



Pontificia Universidad
Católica del Ecuador

SEDE
ESMERALDAS

ESCUELA DE GESTIÓN AMBIENTAL

TESIS DE GRADO

REPRESENTACIÓN SECTORIZADA DE
APROXIMACIÓN DEL RIESGO POR
INCENDIO FORESTAL EN LA CIUDAD DE
ESMERALDAS MEDIANTE EL ANÁLISIS
ESPACIAL.

PREVIO A LA OBTENCIÓN DE TÍTULO DE
LICENCIADO EN GESTIÓN AMBIENTAL

AUTOR

HÉCTOR JAVIER ZAMBRANO CEDEÑO

ASESOR

MSC. JAIME SAYAGO HEREDIA

ESMERALDAS, AGOSTO – 2021

Tribunal de tesis aprobado luego de haber dado cumplimiento a los requisitos exigidos por el reglamento de Grado de la PUCESE previo a la obtención del título de LICENCIADO EN GESTIÓN AMBIENTAL

Presidente Tribunal de Graduación

Mgt. Mérida Ortiz Castro

Lector 1

PhD. Jon Molinero Ortiz

Lector 2

Director de la Escuela de Gestión Ambiental

Mgt. Karla Solís Charcopa

Director de Tesis

Mgt. Jaime Sayago Heredia

Esmeraldas, de.....de 2021

Autoría

Yo, Héctor Javier Zambrano Cedeño, declaro que la presente investigación titulada: **“Representación sectorizada de aproximación del riesgo por incendio forestal en la ciudad de Esmeraldas mediante el análisis espacial”** es absolutamente original, auténtica y personal.

En virtud que el contenido de esta investigación es de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor y de la PUCE-Sede Esmeraldas

Héctor Javier Zambrano Cedeño

C.I. 080346531-9

Dedicatoria

Este momento de mi vida es un importante paso triunfante que tiene a personas inmersas en aquello, a quienes dedico cada logro, y que mencionaré a continuación

Dedico este trabajo de investigación a Dios, arquitecto de la vida y de todas las bendiciones dadas durante esta etapa de educación profesional y personal.

A mis padres, Aníbal y Marieta por hacer del hogar un lugar de formación continua en valores y buenos principios para ser el buen hombre que soy, por sus reflejos y amor brindado en todo momento.

A Josselyn, luz y bendición en mi vida; quien ha motivado constantemente el desarrollo del presente trabajo de investigación, para ti con mucho amor.

A mis hermanos Andrés, Hernán y Doménica, regalos de Dios de los cuales tomo cualidades ejemplares de cada uno para la construcción de mi ser.

A Carmita y Stefano, forman parte de la felicidad del hogar, siendo pilar indispensable en del desarrollo en este proceso académica y personal.

Héctor Javier Zambrano Cedeño

ÍNDICE

1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.	6
1.1. Presentación del tema de investigación.	6
1.2. Planteamiento del problema.	7
1.3. Justificación.	9
1.4. Objetivos.	11
1.4.1. Objetivo General.	11
1.4.2. Objetivo Específico	11
2. CAPÍTULO II: MARCO TEORICO.	12
2.1. Bases Teóricas y Científicas.	12
2.2. Antecedentes.	15
2.3. Marco Legal.	18
3. CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.	20
3.1. Área de Estudio.	20
3.1.1. Localización y superficie.	20
3.1.2. Orografía.	21
3.1.2. Características biofísicas.	22
3.2. Descripción Metodológica.	22
3.2.1. Fase I. Recopilación de Información.	23
3.2.2. Fase II. Procesamiento de imágenes mediante el Análisis Espacial.	23
3.2.2.1. Análisis Orográfico.	23
3.2.2.2. Análisis de la cobertura vegetal.	24
3.2.2.3. Cálculo de la Distancia Euclidiana de ríos, centros poblados, red vial y estación de bomberos.	25
3.2.3. Fase III. Ponderación de resultados del análisis espacial.	27
3.2.4. Fase IV. Representación de mapas temáticos	27
4. CAPÍTULO IV: RESULTADOS	28
4.1. Análisis Orográfico.	29
4.1.1. Modelo Digital del Terreno (MDT).	29
4.1.2. Análisis de Pendiente del Terreno	30
4.1.3. Análisis de Orientación del Terreno.	32
4.1.4. Ponderación de Pendiente y Orientación del Terreno	33
4.2. Análisis de la cobertura vegetal.	34
4.2.1. Cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).	35
4.3. Análisis de Distancia Euclidiana.	36
4.3.1. Aproximidad de Ríos.	36
4.3.2. Aproximidad de Centros Poblados.	37
4.3.3. Aproximidad de Vías.	38
4.3.4. Aproximidad de Estación de Bomberos.	39
4.3.4. Ponderación de Análisis de Aproximidad. ¡Error! Marcador no definido.	
4.4. Análisis General de Riesgo Territorial.	40
5. CAPÍTULO V: DISCUSIÓN	43
6. CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES	46
7. CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES	46
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	48
8. ANEXOS	55

