



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
“DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ”  
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN COMO REQUISITO PREVIO PARA LA  
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

**ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD FÍSICA DE INCENDIOS  
FORESTALES EN ÁREAS RURALES DEL CANTÓN IBARRA**

**AUTOR**

**MULLO SAGÑAY ALEX DARIO**

**TUTOR**

**ING. GUEVARA JUAN CARLOS M. Sc.**

**GUAYAQUIL, ECUADOR**

**2025**



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
“DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ”  
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL**

**APROBACIÓN DEL TUTOR**

El suscrito, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD FÍSICA DE INCENDIOS FORESTALES EN ÁREAS RURALES DEL CANTÓN IBARRA, realizado por el estudiante MULLO SAGÑAY ALEX DARIO; con cédula de identidad N° 0956516850 de la carrera INGENIERIA AMBIENTAL, Unidad Académica Guayaquil, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos y legales exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto, se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

Ing. Guevara Juan Carlos M. Sc.  
FIRMA DEL TUTOR

Guayaquil, 01 de septiembre del 2025



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**“DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ”**  
**CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL**

**APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: “ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD FÍSICA DE INCENDIOS FORESTALES EN ÁREAS RURALES DEL CANTÓN IBARRA”, realizado por el (la) estudiante MULLO SAGÑAY ALEX DARIO, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

---

Ing. ELVIS FLORES ABAD, MSc..  
**PRESIDENTE**

---

Ing. VÍCTOR ILEER SANTOS, MSc.  
**EXAMINADOR PRINCIPAL**

---

Ing. RONNY PAZMIÑO VIDAL, MScx.  
**EXAMINADOR PRINCIPAL**

Guayaquil, 13 de agosto del 2025

## **DEDICATORIA**

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

A mis padres, por su amor incondicional, por los sacrificios silenciosos y por enseñarme que el esfuerzo y la fe abren cualquier puerta.

A mi familia, que con su apoyo y cariño me levantó en los momentos más difíciles.

A quienes ya no están físicamente, pero permanecen en mi corazón, inspirando cada uno de mis logros. Y a todas las personas que, con una palabra o un gesto, me recordaron que los sueños sí se cumplen.

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la vida, la salud y la perseverancia necesarias para culminar esta etapa. A mis padres, por ser el motor de mi esfuerzo y el ejemplo de dedicación que me impulsa a seguir. A mi familia, por su compañía y respaldo incondicional. A mi docente tutor, el ingeniero Juan Carlos Guevara Vinza, por su guía paciente, sus conocimientos y la motivación que me brindó durante este proceso. A las instituciones y personas que colaboraron proporcionando información valiosa para el desarrollo de este estudio, cuyo aporte fue fundamental para alcanzar los objetivos planteados. A mis compañeros y amigos, por sus palabras de aliento, ideas y apoyo en cada momento. A todos, mi más sincera gratitud por ser parte de este logro que hoy se convierte en realidad.

### **Autorización de Autoría Intelectual**

Yo MULLO SAGÑAY ALEX DARIO, en calidad de autor(a) del proyecto realizado, sobre “ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD FÍSICA DE INCENDIOS FORESTALES EN ÁREAS RURALES DEL CANTÓN IBARRA” para optar el título de INGENIERO AMBIENTAL por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor(a) me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Guayaquil, Agosto 14 del 2025.

---

Mullo Sagñay Alex Dario

**C.I. 0956516850**

## RESUMEN

La presente investigación analiza susceptibilidad física de incendios forestales en áreas rurales del cantón Ibarra, para esto se empleó material cartográfico y climatológica disponible en plataformas webs como geoportales de entidades oficiales, tomando como referencia la metodología de la Subsecretaría de Gestión de la Información y Análisis de Riesgo. Luego de haber recortado y definido el área de estudio, se determinó que el área rural y urbana equivalen al 96.65% (109 910.62 ha) y 3.35% (3 810.25 ha) respectivamente, posteriormente se realizó la ponderación las variables según la escala 1-5 y las capas obtenidas se ingresaron a la herramienta raster calculator según las ecuaciones definidas por la metodología. De igual manera, el mapa resultante del área de estudio se reclasificó en zonas de susceptibilidad muy baja, baja, media, alta y muy baja, teniendo como resultado el mapa de susceptibilidad física de incendios forestales en áreas rurales del cantón Ibarra. Se evidencia que el 53.80% del área rural del cantón presenta una susceptibilidad alta, 35.27% muy alta y media con un 10.93% y baja 0.004%. Con el registro de incendios forestales del periodo 2010-2023 proporcionado por el Servicio Nacional de Riesgos y Emergencias se estimó que el área rural del cantón cuenta con las condiciones estáticas para la ocurrencia de incendios, puesto que el 97.13% de incendios coinciden zonas con nivel de susceptibilidad alta y muy alta. Para comprobar de una manera espacial la calidad del mapa se empleó la función Kappa, donde se obtuvo un resultado de 0.83.

**Palabras clave:** Área rural, incendios forestales, kappa, ponderación, susceptibilidad física.

## ABSTRACT

This research analyzes physical susceptibility of forest fires in rural areas of the Ibarra canton, for this, cartographic and climatological material available on web platforms such as geoportals of official entities was used, taking as a reference the methodology of the "Subsecretaría de Gestión de la Información y Análisis de Riesgo". After having cut and defined the study area, it was determined that the rural and urban areas are equivalent to 96.65% (109 910.62 ha) and 3.35% (3 810.25 ha) respectively, subsequently, the variables were weighted according to scale 1-5 and the layers obtained were entered into the raster calculator tool according to the equations defined by the methodology. Similarly, the resulting map of the study area was reclassified into areas of very low, low, medium, high, and very low susceptibility, resulting in the map of physical susceptibility of forest fires in rural areas of the Ibarra canton. It is evident that 53.80% of the rural area of the canton has a high susceptibility, 35.80% very high and medium with 10.93% and low 0.004%. With the record of forest fires for the period 2010-2023 provided by the "Servicio Nacional de Riesgos y Emergencias" it was estimated that the rural area of the canton has static conditions for the occurrence of fires, since 97.13% of fires coincide with areas with high and very high susceptibility level. To check in a spatial way the quality of the map, the Kappa function was used, where a result of 0.83 was obtained.

**Keyword:** *Forest fires, kappa, Rural area, physical susceptibility, weighting.*

## ÍNDICE GENERAL

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Antecedentes del problema.....	1
1.2. Planteamiento y formulación del problema.....	2
1.2.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2.2. Formulación del problema.....	2
1.3. Justificación de la investigación .....	3
1.4. Delimitación de la investigación .....	3
1.5. Objetivo general .....	3
1.6. Objetivos específicos .....	4
1.7. Hipótesis.....	4
<b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>5</b>
2.1. Estado del arte .....	5
2.2. Bases teóricas.....	7
2.2.1. Incendio Forestal.....	7
2.2.2. Morfología y partes de un incendio.....	7
2.2.2.1. Incendio de copas.....	7
2.2.2.2. Incendio superficial.....	7
2.2.2.3. Incendio en subsuelo.....	7
2.2.2.4. Incendio en la maleza u hojas caídas muertas.....	8
2.2.2.5. Tamaños de incendios.....	8
2.2.3. Causas de los incendios forestales.....	8
2.2.3.1. Causas Antropogénicas.....	8
2.2.3.2. Causas naturales.....	8
2.2.4. Consecuencias de los incendios forestales.....	9
2.2.4.1. Consecuencias sociales.....	9
2.2.4.2. Consecuencias ambientales.....	9
2.2.4.3. Consecuencias económicas.....	10
2.2.5. Factores asociados.....	10
2.2.5.1. Vulnerabilidad.....	10
2.2.5.2. Riesgo.....	11
2.2.5.3. Amenazas.....	11
2.2.5.4. Susceptibilidad.....	11
2.2.5.5. Nivel de susceptibilidad física.....	11

2.2.6. Condiciones de influencia.....	12
2.2.6.1. Condiciones permanentes. ....	12
2.2.6.2. Condiciones transitorias (de tipo meteorológico). ....	12
2.2.7. Ibarra.....	13
2.2.7.1. Morfología.....	13
2.2.7.2. Clima.....	14
2.2.7.3. Hidrografía.....	14
2.2.8. Sistemas de Información Geográfica.....	14
2.2.8.1. Geodatos.....	15
2.2.8.2. Reclasificación.....	15
2.2.8.3. Análisis Multicriterio. ....	15
2.2.8.4. Ponderación.....	15
2.2.8.5. Algebra de mapas.....	16
2.3. Marco legal.....	16
2.3.1. Constitución de la República del Ecuador (2008). ....	16
2.3.2. Reglamento del Código Orgánico del Ambiente (2019) .....	17
2.3.3. Reglamento de prevención, mitigación y protección contra incendios. Acuerdo Ministerial A-01257. Registro Oficial Edición Especial N.º 114 (2009)...	18
2.3.4. Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización, COOTAD. Registro Oficial Suplemento No. 303 (2010). ....	18
2.3.5. Ley Orgánica para la Gestión Integral del Riesgo de Desastres (2024).....	19
<b>3. METODOLOGÍA .....</b>	<b>20</b>
3.1. Enfoque de la investigación.....	20
3.1.1. Tipo y alcance de la investigación. ....	20
3.1.2. Diseño de investigación.....	20
3.2. Metodología.....	21
3.2.1. Variables.....	21
3.2.1.1. Variable independiente. ....	21
3.2.1.2. Variable dependiente. ....	21
3.2.2. Matriz de operacionalización de variables. ....	21
3.2.3. Tratamiento. ....	22
3.2.4. Diseño experimental.....	22
3.2.5. Recolección de datos. ....	22
3.2.5.1. Recursos.....	22

3.2.5.2. Métodos y técnicas.....	22
3.2.6. Población y muestras .....	26
3.2.6.1. Población.....	26
3.2.6.2. Muestra.....	26
3.2.7. Análisis estadístico .....	26
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>28</b>
4.1. Recopilación de información cartográfica y climatológica actual disponible para establecer las variables que afectan a la susceptibilidad del área de estudio en el cantón Ibarra .....	28
4.2. Generación de modelo de datos de susceptibilidad a incendios forestales mediante información temática de las variables extraídas .....	30
4.3. Identificación de las áreas de susceptibilidad mediante aplicación de Sistemas de Información Geográfica para el cálculo de las variables: Cobertura vegetal, humedad, radiación, temperatura y textura del suelo.....	32
4.4. Elaboración de mapas temáticos para la representación espacial de la susceptibilidad a incendios forestales resultante del área.....	34
<b>5. DISCUSIÓN .....</b>	<b>39</b>
<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>41</b>
6.1. Conclusiones.....	41
6.2. Recomendaciones.....	41
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>43</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>50</b>

**ÍNDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 1.</b> Niveles de susceptibilidad física a la ocurrencia de incendios forestales. .....	12
<b>Tabla 2.</b> Matriz de variable Independiente .....	21
<b>Tabla 3.</b> Matriz de variable Independiente .....	21
<b>Tabla 4.</b> Materiales y equipos .....	22
<b>Tabla 5.</b> Información requerida para determinar la susceptibilidad .....	23
<b>Tabla 6.</b> Valor del índice Kappa .....	27
<b>Tabla 7.</b> Productos cartográficos recopilados .....	28
<b>Tabla 8.</b> Información complementaria .....	29
<b>Tabla 9.</b> Relación del área del cantón con el nivel de susceptibilidad .....	36
<b>Tabla 10.</b> Coincidencia de incendios con respecto al nivel de susceptibilidad ....	36
<b>Tabla 11.</b> Matriz de confusión .....	38

**ÍNDICE DE FIGURAS**

<b>Figura 1.</b> Insumos para el tratamiento geomático.....	29
<b>Figura 2.</b> Material cartográfico complementario.....	30
<b>Figura 3.</b> Variables extraídas de información temática .....	31
<b>Figura 4.</b> Área urbana y rural del cantón Ibarra .....	32
<b>Figura 5.</b> Reclasificación del material cartográfico .....	33
<b>Figura 6.</b> Entrada radiación y humedad.....	34
<b>Figura 7.</b> Zonas susceptibles a incendios del cantón Ibarra.....	35
<b>Figura 8.</b> Superposición de las áreas afectadas y las zonas susceptibles a incendios del cantón Ibarra .....	37

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo N°1:</b> Ubicación espacial de la zona de estudio (Ibarra, Ecuador) .....	50
<b>Anexo N°2:</b> Formas de incendios .....	51
<b>Anexo N°3:</b> Fuego de copa en copa.....	51
<b>Anexo N°4:</b> Fuego en el subsuelo .....	52
<b>Anexo N°5:</b> Reclasificación asignada a clases de cobertura vegetal, según su grado de influencia estimado en la potencial ocurrencia de un incendio forestal. 52	
<b>Anexo N°6:</b> Reclasificaciones asignadas a clases de textura del suelo, en base al análisis del complejo cobertura-suelo), según su grado de influencia aproximada en la potencial ocurrencia de un incendio forestal.....	55
<b>Anexo N°7:</b> Rangos de precipitación, según su grado de influencia estimado en la potencial ocurrencia de un incendio forestal .....	55
<b>Anexo N°8:</b> Rangos de temperatura, según su grado de influencia aproximada en la potencial ocurrencia de un incendio forestal.....	56
<b>Anexo N°9:</b> Rangos de radiación, según su grado de influencia aproximada en la potencial ocurrencia de un incendio forestal. ....	56
<b>Anexo N°10:</b> Rangos de elevación, según su grado de influencia aproximada en la potencial ocurrencia de un incendio forestal .....	56
<b>Anexo N°11:</b> Rangos de pendiente, según su grado de influencia aproximada en la potencial ocurrencia de un incendio forestal .....	57
<b>Anexo N°12:</b> Incendios suscitados y área afectada en el cantón Ibarra periodo 2010-2023 .....	57

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Antecedentes del problema

El año 2019 estuvo marcado por incendios dramáticos y sin precedentes en ambos hemisferios: el Ártico, Australia, Indonesia, Amazonia, Europa, Chile, California, África central y Ecuador, todos conmocionaron por la magnitud de la destrucción que la ciencia lleva años advirtiendo, ya que el origen de estos fuegos responde a distintas causas y motivaciones, pero muestran algo en común: el cambio climático intensificó las condiciones de su propagación hasta que derivaron en episodios muy peligrosos e incontrolables (Hernández, 2020).

En Ecuador la mayor parte de incendios forestales, son causados por la actividad humana, ya que consideran el fuego como una herramienta de trabajo para la preparación de tierras y cultivos, además de la renovación de pastizales y el cambio de uso del suelo, prácticas llevadas de manera inadecuada, antitécnica, constituyéndose en la principal causa, seguido de las quemas a través de acciones piro maniáticas y también actos inescrupulosos de personas que visitan las áreas naturales y bosques a lo que se puede asociar la falta de conocimiento e información sobre el uso controlado del fuego (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica [MAATE], 2021).

En el año 2013, en el país se perdieron alrededor de 21000 hectáreas a causa de incendios forestales y en el 2014 fueron aproximadamente 23 500 hectáreas, en el año 2015 su cifra fue mucho más alta llegando a una superficie oficial de 27 500 hectáreas (Quistial, 2016). En Ibarra, por ejemplo, se perdieron 1 472.71 hectáreas de cobertura vegetal producto de los 198 incendios forestales registrados hasta el 5 de septiembre del 2015 en la provincia de Imbabura; siendo el cantón Ibarra el que registró el mayor número de eventos, siendo estos cincuenta y ocho (58) en total (Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias [SNGRE], 2015).

De acuerdo con Rosales (2021), entre las provincias que reportan mayor afectación en Ecuador por incendios están Azuay, Guayas, Loja, Imbabura, Cañar y Pichincha. Cabe resaltar que, en el 2020, se contabilizaron 2 336 incendios con una afectación de 27 904.91 hectáreas a nivel nacional.

Por otra parte, Alarcón (2020), destaca que, desde el 2015 hasta el 21 de enero del 2020, en país registró más de 9063 eventos de incendios forestales. Siendo Loja las más afectaciones, con una pérdida de hasta 24 136.13 hectáreas

quemadas. Seguida de Pichincha, donde se han contabilizado 1 285 incendios forestales, que afectaron un alrededor de 1 6341.81 hectáreas de bosques. A nivel general, en el país alrededor de 113 780 hectáreas de bosque fueron afectadas por el fuego y la recuperación de los ecosistemas por estos eventos puede tardar más de 20 años.

## **1.2. Planteamiento y formulación del problema**

### **1.2.1. Planteamiento del problema.**

Ecuador, con 24.8 millones de hectáreas de superficie continental, es uno de los países más pequeños de Sudamérica. Es dueño de una excepcional biodiversidad concentrada en 91 ecosistemas naturales, distribuidos en tres regiones biogeográficas, las regiones Sierra, Costa y Amazónica. Esta riqueza natural cubre 15.3 millones de hectáreas, equivalente al 62% del territorio nacional. Sin embargo, la problemática en el país en materia de incendios forestales no dista del escenario regional y global. Flagelos de este tipo han ocasionado pérdidas superiores a 196.429 ha en el periodo comprendido entre 2012 y 2020, afectando grandes extensiones de bosques naturales y plantados, además de otros tipos de vegetación natural, como los páramos andinos, de excepcional valor hídrico para un porcentaje importante de la población ecuatoriana (Prefectura Ciudadana de Imbabura, 2021).

