



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**ESTUDIO DE LOS PATRONES ESPACIALES Y TEMPORALES DE LOS
INCENDIOS EN EL ECUADOR UTILIZANDO VARIABLES CLIMÁTICAS
ACTUALES Y FUTURAS**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingenieros Ambientales

AUTORES: KEVIN HERNÁN MAZA PAZMIÑO

DANILO FRANCISCO MÉNDEZ VALENCIA

TUTORA: PATRICIA MARIBEL GUTIÉRREZ SALAZAR

Quito - Ecuador

2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros Kevin Hernán Maza Pazmiño con documento de identificación N° 1725157034 y Danilo Francisco Méndez Valencia con documento de identificación N° 1726023664, manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 13 de septiembre del año 2022

Atentamente,



.....

Kevin Hernán Maza Pazmiño

1725157034



.....

Danilo Francisco Méndez Valencia

1726023664

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros Kevin Hernán Maza Pazmiño con documento de identificación N° 1725157034 y Danilo Francisco Méndez Valencia con documento de identificación N° 1726023664, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Trabajo Experimental: “Estudio de los patrones espaciales y temporales de los incendios en el Ecuador utilizando variables climáticas actuales y futuras”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Ambientales, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 13 de septiembre del año 2022

Atentamente,

.....
Kevin Hernán Maza Pazmiño

1725157034

.....
Danilo Francisco Méndez Valencia

1726023664

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Patricia Maribel Gutiérrez Salazar con documento de identificación N° 1718427220, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ESTUDIO DE LOS PATRONES ESPACIALES Y TEMPORALES DE LOS INCENDIOS EN EL ECUADOR UTILIZANDO VARIABLES CLIMÁTICAS ACTUALES Y FUTURAS realizado por Kevin Hernán Maza Pazmiño con documento de identificación N° 1725157034 y Danilo Francisco Méndez Valencia con documento de identificación N° 1726023664, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Trabajo Experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 13 de septiembre del año 2022

Atentamente,



.....

Ing. Gutiérrez Salazar Patricia Maribel M.Sc.

1718427220

DEDICATORIA

A mis padres Silvia Pazmiño y Hernán Maza, a mi hermana Alejandra Maza por haberme guiado, aconsejado y apoyado en esta dura travesía, por el sacrificio de mis padres quienes siendo el pilar fundamental de mi vida quedo eternamente agradecido con ellos.

A mis papitos Marina Romo y Ángel Pazmiño, por abrirme las puertas de su hogar y acogerme para poder culminar mis estudios, valoro cada consejo y ayuda que me han brindado, con esta tesis dejo una marca en la historia y que todo lector sepa el profundo amor y respeto que tengo por mis abuelitos.

A mi tía Jeaneth Pazmiño y mi primo Christian Melo, ayudándome a superar mi último obstáculo para poder culminar mi carrera profesional, dedico este esfuerzo esperando llenarlos de orgullo.

A mi tía Patricia Pazmiño quien con su cariño y sabiduría me ayudo superarme personalmente, siendo mi confidente y mi guía a quien quiero y respeto, espero ser tu orgullo con esta marca que dejo en el tiempo.

Kevin Maza.

A mi mama, por acompañarme de principio a fin en este largo camino, siempre siendo ese apoyo incondicional para convertirme en la persona y profesional que soy ahora y a quien le debo todo por lo que he podido alcanzar.

A Vane, mi novia, que ha sido mi fuerza e inspiración para lograr mis objetivos con el fin de ser mejor día a día y cumplir nuestros sueños. Que nuestros destinos se juntaran ha sido lo mejor que me ha pasado en la vida y por lo que soy eternamente agradecido.

A mi familia, los que están y los que ya se fueron, que siempre han puesto su confianza en mí, haciéndome entender y sentir cuán importante y valioso soy.

Al F-100, la familia que me acogió y para toda la vida por que los lazos que se han creado son especiales y sé que puedo contar incondicionalmente con todos.

A los CTM's, con quienes se comenzó esta aventura académica y se terminó convirtiéndolo en un grupo excepcional lleno de maravillosas personas que tengo el honor de llamar amigos.

Danilo Méndez.

AGRADECIMIENTO

Ante todo, agradecido con Dios por la oportunidad de superarme personal y profesionalmente, agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana y sus docentes por sus enseñanzas profesionales y de vida.

A la Ingeniera Patricia Gutiérrez por la confianza y apoyo depositado en nosotros para poder llevar a cabo este proyecto.

A mis familiares y amigos Eri y Dao quienes me apoyaron en todo momento para poder culminar mis estudios de tercer nivel.

Kevin Maza.

A la universidad y sus docentes por compartir sus enseñanzas, experiencias y consejos para poder llegar a ser mejores profesionales.

A la Ingeniera Patricia Gutiérrez por la confianza y apoyo depositado en nosotros para poder llevar a cabo este proyecto.

A Kevin, mi amigo y compañero de tesis que en todo momento estuvo en pie de lucha para sacar adelante este proyecto con su empeño y tenacidad, demostrando el profesional que será en el futuro.

Danilo Méndez.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Problema	1
1.2	Delimitación.....	2
1.3	Pregunta de investigación	2
1.4	Objetivos General y Específicos	2
1.4.1	<i>Objetivo General</i>	2
1.4.2	<i>Objetivos Específicos</i>	2
1.5	Hipótesis.....	3
2	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	4
2.1	Estado del Arte.....	4
2.2	Marco Legal	5
2.3	Incendios Forestales	5
2.3.1	<i>Triangulo de Fuego</i>	6
2.3.2	<i>Tipos de Incendios</i>	7
2.4	Dinámica de Ecosistema	8
2.5	Clasificación de los Incendios.....	8
2.5.1	<i>Origen Natural</i>	9
2.5.2	<i>Origen Antrópico</i>	9
2.6	Cambio Climático	9
2.6.1	<i>Cambio Climático – Ecuador</i>	10
2.7	Factores Meteorológicos	11
2.7.1	<i>Humedad</i>	11
2.7.2	<i>Humedad Atmosférica</i>	11

2.7.3	<i>Temperatura</i>	11
2.8	Intensidad de Fuegos.....	12
2.9	Maxent	12
2.10	Gestión de Incendios	13
3	MATERIALES Y MÉTODOS	15
3.1	Recopilación de la información	15
3.1.1	<i>Tratamiento de la información</i>	15
3.1.2	<i>Datos Climáticos</i>	16
3.2	Base Histórica de Incendios	16
3.3	Metodología de Mapa Histórico de Incendios	18
3.4	Metodología del Mapa de Densidad	20
3.5	Metodología del Mapa de Intensidad.....	21
3.5.1	<i>Cálculo del Índice Normalizado de Área Quemada</i>	21
3.5.2	<i>Pasos en ArcGis</i>	22
3.5.3	<i>Imágenes satelitales</i>	23
3.6	Metodología Maxent	24
3.6.1	<i>Obtención de datos</i>	24
3.6.2	<i>Delimitación de variables</i>	24
3.6.3	<i>Determinación de las variables</i>	25
3.6.4	<i>Configuración de la Corrida</i>	27
3.6.5	<i>Corrida</i>	28
3.6.6	<i>Validación de los modelos</i>	28
3.7	Análisis Estadístico	29
3.7.1	<i>Análisis de componentes principales</i>	29
3.7.2	<i>Análisis Estacional</i>	29

4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
4.1	Base de datos histórica.....	31
4.2	Análisis base de datos histórica – Incendios por año provincia.....	31
4.2.1	<i>Incendios por año – provincias</i>	<i>31</i>
4.2.2	<i>Incendios repitencia por zona</i>	<i>32</i>
4.2.3	<i>Incendios hectáreas de cobertura afectada por Provincia.....</i>	<i>33</i>
4.2.4	<i>Área de cobertura por zonas</i>	<i>34</i>
4.3	Mapa Histórico.....	35
4.4	Mapa de Densidad.....	36
4.5	Mapa de Intensidad	38
4.6	MAXENT.....	41
4.6.1	<i>Variables significativas Modelo MAXENT.....</i>	<i>41</i>
4.6.2	<i>Validación de modelos predictivos</i>	<i>49</i>
4.6.3	<i>Análisis Comparativo de modelos predictivos</i>	<i>50</i>
4.7	Estadísticos.....	57
4.7.1	<i>Análisis de Componentes Principales (ACP)</i>	<i>59</i>
4.7.2	<i>Análisis Estacional</i>	<i>61</i>
4.7.3	<i>Análisis descriptivo.....</i>	<i>62</i>
4.8	Serie Temporal.....	63
4.9	Estrategia de Gestión Incendios Forestales.....	64
4.10	Discusión.....	65
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	68
5.1	Conclusiones:	68
5.2	Recomendaciones.....	69

6	BIBLIOGRAFÍA.....	70
7	ANEXOS	76

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tipos de incendios</i>	7
Configuración de corrida.....	27
Nivel de Severidad de incendio.....	39
Niveles de severidad en incendios	40
Contribuciones relativas de las variables ambientales al modelo actual.....	43
Contribuciones relativas de las variables al modelo del escenario 2.6	45
Contribuciones relativas de las variables	48
Resultados del AUC entre escenarios	49
ACP provincia Azuay 2000-2013	59
FE provincia Azuay 2000-2013	61
ACP provincia Guayas 2000-2013.....	127
ACP provincia Pichincha 2000-2013.....	127
ACP provincia Imbabura 2000-2013	128
ACP provincia Loja 2000-2013	129
FE provincia Guayas 2000-2013.....	129
FE provincia Pichincha 2000-2013	130
FE provincia Imbabura 2000-2013	131
FE provincia Loja 2000-2013	132

ÍNDICE DE FIGURAS

Metodología para elaborar el mapa histórico	19
ArcGis pasos para el mapa de densidad	20
ArcGis pasa para el mapa de intensidad	22
Imagen Satelital Loja 2016	23
Correlación de variables Bioclimáticas.....	25
Incendios por Año – Provincias	31
Incendios por Año – Zonas	33
Zona – Área de cobertura	34
Mapa Histórico.....	35
Mapa de Densidad Anual	36
Mapa de Intensidad	38
Jackknife Modelo Actual	42
Jackknife Modelo 2.6 Optimista	44
Jackknife Modelo 4.5 Estabilización	46
Jackknife Modelo 6.0 Estabilización	47
Jackknife Modelo 8.5 Pesimista.....	47
Modelo actual de área con mayor probabilidad de incendios	51
Modelo RCP (Representative Concentration Pathways) 2.6	52
Modelo RCP (Representative Concentration Pathways) 4.5	53
Modelo RCP (Representative Concentration Pathways) 6	54
Modelo RCP (Representative Concentration Pathways) 8.5	55
Cuadro Comparativo entre el escenario Optimista (2.6) y Pesimista (8.5).....	56
Análisis descriptivo de los eventos registrados de 2010 a 2020	58
Diagrama de Dispersión T por H (AZUAY).....	60

Incendios 2000 - 2020	63
Triangulo de Fuego	76
Incendios por Año – Provincias 2010	77
Incendios por Año – Provincias 2011	78
Incendios por Año – Provincias 2012	79
Incendios por Año – Provincias 2013	80
Incendios por Año – Provincias 2014	81
Incendios por Año – Provincias 2015	82
Incendios por Año – Provincias 2016	83
Incendios por Año – Provincias 2017	84
Incendios por Año – Provincias 2018	85
Incendios por Año – Provincias 2019	86
Incendios por Año – Provincias 2020	87
Provincia – Área de Cobertura Afectada 2010	88
Provincia – Área de Cobertura Afectada 2011	89
Provincia – Área de Cobertura Afectada 2012	90
Provincia – Área de Cobertura Afectada 2013	91
Provincia – Área de Cobertura Afectada 2014	92
Provincia – Área de Cobertura Afectada 2015	93
Provincia – Área de Cobertura Afectada 2016	94
Provincia – Área de Cobertura Afectada 2017	95
Provincia – Área de Cobertura Afectada 2018	96
Provincia – Área de Cobertura Afectada 2019	97
Provincia – Área de Cobertura Afectada 2020	98
Imagen Satelital Azuay Gualaquiza 2016	99

Imagen Satelital Manabí 24 de Mayo 2016	100
Imagen Satelital Manabí 24 de Mayo 2016	101
Imagen Satelital Azuay Fucara 2016	102
Imagen Satelital Manabí Olmedo 2016.....	103
Imagen Satelital Manabí Balzar 2016	104
Imagen Satelital Manabí Pajan 2016.....	105
Imagen Satelital Manabí Pajan 2016.....	106
Imagen Satelital Imbabura Ibarra 2017	107
Imagen Satelital Pichincha Cayambe 2017	108
Imagen Satelital Bolívar Guaranda 2017	109
Imagen Satelital Pichincha Mejía 2018.....	110
Imagen Satelital Bolívar Guaranda 2017	111
Imagen Satelital Pichincha Mejía 2018.....	112
Imagen Satelital El Oro Arenillas 2018	113
Imagen Satelital El Oro Arenillas 2018	114
Imagen Satelital Pichincha Mejía 2019.....	115
Imagen Satelital Pichincha Quito 2019.....	116
Imagen Satelital Loja Vilcabamba 2019	117
Imagen Satelital Loja Vilcabamba 2019	118
Imagen Satelital Loja Quilanga 2019.....	119
Imagen Satelital Chimborazo Riobamba 2020	120
Imagen Satelital Loja Yangana 2020	121
Imagen Satelital Azuay Chordeleg 2020.....	122
Diagrama de Dispersión T por H (Guayas).....	123
Diagrama de Dispersión T por H (Pichincha).....	124

Diagrama de Dispersión T por H (Imbabura)	125
Diagrama de Dispersión T por H (Loja)	126

RESUMEN

Los incendios forestales integran gran parte de los problemas dentro de un ecosistema, afectando la diversidad en flora y fauna de la zona, en la actualidad se han realizado diferentes índices espectrales para la identificación de áreas quemadas, la presente investigación se desarrolla en base al estudio de los incendios ocurridos durante los últimos veinte años en la Republica del Ecuador.

Para poder realizar el estudio de los patrones espaciales temporales de los incendios en el Ecuador, se utilizó las bases de datos otorgadas por distintas organizaciones gubernamentales dedicadas al manejo y control de los incendios, la interpretación de la información fue manejada mediante el programa ArcGis, en conjunto con los satélites Landsat 8 y Sentinel 2 permitiendo interpretar el avance histórico, densidad e intensidad de los eventos ocurridos. El desarrollo de los modelos predictivos para el año 2050 se utilizó las variables bioclimáticas, información concedida por la plataforma WorldClim, la herramienta MaxEnt se utilizó para la estimación de presencia de un fenómeno siendo para nuestra investigación los escenarios 2.6, 4.5, 6 y 8.5.

Como resultado de la investigación se generó una base actualizada con el número de incendios ocurridos en el Ecuador, los cuales son representados en diferentes mapas que son histórico, densidad e intensidad de los últimos diez años, después del análisis estadístico se determinó que las provincias de Azuay, Guayas, Pichincha, Imbabura y Loja son las más representativas con un 62 % en cuanto a porcentaje de eventos ocurridos, en tanto que los modelos de predicción tienen un alto grado de confiabilidad ya que el AUC es superior a 0.8.

El presente estudio concluye que la información obtenida por medio de las entidades gubernamentales, las plataformas WorldClim, Copernicus y EarthExplorer (USGS) permitieron el desarrollo de todos los objetivos planteados en este estudio.

Palabras clave: Variables Bioclimáticas, Cambio climático, Imágenes satelitales.

ABSTRACT

Forest fires are a major part of the problems within an ecosystem, affecting the diversity of flora and fauna in the area. Currently, different spectral indices have been developed for the identification of burned areas, the present research is based on the study of fires that have occurred during the last twenty years in the Republic of Ecuador.

In order to study the temporal spatial patterns of fires in Ecuador, we used the databases provided by different governmental organizations dedicated to the management and control of fires, the interpretation of the information was handled by the ArcGis program, in conjunction with the Landsat 8 and Sentinel 2 satellites, allowing us to interpret the historical progress, density and intensity of the events that occurred. The development of predictive models for the year 2050 used bioclimatic variables, information provided by the WorldClim platform, and the MaxEnt tool was used to estimate the presence of a phenomenon, using scenarios 2.6, 4.5, 6 and 8.5 for our research.

As a result of the research, an updated database was generated with the number of fires occurred in Ecuador, which are represented in different maps that are historical, density and intensity of the last ten years, after the statistical analysis it was determined that the provinces of Azuay, Guayas, Pichincha, Imbabura and Loja are the most representative with 62 % in terms of percentage of events occurred, while the prediction models have a high degree of reliability since the AUC is higher than 0.8.

This study concludes that the information obtained through governmental entities, WorldClim, Copernicus and EarthExplorer (USGS) platforms allowed the development of all the objectives set out in this study.

Key words: Bioclimatic variables, Climate change Satellite images.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Problema

El Ecuador cuenta con grandes extensiones de bosques primarios y secundarios, estos lugares se han visto afectados por incendios, que han ido aumentando con los años pero no se ha logrado consolidar toda la información en una sola entidad ya que distintas instituciones han desarrollado diferentes variables (Pazmiño, 2019).

Los reportes por parte del Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias indican que las provincias de Loja, Pichincha, Azuay y Guayas, son las que tienen mayor impacto y a la vez mayor repetencia, estas han sido zonas vulnerables en años anteriores debido a sus condiciones climáticas y factores antrópicos, (SNGR, 2019).

De 2012 a 2017 se han calculado que las pérdidas registradas en todo el país son de 100000 hectáreas (Moreno Vega, 2018), según el SNGR durante 2019 y 2020 el registro de zonas afectadas es de 44884.48 hectáreas aproximadamente.

Los incendios ocurridos en el Ecuador son en gran parte de origen antrópico esto debido a que dentro de las prácticas agrícolas en el sector rural no son controladas correctamente, estos llegan afectar a otros cultivos, potreros o bosques colindantes los cuales con ayuda del viento y las condiciones climáticas idóneas son afectados fácilmente por las llamas, este tipo de quema no solo afecta al ecosistema en general también es un peligro para las personas que se encuentren alrededor ya que las emisiones afectan de manera considerable la calidad del aire.

Las variables climáticas del Ecuador están sujetas a las condiciones irregulares de cada región del país, el cual está dividido en cuatro que son Costa, Sierra, Amazonia e Insular, las mismas que gracias a su desnivel topográfico, cuentan con climas distintos al igual que sus niveles de temperatura y humedad (MAE, 2010), debido a las condiciones climáticas del país

son un impedimento para realizar un estudio continuo de los patrones espaciales y temporales de los eventos ocurridos en una línea de tiempo.

Otro impedimento para realizar un estudio continuo en este caso de incendios a nivel nacional es la falta de información o la información existente pero dispersa; es decir, varias instituciones gubernamentales recogen esta información, pero no la consolidan entre ellas, además que no en todas es de libre acceso por lo que complica el uso de esta información.

1.2 Delimitación

El presente estudio recoge datos históricos de incendios para el mapeo de eventos ocurridos en el Ecuador entre los años 2010-2020. Además, la elaboración de un modelo de predicción que nos permita estimar los efectos del cambio climático en la ocurrencia de eventos de incendios en el Ecuador para el año 2050 bajo las condiciones de los escenarios 2.6, 4.5, 6.0 y 8.5.

1.3 Pregunta de investigación

¿Cómo influyen las variables climáticas en los patrones espaciales y temporales de los incendios bajo escenarios de cambio climático?

1.4 Objetivos General y Específicos

1.4.1 Objetivo General

- Estudiar los patrones espaciales y temporales de los incendios en el Ecuador utilizando variables climáticas actuales y futuras.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Generar una base de datos histórica de los incendios producidos en Ecuador en los últimos 20 años.
- Determinar las condiciones climáticas en los lugares donde se produjeron los incendios y determinar cualitativamente la intensidad del incendio.

- Establecer el impacto del cambio climático en los patrones espaciales y temporales de los incendios en el Ecuador.

1.5 Hipótesis

La humedad y temperatura atmosférica han influido en los patrones espaciales de los incendios, y serán variables importantes a considerar en la determinación de zonas susceptibles a quemas en escenarios de cambio climático.

2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Estado del Arte

Los estudios realizados en el Ecuador por distintas instituciones son la base para poder entender lo que se desea conseguir, todos los estudios que se presentan a continuación están delimitados por sectores específicos desde la región litoral hasta la andina.

La investigación que se presenta es la primera en recolectar la información a nivel nacional permitiendo expandir el panorama para futuros estudios de incendios forestales utilizando modelamientos predictivos con MAXENT.

En todos los estudios analizados sobre la investigación de data de incendios forestales encontramos una tendencia en utilizar data internacional, es decir, datos provenientes de satélites e instituciones internacionales que, si bien presentan una data completa y de fácil acceso, la información no es coherente en cuanto al tipo de evento. Y los estudios realizados con data de instituciones nacionales, son de zonas puntuales ya que no se puede obtener una información completa para cada zona del país.

Esta investigación recoge cada data que se encuentra disponible y la consolida con el fin de poder realizar un estudio más confiable y además permitir que se realicen estudios futuros.

El utilizar la herramienta Maxent nos abre las puertas para realizar más estudios en este campo y extender el campo de aplicación de este software, que generalmente es usado en estudios de especies.

El punto en común entre los estudios realizados en el Ecuador que relacionan los incendios forestales con el cambio climático es la importancia de la evolución y comportamiento del cambio climático en la probabilidad de ocurrencia de los eventos y en

como deberíamos actuar ante estas circunstancias. Y el tema a discusión en estos tiempos y con estos nuevos resultados es mirar hacia el futuro con propuestas de adaptabilidad y corrección de los posibles eventos que se presenten.

2.2 Marco Legal

El Ecuador cuenta con normas encargadas a la prevención y control de incendios forestales la cual empieza desde la constitución con “los derechos de la naturaleza o “Pacha Mama””, a partir de esto se delegan responsabilidades a nivel nacional desde provincial hasta parroquial, dentro del Ecuador existen 217 municipios (Bustos, y otros, 2019) los cuales en medio de su prestación de servicios, está la protección de los ecosistemas (ambiental) (Municipio de Cotacachi, 2014 - 2019) las principales estaciones de bomberos se encuentran en Quito y Guayaquil son los núcleos de capacitación y organización de todo el país los cuales a pesar del esfuerzo no se ha logrado equipar de manera correcta a las demás estaciones de bomberos del país quienes dentro de sus capacidades pueden ejercer su labor hasta cierto punto ya que sus recursos y entrenamiento son delimitantes para poder contrarrestar eventos de mayor magnitud (Bustos, y otros, 2019), en el caso de los incendios forestales que ocurren en la provincia de Loja siento esta la más propensa a sufrir estos eventos, el cuerpo de bomberos encargados de solucionar estos incendios no lo pueden hacer por falta de herramientas necesarias para acceder al lugar, esto es una clara falla de equipo, coordinación y apoyo por parte del estado nacional. (Columba Tallana, Quisilema Ron, Padilla Almeida, & Toulkeridis, 2016)

2.3 Incendios Forestales

Ecuador al ser un país que cuenta con geografía rica en distintos tipos de suelos y pendientes, se vuelve vulnerable a las precarias condiciones de un incendio descontrolado siendo estos responsables de la intensidad y la velocidad de expansión de un incendio (Voss et al., 2001). Los factores que intervienen en estas situaciones son las condiciones climáticas

como la temperatura y humedad (Gabriel et al., 2021). Cuando existen altas temperaturas y carecen de humedad son condiciones idóneas para el desarrollo de un incendio que afecta en gran medida las zonas forestales (Segumar, 2015).

Las zonas forestales son esenciales para que se mantenga el equilibrio en el planeta Tierra ya que, permiten el curso de los ciclos básicos y mantener la vida. Además, que las zonas forestales regulan la temperatura de la zona donde se encuentran y el porcentaje de humedad, elementos que influyen en la climatología de un sector. Por otra parte, proporcionan también servicios ecosistémicos (alimentos, medicinas, refugio para seres vivos y materia prima). (Comisión Nacional Forestal, 2010)

Los servicios ecosistémicos que nos brindan las zonas forestales, se contemplan varias amenazas que pueden poner en peligro el equilibrio natural de este, como son: erosión de suelos, deforestación, tala ilegal, fuego no controlado, entre otros. El fuego ha sido parte de la dinámica y equilibrio de los ecosistemas ya que controla y ayuda a mantener la biodiversidad, pero cuando se da un mal uso de este elemento provoca consecuencias devastadoras de índole ambiental, social y económica. (Comisión Nacional Forestal, 2010)

2.3.1 Triangulo de Fuego

El triángulo de fuego se compone de tres factores, los cuales uno de ellos es el calor existente en el área afectada. Para que un incendio se origine de forma natural, tiene que cumplir con estos tres parámetros (Segumar, 2015), los cuales son:

Calor: En Ecuador debido a los climas de altas temperaturas, estas zonas son afectadas por olas de calor, haciendo que la vegetación se reseque llegando a originar la quema de la vegetación (Segumar, 2015).

Oxígeno: El oxígeno es un componente fundamental para que se origine el fuego en la vegetación, debido a que el oxígeno hace que el incendio incremente el área de cobertura afectada (Segumar, 2015).

Combustible: El mayor combustible que existe en los bosques y reservas del Ecuador, es la vegetación que existe en esas zonas, por ende, una alta acumulación de vegetación implica una mayor reserva de combustible (Segumar, 2015).

2.3.2 Tipos de Incendios

Tabla 1.

Tipos de incendios

Tipos de Incendios	Descripción
Incendios Superficiales	Es aquel incidente que se propaga horizontalmente sobre una superficie, llegando a tener una media de llama de un metro y medio de alto.
Incendios Subterráneos	Es aquel incidente que se propaga por debajo del suelo.
Incendios de Copa o Aéreos	Estos son los más difíciles de controlar ya que este tipo de incidente consume toda la vegetación.

Nota: La presente tabla muestra los tipos de incendios descritos tomado de (Comisión Nacional Forestal, 2010).

La mayoría de los incendios que ocurren en regiones de la Sierra y Costa Ecuatoriana son provocadas por la agricultura (en caso de la costa es para la masiva producción de palma africana), ganadería, caza y la expansión de asentamientos humanos. Las consecuencias de

estos incendios traen consigo problemas ambientales y económicos graves para el país constituyendo una fuente importante de contaminación que contribuye al cambio climático, estos actos perjudican en alto grado no solo la calidad del aire, también a la calidad del agua, destrucción de biodiversidad y una alta degradación del suelo (erosión) (Sandoval, 2016).

2.4 Dinámica de Ecosistema

Dentro de las cuatro regiones del Ecuador existe una variedad de ecosistemas ricos en vegetación, los cuales, dependiendo del sector, han desarrollado la capacidad de regenerarse en cortos lapsos de tiempo. Los ecosistemas tropicales son aquellos que no cuentan con la capacidad de una pronta recuperación después de un incendio, debido a que en su entorno no es susceptible a incendios, pues tienen un alto porcentaje de humedad y constantes precipitaciones que impiden que el incendio se produzca de manera natural (Giorgis et al., 2021).

Los incendios de origen antrópico son mayormente comunes en la región andina del país, estos eventos afectan la vegetación y la agricultura en mayor grado dentro de la región ya que no son controlados permitiendo que los daños sean mayores.

Los diversos ecosistemas del país tienen distintos grados de susceptibilidad siendo el bosque seco interandino el de mayor vulnerabilidad por su bajo porcentaje de humedad y la vegetación seca, gracias a esto la región andina es la más vulnerable a incendios reportando desde los últimos cinco años una pérdida mayor a cien mil hectáreas (Giorgis et al., 2021).

2.5 Clasificación de los Incendios

Los incendios tienen dos tipos de origen los cuales son el natural y el antrópico. (Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias, s.f.)

2.5.1 Origen Natural

Los incendios con origen natural nacen de explosiones volcánicas o rayos siendo estos los de mayor probabilidad, acompañados de un ambiente propicio como son meses de sequía, son reguladores ecosistémicos del planeta siendo necesarios para mantener un equilibrio entre fauna y flora. (AQUAE FUNDACION, s.f.)

2.5.2 Origen Antrópico

Las principales causas de los incendios forestales es el factor humano pues el descuido y las acciones intencionadas de algunas personas como soltar una colilla de cigarro o dejar objetos de vidrio dan origen a que sea difícil de controlar estas quemadas pues se producen a gran escala.

La actividad agrícola en muchas partes del mundo también es un problema debido a la inconciencia de las personas al momento de realizar los incendios y no controlarlos, en la agricultura se realiza la quema para preparar el suelo antes de la remoción y la siembra, lastimosamente no es una prioridad controlar el fuego que se puede extender a gran velocidad (AQUAE FUNDACION, s.f.).

2.6 Cambio Climático

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio Climático (CMNUCC) lo define como “*cambio atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición química de la atmosfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables*” (CMNUCC, 1992).

El cambio climático es un fenómeno que aborda todos los problemas presentes y futuros que se dan en el medio de vida y su deterioro cada vez más acelerado que afecta a la sobrevivencia de todas las especies que habitan en este planeta. Esta degradación acelerada es producto de la actividad humana como la sobreexplotación del petróleo, el uso indiscriminado

del agua, la contaminación de los océanos, la extinción de animales y plantas, además de la deforestación, factores que son parte de la problemática ambiental (Cordero, 2012, pág. 228).

2.6.1 Cambio Climático – Ecuador

En Ecuador la información sobre los impactos del cambio climático, entre ellos su efecto en incendios forestales, es escasa y aunque desde varios años atrás se han recogido datos meteorológicos de las diferentes zonas del país, estos aun presentan vacíos importantes que dificultan el estudio sobre las tendencias climáticas para que ocurran incendios, es decir, no se puede realizar un estudio preciso para todas las regiones. Sin embargo, los análisis y estudios realizados en base a esta información nos presentan una proyección de los efectos del cambio climático en las diferentes zonas del Ecuador en donde se puede observar una relación significativa entre el incremento de la temperatura media anual, variación en los patrones de precipitación, retroceso de los glaciares y aumento del nivel del mar (Laura Cadilhac, 2017, pág. 169). Esto además se encuentran directamente relacionadas con la vulnerabilidad de la población, la fragilidad de ciertos ecosistemas, la falta de políticas y proyectos con el afán de disminuir los efectos adversos que causan las industrias (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2009).

En Ecuador se ha registrado un aumento en los eventos provocados por cambios climáticos anómalos en regiones como la costa y la amazonia, esto es muy importante a tomar en cuenta ya que estos eventos son los causantes del 68% de las causas de emergencias o desastres (Carlos Ludeña, 2013). Desde inicios del siglo XX se registra que la temperatura incremento entre 0.4 y 0.8 °C y la precipitación no ha presentado cambios significativos en el mismo periodo de tiempo (PORRAS, 2016)

2.7 Factores Meteorológicos

Los incendios forestales en muchos casos son resultado de la combinación de varios factores meteorológicos o climáticos como la humedad, temperatura y el viento, estos tienen un papel clave al momento de determinar la intensidad de los incendios o predicción de eventos futuros (Rivas Cardenas, 2018)

2.7.1 Humedad

El contenido de humedad en la vegetación es un punto clave ya que cumple un papel muy importante en el inicio y desarrollo del incendio, ya que, si se tiene un alto contenido de humedad en la vegetación, sería más difícil que se alcance el punto de ignición, pero por otra parte cuando existe un bajo porcentaje de humedad en la vegetación, su ignición es inminente y en combinación con los demás factores, se produce un incendio forestal de fácil propagación. El estudio de la humedad del combustible como producto de las condiciones meteorológicas pasadas y actuales, es un punto importante para considerar de acuerdo con la mayoría de los autores (Gómez, 2011).

2.7.2 Humedad Atmosférica

La humedad no solo está involucrada en el proceso de evaporación de la pérdida de agua de las plantas vivas, sino que también es parte del proceso de obtener vapor de agua directamente en el combustible. La humedad, por otro lado, también afecta la disponibilidad de oxígeno en el proceso de combustión. Cuanto mayor sea la humedad, menor será el contenido de oxígeno en el ambiente y más lento será el proceso de combustión (Huertas, 2008).

2.7.3 Temperatura

La temperatura está influenciada por los eventos climáticos que se desarrollan desde el océano pacífico y las cordilleras que atraviesan al Ecuador, la temperatura varía dependiendo

de los cambios climáticos que ocurren en cada sector del país como por ejemplo el fenómeno del niño y de la niña o las alargadas épocas de sequía, son eventos recurrentes por lo que en cierta época del año la temperatura se ve alterada de forma considerable por dichos sucesos (Vuille et al., 2000).

2.8 Intensidad de Fuegos

Al ocurrir un incendio, el área de quema puede ser detectado mediante el índice de relación de quema normalizado (NBR), el cual es uno de los indicadores mas utilizados para mapear áreas quemadas, permite determinar el grado de severidad del fuego que experimenta la vegetación basado en el rango infrarrojo cercano (NIR), otro de los componentes es el infrarrojo medio (SWIR) donde el contenido de agua de las plantas se ve representado por esta banda, estos parámetros son importantes para determinar los niveles de afectación en los ecosistemas a través de imágenes satelitales.

El análisis multitemporal de imágenes satelitales previas y posteriores al incendio, permite establecer la métrica que permitirá evaluar el impacto de los incendios, comparando la evolución de la capa de cobertura presente en cada imagen. Esto facilita el análisis al distinguir tres áreas de gran importancia: el momento previo al incendio, el momento en que ocurre el incendio y el momento posterior a éste. A partir de ahí, conduce a la detección de focos activos de fuego, así como a la valoración de las consecuencias provocadas por los mismos. Indicadores como NBR permiten monitorear los daños por incendios y facilitan el mapeo de áreas quemadas y la posterior toma de decisiones en la gestión ambiental de estas áreas (Valdez K., 2020).

2.9 Maxent

Maxent es un programa gratuito de aplicaciones ambientales utilizado generalmente para la generación de mapas de distribución de especies en base a la máxima entropía y la

generación de modelos de predicción que se basan en la comparación de las variables ambientales o independientes y las ubicaciones donde ocurrieron los incendios (Phillips et al., 2006).

Una de las ventajas del software MaxEnt es que puede realizar funciones de alta complejidad combinando automáticamente varios tipos de funciones, razón por la que MaxEnt es considerada como la opción con mayor precisión de pronóstico sobre otras herramientas de modelado disponibles (Martín et al., 2019).

Este programa es amigable con los usuarios por su sencilla interfaz de uso en la que básicamente se necesita de un conjunto de coordenadas en formato CSV que vendría siendo la variable dependiente y un conjunto de datos ambientales en formato ASC, las variables independientes. Con esto el programa genera un modelo de probabilidad que arroja varios resultados importantes para la investigación como lo es el AUC (Área Bajo la Curva), el procedimiento Jack-knife y la importancia de las variables ambientales usadas. Finalmente, la generación del modelo nos permite identificar las zonas con mayor probabilidad promedio de ocurrencia de incendios (Martín et al., 2019). Se han realizado algunos estudios de predicción de ocurrencia de incendios en el país e internacionalmente pero únicamente de cantones o ciudades específicas, no se registran estudios que utilicen el software MAXENT para realizar modelos de predicción de incendios a nivel nacional.

2.10 Gestión de Incendios

El curso de acción desarrollado bajo este objetivo se basa en Ecosistemas forestales, aumentando su resiliencia mediante la gestión de los territorios rurales y resiliencia a los incendios forestales, combinando prevención, extinción y desarrollo rural. Desde que empezamos a analizar la estrategia y la táctica como conceptos En relación con la respuesta operativa a los incendios forestales, es importante proponer un origen común consistente en la

coincidencia de los campos Semántica para cada término. La estructura de respuesta a los incendios forestales tiene un cierto grado de complejidad muy alto, obviamente dependiendo de la naturaleza del fuego, Determinado por dos factores: - Sucede en un escenario variable, tanto en términos de territorio que contiene y el nivel de riesgo que puede crear.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Recopilación de la información

La información correspondiente a incendios forestales ocurridos en el Ecuador es adquirida desde entidades oficiales tales como la Secretaria Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias (SNGRE), la cual dispone de una base de datos que contiene los incendios ocurridos a nivel nacional entre los años 2010 a 2021, dentro de la cual se proporciona información como: Provincia, cantón, parroquia, coordenadas UTM de longitud y latitud y el año, siendo estas las primordiales para realizar el estudio. De igual manera, entidades como, Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) y el Cuerpo de bomberos, tienen a su disposición datos históricos de incendios a nivel nacional entre los años 2010 a 2021. La información de eventos en años anteriores a 2010 se recopiló del marco de Sendai para la reducción del riesgo de desastres.