Abreviaturas

CDB: Convenio de la Diversidad Biológica

COA: Código Orgánico del Ambiente

COIP: Código Orgánico Integral Penal

COOTAD: Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización

COV: Compuestos Orgánicos Volátiles

FFDI: Índice MacArthur Forest Fire Danger Index

GAD: Gobierno Autónomo Descentralizado

IGM: Instituto Geográfico Militar

IVN: Índice de Verdor Normalizado

MAE: Ministerio del Ambiente del Ecuador

MDE: Modelo Digital de Elevación

MDT: Modelo Digital del Terreno

NDVI: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada

PM: Material Particulado

PUCESE: Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas

SIG: Sistemas de Información Geográfica

SINAT: Sistema Nacional para la Administración de Tierras

SIRGAS: Sistema de Referencia Geocéntrico para América del Sur

SNGRE: Servicio Nacional de Gestión de Riesgo y Emergencias

TIN: Triangulated Irregular Network (Red irregular de triángulos)

Lista de gráficos y figuras

Ilustración 1. <i>Mapa de Área de Estudio Esmeraldas</i>	20
Ilustración 2. <i>Fórmula NDVI para imágenes RGB.</i>	24
Ilustración 4. <i>Puntos focales de incurrencia de incendios forestales.</i>	28
Ilustración 5. <i>Modelo Digital del Terreno del Área de estudio.</i>	29
Ilustración 6. <i>Modelo Digital del Terreno (MDT) del Área de estudio.</i>	30
Ilustración 7. <i>Mapa de Pendiente con valores predeterminados</i>	31
Ilustración 8. <i>Mapa de Pendiente Reclasificado Tabla 3.</i>	31
Ilustración 9. <i>Mapa de Orientación del Terreno predeterminado</i>	32
Ilustración 10. <i>Mapa de Pendiente del Terreno Reclasificado Tabla 4</i>	33
Ilustración 11. <i>Mapa Ponderado de Pendiente y Orientación del Terreno.</i> ...	34
Ilustración 12. <i>Ortografía Aérea del Área de Estudio.</i>	34
Ilustración 13. <i>Mapa de Análisis de Cobertura Vegetal NDVI.</i>	35
Ilustración 14. <i>Mapa de Análisis de Susceptibilidad de cobertura vegetal</i>	36
Ilustración 15. <i>Mapa de Aproximación de Ríos.</i>	37
Ilustración 16. <i>Mapa de Aproximación de Centros Poblados.</i>	38
Ilustración 17. <i>Mapa de Aproximación de Vías</i>	38
Ilustración 18. <i>Mapa de Aproximación de Estación de Bomberos.</i>	39
Ilustración 19. <i>Mapa de relación centros poblados con eventos históricos.</i> ...	40
Ilustración 20. <i>Puntos críticos de alta susceptibilidad.</i>	41
Ilustración 21. <i>Mapa General de aproximación de riesgo territorial.</i>	42