En el cantón de Ibarra la principal actividad económica es la agricultura. Por lo que el fuego es muy empleado como herramienta de uso agrícola, la misma que de hecho es regulada por la normativa, a través de permisos para este tipo de quemados que otorga el Cabildo. Estableciendo así que cada usuario se responsabilice de realizar quemados controlados y seguros (Rosales, 2021).

Sin embargo, este tipo de prácticas sigue siendo riesgosa y no asegura el control de eventos capaces de alcanzar una mayor magnitud, ya que los incendios podrían extenderse a causa de factores como el viento, la resequedad del sector o la topografía de la zona. Además, cabe mencionar que corresponde a una zona de páramo, que es un ecosistema frágil, diverso y con alto nivel de endemismo que podría llegar a ser afectado.

### **1.2.2. Formulación del problema.**

¿Cuál es el nivel de susceptibilidad física a incendios forestales en las áreas rurales del Cantón Ibarra?

### 1.3. Justificación de la investigación

Los incendios forestales son un problema persistente en Ecuador, de acuerdo con los registros de los últimos años, el cantón Ibarra se encuentra dentro de las áreas más comprometidas con relación a estos incidentes. Debido a ello, el desarrollo del presente estudio se considera muy importante debido al aporte que genera con el empleo de herramientas de Sistemas de información geográfica para la producción de información cartográfica precisa sobre zonas susceptibles a incendios, lo que permite la toma de futuras decisiones enfocadas en la prevención y/o mitigación de las áreas forestales en Ibarra, mejorando así la gestión de riesgos y la conservación de la flora y fauna.

Cabe añadir que, la aplicación de metodologías con el uso de Sistemas de información geográfica (SIG), incorporan ventajas tales como el proceso de grandes conjuntos de datos, sobre todo de datos que provienen de fuentes confiables, accesibles y gratuitos, para la obtención de resultados puntuales que proporcionan un mayor entendimiento sobre la ocurrencia de ciertos eventos, como es el estudio e identificación de áreas propensas a incendios forestales.

Es decir, que el desarrollo del estudio permite analizar y estimar con mayor rapidez y a un menor costo, la susceptibilidad a incendios en el área del cantón Ibarra, beneficiando así a los pobladores de la zona debido a la optimización en la eficiencia de la gestión y asignación de recursos que se destinan al control, manejo y prevención de estos incidentes, lo que tiene como finalidad reducir las pérdidas que estos incidentes ocasionan a nivel económico y ambiental.

### 1.4. Delimitación de la investigación

**Espacio:** El presente trabajo de investigación abarca el área rural del cantón Ibarra, en la Provincia de Imbabura, con las siguientes coordenadas del Sistema de Proyección WGS84 UTM Zona 17S; 820 297 E y 38 420 N.

**Tiempo:** Se realizó en un periodo de cuatro meses.

**Población:** La población consiste en un aproximado de 181 175 habitantes correspondientes al cantón de Ibarra (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC], 2020).

### 1.5. Objetivo general

Determinar la susceptibilidad física de incendios forestales en base a la metodología propuesta por la SGIAR para la identificación de áreas propensas a la ocurrencia de estos eventos en las áreas rurales del cantón Ibarra.

### **1.6. Objetivos específicos**

- Recopilar información cartográfica y climatológica actual disponible de las variables que afectan a la susceptibilidad del área rural del cantón Ibarra.
- Adecuar las capas de datos generadas para la estimación de susceptibilidad física a incendios forestales.
- Identificar las áreas de susceptibilidad mediante aplicación de Sistemas de Información Geográfica para el cálculo de las variables: Cobertura vegetal, humedad, radiación, temperatura y textura del suelo.
- Elaborar mapas temáticos para la representación espacial de la susceptibilidad física a incendios forestales resultante.

### **1.7. Hipótesis**

El área rural del cantón Ibarra cuenta con un nivel alto de susceptibilidad física a incendios forestales.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Estado del arte

Castillo et al (2009), en su estudio acerca del “Análisis del riesgo y vulnerabilidad contra incendios forestales en áreas de interfaz, provincia de Valparaíso”, tomó como base la vegetación combustible, el deterioro del paisaje vegetal afectado por recurrentes incendios, y los antecedentes históricos acerca de la causa de estos, la superficie y localización, para establecer las áreas sensibles de riesgos, junto con la caracterización de la conflictividad de ellos especialmente en territorios urbanos afectados por la propagación descontrolada del fuego mediante la aplicación de un SIG.

A nivel nacional estudios como el de Moreno (2018), sobre la vulnerabilidad de la zona boscosa de la Parroquia Checa, ubicada en el Distrito Metropolitano de Quito, implemento dos métodos con base matemática: factores ponderados y Geoestadística aplicada al análisis de riesgos (método experimental con fundamentación estadística) como herramientas de procesamiento de datos. Posteriormente realizó un análisis comparativo de los índices de riesgo (frecuencia, gravedad, causalidad) de la Parroquia Checa con respecto a la Parroquia Nayón, destacando que el área reflejaba una vulnerabilidad baja a ser afectada por incendios forestales a causa de la acción del hombre, entregando la distribución geográfica de los índices, importante para regiones de riesgo.

En un estudio realizado en Imbabura por Díaz y Encarnación (2018), se determinaron las áreas propensas a incendios de cobertura vegetal en el cantón Pimampiro, para ello se ponderaron nueve factores biofísicos clasificados en: climáticos (temperatura, precipitación, déficit hídrico, evapotranspiración) y físicos (cobertura vegetal, cercanía a vías, pendiente, orientación del terreno y altitud), con los que se estableció una ecuación de susceptibilidad porcesada a través de sistemas de información geográfica. Los resultados mostraron que el cantón presentaba una susceptibilidad baja (3.90%); moderada (5.57%); alta (22.95%); muy alta (40.42%) y extrema (27.16%) a incendios. El área de estudio al estar dominada por zonas entre alta a extrema susceptibilidad (90.53%) permitió plantear estrategias de gestión de riesgos este tipo de eventos.

Reyes y Balcazar (2021), en su estudio sobre los Factores que inciden en la probabilidad de ocurrencia de incendios forestales en Ecuador, realizaron un modelo en base a datos georreferenciados de la plataforma Active fire data del

periodo 2012-2018 en el Cantón Loja, identificando que la variable distancia a zonas antrópicas es la de mayor importancia y con ello el predictor más susceptible a incendios forestales, seguida de las variables climáticas temperatura mínima en el mes más frío y la precipitación en el trimestre más seco; estas tres variables coinciden dentro de las características que se señalan en los pocos estudios encontrados y por entidades públicas a nivel nacional.

Guerra (2021), determinó las áreas susceptibles ante la ocurrencia de incendios forestales en el cantón Quito, desde un enfoque de carácter mixto, desde dos alternativas metodológicas, por un lado, un enfoque cuantitativo que permitió identificar las áreas susceptibles a incendios forestales, en base a la metodología propuesta por el IDEAM, y, por otra parte, el enfoque cualitativo que permitió conocer la percepción de la población, mediante entrevistas semiestructuradas a actores clave. Los resultados mostraron que el cantón presenta susceptibilidad muy baja (0.16 %), baja (8.27%), moderada (39.28%) y alta (52.29%), siendo las coberturas de usos agropecuarios las más propensas.

En investigaciones previas sobre la susceptibilidad a incendios forestales en la reservas ecológicas como Los Ilinizas, Zappa (2022) empleo el sistemas de información geográfica y datos satelitales para identificar zonas de mayor riesgo entre 2016 y 2020. Utilizando análisis espaciales, incluyendo la clasificación de cobertura vegetal y factores climáticos como temperatura y humedad. Los resultados indicaron que el 86.82% de la reserva ecológica Los Ilinizas presenta condiciones favorables para incendios. Por lo que el estudio propone los mapas de susceptibilidad como herramienta clave para la planificación preventiva y la gestión de recursos en la prevención de incendios forestales

Mientras que Alvares (2022) examinó el impacto de los incendios forestales en el Bosque Protector Bosqueira durante los años 2013, 2016 y 2021-2022, empleando los índices espectrales NDVI, NBR y dNBR obtenidos de imágenes satelitales Landsat 8 y Sentinel-2. Utilizando el índice NDVI para evaluar la condición de la vegetación antes y después de los incendios, y su regeneración posterior. El índice NBR permitió identificar las áreas afectadas por el fuego, mientras que el dNBR (diferencia entre NBR pre y post-incendio) mostró quemaduras de baja severidad en 2013 (74.67%) y 2016 (22.63%), con predominancia de gravedad moderada baja. En 2021-2022, se observó un notable crecimiento de la vegetación post-incendio (99.73%). La pérdida de cobertura

vegetal fue estimada mediante la reclasificación del dNBR, identificándose que 2013 fue el año más afectado, con una pérdida de 129.69 hectáreas.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Incendio Forestal.**

Se denomina incendio forestal al fuego que se propaga sin control a través de vegetación rural o urbana y pone en peligro a las personas, los bienes y el medio ambiente. Constituyen la causa más importante de destrucción de bosques y no sólo resultan en la pérdida de árboles y matorrales, sino también casas, animales, fuentes de trabajo e inclusive vidas humanas (Comisión Nacional de Emergencias, 2021).

### **2.2.2. Morfología y partes de un incendio.**

Según Földi y Kuti (2016), los incendios forestales pueden adoptar diferentes formas geométricas, por lo general pueden adquirir formas circulares, elípticas, o lo más común irregulares. Estas formas siempre son determinadas por condiciones meteorológicas, como son la dirección y velocidad de viento (Anexo 2), (Zarete, 2004).

#### **2.2.2.1. Incendio de copas.**

Es un tipo de fuego que rara vez toca el suelo, por lo que se extiende de copa en copa (Anexo 3). Para que se propague, los árboles deben estar relativamente próximos o tener copas frondosas, muy próximas unas de otras. En estos incendios, las llamas destruyen los árboles y obstaculizan el desplazamiento de los animales, pero la zona del suelo o el sotobosque no se destruye de manera tan violenta, por lo que la recuperación del área suele ser más rápida que en otro tipo de incendios (Tecresa, 2019).

#### **2.2.2.2. Incendio superficial.**

Es el más común, en el que las llamas se encuentran en la superficie del bosque quemando el sotobosque y la flora existente, además de producir la huida de la fauna. Este tipo de fuego destruye la superficie forestal y afecta gravemente a la fertilidad del suelo, lo que provoca desertificación y una recuperación del bosque muy complicada. Son los más frecuentes y suelen ser el inicio de otros tipos de incendio (Tecresa, 2019; RUVA, 2021).

#### **2.2.2.3. Incendio en subsuelo.**

Es difícil de detectar y de apagar, ya que quema las raíces y otra materia orgánica (Anexo 4). Por la escasa cantidad de oxígeno, apenas provoca llamas, lo

que complica aún más acabar con él. Su propagación es lenta y destruye el subsuelo, suele darse en caso de fuertes incendios forestales donde el fuego llega hasta las raíces, las brigadas forestales deben vigilar mucho después de este evento para evitar que se reactive (Tecresa, 2019; RUVA, 2021).

#### **2.2.2.4. Incendio en la maleza u hojas caídas muertas.**

Las llamas se propagan directamente sobre la vegetación de la superficie (hierba seca, hojas caídas, ramitas, etc.) quemando las partes inferiores de los troncos y raíces sobre la superficie. Pueden ser divididos en 3 categorías en función de su velocidad de propagación ( $V_t$ ) y altura de llama ( $H_f$ );

- Bajo si  $V_t \leq 1 \text{ m / min}$  y  $H_f \leq 0.5 \text{ m}$ ,
- Moderado, si  $V_t \leq 1-3 \text{ m / min}$  y  $H_f \leq 0.5-1.5 \text{ m}$ ,
- Fuerte, si  $V_t > 3 \text{ m / min}$  y  $H_f > 1.5 \text{ m}$  (Földi y Kuti, 2016).

#### **2.2.2.5. Tamaños de incendios.**

Los incendios forestales también se pueden clasificar por su tamaño, según las áreas afectadas. Se puede decir que un incendio forestal es pequeño cuando su tamaño es menor a 1 hectárea; mediano, si el tamaño oscila entre 1 y 50 hectáreas; y grande, si es superior a 50 hectáreas (Földi y Kuti, 2016).

### **2.2.3. Causas de los incendios forestales.**

#### **2.2.3.1. Causas Antropogénicas.**

La mayoría de los grandes incendios suelen ser causados de manera intencionada o debido a negligencias y descuido en prácticas para las que no se han adoptado suficientes medidas de precaución o que escapan del control humano de manera no intencionada. Entre ellas; determinados usos recreativos del monte, eliminación inadecuada de residuos, arrojado de colillas, entre otros.

Por otra parte, los incendios forestales también pueden ocurrir por accidentes provocados a pesar de haberse adoptado las correspondientes medidas de prevención, como la quema controlada de rastrojos, lanzamiento de fuegos artificiales, entre otros (Gobierno de Canarias, 2021).

#### **2.2.3.2. Causas naturales.**

De acuerdo con la Comisión Nacional Forestal (2010), se considera que un incendio es de causa natural cuando no ocurre por la intervención humana sino por fenómenos naturales, por ejemplo; la caída de rayos y erupciones volcánicas.

Los rayos son un elemento principal, ya que son el producto de descargas eléctricas de energía generada en la separación de cargas positivas y negativas de

las nubes, estas llegan a la tierra por medio de una corriente continua o de largas transferencias eléctricas (Larjavaara et al., 2005).

#### **2.2.4. Consecuencias de los incendios forestales.**

##### **2.2.4.1. Consecuencias sociales.**

Los incendios forestales pueden generar el desplazamiento de poblaciones debido a la pérdida de medios de subsistencia, lo que fomenta la migración rural-urbana y presiona los servicios urbanos y el mercado laboral en las ciudades receptoras. Además, la migración forzada provoca la pérdida de conocimientos tradicionales y prácticas culturales, afectando el tejido social de las comunidades rurales. También genera importantes problemas de salud pública, como un aumento de enfermedades respiratorias por la exposición al humo, especialmente en grupos vulnerables como niños y ancianos (Ortiz L. , 2024).

También pueden generar un impacto profundo en la salud mental de los supervivientes, provocando confusión, ira, miedo y pérdida. Se ha observado un aumento en trastornos como el estrés postraumático, depresión y ansiedad, tanto en adultos como en niños, con factores de riesgo relacionados con la naturaleza traumática del incendio. Además, han surgido conceptos como "solastalgia", que describe la angustia por la pérdida de paisajes valiosos, y el impacto psicológico de la exposición prolongada al humo (Colegio Oficial de Psociología de Madrid, 2022).

##### **2.2.4.2. Consecuencias ambientales.**

Los incendios forestales, son la principal causa de la disminución de los bosques y pérdida de suelos fértiles alrededor del mundo. Estos siniestros son una gran fuente de emisión de carbono y otras partículas, lo que contribuye considerablemente al calentamiento global, el humo reduce la actividad de fotosíntesis de los árboles y plantas y perjudica la salud de las personas y de los animales, los impactos y respuestas del ecosistema forestal tienen directa relación con la dinámica que presente el incendio, por lo que las modificaciones físicas, químicas y biológicas de los suelos van a depender del tipo de incendio y de las condiciones propias del suelo (Gonzalez, 2017).

Como lo menciona Rábade y Aragoneses (2008), los incendios forestales destruyen hábitats, afectando tanto a especies en peligro de extinción como a la biodiversidad en general. Estos incendios también facilitan la propagación de enfermedades y plagas, además de provocar la esterilización y erosión del suelo,

alterando su capacidad de sustentar la vida. El régimen hídrico también se ve gravemente afectado, modificando tanto la calidad como los caudales de las aguas.

En general, los incendios forestales comprometen la sostenibilidad de los espacios forestales valiosos, generando un daño significativo, cambiando muy bruscamente la dinámica y los procesos naturales como: la infiltración, interceptación, evapotranspiración y especies vegetales generando una desestabilización en las propiedades de los suelos (García et al., 2017).

#### **2.2.4.3. Consecuencias económicas.**

Después de un incendio forestal se produce la pérdida de importantes recursos naturales directos e indirectos. Para estimar estas pérdidas económicas, se valoran las pérdidas en productos primarios como productos derivados de la madera (leñas, corchos, ricinas) como también frutos, pastos, caza y pesca. La reforestación post-incendio representa el 10.6% del costo total de la reposición, puesto que, por los altos niveles de inversión requeridos en términos de costos para la reposición o restauración de los ecosistemas, se debe enfocar a aquellas áreas que tengan una relevancia, y no en toda la zona afectada por el incendio, esta trata de devolver al ecosistema perturbado a un estado lo más similar a su condición natural, recuperando no solo especies, sino la interacción y procesos ecológicos en los que estas especies están vinculadas entre sí y el ambiente (Instituto Forestal [INFOR], 2011).

Además, los costos de combate y protección contra incendios son elevados, con pérdidas directas estimadas en 100 millones de dólares y un gasto en sistemas de protección de 660 millones en los últimos 30 años. Finalmente, el turismo se ve afectado, reduciendo las visitas a áreas naturales, así como la interrupción de procesos productivos que afectan la economía local (Valenzuela y Cáceres, 2011).

