaño de cada observación indica la repetición de eventos en el mismo lugar y se mantiene constante en este análisis, el cual se centra en la época seca. Se observa, además, una recurrencia moderada de eventos en provincias como Azuay, Loja, Guayas y Pichincha.

Cuadro 9 – Distancia entre eventos y poblados e Índice de Vegetación Mejorado (EVI) por tipo de cobertura y temporada en la provincia de Pichincha

Cobertura	Temporada	Dist eventos pobl	Índice EVI
Área poblada	Lluviosa	0,0000	0,3155
Área poblada	Seca	0,0000	0,2979
Bosque nativo	Seca	2429,4685	0,4476
Cultivo	Lluviosa	1462,2509	0,3487
Cultivo	Seca	418,8734	0,3494
Infraestructura antrópica	Lluviosa	0,9573	0,2059
Infraestructura antrópica	Seca	471,3701	0,2681
Mosaico agropecuario	Seca	145,9323	0,3459
Páramo	Lluviosa	5671,1904	0,3263
Páramo	Seca	4188,3387	0,3977
Pastizal	Lluviosa	1678,9533	0,4768
Pastizal	Seca	710,0689	0,4272
Plantación forestal	Lluviosa	671,1804	0,3340
Plantación forestal	Seca	299,7599	0,3384
Vegetación arbustiva	Lluviosa	1277,3346	0,3188
Vegetación arbustiva	Seca	755,2029	0,3621
Vegetación herbácea	Lluviosa	186,6933	0,3014
Vegetación herbácea	Seca	819,7753	0,3861

4.4.1 Precipitación media

La Figura 5 muestra la distribución espacial de la precipitación acumulada en los cinco días previos al evento. En general, la precipitación es baja en gran parte del país, con valores entre 0 y 40 milímetros. Sin embargo, en la zona central se registran valores ligeramente mayores, entre 40 y 60 milímetros.

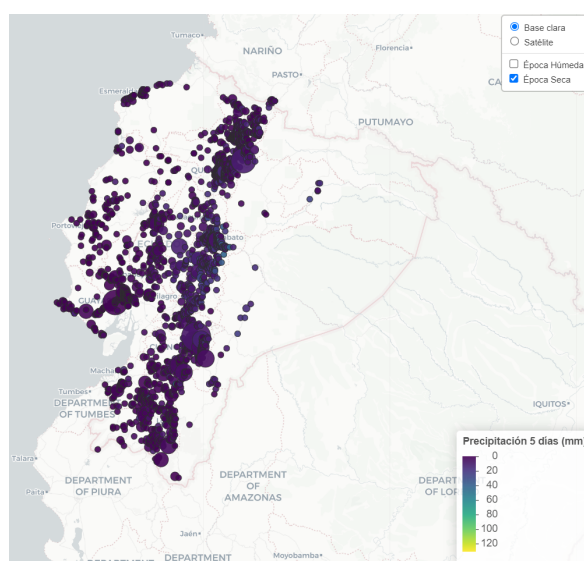


Figura 5 – Precipitación media

4.4.2 Temperatura media

La Figura 6 muestra la temperatura media en los cinco días previos al evento. Se observa claramente la diferencia de color entre las regiones del país: en la cordillera de los Andes las temperaturas oscilan entre 10 y 20 grados centígrados, mientras que en la zona costera se registran valores entre 23 y 30 grados centígrados.

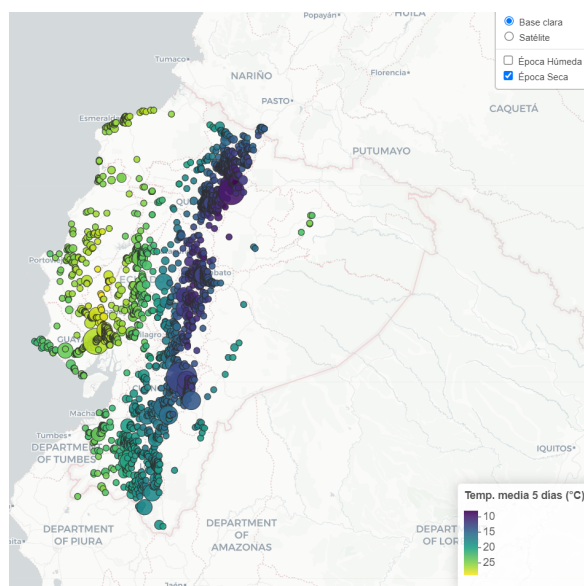


Figura 6 – Temperatura media

4.4.3 Humedad Relativa

La Figura 7 muestra la humedad relativa media en los cinco días previos al evento. A diferencia de la temperatura, los valores en la Sierra tienden a ser más altos, mientras que en la Costa se mantienen moderadamente bajos, con rangos de 60 % a 75 % en la Costa y de 80 % a 90 % en la Sierra.