Lista de tablas de contenido

Tabla 1. <i>Áreas de conservación de la parroquia Esmeraldas- Esmeraldas.</i> ..	21
Tabla 2. <i>Características de pendientes en Esmeraldas.</i>	21
Tabla 3. <i>Rangos reclasificación MDT del Riesgo Territorial.</i>	24
Tabla 4. <i>Rangos propuestos para el Riesgo Territorial de Orientación.</i>	24
Tabla 5. <i>Rangos propuestos para la reclasificación del combustible vegetal.</i> 25	
Tabla 6. <i>Rangos propuestos para la reclasificación de la Distancia Euclidiana para cobertura de Ríos.</i>	26
Tabla 7. <i>Rangos propuestos para la reclasificación de proximidad de zona de influencia Poblacional.</i>	26
Tabla 8. <i>Rangos propuestos para la reclasificación de proximidad de zona de influencia Red Vial.</i>	26
Tabla 9. <i>Rangos propuestos para la reclasificación de proximidad de zona de influencia Estación de Bomberos.</i>	26
Tabla 10. <i>Puntos focales con mayor incidencia de incendios forestales.</i>	46

RESUMEN

Como parte de la gestión de riesgo y el ordenamiento territorial la presente investigación a través de los SIG y análisis espacial multicriterio estima aproximaciones preliminares de riesgo territorial de incendios forestales en las parroquias Vuelta Larga, Esmeraldas, Tachina y Camarones del cantón Esmeraldas; la metodología aplicada analiza información histórica (2012-2020), información vectorial-Ráster proporcionado por el SINAT (2014-2016), con lo cual se realiza el análisis independiente de condiciones orográficas de pendiente y orientación del terreno a partir del MDT, cobertura vegetal a través de la combinación de bandas NDVI para la identificación del combustible vegetal, y variables de proximidad de distancia Euclidiana de ríos, centros poblados, vías y estación de bomberos; representados en mapas temáticos con reclasificación bibliográfica que determinando los niveles de riesgo con pronósticos de prevención de eventos de incendios, Los resultados de la investigación recopilan 171 eventos de origen antrópico de negligencia por presión de núcleos urbanos y agropecuarios, afectando un estimado de 341 ha, los datos arrojan probabilidades altas en zonas con inclinación de pendiente mayor a 30° con Orientación Suroeste - Noroeste que representa el 32,5% del área de estudio, en zonas con vegetación densa y pastizales con alta influencia a los centros poblados en un 58,3% en zonas de incurrencia histórica.

Palabras claves: Incendios forestales, Esmeraldas, Sistemas de información geográfica (SIG), imágenes orto rectificadas, Modelo Digital del Terreno (MDT), pendiente-orientación del terreno, cobertura vegetal y uso de suelo, Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI),

ABSTRACT

As part of risk management and land use planning, this research through GIS and multi-criteria spatial analysis estimates preliminary approximations of the land risk of forest fires in the Vuelta Larga, Esmeraldas, Tachina and Camarones parishes of the Esmeraldas canton; The applied methodology analyzes historical information (2012-2020), vector-Raster information provided by SINAT (2014-2016), with which the independent analysis of the orographic conditions of slope and terrain orientation is carried out from the DEM, vegetation cover Through the combination of NDVI bands for the identification of vegetable fuel, and approximate variables of Euclidean distance of rivers, populated centers, roads and fire station; represented in thematic maps with bibliographic reclassification that determine the risk levels with predictions of fire prevention, The results of the research compile 171 events of anthropic origin of negligence due to pressure in urban and agricultural centers, affecting an estimated 341 ht, The data show high probabilities in areas with a slope greater than 30° with a South-East-Northwest Orientation that represents 32.5% of the study area, in areas with dense vegetation and grasslands with high influence in populated centers in 58.3% in areas of historical incursion.

Keywords: Forest fires, Esmeraldas, Geographic information systems (GIS), orthorectified images, Digital Terrain Model (DTM), slope-orientation of the terrain, vegetation cover and land use, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI),

1. CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.

1.1. Presentación del tema de investigación.

Los incendios forestales durante millones de años han surgido como procesos naturales moldeadores del paisaje y de evolución que se constituye en diversidad para los ecosistemas inherentes a regiones específicas, regidos a factores de ubicación geográfica y estacionalidad (1), aproximadamente el 30 % de los incendios incurre en un factor clave para su ignición como lo es la biomasa terrestre (2).

