



**INSTITUTO PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE
RIESGOS DE DESASTRES DEL ESTADO DE CHIAPAS**

ESCUELA NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL
CAMPUS CHIAPAS

TESIS

**Análisis de Vulnerabilidad a Incendios Forestales
en el Bosque Protector La Prosperina,
Guayaquil - Ecuador. Período 2013-2020**

Que para obtener el Grado de Doctor en
Gestión Integral de Riesgos y
Protección Civil

PRESENTA:

David Francisco Sánchez Aguas

Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas. 01 de marzo de 2023



**INSTITUTO PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE
RIESGOS DE DESASTRES DEL ESTADO DE CHIAPAS**

ESCUELA NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL
CAMPUS CHIAPAS

TESIS

**Análisis de Vulnerabilidad a Incendios Forestales
en el Bosque Protector La Prosperina,
Guayaquil - Ecuador. Período 2013-2020**

Que para obtener el Grado de Doctor en
Gestión Integral de Riesgos y
Protección Civil

PRESENTA:

David Francisco Sánchez Aguas

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Milton Maridueña Arroyave

Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas. 01 de marzo de 2023

**Instituto para la Gestión Integral de Riesgos de
Desastres del Estado de Chiapas
Escuela Nacional de Protección Civil
Campus Chiapas**

DICTAMEN PARA OBTENCIÓN DE GRADO

Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas; 08 de febrero 2023

**C. DAVID FRANCISCO SÁNCHEZ AGUAS
PRESENTE**

Como resultado del análisis realizado a su documento recepcional intitulado: **“Análisis de vulnerabilidad a incendios forestales en el Bosque Protector la Prosperina, Guayaquil - Ecuador”**.

OPCIÓN: TESIS

A propuesta del director de tesis **Dr. Milton Rafael Maridueña Arroyave**, manifiesto a usted que reúne las pertinencias: disciplinarias, metodológicas y formales; por ello se le extiende el presente **DICTAMEN** y se le autoriza presentar su examen para obtener el grado de **Doctor en Gestión Integral de Riesgos y Protección Civil**.

**DIRECTOR DE LA ESCUELA NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL
CAMPUS CHIAPAS**



CAPITÁN JUAN ANTONIO VARGAS REYES

**Instituto para la Gestión Integral de Riesgos de
Desastres del Estado de Chiapas.
Escuela Nacional de Protección Civil
Campus Chiapas**

**CONSTANCIA DE TERMINACIÓN
DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Ocozocoautla de Espinoza, Chiapas,
a 23 de enero de 2023

**C. Doctorante: David Francisco Sánchez Aguas
Presente.**

Después de haber analizado su trabajo intitulado: **“Análisis de vulnerabilidad a incendios forestales en el Bosque Protector la Prosperina, Guayaquil - Ecuador”**

Modalidad: **Tesis**

Comunico a usted que el trabajo de investigación lo estimo terminado, por lo tanto, puedo ponerlo a consideración de la H. Comisión de Titulación de la Escuela Nacional de Protección Civil Campus Chiapas, a fin de que, en caso de proceder, le sea otorgado el dictamen correspondiente.

ATENTAMENTE



**DR. MILTON MARIDUEÑA ARROYAVE
DIRECTOR DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
NOMBRE Y FIRMA**

GOBIERNO DEL ESTADO



SECRETARÍA
DE PROTECCIÓN CIVIL
GOBIERNO DE CHIAPAS



ESCUELA NACIONAL
DE PROTECCIÓN CIVIL
CAMPUS CHIAPAS

**Instituto para la Gestión Integral de Riesgos de
Desastres del Estado de Chiapas
Escuela Nacional de Protección Civil
Campus Chiapas**

**CONSTANCIA DE TERMINACIÓN
DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas,
a 16 de enero de 2023.

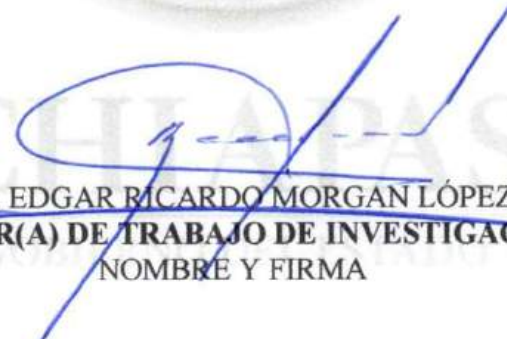
C. Doctorante: **David Sánchez Aguas**
Presente.

Después de haber analizado su trabajo **“Análisis de vulnerabilidad a incendios forestales
en el Bosque Protector la Prosperina, Guayaquil - Ecuador”**

Modalidad: Tesis

Comunico a usted que el trabajo de investigación lo estimo terminado, por lo tanto, puedo ponerlo a consideración de la H. Comisión de Titulación de la Escuela Nacional de Protección Civil Campus Chiapas, a fin de que, en caso de proceder, le sea otorgado el dictamen correspondiente.

ATENTAMENTE


DR. EDGAR RICARDO MORGAN LÓPEZ
LECTOR(A) DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
NOMBRE Y FIRMA



**Instituto para la Gestión Integral de Riesgos de
Desastres del Estado de Chiapas
Escuela Nacional de Protección Civil
Campus Chiapas**

**CONSTANCIA DE TERMINACIÓN
DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas,
a 16 de enero de 2023.


C. Doctorante: **David Sánchez Aguas**
Presente.

Después de haber analizado su trabajo **“Análisis de vulnerabilidad a incendios forestales en el Bosque Protector la Prosperina, Guayaquil - Ecuador”**

Modalidad: Tesis

Comunico a usted que el trabajo de investigación lo estimo terminado, por lo tanto, puedo ponerlo a consideración de la H. Comisión de Titulación de la Escuela Nacional de Protección Civil Campus Chiapas, a fin de que, en caso de proceder, le sea otorgado el dictamen correspondiente.

A T E N T A M E N T E



DRA. SANDRA URANIA MORENO ANDRADE
LECTOR(A) DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
NOMBRE Y FIRMA

ÍNDICE

ÍNDICE.....	ii
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vi
INTRODUCCIÓN.....	8
Planteamiento del problema.....	9
Justificación	10
Objetivo General:.....	12
Objetivos específicos:	12
Hipótesis:	12
Variables:	12
I. MARCO TEÓRICO.....	14
Marco legal internacional y nacional de los incendios forestales.....	14
Incendios forestales.....	19
Medio ambiente y teoría de sistemas	27
II. METODOLOGÍA:	30
Período de análisis	34
Selección de datos.....	35
Análisis Multicriterio (AMC)	36
Metodología de evaluación de riesgo de incendios forestales.....	38

Identificación de zonas de amenaza.....	39
Área quemada:	45
Identificación de zonas de vulnerabilidad.....	48
Densidad de la población:	50
III. RESULTADOS	56
Identificación de las zonas de amenaza de incendios forestales.....	56
Juicios de valor variable amenaza.....	65
Identificación de las zonas de vulnerabilidad de incendios forestales.....	68
Juicios de valor – variable vulnerabilidad.....	79
Zonas de vulnerabilidad para el Bosque Protector La Prosperina y sitios adyacentes	80
Zonas de riesgo para el bosque protector la Prosperina.....	81
IV. DISCUSIÓN.....	83
V. CONCLUSIONES.....	85
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87

DEDICATORIA

A los que no buscamos ser imprescindibles, sin embargo, luchamos todos los días.

Este trabajo va dedicado a los distintos, a los revolucionarios, a los oprimidos, a los olvidados, a los sin voz, sea porque nacieron sin ella o se las fueron apagando, a los que bien llamaba Galeano: los nadie, los que no son, aunque sean, los que no hablan idiomas sino dialectos, los que no hacen arte sino artesanía, los que no son seres humanos sino recursos humanos, los que no tienen cara sino brazos.

Por otro lado, dedico este trabajo a mi director de tesis en Ecuador. Vuelta alto Marcelito.

AGRADECIMIENTOS

Inicio citando a William Henley, cuyo poema luego fuera inmortalizado por Nelson Mandela quien durante 27 años buscó refugio en esas letras mientras vivía una terrible injusticia “Agradezco al Dios que fuere por mi alma inconquistable.....no importa cuán estrecho sea el camino, ni cuán cargada de castigos la sentencia, soy el amo de mi destino, soy el capitán de mi alma”. Agradezco a mis padres que me proveyeron las herramientas necesarias para convertirme en quien soy, a Alexandra Sigue quien colaboró de manera fundamental y oportuna en el desarrollo de este trabajo, al Maestro Isaac por su sincero y útil acompañamiento durante la elaboración de este trabajo, al Dr. Morgan quien con sus sabias palabras, sincera amistad y sólidos conocimientos participó activamente en el desarrollo, revisión y publicación de este trabajo, y finalmente pero no menos importante a Fabrizio Marcillo quien con su incondicional amistad, sentido del humor y grandes conocimientos en diversas áreas colaboró en la elaboración de este trabajo.

RESUMEN

Los incendios forestales han cobrado relevancia durante los últimos años debido a su recurrencia en los diferentes continentes, esto ha incrementado el interés en su estudio con el fin de analizar medidas de prevención y mitigación. Puntualmente en el Bosque Protector La Prosperina, en el Ecuador, los incendios forestales son muy comunes, de tal manera que las estadísticas demuestran que anualmente se suscitan alrededor de 80 incendios forestales, ocasionando graves daños en el ecosistema, flora y fauna.

El siguiente trabajo tiene como principal propósito, analizar el riesgo de vulnerabilidad a incendios forestales específicamente del Bosque Protector La Prosperina, ya que este Bosque además de ser un área protegida con aproximadamente 636 hectáreas, cumple una función vital como reserva biológica para la ciudad de Guayaquil. Los datos obtenidos frutos de este trabajo serán socializados y difundidos con el fin de fortalecer las capacidades de los distintos organismos, tanto administrativos, de control y de respuesta.

Palabras Clave: Bosque Protector 1, Incendios Forestales 2, Vulnerabilidad 3.

ABSTRACT

Forest fires have gained relevance in recent years due to their recurrence on different continents; this has increased interest in their study to analyze prevention and mitigation measures. Specifically, in the La Prosperina protected forest, forest fires are very common, in such a way that statistics show that around 80 forest fires occur annually, causing serious damage to the ecosystem, flora and fauna.

The main purpose of the following work is to analyze the risk of vulnerability to forest fires specifically of the La Prosperina protected forest, since this forest, in addition to being a protected area with 636 hectares, fulfills a vital function as a biological reserve for Guayaquil city. The data obtained from this work, will be socialized, and disseminated in order to strengthen the capacities of the different agencies, both administrative, control and response.

Abstrac: Protected Forest 1, Forest Fires 2, Vulnerability 3.

INTRODUCCIÓN

La presente tesis doctoral se constituye en dos fases. La primera fase la cual abarca el protocolo de investigación y la segunda fase la cual corresponde al capitulado, el mismo que detalla el marco teórico de los incendios forestales, el marco legal vigente y el análisis de vulnerabilidad a incendios forestales del bosque como tal.

Alrededor del mundo se ha podido observar que los incendios forestales no cesan, y esto se debe a su gran mayoría por los efectos del calentamiento global y demás actividades antrópicas que en sinergia provocan las condiciones propicias para el desencadenamiento de estos eventos generadores de daño. (Pompa-García & Sensibaugh, 2014).

Esta investigación es relevante debido al significado y a lo que representa esta área protegida. La reserva guarda características particulares dentro de su ecosistema como flora o fauna endémica, ecosistemas frágiles o podrían ser lugares de paso de fauna frágil para otro ecosistema; en este contexto surge la necesidad de desarrollar mecanismos que nos ayuden a minimizar los impactos de los incendios forestales dentro del Bosque Protector La Prosperina. (Sánchez, 2015).

El Bosque Protector La Prosperina surgió por iniciativa de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, la cual gestionó los terrenos con el INEFAN declarándola zona protegida mediante resolución 203 inscrita en el registro forestal expedido el 15 de abril de 1994, dentro de la categoría de área de bosques y vegetación protectores. El Bosque en mención se encuentra ubicado al oeste del Ecuador, en la provincia del Guayas, específicamente en la Parroquia rural Chongón y urbana Tarqui del cantón Guayaquil, al noreste limita con el bosque protector La Prosperina Bloque II, al sur con el Bosque Cerro Blanco ampliación lote 2, de las 636 hectáreas

que comprende el campus Gustavo Galindo de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, el Bosque Protector ocupa una superficie de 570 hectáreas aproximadamente, correspondiendo las restantes 120 al área de infraestructura del campus universitario. (Sánchez, 2015).

Sin embargo, este bosque es afectado por 80 incendios forestales promedio al año según estadísticas de la División Técnica Forestal y Ambiental perteneciente al Benemérito Cuerpo de Bomberos de Guayaquil; esto motiva más aún el estudio y posterior desarrollo de mecanismo de prevención y mitigación de incendios forestales en áreas protegidas. (Sánchez, 2015).

Planteamiento del problema

A nivel nacional e internacional los incendios forestales se han ido sumando de a poco a los problemas ambientales que más aquejan a los países, y se prevé que para los próximos años se agravarán más debido a los efectos del cambio climático. Estos se dan en mayor proporción durante la época seca, que es cuando justamente la materia vegetal posee su punto de ignición más bajo.

Esto ha llevado a analizar la situación específica del Bosque Protector La Prosperina – ESPOL, cuyo bosque es de tipo seco tropical (Cañadas, 1983) y debido a esto en la época seca sufre repetidamente los estragos de los incendios forestales.

La problemática de los incendios forestales tiene consecuencias transversales en todos los ámbitos, por lo que surge la necesidad debido a su implícita importancia, de realizar este análisis que tiene como fin evaluar el riesgo de vulnerabilidad de esta área protegida que cumple un papel preponderante en el equilibrio biológico y ecosistémico de la ciudad de Guayaquil y sus alrededores y para tal efecto nos formulamos la siguiente pregunta general de investigación:

¿Hay que entender que los incendios forestales son eventos generadores de daño de índole socio natural, y concebirlos como eventos que se relacionan con los fenómenos sociales? En este contexto se puede entender que las zonas marginadas y empobrecidas son las que tendrán mayor frecuencia de desastres sociales.

Es por estas razones que este estudio trata de zonificar las áreas de riesgo de incendios forestales en el Bosque Protector La Prosperina.

Justificación

Más allá de los efectos inicialmente visibles propios de los incendios forestales en el Bosque Protector La Prosperina, se pueden mencionar varias consecuencias de gran magnitud que en conjunto merman la capacidad y diversidad biológica de dicho ecosistema. Dado la importancia que reviste este Bosque para su protección y conservación, en el ámbito administrativo le han asignado a un grupo de bomberos forestales permanentemente capacitados y equipados para responder emergencias forestales, sin embargo, es mucho lo que falta por implementar con el fin de minimizar las estadísticas de incendios y al mismo tiempo reducir los impactos ambientales e incrementar los servicios ecosistémicos que aporta a la población.

Los incendios que se suscitan en el Bosque Protector afectan además a la comunidad de estudiantes que realizan labores académicas en la Escuela Superior Politécnica del Litoral, por este motivo es imperativo trabajar en los tiempos de respuesta, medidas de prevención y acciones de mitigación eficientes en materia de combate de incendios.

En este sentido se puede mencionar que esta investigación científica es fundamental realizarla debido a la información que aporta al analizar la vulnerabilidad de un ecosistema neurálgico para la ciudad. Dicha información levantada y además los análisis de riesgos de vulnerabilidad se vuelven un factor imprescindible para posteriores investigaciones relativas a diversas áreas del conocimiento que tienen como puntales las ciencias naturales, de incendios o de conservación, sin dejar de nombrar que al determinar las vulnerabilidades de un área, esto se transforma en una herramienta para los entes respondedores y administradores de emergencias, debido a que en fases de prevención y mitigación pueden ser utilizada como mecanismo de reducción de daños.

Objetivo General:

Zonificar las áreas de riesgo y vulnerabilidad de incendios forestales en el Bosque Protector La Prosperina. Guayaquil-Ecuador.

Objetivos específicos:

- Caracterizar y analizar las zonas de amenaza de incendios forestales en el Bosque Protector La Prosperina.
- Evaluar las zonas de vulnerabilidad de incendios forestales del Bosque Protector La Prosperina.
- Evaluar las áreas de riesgo con base al análisis de amenaza y vulnerabilidad.

Hipótesis:

H1.- La zonificación y evaluación de las áreas vulnerables a incendios forestales es un mecanismo de ayuda a los entes respondedores, de control y prevención.

VARIABLES:

Variable independiente: Vulnerabilidades social

Variable dependiente: Incendios Forestales

EL Bosque Protector La Prosperina cuenta con 570 hectáreas, es un bosque natural con un marcado aumento de la cubierta vegetal, posee un microclima ocasionado por la presencia de la Cordillera Chongón Colonche y según la clasificación de climas, éste corresponde al AW Tropical Sabana (Sánchez, 2015)

De acuerdo con datos del Ministerio de Ambiente del Ecuador, la zona del Bosque Protector La Prosperina posee temperaturas tropicales con cambios constantes y predecibles causados en su gran mayoría por la influencia de la corriente del Humboldt. La topografía va de regular a muy irregular, existen pendientes medianas y grandemente pronunciadas. Además, el bosque cuneta con 5 cuencas principales distribuidas en sentido sur-norte, las cuales poseen cabeceras en cotas variables sobre los 100 msnm, que a su vez se unen a una serie de cuencas pequeñas que descargan aportaciones y una extensión de 1000 hectáreas. (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2010)

La cobertura vegetal del Bosque Protector está distribuida de la siguiente manera: 38.3% por bosque ecuatoriano deciduo de tierras bajas, y en un 61.7% por bosque ecuatoriano deciduo en afloramientos calcáreos. (Sánchez, 2015)

I. MARCO TEÓRICO

Marco legal internacional y nacional de los incendios forestales.

FAO: Marco legal para la lucha contra los incendios forestales

Entre los marcos legales internacionales el más sobresaliente es el expuesto por la FAO ya que nuestro país esta adherido a este organismo y nos proporciona materiales vitales para la operatividad de proyectos en base a incendios forestales (FAO, Marcos legales para la lucha contra los incendios forestales: Acuerdos internacionales y legislacion nacional, 2012).

La aplicación de este marco legal trae como beneficios la cooperación entre países en caso de incendios forestales desmesurados, asistencia técnica, información actualizada y asesoría a entes gubernamentales en materia de seguridad y prevención de riesgos. (FAO, Marcos legales para la lucha contra los incendios forestales: Acuerdos internacionales y legislacion nacional, 2012) (FAO, Panorama Mundial: Acuerdos internacionales, 2007) (FAO, Comisión Forestal para América Latina y el Caribe. Vigésima séptima reunión, 2012).

Si tomamos a la prevención como un medio o herramienta para evitar la ocurrencia de los incendios forestales, podríamos compararla con una línea contrafuego creada en un punto estratégico del bosque, ya que la prevención deriva en el ahorro de millones de dólares en daños y en costos de extinción de incendios. (Gratton, 1991) (U.S. FOREST SERVICE, 1989)

De igual manera existen marcos legales nacionales tales como:

Artículo 389 de la Constitución Política del Ecuador:

El estado protegerá a las personas, las colectividades y la naturaleza frente a los efectos negativos de los desastres de origen natural o antrópico mediante la prevención ante el riesgo, la mitigación de desastres, la recuperación y mejoramiento de las condiciones sociales, económicas y ambientales, con el objetivo de minimizar la condición de vulnerabilidad. El sistema nacional descentralizado de gestión de riesgo está compuesto por las unidades de gestión de riesgo de todas las instituciones públicas y privadas en los ámbitos local regional y nacional (Asamblea Constituyente de Montecristi, 2008)

Ley Forestal (2004), según artículo Número 57

El Ministerio de Ambiente prevendrá y controlará los incendios forestales, plagas, enfermedades y riesgos en general que puedan afectar a los bosques y vegetación natural (Poder Legislativo del Ecuador, 2004)

Ley Forestal (2004), según artículo Numero 59

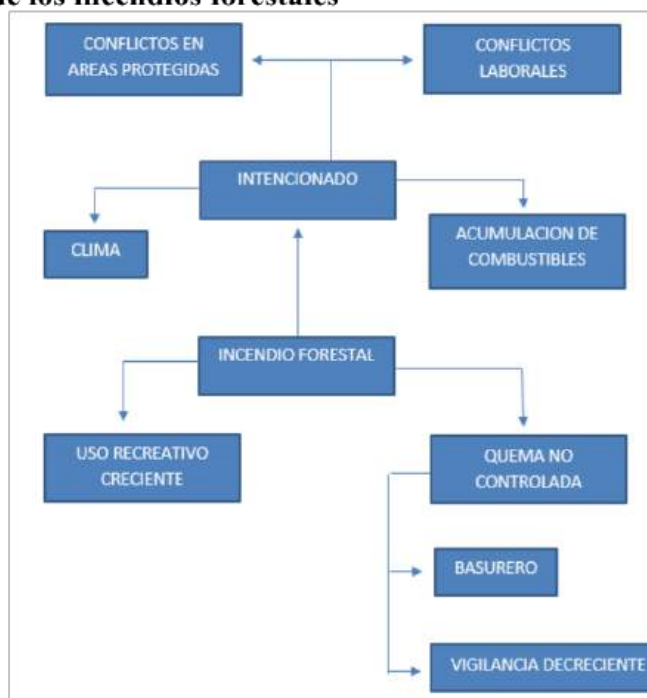
Los propietarios de bosques, los contratistas de aprovechamiento forestal y, en general, los poseedores administradores y tenedores de bosques, están obligados a adoptar las medidas necesarias para prevenir o controlar los incendios o flagelos, plagas, enfermedades y perjuicios a los recursos forestales (Poder Legislativo del Ecuador, 2004)

Disposición 0621 Ministerio de Bienestar Social; Artículo 242

Toda persona, institución pública o privada que sea propietaria, arrendatario u ocupante de cualquier tipo de predios boscosos, baldíos o áreas densamente arboladas, están obligados a

la adopción de las medidas de prevención de incendios forestales y evitar los riesgos de exposición, en caso de cercanía a edificaciones (Ministerio de Bienestar Social, 2007)

Figura 1. Causas de los incendios forestales



Nota: La figura señala la ruta de los incendios forestales. Fuente: Manual de Prevención de incendios (Vélez, 1987)

Acorde a lo mencionado anteriormente podríamos decir que la prevención sería el conjunto de actividades que tienen por objeto reducir o anular la probabilidad de que se inicie un fuego, así como limitar sus efectos, si se produce.