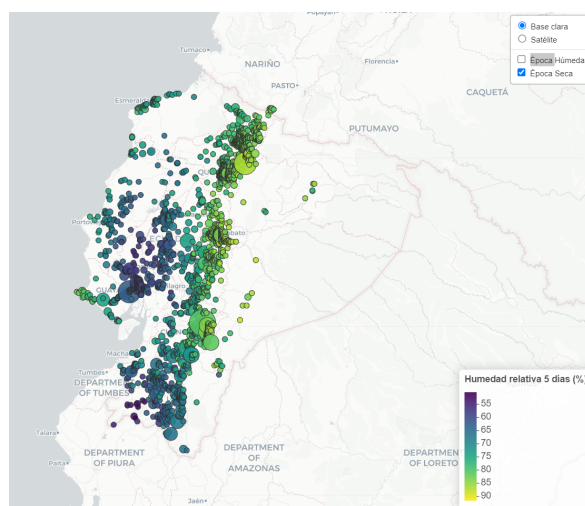


Figura 7 – Humedad Relativa

4.4.4 Velocidad del viento

La Figura 8 muestra la velocidad media del viento en los cinco días previos al evento. Se evidencia que en la Sierra y parte de la Costa los vientos son moderados, entre 1 y 3 metros por segundo, mientras que en las zonas costeras se registran vientos más fuertes, de entre 4 y 5 metros por segundo.