La acción de combustión por elementos de composición vegetal sea para ecosistemas de bosque tropicales, templados caducifolios o taiga-boreales corresponde a procesos natos de ignición como erupciones volcánicas, fricción de piedras y rayos atmosféricos (3); la presencia humana ha variado la ignición natural por factores antropogénicos resultado de negligencias agropecuarias, colillas cigarrillos, corriente eléctrica, y acciones pirómanas (4), siendo la piromanía una de las causas de mayor frecuencia para la ignición de los incendios forestales, estas son características de trastorno psicológicas por persuasión del fuego (5).

En la actualidad estos incendios en mayor incidencia son provocados por el ser humano; con lo que en su concepción la propagación del fuego se da sin control por parámetros meteorológicos (temperatura, velocidad/dirección del viento, heliofanía) y características topográficas del terreno, incurriendo en perturbaciones para la biodiversidad por su intensidad y duración (6,7).

Desde el enfoque de la Ecología estos procesos son viablemente sostenibles en términos de evolución de especies y desarrollo de las plantas (8), afirmándose claramente que el fuego es parte provechosa para los procesos de germinación de semillas, al liberarse después de la descomposición la resina protectora, (9) pero se han visto alterados con la presión al medio por las actividades humanas, siendo

insostenibles desde parámetros socioeconómicos reflejados en la fragmentación del medio natural con la presencia urbanística.

Por tanto, el impacto que generan los incendios forestales en el ambiente es significativo, debido a que a nivel ecosistémico tiene afectaciones a componentes bióticos y abióticos, que provocan la pérdida de vegetación, afectaciones a la fauna por procesos de desplazamientos migratorios o de forma crítica la extinción de las especies (10,11), así como también a los componentes abióticos, las cenizas y el humo generado en la propagación, modifica las condiciones del aire y cuerpos de agua por sedimentos (12).

El presente estudio determina la susceptibilidad e identifica el riesgo por incendio forestal para su prevención, mitigación y gestión territorial, mediante el análisis espacial y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en variables ambientales, orográficas y vulnerabilidades sociales, considerando que las imágenes satelitales y los SIG brindan una fuente confiable para potenciar la planificación de la distribución espacial de los recursos forestales; por ello la disposición de mapas temáticos ofrece una aproximación para los criterios de políticas públicas de seguridad y el manejo integral de la gestión de riesgo (13,14)

1.2. Planteamiento del problema.

Los factores que originan los incendios forestales como menciona Yadav (15) están definidos por condiciones de la salud vegetal y la disposición hídrica que determinan su combustión. El material de combustión es un componente básico para el preludeo del fuego, regido por la cualidad de la biomasa en inflamarse ante una ignición de una fuente de calor. Las técnicas de intersecciones planares que categorizan mediante criterios morfométricos de diámetro, tamaño, peso y estado vegetal (16), corresponden a patrones temporales que determina el retardo de la combustión tales como el comportamiento de la inflamabilidad, la deshidratación de materias con vigor o residuos vegetales (17).

El riesgo toma contextualización para la población como eventos insostenibles, producto de la transformación urbanística y la implementación de los sistemas económicos industriales, causando presión en el medio natural (18). La deforestación incrementa en gran manera la sequía y la inestabilidad en la disposición hídrica del territorio, lo que sumado al escenario del cambio climático pone en vulnerabilidad la biodiversidad (19).

En el contexto del cambio climático, la agricultura en el Ecuador desencadena la deforestación esta acción antrópica altera la ecología del fuego, "en el periodo 2014-2016 la tasa bruta anual promedio de la ciudad de Esmeraldas fue de 13 665 ht/año, de una cobertura inicial de bosque nativo de 808 375 ht " (20) lo que proyecta un aumento significativo de la pérdida de la flora en el territorio Pese que Esmeraldas presenta una humedad relativa media en los años 2014 al 2019 del 80% (21), para los periodos donde la precipitación es menor, se vuelve potencial al presentarse una biomasa de materia residual en rangos de "diámetros finos (<0.6 mm) a grandes de (>7,5 mm) " (22), lo que presenta un riesgo de inflamabilidad en épocas de menor humedad, teniendo compuestos orgánicos de combustión como hojas secas, ramas delgadas, secreciones de resina o ceras.