La información correspondiente a datos climáticos es adquirida del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), para el estudio se utilizó los anuarios meteorológicos publicados en el portal oficial de forma gratuita y libre. Estos anuarios contienen la información mensual de las estaciones que se encuentran en funcionamiento desde el año 2000 al 2013. Lamentablemente los datos correspondientes a los años posteriores a 2013 no se encuentran accesibles en el portal oficial de la entidad y por temas administrativos esta información será liberada en el año 2022.

3.1.1 *Tratamiento de la información*

Una vez obtenidos los datos de incendios forestales a nivel nacional se procede a validar la información de cada base con el fin de obtener datos confiables y reales para el estudio.

Para cada base lo primero que se validó fue el tipo de incendio, se descartan aquellos incendios que no hayan ocurrido en vegetación.

Se validó la ubicación de los incendios, usando la herramienta ArcMap se ingresó las coordenadas de cada incendio para verificar la ubicación, se elimina la información que no es útil para el desarrollo del estudio, quedando así solo los datos necesarios para la base de datos histórica de incendios para el cumplimiento del objetivo.

3.1.2 Datos Climáticos

Los datos climáticos obtenidos mediante los anuarios meteorológicos del INAMHI, se procedió a migrar la información de formato PDF a Excel. El libro quedaría conformado por hojas que representan cada año y contienen la información mensual de cada estación para los datos de temperatura y humedad, se descarta estaciones que no dispongan datos de temperatura y humedad y se eliminan variables que no son relevantes para el desarrollo del estudio.

Finalmente creamos una base de datos climáticos que contiene los valores mensuales de temperatura y humedad por estación, provincia y año. Para un mejor manejo de esta base, hacemos uso de tablas dinámicas en donde podemos extraer la información necesaria para trabajar de una manera más simple los demás objetivos del estudio.

3.2 Base Histórica de Incendios

Posterior a validar los datos de incendios de las diferentes bases proporcionadas por las entidades oficiales nacionales, mediante el uso de la herramienta Power Query de Excel, hicimos una conexión entre las distintas bases.

Para que la conexión se pueda dar, es importante que todas las bases se trabajen en un mismo formato, con esto la conexión que realiza el programa es efectiva y sencilla.

Una vez las bases se encuentran en un mismo libro, dentro de la herramienta Power Query tenemos la opción de combinar consultas, la cual nos permite combinar todas las bases en una sola. Por este motivo es importante que las bases se manejen en un mismo formato o estructura, la opción “combinar consultas” se encuentra en el menú principal de Power Query

y son de dos tipos, la que nos permite combinar consultas en la misma hoja o en una hoja diferente, en nuestro caso lo hacemos en una nueva hoja la cual llamaremos base histórica de incendios.

Posterior a combinar las bases de datos se debe dar formato a la nueva base y eliminar los datos duplicados tomando como referencia las coordenadas y fechas de los eventos

Finalmente, con nuestra base de datos completa y validada, la podemos moldear y manejar mediante tablas y gráficos dinámicas en la que vamos a poder realizar consultas dentro de la base de manera ágil y sencilla, podemos extraer información útil y resumida para el desarrollo del estudio como la creación de mapas históricos de incendios o los análisis estadísticos.

Adicional al manejo de la base histórica de incendios, desarrollamos un Dashboard usando las tablas y gráficos dinámicos, segmentados de datos y editores de formato que se pueden encontrar en el mismo paquete de office de Excel, esta herramienta nos permite desarrollar una presentación sencilla e interactiva de la base de datos de incendios en la que podemos realizar consultas y extraer datos que el lector necesite.

Para poder entender el funcionamiento del DASBOARD es necesario realizar los siguientes pasos:

- Es necesario tener la tabla de resultados, la cual nos permite identificar el tipo de incendio, donde fue provocado, la época en la que sucedió, el rango que fue afectado por las llamas, entre otros parámetros que nos ayudan a saber cuántos incendios han sido provocados en las diferentes provincias.
- Organizada la tabla de resultados se prosigue a la obtención de las tablas dinámicas, las cuales consisten en ordenar ciertos datos que son relevantes y así lograr un mejor

entendimiento visual. En las tablas existe un campo de tablas dinámicas para clasificar los datos, de manera que sea más fácil poder filtrar la información.

- Con el fin de poder obtener la información requerida de manera veloz y eficiente, se optó por implementar tablas dinámicas, las cuales nos ayudan a organizar la información permitiendo que la búsqueda sea puntual.
- La variable que permite depurar la información es la opción provincia, debido a que los incendios provocados en cada provincia sean identificados y analizados dependiendo los filtros que se use, la variable año es uno de los filtros que se usa de manera constante, el cual nos ayuda a saber el número de incendios que ocurrieron en cierta fecha. Existen otros filtros que poco a poco depuran la información, de lo cual más de 18378 datos registrados se reducen a los necesarios por año o provincia según el análisis que se desee

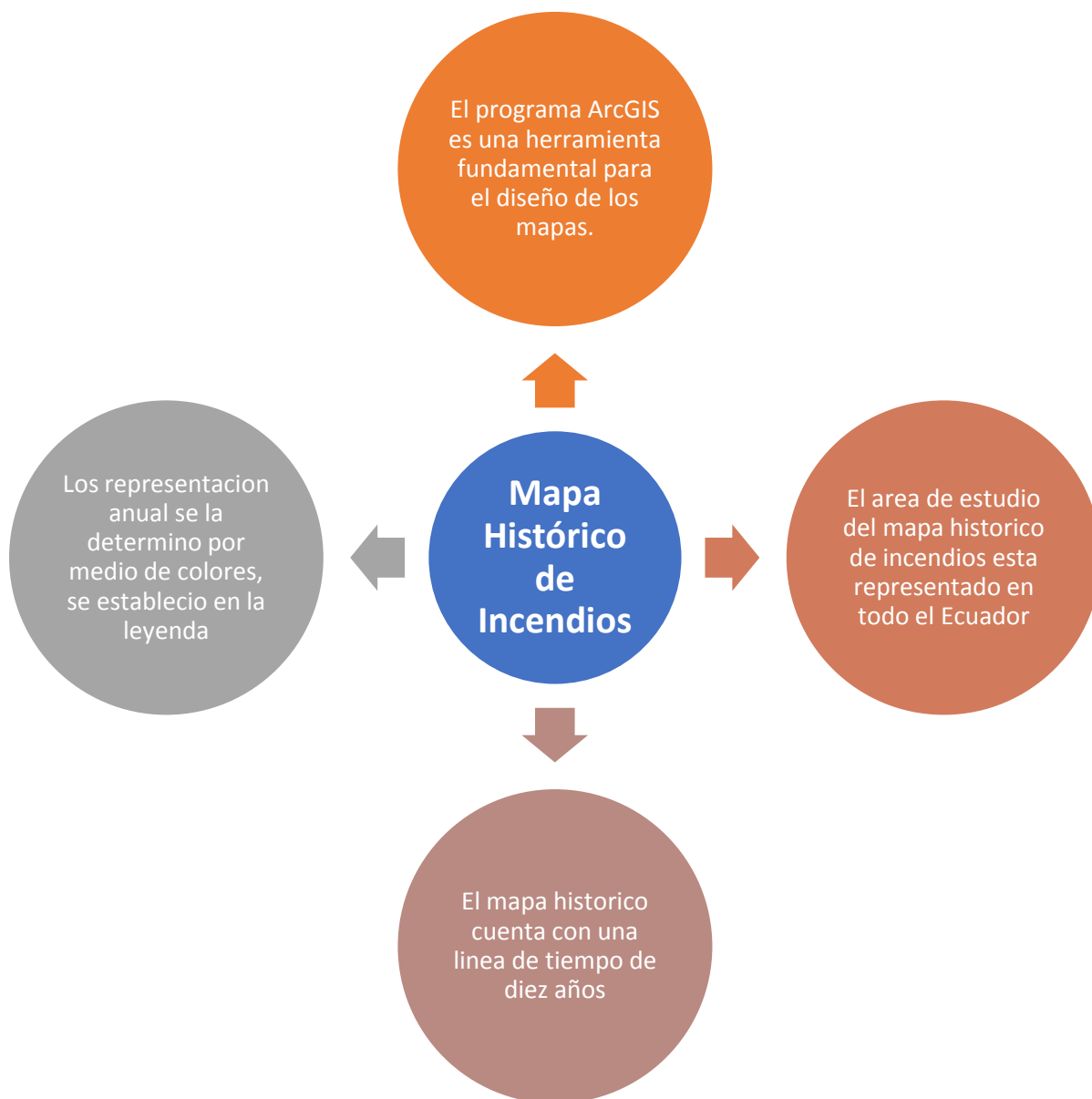
3.3 Metodología de Mapa Histórico de Incendios

Para el mapa histórico de fuegos del país se utilizó el programa ArcGIS, el cual nos permite representar información geográfica perteneciente a los eventos que ocurrieron en la Republica del Ecuador.

El sistema gracias a sus herramientas nos permite visualizar puntos exactos dentro del mapa delimitado que se desee estudiar.

Figura 1.

Metodología para elaborar el mapa histórico



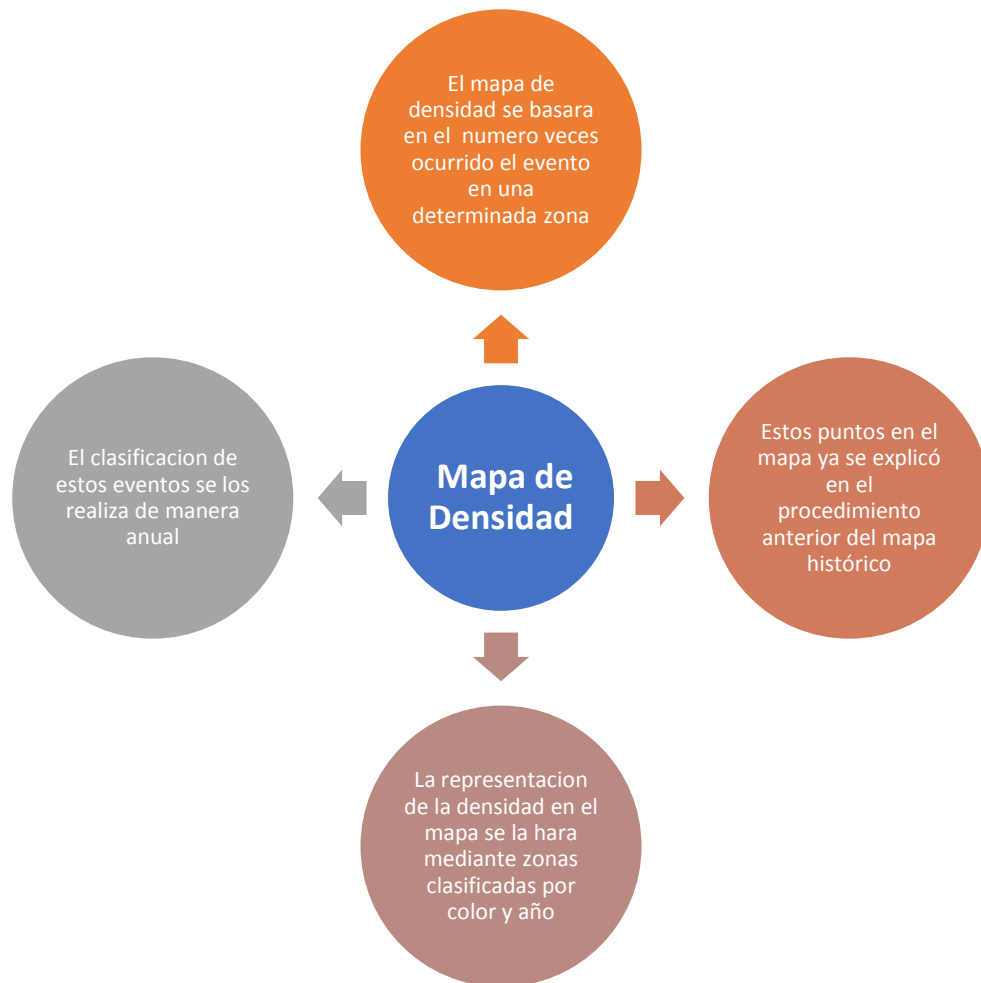
Nota: La figura muestra los pasos a seguir en el programa ArcGis para realizar el mapa de incendios, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

3.4 Metodología del Mapa de Densidad

Para el mapa de densidad se sigue el principio de los mapas históricos, en este caso se cargará las capas por año, esto permitirá que la clasificación de densidad no se represente como un acumulado global.

Figura 2.

ArcGis pasos para el mapa de densidad



Nota: La figura muestra los pasos a seguir en el programa ArcGis para realizar el mapa de densidad, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

3.5 Metodología del Mapa de Intensidad

3.5.1 Cálculo del Índice Normalizado de Área Quemada

El NBR es un parámetro que nos permite el reconocimiento de grandes áreas quemadas afectadas por un incendio, mediante la comparación de los valores de reflectancia de las coberturas afectadas después de los incendios, con respecto a las áreas de la misma zona, pero de años anteriores (López, 2017). El NBR se calcula mediante la siguiente ecuación.

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

Donde:

NIR: reflectividad en la banda del infrarrojo cercano.

SWIR: reflectividad en la banda del infrarrojo de onda corta.

Los valores esperados por el índice NBR están comprendidos entre -1 y 1, de manera que los valores negativos corresponden a las zonas quemadas.

Este proceso se lo repite por cada imagen satelital extraída en los años y zonas donde ocurrió el incendio, debido a la gran nubosidad que existía en la mayoría de las zonas y épocas del año, se descartaron imágenes que no permitían generar el mapa de intensidad de incendios.

Para el diseño del mapa de intensidad se ha utilizado las imágenes satelitales, con los eventos apropiados, ya sea por su ubicación o por su área de extensión afectada, las imágenes satelitales fueron descargadas desde el satélite Sentinel 2 con las bandas 8 y 12, las cuales nos permiten trabajar después con ArcGis, al igual que el satélite Landsat 8 usando las bandas 5 y 7, dando como resultado una apreciación sobre el área afectada y el nivel de impacto provocado por el incendio.

Al utilizar el cálculo del NBR, el cual se lo realizo con diferentes metodologías dependiendo del satélite que se obtuvo las imágenes, ya que al tener alta nubosidad en las imágenes de SENTINEL 2 se tuvo que complementar con imágenes de LANSAT 8.

- **Metodología para SENTINEL 2**

$$NBR = \frac{B8 - B12}{B8 + B12}$$

- **Metodología para LANDSAT 8**

$$NBR = \frac{B5 - B7}{B5 + B7}$$

3.5.2 Pasos en ArcGis

Figura 3.

ArcGis pasa para el mapa de intensidad



Nota: La figura muestra los pasos a seguir en el programa ArcGis para realizar el mapa de intensidad, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

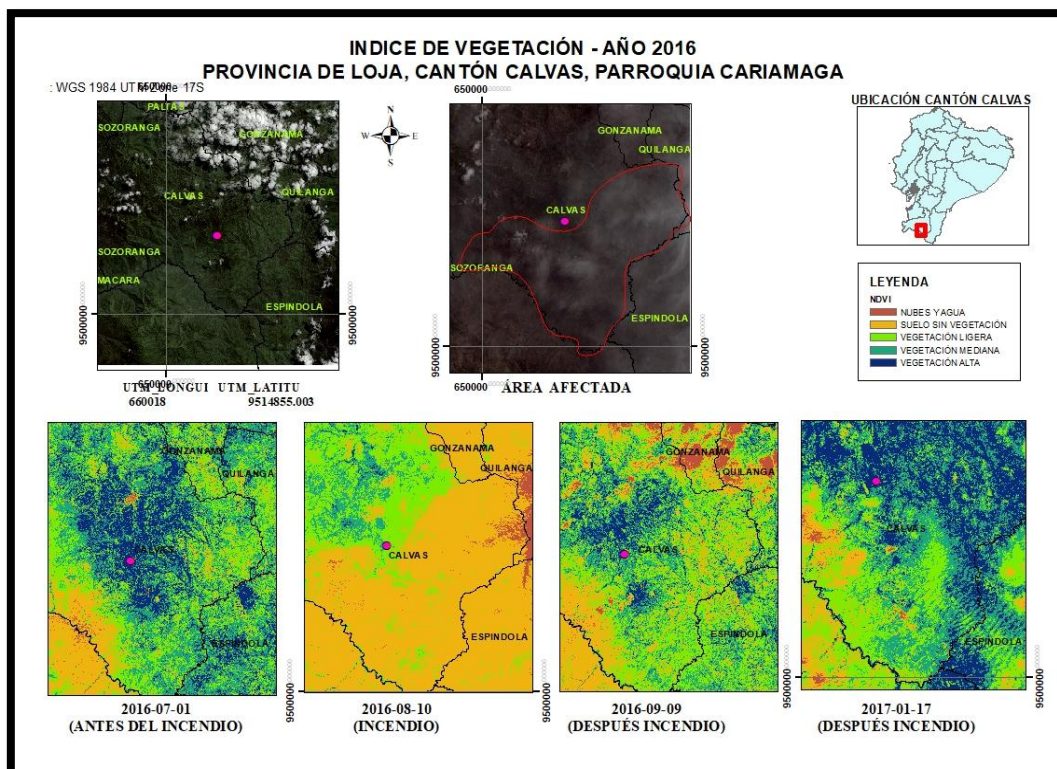
El índice de área quemada nos permitirá identificar el grado de afectación del incendio sobre el área de cobertura vegetal, gracias a esto determinamos un rango de afectación vegetal.

3.5.3 Imágenes satelitales.

Las imágenes satelitales son tomadas por los satélites Sentinel 2 y Landsat 8 las cuales permiten identificar los puntos donde ocurrieron los eventos, para esto hemos colocado en las láminas la ubicación del incendio, la delimitación del evento ocurrido y por último cuatro imágenes satelitales que indican la pérdida de vegetación.

Figura 4.

Imagen Satelital Loja 2016



Nota: La figura muestra las imágenes satelitales obtenidas por el satélite Sentinel 2 para determinar el índice de vegetación en una zona de quema de Loja en el año 2016, se utilizan 4

diferentes imágenes: 1) meses antes del incendio, 2) en la fecha del incendio, 3) 1 mes después del incendio y 4) 6 meses después del incendio, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

3.6 Metodología Maxent

3.6.1 *Obtención de datos*

Para este estudio se utilizó el programa Maxent con la finalidad de generar mapas de distribución de incendios que indiquen las zonas con mayor probabilidad de eventos con respecto a datos ambientales de variables climáticas históricas y futuras.

Los datos ambientales son obtenidos gratuitamente de la base de datos de WorldClim en donde se descargó el paquete de variables bioclimáticas históricas que contienen la media de los años 1970-2000, este paquete de datos contiene 19 archivos correspondientes a las 19 variables bioclimáticas.

De igual manera la base de datos de WorldClim se descargó los datos CMIP reducidos, resolución espacial de 30 segundos para el periodo de tiempo 2050 pertenecientes al paquete HadGEM2-2ES. Las variables climáticas descargadas son bioclimatic variables (bi) para los 4 diferentes escenarios con los que se va a trabajar (2.6, 4.5, 6.0 y 8.5).

3.6.2 *Delimitación de variables*

Una vez descargadas las variables climáticas históricas y futuras, se procede a delimitar su área a la zona de Ecuador, ya que estas variables son globales y para nuestro estudio, únicamente necesitamos de la zona de Ecuador. La delimitación de estas variables se realizó en el Software ArcGis 10.4.1 mediante la herramienta “Define Projection” del ARC Tool Box en donde tras definir el sistema de coordenadas para Ecuador (WGS84), cada Raster se proyectó en UTM Zona 17 S y finalmente se las recorto con la herramienta del mismo Software de ArcGis “Extract by Mask”. Estas variables recortadas en ArcGis se presentan en formato

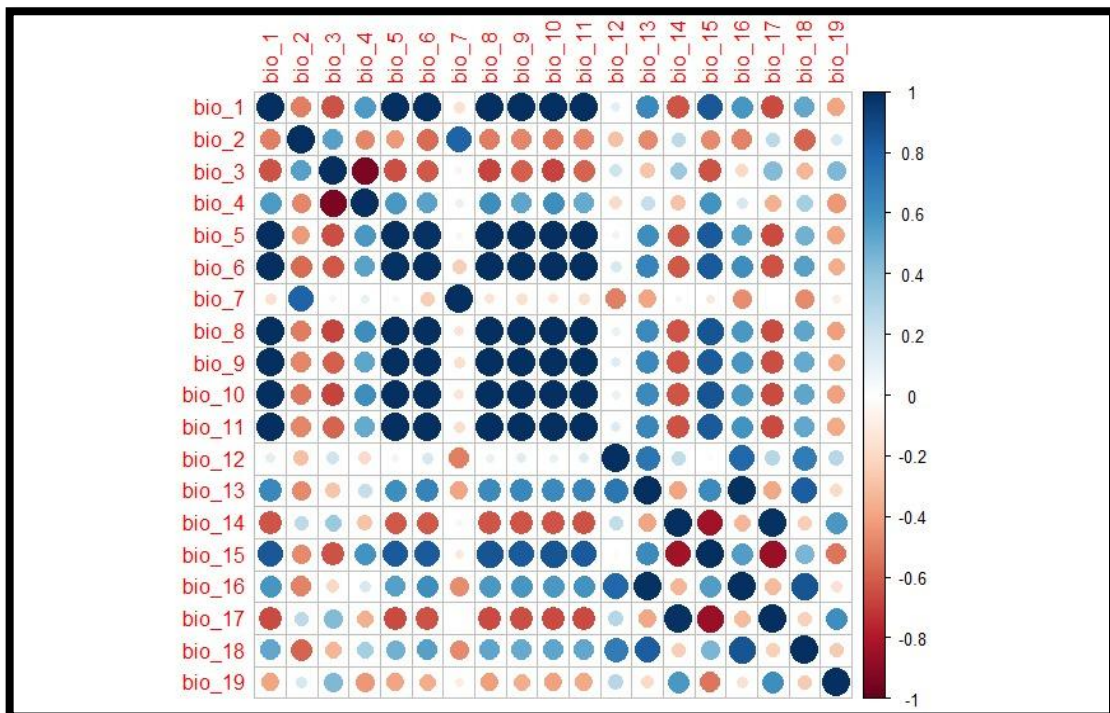
GRID, por lo que hay que cambiarlas a formato ASCII para que puedan ser leídas por el programa MAXENT, para esto usamos la herramienta “Raster to ASCII” del mismo ArcGIS. (Chico, 2021)

3.6.3 Determinación de las variables

Con el fin de determinar las variables con mayor influencia en los modelos de predicción, es importante que las variables no se correlacionen, es decir, que las variables no deben depender del comportamiento de las demás, ya que se estaría redundando en la información. Para extraer los valores de las 19 variables bioclimáticas en cada incendio, se debe usar la herramienta “Extract Multi Values To Points” del Arc Tool Box en el software ArcGis y posteriormente, con los valores de las variables podemos determinar su coeficiente de correlación de Person en el software IBM SPSS, como lo muestra la figura 5:

Figura 5.

Correlación de variables Bioclimáticas



Nota: La figura muestra la correlación entre las variables realizada utilizando el coeficiente Correlación de Person, se describe la correlación que existe entre las 19 variables bioclimáticas para determinar las variables a usar en el modelo de predicción en Maxent, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Donde:

BIO 01: Temperatura promedio anual (°C)

BIO 02: Rango Medio diario (°C)

BIO 03: Isotermalidad (°C)

BIO 04: Estacionalidad en temperatura (%)

BIO 05: Temperatura máxima del periodo más caliente (°C)

BIO 06: Temperatura mínima del periodo más frío (°C)

BIO 07: Rango anual de temperatura (°C)

BIO 08: Temperatura media en el trimestre más lluvioso (°C)

BIO 09: Temperatura promedio en el trimestre más seco (°C)

BIO 10: Temperatura promedio en el trimestre más caluroso (°C)

BIO 11: Temperatura promedio en el trimestre más frío (°C)

BIO 12: Precipitación anual (mm)

BIO 13: Precipitación en el período más lluvioso (mm)

BIO 14: Precipitación en el período más seco (mm)

BIO 15: Estacionalidad de la precipitación (%)

BIO 16: Precipitación en el trimestre más lluvioso (mm)

BIO 17: Precipitación en el trimestre más seco (mm)

BIO 18: Precipitación en el trimestre más caluroso (mm)

BIO 19: Precipitación en el trimestre más frío (mm)

3.6.4 Configuración de la Corrida

Tabla 2.

Configuración de corrida

CRITERIO	DESCRIPCIÓN	CONFIGURACIÓN
Threshold features	Representa proporcionalidad en las variables con respecto a la probabilidad.	DESACTIVADA
Hinge features	Le indica al programa mantener las caídas perpendiculares en las curvas de respuesta.	DESACTIVADA
Logscale Raw	Le indica al programa que maneje a todas las variables de forma lineal, más no exponencial.	ACTIVADA

Random seed:	Le indica al programa que tome valores de forma aleatoria.	ACTIVADA
Puntos de fondo (background)		10000
Umbral de convergencia		0,00001
Salida		Logístico

Nota: La tabla muestra la configuración que se debe realizar en el programa Maxent para la corrida, esta configuración fue tomada de (Espinoza 2021, p. 31).

3.6.5 Corrida

Posterior se realizan los modelos de prueba en el programa MAXENT en el cual se carga un archivo CSV previamente preparado que contenga las coordenadas de los eventos históricos de incendios con mayor relevancia y por otro lado las variables históricas y futuras delimitadas para Ecuador. Tras correr el programa, este nos arroja un archivo formato html en el que se puede analizar los resultados de este modelamiento y mediante el análisis de los gráficos Jackknife se determinan las variables que influyen en el modelamiento predictivo.

3.6.6 Validación de los modelos

Para validar los modelos predictivos se utiliza el Área bajo la Curva (AUC), el cual representa la eficacia del modelo, donde los valores de AUC van desde 0 a 1 siendo un $AUC > 0.9$ un modelo con excelente poder predictivo y con alto grado de confiabilidad, AUC entre 0.6 y 0.9 significa que el modelo es bueno y con un alto grado de confiabilidad y un $AUC < 0.5$ un modelo con grado de confiabilidad nulo.

3.7 Análisis Estadístico

Se realiza el análisis estadístico usando los datos de las variables climáticas (temperatura y humedad) recogidas por las estaciones meteorológicas a nivel nacional, para el estudio se toma en cuenta las estaciones que recojan todos los datos y las que presentan vacíos se descartan, por lo que se armó una base de datos de climáticos que nos permita trabajar con mayor facilidad en el software SPSS.

Estos análisis nos permiten establecer la importancia de las variables utilizadas para la generación de los eventos y entender su comportamiento a lo largo del tiempo, para así, estimar la probabilidad de ocurrencia de los eventos futuros.

3.7.1 Análisis de componentes principales

El ACP se lo debe realizar a través de un análisis factorial en donde identifica las variables y explica la configuración de correlación entre ellas, necesariamente las variables deben estar relacionadas entre sí y es por eso que se usa la Temperatura y Humedad para realizar este análisis. El software que nos permite realizar este análisis es SPSS, la cual nos permite cargar las variables en estudio en la herramienta “Análisis Factorial” y la misma herramienta se realiza una configuración en la función “Descriptivos” para activar la opción de matriz de correlación KMO. El coeficiente KMO nos indica si las correlaciones son adecuadas y mientras mayor sea su valor significa que es más adecuado (entre 0 y 1).

Una vez corrido el programa con estas configuraciones nos arroja como resultado la tabla de varianza total explicada en la que podemos observar el porcentaje de varianza de los factores de total de varianza observada de nuestras variables originales cargadas.

3.7.2 Análisis Estacional

Este análisis nos permite estudiar y modelar el comportamiento de un fenómeno en periodos de tiempo para realizar previsiones a futuro. El método utilizado para realizar este

modelo se desarrolla gracias a la función de análisis de series temporales con SPSS en donde usamos las variables de temperatura y humedad entre los años 2000 y 2013.

Para llevar a cabo este análisis primero se debe realizar una descomposición estacional que como su nombre lo indica, descompone la serie en sus componentes estacionales, entonces se cargan las variables de temperatura y humedad y se debe indicar el método para modelar los factores estacionales, en nuestro caso se usa el método “*Multiplicativo*”, la ponderación de la media móvil es “*Puntos finales ponderados por ,5*” ya que nuestra longitud de periodo es de 12 meses y al ser un numero par, se debe escoger esta opción.

El resultado generado en SPSS es un cuadro resumen del modelo y un cuadro donde se presentan los valores de los factores estacionales que nos permiten entender que pasa con los valores de la serie en cada mes del año, es decir, de que manera aumenta o disminuye la tendencia de la serie.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Base de datos histórica

Se obtuvieron inicialmente un total de 19790 registros de incendios en el Ecuador, sin embargo, después de depurar los registros que tenían coordenadas erróneas, se obtuvieron como registro oficial un total de 18738 incendios en el Ecuador entre los años 2010 y 2020

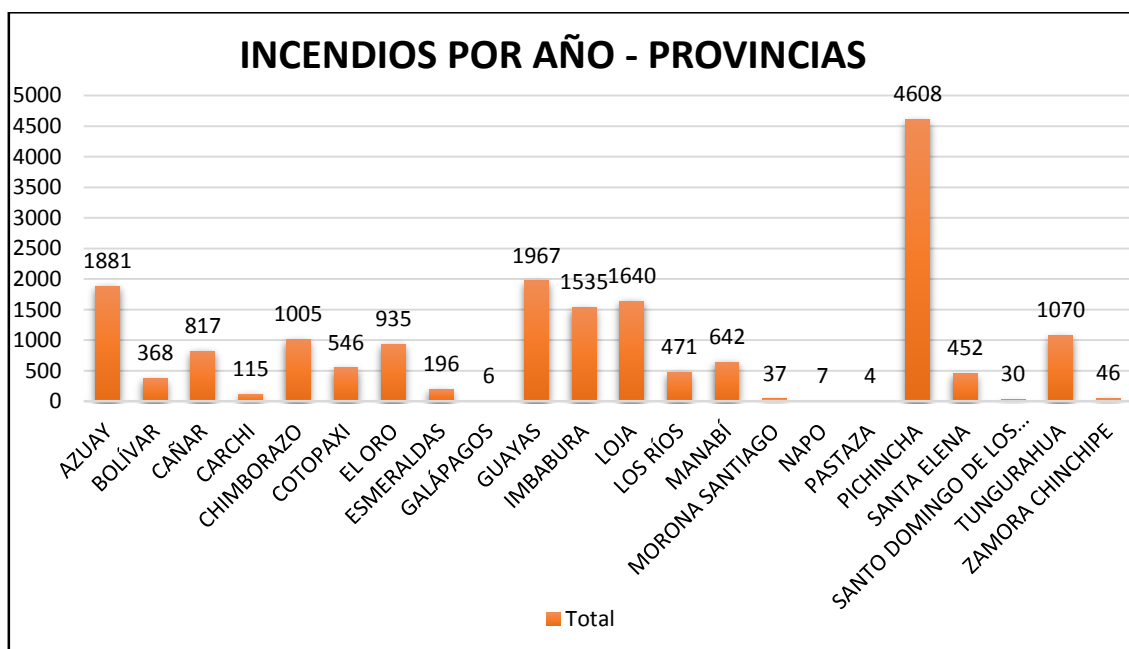
4.2 Análisis base de datos histórica – Incendios por año provincia

4.2.1 Incendios por año – provincias

Se determinó que, dentro de la línea de tiempo establecida para el estudio de los incendios ocurridos en el Ecuador (2010 – 2020), se obtuvo un total de 18379 eventos dentro los cuales comprende las tres regiones del país. La provincia con el mayor número de incendios registrados es la provincia de Pichincha, con un total de 4608 incendios registrados.

Figura 6.

Incendios por Año – Provincias



Nota: La figura muestra el conteo de incendios por provincia y por año en el Ecuador, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

4.2.2 Incendios repitencia por zona

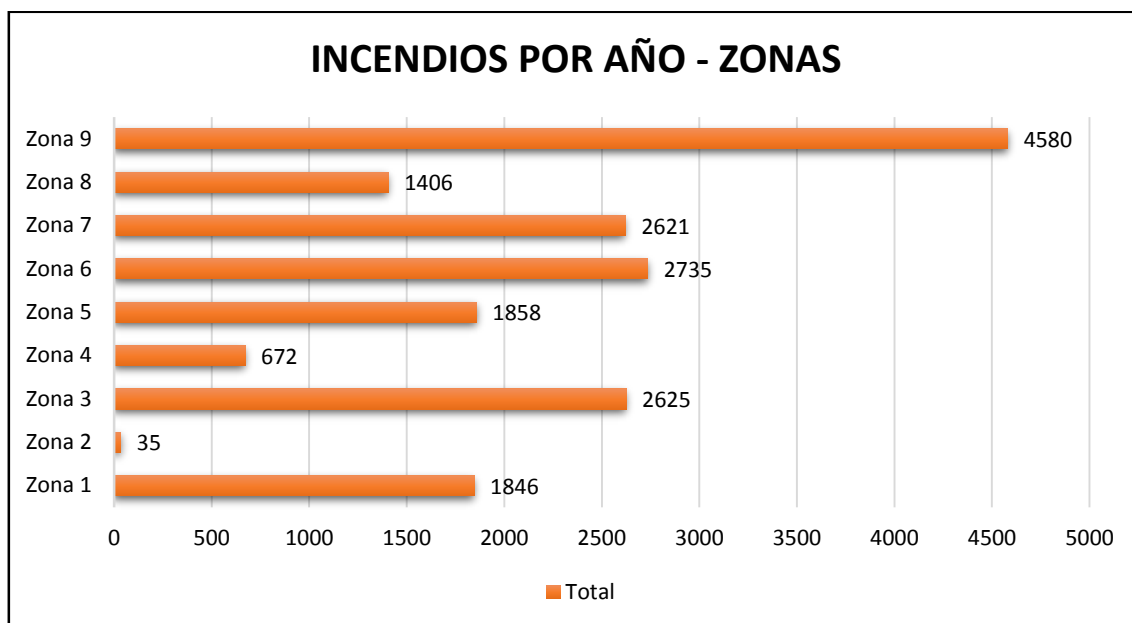
La República del Ecuador esta sectorizada por zonas las cuales de manera individual son el conjunto de provincias para un mayor ordenamiento territorial, dentro de las cuales se han determinado gobiernos autónomos descentralizados que ayudan a una mejor organización.

- Zona 1: Esmeraldas, Imbabura, Carchi y Sucumbíos.
- Zona 2: Pichincha (excepto el cantón Quito), Napo y Orellana.
- Zona 3: Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo y Pastaza.
- Zona 4: Manabí y Santo Domingo de los Tsáchilas.
- Zona 5: Santa Elena, Guayas, Bolívar, Los Ríos y Galápagos.
- Zona 6: Cañar, Azuay y Morona Santiago.
- Zona 7: El Oro, Loja y Zamora Chinchipe.
- Zona 8: Guayaquil, Samborondón y Duran.
- Zona 9: Distrito Metropolitano de Quito.

La repitencia de los incendios durante la línea de tiempo establecida para el estudio, se determina que la Zona 9 fue la que presenta un mayor número de eventos con un total de 4580 incendios, mientras que la Zona 2 es la que tiene el menor número de eventos registrados llegando a un total de 35 incendios.

Figura 7.