En la figura 1, se puede apreciar un modelo general relacional de las causas de los incendios forestales.

La prevención podría abarcar ciertas actividades dentro del Bosque Protector La Prosperina y dentro del Campus de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, estas actividades serían: (CEMAGREF, 1990)

- Acción policial o judicial.
- Predicción y alarma meteorológica.
- Silvicultura preventiva.
- Educación, sensibilización e información ambiental.
- Fomento del empleo permanente en defensa forestal.
- Programa de quemas controladas.
- Vigilancia disuasoria y control de accesos a montes.

Las causas netamente antropogénicas tienen medidas de prevención y disuasión que al emplearse podrían influir en el accionar de las personas que son potenciales causales de la ocurrencia de los incendios forestales, Las medidas podrían ser tanto de persuasión, conciliación y sanción. (Consejería de Medio Ambiente, 1999)

Siendo las causales antropogénicas las principales causales de los incendios forestales, podríamos concluir en que el riesgo de los fuegos en los bosques implica en gran parte el nivel de actividad de los agentes causantes del fuego, debido a esto el principal pilar en el que hay que trabajar dentro del Bosque Protector La Prosperina sería en la modificación del comportamiento humano para que no utilicen el fuego de manera tal que pueda ser un punto de inicio para un incendio forestal. (Cote & Bugbee, 1993)

La modificación del comportamiento o actitud de las personas que influyen dentro del área protegida podría ser modificada basándonos en tres aristas: (Instituto para la conservación de la naturaleza, 1981)

- La persuasión de las personas se podría lograr mediante clases de educación ambiental y difusión de información para lograr la concientización.

- La conciliación de los intereses de todos los actores inmersos en la problemática referente a los incendios forestales mediante legislación, políticas y normativas con el fin de eliminar los conflictos.

- Las respectivas sanciones de los infractores, incluyendo a negligentes como a incendiarios.

Incendios forestales

Específicamente, en la región costa, podemos tomar como ejemplo el Bosque Protector La Prosperina, que pertenece a la clasificación de Bosque Siempre Verde Pie Montano, Bosque Semideciduo de tierras bajas y Bosque Semideciduo Piemontano y posee una fauna diversa que podremos observar con más detalle en la Línea Base de Fauna recabada (Sierra, 1999). La fauna del Bosque Protector La Prosperina según el plan de manejo de este, es la que se puede encontrar en un Bosque Siempre Verde Pie Montano, Bosque Semideciduo de Tierras Bajas y Bosque Semideciduo Piemontano, esto incluiría: aves, reptiles, anfibios, roedores, etc.

De acuerdo con la línea base del Bosque Protector La Prosperina, éste posee alrededor de 18 especies de mamíferos, 10 especies entre reptiles y anfibios y aproximadamente 100 aves registradas hasta el momento, ciertas de estas especies se encuentran clasificadas como vulnerables o en estado crítico debido a ciertos factores como son la destrucción de sus hábitats por motivos antropogénicos o naturales y la cacería indiscriminada.

De acuerdo a Quinteros et.al. Señalan que la flora encierra todos los tipos de vegetación que se encuentran en una zona específica. Esto nos ayuda a comprender mejor las condiciones y características de una zona en particular, la flora que podemos encontrar en el Bosque Protector “La Prosperina” pertenece a varias familias y estas también están sujetas a las variaciones estacionales que se presentan en la zona (Quinteros, Ramos, & Rodríguez, 2010) (Cañadas, 1983).

Conceptos y definiciones de incendios forestales

La Pirología Forestal es la encargada de estudiar los fuegos de los bosques y sus patrones, además de detallar claramente las características de cada tipo de incendio forestal y estudiar cuales son los factores que influyen en la ocurrencia de estos fenómenos adversos (Andreae, 1991).

Los incendios forestales variaran su definición de acuerdo con el país o localidad donde nos encontremos ya que cada uno tendrá sus políticas o normativas, pero en conclusión los incendios forestales son fenómenos adversos o no deseados que afectan a zonas de vegetación ya que no cuenta con control humano (Levine, Bobbe, Ray, Witt, & Singh, 1999).

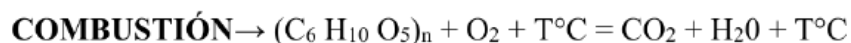
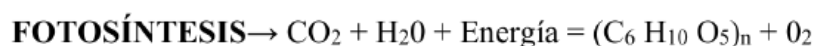
Combustión: La combustión es un proceso químico que tiene como resultado el desprendimiento de luz y calor en el cual se ven inmersos varios elementos. (NFPA, 2008) La reacción química principal que se da dentro de la combustión es la oxidación, las oxidaciones pueden ser lentas y rápidas, pero en el caso de las oxidaciones producto del fuego son oxidaciones rápidas donde el oxígeno se mezcla con cualquier combustible. (NFPA, 2008).

Entiéndase que combustible es todo material o sustancia que nos rodea, la única diferencia radica en las diferentes temperaturas de ignición de cada material. En conclusión, todo elemento, producto o material existente es combustible ya que todo en algún momento podría alcanzar su temperatura necesaria de ignición. (Rohsenow, Hartnett, & Cho, 1998).

En términos biológicos el fuego sería la liberación de la energía almacenada en el material vegetal a través de la fotosíntesis, el proceso de la fotosíntesis tiene como fin la elaboración

de celulosa y demás hidratos de carbono mediante la interacción de dióxido carbónico, agua y energía solar. (Levine, Bobbe, Ray, Witt, & Singh, 1999) (Rohsenow, Hartnett, & Cho, 1998)

Tanto la fotosíntesis y la combustión las podemos representar mediante fórmulas y de esta manera darnos cuenta de que la combustión se basa en la inversa de la fórmula de la fotosíntesis (Levine, Bobbe, Ray, Witt, & Singh, 1999) (NFPA, 2008), mismas que a continuación se desarrollan:



La combustión específica en incendios forestales varía en ciertos aspectos con las combustiones en distintos escenarios referentes a incendios, ya que, en los bosques, o zonas de vegetación, los materiales combustibles disponibles son distintos y con propiedades físico-biológicas diferentes. (Rohsenow, Hartnett, & Cho, 1998).

Teniendo claro que toda combustión es una oxidación rápida que se lleva a cabo a altas temperaturas, podríamos adicionar ciertos procesos específicos que se dan exclusivamente en zonas de vegetación. De esta manera podríamos mencionar que un proceso de combustión podría consistir en diversas fases: (Rohsenow, Hartnett, & Cho, 1998) (Lourizán, 2000) (Porrero, Incendios Forestales - Investigación de causas, 2001).

Pre calentamiento: Se da básicamente cuando la fuente de ignición lleva a cabo un alza de temperatura del material combustible hasta los 100 ° C

Combustión de los gases: En esta fase la temperatura de los materiales contaminados podría encontrarse entre los 300 y 400 °C y se manifiesta un estado de gasificación de los componentes

Fase Solida: Observamos que la madera envuelta en fuego arde con llama limpia de color azul y no se manifiesta gran emanación de gases de carbono, y los residuos finales son cenizas.

Cabe recalcar que en la fase de combustión de gases se alcanzan temperaturas elevadas que derivan en que aun retirando la fuente de ignición el fuego continúe, debido a que la reacción química en cadena se encuentra autosostenida. (Porrero, Incendios Forestales - Investigación de causas, 2001)

Estados de un Incendio Forestal (Levine, Bobbe, Ray, Witt, & Singh, 1999):

1.- Fuera de control: Se da cuando el fuego se propaga libremente a través de la vegetación sin ningún impedimento, o cuando se da en varios sectores y hasta el momento los entes de respuesta no han podido controlarlo

2.- Contenido: Esta fase puede ser fruto de los trabajos de los entes de respuesta o bien por algún factor ambiental, sin embargo, a pesar de estar contenido el incendio puede volver a su fase de fuera de control.

3.-Circunscripto: Al igual que el anterior estado, se podría volver al estado de fuera de control con la única diferencia de que en este estado el incendio se encuentra cercado en la totalidad de su perímetro.

4.- Controlado: Este último estado implica la contención completa en los alrededores con imposibilidad de que el fuego siga propagándose hacia zonas aledañas, esto derivado de que la línea de control o corta fuego ha quedado definitivamente marcada.

5.- Extinguido: El incendio como tal ha dejado de existir, únicamente faltaría neutralizar algunos focos de mínima importancia dentro de la zona cercada anteriormente.

Partes principales de un incendio Forestal

Durante el proceso de un incendio forestal, éste no se da siempre de una forma regular, sino que adopta formas de acuerdo con variantes como topografía, condiciones meteorológicas y tipos de combustibles involucrados. Según (Sierra, 1999), generalmente se puede identificar las siguientes partes dentro de un incendio forestal:

Cabeza: Es la zona del incendio que por lo general se propaga con mayor rapidez debido a la acción del viento o mayor cantidad de combustible disponible, determinando así su dirección de propagación.

Cola: Ubicándose en contraposición a la cabeza por lo general y también identificada como la parte del incendio que avanza con menor rapidez

Flancos: Los flancos representan los costados del incendio y para definirlos como derecho o izquierdo tiene que ser viendo en sentido desde la cola hacia la cabeza del incendio.

Perímetro: Es la longitud total que abarca el incendio forestal

Dedos: Zonas alargadas y angostas provenientes del incendio central

Bahías: Entrantes o zonas no quemadas entre dedos

Islas: Zonas que no han sido contaminadas por el fuego en el interior del incendio.

Focos secundarios: Zonas de incendio menores ubicadas fuera del perímetro del incendio principal.

Tipos de incendios forestales

Para poder clasificar los tipos de incendios forestales se podrían tomar en consideración varios aspectos como los topográficos, combustibles o magnitud de los incendios, sin embargo la clasificación más representativa se da por su ubicación y por donde se propagan, de acuerdo con esto los incendios forestales se clasifican en: (García, Jonás y el Bosque desaparecido, 1997) (J. Levine, 1999) (naturaleza, 2010):

Incendios de superficie: La características más común de este tipo de incendios es que contamina tanto combustibles vivos o muertos ya que se propaga horizontalmente a través del bosque, alcanzando como límite máximo un altura de 1.5 metros

Además es bien conocido que este tipo de incendios es la causa de los demás tipos de incendios forestales, ya que la mayoría de los incendios inician dentro de esta clasificación. (Porrero, Incendios forestales - Investigación de causas, 2001)

Incendios de copas: Siendo los más difíciles de combatir, este tipo de incendios forestales se distingue debido a que se propaga por las partes altas de los arboles llamadas copas, contaminando de esta manera las masas arboladas ubicadas a más de 1.5 metros de altura; La propagación de estos fuegos es mayor debido a que a mayor altura el viento soplara con mayor fuerza que en comparación con los incendios de superficie. (Porrero, Incendios Forestales - Investigación de causas, 2001)

Incendios de subsuelo: Estos tipos de incendios son los que se producen en menor proporción en comparación con los 2 anteriores, como características básicas de este tipo de fuego podríamos mencionar que tienen un mínimo desprendimiento de humo, su material combustible involucrado es material seco como raíces o turbas y su localización al igual que su combate es complejo. (Porrero, Incendios forestales - Investigación de causas, 2001)

En el Bosque Protector La Prosperina la incidencia de incendios forestales se da en mayor porcentaje como incendios forestales superficiales a causa de la acumulación de material vegetal durante la época seca, sin embargo como se mencionó anteriormente los demás tipos de incendios se producen como derivación de un incendio superficial, el mismo que luego de propagarse tiene como consecuencia el desencadenamiento de incendios de copas, los cuales con el viento como condición agravante avanzan con mayor velocidad. (A. Cote, 1993)

Causas de Incendios Forestales: (Incendios Forestales - Investigación de causas) (ICONA, 1981)

En las zonas del Bosque Protector La Prosperina los incendios forestales en su mayoría se deben a causas antropogénicas, seguidas por las altas temperaturas en conjunto con desechos arrojados en zonas de vegetación. A continuación, se detallarán las principales causas de estos siniestros.

Negligencias: Los incendios forestales debido a negligencias se dan por quemas mal llamadas controladas de maleza o desechos, que cuando no se tiene la precaución necesaria que indudablemente es en la mayoría de los casos, producen fuegos inicialmente controlables, pero luego de varios minutos desencadenan incendios que solo podrían combatir los entes de respuesta competentes.

Además de las quemas de maleza y desechos podemos contemplar los cigarros arrojados por personas dentro de zonas con vegetación y fogatas no extinguidas en zonas boscosas.

Naturales: Dentro de las causas naturales encontramos las altas temperaturas del ecosistema y el estado de la vegetación, esta última ocasionando un alto grado de inflamabilidad y combustibilidad.

Cabe mencionar que los factores propios del ecosistema influyen directamente sobre el comportamiento y propagación de los incendios.

Incendios relevantes:

Con cifras actualizadas al 2017, la Secretaría de Gestión de Riesgos da a conocer que la extensión afectada por los incendios forestales en territorio ecuatoriano es equivalente a tres veces la superficie de Guayaquil, esto quiere decir aproximadamente 100 mil hectáreas en alrededor de 2700 eventos generadores de daño. (Comercio, 2017)

Bosque La Prosperina: 1/11/2016

Durante 12 horas los miembros de la Casaca Roja lucharon con las llamas que se extendían alrededor del área protegida de Cerro Azul, ubicado en el sector de la Vía Perimetral. Consta en el informe final del Cuerpo de Bomberos de Guayaquil que se vieron afectadas alrededor de 86 hectáreas, las labores de extinción se realizaron tanto de manera terrestre como aérea con ayuda de helicópteros.

Monte Sinaí: 7/10/2020

Ese 7 de octubre del 2020, cuando dueños de ciertas fincas reportaron un incendio en vegetación cercana al sector de Monte Sinaí. El incendio arrasó criaderos de pollos y chanchos mientras que los colaboradores del Cuerpo de Bomberos de Guayaquil batallaban con las llamas, al finalizar las labores de extinción se informó que alrededor de 15 hectáreas se vieron consumidas en su totalidad por las llamas dejando ciertas infraestructuras perjudicadas. (Universo, El Universo, 2020)

Cerro Colorado: 21/09/2021

Era de noche y la oscuridad se veía alumbrada por las llamas que consumían el Cerro Colorado, junto a la Autopista Narcisca de Jesús. Al sitio acudieron miembros del Cuerpo de Bomberos de Guayaquil los cuales junto a varias unidades de combate pudieron extinguir las llamas luego de 5 horas de arduo trabajo. (Universo, El Universo, 2021)

Estos 3 incendios en los últimos 5 años son solo algunos de los muchos eventos que se dan dentro de áreas protegidas en la costa ecuatoriana, es precisamente por este motivo que se vuelve fundamental estudiar e implementar acciones de control en dichas áreas protegidas con el fin de precautelar la integridad de dichos ecosistemas.

Medio ambiente y teoría de sistemas

Los incendios forestales afectan en su gran mayoría grandes extensiones de bosque o áreas protegidas alrededor del mundo, en este contexto se puede decir que el medio ambiente se ve afectado directa e indirectamente. Al mismo tiempo se ven inmersos aspectos sociales que influyen en la materialización de los incendios, lo que nos lleva a concluir que existen un sin

número de factores y disciplinas que interactúan antes, durante y después de los incendios forestales.

Este estudio de investigación científica es abordado desde las líneas de investigación de la Escuela Nacional de Protección Civil Campus Chiapas, Gestión del Riesgo, así como desde la perspectiva de la teoría de sistemas. Esta teoría fue descrita inicialmente por Ludwig von Bertalanffy, quien en 1928 propuso su teoría general de sistemas. El proponía que la comprensión de los sistemas se puede dar ocurre cuando se estudian en conjunto las interdependencias de sus partes individuales. (Arnold-Cathalifaud & Osorio, 1998). Existen dos enfoques. El enfoque reduccionista: Divide el objeto de estudio en sus elementos y los estudia por separado. podríamos definir que para este estudio en particular, de los incendios forestales se desarrolló bajo un **enfoque holístico** y en cuanto al tipo de sistema, sería un sistema abierto, ya que se dan múltiples cambios de energía en los distintos escenarios donde se suscitan los incendios forestales.

Desde el punto de vista de la teoría de los sistemas de Ludwig, se podría decir que el ecosistema donde se suscitan los eventos generadores de daño, en este caso los incendios forestales, guardan estrechas relaciones entre sí, de que cada una de sus partes se encuentran íntimamente relacionadas y además que dentro de cada sistema yace otro sistema. La teoría de sistemas como tal tiene 2 enfoques de investigación, sin embargo, nuestro tema de estudio per sé se encasilla donde las distinciones conceptuales de concentran en los procesos de frontera (sistema/ambiente) (Arnold-Cathalifaud & Osorio, 1998).

En este sentido y siendo más específicos ambientalmente hablando, podríamos concluir en que ciertos sucesos y condiciones influyen sobre el comportamiento de un sistema y que jamás un sistema podrá igualarse con el ambiente y además seguir conservando sus condiciones

iniciales, lo que a su vez reduce la capacidad de reacción frente a agentes de cambio externos (Arnold-Cathalifaud & Osorio, 1998).

Los objetivos de esta investigación fueron alcanzados en su totalidad ya que producto de la investigación se pudieron caracterizar las zonas de amenaza dentro del área protegida, además de evaluar y analizar la vulnerabilidad de las zonas en mención usando varios mecanismos de estudio, finalmente se pudo lograr definir los porcentajes de vulnerabilidad y amenaza de las zonas dentro del Bosque Protector con el fin de dirigir los esfuerzos, recursos, etc. a las zonas que más lo ameriten.

Se comprueba que efectivamente existen áreas más vulnerables y con mayor probabilidad de ocurrencia de incendios forestales dentro del área del Bosque Protector La Prosperina, debido a factores propios del bosque y factores antrópicos, sociales.

II. METODOLOGÍA:

El estudio del Bosque de la Prosperina es interdisciplinar y en cuyo enfoque se aplicó una visión holística para poder estudiar todas las interrelaciones (sistemas abiertos) acciones entre sus componentes y las posibles repercusiones, en caso de alterarse alguno de ellos. El estudio en mención abarcó etapas de caracterización del área de los fuegos o incendios forestales, período de análisis, selección de datos, análisis multicriterio y la elección de las variables para poder determinar la amenaza y la vulnerabilidad. Así también, se realizó un análisis Multicriterio, el cual establece un índice que determina un criterio para cada variable mediante una función de utilidad ordinal, una integración ponderada de los criterios en un valor escalar del riesgo y la determinación de tipos de riesgo en el territorio.

El área de estudio abarca las 570 hectáreas de bosque secundario semideciduo perteneciente al Bosque Protector La Prosperina, ubicado en la cordillera Chongón Colonche y cuenta con zonas que sobrepasan los 300 metros sobre el nivel del mar, la zona de estudio cuenta con un microclima húmedo en las partes altas y seco en la parte baja del bosque, de esta manera albergando un gran número de especies. Posee algunas características físico-ambientales que se detallarán a continuación en la tabla 1.

Tabla 1. Parámetros físicos del Bosque Protector La Prosperina

Parámetro	Mínima	Máxima	Media
Temperatura	24.40°C	25.29°C	25.04°C
Precipitación	879 mm	1028 mm	149 mm
Pendiente	5.61%	28.97%	13.67%
Altura	118.2 msnm	421.8 msnm	225.36 msnm

Nota: Datos tomados del (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2010)

Dentro de las 690 hectáreas que abarca el Campus Gustavo Galindo (figura 2), 120 hectáreas pertenecen a la Escuela Superior Politécnica del Litoral, universidad guayaquileña que alberga a miles de estudiantes de diversas carreras.