Los bosques de forma natural liberan mediante procesos bioquímicos compuestos orgánicos volátiles que reaccionan con otros gases y se vuelve inflamable ante la mezcla de oxígeno atmosférico, sumándose la reflectancia de la luz solar en la generación de un conato de incendio (23). El comportamiento de los regímenes de mineralización y fijación de los nutrientes por afectaciones del fuego, determina su periodicidad de resiliencia; el fuego en periodos cortos puede modificar los ciclos de carbono nitrógeno y los procesos de piro- mineralización del fosforo en las característica del suelo y plantas por la distribución de lixiviados de las cenizas transportados por los flujos de aire; que a escalas de tiempo cortos, el fuego puede alterar directamente el equilibrio y el ciclo de nutrientes al volatilizarse (24).

La pérdida de cubierta vegetal por incendios puede alterar a los procesos biogeoquímicos y a cuerpos hídricos en efectos de contaminación térmica, con el aumento de la temperatura, el agua incrementa la incidencia de la vaporización. Las afectaciones en la calidad de agua por los residuos forestales de cenizas aceleran la erosión el suelo, por los sedimentos post incendio en periodos cortos menores a un año del incendio, influenciados por la intensidad de los eventos de precipitación de la misma periodicidad del evento (25). La presencia de los óxidos es leve, pero al estar en contacto con los productos residuales de la combustión, se genera una reacción con el Dióxido de Carbono y fluidos de agua, dando como resultado final sales de bicarbonato que son absorbidos por los tejidos vegetales.

La combustión de materia vegetal tiene impactos graves a la estabilidad de la salud en los seres humanos, las investigaciones toxicológicas y epidemiológicas relacionan de forma directa a factores de combustión vegetal. El 10 % de la tasa de mortandad es por contaminación atmosférica por inhalación de la quema de biomasa, lo que representa globalmente "180 000 muertes" estimadas cada año ante este escenario (26).

Por consiguiente, se plantean la pregunta de investigación, ¿Cuáles son los niveles y zonas de susceptibilidad de riesgo por incendio forestal en la ciudad de Esmeraldas?

1.3. Justificación.

La ignición de los incendios forestales por actividades agropecuarias y de expansión urbanística tiene una alta incidencia por la incineración del material vegetal considerado también como residuo forestal, que a pesar de ser materia seca no viva, contienen aproximadamente " 35 % oxígeno y presencia del carbono con más del 50%, que son elementos básicos para la generación de incendios" (15) y se extienden con mayor magnitud en condiciones de "biomasas homogéneas y de grandes extensiones" (27).

A nivel socioeconómico las pérdidas humanas y de infraestructuras, que se rigen de procesos recurrentes de ignición en remoción del pasto o limpieza de las expansiones urbanas, es fuente clara en la degradación de los recursos forestales, pero que pueden ser evitados con procesos de prevención, que conlleva una sistematización de etapas importante como la investigación de las zonas susceptibles, la caracterización de combustibles forestales, la planificación de las zonas y la gestión integral de riesgo (28).

Como parte de la gestión, el Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias (SNGRE) propone los lineamientos de ordenamiento territorial enfocado a la prevención y mitigación de las amenazas naturales o de origen antrópico para alcanzar los niveles de bienestar social, que se conjugan en la reducción de los múltiples riesgos y a la consolidación de la resiliencia post evento (29).

El presente trabajo de investigación está enfocado a fortalecer la reducción del riesgo con la zonificación de zonas susceptibles en la ciudad de Esmeraldas, para preservar los recursos forestales, y el área de conservación adyacentes de manglar, matorral seco de la costa y bosque húmedo tropical. Garantizar un territorio seguro de incendios forestales es parte del desarrollo para los diferentes niveles de gobierno y la comunidad, por lo cual la sostenibilidad de los recursos forestales es un eje de planificación y manejo fundamental, considerando la alta biodiversidad (hotspot) del Chocó en Esmeraldas, zona que representa una alta prioridad de conservación de bosques tropicales (30).