Incendios por Año – Zonas



Nota: La figura muestra el conteo de incendios por zonas y por año en el Ecuador, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

4.2.3 Incendios hectáreas de cobertura afectada por Provincia

Después del análisis de la cobertura afectada por los incendios se determinó tres provincias con mayor afectación, se obtuvo un total de 37219,598 hectáreas correspondiente a la provincia de Loja como la de mayor afectación en cobertura vegetal, Pichincha con 26240,437 hectáreas afectadas está en segundo lugar de afectación, mientras que Azuay con 19420,233 hectáreas es la provincia con menor afectación en cobertura afectada.

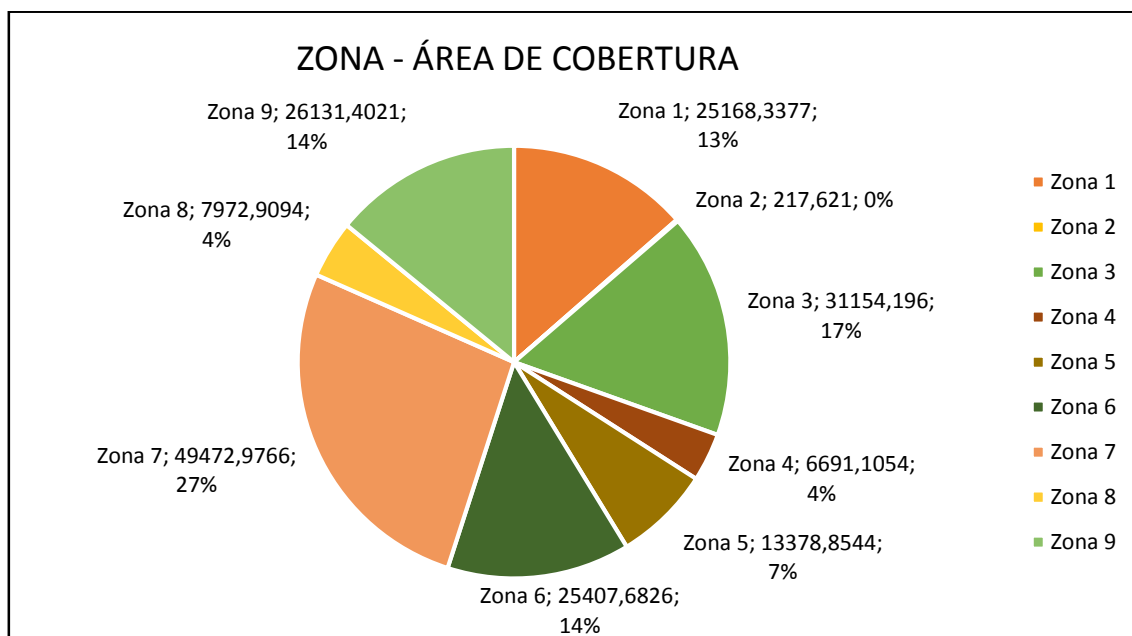
La región oriente del país es la de menor extensión con cobertura vegetal afectada, la provincia de Pastaza representa el menor número de extensión afectada con 0.43 hectáreas quemadas, dentro de la línea de tiempo establecida para el estudio

4.2.4 Área de cobertura por zonas

Los sectores con mayor repitencia en algunos años no han sido clasificados como los de mayor impacto, ya que dentro de la clasificación por zonas se obtiene que la zona 7 con un 27% de cobertura lo cual en extensión es 49472.98 hectáreas, las cuales están comprendidas entre las provincias de El Oro, Loja y Zamora Chinchipe de las cuales Loja es por mucho el área con mayor número de hectáreas afectadas.

Figura 8.

Zona – Área de cobertura

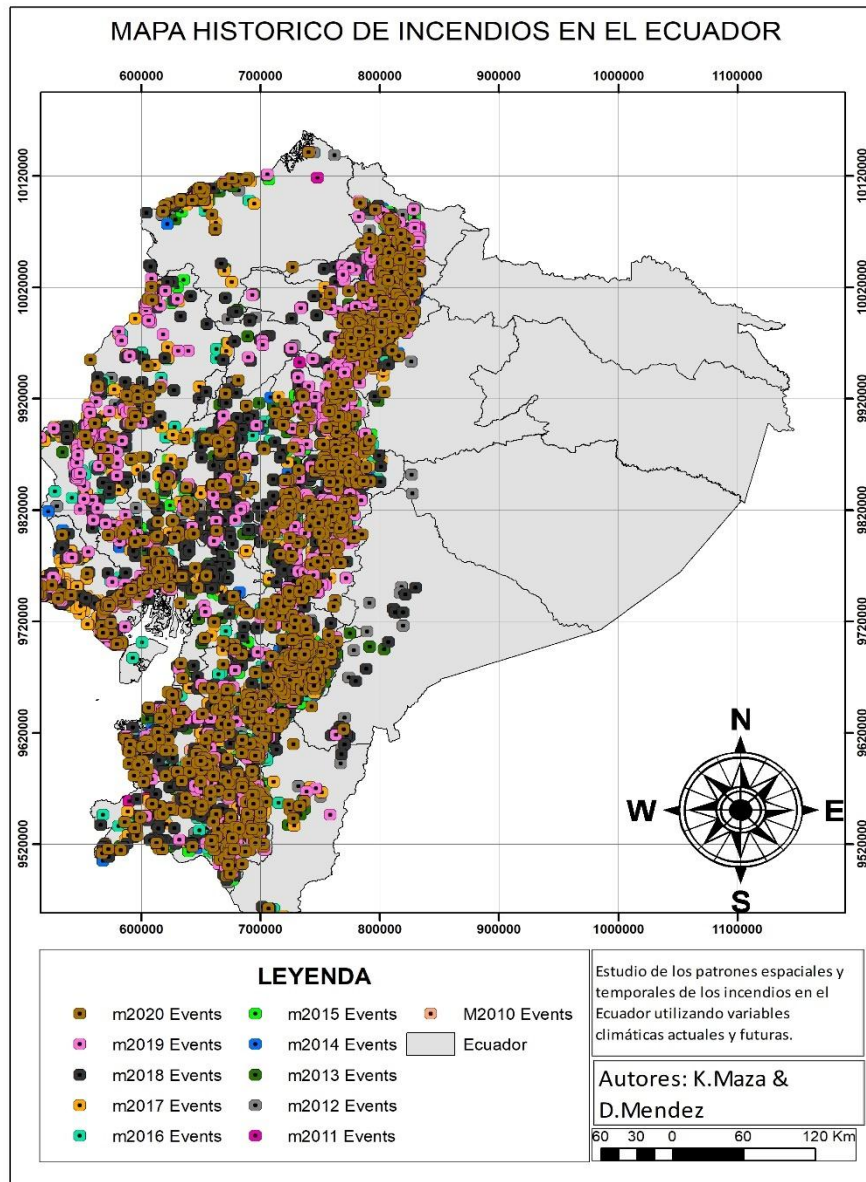


Nota: La figura muestra el porcentaje de área de cobertura afectada por el incendio, tomando como referencia la zona donde ocurrió el incendio, elaborado por (Maza y Méndez, 2022).

4.3 Mapa Histórico

Figura 9.

Mapa Histórico



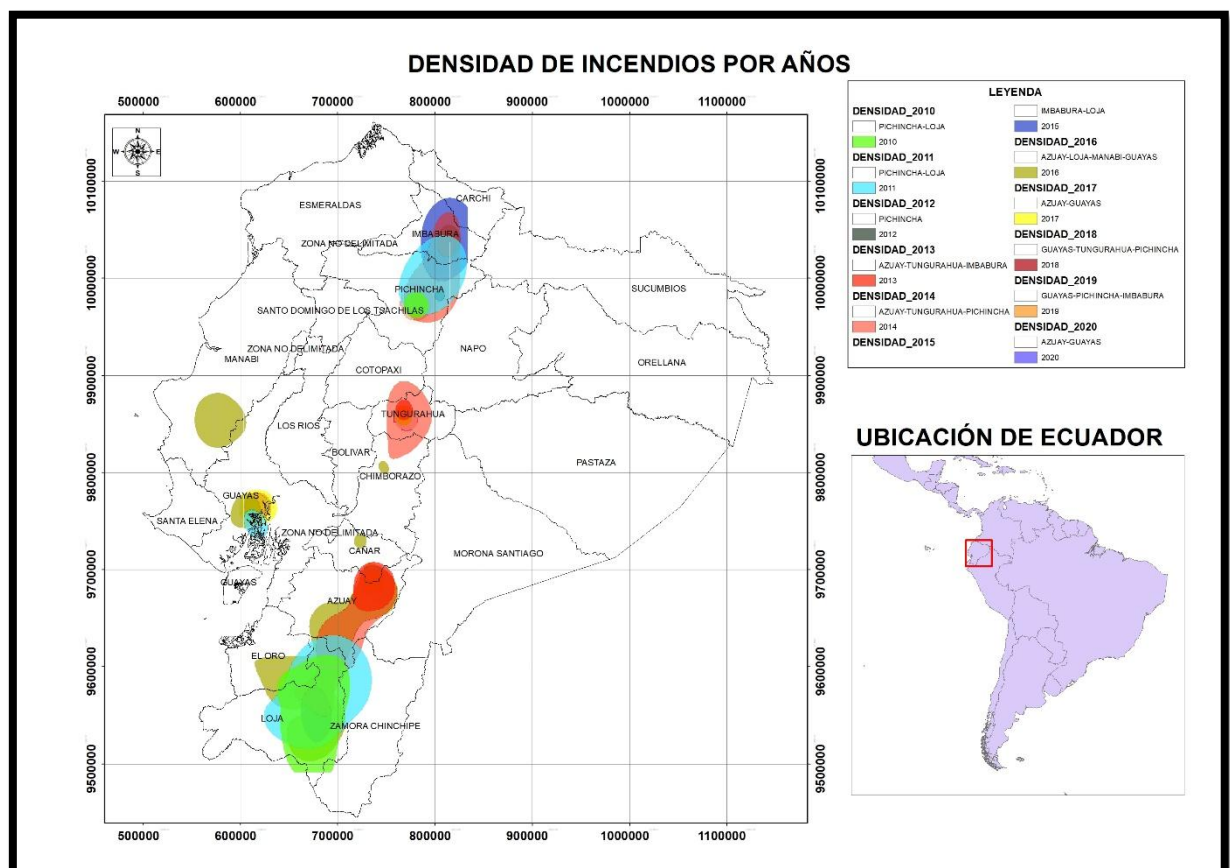
Nota: La figura muestra la representación de grafica del total de incendios registrados en el Ecuador del 2010 al 2020, identificados por colores con respecto a cada año, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Los resultados históricos de los incendios ocurridos en el Ecuador se logran observar en el mapa clasificados por colores, desde el año 2010 hasta la actualidad, los registros de incendios empiezan con un bajo número de registros ya que al implementar esta modalidad no era tan común llevar el seguimiento, además la falta de instrumentos que permiten la geolocalización de los incendios a inicios de esta década, dificultaba su correcto registro.

4.4 Mapa de Densidad

Figura 10.

Mapa de Densidad Anual



Nota: La figura muestra la representación de grafica de los incendios por su densidad, es decir, mediante un conteo de incendios en una misma zona se puede determinar las ubicaciones donde se producen la mayor cantidad de incendios al año, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

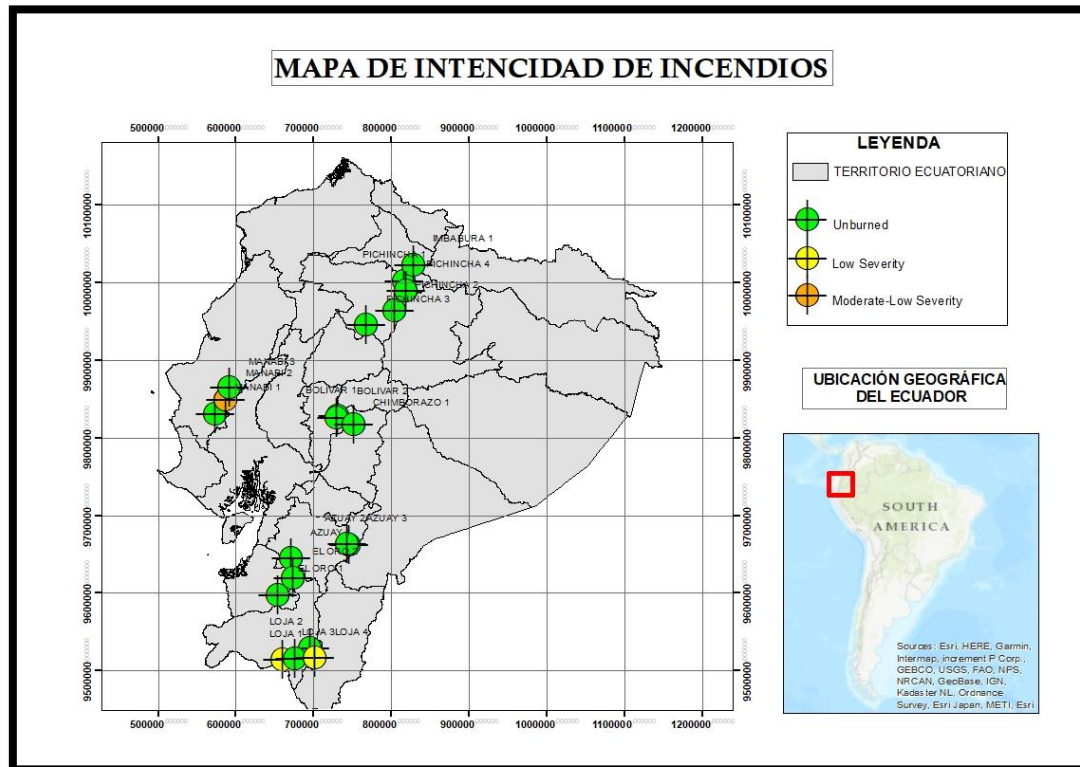
La densidad anual que hemos analizado empieza desde el año 2010 hasta el año 2020 siendo la sierra la de mayor representación por densidad. Durante todos los años han ocurrido eventos en todo el país siendo algunos mayores que otros debido a los factores climáticos como pueden ser extensas temporadas de sequía o fenómenos como el niño o la niña, en el lapso 10 años de estudio la provincia de Manabí junto con Loja y Guayas fueron representativas por su número de incendios registrados, siendo Manabí por primera vez la provincia con mayor afectación a causa de incendios.

El mayor resultado del mapa de densidad nos indica que la mayoría de los años su densidad esta consolidada en las extremos norte y sur de la sierra, considerara como la región con mayor impacto ambiental a causa de los incendios forestales o quemas agrícolas descontroladas.

4.5 Mapa de Intensidad

Figura 11.

Mapa de Intensidad



Nota: La figura muestra la representación de grafica de la intensidad de los incendios mediante el calculo del NBR, proveniente de las imágenes satelitales obtenidas de las zonas donde ocurrieron los incendios antes, durante y después elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Una vez obtenido el Índice Normalizado de Área Quemada (NBR) de las imágenes satelitales, se calculó el dNBR para poder determinar el nivel de severidad de los incendios, los valores de dNBR pueden variar dependiendo de los casos y la interpretación de esos resultados se deben realizar conjuntamente con evaluaciones de campo con el fin de obtener resultados más certeros, se utilizó los niveles de severidad en incendios obtenidos a partir del

dNBR propuesto por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) y obtuvimos los siguientes resultados:

Tabla 3.








Nivel de Severidad de incendio

PROVINCIA	AÑO	CANTON	dNBR	Severity level
MANABI 1	2016	OLMEDO	0,0901885	Sin Quemar
MANABI 2	2016	PAJAN	0,3349365	Severidad Moderada - Baja
MANABI 3	2016	24 DE MAYO	6	Sin Quemar
EL ORO 1	2018	ARENILLAS	0,0901885	Sin Quemar
CHIMBORAZO 1	2020	PUNGALA	0,0935021	Sin Quemar
AZUAY 1	2020	CHORDELE	0,0218446	Sin Quemar
BOLIBAR 1	2017	G	0,0278162	Sin Quemar
EL ORO 2	2018	GUARANDA	0,0712538	Sin Quemar
PICHINCHA 1	2019	1	2	Sin Quemar
PICHINCHA 2	2019	PORTOVIEJ	0,0792432	Sin Quemar
AZUAY 2	2016	O	0,0651974	Sin Quemar
AZUAY 3	2016	QUINCHE	1	Sin Quemar
PICHINCHA 3	2017	MEJIA	0,0651974	Sin Quemar
LOJA 1	2016	PUCARA	0,0159302	Sin Quemar
IMBABURA 1	2017	SIGSIG	0,0159302	Sin Quemar
LOJA 2	2019	CAYAMBE	0,0165165	Sin Quemar
LOJA 3	2019	LOJA	2	Sin Quemar
LOJA 4	2020	ESPINDOLA	0,1358918	Severidad Baia
PICHINCHA 4	2019	QUITO	0,0486492	Sin Quemar
			2	Sin Quemar
			0,0471291	Sin Quemar
			7	Sin Quemar
			0,0471291	Sin Quemar
			7	Sin Quemar
			0,1358918	Severidad Baia
			5	Sin Quemar
			0,0165165	Sin Quemar
			2	Sin Quemar

Nota: La tabla muestra los niveles de severidad de los incendios con respecto al valor del dNBR, los niveles de severidad obtenidos determinan la capacidad de recuperación de la vegetación en las zonas afectas por el incendio, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Tabla 4.

Niveles de severidad en incendios

	Nivel de Severidad	Rango dNBR
	Rebrote mejorado, alto (post-fuego)	-0.500 to -0.251
	Rebrote mejorado, bajo (post-fuego)	-0.250 to -0.101
	Sin Quemar	-0.100 to +0.99
	Severidad Baia	+0.100 to +0.269
	Severidad Moderada - Baja	+0.270 to +0.439
	Severidad Moderada - Alta	+0.440 to +0.659
	Alta Severidad	+0.660 to +1.300

Nota: La tabla muestra la clasificación del nivel de severidad con respecto a los valores de dNBR tomado de (USGS, 2019).

El evento con el valor más alto de dNBR fue en la provincia de Manabí en el año 2016, donde su valor indica un daño más severo pero que debido al nivel de recuperación, se categoriza en moderado, los valores bajos indican un nuevo crecimiento después del incendio y es el caso de la mayoría de las provincias donde como resultados se obtuvo un nivel de Unburned.

Estos resultados, tanto los datos como el mapa de severidad del incendio, no permiten desarrollar planes de rehabilitación y restauración posteriores al incendio y además, estimar la severidad del incendio en el suelo y en futuros impactos a este (Keeley, 2009).

4.6 MAXENT

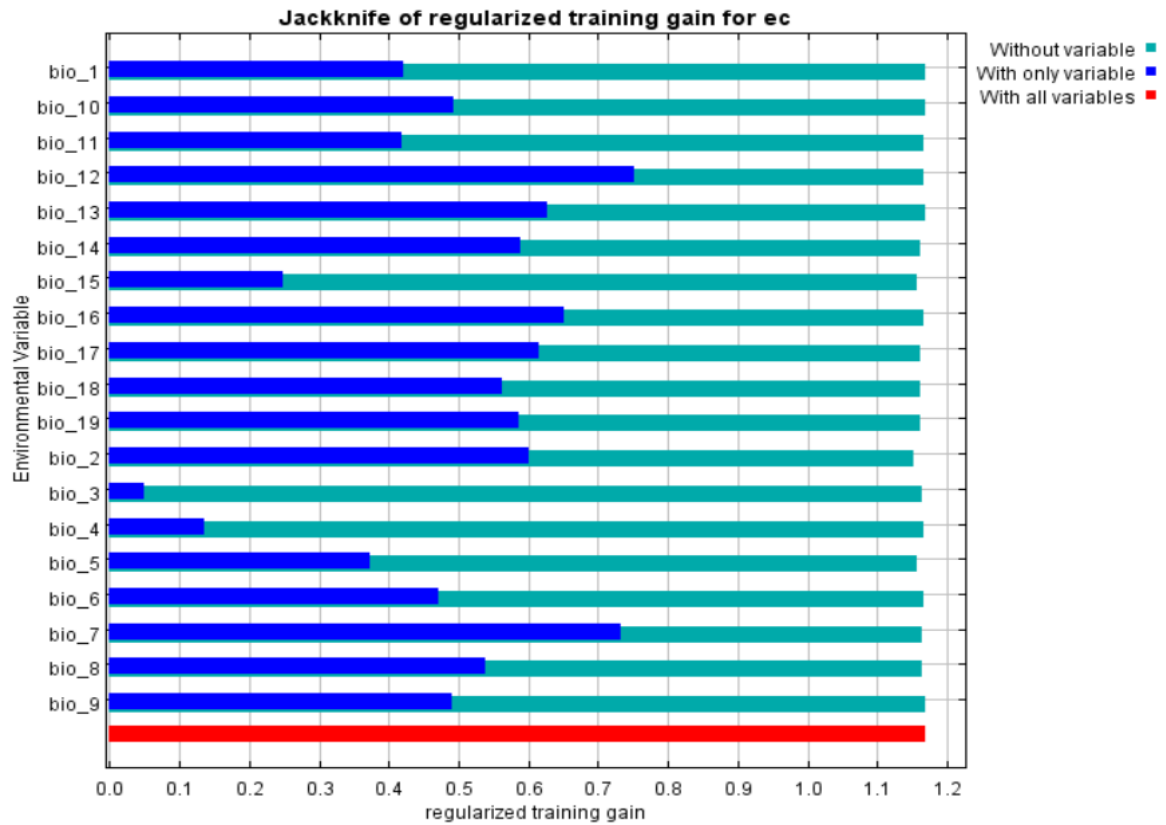
4.6.1 Variables significativas Modelo MAXENT

La figura 1 nos da como resultado las variables que no tienen correlación y que fueron representativas al momento de generar el modelo fueron la bio_12 (precipitación anual), bio_2 (rango medio diurno) y bio_19 (precipitación en el trimestre más frío), arrojando como resultado que la componente ambiental precipitación, es la que mayormente influye en la ocurrencia de incendios en el Ecuador.

El grafico Jackknife generado por el modelo en MAXENT, nos permite observar las variables con mayor contribución en el modelo ya que este grafico permite representar la efectividad del modelo con respecto a las variables bioclimáticas usadas y su porcentaje de contribución se lo presenta de color azul oscuro.

Figura 12.

Jackknife Modelo Actual



Nota: La figura muestra la contribución de las variables al modelo al modelo actual, en donde, la franja azul representa la mayor contribución de las variables (bio_12 y bio_7) elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

La figura 13 nos indica las variables que tienen mayor contribución en el modelo actual (franja azul), tales como: bio_12 (Precipitación anual (mm)) y bio_7 (Rango anual de temperatura (°C)), es decir, estas variables contienen información útil para el modelo, mientras que la variable bio_3 (Isotermalidad (°C)) no contribuyen significativamente al modelo actual.

A continuación, se detalla el porcentaje de contribución de las 19 variables Bioclimáticas en el modelo actual.

Tabla 5.

Contribuciones relativas de las variables ambientales al modelo actual

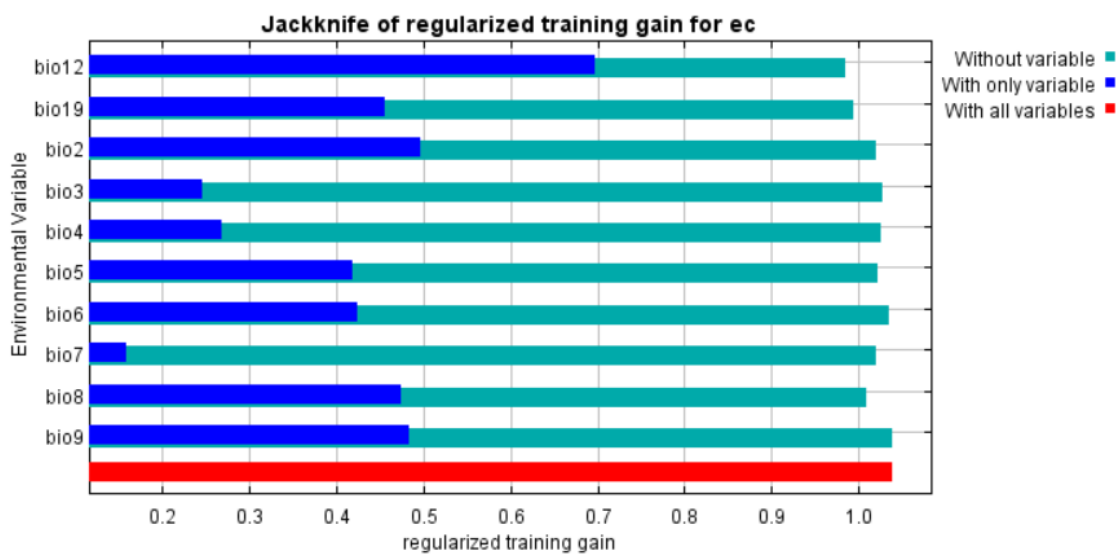
Código	Variable Bioclimática	Porcentaje de contribución (%)
Bio_12	Precipitación anual (mm)	35.2
Bio_2	Rango Medio diurno (°C)	13.3
Bio_19	Precipitación en el trimestre más frío (mm)	9.2
Bio_16	Precipitación en el trimestre más lluvioso (mm)	6.8
Bio_13	Precipitación en el período más lluvioso (mm)	6.3
Bio_14	Precipitación en el período más seco (mm)	4.7
Bio_5	Temperatura máxima del periodo más caliente (°C)	3.3
Bio_7	Rango anual de temperatura (°C)	2.8
Bio_18	Precipitación en el trimestre más caluroso (mm)	2.7
Bio_17	Precipitación en el trimestre más seco (mm)	2.7
Bio_6	Temperatura mínima del periodo más frío (°C)	2.4
Bio_1	Temperatura promedio anual (°C)	2.1
Bio_8	Temperatura media en el trimestre más lluvioso (°C)	1.8
Bio_3	Isotermalidad (°C)	1.6
Bio_10	Temperatura promedio en el trimestre más caluroso (°C)	1.6
Bio_11	Temperatura promedio en el trimestre más frío (°C)	1.2

Bio_15	Estacionalidad de la precipitación (%)	1
Bio_9	Temperatura promedio en el trimestre más caluroso (°C)	0.8
Bio_4	Estacionalidad en temperatura (%)	0.5

Nota: La tabla muestra el porcentaje de contribución de las variables ambientales utilizadas en el modelo actual, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 13.

Jackknife Modelo 2.6 Optimista



Nota: La figura muestra la contribución de las variables al modelo al modelo optimista 2.6, en donde, la franja azul representa la mayor contribución de las variables bio_12 y bio_2, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

La figura 14 nos indica que la variable con mayor contribución en el modelo actual (franja azul), es, al igual que la del modelo en el escenario 2.6, la bio_12 (Precipitación anual (mm)), es decir, esta variable contiene información útil para el modelo actual y la del escenario

2.6 también, sin embargo, en este caso la variable bio_7 (Rango anual de temperatura (°C)) indica que no tiene una contribución significativa a este modelo.

A continuación, se detalla el porcentaje de contribución de las 10 variables Bioclimáticas en el modelo del escenario 2.6.

Tabla 6.

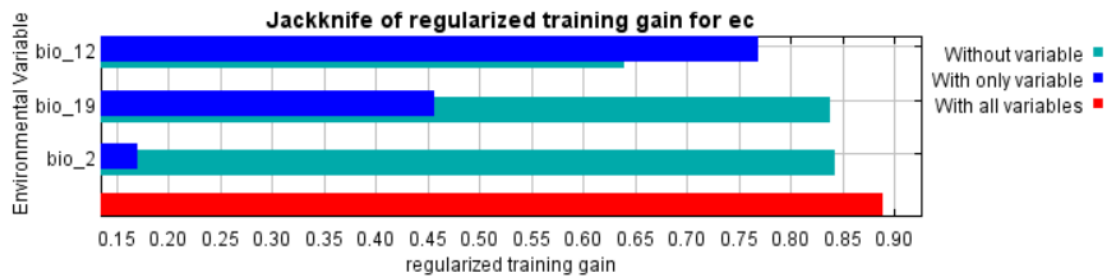
Contribuciones relativas de las variables al modelo del escenario 2.6

Código	Variable Bioclimática	Porcentaje de contribución (%)
Bio_12	Precipitación anual (mm)	48.7
Bio_2	Rango Medio diario (°C)	17
Bio_8	Temperatura media en el trimestre más lluvioso (°C)	7.7
Bio_19	Precipitación en el trimestre más frío (mm)	6.9
Bio_6	Temperatura mínima del periodo más frío (°C)	4.6
Bio_5	Temperatura máxima del periodo más caliente (°C)	4
Bio_7	Rango anual de temperatura (°C)	3.7
Bio_3	Isotermalidad (°C)	3.4
Bio_4	Estacionalidad en temperatura (%)	2.5
Bio_9	Temperatura promedio en el trimestre más caluroso (°C)	1.5

Nota: La tabla muestra el porcentaje de contribución de las variables ambientales utilizadas en el modelo optimista 2.6, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 14.

Jackknife Modelo 4.5 Estabilización

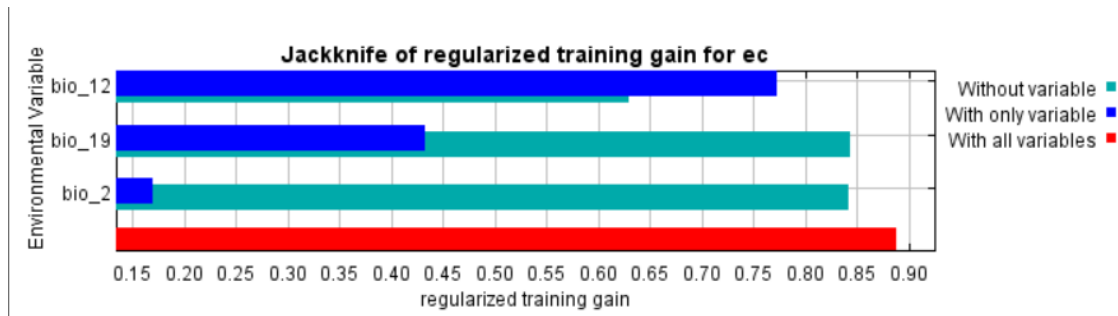


Nota: La figura muestra la contribución de las variables al modelo de estabilización 4.5, en donde, la franja azul representa la mayor contribución de las variables bio_12 y bio_19, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

La figura 15 nos indica que la variable con mayor contribución en el modelo del escenario 4.6 (franja azul), siendo nuevamente la bio_12 (Precipitación anual (mm)) pero para el modelo las variables que se describen son las que contienen información útil para llevar a cabo el modelo, es decir, las variables: bio_12 (Precipitación anual (mm)), bio_19 (Precipitación en el trimestre más frío (mm)) y bio_2 (Rango Medio diario (°C)).

Figura 15.

Jackknife Modelo 6.0 Estabilización

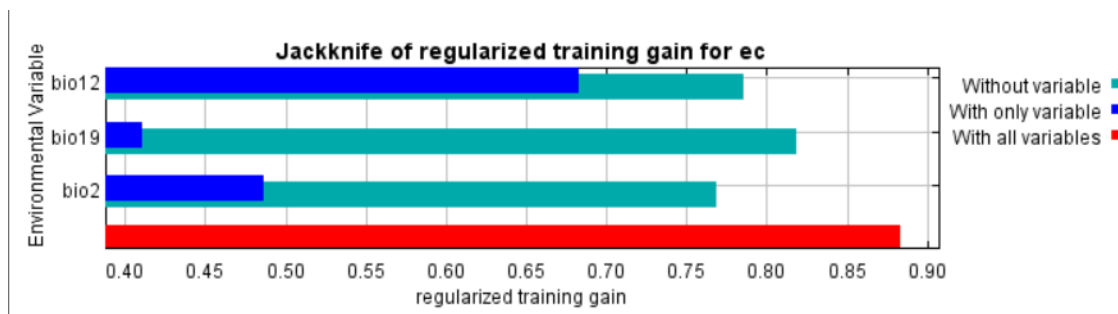


Nota: La figura muestra la contribución de las variables al modelo de estabilización 6.0, en donde, la franja azul representa la mayor contribución de las variables bio_12 y bio_19, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Podemos evidenciar que en los escenarios 4.5 y 6.0, la contribución de las variables es similar, ya que estos escenarios son los de estabilización.

Figura 16.

Jackknife Modelo 8.5 Pesimista



Nota: La figura muestra la contribución de las variables al modelo pesimista 8.5, en donde, la franja azul representa la mayor contribución de las variables bio_12 y bio_2, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

La figura 17 nos indica que la variable con mayor contribución en el modelo 8.5 (franja azul), siendo nuevamente la bio_12 (Precipitación anual (mm)) pero para el modelo las

variables que se describen en el gráfico son las que contienen información útil para llevar a cabo el modelo, es decir, las variables: bio_12 (Precipitación anual (mm)), bio_19 (Precipitación en el trimestre más frío (mm)) y bio_2 (Rango Medio diario (°C)).

A diferencia de los escenarios 4.5 y 6.0, la variable bio_2 (Rango Medio diario (°C)) tiene mayor contribución que la variable bio_19 (Precipitación en el trimestre más frío (mm)) en este escenario.

A continuación, se detalla el porcentaje de contribución de las 3 variables Bioclimáticas en los modelos 4.5, 6.0 y 8.5.

Tabla 7.

Contribuciones relativas de las variables

Código	Variable Bioclimática	Porcentaje	Porcentaje	Porcentaje
		de contribución 4.5 (%)	de contribución 6.0 (%)	de contribución 8.5 (%)
Bio_12	Precipitación anual (mm)	88.5	84.4	66
Bio_19	Precipitación en el trimestre más frío (mm)	7.8	7.8	26.8
Bio_2	Rango Medio diario (°C)	6.8	7.8	7.2

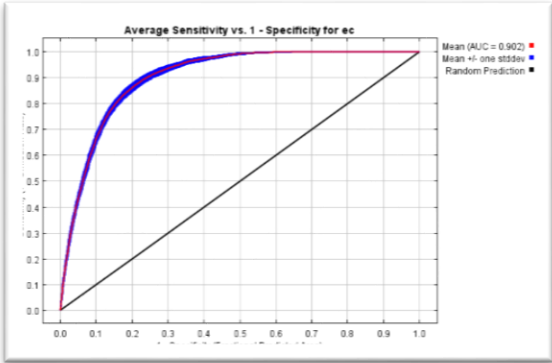
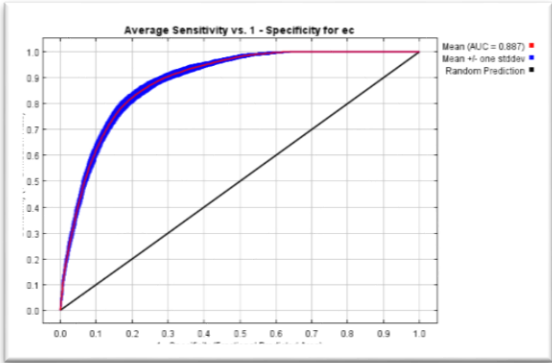
Nota: La tabla muestra el porcentaje de contribución de las variables ambientales utilizadas en los modelos de estabilización (4.5 y 6.0) y el modelo pesimista (8.5), elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

4.6.2 Validación de modelos predictivos

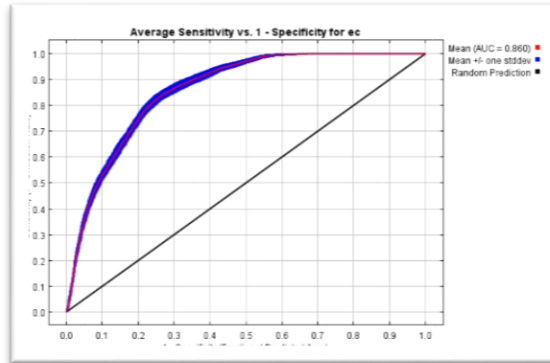
En la tabla 10 se puede evidenciar que los valores de AUC (Área debajo de la curva) para todos los escenarios se encuentran en rangos satisfactorios, lo que quiere decir que las predicciones realizadas en cada uno de los modelos tienen un alto grado de confiabilidad.

Tabla 8.