#### **2.2.5. Factores asociados.**

##### **2.2.5.1. Vulnerabilidad.**

Es el efecto combinado del factor riesgo, y el peligro que representa la vegetación combustible como atributos de velocidad de propagación y la resistencia al control que presenta frente a tareas de combate. El efecto de la pendiente y la accesibilidad son también dos factores relevantes que inciden en el peligro de incendios, y que en muchas ocasiones determinan el grado de conflictividad en la propagación del fuego. Estos dos aspectos, sumados a los efectos generados por

el daño postfuego, se integran para poder calificar la vulnerabilidad de un territorio (Castillo et al., 2009).

#### **2.2.5.2. Riesgo.**

Se expresa en los factores relacionados a la presencia humana en el área. Esto se traduce en el estudio de la ocurrencia histórica y causas de los incendios, en las actividades que se desarrollan y que repercuten en acciones con riesgo potencial de focos. Otro factor relevante es el efecto espacial de las vías de comunicaciones por cuanto la trayectoria de ellas es un predictor comprobado de la distribución de incendios en el territorio (Castillo et al, 2009).

#### **2.2.5.3. Amenazas.**

Entre los factores que componen la amenaza podemos mencionar la susceptibilidad de las coberturas, factores climáticos, relieve, accesibilidad y, por último, el factor histórico conforme a la existencia y disponibilidad de reportes de incendios en el área (Unión Temporal AVR-CAR, 2015).

#### **2.2.5.4. Susceptibilidad.**

La susceptibilidad de la vegetación frente a los incendios se define como las características intrínsecas de la vegetación y los ecosistemas (carga de combustibles, disposición y combustibilidad), que le brindan cierto grado de probabilidad de incendiarse, propagar y mantener el fuego (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2011).

#### **2.2.5.5. Nivel de susceptibilidad física.**

De acuerdo con la Subsecretaria de Gestión de la Información y Análisis de Riesgos (2019), se identifican diferentes niveles de susceptibilidad, fundamentados en la concepción de un punto de vista físico del fenómeno, mediante la consideración de las variable y factores involucrados en el origen y desarrollo de las etapas previas al inicio de los procesos de avance y propagación, implicando la relación entre: [Combustible, Humedad del complejo cobertura-suelo, Precipitación, Pendiente, Temperatura, Textura del suelo, Cobertura y Radiación]. Lo que daría como resultado una distribución enmarcada en una escala de cinco niveles, definiendo las siguientes clases (*Tabla 1*):

**Tabla 1.**  
***Niveles de susceptibilidad física a la ocurrencia de incendios forestales.***

Susceptibilidad ante incendios forestales		
Niveles		Descripción
	<b>Muy baja</b>	Escasa o nula probabilidad de ocurrencia de incendios forestales
	<b>Baja</b>	Incendios forestales pueden ocurrir bajo comportamiento natural anómalo muy puntual
	<b>Media</b>	Ocurrencia de incendios forestales responde a la ciclicidad normal de convergencia de variables naturales asociadas
	<b>Alta</b>	Todas las condiciones estáticas necesarias para la ocurrencia de incendios forestales
	<b>Muy Alta</b>	Todas las condiciones estáticas suficientes para la ocurrencia de incendios forestales. Procesos de ignición latentes.

**Fuente:** Subsecretaría de Gestión de la Información y Análisis de Riesgos, 2019

### **2.2.6. Condiciones de influencia.**

#### **2.2.6.1. Condiciones permanentes.**

Permiten conocer las probabilidades de que el fuego se produzca:

- Los combustibles: elemento principal que determina las características del incendio. Sus variaciones son espaciales y temporales, considera parámetros como: la ubicación, forma y tamaño, continuidad, compactación, carga y densidad;
- Las especies vegetales: puesto que se consideran combustibles especialmente pastizales y arbustales bajos, que facilitan la propagación de los fuegos de superficie. El tipo de vegetación puede cambiar mucho entre lugares cercanos y en cada estación del año;
- La topografía: Sus variaciones son espaciales. Puede cambiar mucho en cortas distancias, pero no se modifica durante el desarrollo de un incendio, como: la altura (condiciones meteorológicas y tipos de suelo), exposición (distribución y condiciones de la vegetación), pendiente (desarrollo de vientos locales asociados) y relieve (intersección de drenajes, los cañadones, sillares y gargantas, que afectan al desarrollo de un fuego) (Navarro, 2021).

#### **2.2.6.2. Condiciones transitorias (de tipo meteorológico).**

Permiten prever el alcance del incendio:

- **Temperatura:** Las diferencias térmicas entre superficies próximas generan movimientos de aire que afectan a la intensidad, velocidad y dirección de propagación, altura de llama, y otras variables del comportamiento;
- **Humedad relativa:** afecta la disponibilidad de los combustibles. Cuanto más baja es, mayor y más rápido será el secado de los combustibles. En cambio, si es alta, los combustibles no perderán tanta humedad y el peligro de incendio será más bajo. La humedad relativa aumenta cuando crece el contenido de vapor de agua en el aire y disminuye cuando el aire pierde humedad;
- **Velocidad y dirección del viento:** Acelera el proceso de secado de los combustibles, por hacer más rápida la evaporación. Aumenta la provisión de oxígeno, favoreciendo así la combustión, el precalentamiento por acercar las llamas a los combustibles, en forma similar a la pendiente, y la dirección y velocidad de propagación;
- **Precipitación:** Los períodos prolongados de sequía crean condiciones adecuadas para el desarrollo de incendios de gran severidad al aumentar la disponibilidad de combustibles. Períodos con abundante precipitación antes de la temporada de fuego pueden producir una gran cantidad de combustible que con el avance de la temporada estará disponible para quemarse. La cantidad y distribución de la precipitación también afecta la cantidad de agua disponible en el suelo para ser utilizada por la vegetación (Navarro, 2021).

### **2.2.7. Ibarra.**

El cantón Ibarra, situado a 115 km al noroeste de Quito y a 125 km al sur de Tulcán, a una altitud de 2,225 m.s.n.m. Es un cantón estratégico en el intercambio comercial entre Quito, Tulcán y Colombia, lo que ha propiciado su crecimiento. Durante la época colonial, los viajes comerciales entre Quito y Tulcán fomentaron un importante movimiento comercial que favoreció el desarrollo agrícola de la zona (Instituto Geográfico Militar [IGM], 2014).

#### **2.2.7.1. Morfología.**

El cantón Ibarra presenta paisajes geomorfológicos y formas de relieve relacionadas con la edificación de la cordillera de los Andes y específicamente con los procesos endógenos y exógenos desarrollados sobre la cordillera Oriental,

donde el vulcanismo y los glaciares generados durante el Pleistoceno y Holoceno y las condiciones climáticas influenciadas por la humedad proveniente de la Amazonía, han dado lugar a una diversidad de relieves tales como: montañas, colinas, formas glaciares, flujos de lava e incluso edificios volcánicos. Las elevaciones montañosas más importantes son: el Imbabura (4.500m.) el Cubilche (3.800m.), el Cunro (3.304m.) (Toro et al., 2013).

Los pisos altitudinales del cantón van desde la zona de páramo correspondiente al bosque muy húmedo Montano, extendiéndose por un relieve escarpado y una topografía irregular hasta llegar a un valle de características xerofíticas correspondientes al bosque seco Montano Bajo (Toro et al., 2013).

#### **2.2.7.2. Clima.**

La singularidad del cantón Ibarra es la variedad de microclimas que van desde el frío andino en la zona de Angochagua, hasta el tropical seco del valle del Chota, donde se incluye el clima cálido húmedo de la zona de Lita y la Carolina. Los anuarios meteorológicos históricos (41 años) y el diagrama ombrotérmico, determinan que el cantón presenta una temperatura media de 15.90° C, con una variación mínima menor a 0.3°C. Los registros promedian una temperatura máxima media entre los 20 y 25° C y una mínima media entre los 7 y 11° C. El análisis hidrometeorológico determina que la variación de la precipitación determina épocas de sequía entre los meses de junio y septiembre, y épocas lluviosas en los meses de marzo a mayo y de octubre a noviembre (Toro et al., 2013).

#### **2.2.7.3. Hidrografía.**

En el cantón Ibarra se identifican dos subcuencas, la del río Chorlaví y del río Tahuando, las microcuencas que corresponden al río Tahuando son: La Rinconada, Cucho de Torres, Curiacu, Pungu Huayco y algunos drenajes menores, las correspondientes al río Chorlaví son drenajes menores de quebradas. En el cantón Ibarra los ríos considerados como principales son tres: río Mira, río Lita y río Chota, estos, además de ser los de mayor caudal, resultan importantes para la 12 demarcación o definición de los límites del cantón (Toro et al., 2013).

#### **2.2.8. Sistemas de Información Geográfica.**

El término suele aplicarse a sistemas informáticos orientados a la gestión de datos espaciales que constituyen la herramienta informática más adecuada y extendida para la investigación y el trabajo profesional en Ciencias de la Tierra y Ambientales. Se trata de herramientas complejas, reflejo de la complejidad del

objeto de estudio, fruto de la evolución y fusión guinde programas de muy distinto tipo que anteriormente se habían utilizado de forma independiente (Sarría, 2006).

#### **2.2.8.1. Geodatos.**

La información geográfica es un componente fundamental en un gran número de actividades de toda índole, la mayor parte de sus funcionalidades necesitan datos para cobrar sentido y, a su vez, constituyen en gran medida el principal problema a la hora de plantear y ejecutar un proyecto. Esto se debe al esfuerzo requerido para adquirir, gestionar y poner en marcha el conjunto de datos necesarios para sacar adelante un proyecto de SIG es notablemente superior al esfuerzo requerido por el software, tanto en términos de tiempo como de dinero y personal requeridos (Olaya, 2009).

#### **2.2.8.2. Reclasificación.**

Es denominada reasignación, consiste en modificar los valores de una imagen de manera total o parcial, organizando los valores de la imagen original en categorías de rangos definidos por el usuario. En el ámbito de los sistemas de información geográfica, se define como el proceso de sustituir los valores existentes de cada celda de un ráster por nueva información. Se puede reclasificar cualquier variable almacenada en formato ráster, como pendiente, elevación, precipitación y temperatura. Es decir, se pueden reclasificar imágenes que representan variables continuas, como la elevación o la precipitación, en variables discretas, como los índices de vegetación (Pucha et al, 2017; Alonso, 2019).

#### **2.2.8.3. Análisis Multicriterio.**

Es una técnica que permite evaluar diferentes soluciones a un problema mediante el uso de varios criterios, lo que ayuda a mejorar el proceso de toma de decisiones. Esta herramienta facilita la comparación de alternativas considerando múltiples factores, con el fin de elegir la opción más adecuada. Se utiliza comúnmente en la planificación y resolución de problemas complejos, ya que integra diversas variables que influyen en la elección final, orientándose siempre hacia la solución más eficiente y fundamentada (Valladares, 2022).

#### **2.2.8.4. Ponderación.**

Es un método utilizado en el análisis de datos que asigna diferentes niveles de importancia o peso a distintos criterios o factores en un estudio o evaluación. Esto implica clasificar y combinar múltiples capas de información para resolver problemas que involucran varios criterios, como la selección de sitios y los modelos

de adecuación. Cada criterio se traduce a una escala común de preferencia, donde se asignan valores que reflejan su relevancia relativa; por ejemplo, un valor de 10 indica una preferencia máxima en comparación con un valor de 5, que representa una preferencia menor. Esta asignación asegura que las influencias de los criterios sean consistentes y comparables en el análisis final (Esri, 2024).

Por lo tanto, es considerada una herramienta fundamental de análisis, según el tratamiento de correlación espacial de variables propuesto. Resulta una vía útil y sencilla hacia la obtención de los productos planteados y permite la medición relativa de influencias, causas y efectos, bajo la homogenización previa de todos los insumos temáticos involucrados (Subsecretaria de Gestión de la Información y Análisis de Riesgos [SGIAR], 2019).

#### **2.2.8.5. Álgebra de mapas.**

Es el conjunto de técnicas y procedimientos que, operando sobre una o varias capas en formato ráster, nos permite obtener información derivada de expresiones matemáticas, generalmente en forma de nuevas capas de datos. Esta funcionalidad se designa normalmente como álgebra o calculadora de mapas, cuyo rendimiento de ecuaciones depende de las herramientas u operadores participantes en una expresión (Pucha et al., 2017; Olaya, 2020).

Esta estrategia, basada en la cartografía vectorial, utiliza herramientas como Intersect, Merge y Unión para procesar datos. Su verdadero potencial se manifiesta en el análisis de variables continuas, donde trabaja con píxeles para extraer información detallada sobre superficies. A través de operadores aritméticos y condicionales, el álgebra de mapas permite clasificar e identificar áreas específicas, aunque es fundamental seguir procedimientos técnicos adecuados para evitar errores en la combinación de datos (Gis&Beers, 2019).

### **2.3. Marco legal**

#### **2.3.1. Constitución de la República del Ecuador (2008).**

##### **Título II.**

##### **Derechos**

##### **Capítulo II: Del buen vivir.**

##### **Sección II. Ambiente sano.**

**Art. 14.-** Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación

de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados (p.14).

## **Título VII.**

### **Régimen del buen vivir.**

#### **Capítulo II. Biodiversidad y recursos naturales.**

##### **Sección V. Suelo**

**Art. 409.-** Es de interés público y prioridad nacional la conservación del suelo, en especial su capa fértil. Se establecerá un marco normativo para su protección y uso sustentable que prevenga su degradación, en particular la provocada por la contaminación, la desertificación y la erosión. En áreas afectadas por procesos de degradación y desertificación, el Estado desarrollará y estimulará proyectos de forestación, reforestación y revegetación que eviten el monocultivo y utilicen, de manera preferente, especies nativas y adaptadas a la zona (p.192).

##### **Sección VII. Biosfera, ecología urbana y energías alternativas**

**Art. 414.-** El Estado adoptará medidas adecuadas y transversales para la mitigación del cambio climático, mediante la limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero, de la deforestación y de la contaminación atmosférica; tomará medidas para la conservación de los bosques y la vegetación, y protegerá a la población en riesgo (p.193).

#### **2.3.2. Reglamento del Código Orgánico del Ambiente (2019)**

## **Título VIII.**

### **Régimen Forestal**

#### **Capítulo III. Conservación Y Manejo Forestal Sostenible.**

**Art. 294.-** Enfoques y principios. - El manejo forestal sostenible se orientará conforme lo establecido en el Código Orgánico del Ambiente. Para su implementación, deberán considerarse los siguientes principios [...]

**c)** En el manejo forestal sostenible se incluirán acciones e instrumentos para la protección contra incendios forestales, así como el fomento del enfoque del manejo integral del fuego en el Patrimonio Forestal Nacional (p.62).

#### **Capítulo X. Incendios Forestales Y Manejo Integral Del Fuego**

##### **Sección 1ª. Disposiciones Generales**

**Art. 369.-** Interés público. - Las acciones que se emprendan para el adecuado manejo integral del fuego e incendios forestales, con el fin de proteger y conservar

el patrimonio natural y la biodiversidad son de interés público. Las medidas que se desarrollen y adopten para dicho fin, serán vinculantes en todos los niveles de gobierno, el sector privado y la población en general (p.75).

**Art. 370.-** Responsabilidad ciudadana.- El manejo integral del fuego implica un trabajo coordinado con los propietarios públicos y privados de los predios aledaños o que formen parte de las áreas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas, áreas especiales para la conservación de la biodiversidad, y del Patrimonio Forestal Nacional, así como con la ciudadanía en general, quienes deberán incorporar acciones directas en materia de prevención de incendios forestales cuando de alguna forma sus actividades pongan en peligro los bienes y servicios ambientales de las áreas naturales señaladas (p.75).

**2.3.3. Reglamento de prevención, mitigación y protección contra incendios. Acuerdo Ministerial A-01257. Registro Oficial Edición Especial N.º 114 (2009). Capítulo II. Precauciones estructurales.**

#### **Normas de protección contra incendios en bosques y malezas**

**Art. 329.-** Las personas naturales o jurídicas, instituciones públicas o privadas que sean propietarias, arrendatarias u ocupantes de cualquier tipo de predios boscosos, baldíos (lentos de maleza) o áreas densamente arboladas, están obligados a la adopción de las medidas de prevención contra incendios forestales y evitar los riesgos de exposición, en caso de cercanía a edificaciones. Siendo sancionados de acuerdo con lo que dispone nuestra legislación (p.49).

**2.3.4. Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización, COOTAD. Registro Oficial Suplemento No. 303 (2010).**

#### **Título V.**

#### **Descentralización y Sistema Nacional de Competencias**

#### **Capítulo IV. Del Ejercicio de las Competencias Constitucionales**

**Art. 140.-** Ejercicio de la competencia de gestión de riesgos. - La gestión de riesgos que incluye las acciones de prevención, reacción, mitigación, reconstrucción y transferencia, para enfrentar todas las amenazas de origen natural o antrópico que afecten al territorio se gestionarán de manera concurrente y de forma articulada por todos los niveles de gobierno de acuerdo con las políticas y los planes emitidos por el organismo nacional responsable, de acuerdo con la Constitución y la ley. [...] Los gobiernos autónomos descentralizados municipales adoptarán obligatoriamente

normas técnicas para la prevención y gestión de riesgos en sus territorios con el propósito de proteger las personas, colectividades y la naturaleza (p.65).