La gran importancia de los bosques tropicales que representan el 55 % de los bosques en el planeta cumplen un rol primario en la absorción de dióxido de carbono y aloja alta biodiversidad en flora y fauna silvestre (31). Los bosques y manglares mitigan el 23 % de las elevaciones de temperatura de +2°C para las proyecciones a 2030 (32), las funciones de las hojas absorben grandes porcentajes de albedo por las características fenotípicas de pigmento oscuro al reducir la radiación solar e

impidiendo la evapotranspiración que es un parámetro crucial en la ignición de los incendios (33).

El humo de los bosques incinerados, encabezan afectaciones al Cuerpo de bomberos por la supresión y el dominio del riesgo que conlleva a la defunción de tejidos vasculares y afectaciones a la membrana mucosa. Los bomberos tienen significativas afectaciones concurrentes a enfermedades cardiopulmonares por el material particulado (PM) 2.5 μg y 10 μg que ingresa al aparato respiratorio a pesar de tomarse medidas de prevención con máscaras de protección (34).

Con la investigación se garantiza un enfoque integral a la preservación de los recursos naturales con la implementación del análisis espacial multicriterio-SIG y representa visualmente aproximaciones de riesgo territorial con categorización de las escalas determinados bibliográficamente para la prevención y gestión de riesgo.

1.4. Objetivos.

1.4.1. Objetivo General.

Determinar y representar aproximaciones del riesgo por incendio forestal en la ciudad de Esmeraldas mediante el análisis espacial multicriterio.

1.4.2. Objetivo Específico

- Recopilar información satelital de la composición vegetal-orográfica, vulnerabilidad social e histórica para el análisis espacial de la ciudad.
- Estimar aproximaciones del riesgo territorial mediante el análisis Ráster (orografía, cobertura vegetal) y el análisis vectorial de Distancia Euclidiana.
- Reclasificar los datos obtenidos para el diseño de mapas temáticos con pronósticos de prevención y gestión de incendios forestales.

2. CAPÍTULO II: MARCO TEORICO.

2.1. Bases Teóricas y Científicas.

Las amenazas son identificadas como los factores que presentan una vulnerabilidad de peligro para a la integridad física, bienes o infraestructuras y daños ambientales, sean estos de origen estocásticos de fenómenos naturales o de actividades antrópicas por los diferentes usos de suelo (29). Por lo mencionado es fundamental estructurar mecanismos de prevención que está representado por todas aquellas actividades y criterios enfocadas a soslayar riesgos existentes en un área de riesgo a desastres, esto se deriva a definir como aquella probabilidad de daños para la sociedad en una periodicidad específica, regida directamente a la capacidad de respuesta a las susceptibilidades o probabilidad de riesgo de las amenazas (29,35).

Los bosques tienen un dinamismo con la diversidad biológica que ofrece servicios ecosistémicos para el beneficio de todos los organismos presentes, que para el ser humano son fuente esencial del bienestar medio ambiental (36). La cobertura vegetal tropical representa el 1200 Tn de materia vegetal seca por año que libera más de 550 Tn/año de carbono y 60 TnC/año. La inflamación de la materia vegetal contextualiza un incendio forestal que es un proceso del cual consta de etapas de inicio o ignición, la combustión real (presentes los procesos de hidrólisis, la oxidación, la deshidratación de la biomasa) y la combustión lenta; es en esta última donde se generan ciclo incompleto de la combustión regidos por el diámetro de la materia vegetal y emiten gases nocivos como los monóxido -Dióxido de Carbono, gas metano y compuestos inorgánicos volátiles (COV) (16).

Los efectos sobre el medio ambiente en la productividad primaria, influye directamente a la función de la fotosíntesis, reduciendo los procesos de intercambio catiónico y estimula prematuramente la senescencia de las paredes celulares de las plantas (37). Del mismo modo, participan activamente en numerosas reacciones, en la troposfera y en la estratosfera, contribuyendo a la formación del smog fotoquímico y al efecto invernadero (37). En la salud humana los efectos ante la exposición del

ozono incluyen: irritación de ojos y vías respiratorias; astenia, cefaleas; alergias; disminución de la función pulmonar y lesiones al hígado, riñones, pulmones y sistema nervioso central (15).