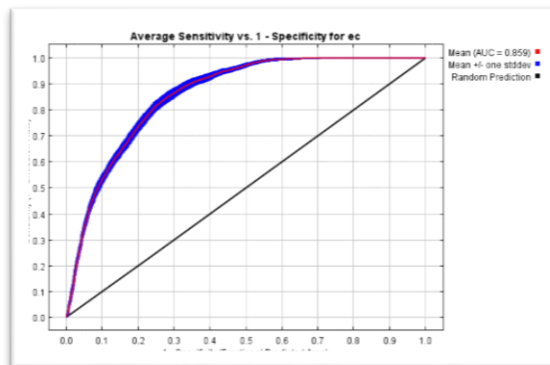
Resultados del AUC entre escenarios

		AUC	GRÁFICA
Modelo			
Actual	0.902		
2.6	0.887		

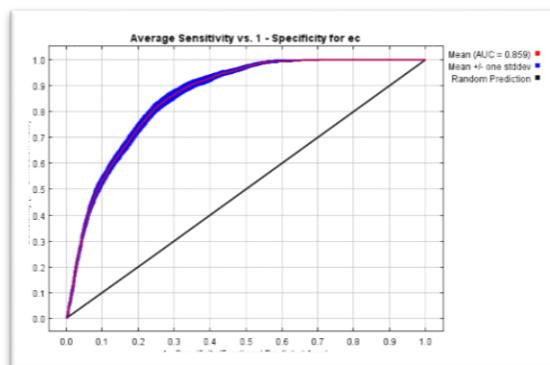
4.5 0.860



6.0 0.859



8.5 0.859



Nota: La tabla muestra el nivel de confiabilidad de los modelos con respecto al valor obtenido de AUC, en donde, se puede determinar que en cada modelo el nivel de confiabilidad es alto y entendemos que las predicciones realizadas son correctas, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

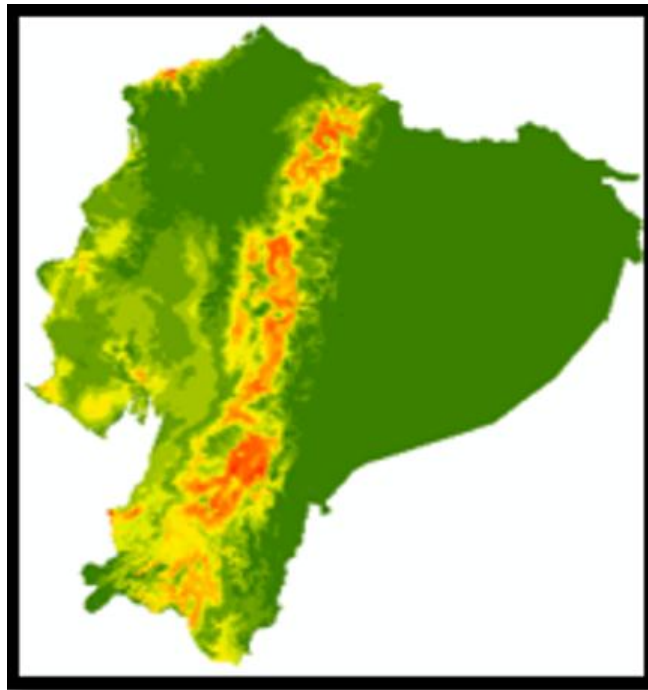
4.6.3 *Análisis Comparativo de modelos predictivos*

En los mapas de la figura 18 se puede observar cómo varía el área con mayor probabilidad de incendio desde el modelo actual a los demás escenarios, siendo los escenarios

más representativos el 2.6 y 8.5, que como se puede evidenciar, presentan una amplia variación de área con mayor probabilidad de incendio

Figura 17.

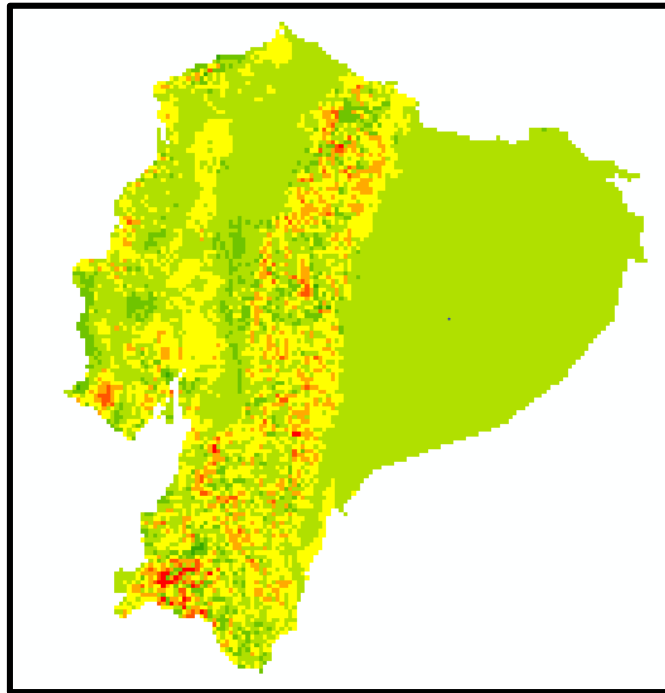
Modelo actual de área con mayor probabilidad de incendios



Nota: La figura muestra la representación gráfica de las zonas con mayor probabilidad de afectación de incendios en el modelo actual en color rojo, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 18.

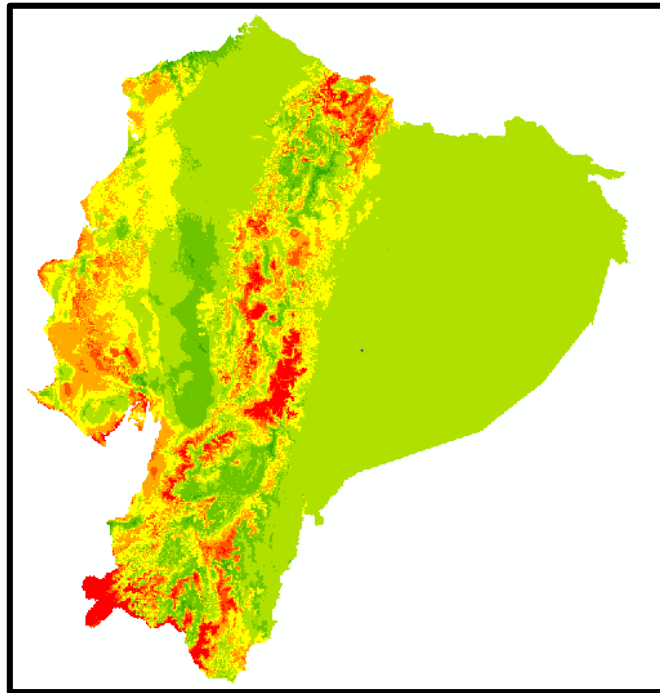
Modelo RCP (Representative Concentration Pathways) 2.6



Nota: La figura muestra la representación gráfica de las zonas con mayor probabilidad de afectación de incendios en el modelo optimista 2.6 en color rojo, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 19.

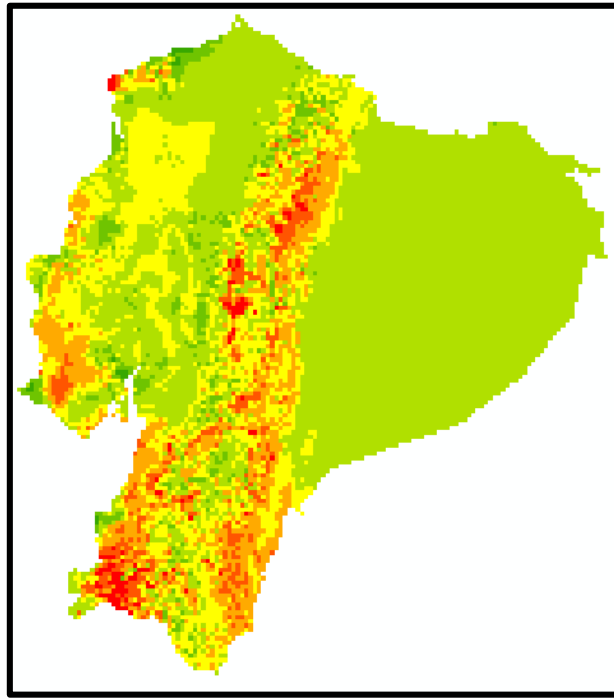
Modelo RCP (Representative Concentration Pathways) 4.5



Nota: La figura muestra la representación gráfica de las zonas con mayor probabilidad de afectación de incendios en el modelo de estabilización 4.5 en color rojo, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 20.

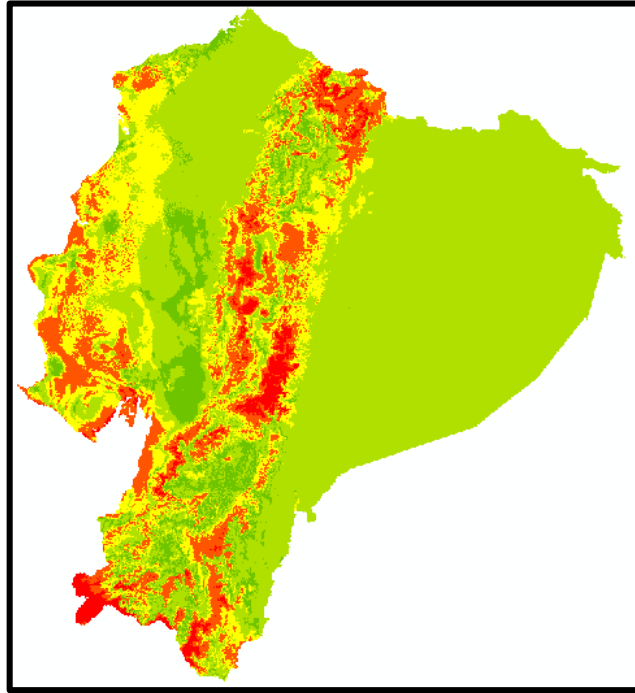
Modelo RCP (Representative Concentration Pathways) 6



Nota: La figura muestra la representación gráfica de las zonas con mayor probabilidad de afectación de incendios en el modelo de estabilización 6.0 en color rojo, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 21.

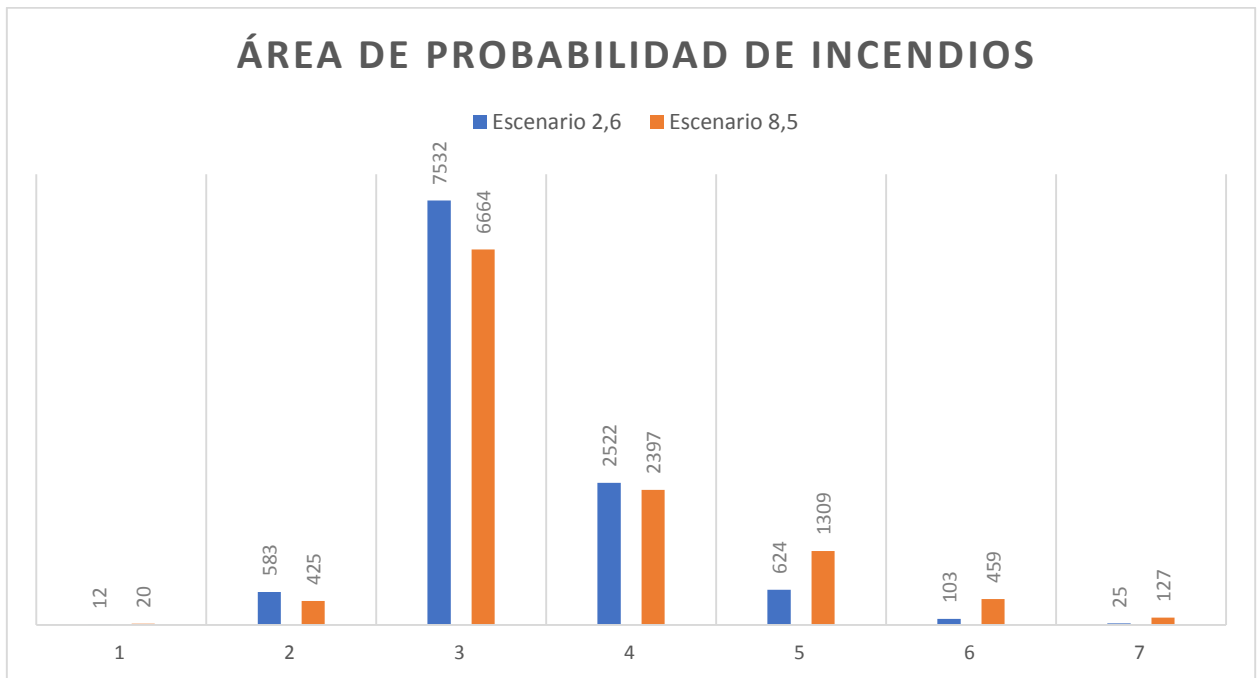
Modelo RCP (Representative Concentration Pathways) 8.5



Nota: La figura muestra la representación gráfica de las zonas con mayor probabilidad de afectación de incendios en el modelo pesimista 8.5 en color rojo, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 22.

Cuadro Comparativo entre el escenario Optimista (2.6) y Pesimista (8.5)



Nota: La figura muestra un comparativo de áreas con mayor probabilidad de incendios entre los escenarios optimista 2.6 y pesimista 8.5, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

La figura 19 Representa cuantitativamente el área con mayor probabilidad de incendios en los escenarios optimista y pesimista, dando como resultado que en los rangos de 1 al 3, los valores de área con mayor probabilidad de incendios predominantes son las del escenario 2.6 (Optimista), que es un resultado esperado ya que son las áreas de menor quema.

El rango 4 es una zona de equilibrio en la que se evidencia un valor que no varía en mayor cantidad de escenario a escenario por lo que se determina que se trata de un área constante en cualquiera de los escenarios.

Por otra parte, a partir del rango 5 al 7, los valores de área de mayor probabilidad de incendio predominantes son las del escenario 8.5 (Pesimista), que también es un resultado esperado ya que son áreas de mayor quema.

Nota: los escenarios 4.5 y 6.0 presentan valores muy similares de área ya que se trata de escenarios de estabilización, en los que se pueden evidenciar valores sesgados hacia los rangos intermedios de la categorización.

4.7 Estadísticos

Para delimitar nuestra población universo, es decir, Ecuador, vamos a hacerlo mediante una muestra representativa, para lo cual se trabajara con las provincias con mayor número de eventos, que son: Azuay, Guayas, Pichincha, Imbabura y Loja, las cuales recogen 62% de eventos ocurridos en Ecuador durante el periodo de tiempo de 2010 a 2020 como lo muestra la figura 20.

Figura 23.

Análisis descriptivo de los eventos registrados de 2010 a 2020

Row Labels	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Grand Total
Provincia de Pichincha	15%	16%	68%	8%	13%	9%	3%	8%	16%	20%	8%	23%
Provincia del Guayas	2%	17%	1%	3%	6%	9%	8%	18%	15%	11%	16%	11%
Provincia de Azuay	1%	1%	2%	19%	15%	11%	15%	10%	8%	7%	19%	10%
Provincia de Loja	62%	35%	3%	10%	14%	19%	18%	11%	9%	5%	8%	9%
Provincia de Imbabura	2%	4%	9%	8%	7%	16%	7%	4%	8%	15%	7%	9%
Provincia de Tungurahua	0%	1%	0%	7%	8%	1%	3%	6%	9%	7%	6%	5%
Provincia de El Oro	0%	1%	1%	5%	8%	6%	7%	5%	6%	9%	6%	5%
Provincia de Chimborazo	6%	3%	1%	5%	6%	3%	9%	6%	6%	6%	7%	5%
Provincia de Cañar	6%	8%	4%	5%	3%	4%	4%	3%	3%	3%	9%	4%
Provincia de Manabí	0%	0%	0%	3%	3%	4%	16%	9%	3%	5%	1%	4%
Provincia de Santa Elena	0%	0%	2%	6%	6%	0%	1%	7%	4%	1%	1%	3%
Provincia de Cotopaxi	0%	1%	2%	6%	5%	5%	1%	2%	2%	4%	4%	3%
Provincia de Los Ríos	0%	0%	0%	3%	1%	1%	1%	3%	6%	1%	1%	2%
Provincia de Esmeraldas	0%	4%	2%	4%	2%	1%	2%	4%	2%	1%	2%	2%
Provincia de Bolívar	0%	2%	2%	1%	2%	8%	3%	1%	1%	3%	2%	2%
Provincia de Carchi	3%	4%	1%	5%	1%	2%	1%	2%	1%	1%	3%	2%
Provincia de Zamora Chinchipe	3%	3%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%
Provincia de Morona Santiago	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Provincia de Napo	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Provincia de Sucumbios	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Provincia de Galápagos	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Provincia de Orellana	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Provincia de Pastaza	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Nota: La figura muestra el porcentaje de incendios registrados en cada año, en donde, se determinan las provincias con mayor inocencia que se denominan las más representativas, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

4.7.1 Análisis de Componentes Principales (ACP)

Análisis de la Provincia de Azuay

Tabla 9.

ACP provincia Azuay 2000-2013

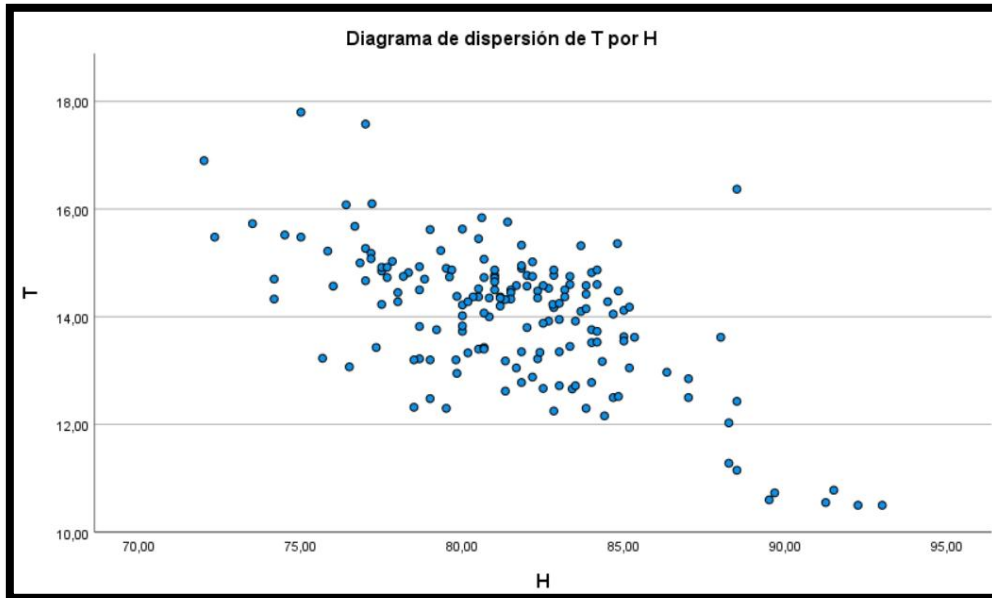
Varianza Total Explicada						
Componente	Autovalores iniciales			Sumas de cargas al cuadro de la extracción		
	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
1	1.627	81.366	81.366	1.627	81.366	81.366
2	0.373	18.634	100.00			

Nota: La tabla muestra la variable con mayor influencia para que se produzca un incendio mediante su porcentaje de varianza con respecto a la otra variable en la provincia del Azuay, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Se puede evidenciar que entre los años 2000 y 2013 la temperatura es la principal causante de los incendios forestales en la provincia de Azuay, estos categorizados en nivel 1, 2 y 3. Dependiendo del número de hectáreas afectadas y la duración del evento. Esta variable recoge o es la causante del 81.34% de los eventos, esta también acelera la pérdida de la humedad relativa, donde al combinarse con la radiación solar puede provocar un potencial incendio forestal.

Figura 24.

Diagrama de Dispersión T por H (AZUAY)



Nota: La figura muestra la dependencia de una variable con la otra para determinar su incidencia en la ocurrencia de incendios en la provincia del Azuay, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

La figura 20 nos indica que, en el caso de la provincia de Azuay, mientras mayor temperatura, existe una gran absorción de la humedad relativa, la cual favorece a la reproducción de los eventos (incendios forestales). Cuando las variables se encuentran en puntos de equilibrio la reproducción de los eventos son de un 50%. Mientras mayor humedad relativa exista la probabilidad de ocurrencia de eventos es baja.

4.7.2 Análisis Estacional

Análisis Provincia Azuay

Tabla 10.

FE provincia Azuay 2000-2013

Factores estacionales		Factores estacionales	
Nombre de serie: Azuay Temperatura		Nombre de serie: Azuay Humedad	
Período	Factor estacional (%)	Período	Factor estacional (%)
1	105.3	1	98.0
2	104.1	2	100.2
3	103.3	3	100.8
4	102.3	4	101.4
5	100.7	5	102.1
6	94.5	6	103.1
7	92.6	7	101.4
8	89.5	8	100.0
9	95.7	9	98.8
10	102.2	10	97.7
11	104.3	11	97.7
12	105.6	12	98.6

Nota: La tabla muestra el mes en que la variable de estudio tiene mayor o menor incidencia en la ocurrencia de incendios en la provincia del Azuay, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

En la provincia de Azuay los meses de octubre a enero, se observa un incremento representativo de la temperatura, es decir, que en estos meses los eventos tienen aún mayor probabilidad de ocurrencia, desde febrero a mayo la temperatura sigue siendo alta, pero se evidencia una disminución progresiva y constante, hasta llegar a los meses de junio y agosto en los cuales la humedad predomina y los eventos disminuyen paulatinamente.

4.7.3 *Análisis descriptivo*

Pichincha es la provincia con mayor cantidad de eventos a lo largo del tiempo, el año en el que hubo la mayor cantidad de incendios fue en el 2012 con 2658 eventos (representando el 68% del total de los eventos ocurrido en el año).

Loja tuvo 2 años consecutivos en los que tuvo la mayor cantidad de eventos tanto en el año 2010 como en el 2011, con 68 y 35 eventos respectivamente (representando el 62% y 35% del total de los eventos ocurridos en sus respectivos años).

Guayas en el intervalo de tiempo analizado tuvo un incremento considerable de eventos, en el año 2017 con 658 eventos (representando el 18% del total de los eventos ocurridos en el año). Además, se evidencia que en los años posteriores a ese se mantiene un porcentaje similar de acuerdo con la ocurrencia de los eventos.

Azuay tuvo 2 años en los que tuvo la mayor cantidad de eventos tanto en el año 2013 como en el 2020, con 327 y 443 eventos respectivamente (representando el 19% del total de los eventos ocurridos en ambos años)

Imbabura tuvo su pico más alto de eventos en el año 2015 con 96 eventos (representando el 16% del total de los eventos ocurridos en este año).

Las provincias con mayor número de eventos son Pichincha, Guayas, Azuay, Loja e Imbabura, las cuales representan el 64% del total de los eventos ocurridos en el transcurso del tiempo analizado (2010 - 2020). La más representativa con el 23% es la provincia de Pichincha

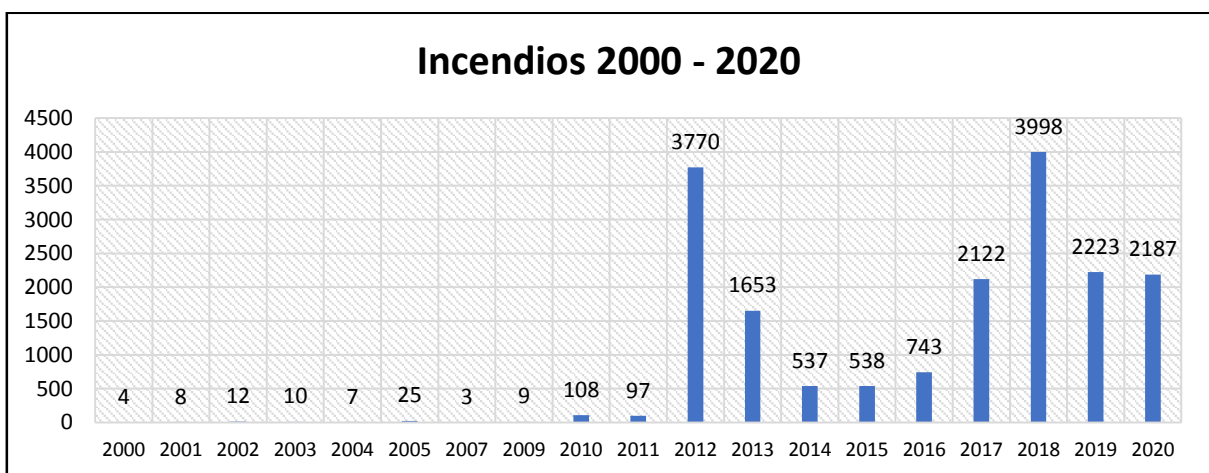
con la mayor cantidad de eventos ocurridos (4622) y las provincias menos representativas fueron Loja e Imbabura con el 9% del total de eventos ocurridos (1712) cada una en el transcurso de tiempo analizado.

Existen variables ambientales que no pueden ser controladas, como la temperatura, humedad relativa, tiempo, entre otras, las cuales influyen directamente en la probabilidad de que un evento ocurra y se prolongue por varios días.

4.8 Serie Temporal

Figura 25.

Incendios 2000 - 2020



Nota: La figura muestra un conteo anual de los incendios registrados entre los años 2000 y 2020 en el Ecuador, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Los resultados recopilados dentro de la línea de tiempo desde el año 2000 hasta 2020 se puede apreciar una diferencia en el número de eventos ocurridos en las dos décadas, los datos recolectados en los primeros años son por debajo de los 500 anualmente, mientras que a partir del año 2012 el número de eventos es mayor.

El año con mayor número de incendios registrados fue el 2018 debido que en este tiempo en el Ecuador se registró temperaturas de hasta 34°C, siendo el año con mayor radiación

registrado en los últimos treinta años, la falta de nubosidad provocando un ambiente idóneo para el desarrollo de incendios o quemas.

4.9 Estrategia de Gestión Incendios Forestales

Los incendios forestales son una de los mayores desastres que afectan al Ecuador por ello es necesario tener un plan de acción para poder detener estos eventos sin que pase a mayores afectaciones, por lo tanto; Se crea una estrategia en la que se tomen acciones inmediatas; de manera eficiente, se plantea lo siguiente:

- Los departamentos gubernamentales dedicados a la protección y cuidado del medio ambiente, deben mejorar la organización con personal capacitado para asistir y planificar la protección de zonas forestales.
- Los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs), deberán priorizar el avance de programas referentes a prevención forestal.
- Realizar un mapeo con las áreas boscosas vulnerables del país para poder reducir las zonas de análisis a futuros incendios.
- Delimitar las áreas protegidas susceptibles a la ocurrencia de incendios, elaborando planes de emergencia.
- Mayor inversión por parte del estado a las entidades encargadas de la gestión forestal.
- Establecer convenios con empresas públicas y privadas para la divulgación de información preventiva ante incendios en comunidades rurales.
- Priorizar los talleres informativos acerca del tiempo de reacción frente a un incendio forestal en escuelas y colegios con actividades inclusivas para jóvenes y niños.

4.10 Discusión

Este estudio nos permite determinar los efectos del cambio climático en la ocurrencia de eventos de incendios forestales en el Ecuador en donde se logró obtener un total de 18379 eventos distribuidos a nivel nacional, pero con una relevancia en ciertas zonas del país donde se presentaron la mayor cantidad de eventos y en las que el estudio de intensidad y densidad son primordiales para enfocarnos en las estrategias de gestión de incendios.

En base a esto se obtuvo que, en el caso de mayor cantidad de eventos, la provincia de Pichincha es la más representativa ya que abarca la mayor cantidad de eventos registrados que significa el 23% de incendios forestales, este dato se puede relacionar también a las condiciones climáticas de la zona y la gran cantidad de extensiones de bosque secundario que proporciona el combustible para el desarrollo de los eventos (Daniel, 2019). Sin embargo, al tratarse de la provincia con mayor número de eventos, no es la que mayor número de hectáreas afectas tuvo, el estudio de cobertura vegetal determinó que la provincia con mayor afectación fue la de Loja en la que como se puede evidenciar en los Informes de situación – Incendios Forestales del SNGRE, es la provincia que presenta una cantidad de hectáreas de cobertura vegetal quemada bastante abultada con respecto a las demás provincias.

La información proporcionada por el estudio nos permite observar que la densidad de incendios está consolidada en los extremos norte y sur del país como Pichincha y Azuay respectivamente. El Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) es el lugar que registra eventos recurrentes de incendios forestales y el lugar de donde se dispone más información de incendios forestales del país por lo que también se puede explicar el motivo de por qué se tiene un sesgo hacia esta región (SADMQ, 2013). El impacto ambiental que producen estos eventos es reflejado en el porcentaje de recuperación de área verde, en donde se puede evidenciar que existe mayor número de eventos que tuvieron alto grado de intensidad y que impide la pronta recuperación de su cobertura ya que apenas se han podido recuperar en un año. Siendo así la

mayoría de los eventos de alta intensidad con una recuperación del 1 al 6% de la cobertura vegetal.

Debido al cambio climático que ha sufrido el planeta en el último siglo, se han producido variaciones en las condiciones naturales atmosféricas como la temperatura y la precipitación, siendo estas las principales condiciones para que se propicie un evento de quema. En base a los modelos de predicción generados en MAXENT, se pudo evidenciar que efectivamente en todos los escenarios estudiados, las variables bioclimáticas de temperatura y precipitación son las que tienen mayor contribución al modelo para la predicción de eventos de quema en el Ecuador, siendo los más importantes los de los escenarios 2.6 y 8.5 en donde se pudo observar que el área de quema aumenta significativamente y esto tiene relación con lo presentado en el informe SPREADING LIKE WILDFIRE THE RISING THREAT OF EXTRAORDINARY LANDSCAPE FIRES del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente en Nairobi 2022, donde se describe un incremento de la temperatura de 1.0 °C en el caso del escenario 2.6 y un incremento de hasta 3.7 °C en el caso del escenario 8.5, en los escenarios 4.5 y 6.0 los resultados obtenidos demuestran de igual manera un incremento en el área de quema en ambos casos muy parecidos que se valida de igual forma con el informe del PNUMA donde se describe un incremento de la temperatura para los escenarios 4.5 y 6.0 de 1.8 °C y 2.2 °C respectivamente.

Estas variaciones en la temperatura provoca un gran impacto en los eventos de incendios forestales provocando que para finales de siglos estos tengan un incremento en un factor de 1.31 a 1.57 tomando como referencia el escenario más optimista, es decir, para el año 2050 los incendios aumentarían hasta un 30% y para finales de siglo hasta en un 50% con mayor intensidad y más duraderos en zonas donde ya ocurrían anteriormente estos eventos y además en zonas en las que antes no se producían incendios forestales (PNUMA, 2022). Esta información se vio reflejada en los modelos predictivos generados en MAXENT y esto se debe

en gran parte a que el valor de AUC arrojado se encontraba entre los rangos de 0.8 y 0.9 en todos los modelos, es decir, las predicciones realizadas para Ecuador fueron acertadas con resultados muy buenos que nos permiten corroborar la información desarrollada por el PNUMA con respecto a sus predicciones de incendios a nivel mundial.

Estos resultados generan preocupación con respecto al nivel de repuesta que se tiene actualmente para poder hacer frente a estos tipos de eventos y aun mas con el incremento significativo de estos que se avecinan tanto hasta el 2050 como a finales de siglo, planteando un gran desafío para el cual, por lo menos en la actualidad, la humanidad no se encuentra preparada y propone aun un mayor desafío para las siguientes generaciones para que se pueda generar más programas o proyectos para minimizar o controlar los eventos de incendios forestales y que estas cifras se logren menorar al pasar de los años. En este sentido, el desarrollo de estas investigaciones sobre incendios forestales, son necesarias para futuros estudios como base para poder determinar el avance de estas predicciones con respecto a las acciones tomadas para evitar que se lleven a cabo estas cifras.

Con respecto a las variables climáticas utilizadas para poder comprender mejor su papel en la ocurrencia de los eventos podemos determinar que el peso recae en el de la temperatura, que si bien es cierto no es el único detonante para que se produzca un evento, es el más importante y eso lo pudimos evidenciar sobre todo en el caso de la provincia de Azuay donde el porcentaje de varianza de esta variable representa el 81% del total, mientras que en las demás provincias representativas, el porcentaje de varianza oscila entre 55/45 y 60/40 % para la temperatura y humedad respectivamente. De todas formas, en todos los casos la temperatura sigue siendo las variables con mayor influencia y responsabilidad para que un evento se produzca.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones:

- Los datos de incendios forestales registrados por las diferentes instituciones a nivel nacional han venido mejorando al pasar de los años, sin embargo, estas presentan aun ciertos inconvenientes que pueden dificultar el estudio histórico de incendios a nivel nacional, ya que se puede encontrar un sesgo hacia ciertas regiones del país donde ocurren eventos pero que también influye los recursos empleados para poder registrar estos eventos. Hay regiones en el país que no cuentan con estos recursos y por lo tanto no se generan los mismos reportes, provocando así la pérdida de información útil para poder elaborar un conglomerado de datos históricos de incendios a nivel nacional. Sin embargo, validando la información de varias instituciones se armó una base histórica de incendios hasta el año 2020 que permitió el desarrollo de este estudio y estudios posteriores.
- Las imágenes obtenidas de los satélites SENTINEL 2 Y LANDSAT 8, nos permitieron calcular la intensidad de los incendios mediante los valores de NBR, en los casos de incendios que se usaron por la claridad de las imágenes se pudo evidenciar una intensidad baja – moderada debido en que la mayoría de los casos se presentaba una recuperación de cobertura vegetal.
- Los modelos de predicción realizados con la herramienta MaxEnt permitieron estimar la probabilidad de ocurrencia de incendios a futuro en distintos escenarios de cambio climático donde los modelos presentaron un buen poder predictivo ya que en todos los escenarios su valor de AUC fue superior al 0.80, lo que representa un alto grado de confiabilidad en el modelo.
- El impacto del cambio climático, sobre todo las variaciones de precipitación y la temperatura, que en los últimos años han tenido unos cambios drásticos y se estima

que en los siguientes 10 años estas sigan presentando variaciones agresivas que son determinantes para que se produzca un evento de quema, tal como se lo pudo evidenciar al momento de desarrollar los modelos predictivos donde las variables con mayor contribución para todos los escenarios fueron justamente las de precipitación y temperatura.

- El estudio destaca la influencia de las condiciones climáticas actuales y los posibles efectos de cambio climático a futuro en la probabilidad de eventos de quema a nivel nacional. Estos resultados sirven de información para futuros estudios en donde se evalué las decisiones tomadas con respecto al cambio climático y como estas decisiones ayudaron a disminuir la probabilidad de eventos de quema o a su vez, aumentar dicha probabilidad.

5.2 Recomendaciones

- Se debe implementar en la cultura rural el debido control y manejo de las quemas, a pesar de que son utilizadas como parte del proceso agrícola mediante charlas y capacitaciones aumentara el grado de conciencia y responsabilidad.
- La cultura general necesita más información acerca de los impactos que produce los incendios generados, esto mediante la intervención de los gobiernos autónomos descentralizados se enfocaría de mejor manera la información proporcionada, ya que será más puntual al momento de difundirla.
- La información correspondiente a imágenes satelitales se debería abrir nuevas plataformas gratuitas con una mayor cantidad de imágenes, en distintas fechas de los años de estudio, lo cual permitiría realizar un trabajo con mayor exactitud.