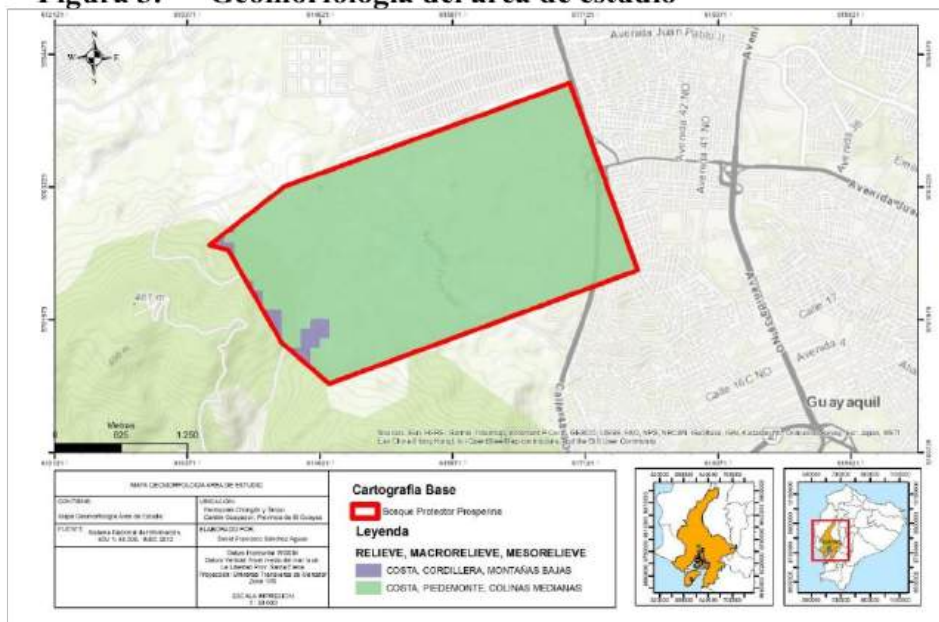
El área de estudio (Figura 2) posee un microclima derivado de la actividad de la cordillera Chongón Colonche y según la clasificación Koppen, el clima está clasificado como AW Tropical Sabana, promedio de temperatura anual de 25,5 grados centígrados. (Sánchez, 2015)

Figura 2. Área de Estudio (Bosque Protector Prosperina)



Nota. La figura muestra el área que ocupa el bosque la Prosperina. Fuente: Sistema Nacional de Información. Elaboración propia

Figura 3. Geomorfología del área de estudio



Nota. La figura muestra la geomorfología del bosque. Fuente: Sistema Nacional de Información. Elaboración propia.

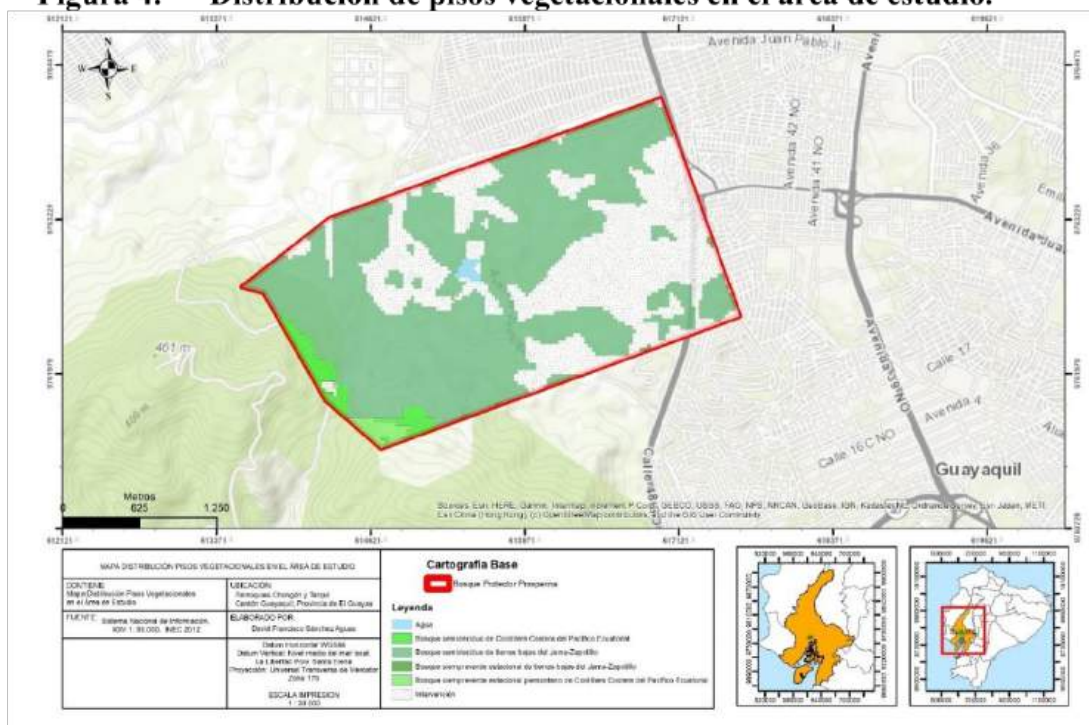
En la figura 3 podemos ver la distribución de las Unidades Geomorfológicas, siendo el relieve Costa, macro relieve Piedemonte y meso relieve Colinas medianas la que predomina en un 90% en el área de estudio del Bosque protector Prosperina. En los límites con el bosque protector cerro blanco hay una parte que correspondería al 10 % restante donde se identifica el relieve costa, macro relieve cordillera y meso relieve montañas bajas

En cuanto a los pisos vegetacionales que se encuentran dentro del área de estudio, según la información cartográfica proporcionada por el Ministerio del Ambiente, se describe lo siguiente:

- Bosque semidecíduo de tierras bajas del Jama-Zapotillo
- Bosque siempreverde estacional de tierras bajas del Jama-Zapotillo
- Bosque siempreverde estacional piemontano de Cordillera Costera del Pacífico Ecuatorial
- Bosque semidecíduo de Cordillera Costera del Pacífico Ecuatorial

Además, el suelo en su mayor proporción es de origen residual y transportado bajo procesos de meteorización, erosión y sedimentación, en algunos puntos llega a espesores de 1 metro, mientras que en algunas zonas las facies lutílicas supera el metro de espesor (figura 4). Posee 5 quebradas principales inventariadas como recursos hídricos dentro del área protegida. (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2010).

Figura 4. Distribución de pisos vegetacionales en el área de estudio.



Nota. La figura señala la distribución de pisos vegetacionales del bosque. Fuente: Sistema nacional de información. Elaboración propia

El área protegida y de estudio posee una extensa flora y fauna actualmente inventariada y estudiada por una fundación establecida hace varios años producto de la interacción de la academia con el sector privado. Existen alrededor de 180 especies endémicas y una fauna extremadamente rica, la cual incluye al jaguar, animal representativo de la costa, venado cola blanca, saínos, osos hormigueros, monos aulladores, ardillas, ranas y en cuanto a flora el bosque posee árboles maderables, plantas medicinales y comestibles (ceibos, guayacán, palosanto, pechiche, algarrobo, Fernan Sánchez (*Triplaris quayaquilensis.*), Bototillo (*Cochlospermum viti-folium*), neem) (Universo, El Universo, 2016)

Período de análisis

El período de abarca el estudio en mención abarca desde el año 2013 hasta el 2020

Selección de datos

Todas las variables que se tomarán en cuenta serán seleccionadas en base a los criterios, según (Franco, 2011):

Datos actualizados: datos e información reciente que permita el análisis pertinente durante el período de estudio en el área de estudio.

Datos espaciales: Poder contar con datos e información que posibilite el análisis espacial dentro del área de estudio.

Datos evaluables: Cada variable deberá poder ser evaluada y clasificada.

Datos representativos: Cada variable deberá relacionarse con el planteamiento del problema.

Se definirán subvariables independientes que guardarán relación con el análisis multicriterio, dichas subvariables deben ser representativas de las variables de amenaza y vulnerabilidad con el fin de vincularlos con el riesgo de incendios forestales de tal manera que sea posible la representación espacial de estos. (Del Hoyo, 2008).

Como método de representación de datos se empleará el modelo ráster, el cual es un método de representación discreta donde los objetos son representados por valores y posiciones definidas dentro del espacio. El método ráster corresponde a una imagen cualquiera sea su formato, la cual está formada por datos en una matriz de cuadrados de igual tamaño dispuestos en filas y columnas, donde la unidad fundamental es el píxel.

Al trabajar con el modelo ráster se tuvo que definir rangos altos, medios y bajos de manera numérica, de tal manera que: alto=3, medio=2, bajo=1. Dichos rangos se asignan según

(Ubilla-Bravo, 2013), en donde se evaluó la predisposición teórica a ser condicionante o a generar una mayor susceptibilidad frente a un proceso natural o antrópico que derive en una amenaza, de tal manera que entre más alto sea el rango mayor es la probabilidad de ocurrencia en función de las variables que generan una mayor susceptibilidad. (Alegría, 2020)

Referente a la evaluación de riesgo ante incendios forestales utilizando la técnica multicriterio, cabe añadir que consiste en poder seleccionar las variables en base a una previa revisión bibliográfica y de este modo reproducir un modelo ponderado en SIG (Sistema de información geográfica). (Peralta, 2010).

Análisis Multicriterio (AMC)

A partir del análisis multicriterio se pueden tomar decisiones, ya que compara alternativas desde varios puntos de vista, criterios y objetos en conflicto. Al integrar el sistema de información geográfica y el análisis multicriterio se simplifica la interpretación de la información de carácter espacial, de tal manera que se puedan elaborar las bases de datos con base en las características del territorio. (Esse, 2014).

Esta metodología en mención nos resulta totalmente eficaz debido a las bondades de esta, ya que nos permite identificar las zonas de amenaza.

El método empleado en el estudio es el de comparación de Pairwise o Pares de Saaty, el cual emplea la comparación uno a uno entre cada indicador. Dichos juicios nos permiten asignar pesos relativos a los indicadores y de esta manera analizar la consistencia entre las respuestas. (Alegría, 2020). Se logra conformar una matriz con los factores a comparar en sus filas y columnas, luego se procede a establecer el peso de cada factor como medida cuantitativa de la

consistencia de los juicios de valor entre pares de factores. (Alegría, 2020). Podemos apreciar esto en la tabla 2

Tabla 2. Escala de comparación entre pares de Saaty 1980

<u>1/9</u>	<u>1/7</u>	<u>1/5</u>	<u>1/3</u>	<u>1</u>		<u>3</u>	<u>5</u>	<u>7</u>	<u>9</u>
Extremadamente	Muy fuerte-mente	Fuerte-mente	Moderadamente	Igual de importante		Moderadamente	Fuertemente	Muy fuerte-mente	Extremadamente
Menos importante						Más importante			

Fuente: (Ubilla-Bravo, 2013).

La escala que representa la intensidad de los juicios de valor es detallada en la tabla 3, identificando de esta manera la escala numérica con la respectiva escala verbal y leyenda:

Tabla 3. Intensidad de los juicios para la matriz

Escala numérica	Escala verbal	Explicación
1	Igual importancia	Los dos elementos contribuyen igualmente a la propiedad o criterio
3	Moderadamente más importante un elemento que el otro	El juicio y la experiencia previa favorecen a un elemento frente al otro
5	Fuertemente más importante un elemento que el otro	El juicio y la experiencia previa favorecen fuertemente a un elemento frente al otro
7	Mucho más fuerte la importancia de un elemento que la del otro	Un elemento domina fuertemente. Su dominación está probada en práctica
9	Importancia extrema de un elemento frente al otro	Un elemento domina al otro con el mayor orden de magnitud posible.

Fuente: (Moreno, 2002)

Al momento de jerarquizar los factores o subvariables que definen la amenaza y la vulnerabilidad, la información es espacializada a través de sistemas de información geográfica, de tal manera que se logra definir las áreas de riesgo en el Bosque Protector La Prosperina.

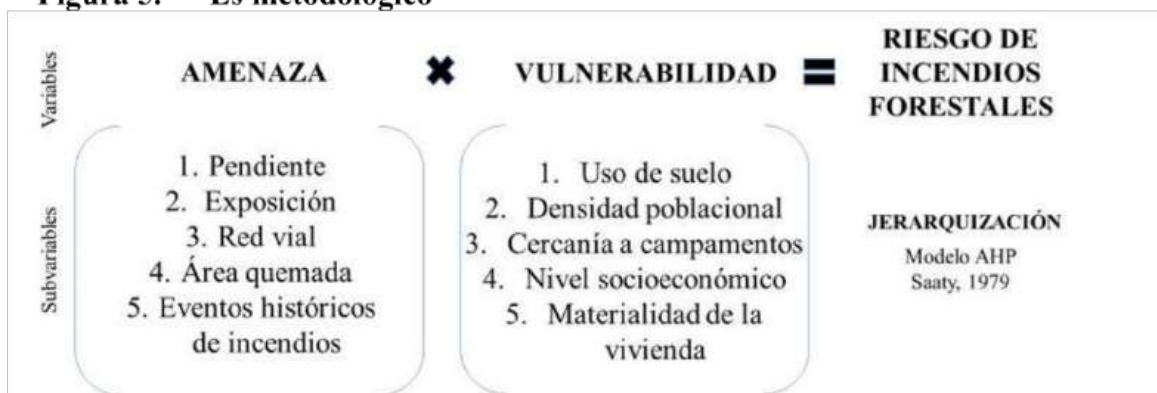
Metodología de evaluación de riesgo de incendios forestales

Dentro de esta investigación, se generó un mapeo de riesgo de incendios forestales en el área del Bosque Protector La Prosperina, en este contexto se puede concluir que esta investigación tiene como producto el mapa de riesgo de incendios forestales y su posterior análisis.

Como punto de partida en estudio se interrelacionaron variables de amenaza y vulnerabilidad ante incendios forestales, siendo conocedores que el riesgo nace de la convergencia de variables socio-territoriales y una amalgama de aspectos que en sinergia influyen en la materialización del evento generador de daño.

Durante la elaboración de las cartas de variables de amenaza y vulnerabilidad se procedieron a emplear reclasificaciones y escalas utilizadas en otras investigaciones donde se emplean metodologías multicriterio. Se realizó un análisis de consistencia, donde los valores no deben superar el 0,1 y acercándose al ideal de 0,05 (Eastman, 2006), todo esto relacionado a la aplicación del método de filtros que se aplica a los pesos obtenidos para cada factor, con el fin de evitar un contraste sin lógica entre los pares. (Alegría, 2020). Este esquema se lo puede apreciar en la figura 5.

Figura 5. Es metodológico



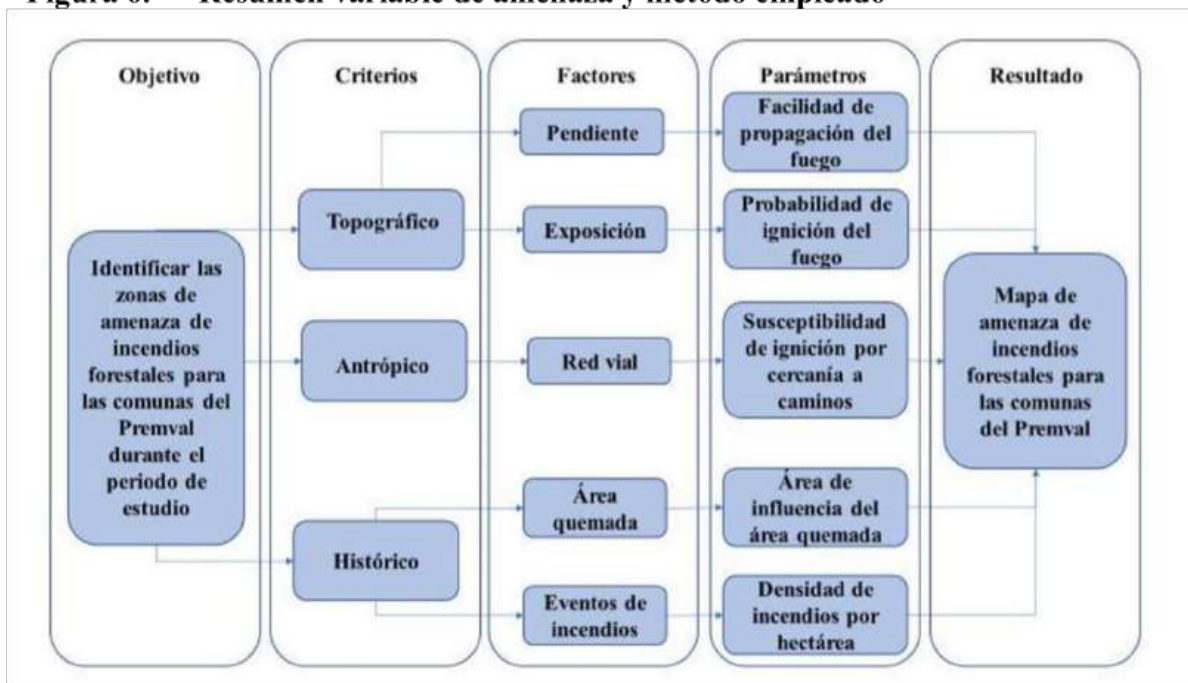
Fuente: (Alegría, 2020)

Una vez que se logra procesar los datos obtenidos del territorio, se proceden a reclasificar los valores de cada subvariable con el fin de obtener el cruce de amenazas y vulnerabilidades, dándonos así los mapas de amenazas y vulnerabilidades para posteriormente obtener el mapa de riesgo y de esta manera delimitar las áreas de riesgo en el mapa desde un punto de vista espacial.

Identificación de zonas de amenaza

De manera general, las amenazas dan a notar la combinación de áreas ambientales donde existe el peligro y el individuo no puede controlar. La evaluación de la amenaza implica la ponderación y categorización de subvariables o diferentes factores que influyen en la probabilidad de que un incendio forestal se materialice. En la figura 6 podremos observar la evaluación de cada variable de amenaza y sus respectivos componentes y los criterios de los que surgen los factores o subvariables.

Figura 6. Resumen variable de amenaza y método empleado



Fuente: (Alegría, 2020)

Pendiente:

La pendiente es considerada por muchos uno de los factores más importantes dentro de la propagación del fuego, ya que se sabe que al aumentar la pendiente aumenta la facilidad en la que el fuego se propaga por el área. (Abarca, 2005). Más allá de la velocidad de la propagación, existen otros aspectos en los que la pendiente influye de manera directa, tal es el caso de las formas de transmisión de la energía, esto debido a que, en las zonas con pendientes altas, la convección y la radiación son mucho más eficientes, además favorece la continuidad y la disponibilidad de material combustible tanto horizontal como vertical, se calcula que el factor pendiente resulta que la propagación del incendio sea 20 veces mayor. (Andreae, 1991).

La pendiente también puede crear varios escenarios dependiendo de su grado. Si la pendiente es abrupta y la propagación es vertical esto acelera exponencialmente el secado de los materiales combustibles mediante radiación o convección al subir el aire caliente, mientras que si el fuego avanza pendiente abajo la velocidad disminuye sin embargo es muy probable que esto genere caída de materiales inflamados y provoque nuevos focos en el área. (Ramos Rodríguez, 2010).

A través de plataformas de Sistemas de Información geográfica se obtuvieron los valores de pendientes y exposición solar para el área de estudio e influencia, dichos valores obtenidos fueron derivados en porcentajes. En la tabla 4 se puede observar los rangos que son considerados para la posterior reclasificación de la pendiente en porcentaje. Las pendientes bajas ubicadas en las planicies y hasta un 30% de elevación son consideradas bajas, entre 30% y 60% son consideradas medias y más de 60% con consideradas altas.

En la tabla 4 se puede apreciar la Facilidad de propagación de incendios forestales dependiendo de la pendiente.

Tabla 4. Facilidad de propagación de incendios forestales

Rango de pendientes	
Pendientes %	Rangos
0-50	Baja
50-70	Media
+70	Alta

Fuente: (Ubilla-Bravo, 2013)

Exposición:

La exposición básicamente se refiere a la posición de las laderas referente al ángulo de incidencia de los rayos solares. La importancia de la exposición de las laderas es tal debido a que incide directamente en la temperatura y húmedas relativa, por ende, la vegetación o material combustible tiene menor contenido de agua y mayor temperatura, mientras que la vegetación ubicada en umbría posee menor temperatura y mayor humedad. (A. Cote, 1993).

Uno de los factores primordiales en los bosques o áreas protegidas son los microclimas, y estos son generados por la configuración geográfica y las pendientes. Al mismo tiempo los microclimas influyen en los regímenes de vientos, los cuales son factores imperativos en el desenvolvimiento de los incendios forestales.

La materia vegetal o combustible posee un comportamiento directamente influenciado por los rayos del sol. Por esto se puede concluir que la vegetación ubicada en la cara norte tiene una alta temperatura y a su vez una tasa de humedad menor debido a la poca cantidad de agua que posee el suelo, mientras que la vegetación ubicada en la cara sur la cual tiene una orientación indirecta del sol es más abundante y con mayor contenido de humedad, sin embargo todo esto cambia en periodos de sequía, la cual invierte el comportamiento de la materia vegetal aumentando de manera proporcional el riesgo a incendio forestales. (Ramos Rodríguez, 2010).

La exposición solar influye directamente con la orientación de las corrientes, el contenido de humedad y el nivel de rayos solares recibidos por la materia vegetal, en este contexto se puede determinar que las zonas con mayor recepción de rayos solares tienen mayor probabilidad

de ignición. Se resumiría de la siguiente manera: mucha probabilidad de ignición con alta exposición de solana, luego con media probabilidad semi-solana y semi-umbría y finalmente con baja umbría.

Tabla 5. Probabilidad de ignición de incendios forestales por exposición solar

Ignición de incendios forestales	
Plano 0°	Alta
Solana (270° a 45°)	Alta
Semi-solana (225° a 270°)	Media
Semi-umbría (45° a 90°)	Media
Umbría (90° a 225°)	Baja

Fuente: (Ubilla-Bravo, 2013)

Según (Abarca, 2005) y (Ubilla-Bravo, 2013) se definió que una exposición de solana y plano representan una alta probabilidad de ignición, semi-solana y semi-umbría una media y umbría baja. En la tabla 5 se podrá observar el resumen de los rangos con los valores expresados en grados centígrados de Probabilidad de ignición de incendios forestales a exposición solar.