La ocurrencia de los incendios forestales se expresa en la probabilidad de ignición, y van a depender directamente de variables de las condiciones topográficas y climatológicas (38) el periodo de humedad del territorio influye en la densidad o abundancia de la cobertura vegetal, que a su vez es sustancial para la combustión de materia orgánica residual que se intensifica en una alta ocurrencia en los posteriores periodos de poca humedad (39).

Haciendo énfasis en la orografía que representa las condiciones topográficas, va a determinar la propagación de los incendios en su velocidad y dirección por efectos de vientos orogénicos (40) la distancia desde los asentamientos es un factor esencial para la probabilidad de incendio sea por centros poblados o por actividades de producción agropecuaria. Por ello, el Índice Orográfico analiza las variables de la pendiente y orientación del terreno, en valores porcentaje y dirección teniendo como referencia que influyen en la propagación del fuego.

El Modelo digital de elevación (MDE) con el avance de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han aportado significativamente la toma de decisiones de estudios y proyectos a fines con la interacción de los relieves o topografías del área de estudio, representados en mapas de sombra o hillshape, que por consiguiente, estas herramientas tecnológicas representa información visual y temática, de tal forma que se digitaliza, permitiendo tener una perspectiva de la geomorfología o características de elevaciones, que relaciona las variables naturales (vegetación, cursos hídricos, etc.) y sociales en los diferentes usos de suelo, mediante métodos de análisis espacial y cartográficos (41).

Los SIG proyectan probabilidades de eventos estocásticos y condiciones antrópicas para el mapeo del riesgo por incendios forestal, el cual especifica aproximaciones

de probabilidad de estos eventos adversos con consecuencias de pérdidas por la interacción del medio ambiente y las vulnerabilidades poblacionales (42); ArcGIS Desktop 10.8 es un software procesamiento de los SIG, el cual posee métodos sistemáticos para el análisis espacial, y conjugan aplicaciones integradas a fines como ArcMap, ArcCatálogo y ArcToolBox, para la edición y análisis de mapas. El ArcToolBox contiene herramientas de geoprocésamiento de software integrados de ArcView y ArcEditor (43).

Las extensiones de ArcGIS como Spatial Analyst provee un amplio rango de poderosos elementos para modelamiento espacial y análisis que le permiten crear, consultar, mapear y analizar datos Ráster basados en celdas que permite realizar análisis integrados Vector (líneas, puntos y polígonos) / Ráster (celdas píxel de imágenes). El Álgebra de mapas es un "paquete que integra lenguajes de programación Python y ArcPy para el geoprocésamiento de los datos de información geográfica", tales como la Distancia Euclidiana "calcula proximidades entra las celdas de origen, permitiendo dar celdas hasta el origen próximo" (44). Con lo cual la herramienta de *Weighted Overlay* (Superposición Ponderada) "agrupa o pondera Varios Ráster según los criterios técnicos de investigación" (43). El ArcGIS 3D Analyst permite a los usuarios una perspectiva visual sobre los datos de la superficie, por el cual crea imágenes de datos Ráster y vectoriales del área a investigar (43).

El índice de Verdor Normalizado (IVN) es un estimador del estado de la vegetación que relaciona valores espectrales de cobertura vegetal y las clasifica según los rangos fenológicos y condiciones ambientales (45). Junto con ello el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) proporciona un análisis de la salud vegetal que es un factor ante los escenarios de los incendios forestales (46).