6 BIBLIOGRAFÍA

- AQUAE FUNDACION. (s.f.). *Causas y efectos de los incendios forestales*. Obtenido de Causas y efectos de los incendios forestales: <https://www.fundacionaquae.org/como-luchar-contraincendios-forestales/>
- Bustamante Hernández , N. (13 de Agosto de 2021). *La mitad de los bosques de Latinoamérica no sobreviviría luego de sufrir su primer incendio | ESTUDIO*. Obtenido de La mitad de los bosques de Latinoamérica no sobreviviría luego de sufrir su primer incendio | ESTUDIO: <https://es.mongabay.com/2021/08/bosques-de-latinoamerica-incendios-estudio/>
- Bustos, A., Segura, D., Coronel, J., Onofa, Á., Ecuador, M. d., Natural, S. d., & Fuego, P. A. (25 de Marzo de 2019). *LOS INCENDIOS FORESTALES EN ECUADOR*. Obtenido de LOS INCENDIOS FORESTALES EN ECUADOR: <https://osbodigital.es/2019/03/25/los-incendios-forestales-en-ecuador/>
- CAF Banco de Desarrollo de América Latina. (14 de Mayo de 2020). *Ecuador fortalecerá la prevención de incendios forestales en las zonas más vulnerables*. Obtenido de Ecuador fortalecerá la prevención de incendios forestales en las zonas más vulnerables: <https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/2020/05/ecuador-fortalecera-la-prevencion-de-incendios-forestales-en-las-zonas-mas-vulnerables/>
- Carlos Ludeña, D. W. (2013). ECUADOR: Mitigación y Adaptación al Cambio Climático - Marco de la preparación de la EStrategia 2012-2017 del BID en Ecuador. *BID División de Cambio Climático y Sostenibilidad*, 2.
- Chico, D. E. (2021). *ESTIMACIÓN DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LAS ESPECIES DE FITOPLANCTON EN LA*

LAGUNA DE LA MICA, RESERVA ANTISANA PROVINCIAS DE PICHINCHA-NAPO. Quito: Universidad Politécnica Salesiana .

CMNUCC. (1992). CONVENCIÓN MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMATICO. *NACIONES UNIDAS 1992*, 3.

Columba Tallana, M. J., Quisilema Ron, W. A., Padilla Almeida, O., & Toulkeridis, T. (2016). IDENTIFICACIÓN DE ZONAS DE RECURRENCIA DE INCENDIOS FORESTALES MEDIANTE ANÁLISIS MULTITEMPORAL Y APLICACIÓN DE ÍNDICES ESPECTRALES, EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO. *Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa*.

Comisión Nacional Forestal. (2010). *Incendios forestales Guía práctica para comunicadores*. Guadalajara: Col. San Juan de Ocotán.

Cordero, G. D. (2012). EL CAMBIO CLIMÁTICO. *Ciencia y Sociedad*, 228.

Laura Cadilhac, R. T. (2017). Desafíos para la investigación sobre el cambio. *Neotropical Biodiversity*, 169.

León Yáñez, S. (2011). *EL LIBRO ROJO DE LAS PLANTAS ENDÉMICAS DEL ECUADOR*. Quito - Ecuador .

Mongabay Latam. (2 de Julio de 202). *Los cinco países de América Latina que perdieron la mayor cantidad de bosques primarios en 2019*. Obtenido de Los cinco países de América Latina que perdieron la mayor cantidad de bosques primarios en 2019: <https://es.mongabay.com/2020/07/america-latina-paises-que-perdieron-la-mayor-cantidad-de-bosques-primarios-2019/>

Montes, C. (24 de Agosto de 2019). *Las diez especies que solo existen en la Amazonía y que corren riesgo por el letal incendio*. Obtenido de Las diez especies que solo existen en

la Amazonía y que corren riesgo por el letal incendio: <https://www.latercera.com/que-pasa/noticia/las-diez-especies-que-solo-existen-en-la-amazonia-y-que-corren-riesgo-por-el-letal-incendio/795842/>

Municipio de Cotacachi. (2014 - 2019). *ORDENANZA QUE REGULA LAS QUEMAS AGRICOLAS PARA LA PREVENCIÓN DE INCENDIOS FORESTALES EN EL CANTÓN SANTA ANA DE COTACACHI*. Obtenido de ORDENANZA QUE REGULA LAS QUEMAS AGRICOLAS PARA LA PREVENCIÓN DE INCENDIOS FORESTALES EN EL CANTÓN SANTA ANA DE COTACACHI.

Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, S. d. (2009). *Estrategia Quiteña al Cambio Climático*. Quito: 2009.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2020). *El estado de los bosques del mundo 2020*. Obtenido de El estado de los bosques del mundo 2020: <https://www.fao.org/3/ca8642es/CA8642ES.pdf>

Panorama mundial. (2007). Obtenido de *Panorama mundial* : <https://www.fao.org/3/a0773s/a0773s08.pdf>

Philips, S. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*.

Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias. (s.f.). *Incendios Forestales*. Obtenido de Incendios Forestales: <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/incendios-forestales/>

Bilbao, B., Steil, I., Urbirta, L., Anderson, C., Pinto, M., Gonzales, A., Millan, R., E, F., Morici, V., Ibarnegaray, D., Perez-Salicrup, J., Pereira, M., & Moreno, M. (2020). Incendios forestales. En: Adaptación frente a los riesgos del cambio climático en los países

iberoamericanos – Informe RIOCCADAPT. In *Cuadernos de geografía* (Issue 23).

http://rioccadapt.com/wp-content/uploads/2020/07/12_Cap_12_CambioClimatico.pdf

En, L., Evaluación, T. ", Uso, D., Del, R., Pirata, B., Morgan, H., De, T., Previa, G., Obtención, L., Título, D., Stefania, K., Segovia, A., Pozo, D. Del, Maria, R., & Pinto Bastidas, J. (2011). *Escuela Superior Politécnica Del Litoral Facultad De Ingeniería Marítima Y Ciencias Del Mar*.

Forestales, I. (2016). Informe de Situación - Incendios Forestales (23/06/2016). *Alteraciones Climaticas*, 1–5. <http://www.gestionderiesgos.gob.ec/informes-incendios-forestales-2016/>

Gabriel, J., Lara, M., Iván, C., & Mendoza, Á. (2021). A *SSESSMENT OF FUEL RELATED DATA IN THE M ETROPOLITAN D ISTRICT OF Q UITO FOR MODELING AND SIMULATION OF WILDFIRES , CASE STUDY : A TACAZO H ILL WILDFIRE*. 34(2), 43–59.

Giorgis, M. A., Zeballos, S. R., Carbone, L., Zimmermann, H., von Wehrden, H., Aguilar, R., Ferreras, A. E., Tecco, P. A., Kowaljow, E., Barri, F., Gurvich, D. E., Villagra, P., & Jaureguiberry, P. (2021). Correction to: A review of fire effects across South American ecosystems: the role of climate and time since fire (*Fire Ecology*, (2021), 17, 1, (11), 10.1186/s42408-021-00100-9). *Fire Ecology*, 17(1). <https://doi.org/10.1186/s42408-021-00107-2>

Gómez, A. (2011). *Obtención de agua a partir de humedad atmosférica empleando células de efecto Peltier*. 1–78.

Hanke, J., & Reitsh, A. (1996). *N e. hanke arthur*.

Lopez, J. (2008). *Industria Hortícola*. www.agrocomponentes.com

- MAE. (2010). Cuarto Informe Nacional Para El Convenio Sobre La Diversidad Biológica. In *Ministerio De Ambiente: Vol. I*. <https://www.cbd.int/doc/world/ec/ec-nr-04-es.pdf>
- Manangón Cualchi, C. (2019). Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito. In *Tesis*.
- Martín, Y., Zúñiga-Antón, M., & Rodrigues Mimbbrero, M. (2019). Modelling temporal variation of fire-occurrence towards the dynamic prediction of human wildfire ignition danger in northeast Spain. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 10(1), 385–411. <https://doi.org/10.1080/19475705.2018.1526219>
- Mogrovejo-Jaramillo, P. (2017). Bosques y cambio climático en Ecuador: el regente forestal como actor clave en la mitigación del cambio climático. *Universidad Simón Bolívar*, 116. <http://hdl.handle.net/10644/5862>
- Moreno Vega, H. F. (2018). Vulnerabilidad de las áreas boscosas de la parroquia checa a incendios forestales por causas antropogénicas. *Universidad Internacional SEK Ser Mejores*, 1–50. <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/40/simple-search?filterquery=RECURSOS+FORESTALES&filtername=subject&filtertype>equals>
- Pazmiño, D. (2019). *Peligro de incendios forestales asociado a factores climáticos en Ecuador*. *Forest fire hazard associated with climatic factors in Ecuador*.
- Phillips, S. B., Aneja, V. P., Kang, D., & Arya, S. P. (2006). Modelling and analysis of the atmospheric nitrogen deposition in North Carolina. *International Journal of Global Environmental Issues*, 6(2–3), 231–252. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Rey Graña, C., & Ramil Diaz, M. (2011). Series temporales. *Introducción a La Estadística Descriptiva. Segunda Edición*, 85–105. <https://doi.org/10.4272/978-84-9745-167-3.ch4>
- Rivas Cardenas, D. (2018). *climáticas . Aplicación didáctica Rivas Cárdenas , Daniel*. 84. [http://repositorio.une.edu.pe/bitstream/handle/UNE/4103/El clima%20 caracteres%20](http://repositorio.une.edu.pe/bitstream/handle/UNE/4103/El%20clima%20caracteres%20)

causas%2C clasificación.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Sandoval, A. G. (2016). *El Daño Ambiental y la Remediación por Incendios Forestales provocados en el Distrito Metropolitano de Quito en el sector de Guápulo (Cerro del Auqui) en el 2015, de acuerdo con la Constitución de la República del Ecuador del año 2008*. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/7511/1/T-UCE-0013-Ab-358.pdf>

Segumar, L. (2015). Química del fuego. *Unicen*, 14.

SNGR. (2019). Informe de Situación No.39 - Incendios Forestales a nivel nacional 2019. *Incendios Forestales a Nivel Nacional 2019*, 111, 1–6. <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/2018/10/SITREP-5-Informe-de-Situación-SGR-2018-031008.pdf>

Voss, O., Aguirre, N., & Hofstede, R. (2001). Sistemas forestales integrales para la sierra del Ecuador. *Proyecto de Investigaciones En Ecosistemas Tropicales, ECOPAR*, 14–23. [http://dspace.unm.edu/bitstream/handle/1928/12914/Sistemas forestales integrales.pdf?sequence=1](http://dspace.unm.edu/bitstream/handle/1928/12914/Sistemas_forestales_integrales.pdf?sequence=1)

Vuille, M., Bradley, R. S., & Keimig, F. (2000). Climate variability in the Andes of Ecuador and its relation to tropical Pacific and Atlantic Sea Surface temperature anomalies. *Journal of Climate*, 13(14), 2520–2535. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2000\)013<2520:CVITAO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2000)013<2520:CVITAO>2.0.CO;2)

7 ANEXOS

Figura 26.

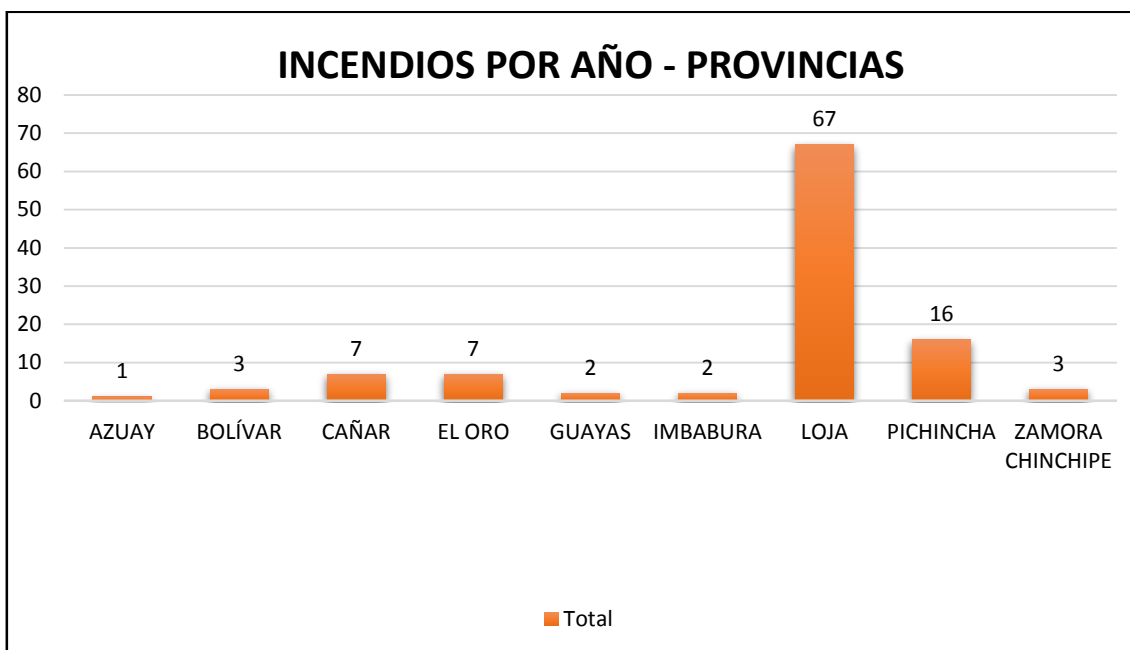
Triangulo de Fuego



Nota: La figura muestra la representación gráfica de los elementos que intervienen para la generación del fuego tomado de (Comisión Nacional Forestal, 2010)

Figura 27.

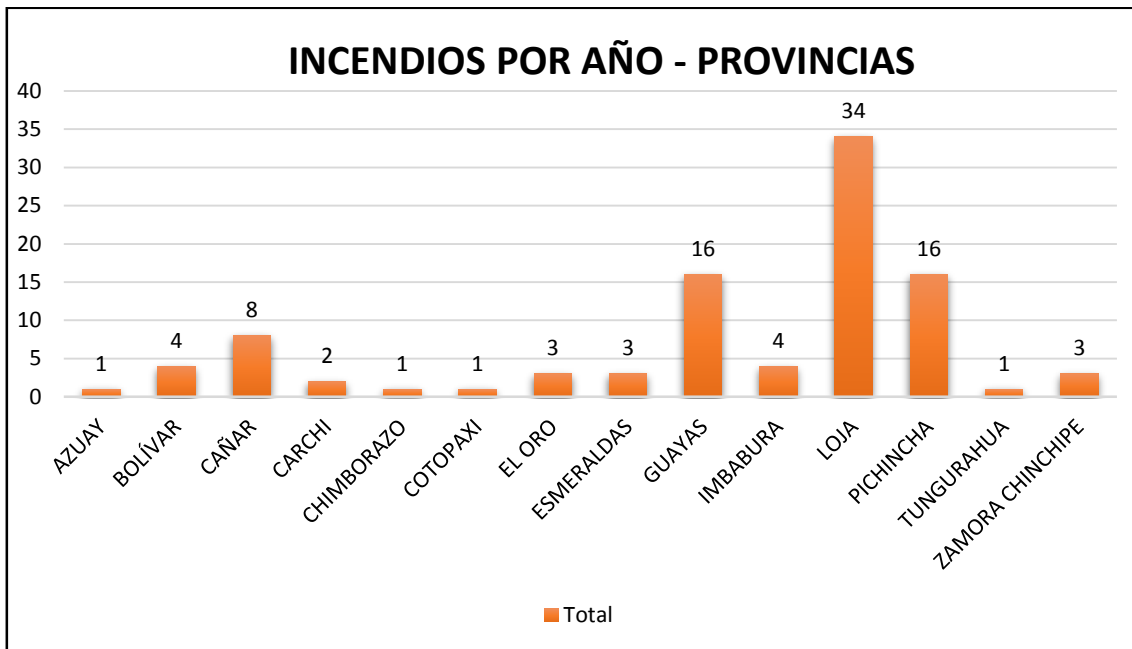
Incendios por Año – Provincias 2010



Nota: La figura muestra el número de eventos ocurridos durante el año 2010, siendo la provincia de Loja con mayor afectación con 67 eventos registrados, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 28.

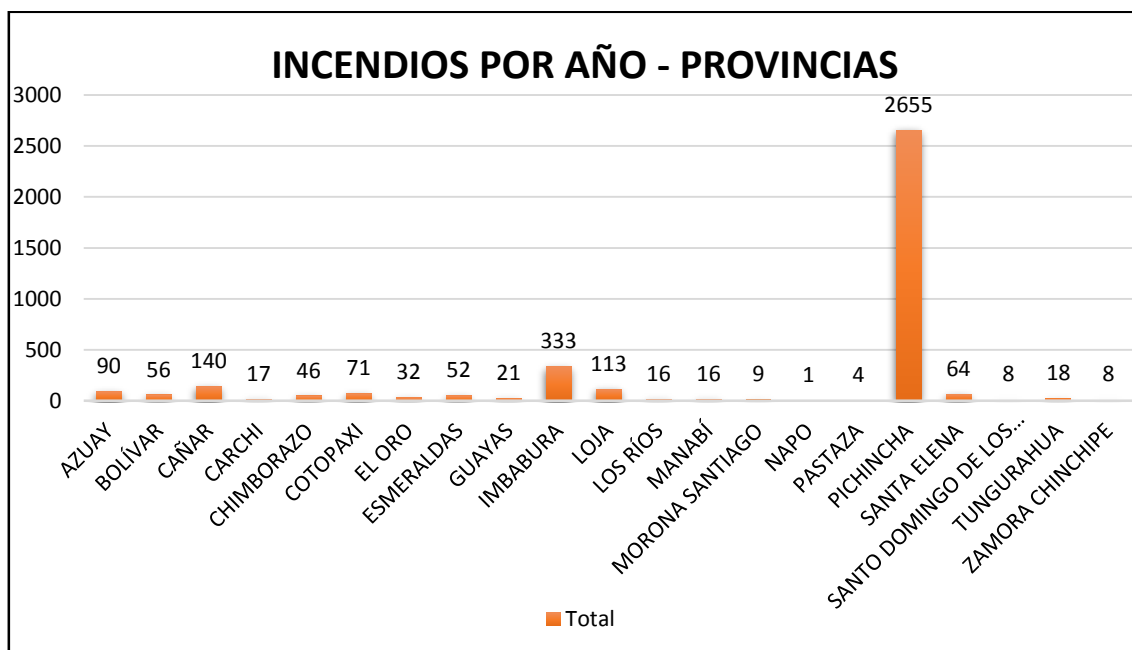
Incendios por Año – Provincias 2011



Nota: La figura muestra el número de eventos ocurridos durante el año 2011, siendo la provincia de Loja con mayor afectación con 34 eventos registrados, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 29.

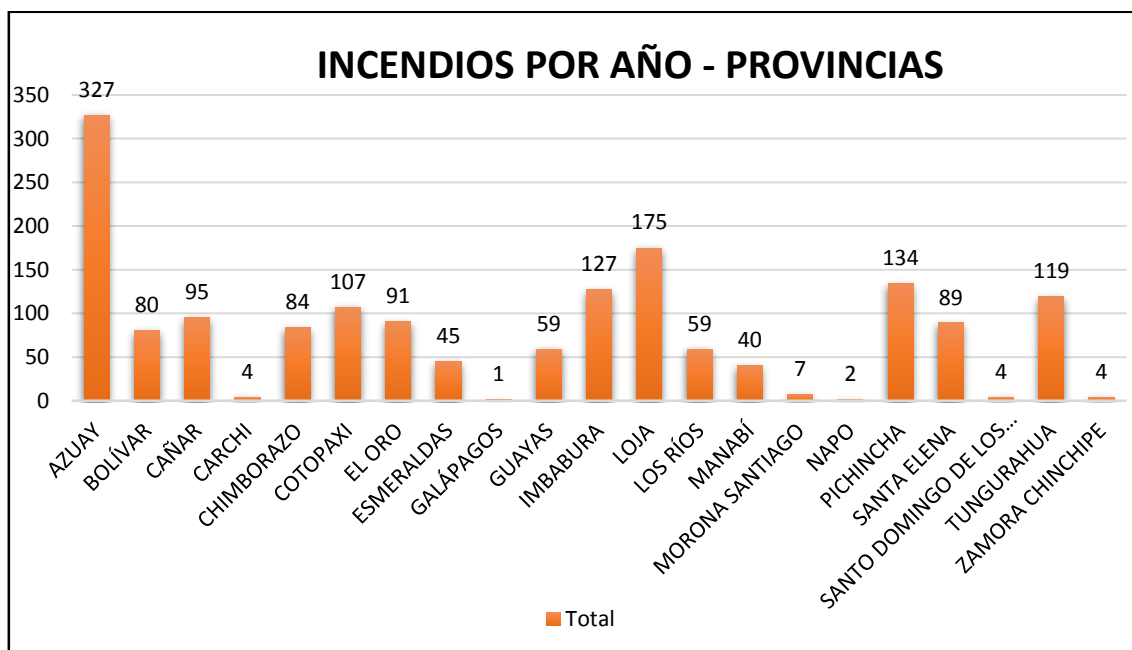
Incendios por Año – Provincias 2012



Nota: La figura muestra el número de eventos ocurridos durante el año 2012, siendo la provincia de Pichincha con mayor afectación con 2655 eventos registrados, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 30.

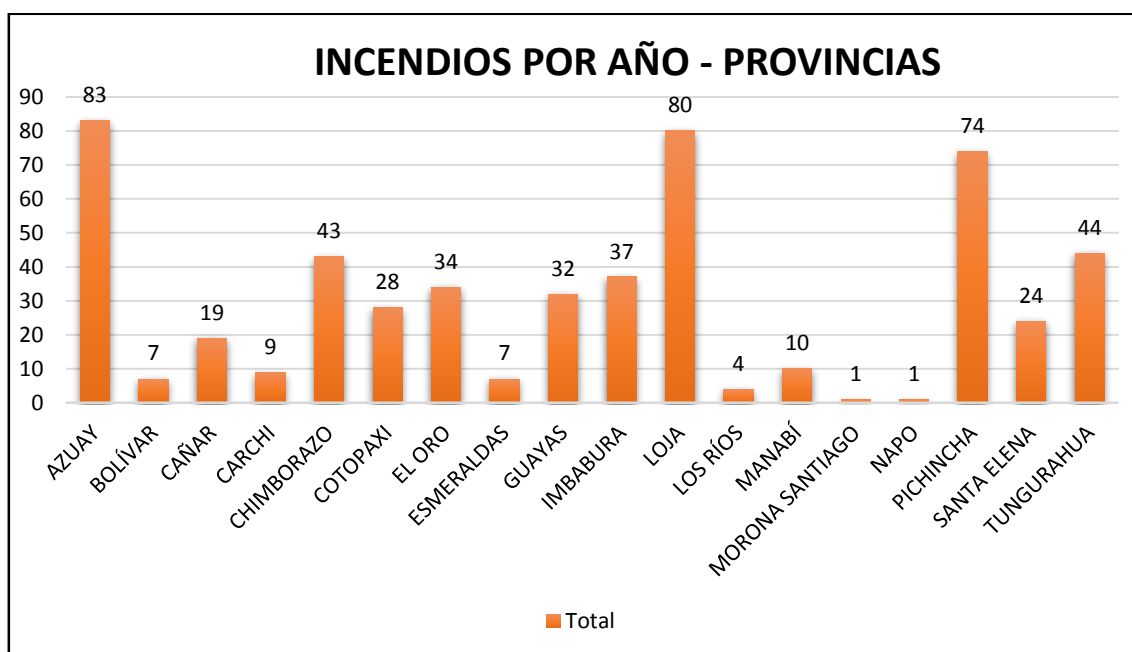
Incendios por Año – Provincias 2013



Nota: La figura muestra el número de eventos ocurridos durante el año 2013, siendo la provincia de Azuay con mayor afectación con 327 eventos registrados, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 31.

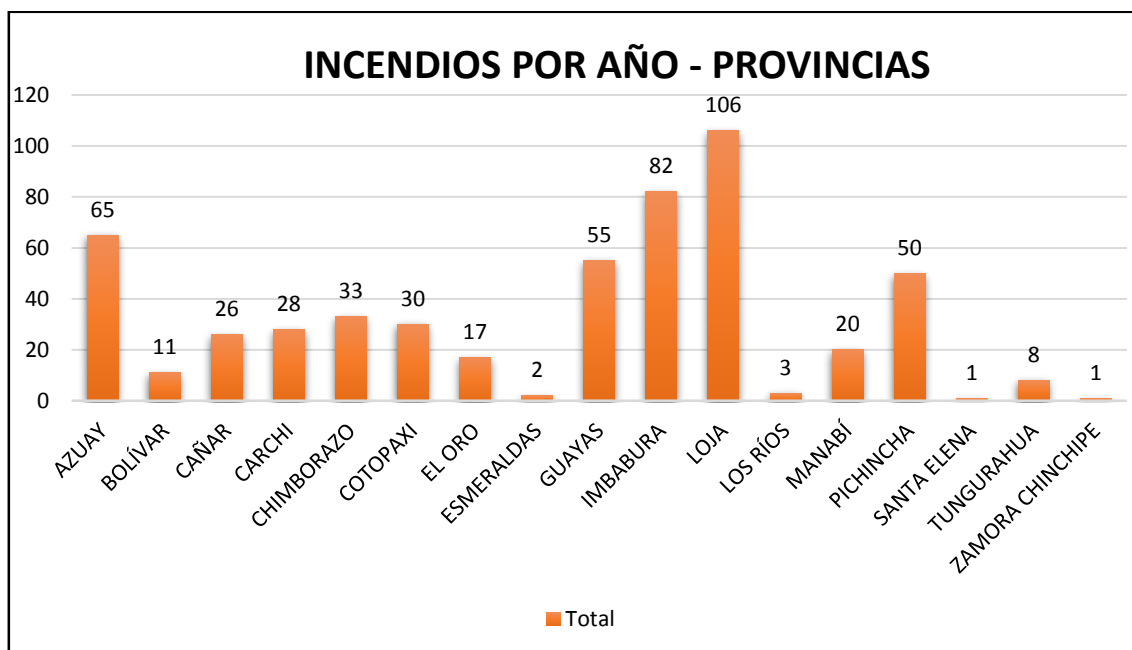
Incendios por Año – Provincias 2014



Nota: La figura muestra el número de eventos ocurridos durante el año 2014, siendo la provincia de Azuay con mayor afectación con 83 eventos registrados, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 32.

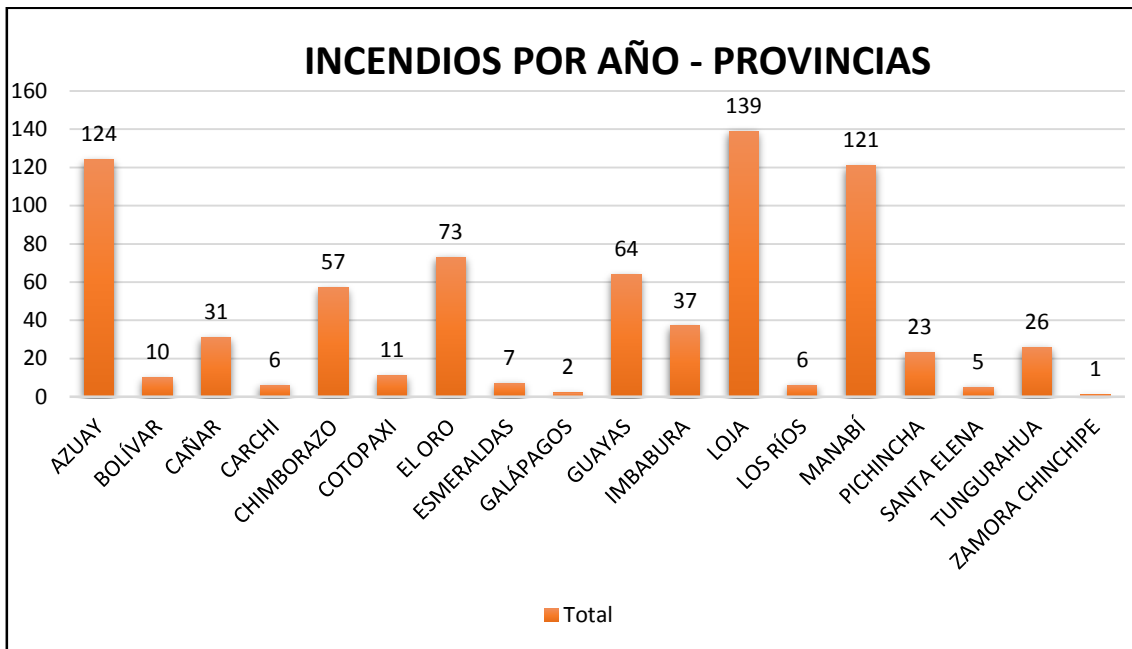
Incendios por Año – Provincias 2015



Nota: La figura muestra número de eventos ocurridos durante el año 2015, siendo la provincia de Loja con mayor afectación con 106 eventos registrados, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 33.

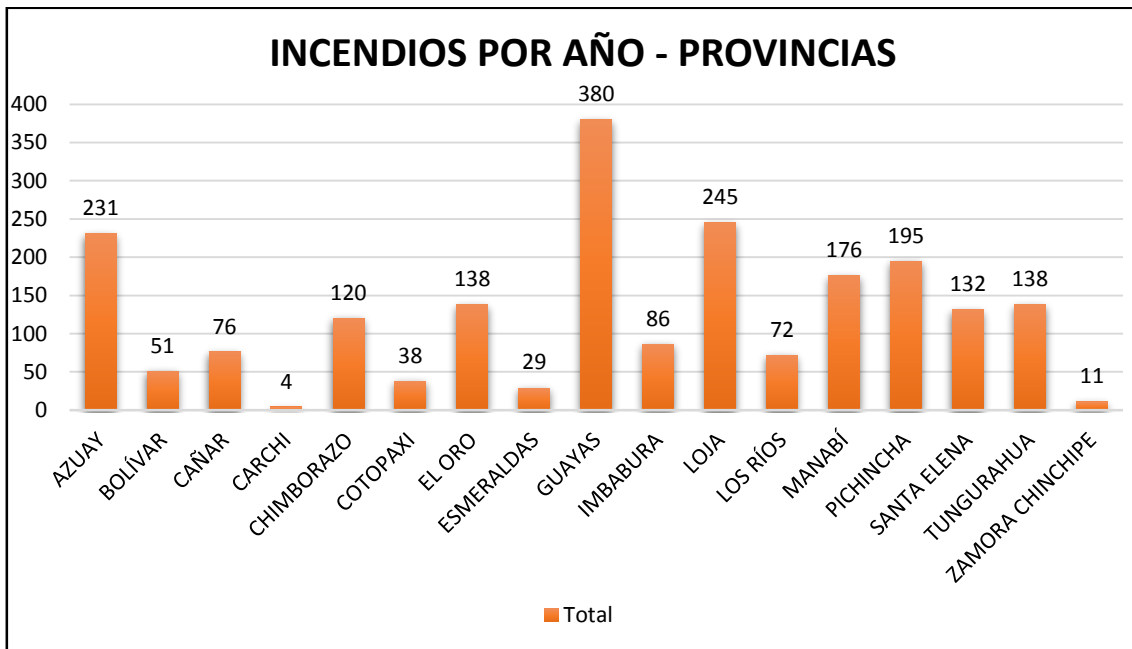
Incendios por Año – Provincias 2016



Nota: La figura muestra número de eventos ocurridos durante el año 2016, siendo la provincia de Loja con mayor afectación con 139 eventos registrados, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 34.

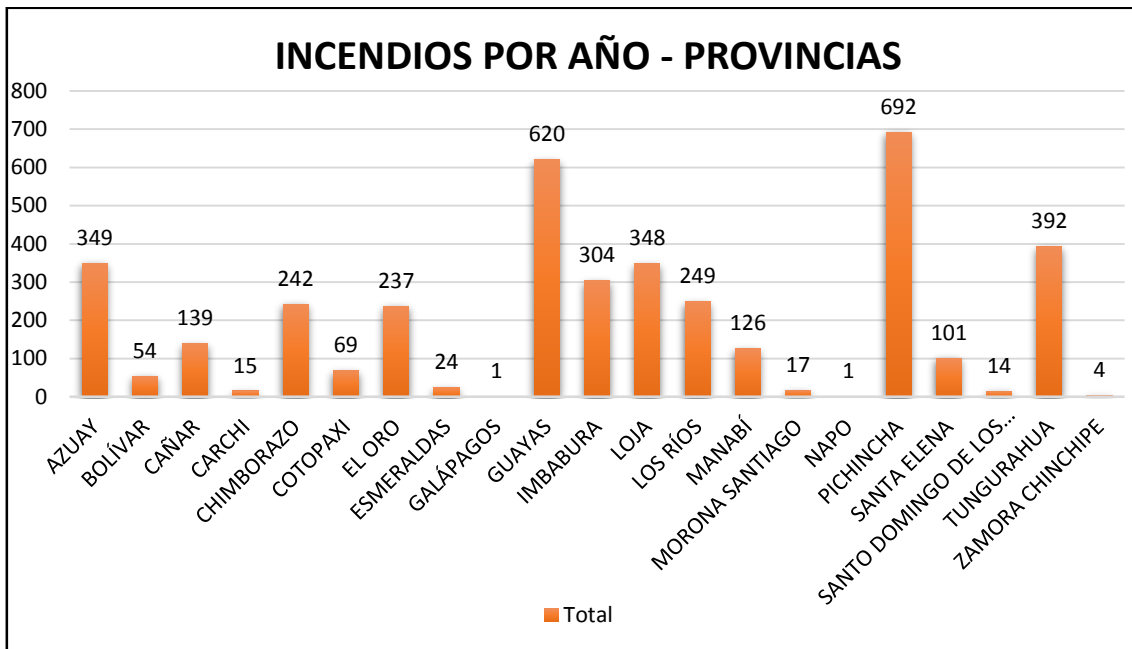
Incendios por Año – Provincias 2017



Nota: La figura muestra número de eventos ocurridos durante el año 2017, siendo la provincia de Guayas con mayor afectación con 380 eventos registrados, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 35.

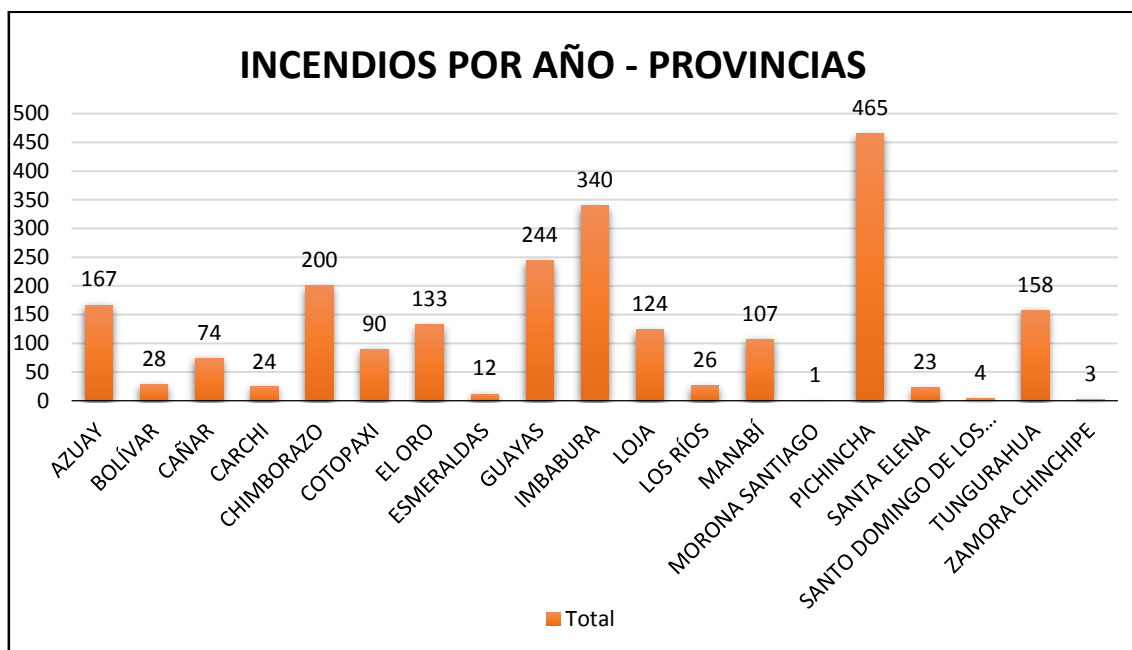
Incendios por Año – Provincias 2018



Nota: La figura muestra número de eventos ocurridos durante el año 2018, siendo la provincia de Pichincha con mayor afectación con 692 eventos registrados, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 36.