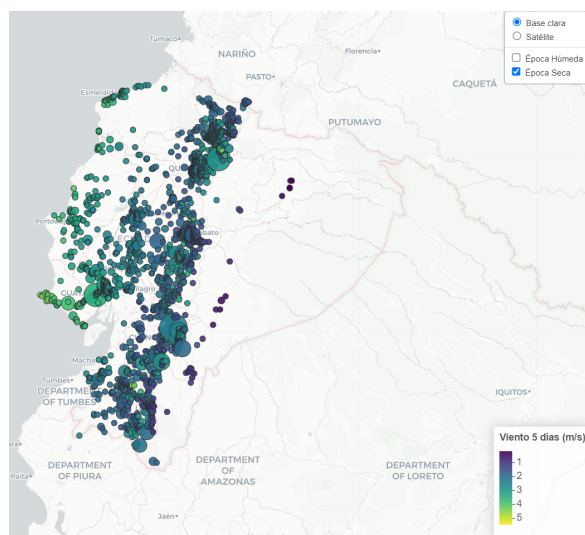


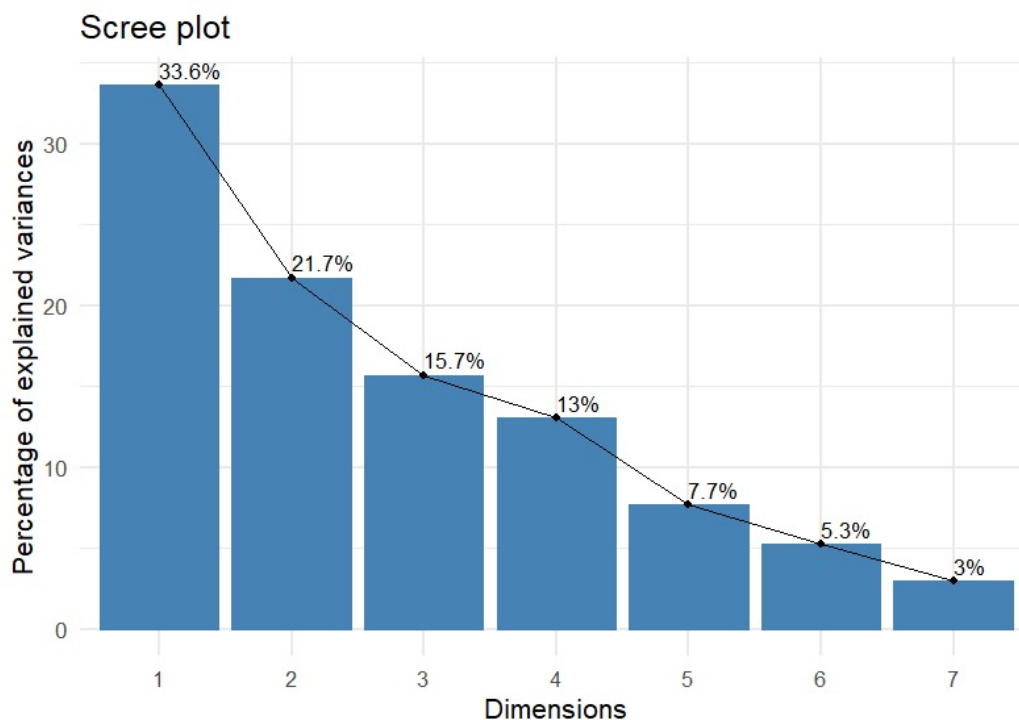
Figura 8 – Velocidad del viento

4.5 Análisis de correspondencia múltiple

El análisis de correspondencia múltiple fue realizado con distintas variables entre ellas:

En la figura 9 se muestra el porcentaje de varianza explicado por cada una de las siete dimensiones obtenidas en el análisis de correspondencia múltiple. La primera dimensión explica el 33.6% de la varianza, seguida por la segunda con un 21.7%, y la tercera y cuarta que explican el 15.7% y 13% respectivamente, acumulando más del 80% de la variabilidad total, lo que indica que estas dimensiones resumen adecuadamente la información original.

Figura 9 – Dimensiones



El gráfico 10 muestra la contribución porcentual de diferentes variables a la primera dimensión del análisis de correspondencias múltiples. Se observa que las variables con mayor aportación son **Temp_5dp**, con un 35,9%, seguida por **HumRel_5dp** con un 29,8%, **Wind_5dp** con un 16,3% y **Precip_5dp** con un 12,4%, todas ellas por encima de la línea de referencia. Por otro lado, las variables **Ind_Evi**, **Conteo_est_eventos** y **Dist_eventos_pobl** presentan contribuciones muy bajas (3,0%, 1,8% y 0,8%, respectivamente), lo que sugiere que aportan poco a la explicación de la variabilidad capturada en la primera dimensión.

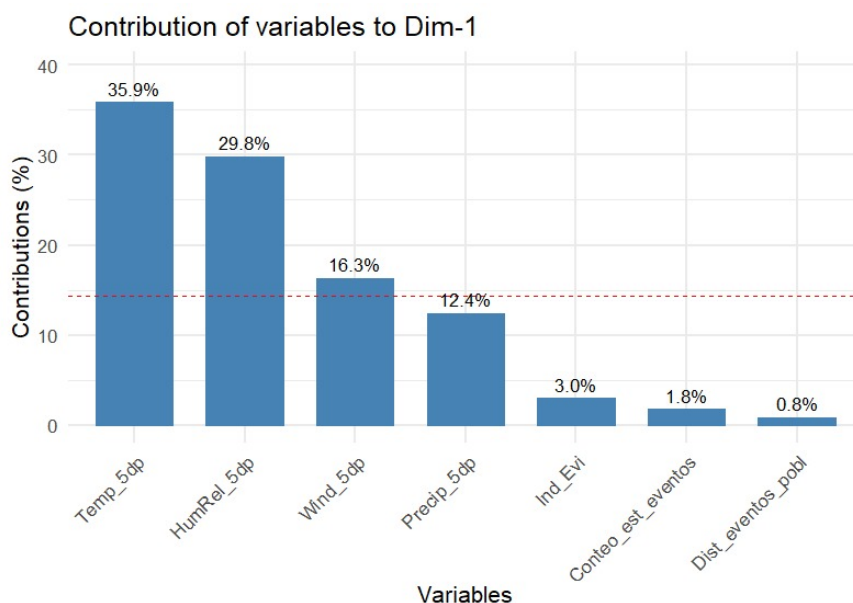


Figura 10 – Aportación de las variables a la dimensión 1

Para identificar las variables que aportan a la segunda dimensión, se debe revisar el gráfico 11, donde la variable **Conteo_est_eventos** aporta un 47 % y **Precip_5dp** un 28,7 %, ambas por encima de la línea de referencia.