### **2.3.5. Ley Orgánica para la Gestión Integral del Riesgo de Desastres (2024).**

#### **Capítulo III. Sistema Nacional Descentralizado De Gestión Integral Del Riesgo De Desastres**

##### **Sección Primera. Sistema Nacional Descentralizado De Gestión Integral Del Riesgo De Desastres**

**Art. 19.-** Funciones generales de las entidades y actores integrantes del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Integral del Riesgo de Desastres. - Todos los actores que conforman el Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Integral del Riesgo de Desastres, en cumplimiento de sus atribuciones, funciones y responsabilidades, están obligados a organizar su gestión para garantizar la seguridad de la población ante el riesgo de desastres y están obligadas a:

1. Identificar y evaluar los riesgos existentes y potenciales, internos y externos.
2. Generar, democratizar el acceso y difundir información pública suficiente y oportuna para gestionar adecuadamente el riesgo.
3. Incorporar en forma transversal, la gestión integral de riesgo en su planificación y gestión, estableciendo las medidas necesarias para la prevención del riesgo futuro, la reducción del riesgo existente, la respuesta y la recuperación ante emergencias o desastres.
4. Incorporar medidas de reducción del riesgo de desastre durante la fase de planificación y construcción en proyectos de infraestructura.
8. Establecer mecanismos de financiamiento y transferencia de riesgos para las acciones de gestión integral del riesgo de desastres.
9. Rendir cuentas anualmente y cuando la ley así lo exija en relación con las metas de reducción de riesgos en su ámbito y en el marco de sus competencias (p.20).

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Enfoque de la investigación**

La investigación cuenta con un enfoque mixto que integra técnicas cuantitativas y cualitativas, permitiendo aprovechar las ventajas de ambos enfoques con la finalidad de obtener una comprensión más profunda y holística del fenómeno investigado. En el contexto del análisis de susceptibilidad a incendios forestales mediante el uso de herramientas de sistemas de información geográfica, la combinación de datos numéricos y cualitativos proporciona una perspectiva más completa, facilitando la identificación de factores críticos y patrones relevantes para la gestión del riesgo de incendios, así como la comprensión de estos.

##### **3.1.1. Tipo y alcance de la investigación.**

###### **Investigación aplicada**

De acuerdo con Lozada (2014), la investigación es aplicada ya que buscó la generación de conocimiento con aplicación directa a los problemas de la sociedad o el sector productivo. Esta se basa fundamentalmente en los hallazgos tecnológicos de la investigación básica, ocupándose del proceso de enlace entre la teoría y el producto.

###### **Investigación documental**

Según lo descrito por Vivero y Sánchez (2018), la investigación documental se realiza a partir de la información hallada en documentos de cualquier especie, como fuentes bibliográficas, hemerográficas o archivísticas, provenientes de fuentes físicas o digitales, puesto que es necesaria para el desarrollo del estudio y el procesamiento de datos en el sistema de información geográfica.

###### **Investigación descriptiva**

A nivel de conocimiento la investigación es descriptiva, en concordancia con Marroquín (2012), que describe esta metodología “también conocida como una investigación estadística, que consiste en describir los datos y las características de la población o el fenómeno en estudio” (p.3). Es decir, que busca brindar una interpretación correcta de la información sobre la problemática a estudiar.

##### **3.1.2. Diseño de investigación.**

La investigación es de tipo no experimental, ya que se ejecuta mediante la aplicación de un SIG, es decir, no requiere de la intervención del investigador, únicamente se observa y analiza el fenómeno de estudio, en este caso, la

susceptibilidad de incendios forestales en Ibarra a través del modelamiento de las variables o componentes especiales para su determinación.

## 3.2. Metodología

### 3.2.1. Variables.

#### 3.2.1.1. Variable independiente.

- Cobertura vegetal o Combustible (Ha)
- Ocurrencia de eventos
- Pendiente (%)
- Temperatura (°C)
- Precipitación (mm)
- Textura del suelo
- Entrada Humedad (EH)
- Entrada Radiación (ER)

#### 3.2.1.2. Variable dependiente.

- Susceptibilidad a incendios forestales (%)

### 3.2.2. Matriz de operacionalización de variables.

**Tabla 2.**

**Matriz de variable Independiente**

Variable	Tipo	Nivel de medida	Descripción
Cobertura vegetal / Combustible (Ha)	Cuantitativo	Razón	Hectáreas con vegetación.
Ocurrencia de eventos	Cuantitativo	Razón	Cantidad de incendios registrados.
Pendiente (%)	Cuantitativo	Razón	Inclinación del terreno.
Temperatura (°C)	Cuantitativo	Intervalo	Temperatura promedio.
Precipitación (mm)	Cuantitativo	Razón	Lluvia acumulada promedio.
Textura del suelo	Cualitativo	Nominal	Tipo de suelo (arcilloso, arenoso, etc.).
Entrada de Humedad (EH)	Cuantitativo	Razón	Porcentaje de humedad.
Entrada de Radiación (ER)	Cuantitativo	Razón	Radiación solar recibida.

Elaborado por: El Autor, 2025

**Tabla 3.**

**Matriz de variable Independiente**

Variable	Tipo	Nivel de medida	Descripción
Susceptibilidad a incendios forestales (%)	Cuantitativo / Cualitativo	Razón / Ordinal	Susceptibilidad de incendio (Muy baja, baja, media, alta, muy alta).

Elaborado por: El Autor, 2025

### 3.2.3. Tratamiento.

La información cartográfica y climatológica fue extraída en formatos SHP, EXL o KML de entidades oficiales como; Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI); Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG); Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE); Instituto Geográfico Militar (IGM), entre otros.

Los datos extraídos fueron seleccionados en base a su actualidad y validez, y se adecuaron al perfil de interés para su geoprocésamiento, el cual se realizó mediante la aplicación de un SIG denominado ArcMap con el uso de capas ráster y vectoriales. Finalmente, se representaron en un mapa de susceptibilidad y gráficos estadísticos para un mejor análisis y comprensión de los resultados.

### 3.2.4. Diseño experimental.

La investigación es de tipo no experimental, por lo tanto, no aplica.

### 3.2.5. Recolección de datos.

#### 3.2.5.1. Recursos.

Los recursos que se emplearon para la ejecución del tratamiento son:

**Tabla 4.**  
**Material es y equipos**

Recursos	Descripción
Materiales	Datos bibliográficos
	Insumos cartográficos
	Insumos climatológicos
Equipos	Computadora
	Software.
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- QGIS, ArcMap</li> <li>- Microsoft Word, Excel, Project.</li> </ul>
Humanos	Autor
	Docente tutor

**Elaborado por:** El Autor, 2025

#### 3.2.5.2. Métodos y técnicas.

La información cartográfica y climatológica tratada, se manejó de acuerdo con la metodología propuesta por la Subsecretaría de Gestión de la Información y Análisis de Riesgo (2019), para la elaboración de mapas de susceptibilidad física a la ocurrencia de incendios forestales, dicha metodología se modificó y reorganizó en cuatro fases que consisten en la recopilación, modelado, extracción y

presentación cartográfica de los datos geoprocesados con el fin de determinar la susceptibilidad de incendios en el área de estudio.

**Fase I: Recopilación de información cartográfica y climatológica actual disponible para establecer las variables que afectan a la susceptibilidad del área rural del cantón Ibarra.**

El insumo de mayor importancia para la realización del estudio son los archivos Shapefile, como se mencionó anteriormente estos se obtuvieron a través de plataformas web de entidades oficiales. Mientras que, la información adicional como: la ocurrencia de eventos de incendios forestales se solicitó a las entidades competentes debido a su especificidad.

**Tabla 5.**  
***Información requerida para determinar la susceptibilidad***

<b>Fase</b>	<b>Información requerida</b>	<b>Formato</b>	<b>Fuente</b>
<b>I</b>	Limites políticos	Vectorial	CONALI
	Centros poblados	Vectorial	INEC
	Cobertura vegetal	Vectorial	MAATE, MAG
	Textura del suelo	Vectorial	IEE, MAG
<b>II</b>	Precipitación	Ráster	INAMHI
	Temperatura	Ráster	INAMHI
	Radiación	Ráster	Autor
	Aspecto	Ráster	Autor
	Pendiente	Ráster	Autor
	Modelo digital de elevación	Ráster	ALOS PALSAR
	Ocurrencia de incendios	Ráster	Entidad competente
<b>III</b>	Entrada de Humedad	Ráster	Autor
	Cobertura (cPonderada)	Ráster	Autor
	Textura del suelo (Ponderada)	Ráster	Autor
<b>IV</b>	Susceptibilidad	Ráster	Autor

**Elaborado por:** El Autor, 2025

**Fase II: Adecuación de las capas de datos generadas para la estimación de susceptibilidad física a incendios forestales.**

Para la elaboración del modelo de susceptibilidad, se definió el área de estudio en términos de extensión y geometría, luego se procedió a la extracción de información temática a procesar en el tratamiento para el área, esto incluye los componentes; combustible o cobertura vegetal, temperatura, radiación, textura del

suelo, precipitación y modelo digital de elevación (Subsecretaría de Gestión de la Información y Análisis de Riesgos [SGIAR], 2019).

Para el análisis de las zonas verdes del cantón, se utilizó como insumo una capa vectorial proporcionada por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), con una escala de 1:25 000 que abarcaba todo el país. Esta capa fue ajustada al área de estudio mediante las herramientas de "Corte" para capas vectoriales y "Extracción por máscara" para capas ráster. En el caso del Modelo Digital de Elevación (DEM), que se empleó como insumo ráster, se generó una capa de "Pendiente", la cual fue sometida a un proceso de corrección mediante la herramienta "Fill" para el relleno de espacios vacíos. Esta capa presentó una resolución de 12.5 metros, superior a la utilizada por la SGIAR, garantizando una mayor precisión en el análisis espacial. La escala final fue convertida a 10 metros por resamplio, que estuvo determinado por el área de la zona de estudio.

La misma metodología se aplicó para la extracción de todas las variables temáticas, a excepción de la delimitación del área rural, la cual se estableció combinando los centros poblados y las zonas antrópicas identificadas en la capa de cobertura vegetal. En cuanto a los eventos de incendios forestales, se utilizaron los puntos georreferenciados de incendios registrados a nivel nacional. Estos puntos fueron recortados mediante la herramienta "Corte", asegurando que solo se consideraran los eventos ocurridos dentro del área de interés.

**Fase III: Identificar las áreas de susceptibilidad mediante aplicación de Sistemas de Información Geográfica para el cálculo de las variables: Cobertura vegetal, humedad, radiación, temperatura y textura del suelo.**

Posteriormente, se realizó la ponderación y normalización de las variables radiación y elevación mediante reclasificación con la herramienta reclasificación por tablas, los datos obtenidos se ingresaron en el cálculo de álgebra de mapas con la herramienta ráster calculator, los valores fueron ingresados tomando como base la ecuación de gobierno propuesta (Subsecretaría de Gestión de la Información y Análisis de Riesgos [SGIAR], 2019), obtenidas de un análisis de prueba-error y la experiencia directa e indirecta de la física-química del fuego, para el cálculo de producto parcial, como se presenta a continuación:

$$E_R = R * 0.5 + L * 0.5$$

Donde:

$E_R$ : Entrada de radiación

$R$ : Radiación

$L$ : Elevación

Mientras que la ponderación de las variables precipitación, textura del suelo, temperatura, cobertura vegetal (combustible) y pendiente (*ver anexos 5-10*), según la escala 1-5 previamente definida, colocando los valores en los campos "Peso\_Hum" creados en cada capa vectorial para luego convertir en formato ráster con la herramienta polygon to ráster, los datos se ingresaron en el cálculo de algebra de mapas con la herramienta ráster calculator, considerando los valores propuestos según la segunda ecuación propuesta:

$$E_H = Pr * 0.35 + Cob * 0.20 + Pe * 0.5 + Tex * 0.15 + Temp * 0.15$$

Donde:

$E_H$ : Entrada de humedad

$Pr$ : Precipitación

$Cob$ : Cobertura vegetal

$Pe$ : Pendiente

$Tex$ : Textura

$Temp$ : Temperatura

En la ponderación de las variables cobertura vegetal (combustible), textura del suelo (*Anexo 5 y 6*), según la escala 1-5 previamente definida, se colocaron los valores en los campos "Peso\_Amz" creados en cada capa vectorial, para luego convertir en formato ráster con la herramienta polygon to raster, los resultados se ingresan en el cálculo de algebra de mapas con la herramienta ráster calculator, considerando los valores propuestos según la ecuación final:

$$S_F = Cob * 0.45 + E_H * 0.13 + E_R * 0.25 + Temp * 0.10 + Tex * 0.07$$

Donde:

$S_F$ : Susceptibilidad Física

$Cob$ : Cobertura vegetal

$E_H$ : Entrada de humedad

$E_R$ : Entrada de radiación

$Temp$ : Temperatura

$Tex$ : Textura

Finalmente, se ejecutó el proceso de reclasificación para el reajuste a las clases definidas de la escala propuesta (Subsecretaría de Gestión de la Información y Análisis de Riesgos [SGIAR], 2019).

#### **FASE IV: Elaborar mapas temáticos para la representación espacial de la susceptibilidad física a incendios forestales resultante.**

La zonificación del área susceptible se representó en cinco niveles; muy baja, baja, media, alta y muy baja (*Tabla 1*), según lo propuesto por la SGIAR (2019), para las zonas susceptibles a la ocurrencia de incendios forestales.

#### **3.2.6. Población y muestras**

##### **3.2.6.1. Población.**

La población de esta investigación está conformada por la totalidad del territorio del cantón Ibarra, ubicado en la provincia de Imbabura. Esta área geográfica comprende las diferentes unidades espaciales que presentan características físicas y ambientales relevantes para el análisis de la susceptibilidad a incendios forestales, tales como cobertura vegetal, pendiente, textura del suelo, temperatura, precipitación, humedad y radiación solar. Estas variables se representaron mediante capas geoespaciales (vectoriales y ráster), lo que permitió definir la población en términos de superficie territorial sujeta a análisis.

##### **3.2.6.2. Muestra.**

En la presente investigación no se aplicó un método de muestreo, ya que se trabajó con la totalidad del territorio del cantón Ibarra. Gracias a la disponibilidad de información geoespacial proveniente de fuentes oficiales a nivel nacional, y otras bases de datos climáticas y topográficas, fue posible realizar un análisis integral a escala cantonal. Por tanto, se adoptó un enfoque de censo espacial, considerando todas las unidades espaciales contenidas en las capas vectoriales y ráster utilizadas para la estimación de la susceptibilidad a incendios forestales.

#### **3.2.7. Análisis estadístico**

En el presente estudio se realizó un análisis descriptivo de las variables que integran el modelo de susceptibilidad, esto involucra el cálculo de valores máximos y mínimos, medianas y de desviación estándar.

Para la validación de los resultados del modelado espacial se aplicó el cálculo del índice de Kappa de Cohen, el cual determina la fuerza de concordancia entre dos evaluadores que clasifican los elementos en categorías mutuamente excluyentes, obteniendo el valor de K de la siguiente formula:

$$K = \frac{Po - Pe}{1 - Pe}$$

Donde:

***Po*** = Número de aciertos/ Número total de clases

***Pe*** = Cálculo generado desde la matriz de confusión.

El índice mide la diferencia entre la exactitud lograda en la clasificación con un software y la exactitud de lograr una clasificación correcta con una clasificación visual. Para interpretar el valor de k se dispone de la siguiente escala (*Tabla 6*).

**Tabla 6.**

***Valor del índice Kappa***

<b>Coeficiente Kappa</b>	<b>Fuerza de Concordancia</b>
0	Pobre
0.01-0.20	Leve
0.21-0.40	Aceptable
0.41-0.60	Moderada
0.61-0.80	Considerable
0.81-1.00	Casi perfecta

**Fuente:** López y Fernández, 2001

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Recopilación de información cartográfica y climatológica actual disponible para establecer las variables que afectan a la susceptibilidad del área de estudio en el cantón Ibarra

Se recopiló el material cartográfico y climatológica disponible en plataformas webs como geoportales de entidades oficiales, basándose en la metodología propuesta por el SNGRE, como se presenta en la siguiente tabla.