Red vial:

Sin duda algunas los caminos o redes viales, sean estas estatales, cantonales o de segundo orden más conocidas en nuestro país son de gran relevancia para el transporte y la comunicación entre sectores con el fin de intercambiar bienes o servicios, lograr tomar contacto con otras comunidades o por simple movilidad, en relación a esto también se puede entender que al existir

una vía existirá de igual manera la presencia de individuos y por ende actividades antrópicas las cuales generan escenarios de riesgo y vulnerabilidad en las zonas de influencia y en este caso en particular en el área de estudio. Según (Martínez, 2004) la actividad humana es un factor para tomar en consideración en el estudio de incendios forestales, lo cual técnicamente es conocido como *Riesgo humano de ignición*, dicho riesgo es proporcional a la probabilidad de ocurrencia de incendio como derivación de actividades humanas. De esta manera se puede explicar que la sola presencia de caminos, vías, etc. genera una relación significativa con la ocurrencia de incendios.

En la tabla 6, se apreciarán los criterios de reclasificación de los principales caminos del Bosque Protector La Prosperina, donde podemos distinguir el tipo de autopista, caminos pavimentados, vías, senderos o huellas. Los rangos de amenaza se definieron por cada área de influencia de cada tipo de camino según lo elaborado por (Ubilla-Bravo, 2013). (tabla 6).

**Tabla 6. Probabilidad de incendios forestales según cercanía a caminos
Ignición de incendios forestales**

Tipo de carpeta según cercanía			Rangos
Autopista	Camino pavimentado 1-2 o + vías	Sendero o huella	
Menor a 100 metros	Menor a 40 metros	Menor a 40 metros	Alta
Entre 100 y 150 metros	Entre 40 metros y 80 metros	Entre 40 y 80 metros	Media
Mayor a 150 metros	Mayor a 80 metros	Mayor a 80 metros	Baja

Fuente: (Ubilla-Bravo, 2013)

Área quemada:

En el estudio que estamos desarrollando se considerarán las áreas que ya han sido afectadas por el fuego durante el período de estudio, donde la cubierta vegetal ha sido consumida. Generalmente para poder estudiar un área que ha sido consumida por el fuego se procede a realizar una clasificación de imágenes satelitales empleando el cociente normalizado de área quemada (NBR). (Navarro Cerrillo, 2015).

En la tabla 7 se puede distinguir la reclasificación para el área quemada y su área de influencia, se procedió a determinar que el rango de alta amenaza corresponde cuando la misma área se ve afectada en diferentes años, los valores medios de amenaza se consideraron para un área de influencia de 100 metros y los bajos a más de 100 metros.

Tabla 7. : Reclasificación de áreas quemadas

Área quemada	
Categorías	Rangos
Área quemada	Alta
A 100 metros	Media
Mayor a 100 metros	Baja

Fuente: (Alegria, 2020)

Eventos históricos de incendios:

Al momento de analizar los incendios, un aspecto relevante es la incidencia. Para analizar la incidencia desde un punto de vista espacial se puede trabajar con puntos donde se requieran un par de coordenadas con el fin de lograr la localización usando patrones de puntos. Al mismo tiempo se procede a usar la densidad, la cual cuantifica los puntos por unidad de superficie (Ubilla-Bravo, 2013). La ocurrencia de incendios forestales se suele estudiar mediante la cantidad de incendios en una zona determinada en un período de tiempo determinado, de tal manera que sea factible la caracterización de la magnitud de la amenaza en áreas específicas. (Pérez, 1997).

Herramientas con el fin de analizar y estudiar la ocurrencia de incendios forestales existen muchas, pero para efecto de este estudio en particular se trabajó con la densidad de focos de incendio de tal manera que se pueda expresar en términos espaciales su influencia en el área de estudio. Se procedió a emplear la estimación de la densidad de Kernel como método estadístico no paramétrico con el objetivo de estimar las densidades de probabilidad. (Koutsias, 2014).

Basándonos en el estudio de (De La Riva Fernández, 2005) se procedió a utilizar el Método Kernel con el fin de obtener la estimación de la densidad, transformando los datos puntuales en una superficie continua ráster expresadas por valores de número de incendios por hectárea, expresando la información puntual no como una localización exacta, sino como una expresión de un cierto grado de incertidumbre (Alegría, 2020). Esta reclasificación se la puede apreciar en la tabla 8.

Tabla 8. Reclasificación densidad Kernel

Reclasificación de la densidad de incendios forestales	
Densidad Kernel incendio * Km2	Rangos
3 o más	Alta
1 a 3	Media
0 a 1	Baja

Fuente: (Alegría, 2020)

Al haber reclasificado los factores o subvariables mediante las condiciones específicas para cada uno en rangos de alta, media y baja amenaza se procede a establecer los juicios de valores mediante la comparación de pares de Saaty. Una vez obtenidos los valores AHP para las subvariables mediante la calculadora Ráster se efectúa la multiplicación de los valores siguiendo la fórmula que se detalla a continuación. (Alegría, 2020) (Abarca, 2005)

Ecuación para generar la carta de amenaza de incendios forestales

$$P = (F1*W) * (F2*W) * (F3*W) * (F4*W) * (F5*W)$$

Donde:

P= Valores finales que representan el grado de amenaza

F= Cada uno de los cinco factores, expresado en puntajes de 1 y 3 según rangos

W= Ponderación o peso originado de la matriz de Saaty, expresados en valores de 0 a 1

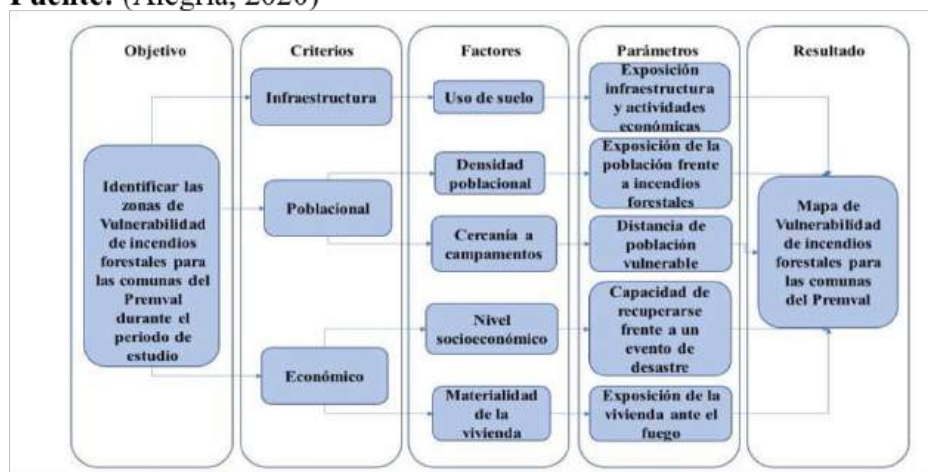
Identificación de zonas de vulnerabilidad

Según las Naciones Unidas, la vulnerabilidad corresponde a la interacción y sinergia de diversos factores, tales como: físicos, sociales, económicos y ambientales. En el contexto de los incendios forestales, se puede establecer que los incendios contemplan variables sociales en cuanto a la valoración de los daños a las viviendas, salud de los individuos y la percepción de la sociedad frente a los incendios forestales. (UNISDR, 2009).

Específicamente el componente humano es complejo de modelar y espacializar, sin embargo lo que sí se puede realizar son aproximaciones o estimaciones mediante el análisis de alguna variables o indicadores que permitan representar factores socioeconómicos que eleven la probabilidad de ocurrencia de incendios forestales y a su vez hagan más vulnerables ciertos territorios en comparación con otros, algunos de estos factores pudieran ser: cambios en el uso de suelo, cambios demográficos, actividades recreativas, urbanización, etc. (Del Hoyo, 2008).

En la figura 7 se alberga algunos elementos derivados de una revisión bibliográfica, los cuales componen la vulnerabilidad en el estudio y evaluación de riesgo de incendios forestales.

Figura 7. Resumen de variables de vulnerabilidad y método empleado
Fuente: (Alegria, 2020)



Uso de suelo:

La institución líder en llevar las cifras y el catastro del uso del suelo en temas de áreas protegidas es el Ministerio de Ambiente MAE, debido a esto se cree importante abordar el factor suelo, ya que el grado de afectación va de la mano con la severidad de los incendios forestales.

La modificación del uso del suelo también se considera un factor considerable en la propagación de los incendios ya que al modificar el suelo se modifican la estructura y la distribución de la vegetación, la cual es potencial combustible, de manera tal que se altere el régimen de incendios. (ICONA, 1981).

La tabla 9 muestra la clasificación de uso de suelo según la FAO y el uso de suelo fue obtenido a través de la plataforma Google Earth Engine, la cual posee los tipos de cobertura terrestre en escalas anuales y resoluciones de 500 metros.

Tabla 9. Clasificación de uso de suelo según FAO

Valor	Descripción
1	Bosque nativo
3	Zona antrópica
9	Mosaico agropecuario
10	Misceláneo semipermanente

Fuente: (Google, Engine, Google Earth, s.f.)

Posteriormente se procedió a identificar los usos de suelo que se dan dentro del área de estudio para a su vez poder determinar las categorías en las que se reclasificará el uso de suelo. En un alto rango se consideró las categorías donde existe presencia humana o actividades agrícolas, por otro lado, los bosques densos, abiertos y arbustos se les asignó el rango de media vulnerabilidad y al resto de categorías baja vulnerabilidad (Alegría, 2020) (Tabla 10).

Tabla 10. Reclasificación del uso de suelo

Reclasificación de uso de suelo	
Categorías	Rangos
Tierras de cultivo herbácea – tierras urbanas y urbanizadas.	Alta
Bosques densos – bosques abiertos – arbustos.	Media
Árido-Cuerpos de agua-Herbáceas naturales.	Baja

Fuente: (Alegría, 2020)

Densidad de la población:

Tanto el crecimiento de la población como las características de la habitabilidad de los asentamientos juegan un papel preponderante en la ocurrencia de los desastres, en este caso en específico los incendios forestales.

En el área de estudio al ser un bosque protector y área protegida la densidad poblacional es mínima, sin embargo, se utilizó el método de los filtros de Kernel, el cual localiza de manera

detallada a la población a escala de manzanas para luego generar mediante una fórmula simple la densidad poblacional por hectárea. (Sarricolea, 2004).

$$\text{DPM} = \text{Población total por manzana} / \text{Superficie en hectárea por manzana}$$

Basados en la fórmula anterior, se considera a la cantidad de personas censadas en territorio y para la reclasificación de la densidad se consideran los propuestos dentro del censo 2017, Lo cual aparece en la tabla 11.

Tabla 11. Reclasificación de la densidad poblacional

Densidad poblacional por manzanas (persona censada por hectárea).	Rangos
150 a 300	Alta
20 a 150	Media
0 a 20	Baja

Fuente: (Alegria, 2020)

Nivel socioeconómico:

Si bien es cierto que los desastres se pueden presentar en cualquier parte del mundo sin distinciones sociales ni económicas, no es menos cierto que los efectos de dichos desastres no son iguales para todas las clases socioeconómicas, ya que las repercusiones de los desastres no se distribuyen al azar y responden a factores como desigualdad social y económica (Campos-Vargas, 2015).

En el contexto de este estudio en particular el factor de vulnerabilidad económica será evaluado utilizando el último censo realizado a una escala de manzanas con el fin de poder determinar las diferencias en el nivel de vida. En la tabla 12 se muestra la reclasificación en función de la vulnerabilidad económica frente a los incendios forestales.

Tabla 12. Reclasificación del nivel socioeconómico

Reclasificación NSE	
Nivel socioeconómico	Rangos
C	Alta
B	Media
A	Baja

Fuente: (Alegria, 2020)

Materialidad de la vivienda:

Las características de las viviendas derivan de la misma vulnerabilidad socioeconómica de los individuos, de esto se desprende la exposición a situaciones de riesgos a las cuales están sometidas las personas. (Caballero, 2004). Las viviendas y demás estructuras siempre estarán expuestas a los diversos comportamientos del fuego debido a que el fuego las comienza afectando desde el exterior alterando la composición de los materiales mediante un proceso llamado pirólisis. Con el fin de evaluar la vulnerabilidad, la variable de materialidad fue evaluado según las consideraciones del censo nacional donde se categorizan como: Aceptable, recuperable e irrecuperable.

Tabla 13. Definición de categorías del índice de materialidad

Dimensión	Indicador	Categorías
Muros	De acero u hormigón armado; albañilería de ladrillo, bloques de cemento o piedra; tabique forrado por ambas caras (madera u otro).	Aceptable
	Adobe; tabique sin forro interior (madera u otro); barro, quincha, pirca u otro elemento artesanal.	Recuperable
	Material de desechos y/o reciclaje (cartón, lata, sacos, plásticos) y otros materiales.	Irrecuperable
Techo	Tejas; tejuela, losa de hormigón con cielo interior, zinc o pizarreño con cielo interior, zinc, pizarreño, teja, tejuela o madera sin cielo interior. Fonolita; paja, coirón, totora o caña. Material de desechos y/o reciclaje (plásticos, latas, etc.)	Aceptable Recuperable Irrecuperable
Piso	Radier revestido (parquet, cerámica, tabla, linóleo, flexit, baldosa, alfombra, etc.); tabla o parquet sobre soleras o vigas.	Aceptable
	Radier no revestido, madera, plásticos o pastelones directamente sobre tierra.	Recuperable
	Piso de tierra	Irrecuperable

Fuente: (Alegría, 2020)

Luego procedimos a reclasificar las categorías del índice de materialidad en media, alta y muy alta. En la tabla 13 se aprecia la reclasificación del índice de materialidad.

Tabla 14. Reclasificación del índice de materialidad

Índice de materialidad		Rangos
Aceptable	Materialidad en muros, piso y techo aceptable.	Media
Recuperable	Muro recuperable, y un indicador aceptable, sea piso o techo.	Alta
	Más de un indicador recuperable y ningún indicador irrecuperable.	Alta
Irrecuperable	Al menos un indicador irrecuperable (muro, piso o techo)	Muy alta

Fuente: (INEC, 2017)

Cercanía a campamentos:

Derivado de la desigualdad social y económica se ha hecho cada vez más común el asentamiento de campamentos donde individuos de escasos recursos se instalan, estos campamentos en su gran mayoría se ubican en zonas de alto riesgo las cuales están expuestas a amenazas naturales o humanas. (Alcántara Díaz, 2019)

Al ser asentamientos irregulares, estos no poseen servicios básicos, redes de apoyo ni emergencia, lo cual imposibilita tomar respuesta rápida en caso de presentarse algún evento generador de daño, en este caso en particular incendios forestales. (Salazar, 2017). La tabla 15 muestra la reclasificación de cercanía a campamentos.

Tabla 15. Reclasificación de cercanía a campamentos

Cercanía a campamentos	
Distancia en metros	Rangos
0 a 500	Alta
500 a 1000	Media
1000 y más	Baja

Fuente: (Alegría, 2020)

Una vez reclasificados todos los factores o subvariables en los rangos de alta, media y baja vulnerabilidad se continua con los juicios de valor empleando la comparación de los pares de Saaty. Una vez obtenidos los valores AHP para las subvariables mediante la herramienta *Calculadora ráster* se proceden a multiplicar los valores utilizando la siguiente fórmula:

Ecuación para generar la carta de vulnerabilidad de incendios forestales

$$P = (F1*w) * (F2*w) * (F3*w) * (F4*w) * (F5*w)$$

Donde:

P = Valores finales que representan el grado de vulnerabilidad.

F = Cada uno de los cinco factores, expresado en puntajes de 1 y 3 según umbrales.

W = Ponderación o peso originado de la matriz de Saaty, expresados en valores de 0 a 1.

III. RESULTADOS

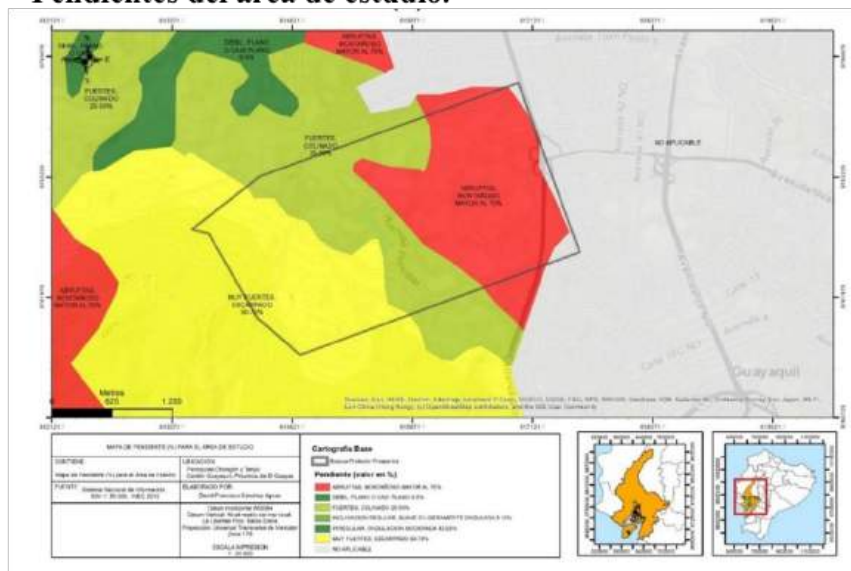
En relación con los análisis realizados se presentan los resultados obtenidos con el fin de identificar las zonas de amenazas y vulnerabilidades de incendios forestales en el Bosque Protector La Prosperina con la presencia de los factores y subvariables en forma de capas y la reclasificación de éstos en forma de mapas.

Identificación de las zonas de amenaza de incendios forestales

Subvariable pendiente:

La ocurrencia de los incendios forestales va de la mano con la presencia de pendientes pronunciadas, las cuales son un factor preponderante en la propagación de los incendios ya que éstas actúan como canales de corrientes de viento y complejizan las acciones de mitigación. Se pudo determinar que las zonas con más valores altos de amenaza se ubican hacia el este colindando con el eje vial y la zona urbana de La Prosperina.

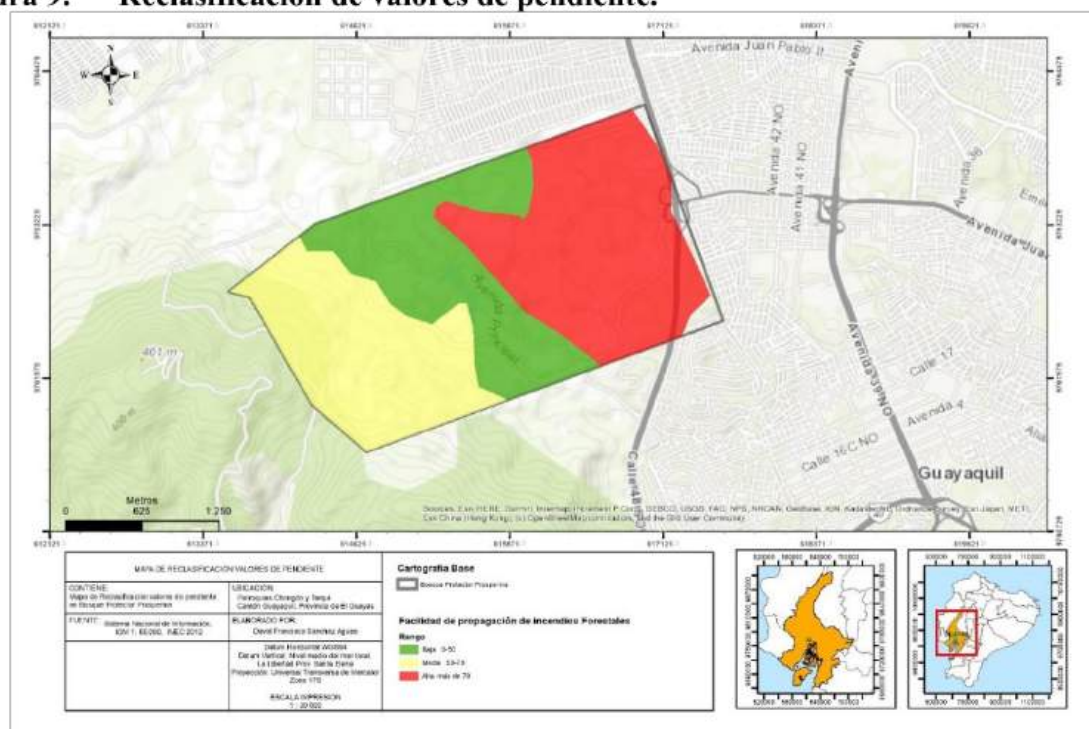
Figura 8. Pendientes del área de estudio.



Fuente: Sistema Nacional de Información
Elaboración propia

En la figura #8 podemos darnos cuenta de que del 0% al 50% es de baja propagación, de 50% a 70% es de media propagación y de 70% a 100% es de alta propagación tomando en cuenta la variable pendiente. El área con mayor tasa de propagación de incendios con respecto a la pendiente corresponde un área de 253 hectáreas aproximadamente, lo cual corresponde al 36,6% del área de estudio.

Figura 9. Reclasificación de valores de pendiente.