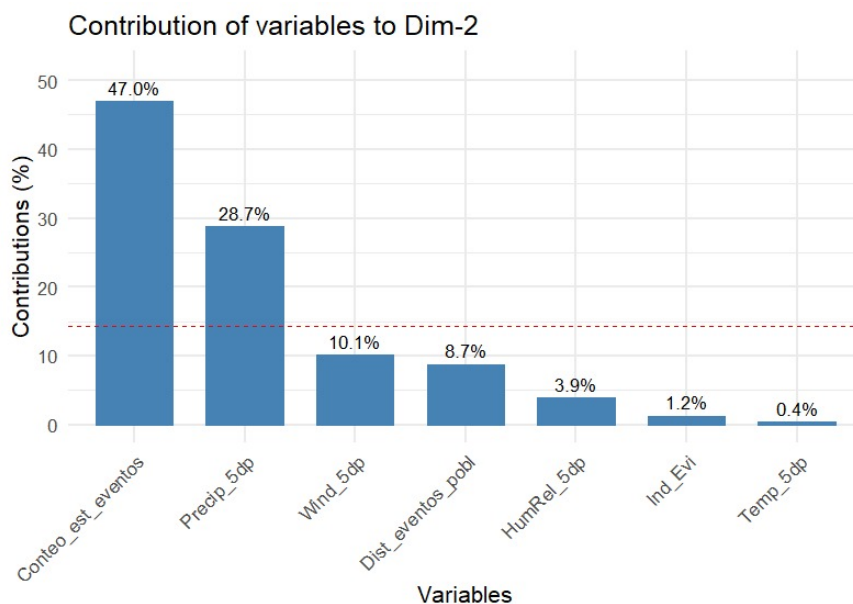


Figura 11 – Aportación de las variables a la dimensión 2

En el gráfico 12 se evidencian las variables que aportan mayor relevancia a la tercera dimensión, donde **Ind_Evi** contribuye con un 63,5 % y **Dist_eventos_pobl** con un 21,5 %, ambas por encima de la línea de referencia.

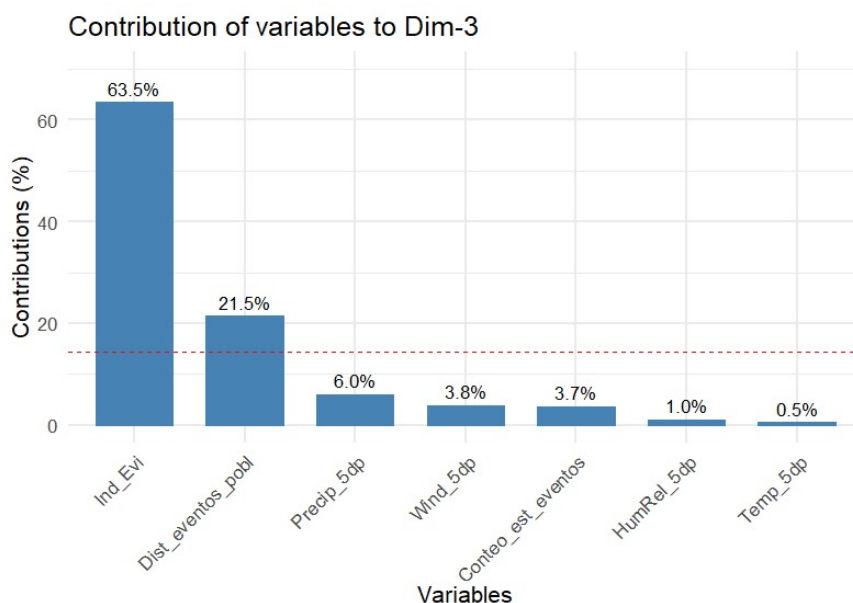


Figura 12 – Aportación de las variables a la dimensión 3

Por último, para determinar qué variables son significativas en la cuarta dimensión, se debe consultar el gráfico 13, donde **Dist_eventos_pobl** aporta un 65,8 %, **Wind_5dp** un 15,9 % y **Ind_Evi** un 15,2 %, todas por encima de la línea de referencia.