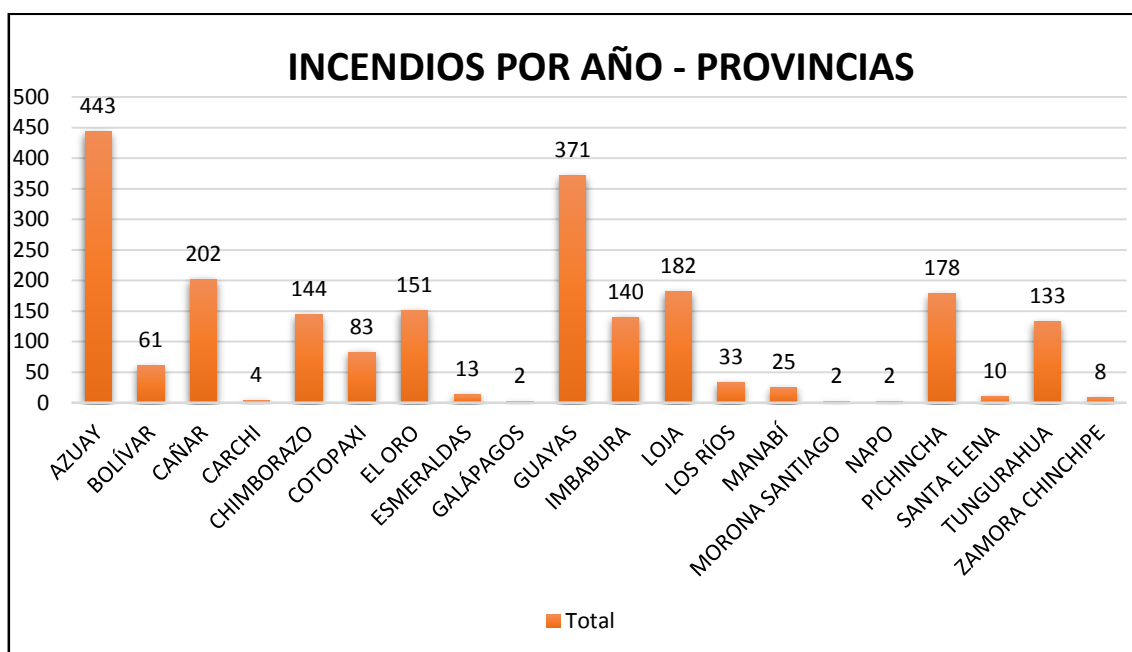
Incendios por Año – Provincias 2019



Nota: La figura muestra número de eventos ocurridos durante el año 2019, siendo la provincia de Pichincha con mayor afectación con 465 eventos registrados, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 37.

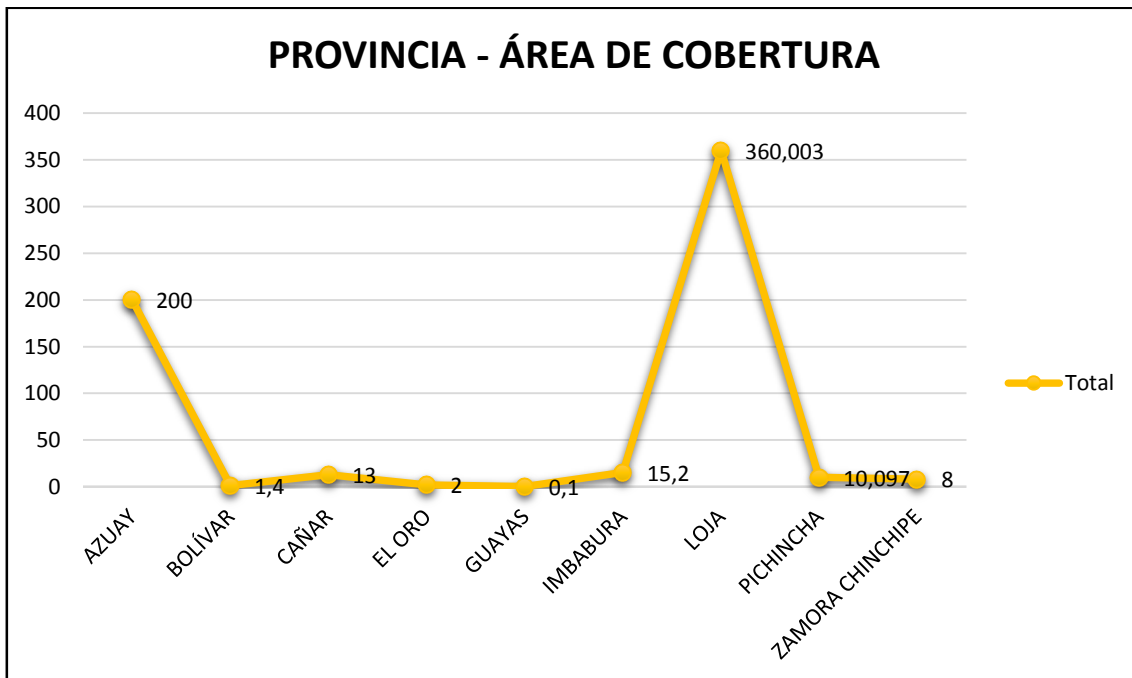
Incendios por Año – Provincias 2020



Nota: La figura muestra número de eventos ocurridos durante el año 2020, siendo la provincia de Azuay con mayor afectación con 443 eventos registrados, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 38.

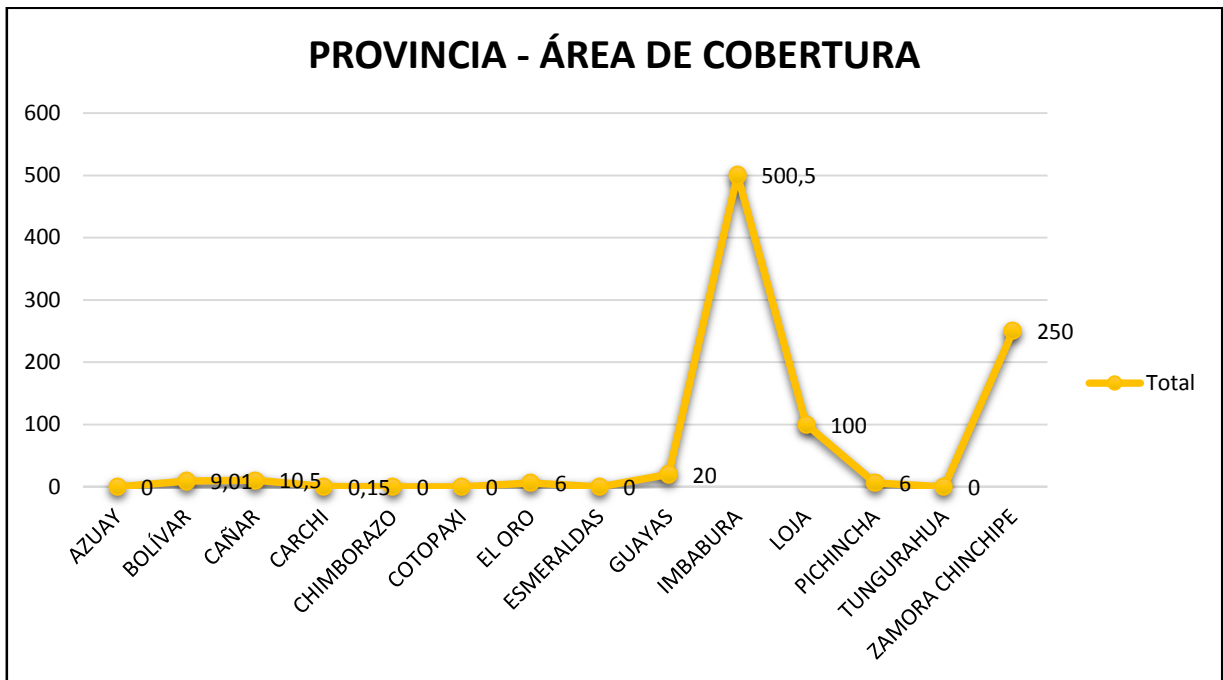
Provincia – Área de Cobertura Afectada 2010



Nota: La figura muestra las áreas de cobertura afectadas durante el año 2010, siendo la provincia de Loja con mayor afectación por encima de las 200 hectáreas, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 39.

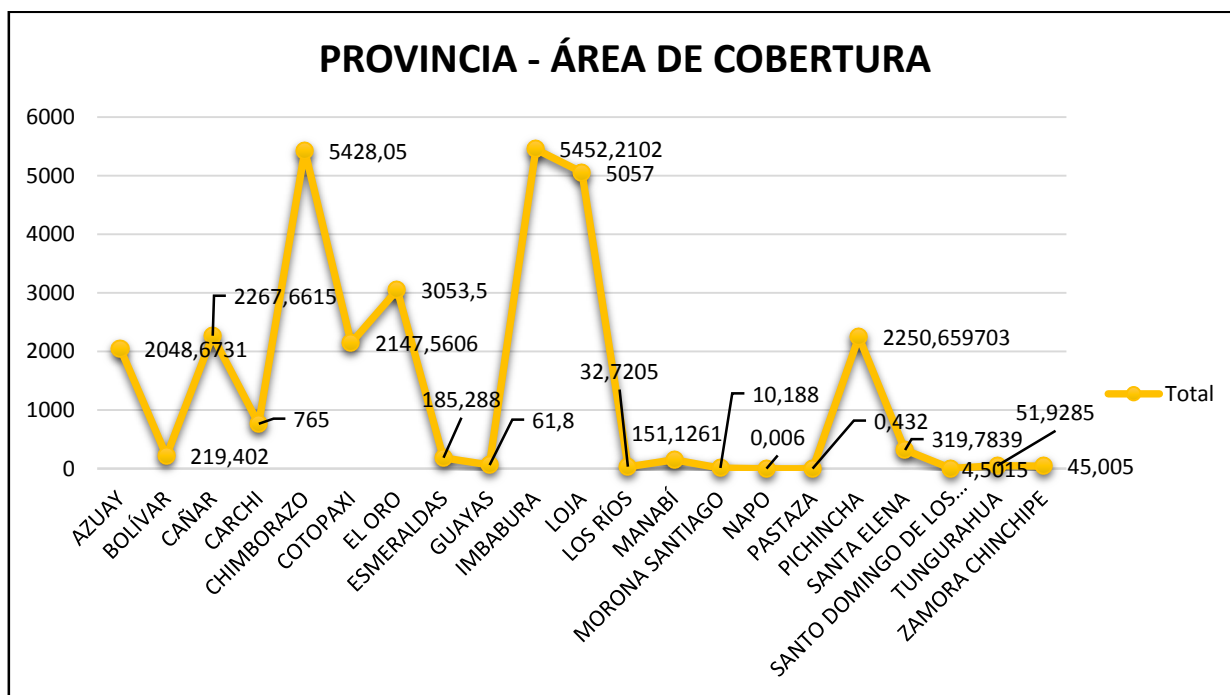
Provincia – Área de Cobertura Afectada 2011



Nota: La figura muestra las áreas de cobertura afectadas durante el año 2011, siendo la provincia de Manabí con mayor afectación por encima de las 2000 hectáreas, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 40.

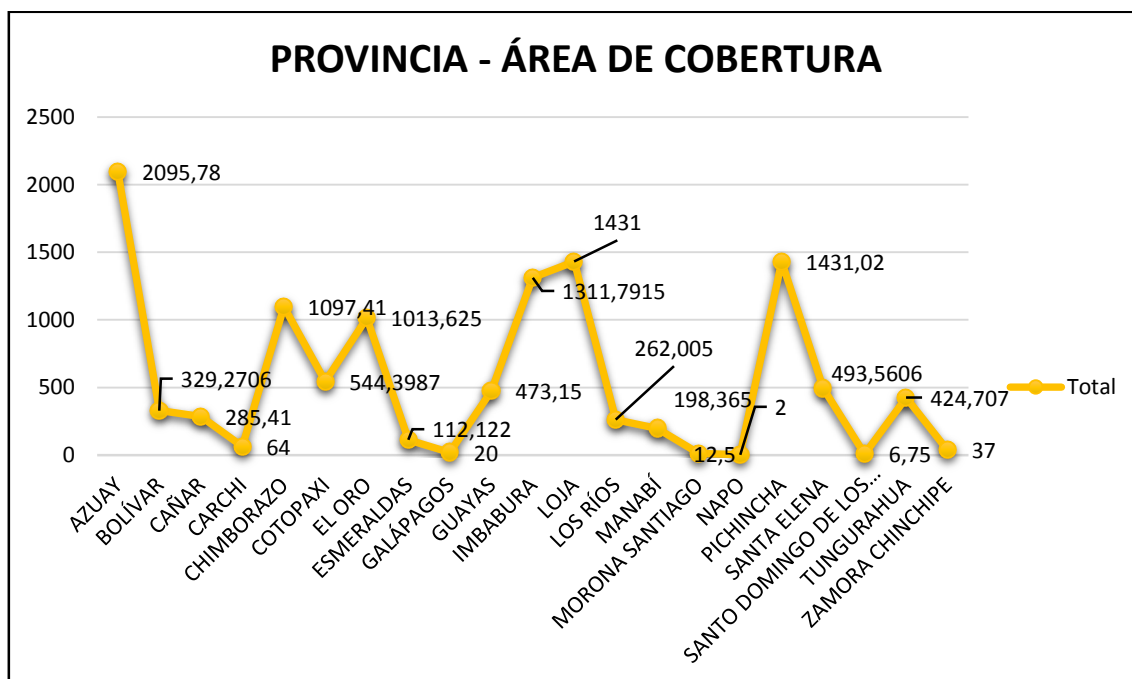
Provincia – Área de Cobertura Afectada 2012



Nota: La figura muestra las áreas de cobertura afectadas durante el año 2012, siendo la provincia de Azuay con mayor afectación por encima de las 2000 hectáreas, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 41.

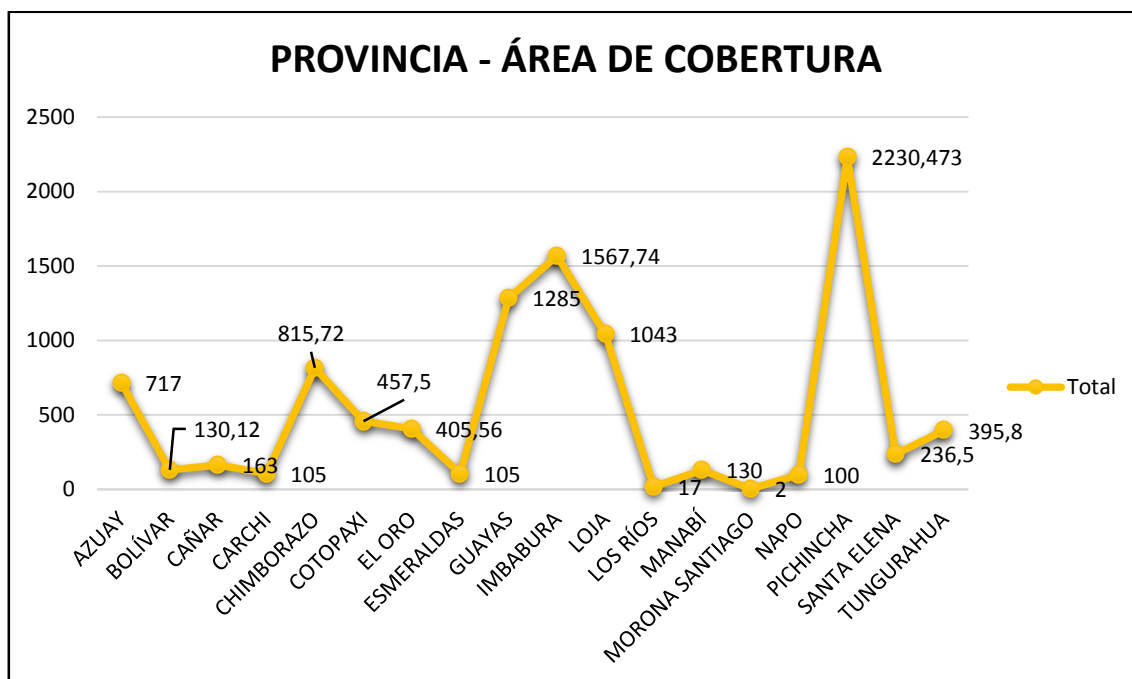
Provincia – Área de Cobertura Afectada 2013



Nota: La figura muestra las áreas de cobertura afectadas durante el año 2013, siendo la provincia de Azuay con mayor afectación por encima de las 2000 hectáreas, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 42.

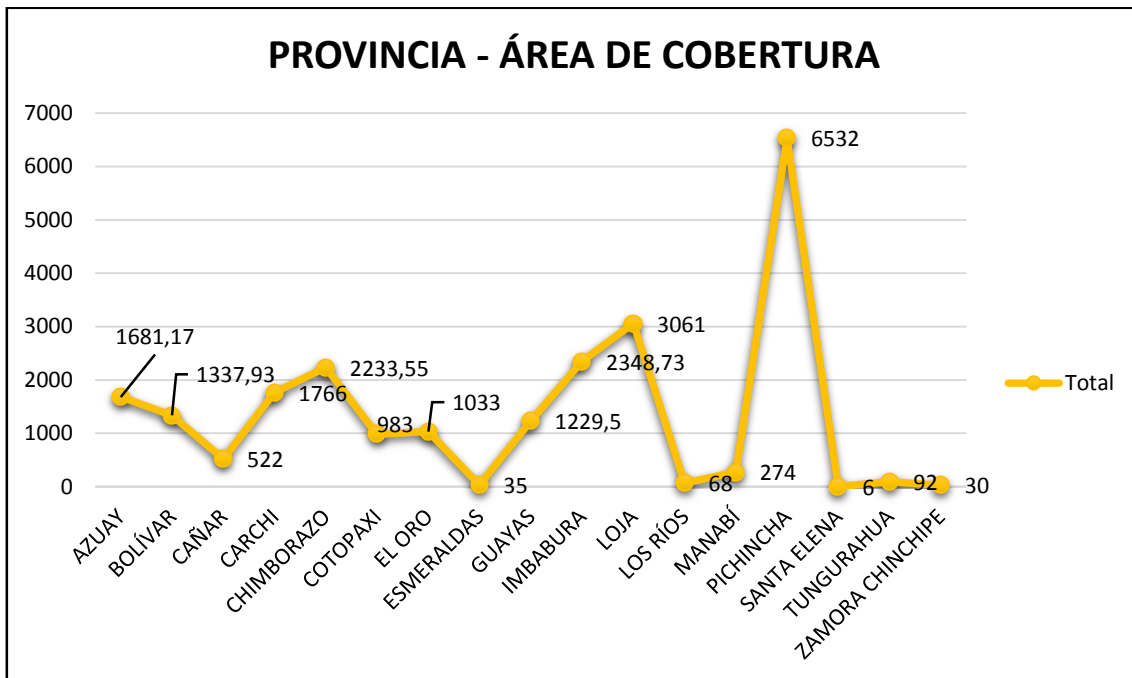
Provincia – Área de Cobertura Afectada 2014



Nota: La figura muestra las áreas de cobertura afectadas durante el año 2014, siendo la provincia de Pichincha con mayor afectación por encima de las 2000 hectáreas, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 43.

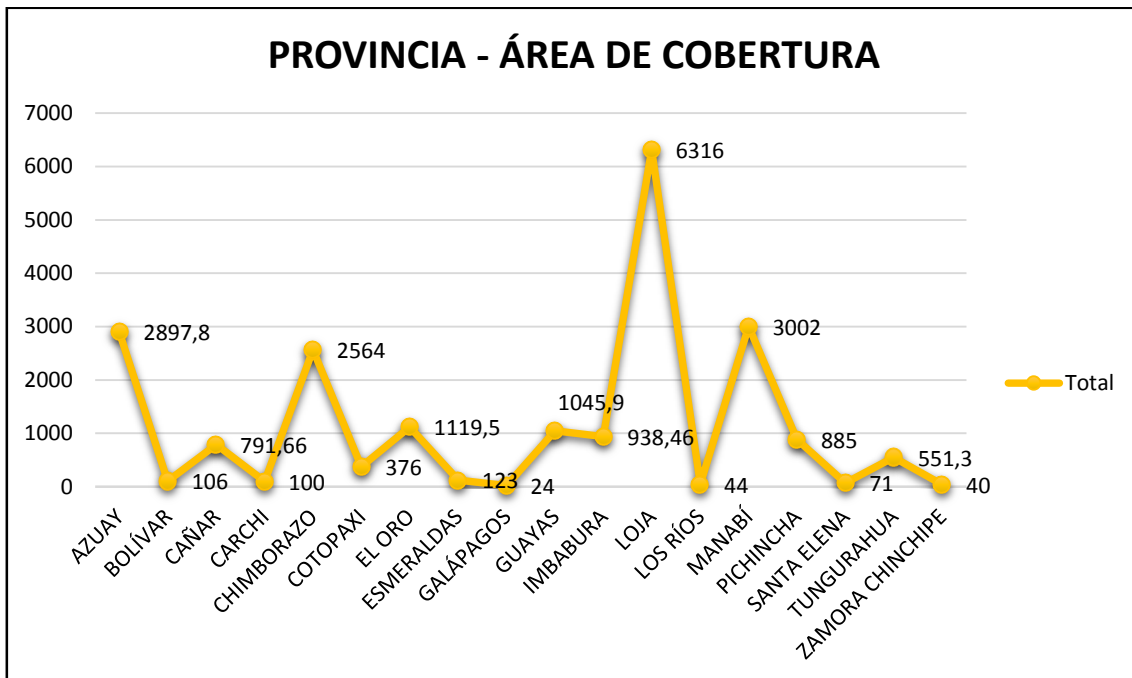
Provincia – Área de Cobertura Afectada 2015



Nota: La figura muestra las áreas de cobertura afectadas durante el año 2015, siendo la provincia de Pichincha con mayor afectación por encima de las 6000 hectáreas, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 44.

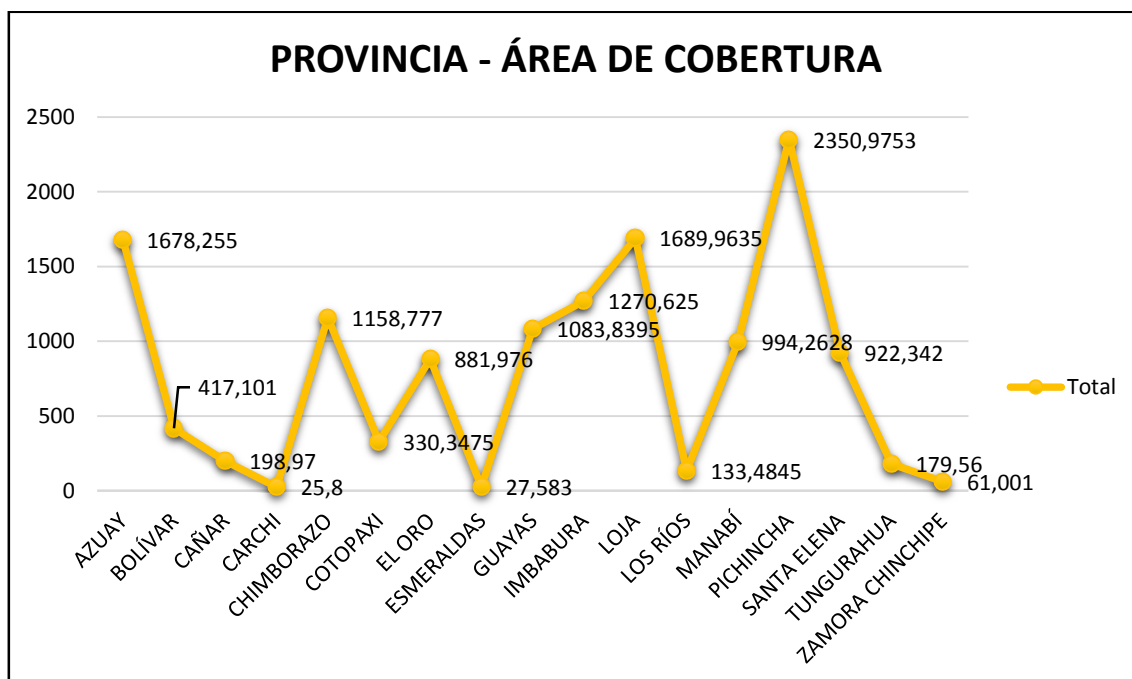
Provincia – Área de Cobertura Afectada 2016



Nota: La figura muestra las áreas de cobertura afectadas durante el año 2016, siendo la provincia de Loja con mayor afectación por encima de las 6000 hectáreas, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 45.

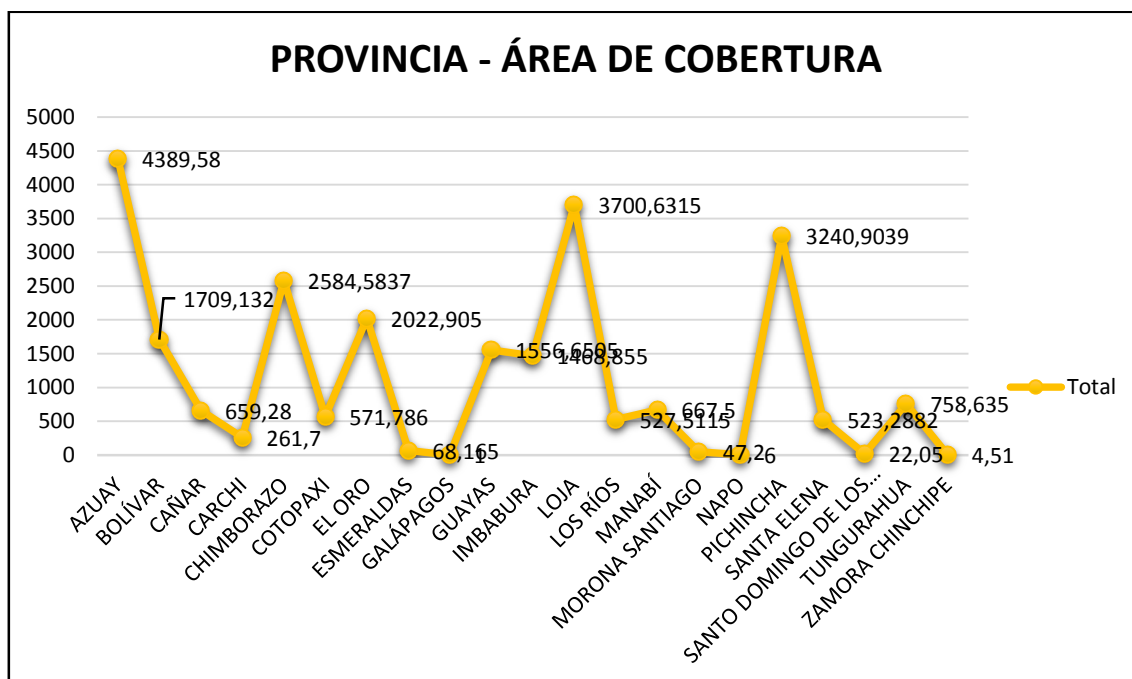
Provincia – Área de Cobertura Afectada 2017



Nota: La figura muestra las áreas de cobertura afectadas durante el año 2017, siendo la provincia de Pichincha con mayor afectación por encima de las 2000 hectáreas, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 46.

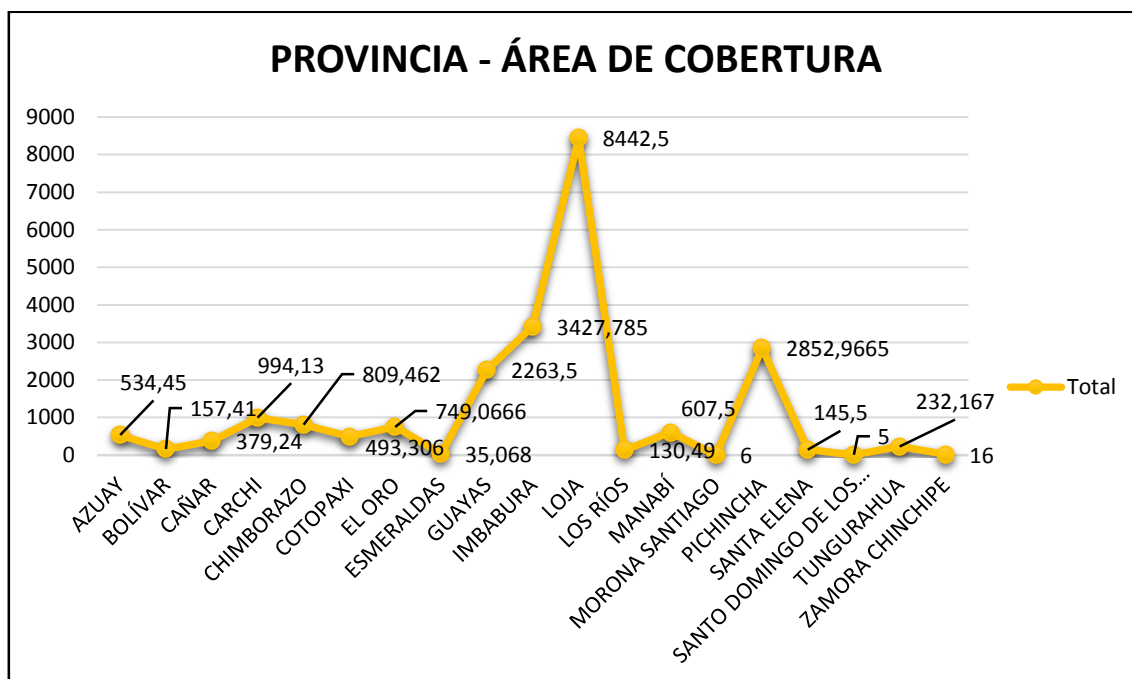
Provincia – Área de Cobertura Afectada 2018



Nota: La figura muestra las áreas de cobertura afectadas durante el año 2018, siendo la provincia de Azuay con mayor afectación por encima de las 4000 hectáreas, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 47.

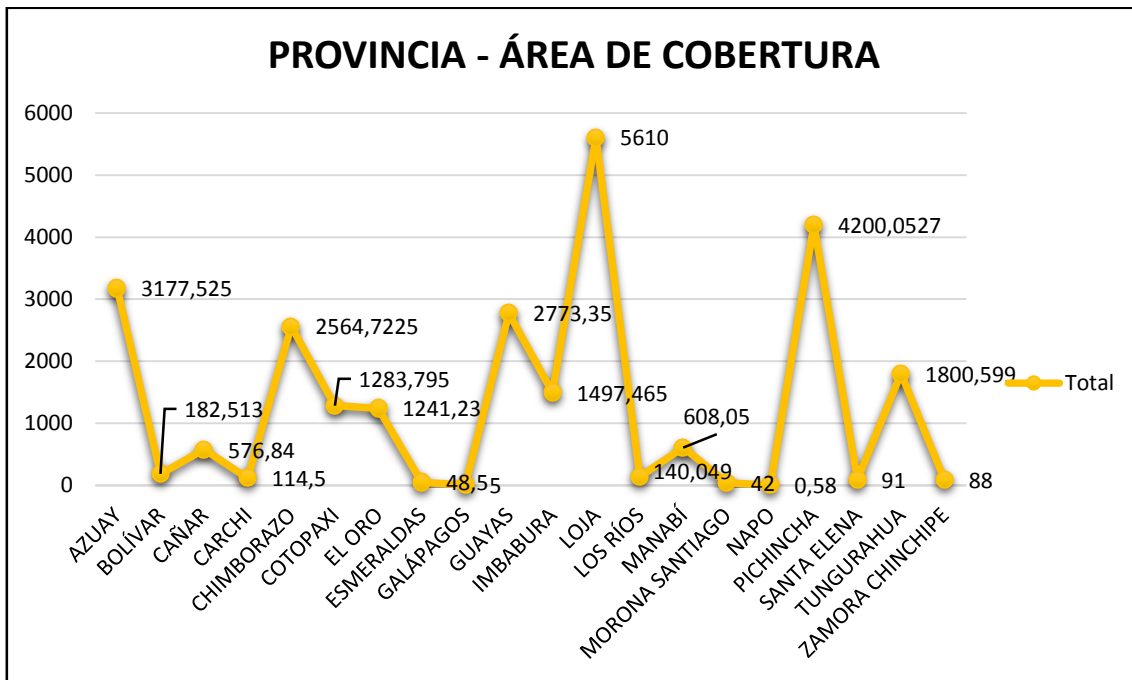
Provincia – Área de Cobertura Afectada 2019



Nota: La figura muestra las áreas de cobertura afectadas durante el año 2019, siendo la provincia de Imbabura con mayor afectación por encima de las 8000 hectáreas, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 48.

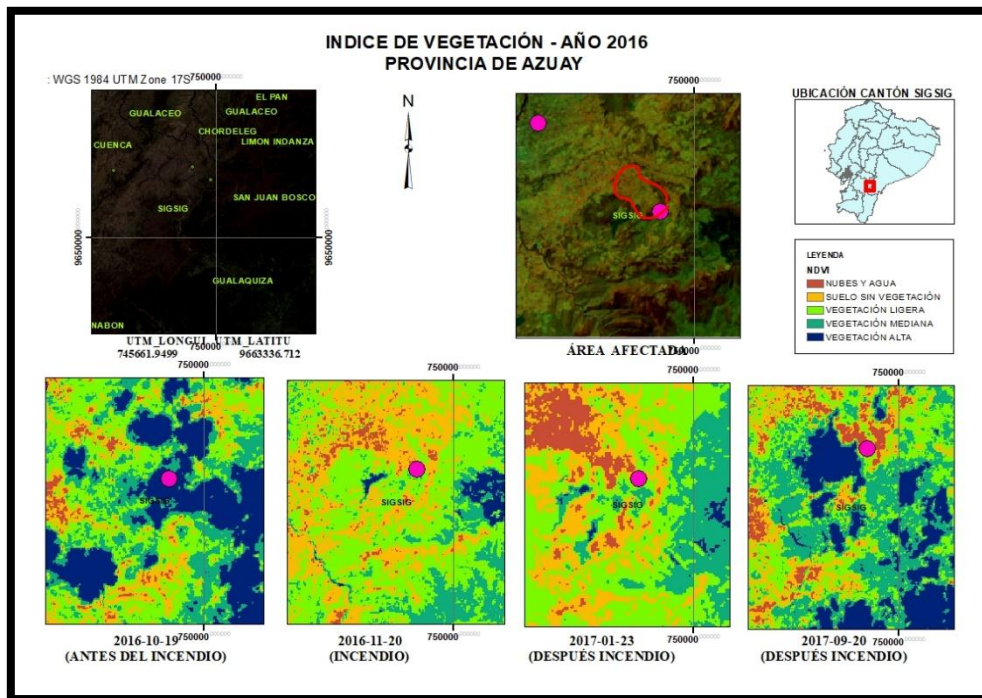
Provincia – Área de Cobertura Afectada 2020



Nota: La figura muestra las áreas de cobertura afectadas durante el año 2020, siendo la provincia de Loja con mayor afectación por encima de las 5000 hectáreas, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 49.