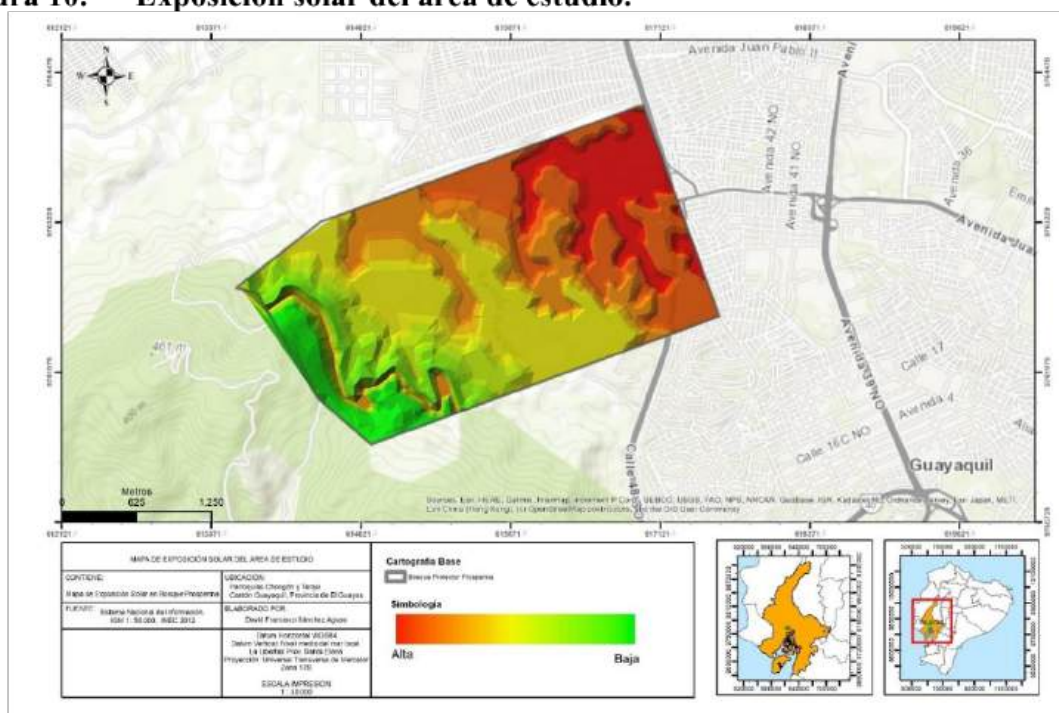
Fuente: Sistema Nacional de Información
Elaboración propia

Subvariable exposición solar:

Tanto el porcentaje de solana que recibe el lugar de estudio como el tipo de vegetación existente juegan un papel vital en la ignición y propagación de los incendios forestales. Mediante las figuras 10 y 11 podemos visualizar las zonas que poseen mayor porcentaje de exposición de solana, y a esto se añade que la vegetación existente es de tipo xerófila, lo cual representa que poseen poco porcentaje de humedad relativa, que a su vez implica un menor punto de ignición del material combustible.

En la tabla 16 se puede apreciar la proporción de los eventos de incendios forestales para cada rango de facilidad de propagación de incendio forestal según la reclasificación de la exposición solar. (Alegria, 2020)

Figura 10. Exposición solar del área de estudio.



Fuente: Sistema Nacional de Información
Elaboración propia

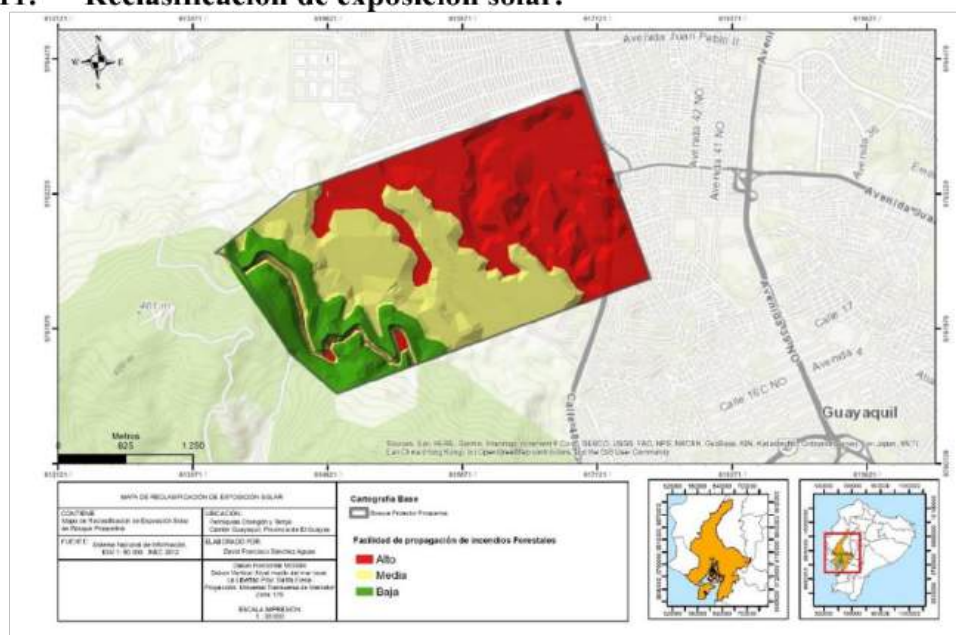
En la figura 11 se puede observar que el lugar de estudio en su gran mayoría posee zonas de media facilidad de propagación, luego las zonas de alta facilidad y finalmente las zonas de baja facilidad de propagación.

Tabla 16. Proporción de eventos de incendios según rango de reclasificación de amenaza para exposición solar

Porcentaje de incendios para cada rango	
Rango	%
Alta	44.73
Media	43.29
Baja	11.98

Fuente: (Alegria, 2020)

Figura 11. Reclasificación de exposición solar.



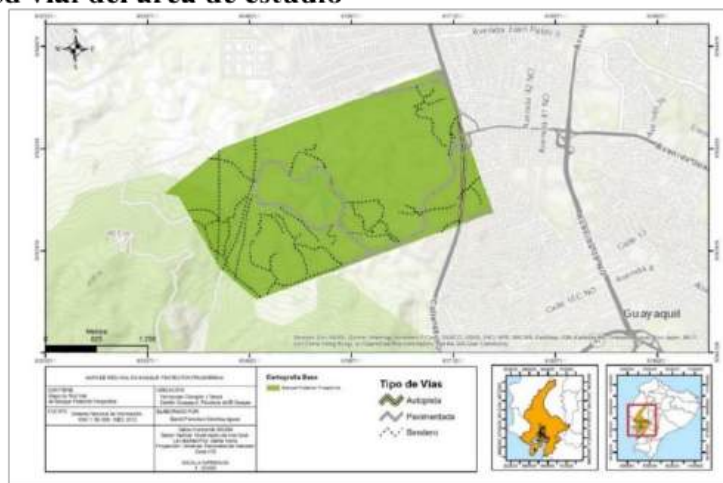
Fuente: Sistema Nacional de Información
Elaboración propia

La exposición solar reclasificada se puede apreciar en la figura 11, en donde se determina mediante método ráster que el área de mayor probabilidad de incendios forestales en cuanto a exposición solar corresponde a un área de 300 hectáreas aproximadamente, mientras que el área de media probabilidad de ocurrencia corresponde a 190 hectáreas, y finalmente baja probabilidad con 200 hectáreas.

Subvariable red vial

En el Bosque Protector La Prosperina se distinguen varios sistemas de redes viales, desde la cantonal (Perimetral) que es la vía principal más cercana al área de estudio hasta las vías internas propias del campus universitario.

Figura 12. Red vial del área de estudio



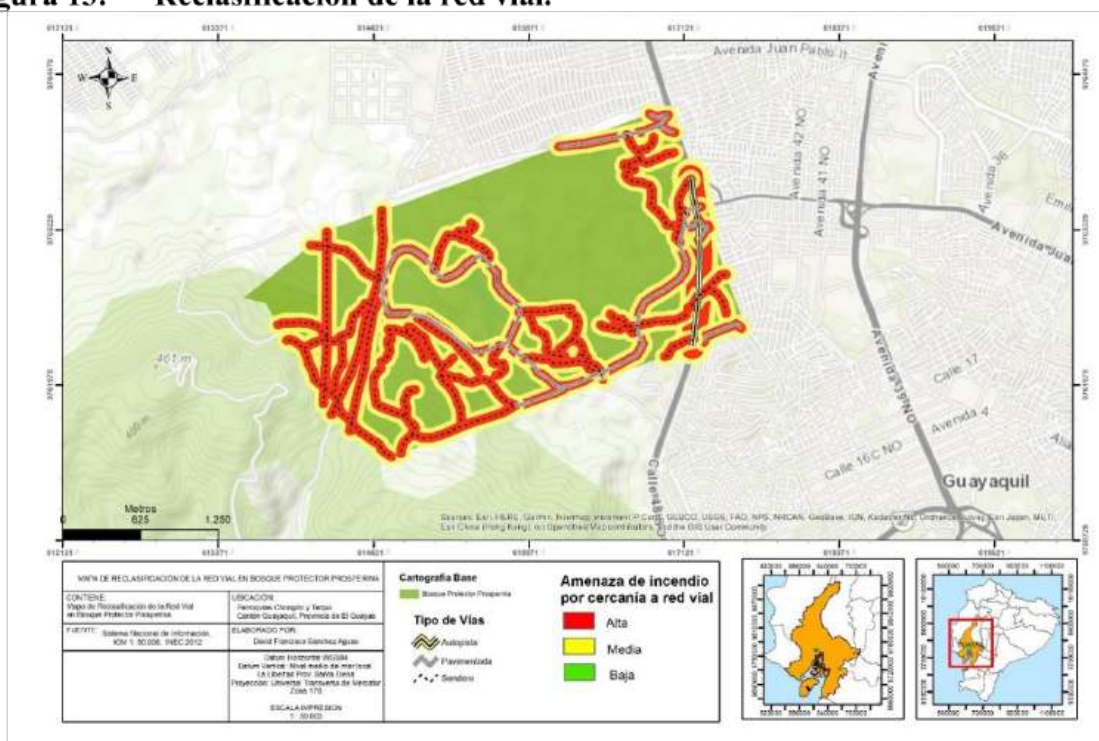
Fuente: Sistema Nacional de Información
Elaboración propia

En la figura 12 se puede visualizar la clasificación de las vías según su tipo, para efectos de esta investigación se procedió a clasificar en autopistas, caminos pavimentados, sendero o huella con el objetivo de generar las áreas de influencia correspondientes al tipo de carpeta según

(Ubilla-Bravo, 2013), arrojando los siguientes datos: autopistas 1 kilómetro, caminos pavimentados 7 kilómetros y senderos 18 kilómetros.

Al reclasificar la variable red vial obtenemos que las zonas con mayor amenaza de incendios forestales son donde se encuentran las principales vías de acceso al área de estudio, de este modo podemos ver en la figura 13 los valores reclasificados de las áreas de influencia en el área de estudio. El área con mayor probabilidad de ocurrencia de incendios forestales por acercamientos a redes viales es de 70%, media probabilidad 26% y baja probabilidad 4%, cabe mencionar que la mayor área corresponde a los senderos.

Figura 13. Reclasificación de la red vial.

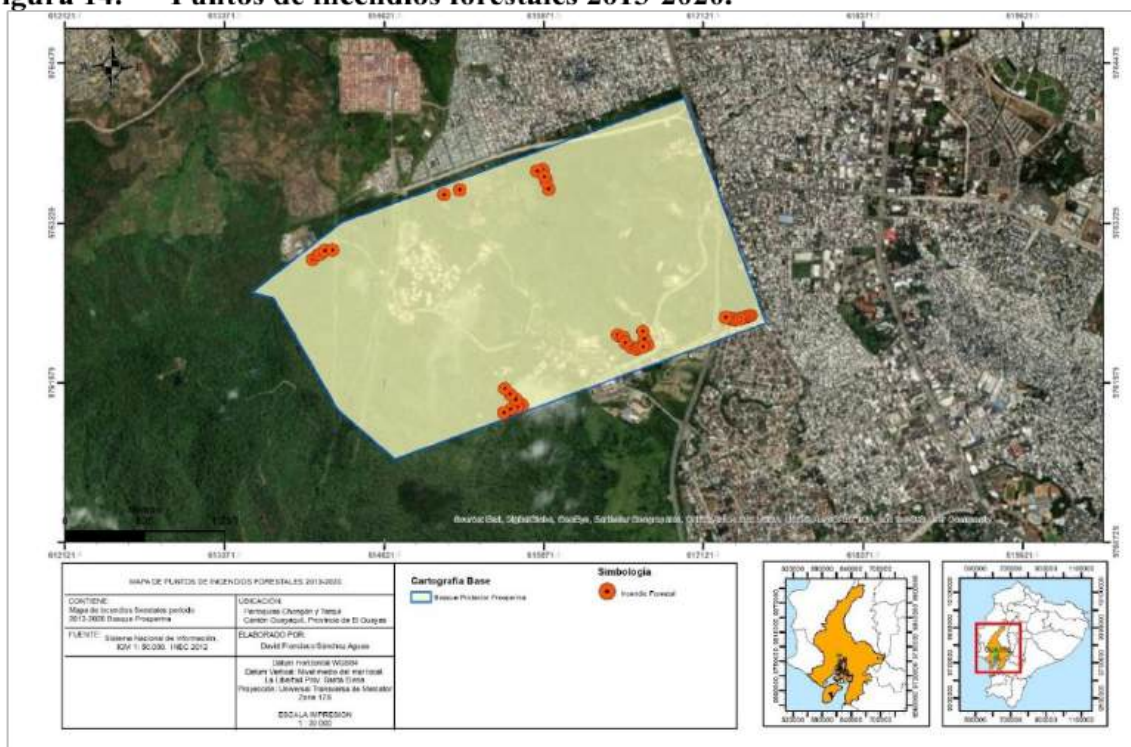


Fuente: Sistema Nacional de Información
Elaboración propia

Subvariable densidad de incendios forestales:

El análisis de esta variable deriva de la conjugación de la densidad poblacional, la cual es casi nula en el área de estudio. Sin embargo, al usar la densidad de Kernel en un período de tiempo junto con los puntos de incendios dentro del período de tiempo del estudio se obtuvo las concentraciones de incendios recurrentes.

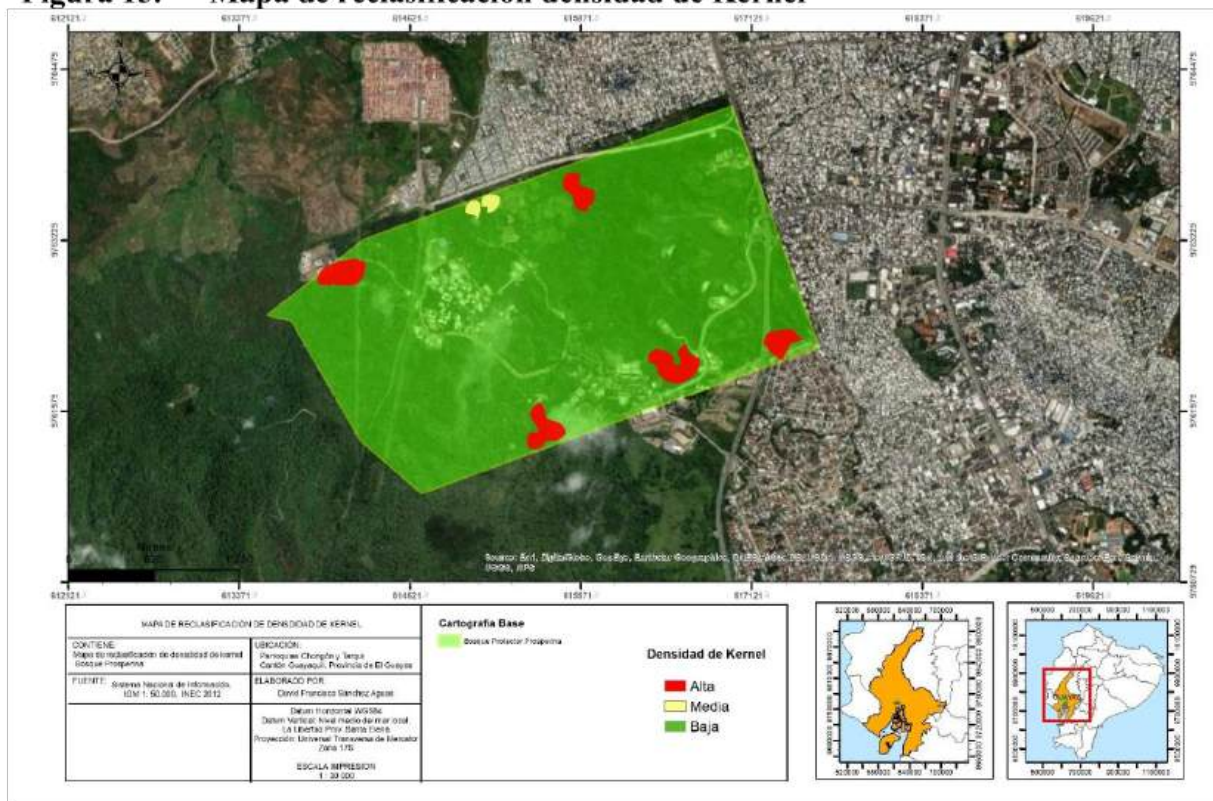
Figura 14. Puntos de incendios forestales 2013-2020.



Fuente: Sistema Nacional de Información
Elaboración propia

Se puede observar en la figura 14 que la mayor densidad de incendios se concentra en el inferior este del área de estudio con una concentración de 11 incendios forestales dentro del rango de tiempo del estudio, mientras que la zona con menor densidad de incendios se ubica en la parte norte media del área estudio con 2 incendios forestales en el rango de tiempo de estudio.

Figura 15. Mapa de reclasificación densidad de Kernel



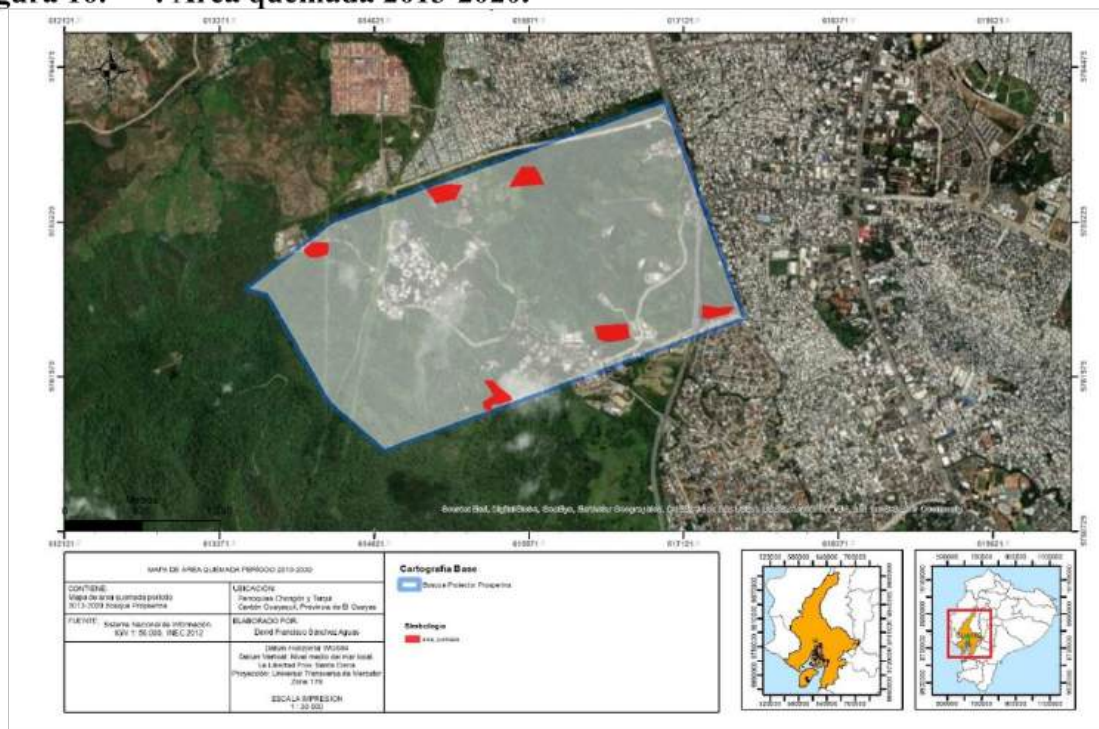
Fuente: Sistema Nacional de Información
Elaboración propia

Subvariable área quemada

Las áreas afectadas por el fuego en el área de estudio se procedieron a distribuir espacialmente con el fin de observar la concentración y recurrencia de estos incendios en un mismo lugar.

Se han podido identificar 3 áreas: el área con mayor densidad de incendios forestales es de 0.24 km², mientras que el área de media densidad es de 2.42 km².

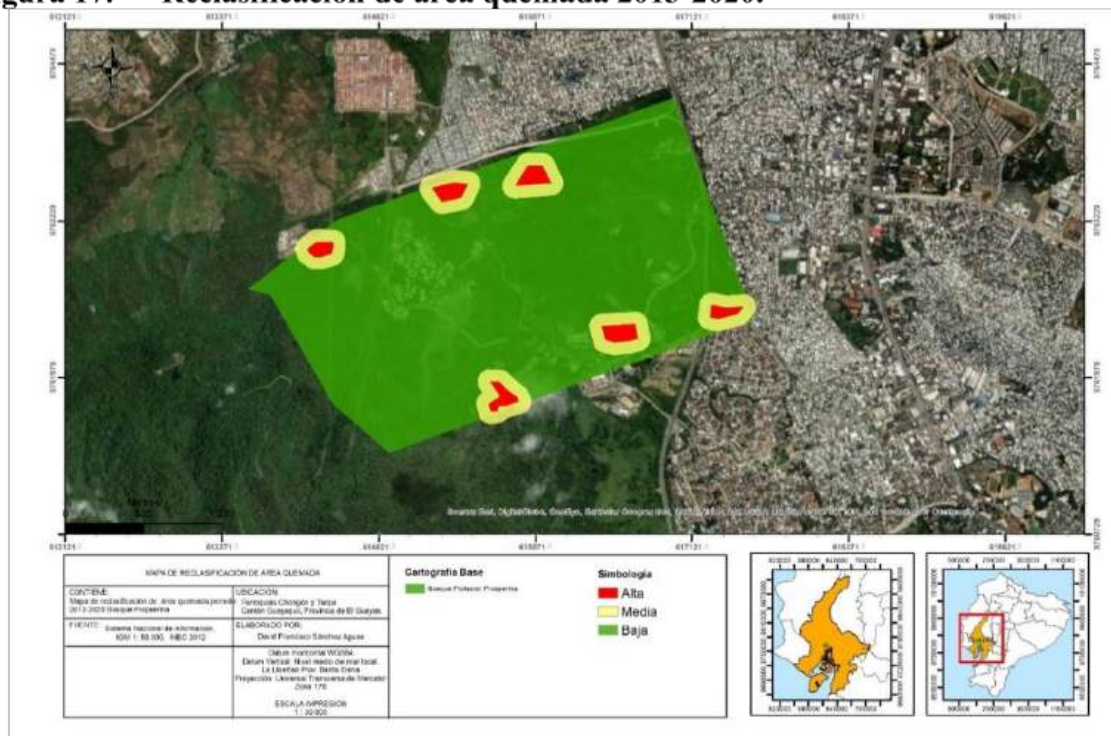
Figura 16. : Área quemada 2013-2020.