**Tabla 7.**

***Productos cartográficos recopilados***

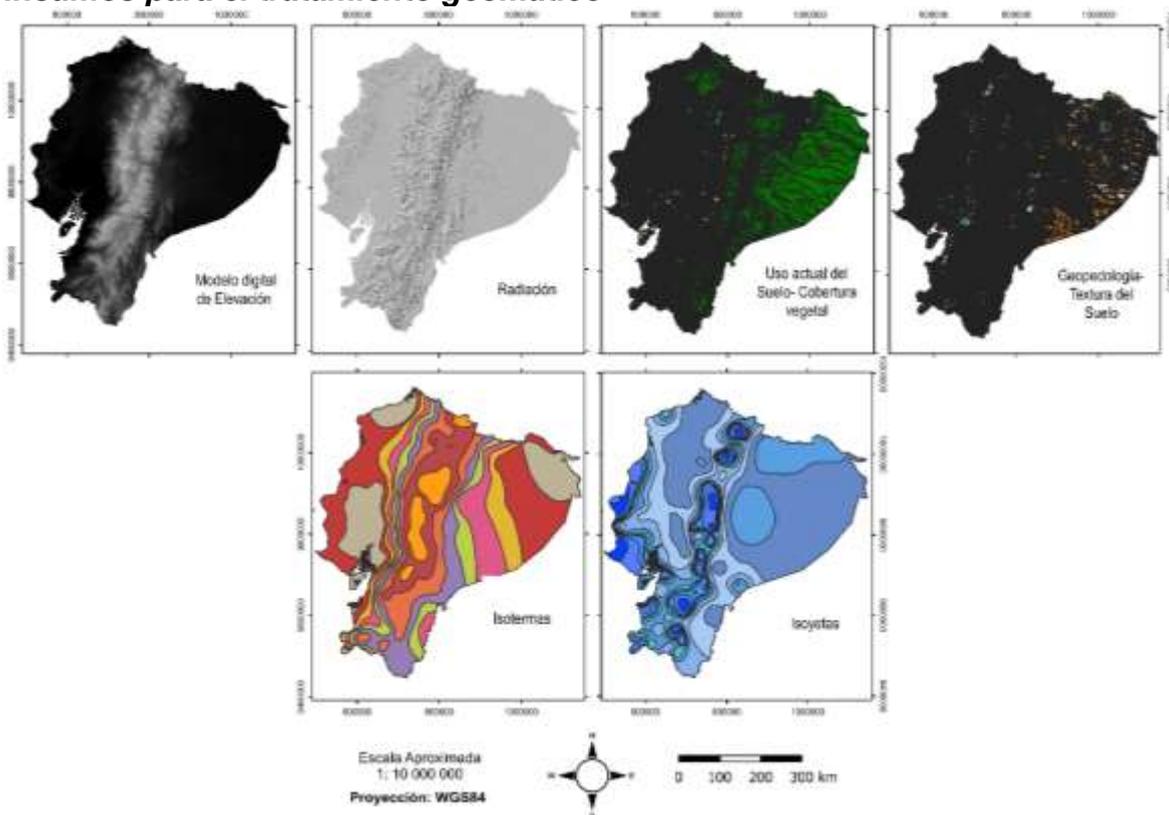
<b>Productos Cartográficos</b>	<b>Fuente</b>
Mosaico Geopedológico 1:25000	IGM, 2015
Isotermas Serie 1981-2010	INAMHI, 2017
Isoyetas Serie 1981-2010	INAMHI, 2017
Mapa de Cobertura y uso de la tierra 1:25000	MAG, 2020
Modelo digital de elevación 12.5 m	ALOS PALSAR, 2010
Radiación	Autor, 2025

**Elaborado por:** El Autor, 2025

En la tabla 7, se presentan los insumos cartográficos históricos utilizados, así como la generación de un nuevo insumo correspondiente al aspecto y la pendiente, el cual resultó fundamental para la elaboración de la capa de radiación. Cabe destacar que, a diferencia de otros insumos disponibles, la capa de radiación no se encuentra disponible en ningún geoportal oficial del país ni es proporcionada por entidades gubernamentales, lo que evidenció una brecha en la disponibilidad de información clave para el análisis.

Debido a esta limitación, se procedió al cálculo de la capa de radiación a partir de un modelo digital de elevación (MDE). Inicialmente, se derivaron las capas de aspecto y pendiente a partir del MDE, que constituyeron la base para el cálculo posterior. Mediante el uso de la herramienta r.sun.insoltime, se logró obtener una capa de radiación con un nivel adecuado de precisión (ver figura 1). Esta metodología permitió generar un insumo confiable y adaptado a las necesidades del estudio, garantizando la coherencia y calidad del análisis espacial realizado.

**Figura 1.**  
**Insumos para el tratamiento geomático**



**Elaborado por:** El Autor, 2025

Adicionalmente, se procedió a descargar información complementaria para delimitar geográficamente el área de estudio, mediante una consulta exhaustiva en otros geoportales nacionales se obtuvo información actualizada sobre la división político-administrativa del cantón Ibarra y ubicación de los centros poblados, esenciales para la elaboración del mapa de susceptibilidad (Tabla 8).

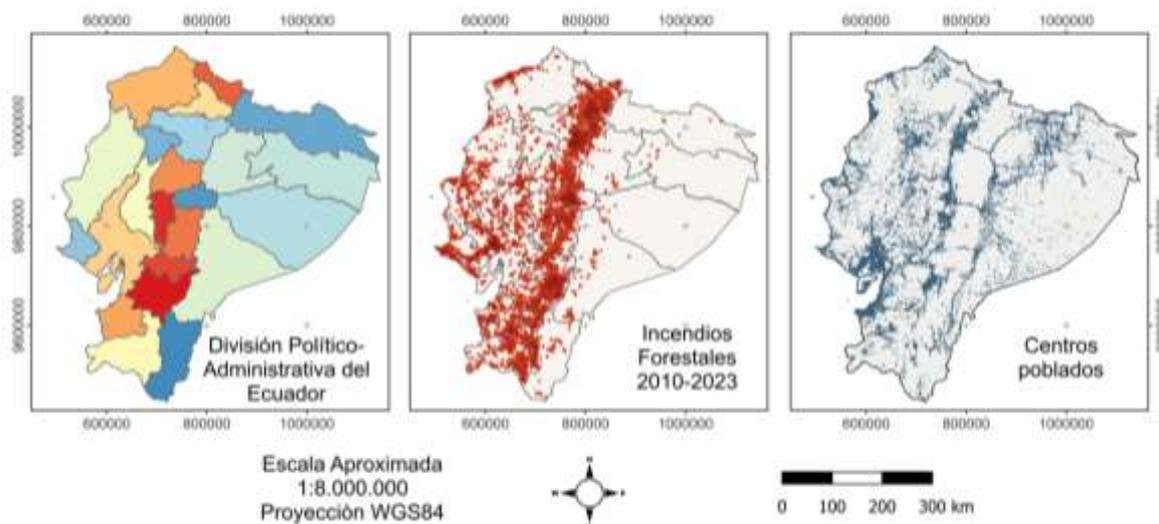
**Tabla 8.**  
**Información complementaria**

Productos Cartográficos	Fuente
Centros poblados	INEC, 2014
División Político-Administrativa Del Ecuador	CONALI, 2022
Incendios forestales 2010-2023	SNGRE, 2024

**Elaborado por:** El Autor, 2025

Además, se gestionó de manera directa con el Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias el acceso al registro nacional de incendios forestales correspondiente al periodo 2010-2023, lo que permitió integrar datos históricos y fortalecer la validez del modelo desarrollado (ver figura 2).

**Figura 2.**  
**Material cartográfico complementario**



**Elaborado por:** El Autor, 2025

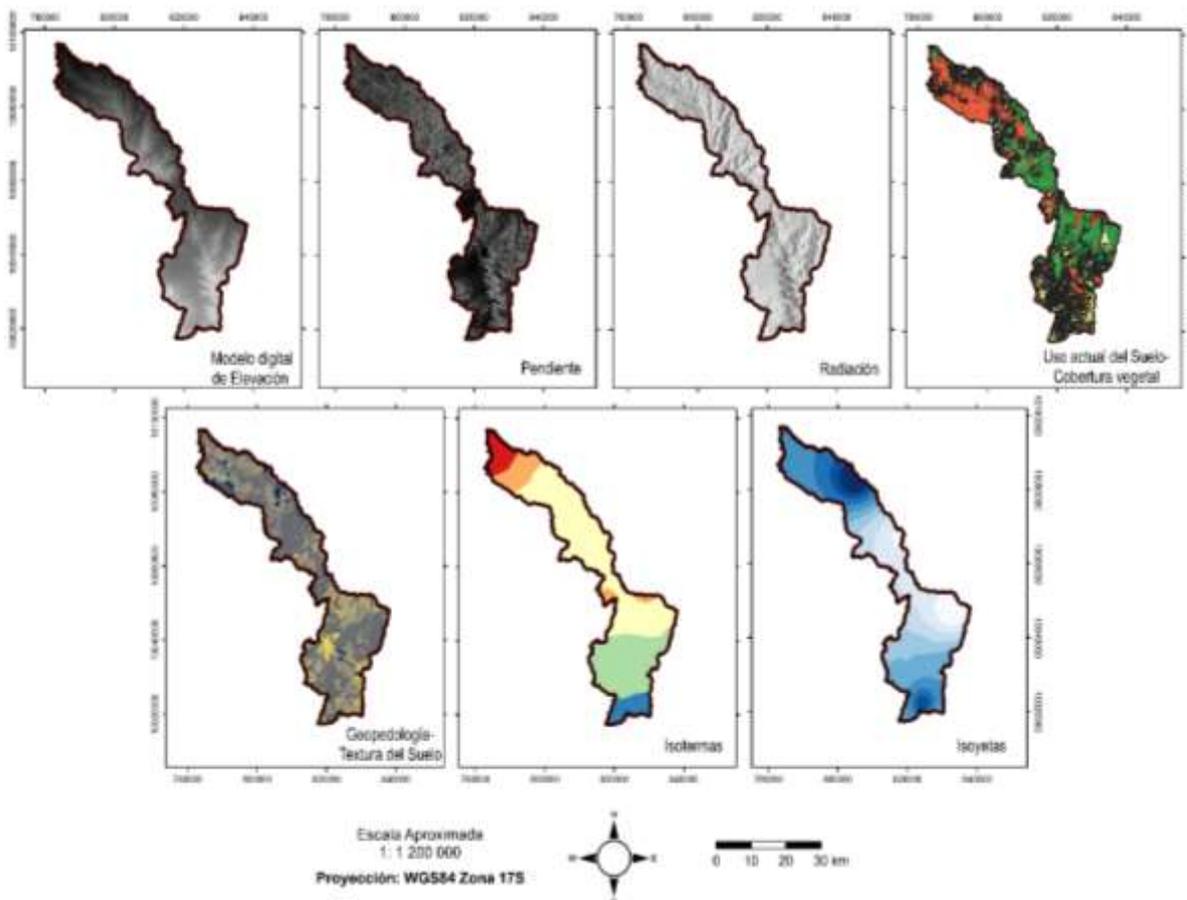
#### **4.2. Generación de modelo de datos de susceptibilidad a incendios forestales mediante información temática de las variables extraídas**

El modelo de datos de susceptibilidad a incendios forestales se generó utilizando variables temáticas clave obtenidas de la información cartográfica y climatológica. Estas variables fueron procesadas para garantizar su precisión y compatibilidad, permitiendo identificar áreas con mayor propensión a incendios.

Una vez recopilado y seleccionados los insumos, se definió el límite del área de estudio utilizando la capa de división político-administrativa del Ecuador, específicamente a nivel de provincias y cantones, el recorte de las capas se hizo mediante la herramienta cortar para las capas vectoriales y la herramienta de extracción por máscara para las capas ráster, como se observa en la figura 4.

Además, se emplearon datos climáticos del INAMHI correspondientes al promedio anual de las estaciones meteorológicas para el período 1981-2010. Estos valores fueron interpolados utilizando el método IDW (Inverse Distance Weighted) para generar las capas de isoyetas e isotermas, asegurando una representación precisa de las condiciones climáticas del área de estudio.

Figura 3.

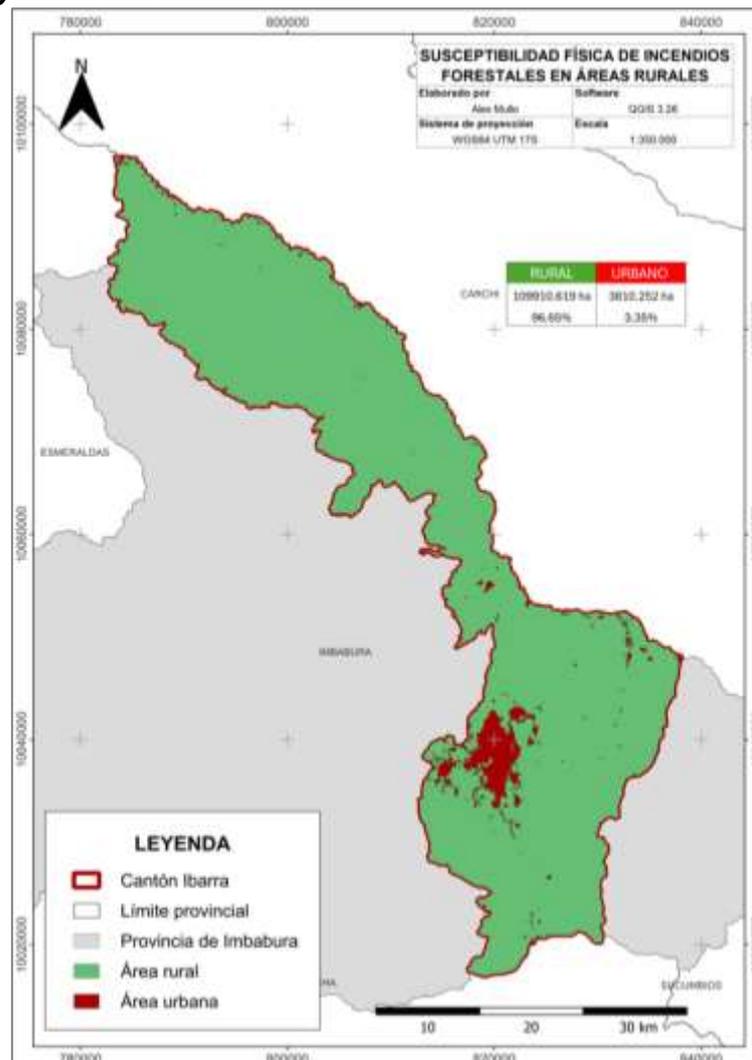
**Variables extraídas de información temática**

**Elaborado por:** El Autor, 2025

Por otra parte, la figura 4 muestra la delimitación entre el área urbana y rural del cantón Ibarra, estableciendo una visión clara de la distribución territorial. Para el cálculo del área rural y urbana, se realizó una combinación de los polígonos de la capa de centros poblados y la zona antrópica de la capa de cobertura vegetal.

Como resultado, se determinó que el área rural abarca el 96.65% del territorio (109 910.62 ha), mientras que el área urbana representa el 3.35% (3 810.25 ha). Es relevante señalar que la extensión total del cantón Ibarra es de 113 720.87 ha. Esta delimitación permite comprender de manera precisa la configuración espacial del cantón, facilitando el análisis de susceptibilidad a incendios forestales en las áreas de mayor exposición.

Figura 4.

**Área urbana y rural del cantón Ibarra**

Elaborado por: El Autor, 2025

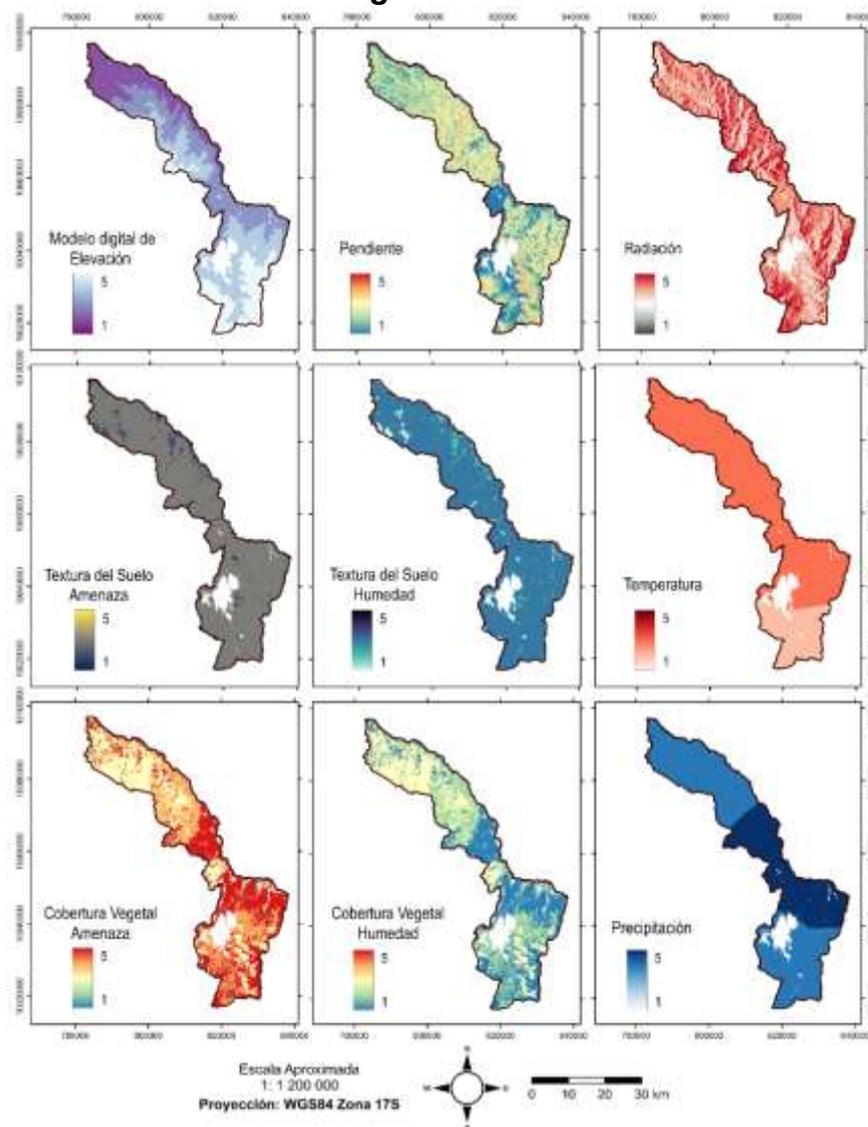
#### 4.3. Identificación de las áreas de susceptibilidad mediante aplicación de Sistemas de Información Geográfica para el cálculo de las variables: Cobertura vegetal, humedad, radiación, temperatura y textura del suelo

Para identificar las áreas de susceptibilidad a incendios forestales, se aplicaron Sistemas de Información Geográfica (SIG), procesando las variables clave: cobertura vegetal, humedad, radiación, temperatura y textura del suelo. Cada variable fue ponderada según una escala de 1 a 5, en función de su influencia en la ocurrencia de incendios, conforme a metodologías previas.