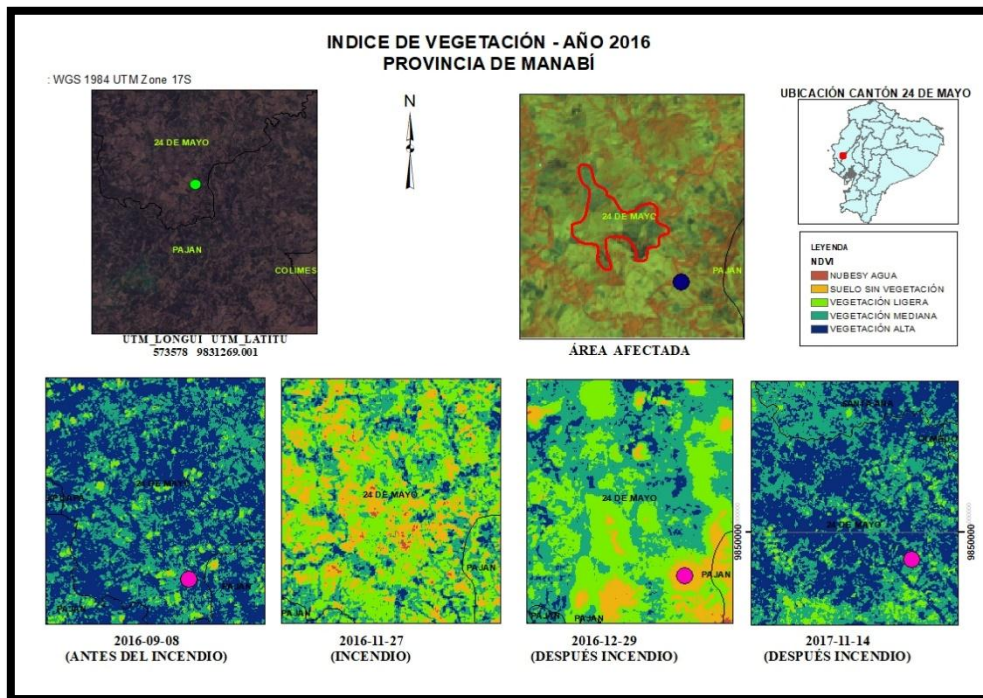
Imagen Satelital Azuay Gualaquiza 2016



Nota: La figura muestra las imágenes satelitales obtenidas por el satélite Sentinel 2 y Landsat 8 para determinar el índice de vegetación en una zona de quema de Azuay en el año 2016, se utilizan 4 diferentes imágenes: 1) meses antes del incendio, 2) en la fecha del incendio, 3) 1 mes después del incendio y 4) 12 meses después del incendio, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 50.

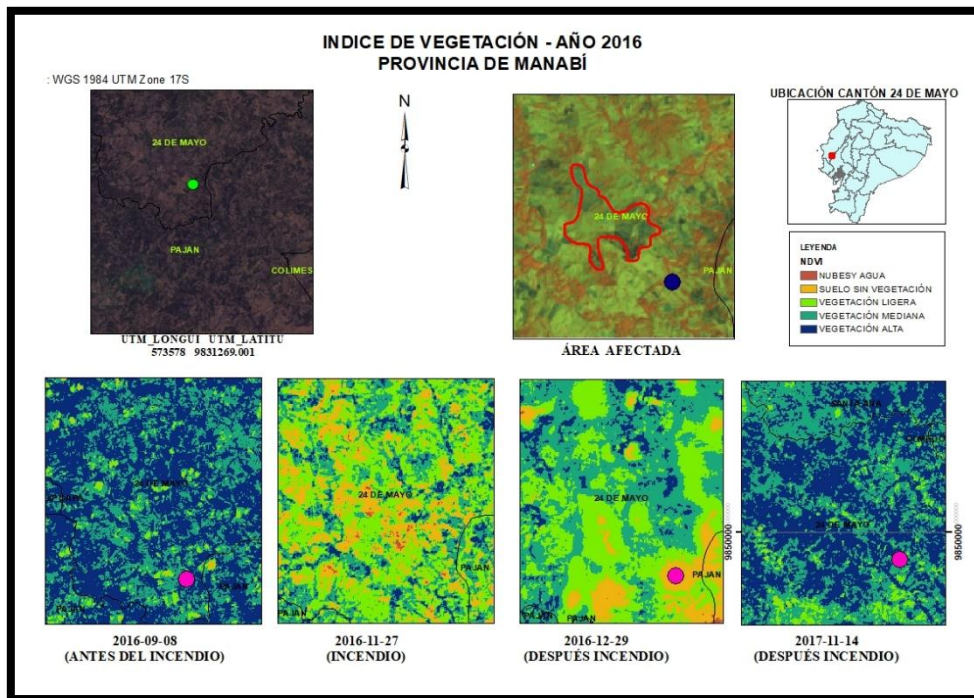
Imagen Satelital Manabí 24 de Mayo 2016



Nota: La figura muestra las imágenes satelitales obtenidas por el satélite Sentinel 2 y Landsat 8 para determinar el índice de vegetación en una zona de quema de Manabí en el año 2016, se utilizan 4 diferentes imágenes: 1) meses antes del incendio, 2) en la fecha del incendio, 3) 1 mes después del incendio y 4) 12 meses después del incendio, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 51.

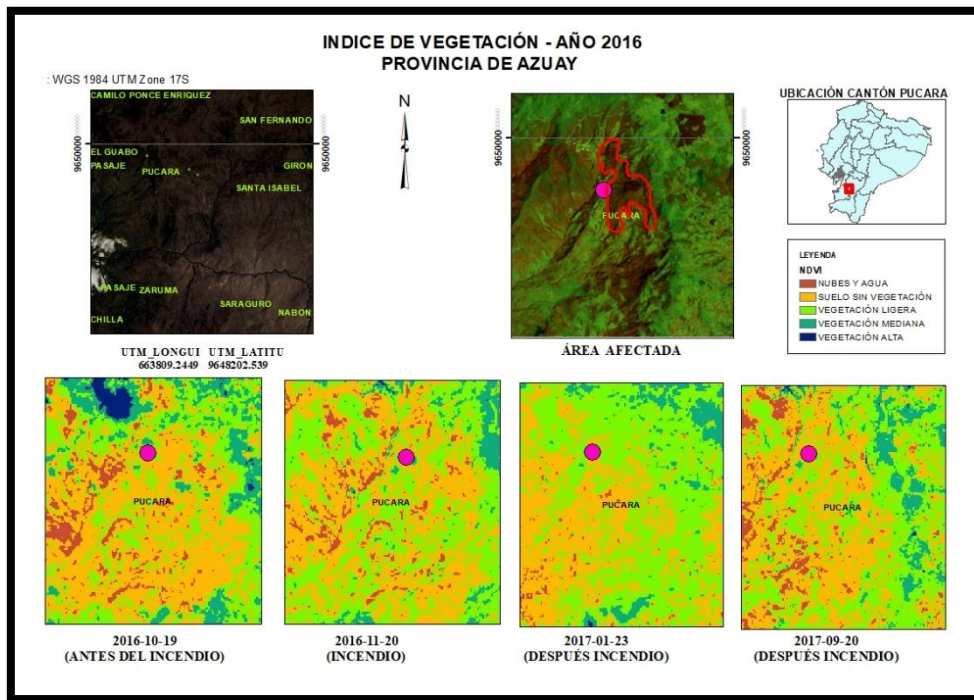
Imagen Satelital Manabí 24 de Mayo 2016



Nota: La figura muestra las imágenes satelitales obtenidas por el satélite Sentinel 2 y Landsat 8 para determinar el índice de vegetación en una zona de quema de Manabí en el año 2016, se utilizan 4 diferentes imágenes: 1) meses antes del incendio, 2) en la fecha del incendio, 3) 1 mes después del incendio y 4) 12 meses después del incendio, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 52.

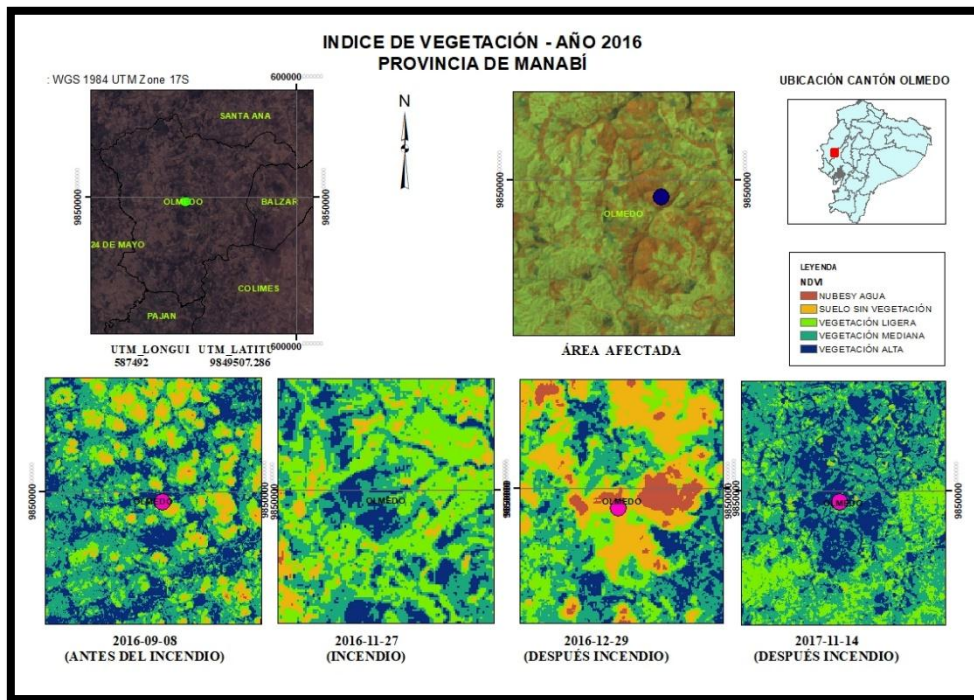
Imagen Satelital Azuay Fucara 2016



Nota: La figura muestra las imágenes satelitales obtenidas por el satélite Sentinel 2 y Landsat 8 para determinar el índice de vegetación en una zona de quema de Azuay en el año 2016, se utilizan 4 diferentes imágenes: 1) meses antes del incendio, 2) en la fecha del incendio, 3) 1 mes después del incendio y 4) 12 meses después del incendio, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 53.

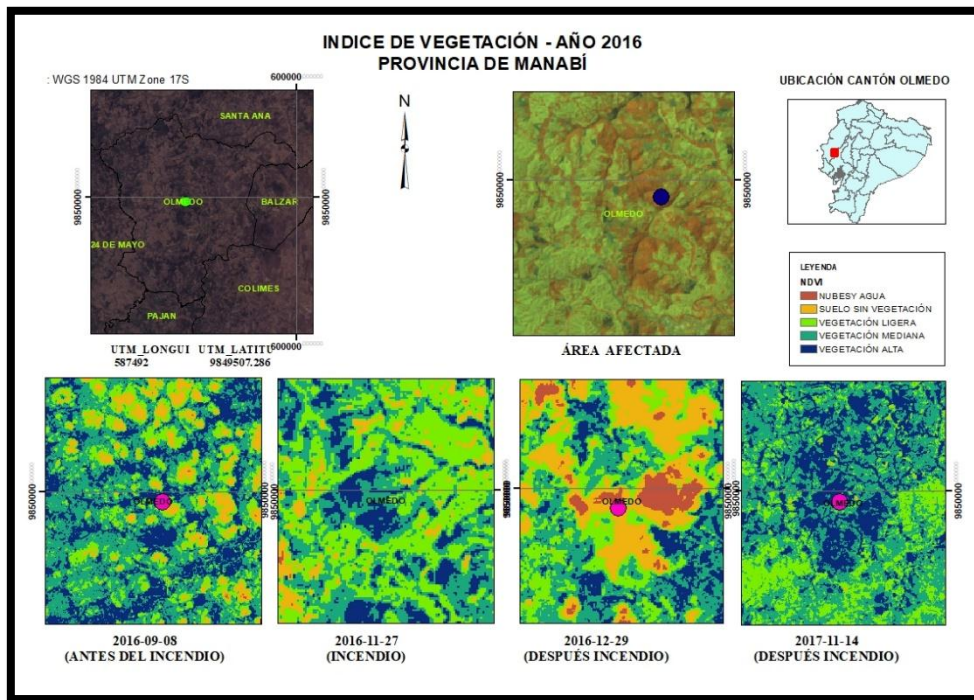
Imagen Satelital Manabí Olmedo 2016



Nota: La figura muestra las imágenes satelitales obtenidas por el satélite Sentinel 2 y Landsat 8 para determinar el índice de vegetación en una zona de quema de Manabí en el año 2016, se utilizan 4 diferentes imágenes: 1) meses antes del incendio, 2) en la fecha del incendio, 3) 1 mes después del incendio y 4) 12 meses después del incendio, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 54.

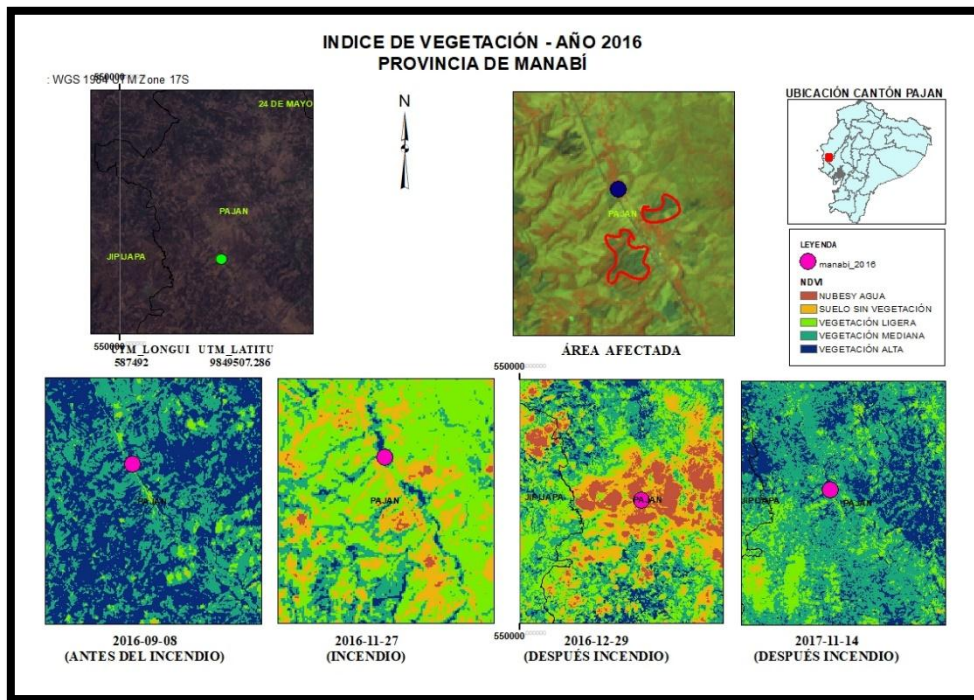
Imagen Satelital Manabí Balzar 2016



Nota: La figura muestra las imágenes satelitales obtenidas por el satélite Sentinel 2 y Landsat 8 para determinar el índice de vegetación en una zona de quema de Manabí en el año 2016, se utilizan 4 diferentes imágenes: 1) meses antes del incendio, 2) en la fecha del incendio, 3) 1 mes después del incendio y 4) 12 meses después del incendio, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 55.

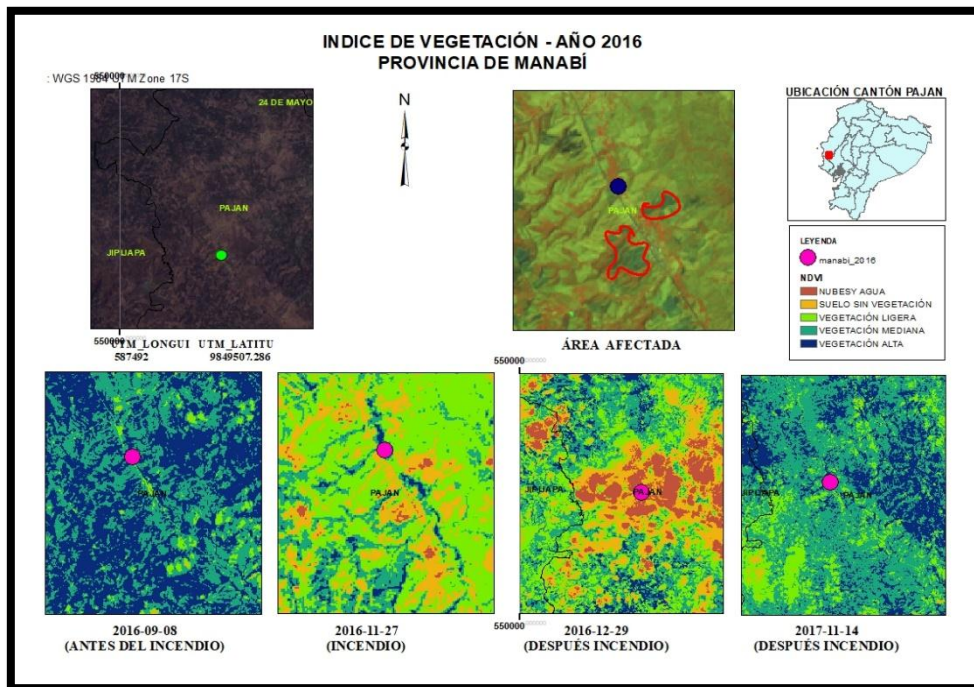
Imagen Satelital Manabí Pajan 2016



Nota: La figura muestra las imágenes satelitales obtenidas por el satélite Sentinel 2 y Landsat 8 para determinar el índice de vegetación en una zona de quema de Manabí en el año 2016, se utilizan 4 diferentes imágenes: 1) meses antes del incendio, 2) en la fecha del incendio, 3) 1 mes después del incendio y 4) 12 meses después del incendio, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 56.

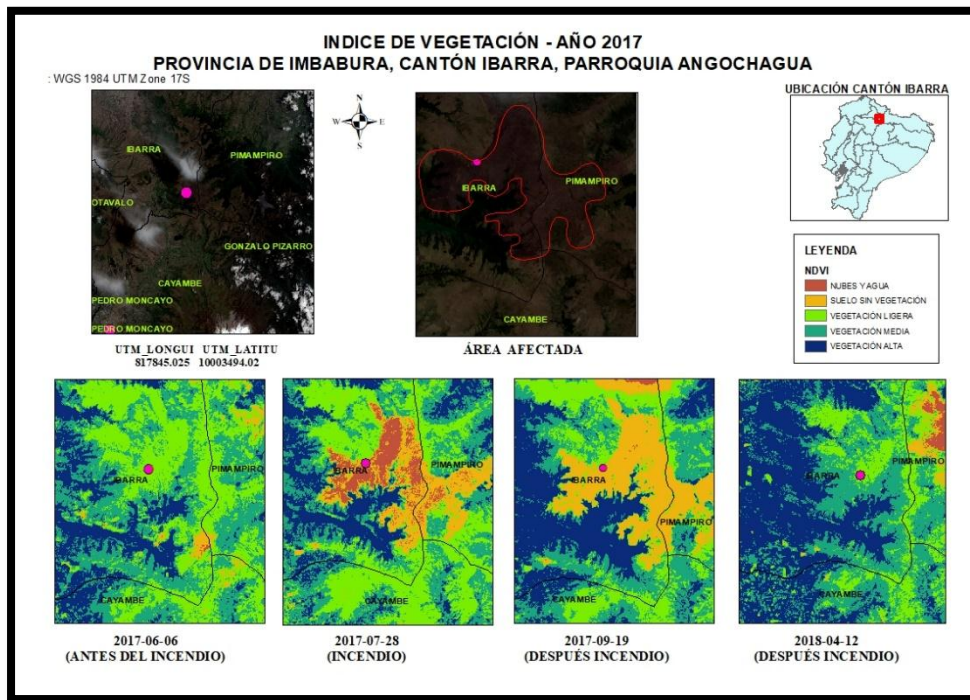
Imagen Satelital Manabí Pajan 2016



Nota: La figura muestra las imágenes satelitales obtenidas por el satélite Sentinel 2 y Landsat 8 para determinar el índice de vegetación en una zona de quema de Manabí en el año 2016, se utilizan 4 diferentes imágenes: 1) meses antes del incendio, 2) en la fecha del incendio, 3) 1 mes después del incendio y 4) 12 meses después del incendio, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 57.

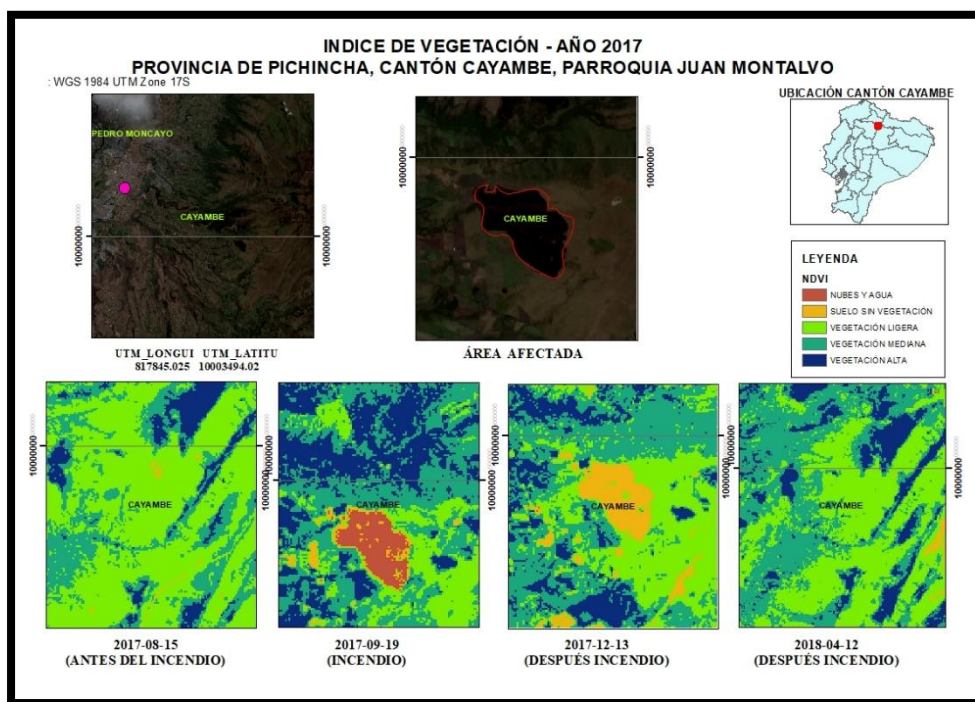
Imagen Satelital Imbabura Ibarra 2017



Nota: La figura muestra las imágenes satelitales obtenidas por el satélite Sentinel 2 y Landsat 8 para determinar el índice de vegetación en una zona de quema de Imbabura en el año 2017, se utilizan 4 diferentes imágenes: 1) meses antes del incendio, 2) en la fecha del incendio, 3) 1 mes después del incendio y 4) 12 meses después del incendio, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 58.

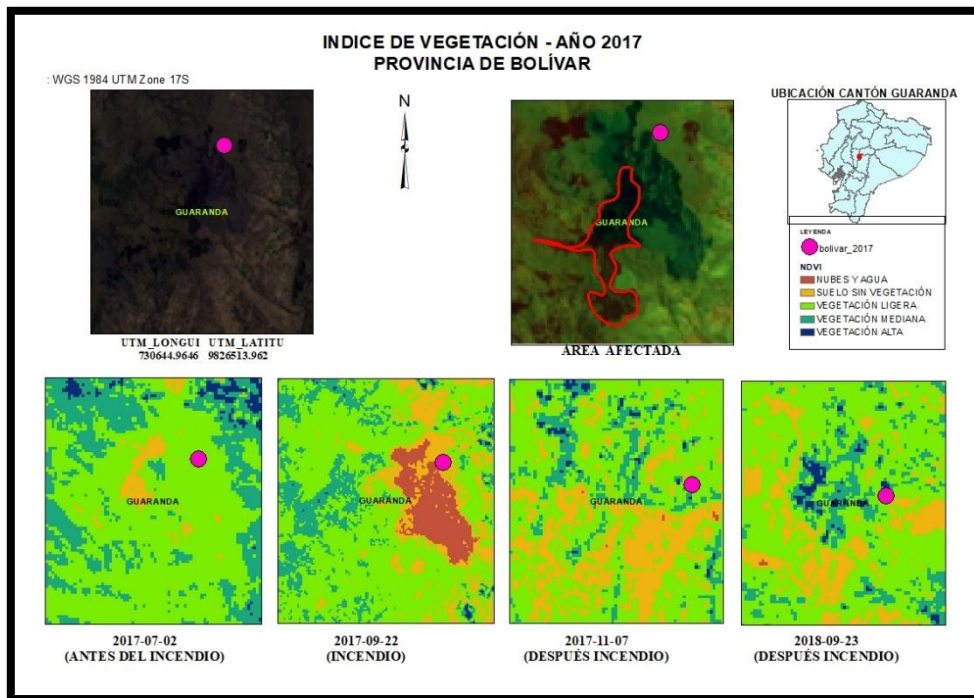
Imagen Satelital Pichincha Cayambe 2017



Nota: La figura muestra las imágenes satelitales obtenidas por el satélite Sentinel 2 y Landsat 8 para determinar el índice de vegetación en una zona de quema de Pichincha en el año 2017, se utilizan 4 diferentes imágenes: 1) meses antes del incendio, 2) en la fecha del incendio, 3) 1 mes después del incendio y 4) 12 meses después del incendio, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 59.

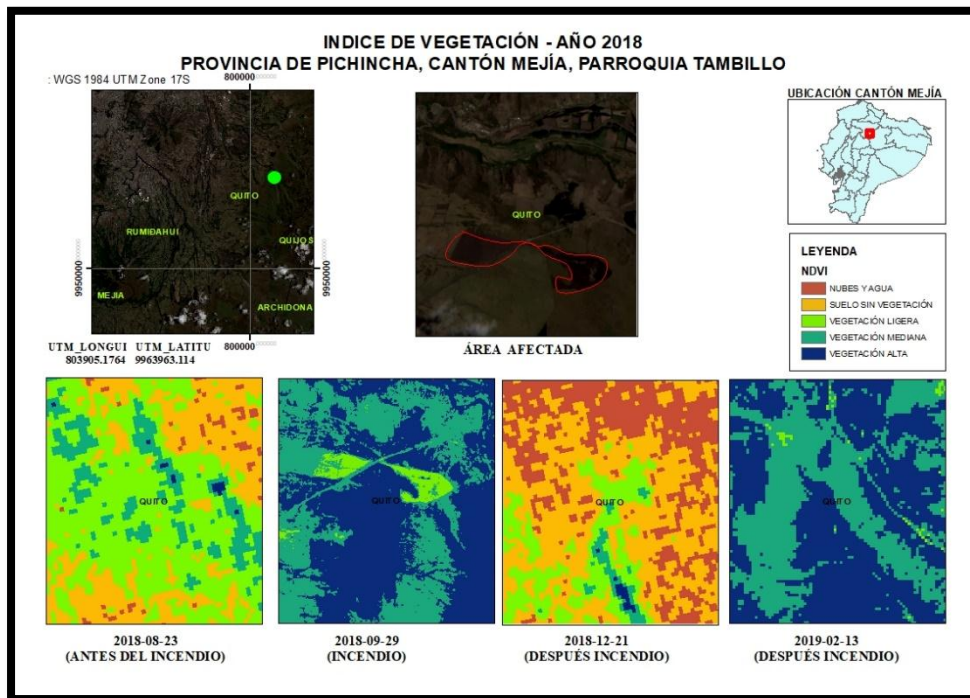
Imagen Satelital Bolívar Guaranda 2017



Nota:La figura muestra las imágenes satelitales obtenidas por el satélite Sentinel 2 y Landsat 8 para determinar el índice de vegetación en una zona de quema de Bolívar en el año 2017, se utilizan 4 diferentes imágenes: 1) meses antes del incendio, 2) en la fecha del incendio, 3) 1 mes después del incendio y 4) 12 meses después del incendio. elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 60.

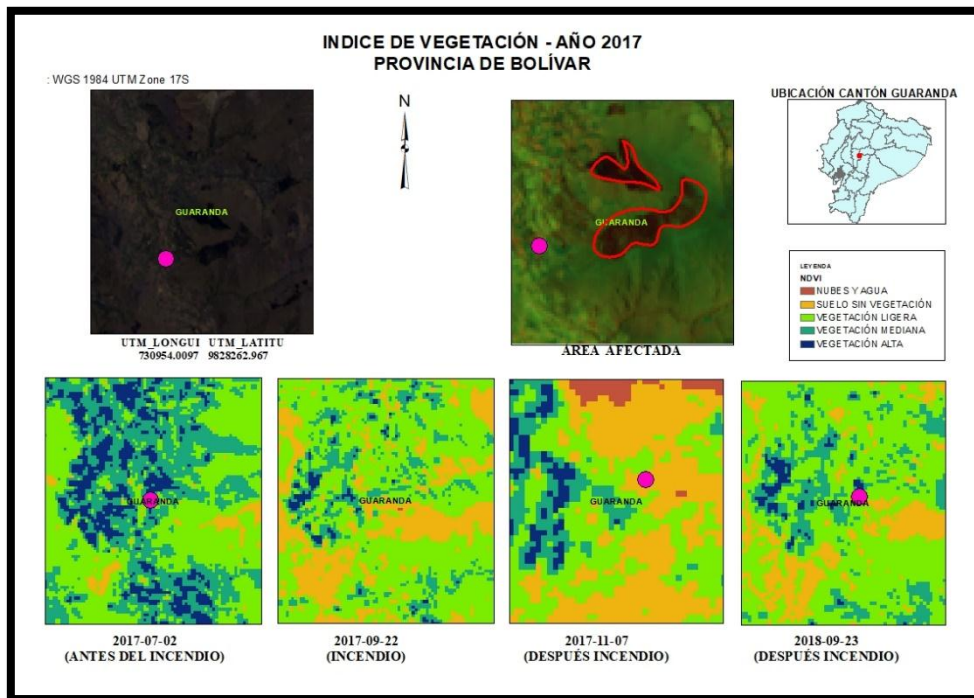
Imagen Satelital Pichincha Mejía 2018



Nota: La figura muestra las imágenes satelitales obtenidas por el satélite Sentinel 2 y Landsat 8 para determinar el índice de vegetación en una zona de quema de Pichincha en el año 2018, se utilizan 4 diferentes imágenes: 1) meses antes del incendio, 2) en la fecha del incendio, 3) 3 meses después del incendio y 4) 7 meses después del incendio, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 61.

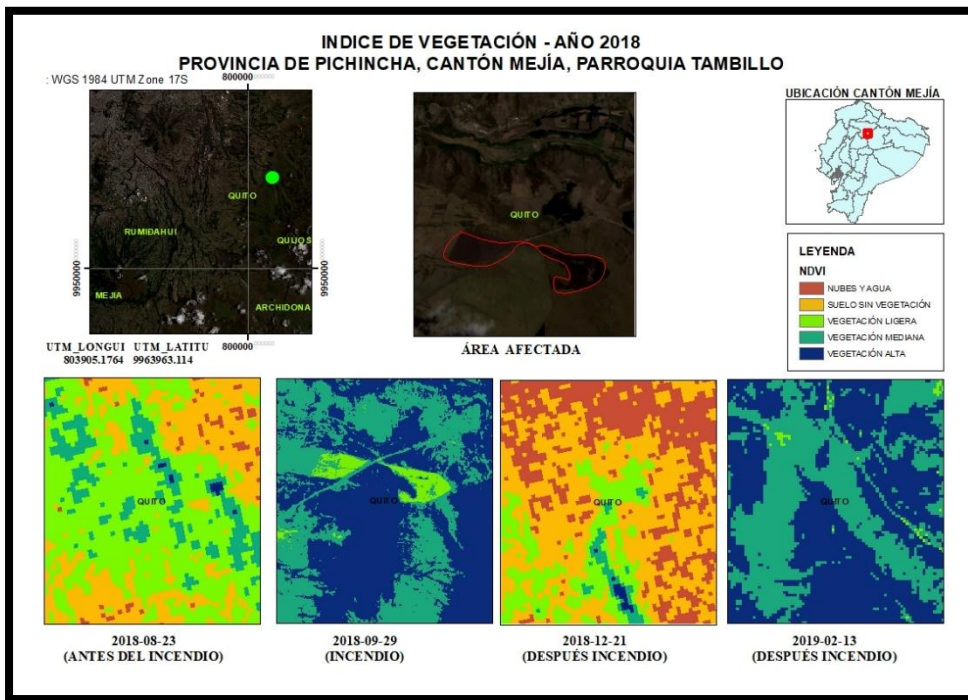
Imagen Satelital Bolívar Guaranda 2017



Nota: La figura muestra las imágenes satelitales obtenidas por el satélite Sentinel 2 y Landsat 8 para determinar el índice de vegetación en una zona de quema de Bolívar en el año 2017, se utilizan 4 diferentes imágenes: 1) meses antes del incendio, 2) en la fecha del incendio, 3) 1 mes después del incendio y 4) 12 meses después del incendio, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 62.

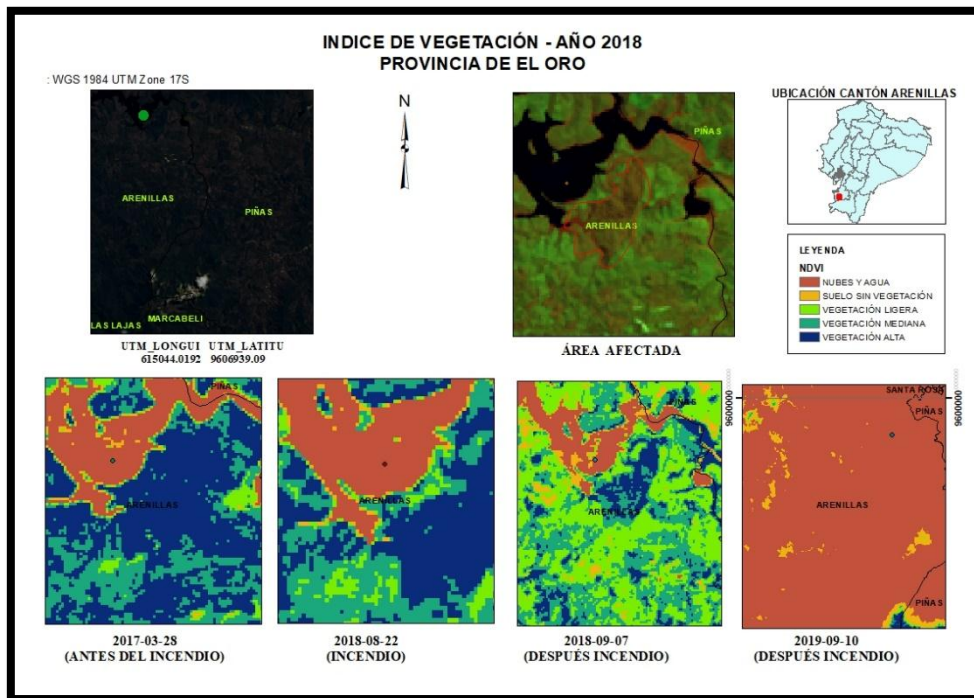
Imagen Satelital Pichincha Mejía 2018



Nota: La figura muestra las imágenes satelitales obtenidas por el satélite Sentinel 2 y Landsat 8 para determinar el índice de vegetación en una zona de quema de Pichincha en el año 2018, se utilizan 4 diferentes imágenes: 1) meses antes del incendio, 2) en la fecha del incendio, 3) 3 meses después del incendio y 4) 7 meses después del incendio, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 63.