Fuente: Sistema Nacional de Información
Elaboración propia

En la figura 17 se puede observar la reclasificación de las áreas quemadas, dado que en la tabla 17 para zonas de alta amenaza se mantuvo la misma área quemada, luego se aplicó un buffer de 100 metros generando zonas de media amenaza alrededor del rango anterior y finalmente las zonas que se encuentran más allá del área de influencia se consideraron como zonas de baja amenaza

Figura 17. Reclasificación de área quemada 2013-2020.



Fuente: Sistema Nacional de Información
Elaboración propia

El área de alta probabilidad de ocurrencia de incendios corresponde a 16 hectáreas del Bosque, mientras que el área de media probabilidad de ocurrencia es de 42 hectáreas. En términos de porcentaje sería 2,31% y 6,08% respectivamente.

Juicios de valor variable amenaza

La comparación entre pares para la variable de amenaza se puede apreciar en la tabla 18, en donde notamos que la subvariable *área quemada* posee el mayor peso en comparación con las demás subvariables.

La asignación de los valores en el juicio valor se debe a la incidencia territorial de cada subvariable en el Bosque Protector La Prosperina durante los años 2013-2020.

Tabla 17. Juicios de valor de las subvariables de amenaza

FACTORES	Juicios de valor				
	Cercanía a caminos	Exposición solar	Pendiente	Área quemada	Ocurrencia histórica
Cercanía a caminos	1	1/3	1/5	1/7	1/5
Exposición solar	3	1	1/3	1/5	1/3
Pendiente	5	3	1	1/3	1
Área quemada	7	5	3	1	3
Ocurrencia histórica	5	3	1	1/3	1

Fuente: Elaboración propia, (Alegría, 2020)

Con base en a los datos obtenidos para cada factor de amenaza, se pueden definir los valores ponderados y el grado de consistencia de la matriz para la variable de amenaza es del 0,6. Lo que quiere decir que se encuentra dentro de los rangos aceptables para la comparación de pares.

Tabla 18. Ponderación de los valores de amenaza

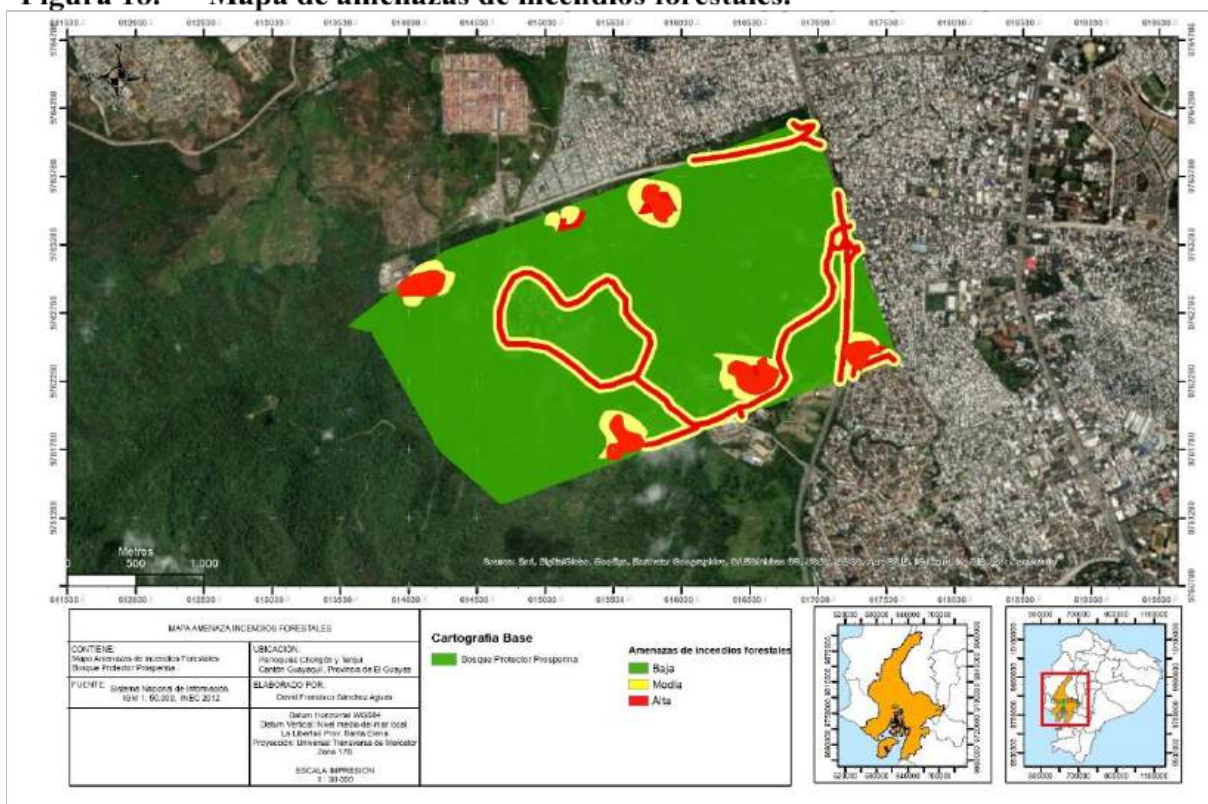
Subvariables o factores	AHP
Cercanía a caminos	0,044
Exposición solar	0,089
Pendiente	0,202
Área quemada	0,464
Ocurrencia histórica	0,202

Fuente: Elaboración propia, (Alegría, 2020)

Zonas de amenazas para el Bosque Protector La Prosperina y sitios adyacentes

Se puede observar que predomina el área quemada como factor de amenaza dentro de la zonificación espacial de los incendios forestales, sin embargo, la ocurrencia histórica y la pendiente son significativos en extensión e importancia dentro del área de estudio y en la evaluación de los incendios forestales.

Figura 18. Mapa de amenazas de incendios forestales.



Fuente: Sistema Nacional de Información
Elaboración propia

En la figura 18 de riesgo de incendios forestales, se pueden visualizar las zonas con alta amenaza de incendios forestales, las cuales en total abarcan 66 hectáreas aproximadamente, lo cual representa 9,56% del área de estudio.

El área total de las zonas de amenaza media es de 109 hectáreas, representando 15,79% del área de estudio.

Las acciones de combate o liquidación de incendios forestales en el área de estudio son complejas debido a la falta de caminos y trocha, además de las pendientes existentes. Los vehículos de emergencia a pesar de ser todo terreno no pueden ingresar a zonas donde existen quebradas. Por otra parte, la existencia en ciertas zonas de embalses de agua artificiales merma la complejidad de las acciones de combate si es que se llegase a contar con helicópteros equipados.

Identificación de las zonas de vulnerabilidad de incendios forestales

Subvariable uso de suelo

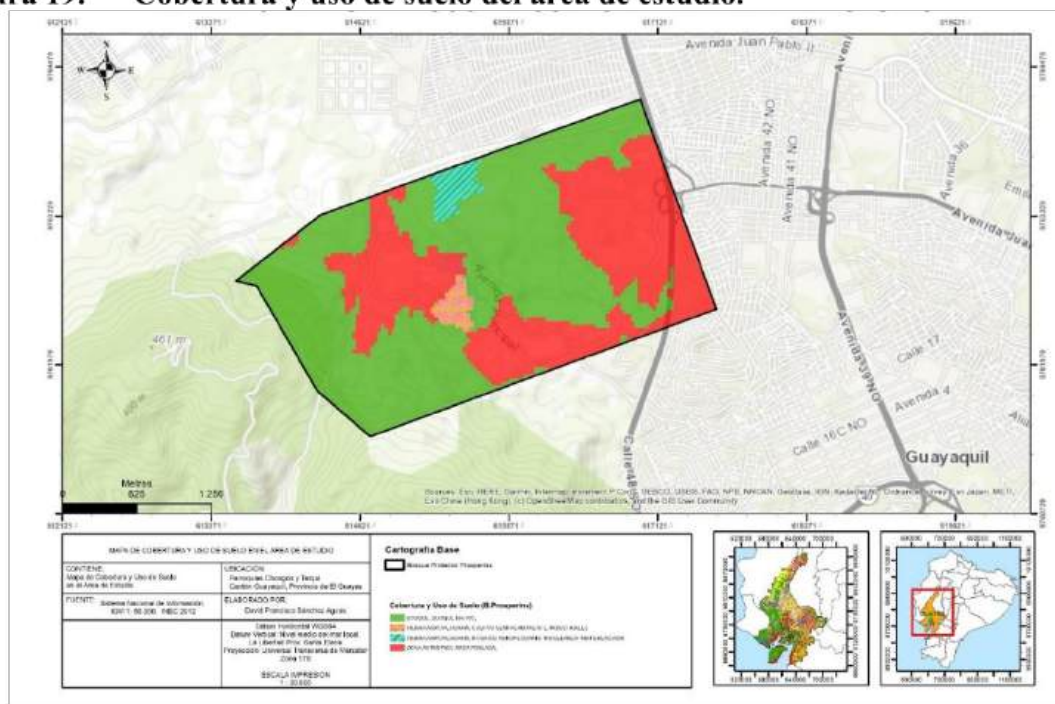
Dentro del Bosque Protector se procedió a aplicar ciertas consideraciones sobre el uso del suelo tomando en cuenta la planificación territorial. Posteriormente se identificaron los distintos usos, distinguiendo así, cuatro clasificaciones:

- Bosque nativo
- Zona antrópica
- Mosaico agropecuario
- Misceláneo

En la figura 19 se puede apreciar la espacialización del área en estudio, donde se estratifica según los criterios aplicados en la metodología, de acuerdo con la variable uso de suelo.

Dentro de las áreas que predominan, encontramos que de bosque nativo existen 381,89 hectáreas, de zona antrópica 273,80 hectáreas, de mosaico agropecuario 23,41 hectáreas y de misceláneo semipermanente 10,9 hectáreas.

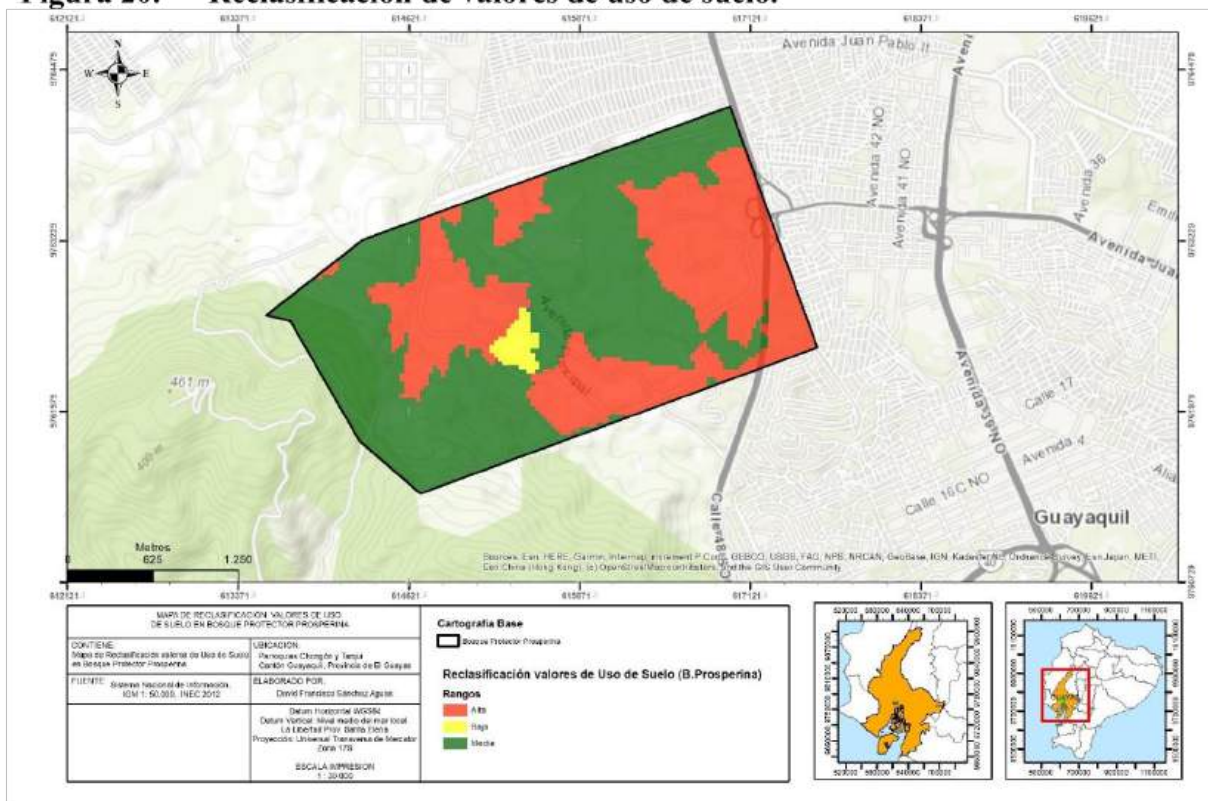
Figura 19. Cobertura y uso de suelo del área de estudio.



Fuente: Sistema Nacional de Información
Elaboración propia

En las figuras 19 y 20 podemos visualizar el predominio de zonas de media vulnerabilidad, que básicamente ocupan 371,89 hectáreas, seguido por alta vulnerabilidad con 254,3 hectáreas y finalmente baja vulnerabilidad con 9,81 hectáreas.

Figura 20. Reclasificación de valores de uso de suelo.

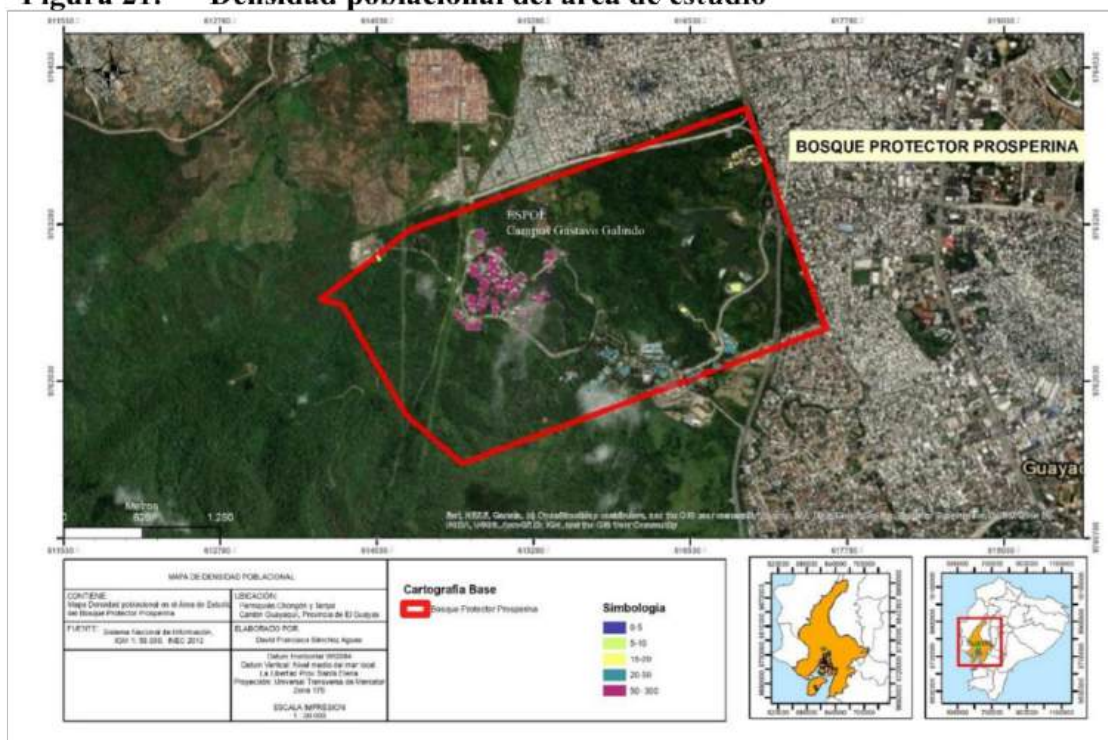


Fuente: Sistema Nacional de Información
 Elaboración propia

Subvariable densidad poblacional

Si bien es cierto que dentro del Bosque Protector La Prosperina no existen poblaciones significativas, no es menos cierto que existen asentamientos urbanos periféricos que indirectamente podrían influir sobre el comportamiento de esta área. Las áreas más densamente pobladas se encuentran al noroeste del área de estudio, seguido por la zona sureste de la zona de estudio.

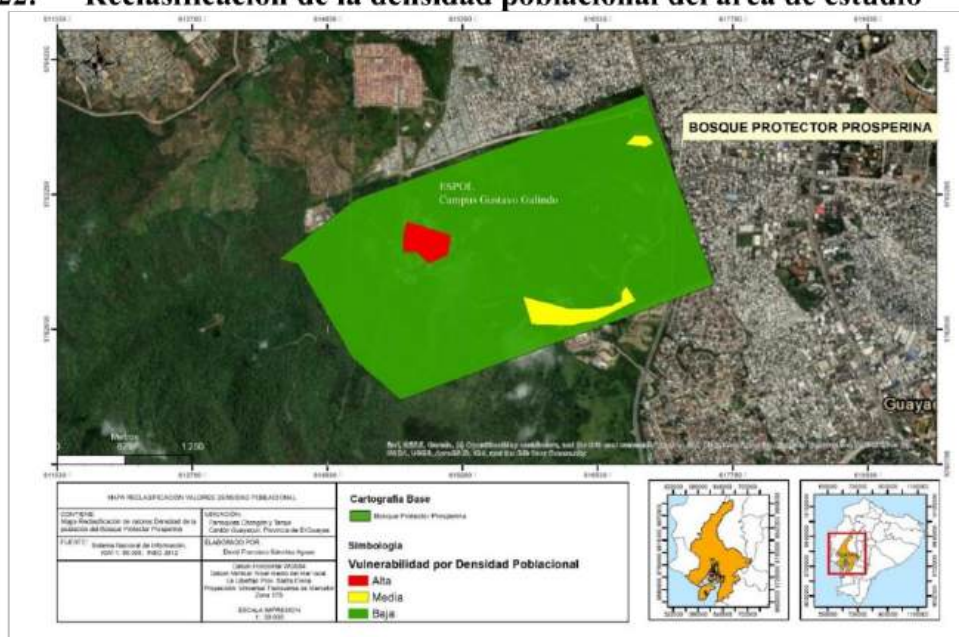
Figura 21. Densidad poblacional del área de estudio



Fuente: Sistema Nacional de Información
 Elaboración propia

Al reclasificar la variable de densidad poblacional obtenemos la figura 22, el cual nos muestra que la mayor área densamente poblada ocupa 11 hectáreas aproximadamente, seguida por un área de 16 hectáreas.

Figura 22. Reclasificación de la densidad poblacional del área de estudio



Fuente: Sistema Nacional de Información
Elaboración propia

Subvariable cercanía a campamentos

Por la geografía que posee el área protegida se complejiza el asentamiento de grupos humanos, a pesar de esto, se han tomado en cuenta ciertos grupos de personas que se han instalado en las periferias del área de estudio.

En la siguiente imagen visualizaremos la ubicación exacta de los asentamientos dentro del área del Bosque Protector, los cuales se ubican al noreste y noroeste del área de estudio, opuestamente ubicados.