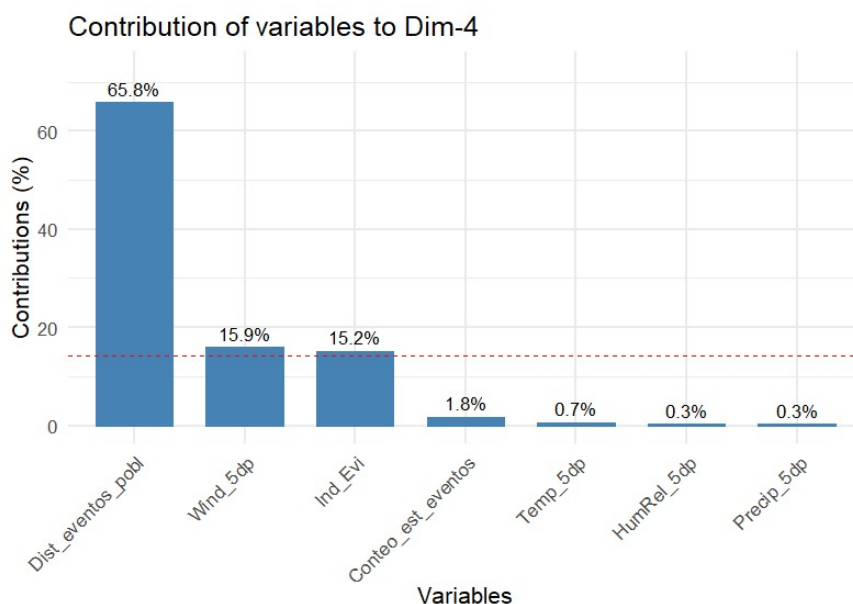


Figura 13 – Aportación de las variables a la dimensión 4

El gráfico 14 muestra un biplot del análisis de componentes principales con las dos primeras dimensiones, que explican el 33.6 % y 21.7 % de la varianza, respectivamente. Cada punto representa una observación agrupada según diferentes tipos de uso

de cobertura del suelo, indicados con distintos símbolos y colores. Las flechas indican las variables ambientales originales y su dirección y longitud muestran su relación e importancia en cada dimensión. Se observa que la variable **Temp_5dp** está relacionada negativamente con la primera dimensión, mientras que **HumRel_5dp**, **Precip_5dp** y **Dist_eventos_pobl** tienen una relación positiva con esa dimensión. Para la dimensión 2, ninguna variable destaca fuertemente, aunque **Dist_eventos_pobl** y **HumRel_5dp** muestran una ligera influencia positiva. La variable **Conteo_est_eventos** contribuye negativamente en ambas dimensiones. En cuanto a los grupos, se observa cierta separación, con **bosque nativo** agrupándose en la zona positiva de ambas dimensiones, y **cultivo** y **otras tierras agrícolas** más hacia valores negativos de la primera dimensión.