La cobertura vegetal se clasificó siguiendo el sistema del MAG, destacando seis grandes categorías: tierra forestal, vegetación arbustiva y herbácea, tierra agropecuaria, cuerpos de agua, zonas antrópicas y otras áreas. Para las zonas

agrícolas, se utilizó el nivel III, priorizando el ciclo de cultivo sobre la denominación específica de las especies.

**Figura 5.**  
**Reclasificación del material cartográfico**

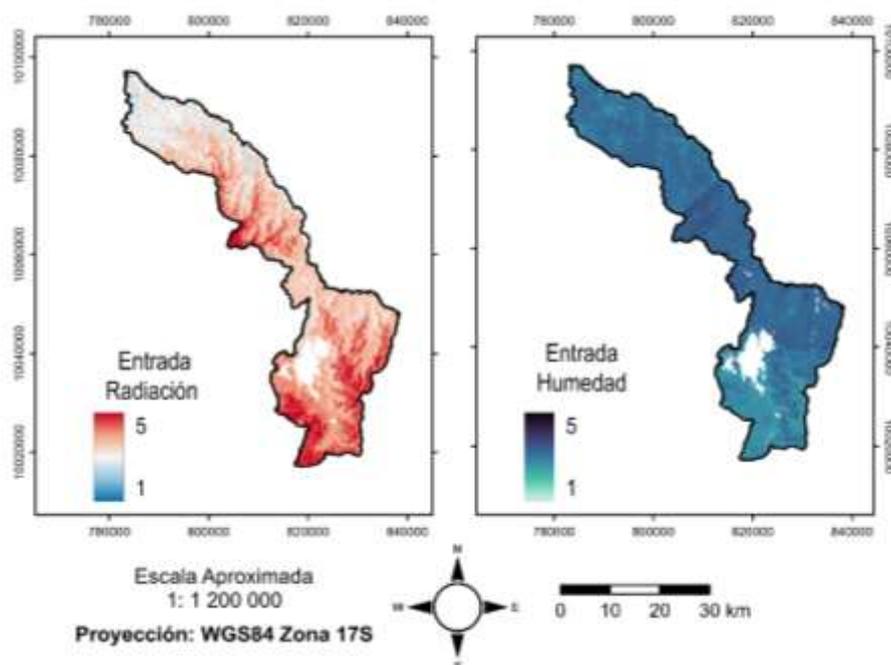


**Elaborado por:** El Autor, 2025

Las ponderaciones de las variables se establecieron siguiendo valores referenciales de fuentes reconocidas (Ortiz y Rivas, 2019; Subsecretaria de Gestión de la Información y Análisis de Riesgos [SGIAR], 2019), asegurando que cada factor refleje adecuadamente su impacto en la susceptibilidad. Las capas vectoriales de cobertura vegetal y textura del suelo fueron convertidas a formato ráster, y las áreas urbanas fueron excluidas mediante las herramientas *r.null* y *Cloud Masking*, garantizando un enfoque exclusivo en las áreas rurales. Posteriormente, las variables fueron reclasificadas (ver figura 5).

El cálculo de las variables radiación y humedad se realizó mediante álgebra de mapas utilizando la herramienta raster calculator, empleando las ecuaciones previamente definidas en el capítulo de la metodología. Estas operaciones permitieron integrar las capas temáticas y generar una representación precisa de las condiciones de susceptibilidad del área de estudio (ver figura 6).

**Figura 6.**  
***Entrada radiación y humedad***

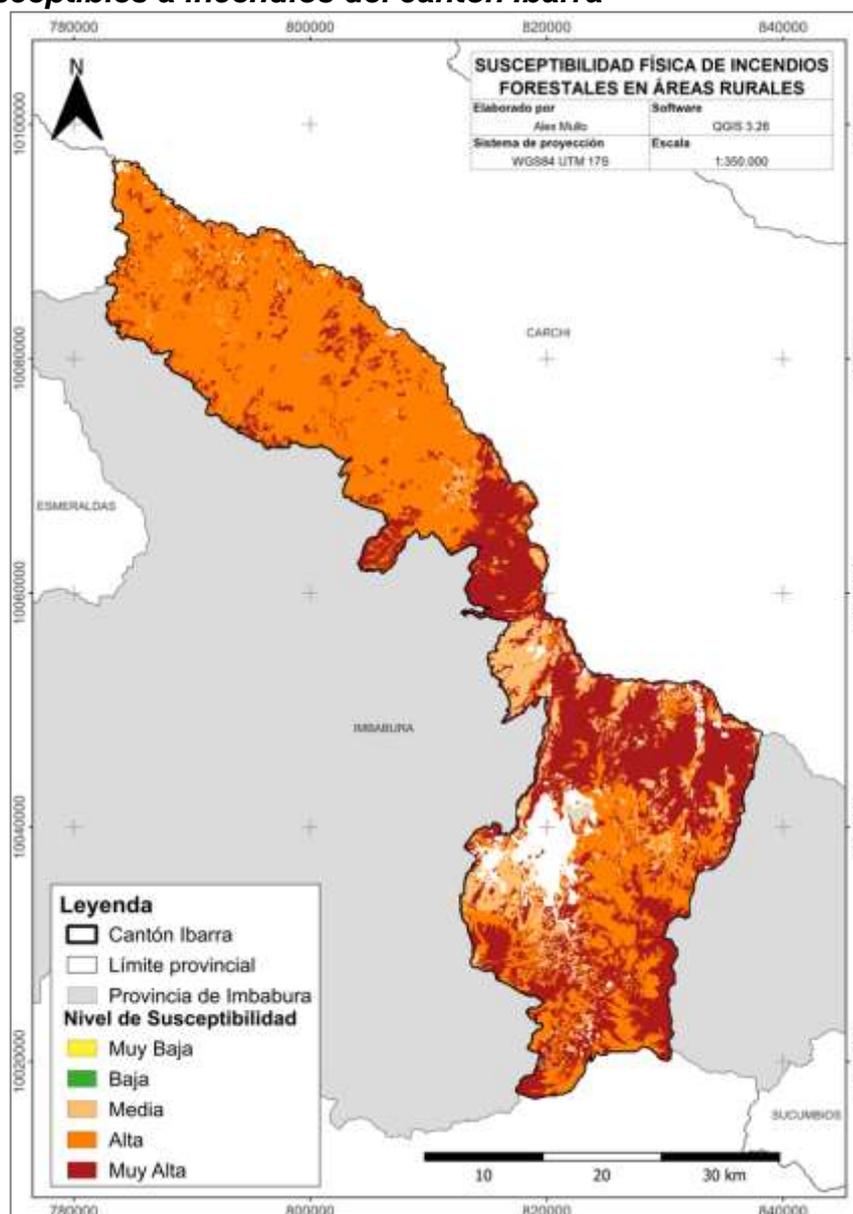


**Elaborado por:** El Autor, 2025

#### **4.4. Elaboración de mapas temáticos para la representación espacial de la susceptibilidad a incendios forestales resultante del área**

Para representar de manera clara y precisa las zonas con diferentes niveles de susceptibilidad a incendios forestales en el cantón Ibarra, se elaboraron mapas temáticos. Estos mapas fueron desarrollados a partir de la aplicación de la fórmula de susceptibilidad física, la cual permitió clasificar el área de estudio en cinco categorías: muy baja, baja, media, alta y muy alta susceptibilidad. Esta clasificación facilita la identificación visual de las áreas con mayor riesgo de incendios forestales, proporcionando una herramienta clave para la gestión del territorio y la implementación de medidas preventivas. El resultado final se presenta en la Figura 7, donde se destacan las zonas susceptibles a incendios en el área de estudio.

**Figura 7.**  
**Zonas susceptibles a incendios del cantón Ibarra**



**Elaborado por:** El Autor, 2025

Como se observa en el mapa, existe una mayor predominancia de áreas con niveles de susceptibilidad muy alta y alta. Lo cual se constata con los resultados cuantitativos que evidencian que el 53.80% del área rural del cantón Ibarra presenta una susceptibilidad alta, mientras que el 35.27% alcanza una susceptibilidad muy alta. Las zonas de susceptibilidad media representan el 10.93% del área total, distribuidas principalmente entre el centro y sur del territorio. En contraste, las áreas con baja susceptibilidad, representadas con el color verde, corresponden apenas al 0.004% de la superficie, localizándose en el norte del cantón.

**Tabla 9.**  
**Relación del área del cantón con el nivel de susceptibilidad**

Nivel de susceptibilidad	Área (ha)	Porcentaje
Baja	4.523	0.004%
Media	11 929.967	10.93%
Alta	58 723.103	53.80%
Muy Alta	38 492.13	35.27%
<b>Total</b>	<b>109 149.723</b>	<b>100</b>

**Elaborado por:** El Autor, 2025

En conjunto, las zonas clasificadas como de alta y muy alta susceptibilidad abarcan el 99.31% del área rural, lo que refleja una predominancia de condiciones favorables para la ocurrencia de incendios forestales. Esta información es fundamental para priorizar acciones de mitigación y gestión del riesgo.

Adicionalmente, se integró la información proporcionada por el Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias correspondiente al período 2010-2023 con el mapa de susceptibilidad física a incendios forestales. Este proceso permitió identificar que, durante dicho período, se registraron un total de 592 eventos de incendios en el área rural del cantón, afectando aproximadamente 5 623.52 hectáreas (*Anexo 12*). La superposición de estos datos facilita una mejor comprensión de la relación entre las áreas de alta susceptibilidad y la ocurrencia histórica de incendios, fortaleciendo el análisis de riesgo.

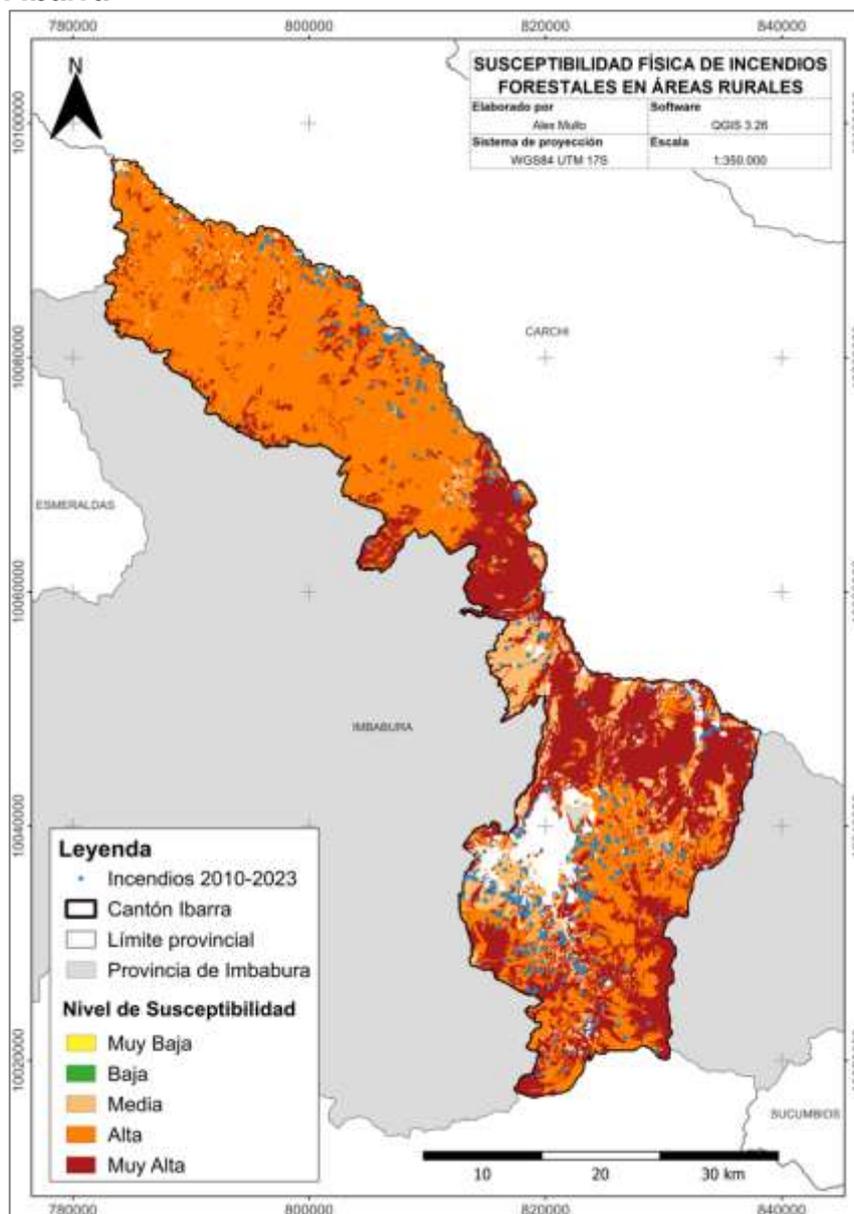
**Tabla 10.**  
**Coincidencia de incendios con respecto al nivel de susceptibilidad**

Nivel de susceptibilidad	Número de incendios	Porcentaje (%)
Media	107	18.07
Alta	320	54.05
Muy Alta	165	27.87
<b>Total</b>	<b>592</b>	<b>100</b>

**Elaborado por:** El Autor, 2025

A continuación, la figura 8 ilustra la superposición del mapa de susceptibilidad física a incendios forestales y los puntos que representan los eventos de incendios ocurridos en el área de estudio. Visualmente, se puede apreciar cómo los eventos se distribuyen predominantemente en zonas clasificadas como de alta y muy alta susceptibilidad, evidenciando una relación directa entre las condiciones estáticas del territorio y la ocurrencia de estos siniestros.

**Figura 8.**  
**Superposición de las áreas afectadas y las zonas susceptibles a incendios del cantón Ibarra**



**Elaborado por:** El Autor, 2025

Esta información cartográfica junto con el análisis cuantitativo muestra que el 81.93% de los incendios registrados se localizaron en áreas identificadas como de alta y muy alta susceptibilidad, mientras que solo el 18.1% corresponden a zonas de media susceptibilidad (*Tabla 10*). Estos resultados confirman la precisión del modelo empleado, ya que la mayoría de los eventos de incendios coinciden con las zonas previamente identificadas como críticas, lo que respalda su capacidad para predecir áreas de riesgo y orientar las estrategias de gestión y prevención.

Para evaluar la calidad espacial del mapa de susceptibilidad elaborado, se aplicó el índice de Kappa mediante la herramienta Accuracy Assessment, obteniendo un valor de 0.83, presentado en la tabla 11. Lo que, según la escala de interpretación del índice de Kappa, indica una fuerza de concordancia "casi perfecta", lo que respalda la fiabilidad del modelo propuesto.

**Tabla 11.**  
**Matriz de confusión**

Clasificación	Referencia				Total
	Baja	Media	Alta	Muy Alta	
Baja	2 039	0	0	0	2 039
Media	0	6 915	236	469	7 620
Alta	374	1 047	31 208	739	33 368
Muy Alta	838	5	2 670	21 182	24 695
Total	3 251	7 967	34 114	22 390	67 722
<b>Clasificación Kappa</b>					<b>0.83</b>

**Elaborado por:** El Autor, 2025

En comparación, el modelo generado por la SGIAR (2019) alcanzó un valor de 0.63, clasificado como una concordancia "buena". Estos resultados evidencian que el modelo desarrollado presenta una mayor precisión en la representación de las zonas susceptibles a incendios forestales en el área de estudio.

## 5. DISCUSIÓN

Castillo, Quintanilla, y Julio (2009), establecieron que el análisis del riesgo y la vulnerabilidad frente a incendios forestales debe considerar elementos como la vegetación combustible, el deterioro del paisaje vegetal afectado por eventos recurrentes, así como los antecedentes históricos relacionados con las causas, la superficie y la localización de los incendios. Estos factores permiten identificar áreas sensibles al riesgo. En consonancia con este enfoque, el presente trabajo reconoce que el modelo de combustible y el histórico de incendios son elementos esenciales para identificar las zonas vulnerables. No obstante, se ha ampliado el análisis integrando variables estáticas, como la pendiente del terreno, que influye directamente en la velocidad de propagación y la intensidad de los incendios.