Figura 23. Campamentos

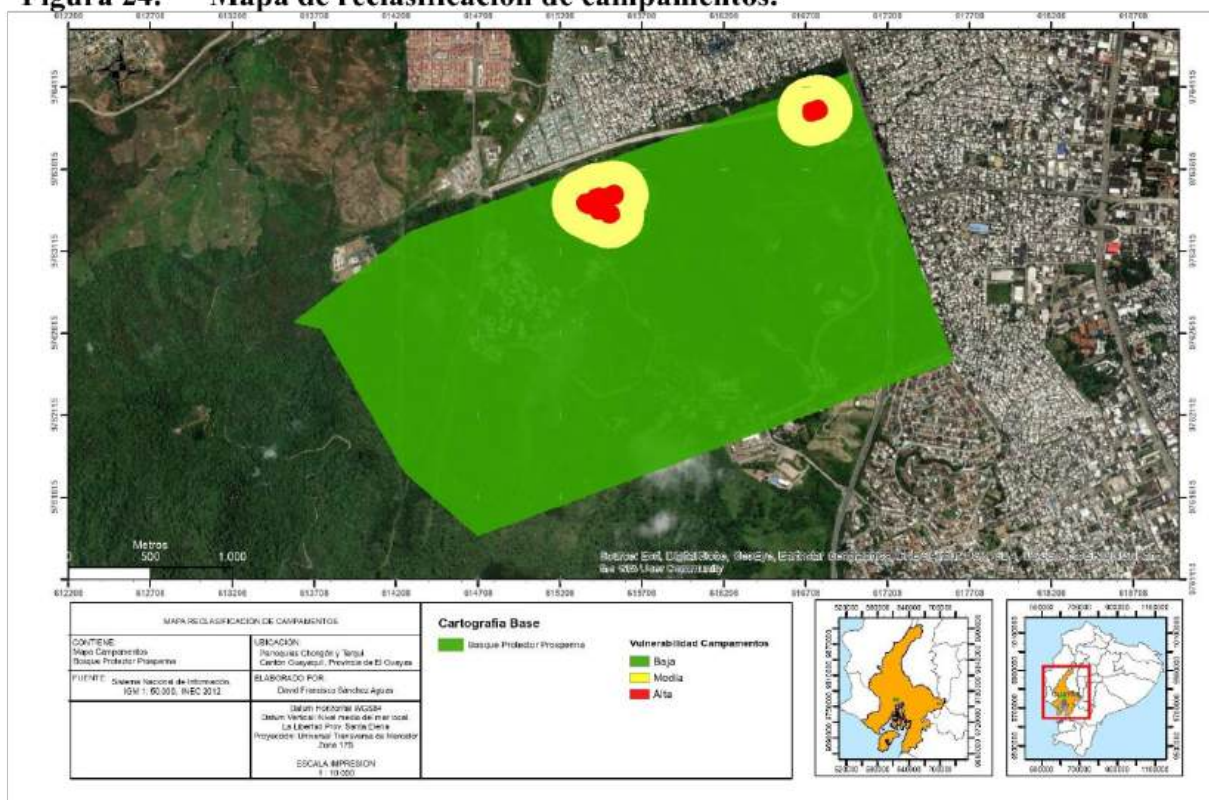


Fuente: Sistema Nacional de Información
Elaboración propia

En la figura 24 se muestran las áreas de influencia de cada zona donde se encuentran asentamientos humanos, con el fin de visualizar las zonas propensas a actividades humanas que

desemboquen en potenciales incendios forestales. El área de alta vulnerabilidad corresponde a 34,17 hectáreas, mientras que al área de media vulnerabilidad es de 77,68.

Figura 24. Mapa de reclasificación de campamentos.

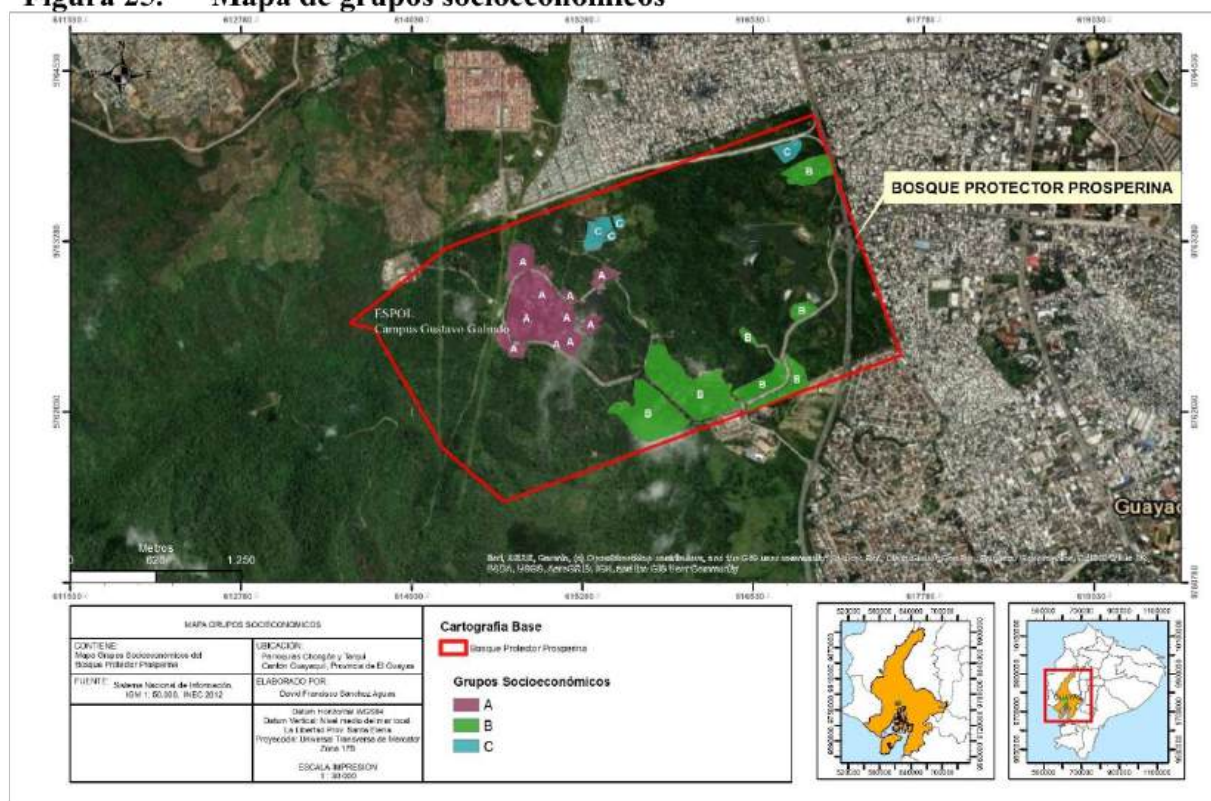


Fuente: Sistema Nacional de Información
Elaboración propia

Subvariable grupos socioeconómicos

La distribución espacial de los individuos dentro del área protegida se da en mayor proporción en las periferias y en algunas urbes cercanas al área de estudio. Dichos individuos se han clasificado según los grupos socioeconómicos para luego ubicarlos espacialmente.

Figura 25. Mapa de grupos socioeconómicos

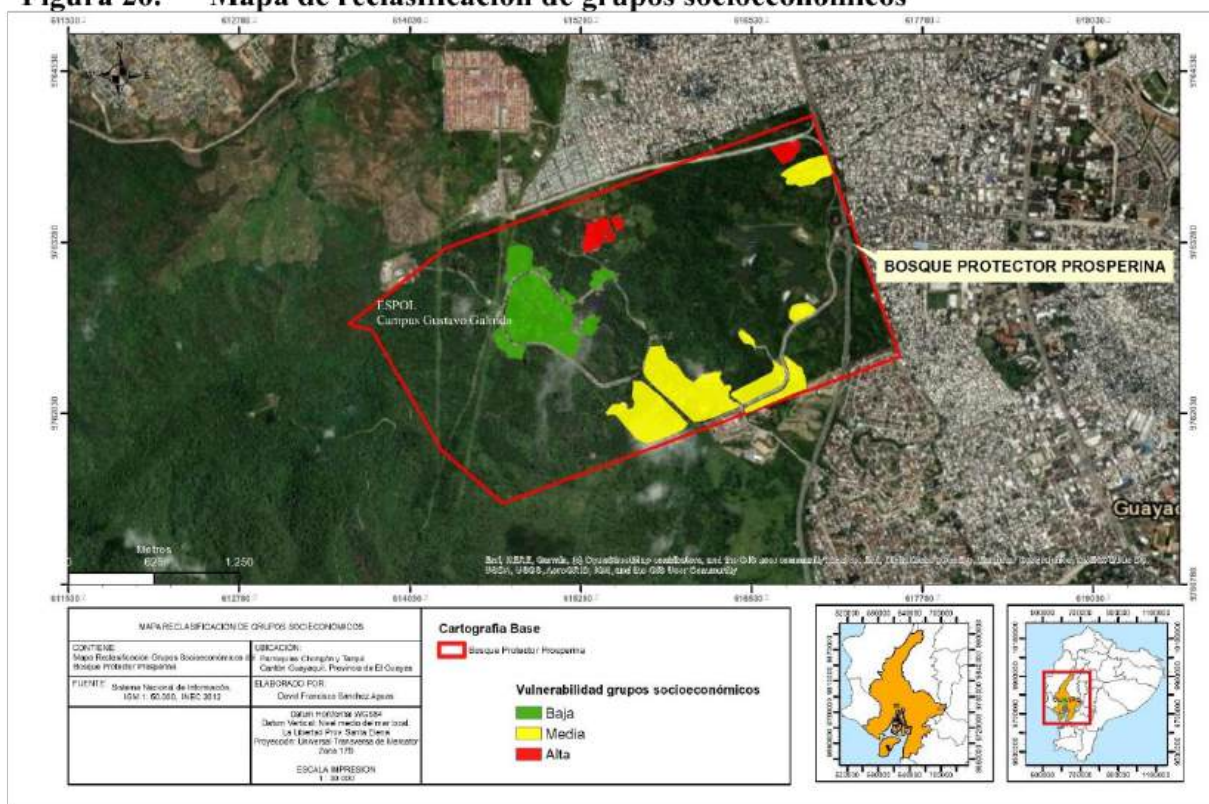


Fuente: Sistema Nacional de Información
Elaboración propia

En la figura 26 podemos visualizar la reclasificación de los grupos socioeconómicos en las respectivas categorías dentro del área de estudio:

Alta vulnerabilidad 6,82 hectáreas, media vulnerabilidad 50,04 hectáreas y baja vulnerabilidad 32,17 hectáreas.

Figura 26. Mapa de reclasificación de grupos socioeconómicos



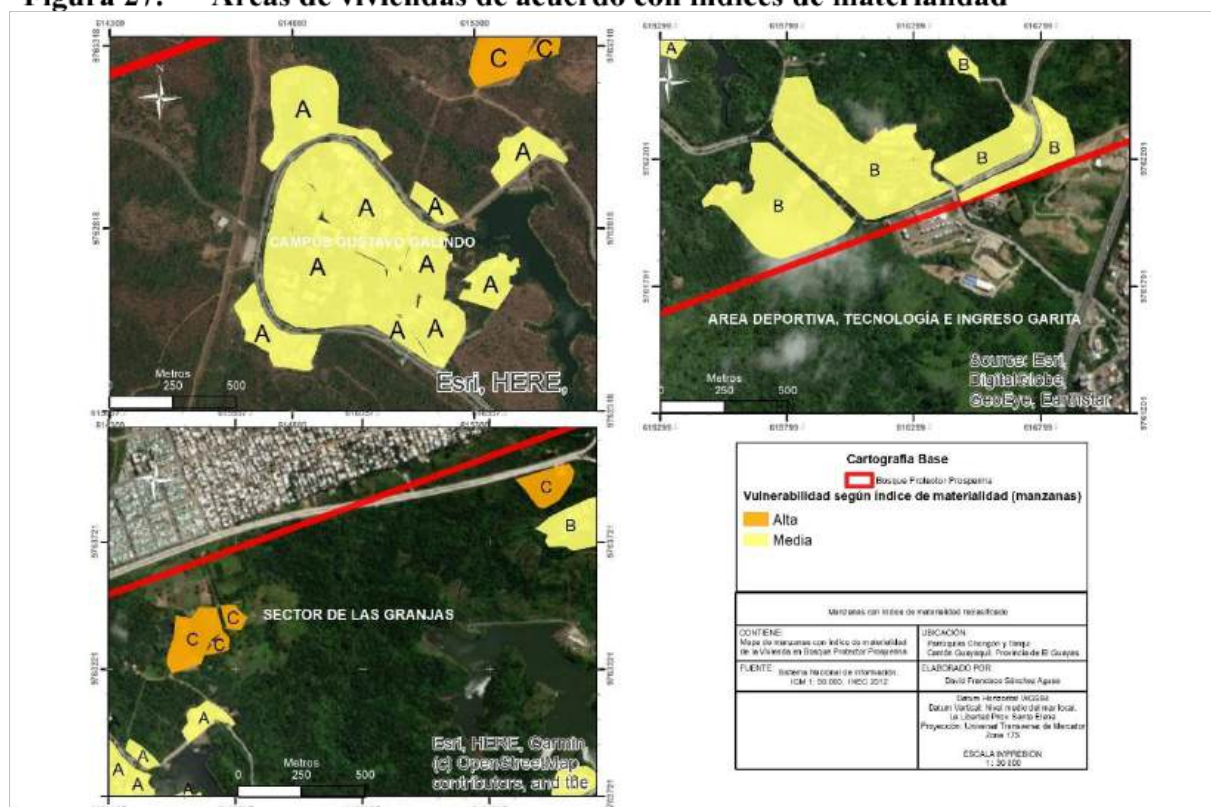
Fuente: Sistema Nacional de Información
Elaboración propia

Subvariable materialidad de la vivienda

Las viviendas ubicadas dentro y cerca del área de estudio fueron estudiadas en base a información obtenida a través de los distintos censos realizados en la zona, además de información levantada en algunas tesis del área de estudio.

De esta manera podemos identificar las zonas donde se ubican las viviendas más vulnerables en la zona norte central y en el noreste del área de estudio, mientras que la media vulnerabilidad está ubicada al sur y noroeste del área de estudio.

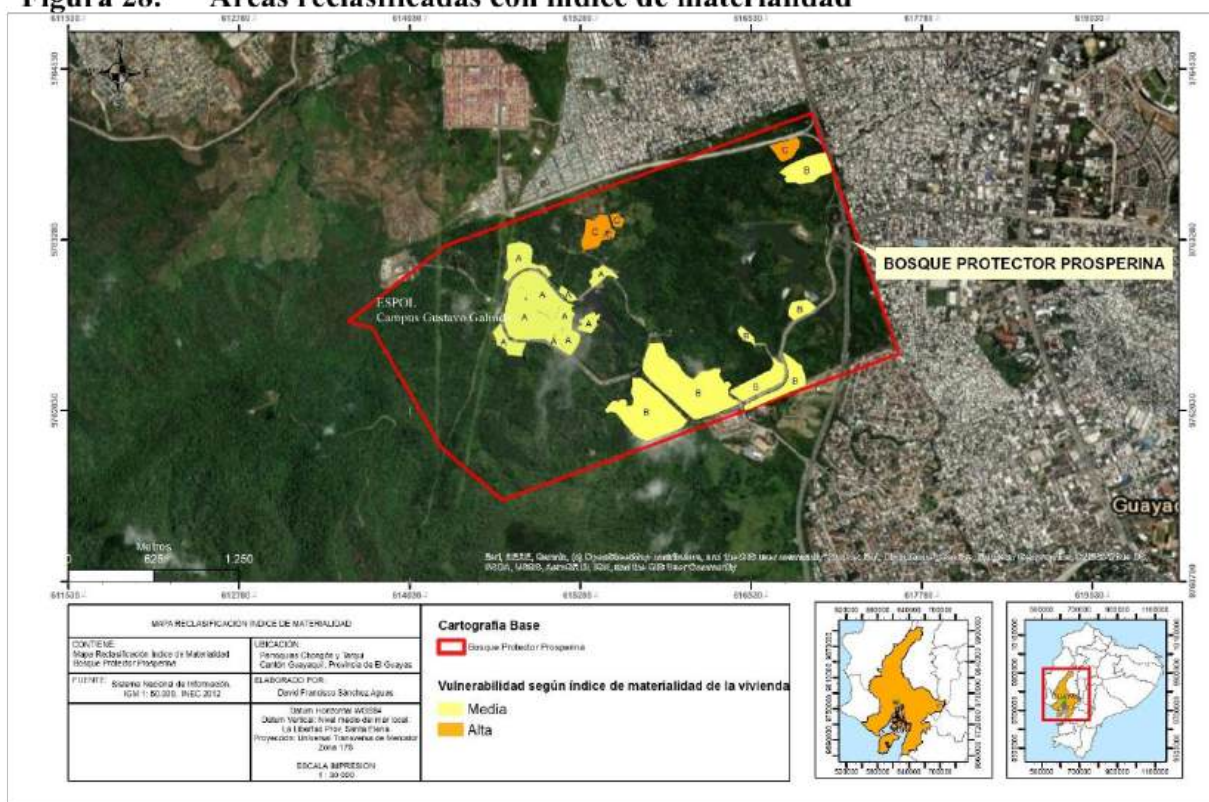
Figura 27. Áreas de viviendas de acuerdo con índices de materialidad



Fuente: Sistema Nacional de Información
Elaboración propia

Al reclasificar el índice de materialidad, visualizamos que predomina la media vulnerabilidad en la zona de estudio producto de que los materiales de construcción de las viviendas son de riesgo aceptable, ocupando un hectareaje de 82,21, mientras que el área de alta vulnerabilidad es de 6,82 hectáreas.

Figura 28. Áreas reclasificadas con índice de materialidad



Fuente: Sistema Nacional de Información
 Elaboración propia

Juicios de valor – variable vulnerabilidad

La comparación entre pares de Saaty para la variable vulnerabilidad se expresa en la tabla 19, donde podemos observar cuales son las subvariables que tienen mayor peso, es decir la densidad poblacional y la cercanía a campamentos. De hecho, sin necesidad de los pares de Saaty, podríamos analizar que dado la cantidad de personas por superficie derivan las acciones antrópicas que realizan los grupos humanos en combinación con cuan cerca se encuentran de los asentamientos humanos, siendo ambas aristas importantes en la creación y posterior desarrollo de eventos generadores de daño como los incendios forestales.

Tabla 19. Juicios de valor subvariable vulnerabilidad

FACTORES	Juicios de valor				
	Uso de suelo	Densidad de la población	Materialidad de la vivienda	Cercanía a campamentos	Nivel socioeconómico
Uso de suelo	1	1/5	1/3	1/5	1/3
Densidad de la población	5	1	5	1	3
Materialidad de la vivienda	3	1/5	1	1/5	1/3
Cercanía a campamentos	5	1	5	1	3
Nivel socioeconómico	3	1/3	3	1/3	1

Fuente: Elaboración propia, (Alegría, 2020)

A continuación (tabla 20), procedemos a ponderar los valores, tomando en cuenta que el grado de consistencia es de 0,6, es decir está dentro de los rangos aceptables para la comparación de pares.

Tabla 20. Ponderación de valores de vulnerabilidad

Subvariables o factores	AHP
Uso de suelo	0,054
Densidad de la población	0,353
Materialidad de la vivienda	0,087
Cercanía a campamentos	0,353
Nivel socioeconómico	0,152

Fuente: Elaboración propia, (Alegría, 2020)

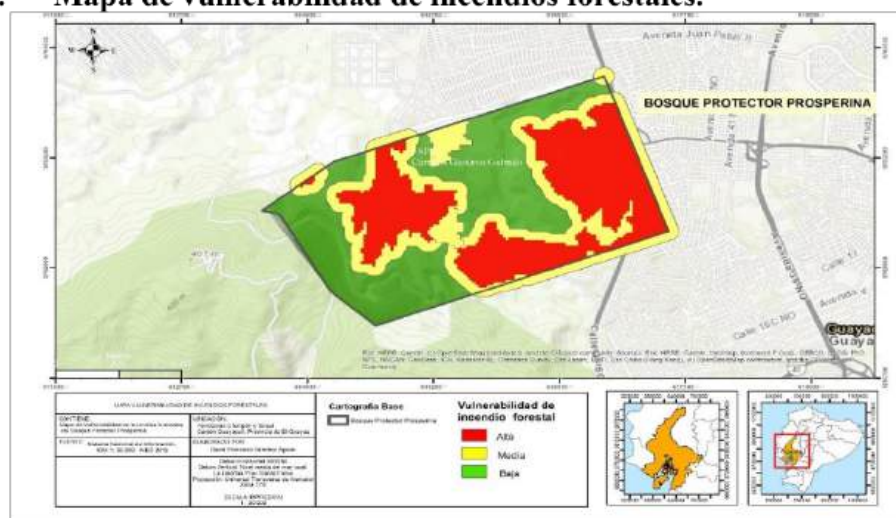
Zonas de vulnerabilidad para el Bosque Protector La Prosperina y sitios adyacentes

En la presente tesis se pudo zonificar la vulnerabilidad del Bosque La Prosperina en cuanto a incendios forestales, tomando en cuenta varias subvariables que involucran a los individuos como tal (densidad, aspectos socioeconómicos, viviendas, etc.).

En la figura 29 se puede observar la zonificación de vulnerabilidad a incendios forestales, siendo así que las zonas más vulnerables son donde se concentran la mayor cantidad de individuos o zonas donde se dan actividades antrópicas y sus zonas de influencia. En este

contexto se puede definir que 301,6 hectáreas corresponden a zonas de baja vulnerabilidad representando un 43,71 % del área de estudio, 40 hectáreas son zonas de media vulnerabilidad con un 5,97% y 347,2 hectáreas son zonas de alta vulnerabilidad con un 50,31 %.

Figura 29. Mapa de vulnerabilidad de incendios forestales.