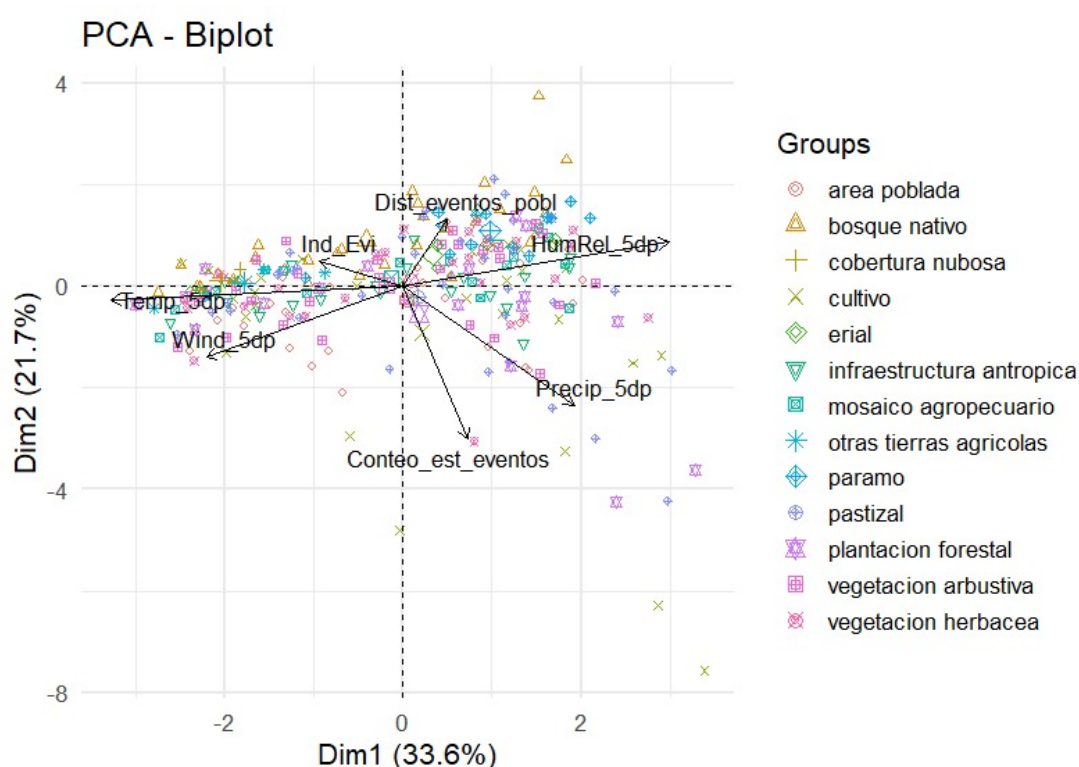


Figura 14 – Biplot con las 2 primeras dimensiones

4.6 Índice de Vulnerabilidad

El mapa de calor en la figura 15 muestra la distribución espacial del índice de vulnerabilidad para el año 2018, desagregado por provincias y categorías de vulnerabilidad (Alto, Medio, Bajo). Se observa que la mayoría de las provincias presentan concentraciones significativas en la categoría de vulnerabilidad Media, con algunos casos destacados en alto y bajo. Provincias como Loja, Esmeraldas y Pichincha exhiben altos valores en la categoría Media y cierto grado de vulnerabilidad Alta, lo que sugie-

re una mayor susceptibilidad a las condiciones consideradas. Otras provincias como Tungurahua, Manabí y Chimborazo también muestran una mezcla importante entre las categorías Media y Alta, destacando su riesgo en función de las variables climáticas y de proximidad consideradas. En contraste, provincias como Napo, Morona Santiago, Cañar y Bolívar tienden a posicionarse en categorías de vulnerabilidad baja o media, indicando condiciones más favorables o menor incidencia de los factores asociados al índice.