Por otra parte, Moreno (2018), en su estudio sobre la vulnerabilidad de la zona boscosa de la parroquia Checa, utilizó índices de riesgo (frecuencia, gravedad y causalidad), concluyendo que la zona tenía una baja vulnerabilidad a incendios forestales debido a la acción humana. Sin embargo, el presente estudio se enfocó en la susceptibilidad física del área rural del cantón Ibarra. Los resultados obtenidos muestran que el 96.65% del cantón presenta condiciones estáticas favorables para la ocurrencia de incendios forestales, lo cual refleja una alta susceptibilidad en la zona. Esta diferencia metodológica justifica la divergencia en los resultados, ya que se priorizó la evaluación de condiciones inherentes al territorio.

De igual manera, los resultados de Díaz y Encarnación (2018), quienes ponderaron factores climáticos (temperatura, precipitación, déficit hídrico, evapotranspiración) y físicos (cobertura vegetal, cercanía a vías, pendiente, orientación del terreno y altitud), presentan similitudes parciales. Su estudio mostró una distribución de susceptibilidad baja (3.9%), moderada (5.57%), alta (22.95%), muy alta (40.42%) y extrema (27.16%). Aunque el presente estudio excluyó las variables de déficit hídrico, evapotranspiración y cercanía a vías, priorizando variables estáticas, la distribución obtenida refleja también una predominancia de zonas con alta (53.80%) y muy alta (35.27%) susceptibilidad, lo que evidencia cierta concordancia en las tendencias observadas.

Esto refleja cómo las características específicas del área de estudio y las variables seleccionadas pueden influir en los resultados. Como ocurrió en comparación con el estudio de Reyes y Balcazar (2021), quienes identificaron que la variable más influyente en la ocurrencia de incendios forestales en el cantón Loja

fue la distancia a zonas antrópicas, mientras que el presente estudio priorizó la cobertura vegetal como el factor determinante, sin considerar dicha variable.

Por otro lado, Guerra (2021), reportó una distribución de susceptibilidad a incendios en el cantón Quito con valores de muy baja (0.16%), baja (8.27%), moderada (39.28%) y alta (52.29%), señalando las áreas de uso agropecuario como las más vulnerables. En este estudio, en cambio, no se identificaron zonas rurales de susceptibilidad muy baja, sino que las categorías fueron baja (0.004%), media (10.93%), alta (53.80%) y muy alta (35.27%). Las diferencias se explican por las variables analizadas y las condiciones específicas del área de estudio, reafirmando la necesidad de adaptar las metodologías según el contexto local.

## **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1. Conclusiones**

En relación con el primer objetivo, se concluye que la recopilación de información cartográfica y climatológica actualizada es fundamental para garantizar la precisión del modelo de susceptibilidad física a incendios forestales en el área rural del cantón Ibarra. Sin embargo, se evidenció que gran parte de la información descargada de geoportales gubernamentales carecía de actualización o presentaba restricciones de acceso, lo que demandó la gestión directa con los administradores de los portales para su obtención.

Respecto al segundo objetivo, se logró adecuar las capas de datos mediante procesos técnicos que garantizaron la consistencia y calidad de la información utilizada. La precisión de las capas generadas influyó directamente en la confiabilidad del modelo de susceptibilidad, demostrando que una adecuada resolución y calidad cartográfica son esenciales para obtener resultados precisos.

En cuanto al tercer objetivo, la identificación de áreas de susceptibilidad se realizó mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), permitiendo el cálculo y análisis de las variables clave (cobertura vegetal, humedad, radiación, temperatura y textura del suelo). Los resultados indicaron que el 99.31% del área rural del cantón Ibarra presenta condiciones estáticas favorables para la ocurrencia de incendios forestales, concentrándose las zonas de alta (53.80%) y muy alta (35.27%) susceptibilidad en el centro y sur del área de estudio.

Finalmente, en cumplimiento del cuarto objetivo, se elaboraron mapas temáticos que representaron espacialmente la susceptibilidad física a incendios forestales, permitiendo una visualización clara y comprensible de las zonas de riesgo. Estos mapas son herramientas clave para la gestión de riesgos y la planificación de acciones preventivas.

### **6.2. Recomendaciones**

Se recomienda garantizar que las fuentes de información cartográfica y climatológica sean confiables y actualizadas, evitando el uso de datos desactualizados o de baja calidad. En caso de vacíos de información, como en las variables climáticas, se sugiere emplear plataformas como WorldClim y aplicar técnicas de mejora de resolución, como el downscaling.

Para optimizar la adecuación de capas de datos, es fundamental emplear técnicas de control de calidad y validación de datos, asegurando que las capas sean homogéneas y representativas del área de estudio. Esto garantiza la precisión del modelo de susceptibilidad.

Es necesario que las autoridades competentes fortalezcan el uso de Sistemas de Información Geográfica para la gestión del riesgo de incendios forestales, promoviendo capacitaciones, realizando proyectos para la generación de información actual y asegurando el acceso a tecnologías adecuadas.

Finalmente, se recomienda socializar los resultados de este estudio con los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs) municipales y otras entidades competentes que cuenten con el alcance y las herramientas adecuadas para implementar estrategias de prevención y gestión del riesgo de incendios forestales en el área rural del cantón Ibarra. Esto permitirá fomentar una cultura de prevención efectiva y fortalecer las capacidades locales para responder adecuadamente ante estos eventos, mitigando sus impactos tanto a nivel ambiental como socioeconómico.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alarcón, I. (2020). Ecuador registra 9 063 incendios forestales entre 2015 y 2019. *El Comercio*. <https://www.elcomercio.com/tendencias/ambiente/incendios-forestales-fuego-casitagua-pichincha.html>
- Alonso, D. (2019). *¿Cómo reclasificar una imagen en QGIS?* Mapping GIS: <https://mappinggis.com/2019/02/como-reclasificar-una-imagen-en-qgis/>
- Alvares, M. (2022). *Análisis de la afectación por incendios forestales, utilizando sensores remotos en Bosque Protector Bosqueira, Prroquia Pascuales*. [Tesis de grado, Universidad Agraria del Ecuador]: <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/ALVARES%20CHICA%20MARIA%20ANDREA.pdf>
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2019). *Decreto Ejecutivo 752*. Reglamento al Código Orgánico del Ambiente [RCOA].
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2010). *Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización [COOTAD]*. Registro Oficial Suplemento No. 303: <https://www.asambleanacional.gob.ec/es/leyes-aprobadas>
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2024). *Ley Orgánica para la Gestión Integral del Riesgo de Desastres [LOGIRD]*. Suplemento 488, Registro Oficial. : <https://procuraduria.utpl.edu.ec/NormativaExterna/LEY%20ORGÁNICA%20PARA%20LA%20GESTIÓN%20INTEGRAL%20DEL%20RIESGO%20DE%20DESASTRES.pdf>
- Castillo, S. M., Quintanilla, P. V., y Julio, A. G. (2009). Análisis del riesgo y vulnerabilidad contra incendios forestales en áreas de interfaz, Provincia de Valparaíso. *Territorium*, 16(1), 131-138. [https://doi.org/10.14195/1647-7723\\_16\\_12](https://doi.org/10.14195/1647-7723_16_12)
- Colegio Oficial de Psicología de Madrid. (2022). *El importante papel de la psicología en el abordaje de los incendios*. Colegio Oficial de Psicología de Madrid: <https://www.copmadrid.org/web/actualidad/noticias/2228/el-importante-papel-la-psicologia-el-abordaje-los-incendios>
- Comisión Nacional de Emergencias. (2021). *¿Qué es un incendio forestal?* Comisión Nacional de Emergencias de Costa Rica: [https://www.cne.go.cr/reduccion\\_riesgo/informacion\\_educativa/recomendaciones\\_consejos/incendio\\_forestal.aspx](https://www.cne.go.cr/reduccion_riesgo/informacion_educativa/recomendaciones_consejos/incendio_forestal.aspx)

- Comisión Nacional Forestal. (2010). *Incendios forestales. Guía práctica para comunicadores. 3ra Edición*. Col. San Juan de Ocotán. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/10/236Gu%C3%ADa%20pr%C3%A1ctica%20para%20comunicadores%20-%20Incendios%20Forestales.pdf>
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). *Registro Oficial 449*. Quito: Constitución de la República del Ecuador. <https://educacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/08/Constitucion.pdf>
- Díaz y Encarnación. (2018). *Zonificación De Áreas Propensas A Incendios De Cobertura Vegetal En El Cantón Pimampiro, Provincia De Imbabura*. [Tesis de grado, Universidad Técnica del Norte]: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/8655/2/ART%C3%8DCULO.pdf>
- Esri. (2024). *Función Superposición ponderada*. ArcGIS Desktop: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/manage-data/raster-and-images/weighted-overlay-function.htm>
- Földi, L., y Kutí, R. (2016). Characteristics of Forest Fires and their Impact on the Environment. *Aarms*, 15(1), 5–17. <https://doi.org/10.32565/aarms.2016.1.1>
- García, J., Fortesa, J., Calsamiglia, A., Calvo, A., y Estrany, J. (2017). Post-fire hydrological response and suspended sediment transport of a terraced Mediterranean catchment. *Earth Surface Processes and Landforms*, 42(14), 2254–2265. <https://doi.org/10.1002/esp.4181>
- Gis&Beers. (2019). *Claves para trabajar correctamente el álgebra de mapas*. Gis&Beers: <https://www.gisandbeers.com/claves-trabajar-correctamente-algebra-de-mapas/>
- Gobierno de Canarias. (2021). *Principales causas de los incendios forestales*. Consejería de Transición Ecológica, Lucha contra el Cambio Climático y Planificación Territorial: [https://www.gobiernodecanarias.org/medioambiente/temas/biodiversidad/politica\\_forestal/incendios-forestales/causas\\_y\\_efectos\\_de\\_los\\_incendios\\_forestales/principales\\_causas/](https://www.gobiernodecanarias.org/medioambiente/temas/biodiversidad/politica_forestal/incendios-forestales/causas_y_efectos_de_los_incendios_forestales/principales_causas/)
- Gonzalez, P. (2017). *Impacto de los incendios forestales en suelo, agua, vegetación y fauna*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile:

- <https://www.camara.cl/verDoc.aspx?prmTIPO=DOCUMENTOCOMUNICACIONCUESTA&prmID=39186>
- Guerra, E. (2021). *Susceptibilidad de incendios forestales en el cantón Quito, Ecuador, y su relación con el capital simbólico presente en la población del sector*. [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica de Chile]: <https://repositorio.uc.cl/handle/11534/63275>
- Hernández, L. (2020). *El planeta en llamas. Propuesta ibérica de WWF para la prevención de incendios*. España: WWF y ANP. [https://wwfes.awsassets.panda.org/downloads/wwf\\_informe\\_incendios\\_2020\\_el\\_planeta\\_en\\_llamas.pdf](https://wwfes.awsassets.panda.org/downloads/wwf_informe_incendios_2020_el_planeta_en_llamas.pdf)
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2011). *Protocolo Para La Realización De Mapas De Zonificación De Riesgos A Incendios De La Cobertura Vegetal - Escala 1:100.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales: <http://www.ideam.gov.co/documents/13257/14369/PROTOCOLO+INCENDIOS+4Oct.pdf>
- Instituto Forestal [INFOR]. (2011). *Los incendios forestales y su impacto en el medio ambiente en Chile*. Instituto Forestal: [http://www.infor.cl/teledeteccion/pdf\\_valdivia/bosnich\\_co](http://www.infor.cl/teledeteccion/pdf_valdivia/bosnich_co)
- Instituto Geográfico Militar [IGM]. (2014). *Memoria Técnica del Cantón Ibarra*. Instituto Geográfico Militar del Ecuador: [https://www.geoportaligm.gob.ec/geodescargas/ibarra/mt\\_ibarra\\_socioeconomico.pdf](https://www.geoportaligm.gob.ec/geodescargas/ibarra/mt_ibarra_socioeconomico.pdf)
- Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. (2014). *Información Cartográfica*. Retrieved 3 de Agosto de 2022, from Instituto Nacional de Estadística y Censos: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/category/cartografia-2/>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC]. (2020). *Resultados del Censo 2020 de población y vivienda en el Ecuador*. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/imbabura.pdf>
- Larjavaara, M., Pennanen, J., y Tuomi, T. J. (2005). Lightning that ignites forest fires in Finland. *Agricultural and Forest Meteorology*, 132(3/4), 171–180. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2005.07.005>

- Lozada, J. (2014). Investigación Aplicada. Definición, Propiedad Intelectual e Industria. *CienciAmérica: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica*, 3(1), 47-50.  
<https://cienciamerica.edu.ec/index.php/uti/article/view/30>
- Marroquin, P. R. (2012). *Metodología de la investigación*. Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle: [http://www.une.edu.pe/Sesion04-Metodologia\\_de\\_la\\_investigacion.pdf](http://www.une.edu.pe/Sesion04-Metodologia_de_la_investigacion.pdf)
- Ministerio De Inclusión Económica y Social [MIES]. (2009). *Acuerdo Ministerial 1257. Reglamento de prevención, mitigación y protección contra incendios*. Ministerio De Inclusión Económica y Social: <https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2019-11/REGLAMENTO%20DE%20PREVENCION%2C%20MITIGACION%20Y%20PROTECCION%20CONTRA%20INCENDIOS.pdf>
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica [MAATE]. (2004). *Codificación N° 17. Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre*. Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/ley-forestal.pdf>
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica [MAATE]. (2021). *Prevención y control de incendios una prioridad nacional*. Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica: <https://www.ambiente.gob.ec/prevencion-y-control-de-incendios-una-prioridad-nacional/>
- Moreno, H. F. (2018). *Vulnerabilidad de las áreas boscosas de la parroquia checa a incendios forestales por causas antropogénicas*. [Tesis de grado, Universidad Internacional SEK]: <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/3162/1/Hern%C3%A1n%20Moreno%20INCENDIOS%20FORESTALES.pdf>
- Navarro, J. (2021). *SIG para prevenir y combatir incendios forestales*. Storymaps ArcGIS: <https://storymaps.arcgis.com/stories/aa1e73cc99124b29a7b57c10e0645d33>
- Olaya, V. (2009). *Sistemas de Información Geográfica libres y geodatos libres como elementos de desarrollo*. Universidad de Extremadura:

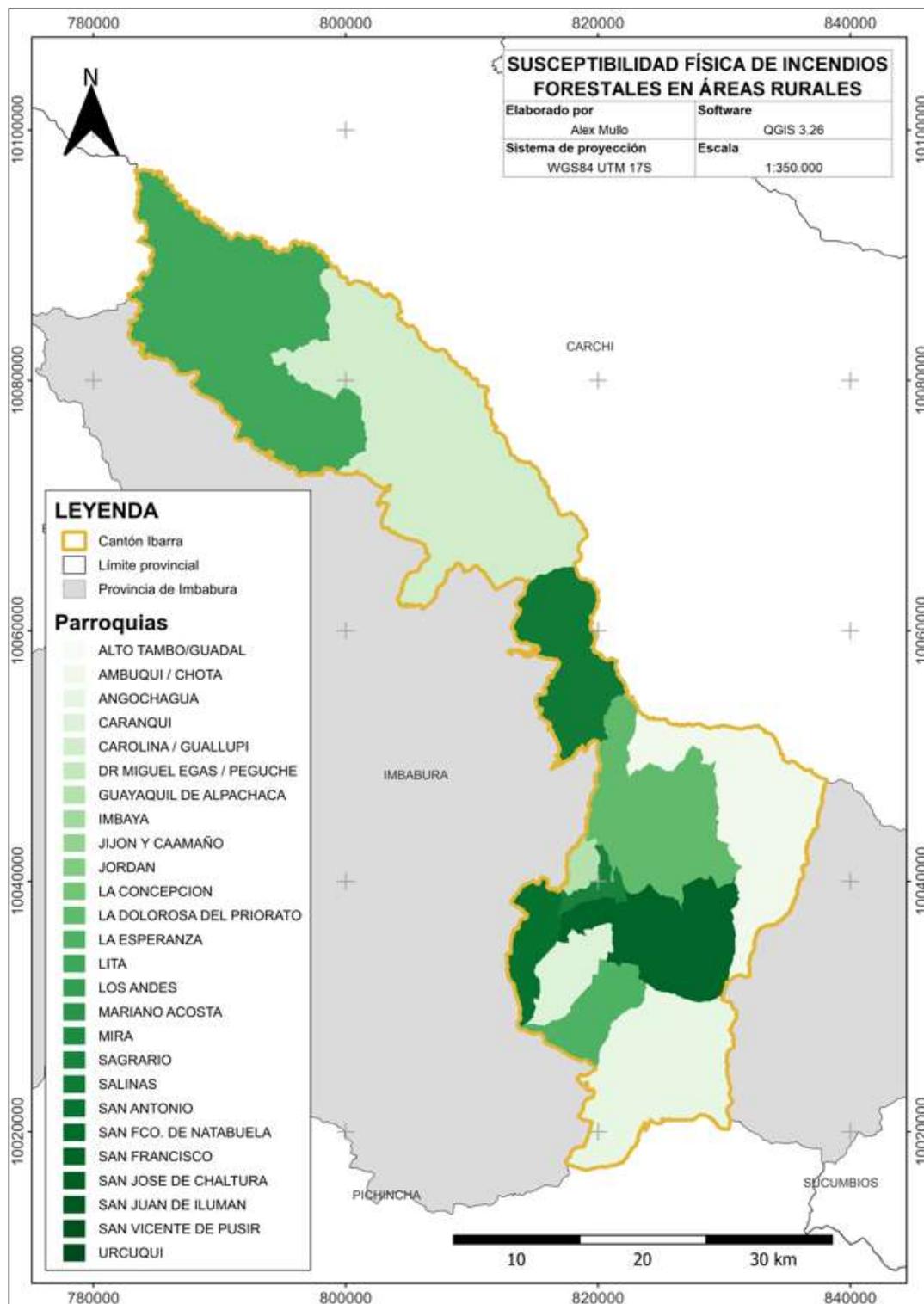
- [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/7584/08\\_TIG\\_05\\_victor.pdf;jsessionid=3930436456DA616DF65040040167D9F7?sequence=1](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/7584/08_TIG_05_victor.pdf;jsessionid=3930436456DA616DF65040040167D9F7?sequence=1)
- Olaya, V. (2020). *Sistemas de Información Geográfica*. Github: <https://volaya.github.io/libro-sig/>
- Ortiz, C., y Rivas, E. (2019). *Diseño de una red de Aspersión con Alimentación Directa a Partir de Unidades Hidrogeológicas Favorables de la Zona Intervenida y de Activación Automática ante Anomalías Físicas Detectadas Mediante Sensores*. [Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral]: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/32244>
- Ortiz, L. (2024). *Los incendios forestales dejan profundas huellas sociales, ambientales y económicas*. *Rev. Gestión Digital*: <https://revistagestion.ec/analisis-economia-y-finanzas/los-incendios-forestales-dejan-profundas-huellas-sociales-ambientales/>
- Prefectura Ciudadana de Imbabura. (2021). *Campaña para prevenir incendios forestales en la Provincia de Imbabura*. Prefectura de Imbabura: <https://www.imbabura.gob.ec/index.php/noticias/blog-noticias/18-ambiente/586-campana-para-prevenir-incendios-forestales-en-la-provincia-de-imbabura>
- Pucha, F., Fries, A., García, F. C., Valdivieso, F. O., Jaramillo, V. G., y Pucha Cofrep, D. (2017). *Fundamentos de SIG. Aplicados en ArcGIS*. Ediloja Cia. Ltda. [https://www.researchgate.net/publication/323945547\\_Fundamentals\\_of\\_GIS](https://www.researchgate.net/publication/323945547_Fundamentals_of_GIS)
- Quistial, G. (2016). *Propuesta de un plan de prevención de incendios forestales, en las parroquias la Carolina y Salinas, cantón Ibarra, provincia de Imbabura*. [Tesis de grado, Universidad Técnica del Norte]: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/5683>
- Rábade, J., y Aragoneses, C. (2008). Memorias del segundo simposio internacional sobre políticas, planificación y economía de los programas de protección contra incendios forestales: una visión global. 2004 Abril 19–22. *PSW-GTR-208* (p. 1-14). Córdoba, España: Gen. Tech. Rep. <https://doi.org/10.2737/PSW-GTR-208ES>

- Reyes, F., y Balcazar, C. (2021). Factores que inciden en la probabilidad de ocurrencia de incendios forestales en Ecuador. *FIGEMPA: Investigación Y Desarrollo*, 11(1), 50–60. <https://doi.org/10.29166/revfig.v11i1.2634>
- Rodriguez, D., Ramirez, H., Tchikoué, H., y Santillán, J. (2008). Factores que inciden en la siniestralidad de los incendios forestales. *Revista Ciencia Forestal en México*, 33(104), 1-15. <https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/736>
- Rosales, J. L. (2021). *Ibarra quiere autorizar la quema para evitar incendios*. El Comercio: <https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/ibarra-incendios-forestales-quema-fuego-inamhi.html>
- RUVA. (2021). *Tipos de incendios*. RUVA Seguridad: <https://www.ruvaseguridad.com/blog/tipos-de-incendios/index.html>
- Sarría, F. A. (2006). *Sistemas de Información Geográfica*. Universidad de Murcia: <https://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario.pdf>
- Secretaría de Gestión Riesgos. (2015). Secretaría de Gestión Riesgos.
- Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias [SNGRE]. (2015). *En Imbabura 1472,71 hectáreas consumidas en incendios forestales*. Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias: <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/en-imbabura-147271-hectareas-consumidas-en-incendios-forestales/>
- Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias [SNGRE]. (2022). *033C-0CR6G5 - Emisión de información de eventos peligrosos relacionados a la gestión del riesgo de desastres en territorio nacional [Correo electrónico]*. Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias . <https://nube.gestionderiesgos.gob.ec/index.php/s/rSo5tNCETHpXybz?>
- Subsecretaría de Gestión de la Información y Análisis de Riesgos [SGIAR]. (2019). *Susceptibilidad física a incendios forestales*. Subsecretaría de Gestión de la Información y Análisis de Riesgos: <https://es.scribd.com/document/464439074/Metodologia-Susceptibilidad-Incendios-Forestales-escala-1-50000>
- Tecresa. (2019). *Tipos de incendios forestales y consecuencias*. Mercor Tecresa Protección Pasiva, S.L: <https://mercortecresa.com/blog/tipos-de-incendios-forestales-y-consecuencias>

- Toro, M. N., Herrera, M. D., Batallas, B., y Guevara, J. G. (2013). *Análisis de vulnerabilidad cantón San Miguel de Ibarra*. [Tesis de grado, Red de Repositorios de Acceso Abierto del Ecuador]: <http://repositorio.cedia.org.ec/bitstream/123456789/848/1/Perfil%20territoria%20IBARRA.pdf>
- Unión Temporal AVR-CAR. (2015). *Estudio de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Incendios Forestales en el Municipio Zipaquira - Cundinamarca*. Bogotá: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca [CAR]. <http://hdl.handle.net/20.500.11762/32964>
- Valenzuela, N. U., y Cáceres, M. F. (2011). Incendios forestales: principales consecuencias económicas y ambientales en Chile. *Rev. Interamericaniza e ambiente y turismo*, 7(1), 18-24. <https://doi.org/10.4067/riatvol7iss1pp18-24%250718-235X>
- Valladares, J. (2022). *Métodos para realizar un Análisis Multicriterio en un SIG*. Master GIS: <https://mastergis.com/blog/metodos-analisis-multicriterio-sig>
- Vivero, L., y Sánchez, B. I. (2018). *La investigación documental: sus características y algunas herramientas*. Unidades de Apoyo para el Aprendizaje. Facultad de Arquitectura [UNAM]: [http://132.248.48.64/repositorio/moodle/pluginfile.php/1516/mod\\_resource/content/3/contenido/index.html](http://132.248.48.64/repositorio/moodle/pluginfile.php/1516/mod_resource/content/3/contenido/index.html)
- Zappa, C. (2022). *Análisis de la severidad de incendios forestales en la Reserva Ecológica Los Ilinizas*. [Tesis de grado, Universidad Agraria del Ecuador]: <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/ZAPPA%20ALVARADO%20CARLOS%20ALBERTO.pdf>
- Zarete. (2004). *Estudio de las características físicas y geométricas de la llama en los incendios forestales*. [Tesis de grado, Universitat Politècnica de Catalunya]: <http://hdl.handle.net/10803/6436>

## ANEXOS

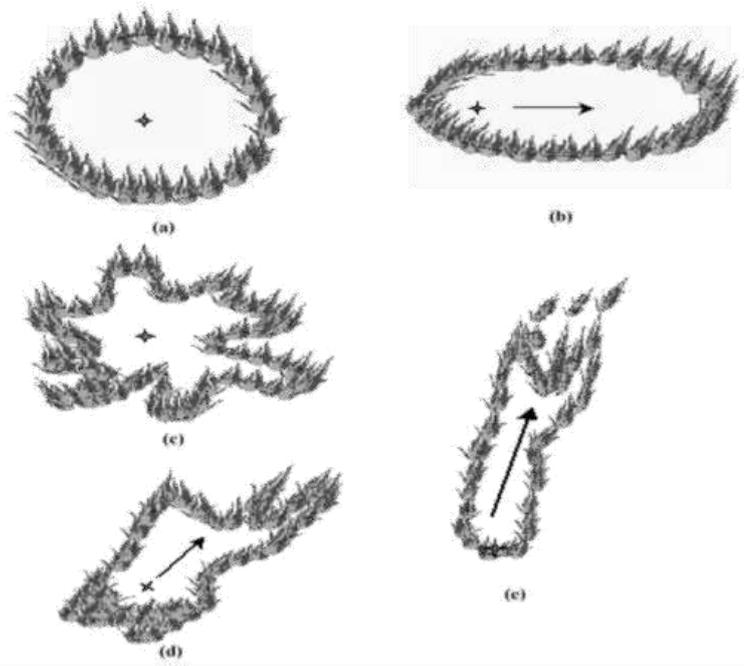
## Anexo N°1:

*Ubicación espacial de la zona de estudio (Ibarra, Ecuador)*

Elaborado por: El Autor, 2025

## Anexo N°2:

### Formas de incendios



**Nota.- a)** Incendios progresivos en forma circular, se produce en terreno plano, con combustibles homogéneos y sin viento; **b)** incendios progresión elíptica, se caracteriza por la presencia de viento con una dirección predominante, se quema combustible homogéneo y se propaga sobre el terreno plano; **c)** viento variable con topografía irregular, bajo la influencia de viento (variando en su intensidad y dirección) se quema combustible heterogéneo y/o se propaga en pendientes irregulares; **d)** incendio impulsado por el viento que sube por una ladera mientras en el lado de al frente se incendia la pendiente; **e)** fuerte viento que transporta material incandescente

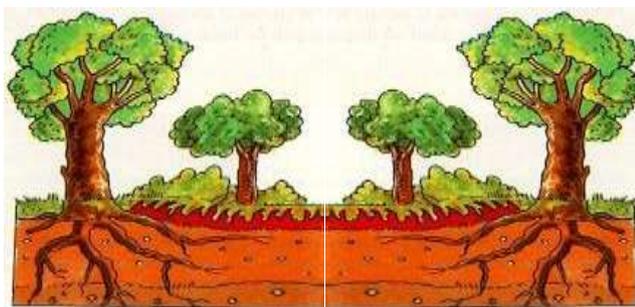
**Fuente:** Zarete, 2004

## Anexo N°3:

### Fuego de copa en copa



**Fuente:** Tecresa, 2019

**Anexo N°4:*****Fuego en el subsuelo***

**Fuente:** Tecresa, 2019

**Anexo N°5:**

***Reclasificación asignada a clases de cobertura vegetal, según su grado de influencia estimado en la potencial ocurrencia de un incendio forestal.***

COBERTURA NIVEL 3	Peso_Amz	Peso_Hum
Afloramiento rocoso	1	1
Albarrada/reservorio	1	1
Alfalfa	3	2
Área en proceso de erosión	3	3
Área en proceso de urbanización	3	2
Área erosionada	2	2
Avena forrajera	2	3
Banco de arena	1	1
Bosque húmedo medianamente alterado	3	3
Bosque húmedo muy alterado	3	3
Bosque húmedo poco alterado	3	3
Bosque seco medianamente alterado	4	1
Bosque seco muy alterado	5	1
Campamento empresarial	3	2
Cantera	3	2
Casa de hacienda	3	2
Cementerio	3	2
Centro poblado	3	2
Complejo de rastro	3	2

COBERTURA NIVEL 3	Peso_Amz	Peso_Hum
Complejo educativo	3	2
Complejo industrial	3	2
Complejo militar	3	2
Complejo recreacional	3	2
Complejo religioso	3	2
Cultivo anual	2	4
Cultivo anual	4	2
Cultivo permanente	2	4
Cultivo semipermanente	2	4
Cultivo semipermanente	3	3
Establo	3	2
Eucalipto	4	2
Gasolinera	3	2
Granja avícola	3	2
Hipódromo	3	2
Ladrillera	3	2
Lago/laguna	1	1
Maíz-arveja	4	2
Maíz-cebada	4	2
Maíz-frejol	4	2
Maíz-haba	4	2
Matorral húmedo medianamente alterado	4	2
Matorral húmedo muy alterado	4	2
Matorral húmedo poco alterado	4	2
Matorral seco medianamente alterado	5	1
Matorral seco muy alterado	5	1
Matorral seco poco alterado	5	2
Misceláneo de ciclo corto	1	3
Misceláneo de frutales	2	4
Misceláneo de hortalizas	2	3
Misceláneo indiferenciado	2	4
Paramo arbustivo medianamente alterado	5	1

COBERTURA NIVEL 3	Peso_Amz	Peso_Hum
Paramo arbustivo muy alterado	5	1
Paramo arbustivo poco alterado	5	1
Paramo herbáceo medianamente alterado	5	1
Paramo herbáceo muy alterado	5	1
Paramo herbáceo poco alterado	5	1
Pasto cultivado	5	1
Pasto cultivado con presencia de arboles	3	3
Pasto cultivado con presencia de maíz	5	1
Pino	3	2
Piscícola	3	2
Piscina de oxidación	3	2
Pista de aterrizaje	3	2
Red viaria	3	2
Relleno sanitario	3	2
Rio doble	1	5
Subestación eléctrica	2	3
Tierras en transición	3	3
Urbano	3	2
Vegetación herbácea de humedal muy alterada	4	2
Vegetación herbácea húmeda medianamente alterada	4	2
Vegetación herbácea húmeda muy alterada	4	2
Vegetación herbácea seca medianamente alterada	5	1
Vegetación herbácea seca muy alterada	5	1
Vertedero de basura	3	2
Vivero	3	2

**Fuente:** Subsecretaría de Gestión de la Información y Análisis de Riesgos, 2019

**Anexo N°6:**

***Reclasificaciones asignadas a clases de textura del suelo, en base al análisis del complejo cobertura-suelo), según su grado de influencia aproximada en la potencial ocurrencia de un incendio forestal***

<b>Textura</b>	<b>Peso_Hum</b>	<b>Peso_Amz</b>
Arcillo - Arenoso	2	2
Arcilloso	1	2
Arena	5	3
Arena Gruesa	5	3
Areno Francoso	3	3
Franco	3	3
Franco Arcillo - Arenoso	3	3
Franco Arcillo - Limoso	2	3
Franco Arcilloso	3	3
Franco Arenoso	3	3
Franco Limoso	3	3

**Fuente:** Subsecretaría de Gestión de la Información y Análisis de Riesgos, 2019

**Anexo N°7:**

***Rangos de precipitación, según su grado de influencia estimado en la potencial ocurrencia de un incendio forestal***

<b>Rangos</b>	<b>Peso</b>
0 - 800	5
800 -1 600	4
1 600 - 2 400	3
2 400 - 3 200	2
> 3 200	1

**Fuente:** Subsecretaría de Gestión de la Información y Análisis de Riesgos, 2019

**Anexo N°8:**

***Rangos de temperatura, según su grado de influencia aproximada en la potencial ocurrencia de un incendio forestal***

<b>Rango</b>	<b>Peso</b>
0 – 8	1
8 – 16	2
16 – 24	3
24 – 32	4
> 32	5

**Fuente:** Subsecretaría de Gestión de la Información y Análisis de Riesgos, 2019

**Anexo 9:**

***Rangos de radiación, según su grado de influencia aproximada en la potencial ocurrencia de un incendio forestal.***

<b>Rango</b>	<b>Peso</b>
0 – 2	1
2 – 4	2
4 – 6	3
6 – 8	4
> 8	5

**Fuente:** Subsecretaría de Gestión de la Información y Análisis de Riesgos, 2019

**Anexo N°10:**

***Rangos de elevación, según su grado de influencia aproximada en la potencial ocurrencia de un incendio forestal***

<b>Rango</b>	<b>Peso</b>
0 – 500	1
500 – 1 500	2
1 500 – 2 200	3
2 200 – 3 000	4
> 3 000	5

**Fuente:** Subsecretaría de Gestión de la Información y Análisis de Riesgos, 2019

**Anexo N°11:**

***Rangos de pendiente, según su grado de influencia aproximada en la potencial ocurrencia de un incendio forestal***

<b>Rango</b>	<b>Peso</b>
0 – 12	1
12 – 25	2
25 – 40	3
40 – 70	4
> 70	5

**Fuente:** Subsecretaria de Gestión de la Información y Análisis de Riesgos, 2019

**Anexo N°12:**

***Incendios suscitados y área afectada en el cantón Ibarra periodo 2010-2023***

<b>Año</b>	<b>Número de incendios</b>	<b>Área afectada (HA)</b>
2010	1	0.200
2011	1	0.000
2012	122	655.839
2013	41	167.008
2014	14	1 010.010
2015	28	714.000
2016	14	411.460
2017	26	897.195
2018	79	397.210
2019	100	515.110
2020	50	274.750
2021	7	34.600
2022	51	330.920
2023	58	215.221
<b>Total general</b>	<b>592</b>	<b>5 623.523</b>

**Elaborado por:** El Autor, 2025