Fuente: Sistema Nacional de Información
Elaboración propia

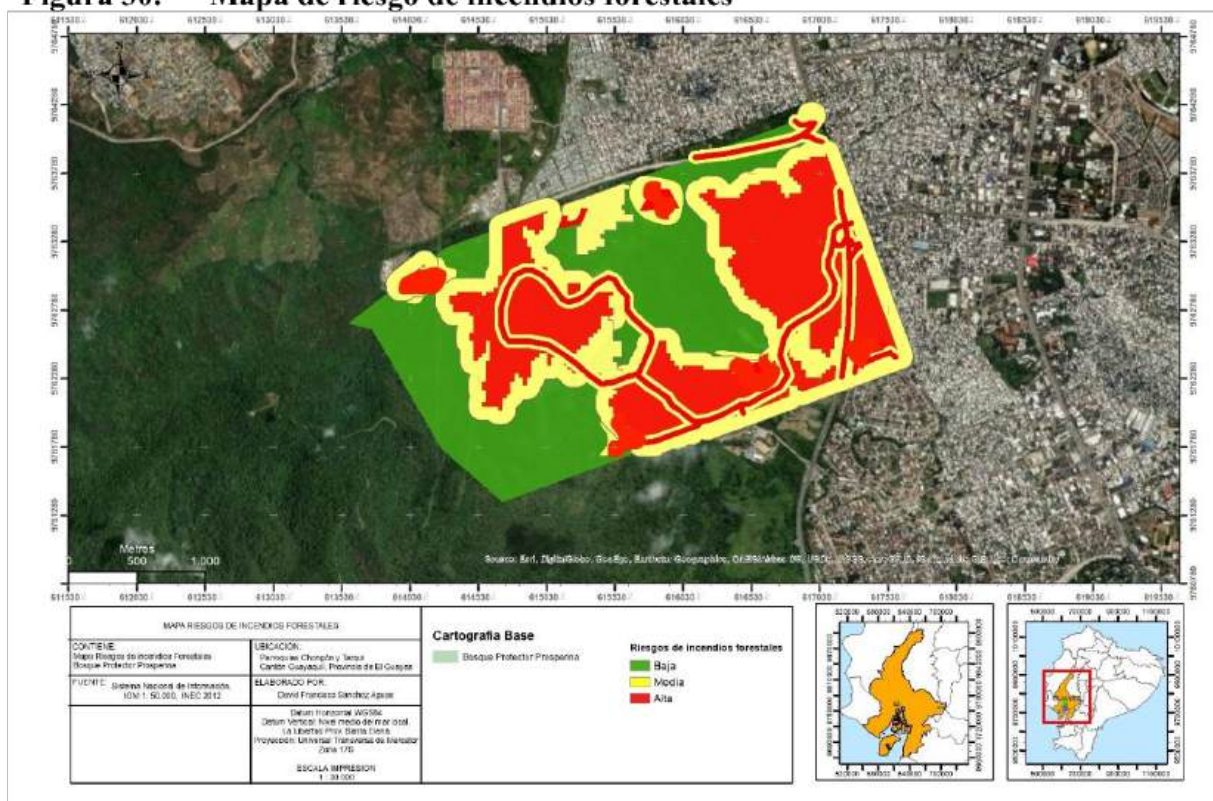
Zonas de riesgo para el bosque protector la Prosperina

En la figura 30 se puede representar el cruce de los mapas referentes a las amenazas y vulnerabilidades para toda el área de estudio, tomando en consideración las 10 subvariables previamente consideradas para zonificar el riesgo.

El valor agregado de tener un mapa zonificado en cuanto al riesgo de incendios se puede traducir en la formulación de medidas de prevención óptimas y más eficientes, en una herramienta útil en labores de extinción de incendios forestales, en una herramienta de estudio,

análisis y seguimiento con el fin de profundizar en la conservación y preservación de áreas protegidas vulnerables.

Figura 30. Mapa de riesgo de incendios forestales



Fuente: Sistema Nacional de Información
Elaboración propia

Las zonas de bajo riesgo abarcan 213,94 hectáreas, representando un 31,01 % del área de estudio, las zonas de alto riesgo abarcan 405,76 hectáreas y representando un 58,81%, mientras que las zonas de riesgo moderado abarcan 70,82 hectáreas representando un 10,27% del área de estudio.

IV. DISCUSIÓN

Los incendios forestales y su periodicidad tienen semejanzas en zonas como las mediterráneas y las zonas subtropicales de África y América del sur. A pesar de las considerables distancias se puede llegar a comparar las superficies devastadas por el fuego, la intensidad y el calor de este, ya que la vegetación dadas las condiciones subtropicales es semejante. (Chuvieco, 2012).

Es la primera vez que se realiza una investigación científica de este tipo, abarcando la temática de incendios forestales en la zona del Bosque Protector La Prosperina. De esta manera se crea un precedente para seguir con estudios de este tipo que son de interés en varias áreas del conocimiento, no solo ampliando literatura, sino, creando herramientas de ordenamiento territorial a partir de estudios relacionados a los riesgos.

Este estudio en particular logró analizar las 690 hectáreas del área protegida Bosque La Prosperina, las cuales han sufrido en los últimos años el azote de los incendios forestales. La metodología empleada en este estudio abordó variables relacionadas tanto a la amenaza como a la vulnerabilidad, las cuales se estudiaron mediante una evaluación multicriterio atada a su vez en literatura, experiencias y trabajo de campo, posteriormente el resultado de las ponderaciones se integró con el fin de determinar el riesgo para finalmente zonificar las zonas de riesgo. (Alegría, 2020).

En este contexto, los resultados muestran que más de la mitad del área de estudio es susceptible y posee un gran riesgo de incidencia de incendios forestales. Debido a que reúnen algunas condiciones que propicia y potencia la ocurrencia y propagación de los incendios forestales. La presencia de población, las actividades antrópicas y el uso de suelo, entre otras

son algunas de las condiciones imperativas para la ocurrencia de estos eventos generadores de daño.

Desde una perspectiva macro, Guayaquil y el Ecuador en general deben empezar a analizar lo ocurrido en otros países con el fin de adoptar medidas preventivas y de extinción en la lucha contra incendios, con el fin de generar resiliencia frente a estos eventos adversos que cada vez se vuelven más comunes y se intensifican debido al cambio climático.

Los objetivos de esta investigación fueron alcanzados en su totalidad ya que producto de la investigación se pudieron caracterizar las zonas de amenaza dentro del área protegida, además de evaluar y analizar la vulnerabilidad de las zonas en mención usando varios mecanismos de estudio, finalmente se pudo lograr definir los porcentajes de vulnerabilidad y amenaza de las zonas dentro del Bosque Protector con el fin de dirigir los esfuerzos, recursos, etc. a las zonas que más lo ameriten.

Se comprueba que efectivamente existen áreas más vulnerables y con mayor probabilidad de ocurrencia de incendios forestales dentro del área del Bosque Protector La Prosperina, debido a factores propios del bosque y factores antrópicos, sociales.

V. CONCLUSIONES

El área de estudio en sí es víctima de muchos incendios al año, repitiéndose año a año. En algunos casos llegan a ser de gran magnitud mientras que otros no pasan de la fase incipiente, sin embargo, existe un perjuicio y consecuencias para el área protegida, flora y fauna de este bosque.

Tomando en referencia la amenaza, se puede establecer que las variables que más inciden en la ocurrencia y propagación de los incendios forestales son: la ocurrencia histórica y la pendiente, esto debido a que la pendiente en combinación con las corrientes de viento sirve de mecanismo para la propagación exponencial de los incendios al mismo tiempo que complejiza las acciones de extinción por parte de los entes respondedores. En otro sentido la ocurrencia histórica es relevante debido a que es más probable que un hecho ocurra dado que ya ocurrió (en una zona específica) a que ocurra en otro lugar, más conocida como teoría bayesiana.

En cuanto a la vulnerabilidad, se consideraron aspectos relacionados al individuo como tal con el fin de analizar e incluir en los aspectos relevantes la exposición y la capacidad del individuo a resistir y sobreponerse ante estos eventos generadores de daño como los incendios forestales, y los resultados arrojaron que las variables preponderantes fueron: la densidad poblacional y la cercanía a campamentos. Dichas variables desembocan en las actividades antrópicas, las cuales son los gatillos que inician los incendios forestales que luego se propagan por zonas ya intervenidas por grupos humanos.

Son varios los resultados de esta investigación y múltiples los fines donde puedan ser empleados. Territorialmente hablando, este estudio nos da una óptica hacia donde no se deben dirigir los planes habitacionales y hacia donde se deben dirigir los esfuerzos de conservación.

Es primordial aplicar políticas públicas donde estos estudios tengan su mayor impacto y hagan eco en acciones preventivas y de lucha contra incendios forestales, para que a su vez los recursos sean usados eficientemente y generar a su vez estrategias de gestión de riesgos priorizando tiempo y fomentando la conservación.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bibliografía

- (SIISE), Sistema Integrado de Indicadores Sociales. (2010). *Sistema Integrado de Indicadores Sociales del Ecuador*. Quito.
- A. Cote, P. B. (1993). *Principios de protección contra incendios*. España: Cepreven.
- Abarca, O. &. (2005). Modelado cartográfico de riesgo de incendios en el parque nacional Henri Pittier. Estudio de caso: Veriente sur, área colindante con la ciudad de Maracay. *Agronomía tropical*, 35-62.
- Alcántara Díaz, T. (2019). La gestión integral del riesgo de incendios en las zonas de interfaz urbano-forestal: el caso del megaincendio de Valparaíso 2014.
- Alegría, R. (2020). Estudio y evaluación del riesgo de incendios forestales en la interfaz urbano*forestal de las comunas que comoinen el area metropolitana de Valparíso. Período 2000-2017.
- Andreae, M. (1991). Biomass Burning: It's history, use and distribution and its impact on Environmental quality and global climate. En J. Levine, *Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic, and Biospheric Implications* (págs. 3-21). Cambridge: MIT Press.
- Arnold-Cathalifaud, M., & Osorio, F. (1998). Introducción a los Conceptos Básicos de la Teoría General de Sistemas. *Cinta de Moebio*. .

- Asamblea Constituyente de Montecristi. (2008). *Registro Oficial N° 449 - Constitucion Politica del Ecuador*.
- Caballero, D. (2004). Gestión de los riesgos de incendios en la interfase forestal-urbana: Proyecto WARM. *Simposio Internacional sobre políticas, planificación y economía de los programas de protección contra los incendios forestales*.
- CAM. (1997). *Actas del II Encuentro de Voluntariado Ambiental*. Guardamar del Segura.
- Campos-Vargas, M. T.-A. (2015). Riesgo siconaturales: vulnerabilidad socioeconómica, justicia ambiental y justicia espacial. *Cuadernos de Geografía: Revista colombiana de Geografía*.
- Cañadas, L. (1983). *Mapa Bioclimático y Ecológico del Ecuador*. . MAG-PRONAREG. Quito, Ecuador.
- CEMAGREF. (1990). *Guide technique du forestier méditerranéen francais*.
- Chuvieco, E. C. (2012). Comparación entre focos de calor MODIS y peripímetros de area quemada en incendios mediterráneos. *Revista de Teledetección*, 9-22.
- Comercio, E. (20 de Julio de 2017). *Elcomercio.com*. Obtenido de <https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/incendios-forestales-ecuador-cambioclimatico-temperaturas.html>
- Consejería de Medio Ambiente. (1999). *Manual de campo para las operaciones de control y extinción de los incendios forestales*. Andalucía.
- Cote, A., & Bugbee, P. (1993). *Principios de Proteccion contra incendios*. España: Cepreven.

- De La Riva Fernández, J. &. (2005). El factor humano en el riesgo de incendios forestales a escala municipal. Aplicación de técnicas SIG para su modelización. *Congresos forestales*.
- Del Hoyo, L. M. (2008). Empleo de técnicas de regresión logística para la obtención de modelos de riesgo humano de incendio forestal a escala regional. *Boletín de la Asociación de Geógrafos españoles*, 5-29.
- Eastman, J. (2006). IDRISI Andes, Guide to GIS and Image Processing. *Clark Labs*.
- Esse, C. V.-M. (2014). Modelo de análisis espacial multicriterio (AEMC) para el mapeo de servicios ecosistémicos en cuencas del sur de Chile. 289-299.
- FAO. (2007). *Panorama Mundial: Acuerdos internacionales*.
- FAO. (2012). *Comisión Forestal para América Latina y el Caribe. Vigésima séptima reunión*. Asunción.
- FAO. (2012). *Marcos legales para la lucha contra los incendios forestales: Acuerdos internacionales y legislación nacional*.
- Franco, C. (2011). Desarrollo de un modelo basado en análisis espacial multicriterio para la determinación de unidades de ordenación forestal.
- García, J. (1997). *Jonás y el Bosque desaparecido*. Valladolid: 1997.
- García, J. (1997). *Jonás y el Bosque desaparecido*. Valladolid.

- García, J. (2001). *Plan 42 - Un programa integral para la prevención de incendios forestales*. Valladolid.
- Google. (2015). *Google Maps*. Obtenido de Google Inc.
- Google. (Marzo de 2021). *Google Maps*. Obtenido de Googlemaps. com.
- Google. (s.f.). *Engine, Google Earth*. Obtenido de SNI.
- Gratton, J. (1991). Firesafety Education. En *Fire Protection Handbook* (págs. Capítulo 2, Sección 1). Quincy, Massachussets.
- Honorable Congreso Nacional del Ecuador. (2004). *Ley Forestal y de Conservación del Áreas Naturales y Vida Silvestre*. Quito: Registro Oficial, Suplemento # 418.
- ICONA. (1981). *Técnicas para defensa contra incendios forestales*. Madrid.
- INEC. (6 de octubre de 2017). Guayaquil en cifras. *Ecuador en cifras*.
- Instituto para la conservación de la naturaleza. (1981). *Técnicas para defensa contra incendios forestales*. Madrid.
- J. Levine, T. B. (1999). Wildlands fires and the environment: a global synthesis. *UNEP*.
- Junta de Andalucía . (1998). *Voluntariado ambiental, Participación y conservación del medio ambiente*. Sevilla.
- Koutsias, N. B. (2014). Fire occurrences zones: kernel density estimation of historical wildfire ignitions at the national level, Greece. *Journal of maps*, 630-639.

- Levine, J., Bobbe, T., Ray, N., Witt, R., & Singh, A. (1999). *Wildland Fires and the Environment: a Global Synthesis*. Nairobi: UNEP.
- Lourizán. (2000). Sociedad Española de Ciencias Forestales. *Actas de la Reunión sobre quemas prescritas*. Lourizán.
- Martínez, J. C. (2004). Estimación de riesgo humano de ignición en España mediante regresión logística. *In trabajo presentado en el II Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación y Economía de los Programas Contra Incendios Forestales, Córdoba, España*.
- Ministerio de Bienestar Social. (2007). *Reglamento de Prevención de Incendios - Resolución No. 0621*.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2010). *Bosque Protector "La Prosperina"*. Quito: Ministerio del Ambiente.
- Moreno, J. (2002). El proceso analítico jerárquico (AHP). *Revista de electrónica de comunicaciones y trabajos de ASEPUMA*, 28-77.
- naturaleza, S. d. (2010). *Incendios forestales*. Valladolid.
- Navarro Cerrillo, R. &. (2015). Metodología para la elaboración de un plan de restauración post-incendio en Chile: la experiencia del Parque Nacional de Torres del Paine. 53-73.
- NFPA. (2008). *Fire Protection Handbook*. Quincy: MA.
- Peralta, J. (2010). Evaluación del riesgo ante incendios forestales en la cuenca del Río Tempisque, Costa Rica. *Revista geográfica de América Central*, 33-64.

Pérez, M. (1997). Análisis de causalidad de incendios forestales en cuatro regiones de Chile.

Tesis para optar al título de Ingeniero Forestal.

Poder Legislativo del Ecuador. (2004). *Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y*

Vida Silvestre - Registro Oficial N° 418.

Porrero, M. (2001). *Incendios forestales - Investigación de causas.* Madrid: Mundi-Prensa.

Porrero, M. (2001). *Incendios Forestales - Investigación de causas.* Madrid: Mundi-Prensa.

Quinteros, A., Ramos, R., & Rodríguez, A. (2010). *Evaluación del Uso Recreativo Bosque*

Protector Prosperina. Guayaquil: ESPOL.

Ramos Rodríguez, M. (2010). Manejo del fuego. Havana. *Havana.*

Rohsenow, W., Hartnett, J., & Cho, J. (1998). *Handbook of Heat Transfer.* U.S.A: McGraw -

Hill.

Salazar, P. M. (2017). El riesgo socioambiental en los procesos de urbanización de América

Latina. El caso de Vista al Mar. *Revista del Área de Estudios Urbanos.*

Sánchez, D. (2015). Preservación de la Biodiversidad del Bosque Protector La Prosperina.

Sarricolea, P. (2004). Niveles de vulnerabilidad a amenazas naturales en una ciudad intermedia y sus áreas de expansión: el caso de La Serena IV región de Coquimbo.

SENPLADES. (2007). *Ubicación del cantón Guayaquil.* Obtenido de sni.gob.ec.

Servicio de Protección de la Naturaleza. (2010). *Incendios Forestales.* Valladolid.

- Sierra, R. (1999). *Propuesta preliminar de un Sistema de Clasificación de vegetación para el Ecuador Continental*. MAGAP. Recuperado el 14 de 01 de 2015, de <https://es.scribd.com/doc/104636455/Modulo-Fauna-Del-Ecuador>
- TRAGSA. (1996). *Manual de formación del voluntariado ambiental*. Valencia.
- U.S. FOREST SERVICE. (1989). *Fireline Handbook*.
- Ubilla-Bravo, G. R.-V.-V.-V. (2013). Riesgo potencial por amenazas derivadas de procesos naturales en los principales asentamientos humanos de la región metropolitana de Santiago.
- UNISDR. (2009). Terminología sobre la reducción del riesgo de desastres. *The United Nations Officer for Disaster Risk Reduction*.
- Universo, E. (29 de Septiembre de 2016). *El Universo*. Obtenido de <https://www.eluniverso.com/noticias/2016/09/29/nota/5826919/bosque-sociedad/>
- Universo, E. (7 de Octubre de 2020). *El Universo*. Obtenido de <https://www.eluniverso.com/guayaquil/2020/10/07/nota/8006383/incendio-vegetacion-monte-sinai-noroeste-guayaquil/>
- Universo, E. (21 de Septiembre de 2021). *El Universo*. Obtenido de <https://www.eluniverso.com/guayaquil/comunidad/se-registra-incendio-forestal-en-el-cerro-colorado-norte-de-guayaquil-la-noche-de-este-martes-21-nota/>
- Vélez, R. (1987). *Manual de Prevención de Incendios mediante tratamiento del combustible forestal*. Madrid: ICONA.

ANEXO I - ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Parámetros físicos del Bosque Protector La Prosperina.....	31
Tabla 2.	Escala de comparación entre pares de Saaty 1980.....	37
Tabla 3.	Intensidad de los juicios para la matriz.....	37
Tabla 4.	Facilidad de propagación de incendios forestales.....	41
Tabla 5.	Probabilidad de ignición de incendios forestales por exposición solar.....	43
Tabla 6.	Probabilidad de incendios forestales según cercanía a caminos.....	44
Tabla 7.	: Reclasificación de áreas quemadas.....	45
Tabla 8.	Reclasificación densidad Kernel.....	47
Tabla 9.	Clasificación de uso de suelo según FAO.....	49
Tabla 10.	Reclasificación del uso de suelo.....	50
Tabla 11.	Reclasificación de la densidad poblacional.....	51
Tabla 12.	Reclasificación del nivel socioeconómico.....	52
Tabla 13.	Definición de categorías del índice de materialidad.....	53
Tabla 14.	Reclasificación del índice de materialidad.....	53
Tabla 15.	Reclasificación de cercanía a campamentos.....	54
Tabla 16.	Proporción de eventos de incendios según rango de reclasificación de amenaza para exposición solar.....	59
Tabla 17.	Juicios de valor de las subvariables de amenaza.....	66
Tabla 18.	Ponderación de los valores de amenaza.....	66

Tabla 19. Juicios de valor subvariable vulnerabilidad.....	79
Tabla 20. Ponderación de valores de vulnerabilidad	80

ANEXO II - ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Causas de los incendios forestales.....	16
Figura 2. Área de Estudio (Bosque Protector Prosperina).....	32
Figura 3. Geomorfología del área de estudio.....	32
Figura 4. Distribución de pisos vegetacionales en el área de estudio.....	34
Figura 5. Es metodológico.....	39
Figura 6. Resumen variable de amenaza y método empleado.....	40
Figura 7. Resumen de variables de vulnerabilidad y método empleado.....	48
Figura 8. Pendientes del área de estudio.....	56
Figura 9. Reclasificación de valores de pendiente.....	57
Figura 10. Exposición solar del área de estudio.....	58
Figura 11. Reclasificación de exposición solar.....	59
Figura 12. Red vial del área de estudio.....	60
Figura 13. Reclasificación de la red vial.....	61
Figura 14. Puntos de incendios forestales 2013-2020.....	62
Figura 15. Mapa de reclasificación densidad de Kernel.....	63
Figura 16. : Área quemada 2013-2020.....	64
Figura 17. Reclasificación de área quemada 2013-2020.....	65
Figura 18. Mapa de amenazas de incendios forestales.....	67

Figura 19. Cobertura y uso de suelo del área de estudio.....	69
Figura 20. Reclasificación de valores de uso de suelo.....	70
Figura 21. Densidad poblacional del área de estudio.....	71
Figura 22. Reclasificación de la densidad poblacional del área de estudio	72
Figura 23. Campamentos	73
Figura 24. Mapa de reclasificación de campamentos.	74
Figura 25. Mapa de grupos socioeconómicos.....	75
Figura 26. Mapa de reclasificación de grupos socioeconómicos.....	76
Figura 27. Áreas de viviendas de acuerdo con índices de materialidad	77
Figura 28. Áreas reclasificadas con índice de materialidad.....	78
Figura 29. Mapa de vulnerabilidad de incendios forestales.....	81
Figura 30. Mapa de riesgo de incendios forestales	82