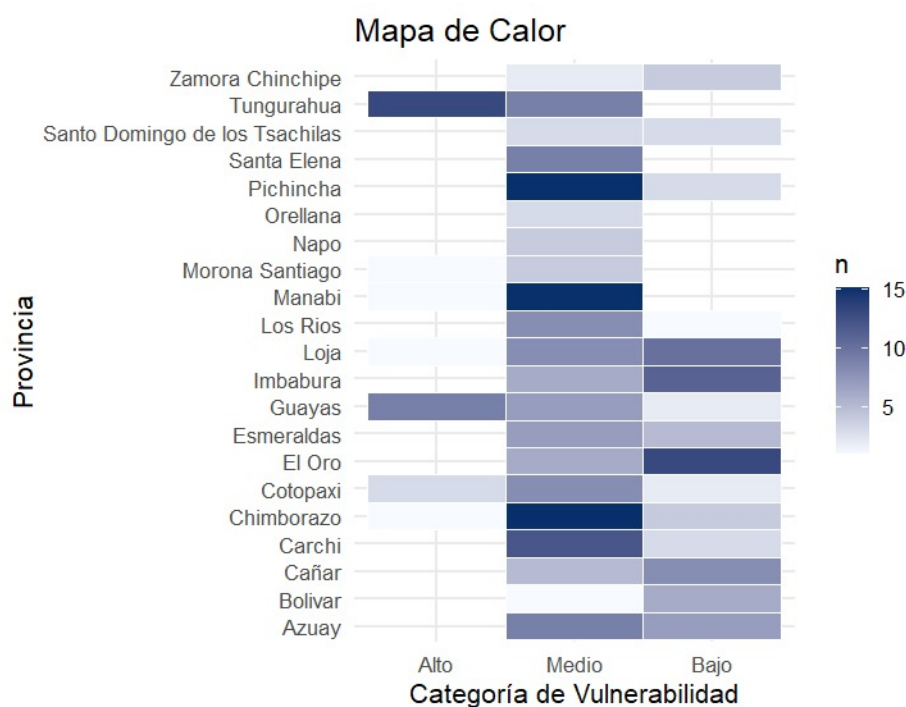


Figura 15 – Índice de vulnerabilidad por provincia

En la figura 16 se observa que las coberturas de vegetación herbácea, mosaico agropecuario, cultivo y áreas pobladas presentan las frecuencias más altas en el nivel de vulnerabilidad alta, lo que indica una mayor exposición o sensibilidad a factores como temperatura, precipitación, humedad, viento, índice EVI, conteo de eventos y proximidad a incendios y poblados. Por otro lado, la mayoría de las coberturas, incluyendo vegetación arbustiva, pastizal, plantación forestal y áreas pobladas, tienen mayor presencia en el nivel medio, reflejando una vulnerabilidad moderada producto de la combinación ponderada de las variables mediante análisis de componentes principales. Asimismo, coberturas como bosque nativo, otras tierras agrícolas y cobertura nubosa muestran una frecuencia considerable en el nivel bajo, indicando menor influencia de condiciones adversas en estas áreas.

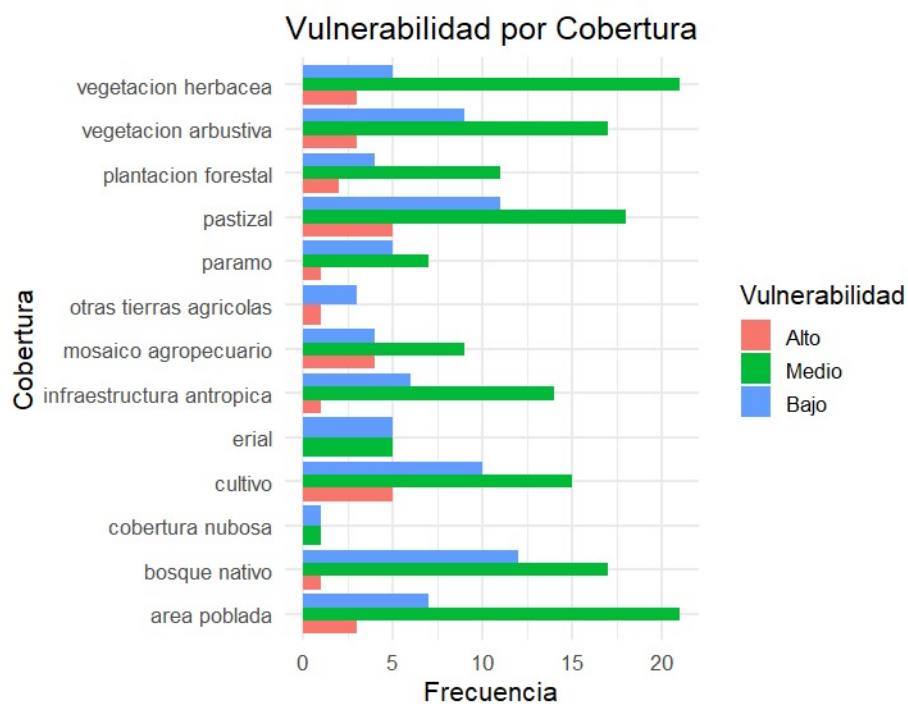


Figura 16 – Índice de vulnerabilidad por tipo de uso del suelo

5 Consideraciones Finales

5.1 Conclusiones

Los resultados de este estudio confirman que los incendios forestales en el Ecuador constituyen una problemática socioambiental en aumento, con más de 331.000 hectáreas afectadas entre 2010 y 2025, y con impactos directos sobre 689 familias, 258 personas lesionadas, además de cultivos e infraestructura. Estos datos evidencian la alta vulnerabilidad tanto de los ecosistemas como de las comunidades.

La región interandina concentra la mayor ocurrencia de incendios, especialmente en Loja, Azuay y Pichincha, lo cual está asociado a factores de uso del suelo y a condiciones climáticas extremas (temperatura, precipitación, humedad y viento) que favorecen la propagación del fuego.