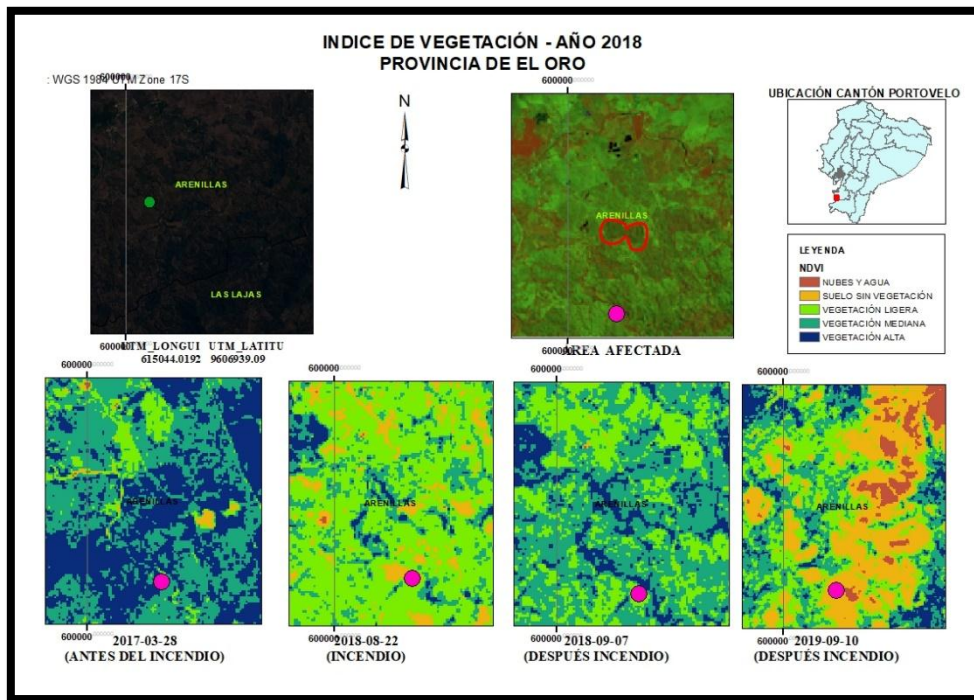
Imagen Satelital El Oro Arenillas 2018



Nota: La figura muestra las imágenes satelitales obtenidas por el satélite Sentinel 2 y Landsat 8 para determinar el índice de vegetación en una zona de quema de El Oro en el año 2018, se utilizan 4 diferentes imágenes: 1) meses antes del incendio, 2) en la fecha del incendio, 3) 1 mes después del incendio y 4) 12 meses después del incendio, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 64.

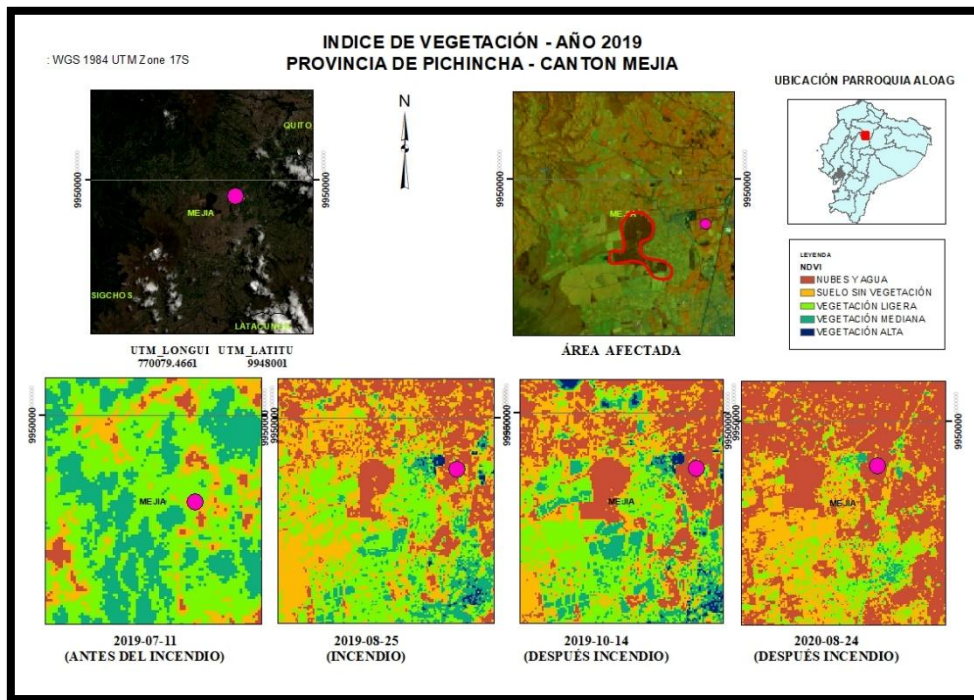
Imagen Satelital El Oro Arenillas 2018



Nota: La figura muestra las imágenes satelitales obtenidas por el satélite Sentinel 2 y Landsat 8 para determinar el índice de vegetación en una zona de quema de El Oro en el año 2018, se utilizan 4 diferentes imágenes: 1) meses antes del incendio, 2) en la fecha del incendio, 3) 1 mes después del incendio y 4) 12 meses después del incendio, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 65.

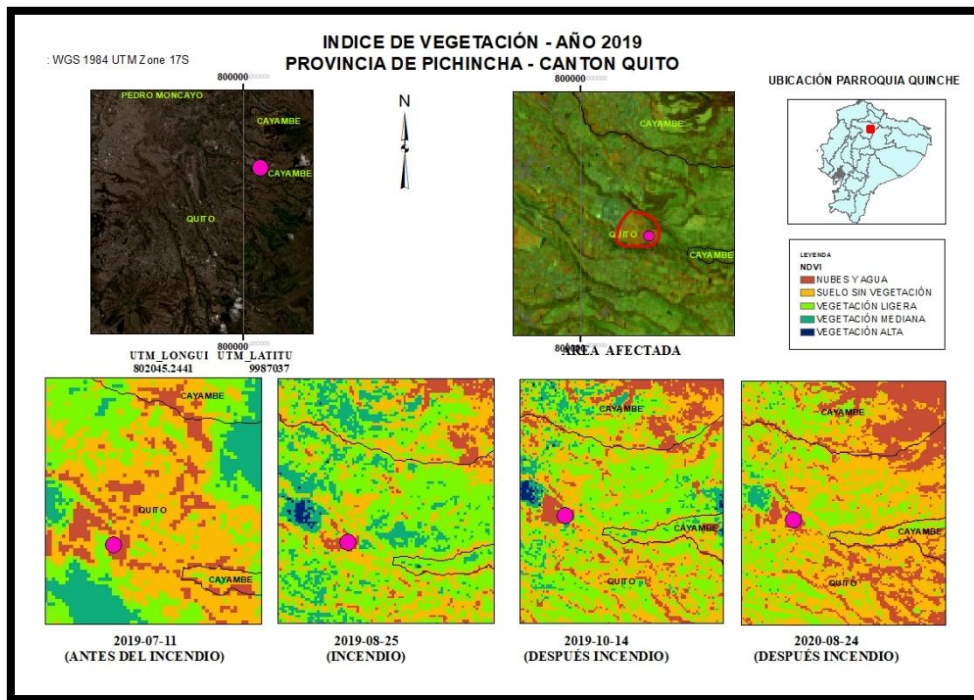
Imagen Satelital Pichincha Mejía 2019



Nota: La figura muestra las imágenes satelitales obtenidas por el satélite Sentinel 2 y Landsat 8 para determinar el índice de vegetación en una zona de quema de Pichincha en el año 2019, se utilizan 4 diferentes imágenes: 1) meses antes del incendio, 2) en la fecha del incendio, 3) 2 meses después del incendio y 4) 10 meses después del incendio, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 66.

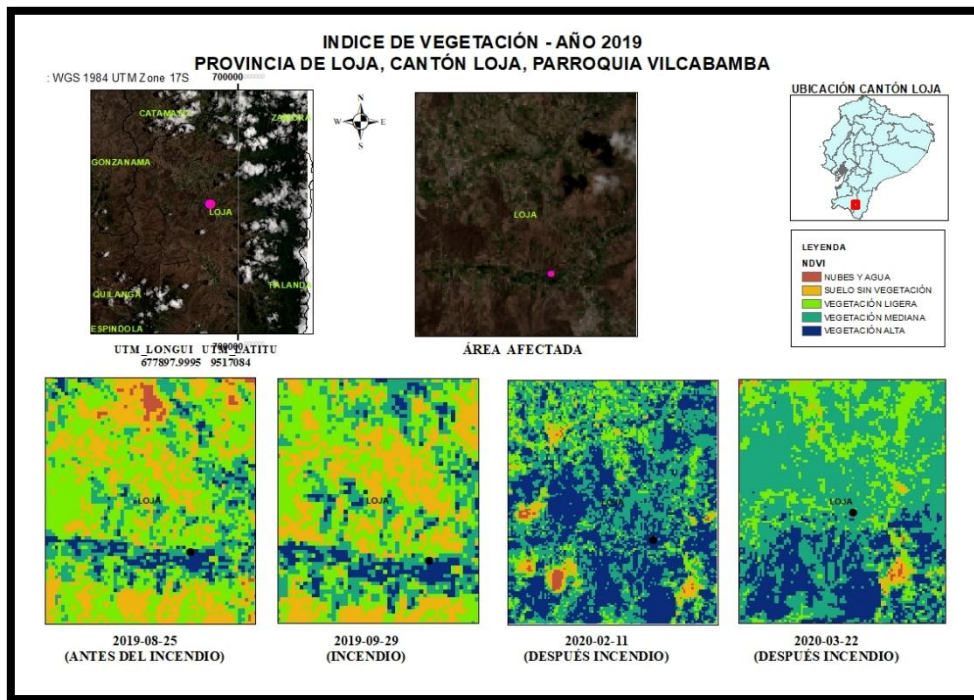
Imagen Satelital Pichincha Quito 2019



Nota: La figura muestra las imágenes satelitales obtenidas por el satélite Sentinel 2 y Landsat 8 para determinar el índice de vegetación en una zona de quema de Pichincha en el año 2019, se utilizan 4 diferentes imágenes: 1) meses antes del incendio, 2) en la fecha del incendio, 3) 10 meses después del incendio y 4) 6 meses después del incendio, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 67.

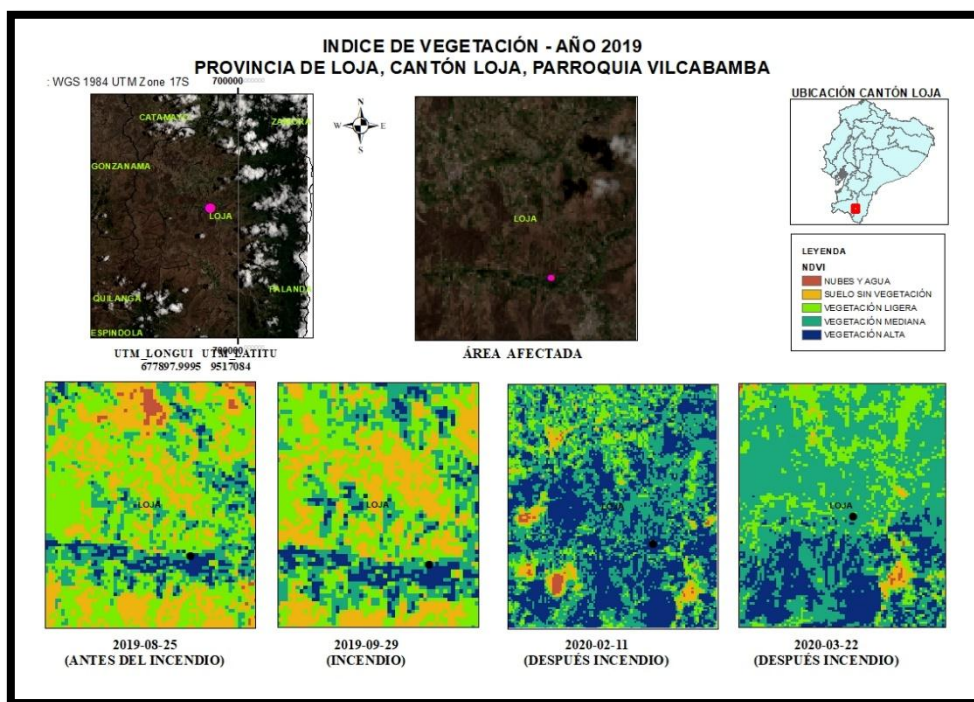
Imagen Satelital Loja Vilcabamba 2019



Nota: La figura muestra las imágenes satelitales obtenidas por el satélite Sentinel 2 y Landsat 8 para determinar el índice de vegetación en una zona de quema de Loja en el año 2019, se utilizan 4 diferentes imágenes: 1) meses antes del incendio, 2) en la fecha del incendio, 3) 5 meses después del incendio y 4) 6 meses después del incendio, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 68.

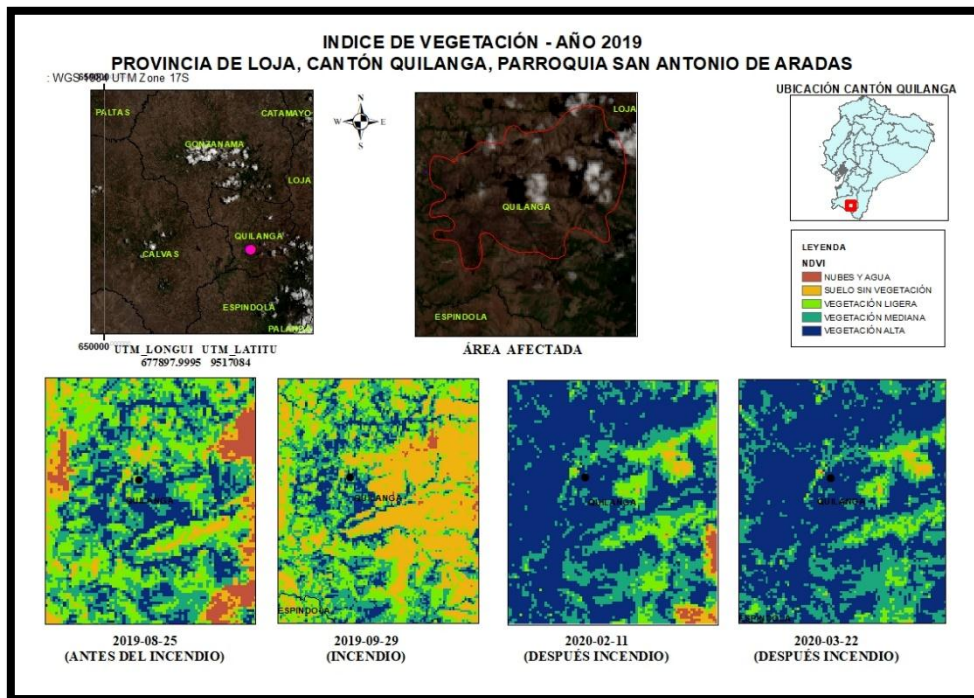
Imagen Satelital Loja Vilcabamba 2019



Nota: La figura muestra las imágenes satelitales obtenidas por el satélite Sentinel 2 y Landsat 8 para determinar el índice de vegetación en una zona de quema de Loja en el año 2019, se utilizan 4 diferentes imágenes: 1) meses antes del incendio, 2) en la fecha del incendio, 3) 5 meses después del incendio y 4) 6 meses después del incendio, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 69.

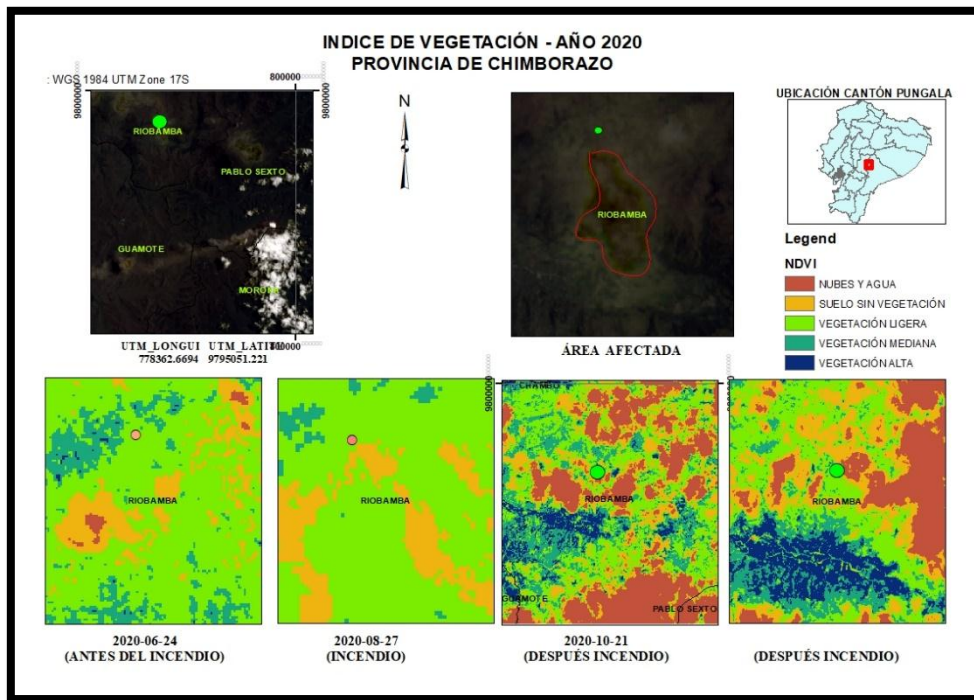
Imagen Satelital Loja Quilanga 2019



Nota: La figura muestra las imágenes satelitales obtenidas por el satélite Sentinel 2 y Landsat 8 para determinar el índice de vegetación en una zona de quema de Loja en el año 2019, se utilizan 4 diferentes imágenes: 1) meses antes del incendio, 2) en la fecha del incendio, 3) 5 meses después del incendio y 4) 6 meses después del incendio, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 70.

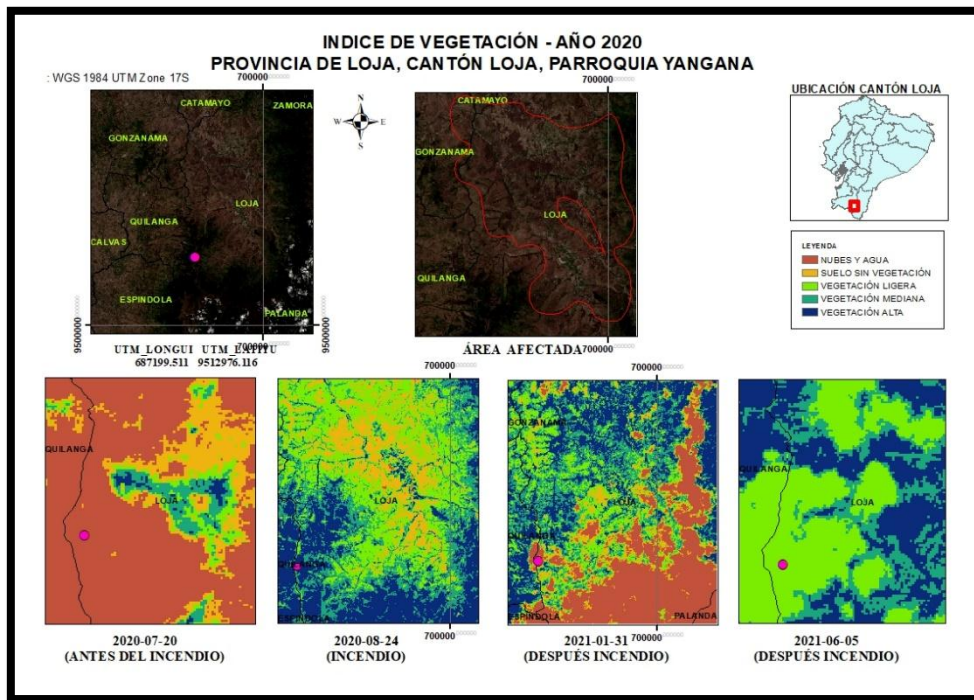
Imagen Satelital Chimborazo Riobamba 2020



Nota: La figura muestra las imágenes satelitales obtenidas por el satélite Sentinel 2 y Landsat 8 para determinar el índice de vegetación en una zona de quema de Chimborazo en el año 2020, se utilizan 4 diferentes imágenes: 1) meses antes del incendio, 2) en la fecha del incendio, 3) 2 meses después del incendio y 4) 6 meses después del incendio, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 71.

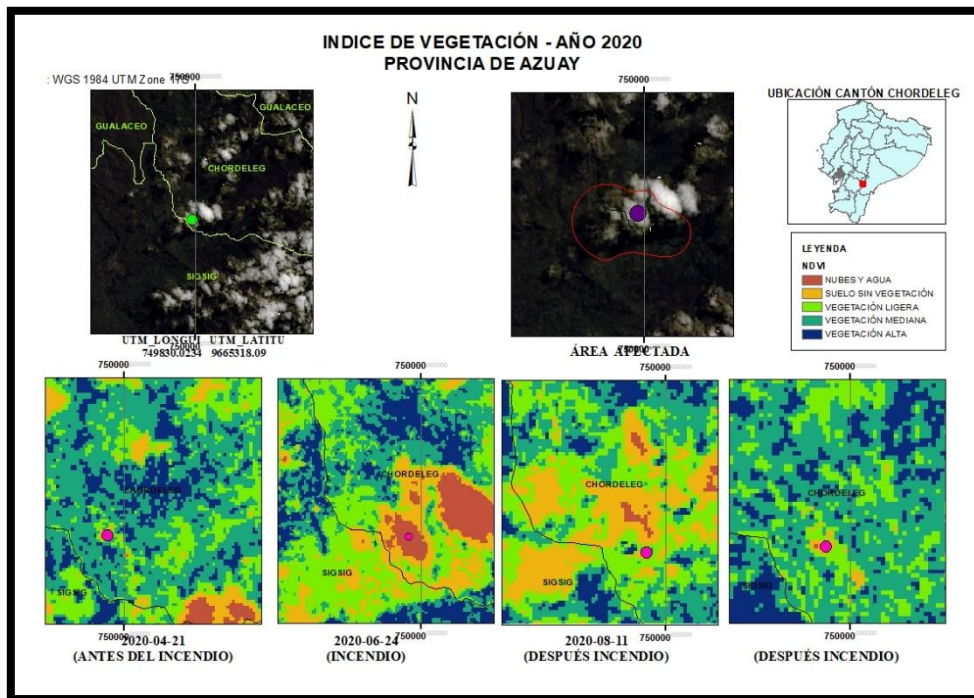
Imagen Satelital Loja Yangana 2020



Nota: La figura muestra las imágenes satelitales obtenidas por el satélite Sentinel 2 y Landsat 8 para determinar el índice de vegetación en una zona de quema de Loja en el año 2020, se utilizan 4 diferentes imágenes: 1) meses antes del incendio, 2) en la fecha del incendio, 3) 5 meses después del incendio y 4) 6 meses después del incendio, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 72.

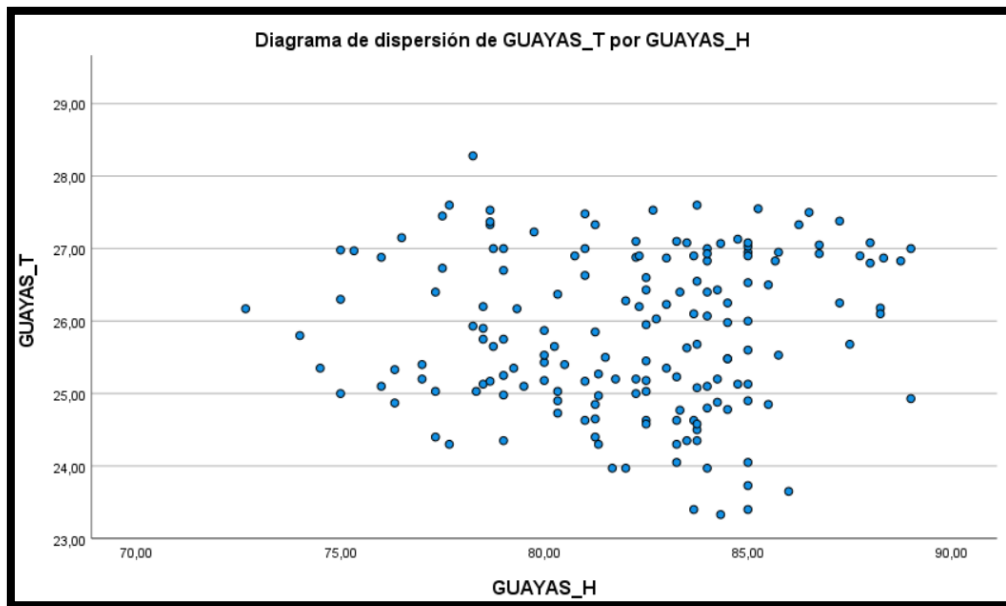
Imagen Satelital Azuay Chordeleg 2020



Nota: La figura muestra las imágenes satelitales obtenidas por el satélite Sentinel 2 y Landsat 8 para determinar el índice de vegetación en una zona de quema de Azuay en el año 2020, se utilizan 4 diferentes imágenes: 1) meses antes del incendio, 2) en la fecha del incendio, 3) 2 mes después del incendio y 4) 6 meses después del incendio, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 73.

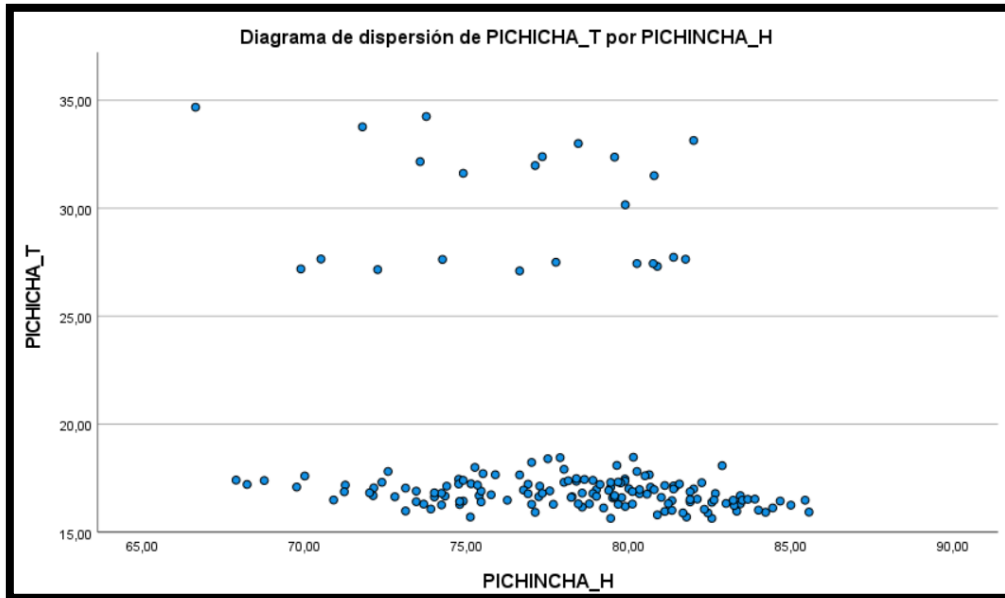
Diagrama de Dispersión T por H (Guayas)



Nota: La figura muestra que, en el caso de la provincia de Guayas, mientras mayor temperatura, existe una gran absorción de la humedad relativa, la cual favorece a la reproducción de los eventos (incendios forestales), elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 74.

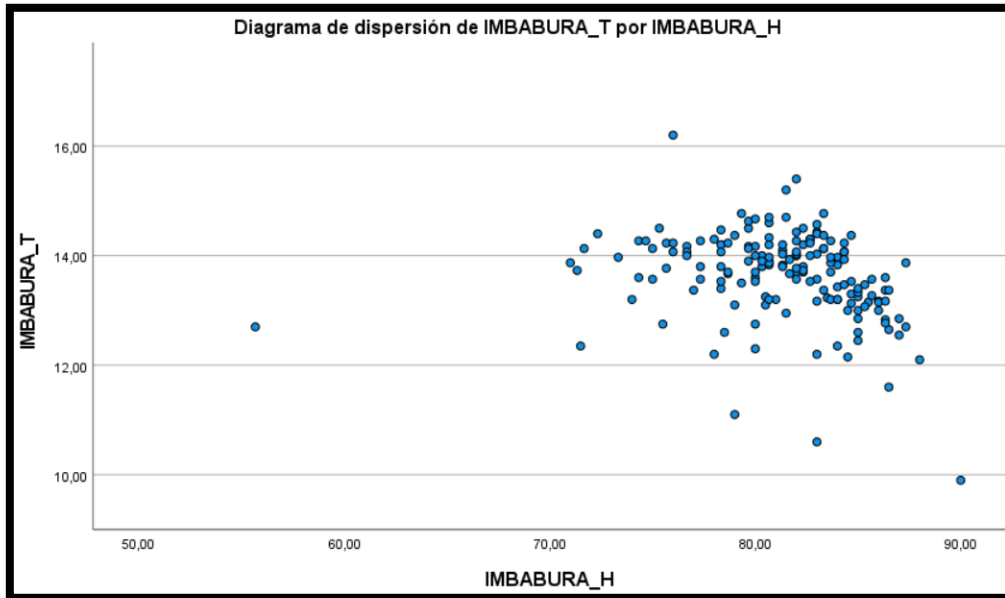
Diagrama de Dispersión T por H (Pichincha)



Nota: La figura muestra que, en el caso de la provincia de Pichincha, mientras mayor temperatura, existe una gran absorción de la humedad relativa, la cual favorece a la reproducción de los eventos (incendios forestales), elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 75.

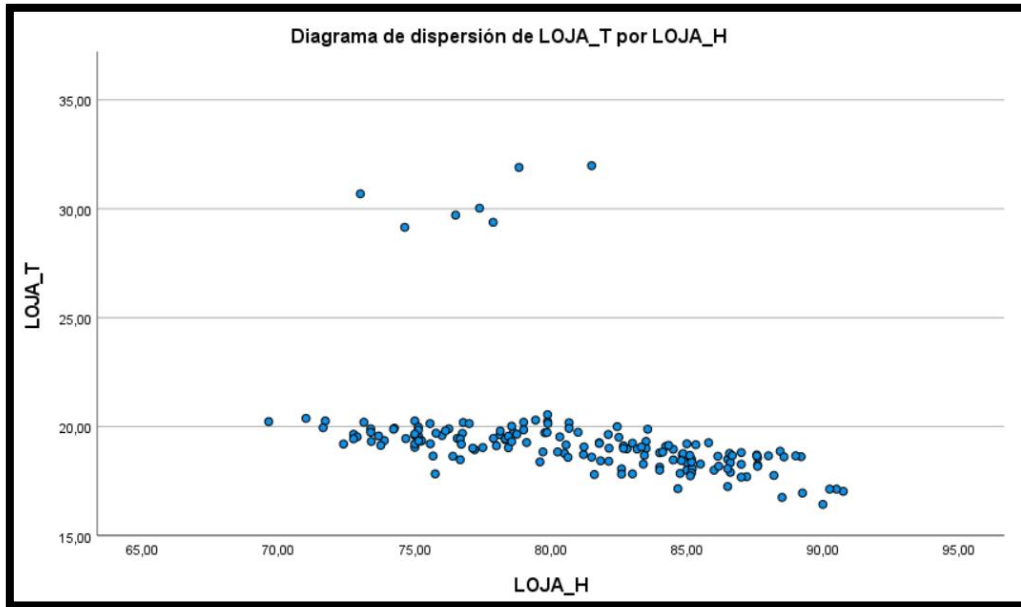
Diagrama de Dispersión T por H (Imbabura)



Nota: La figura muestra que, en el caso de la provincia de Imbabura, mientras mayor temperatura, existe una gran absorción de la humedad relativa, la cual favorece a la reproducción de los eventos (incendios forestales), elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Figura 76.

Diagrama de Dispersión T por H (Loja)



Nota: La figura muestra que, en el caso de la provincia de Loja, mientras mayor temperatura, existe una gran absorción de la humedad relativa, la cual favorece a la reproducción de los eventos (incendios forestales), elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Tabla 11.

ACP provincia Guayas 2000-2013

Varianza Total Explicada						
Componente	Autovalores iniciales			Sumas de cargas al cuadro de la extracción		
	Total	% de	%	Total	% de	%
		varianza	acumulado		varianza	acumulado
1	1.041	52.043	52.043	1.041	52.043	52.043
2	0.959	47.957	100.00			

Nota: La tabla muestra la variable con mayor influencia para que se produzca un incendio mediante su porcentaje de varianza con respecto a la otra variable en la provincia del Guayas, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Tabla 12.

ACP provincia Pichincha 2000-2013

Varianza Total Explicada						
Componente	Autovalores iniciales			Sumas de cargas al cuadro de la extracción		
	Total	% de	%	Total	% de	%
		varianza	acumulado		varianza	acumulado
1	1.189	59.453	59.453	1.189	59.453	59.453
2	0.811	40.547	100.00			

Nota: La tabla muestra la variable con mayor influencia para que se produzca un incendio mediante su porcentaje de varianza con respecto a la otra variable en la provincia de Pichincha, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Tabla 13.

ACP provincia Imbabura 2000-2013

Varianza Total Explicada						
Componente	Autovalores iniciales			Sumas de cargas al cuadro de la extracción		
	Total	% de	%	Total	% de	%
		varianza	acumulado		varianza	acumulado
1	1.247	62.357	62.357	1.247	62.357	62.357
2	0.753	37.643	100.00			

Nota: La tabla muestra la variable con mayor influencia para que se produzca un incendio mediante su porcentaje de varianza con respecto a la otra variable en la provincia de Imbabura, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Tabla 14.

ACP provincia Loja 2000-2013

Varianza Total Explicada						
Componente	Autovalores iniciales			Sumas de cargas al cuadro de la extracción		
	Total	% de	%	Total	% de	%
		varianza	acumulado		varianza	acumulado
1	1.371	68.558	68.558	1.371	68.558	68.558
2	0.629	31.442	100.00			

Nota: La tabla muestra la variable con mayor influencia para que se produzca un incendio mediante su porcentaje de varianza con respecto a la otra variable en la provincia de Loja, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Tabla 15.

FE provincia Guayas 2000-2013

Factores estacionales		Factores estacionales	
Nombre de serie: Guayas_T		Nombre de serie: Guayas_H	
Período	Factor estacional	Período	Factor estacional
	(%)		(%)
1	103.1	1	100.6
2	102.7	2	103.8
3	104.7	3	103.1
4	105.3	4	101.0
5	102.6	5	100.9
6	97.6	6	101.3

7	95.4	7	100.9
8	84.8	8	100.3
9	96.5	9	97.9
10	96.4	10	98.1
11	98.2	11	97.2
12	102.8	12	94.8

Nota: La tabla muestra el mes en que la variable de estudio tiene mayor o menor incidencia en la ocurrencia de incendios en la provincia de Guayas, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Tabla 16.

FE provincia Pichincha 2000-2013

Factores estacionales		Factores estacionales	
Nombre de serie: Pichincha_T		Nombre de serie: Pichincha_H	
Período	Factor estacional	Período	Factor estacional
	(%)		(%)
1	101.1	1	101.7
2	100.5	2	103.3
3	101.4	3	103.3
4	101.5	4	104.7
5	101.7	5	102.4
6	99.1	6	98.7
7	99.3	7	94.9
8	100.0	8	92.2
9	100.1	9	94.3

10	99.8	10	99.3
11	95.9	11	101.6
12	99.6	12	103.5

Nota: La tabla muestra el mes en que la variable de estudio tiene mayor o menor incidencia en la ocurrencia de incendios en la provincia de Pichincha, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Tabla 17.

FE provincia Imbabura 2000-2013

Factores estacionales		Factores estacionales	
Nombre de serie: Imbabura_T		Nombre de serie: Imbabura_H	
Período	Factor estacional	Período	Factor estacional
	(%)		(%)
1	99.6	1	100.9
2	99.6	2	102.1
3	99.6	3	102.3
4	100.7	4	103.7
5	103.1	5	101.7
6	99.7	6	99.3
7	97.3	7	96.7
8	99.7	8	93.6
9	100.1	9	94.7
10	100.2	10	99.4
11	99.9	11	102.0
12	100.6	12	103.6

Nota: La tabla muestra el mes en que la variable de estudio tiene mayor o menor incidencia en la ocurrencia de incendios en la provincia de Imbabura, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).

Tabla 18.

FE provincia Loja 2000-2013

Factores estacionales		Factores estacionales	
Nombre de serie: Loja_T		Nombre de serie: Loja_H	
Período	Factor estacional (%)	Período	Factor estacional (%)
1	99.1	1	102.9
2	99.6	2	105.0
3	99.5	3	104.0
4	99.7	4	103.7
5	100.1	5	101.4
6	99.2	6	99.2
7	99.7	7	96.7
8	99.9	8	94.3
9	101.4	9	95.7
10	102.1	10	97.2
11	101.1	11	98.4
12	98.8	12	101.5

Nota: La tabla muestra el mes en que la variable de estudio tiene mayor o menor incidencia en la ocurrencia de incendios en la provincia de Loja, elaborado por los autores (Maza y Méndez, 2022).