El análisis del Índice de Vegetación Mejorado (EVI) mostró que los bosques nativos y pastizales presentan mayor vigor vegetativo, mientras que los cultivos son los más vulnerables por su proximidad a focos de incendio y alta sensibilidad en el índice de riesgo. En consecuencia, provincias como Loja, Tungurahua, Guayas y Pichincha registran niveles de vulnerabilidad medio y alto.

En conjunto, estos hallazgos demuestran que los incendios forestales no pueden entenderse solo como eventos naturales, sino como fenómenos complejos donde interactúan factores climáticos, ecológicos y sociales. Por ello, su gestión exige un enfoque interdisciplinario e interinstitucional que permita reducir la vulnerabilidad, fortalecer la prevención y avanzar hacia la sostenibilidad de los ecosistemas y el bienestar de la población.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda fortalecer la gestión del riesgo de incendios forestales en el Ecuador mediante acciones concretas. En primer lugar, es necesario consolidar la colaboración interinstitucional entre entidades nacionales, académicas y comunitarias para mejorar la recopilación y manejo de la información.

Asimismo, se sugiere ampliar y diversificar las fuentes de datos, incorporando información satelital proveniente de programas como Landsat o Sentinel, lo que permitirá un análisis más preciso de la dinámica de la cobertura vegetal y del clima.

De igual forma, resulta prioritario garantizar la calidad y fiabilidad de los datos a través de protocolos estandarizados y capacitación técnica en verificación en campo y teledetección.

También se recomienda desarrollar sistemas integrados de información a nivel nacional que centralicen datos climáticos, satelitales y de uso del suelo, facilitando el acceso abierto y la gestión preventiva.

Finalmente, se plantea impulsar investigaciones futuras que profundicen en la relación entre cambio climático, uso del suelo y vulnerabilidad, generando insumos técnicos de largo plazo para la planificación territorial y la reducción del riesgo de incendios.

Bibliografía

- Barcia-Sardiñas, S., Fontes-Leandro, M. & Viera-González, E. Y. (2019). Los focos de calor y los incendios forestales en la provincia cienfuegos, cuba. *Revista cubana de meteorología*, **25**, 265–277. Citado en la página 17.
- Cisneros Vaca, C., Calahorrano, J. & Manzano, M. (2024). Análisis espacial y temporal de incendios forestales en el ecuador utilizando datos de sensores remotos. *Colombia forestal*, **27**(1). Citado en la página 17.
- CONAFOR-CONACYT (2011). Desarrollo de un sistema de predicción de peligro de incendios forestales para México. Citado en la página 22.
- Esri (2024). Esri startup partner uses gis to transform wildfire protection plans. *ArcNews*. Accedido el 12 de junio de 2025. Citado en la página 17.
- MacCarthy, J., Richter, J., Tyukavina, S., Weisse, M. & Harris, N. (2023). Los últimos datos confirman: los incendios forestales están empeorando. Insight, World Resources Institute (WRI). Accedido el 12 de junio de 2025. Citado en la página 12.
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (s.f). Prevención y control de incendios: una prioridad nacional. sitio web. Accedido el 12 de junio de 2025. Citado en la página 17.
- Parvar, Z., Saeidi, S. & Mirkarimi, S. (2024). Integrating meteorological and geospatial data for forest fire risk assessment. *Journal of Environmental Management*. Citado en la página 22.
- Pausas, J. G. (2020). *Incendios forestales*. Los libros de la Catarata. Citado en la página 16.
- Pazmiño, D. (2019). Peligro de incendios forestales asociado a factores climáticos en ecuador. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, **7**(1), 10–18. Citado en la página 18.
- 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*, **9**(3), 322–339. Citado en la página 18.

- Schultz, A. (2022). Real-time wildfire awareness emerges from firefighter cloud collaboration. Esri Blog. Accedido el 12 de junio de 2025. Citado en la página 17.
- Secretaría de Gestión de Riesgos (2023). Incendios forestales. sitio web. Accedido en 2025. Citado en la página 16.
- U.S. Geological Survey (2022). Landsat enhanced vegetation index. <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-enhanced-vegetation-index>. El EVI corrige algunas condiciones atmosféricas y el ruido del fondo del dosel, y es más sensible en áreas con vegetación densa. Citado en la página 20.