2.2. Antecedentes.

La recopilación histórica de Lozada (47) recopilan datos de incurrancia de incendios forestales en Esmeraldas donde el 80 % son emergencias atendidas por negligencia, demarcando zonas de alta susceptibilidad como sector Las Palmas, Mina de Piedra, Tercer Piso, Los Puentes, Tachina, etc., mayores a 5 eventos registrados. El incendio forestal es un factor que suma al cambio climático; estudios de Yadav y Wolosin diagnosticaron que en un periodo "100 años los incendios forestales han aumentado notablemente; prediciendo en panoramas futuros por efectos del mismo el incremento de las incurrancias de incendios en un 20% de las emisiones de CO₂ netas". (48)

Estudio realizado por Yadav indica que el 20% de las emisiones mundiales netas de Dióxido de Carbono (CO₂) corresponde a los incendios forestales, de las cuales la región tropical de Sudamérica influye 1/6 en estas emisiones (15) por escenarios que se han expresado en la distribución de la biomasa y áreas estructuradas de asentamientos humanos. Popkin estima la transcendencia de los bosques tropicales en el contexto global, estos ecosistemas son fundamentales en la captura de las emisiones de CO₂ por combustibles fósil en un "5% anual (49).

El estudio de Ghorbanzadeh en Irak en el periodo 2012-2017 indicó que el origen de los incendios se daba de forma descontrolada por el uso axiomático del fuego para el control de macroorganismo, insectos y hongos (42). La deforestación por incendios va a depender de forma directa de las condiciones meteorológicas, la heliofanía que expresa la cantidad de radiación, la orografía, la disponibilidad hídrica y asentamientos poblacionales (22). La teledetección y el análisis espacial ha demostrado un amplio uso en el diagnóstico de la cobertura de combustión de biomasa en el planeta, "el 15 % es para Sudamérica" (15), que se catalogan históricamente como áreas de biocombustión y emisores de gases químicamente radiactivos como monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O) y metano (CH₄) y partículas halógenas, que desestabilizan los

ecosistemas (50). Los avances de las tecnologías geográficas han contribuido al monitoreo y diagnóstico de la cobertura vegetal a través de los sensores remotos, como la determinación de la composición florística y el uso del suelo (51).

La utilización de los SIG es una herramienta trascendental en el desarrollo de diferentes métodos para el mapeo y zonificación de la vulnerabilidad potencial de incendio, en Irak y Australia como menciona Adab y Sanabria se asignó la ponderación de datos de factores físicos topográficos y los factores meteorológicos de precipitación, temperatura y evapotranspiración mediante el índice MacArthur Forest Fire Danger Index (FFDI) (52), que es una herramienta que permite calcular y ponderar las variables del clima y los datos de la combustión vegetal para categorizar las zonas vulnerables (53); de igual manera los SIG han demostrado gran versatilidad en conjunto con otros instrumentos de análisis, metodología estadística y análisis multicriterio, como lo exterioriza el estudio de Kuan Kreng, Tailandia, donde la relación de los SIG con técnicas Analytic Hierarchy Process (*AHP*) para el análisis cuantitativo que interrelacionan parámetros meteorológicos, topográficos y aspectos sociales históricos sobre incendios forestales (40).

Las características orográficas del terreno con los Modelos Digitales (MDT) que representa la distribución espacial de altura, pendiente y orientación, son parámetros fundamentales para el análisis de la vulnerabilidad (41); la utilización de los SIG y los índices de combustión a partir de asentamientos, cobertura vegetal y masas de agua, se correlacionó en el estudio de Konkati, que tuvo como resultado 87% de exactitud de los análisis contrarrestados con los datos espaciales estimados versus la evaluación in situ de las áreas con mayor susceptibilidad de incendios (23). You et al. en la región de Fujian, China presenta la aplicación de criterios de evaluación y zonificación del riesgo utilizando información histórica que corresponde a inventarios de recursos primarios forestales para relacionar las interacciones de usos del suelo que determinan la inflamación vegetal (54).

Estudio de Stefanidou (55) utiliza los SIG con datos espaciales de imágenes satelitales, aplicando metodologías de índice de peligro, mediante la combinación de múltiples variables orográficas y biofísicas para estimar predicciones de incendios en mediano plazo con rangos de periodicidad semanal. La orientación en cuanto a las características del terreno tiene una participación en la susceptibilidad de los incendios, las elevaciones altas con dirección Norte presentan un riesgo menor, a diferencia de las zonas bajas con dirección sur y suroeste donde la incidencia de incendios forestales es mayor (56) .

La utilización de datos históricos como variable para la estimación de riesgo es un enfoque que ha tenido gran relevancia para la designación de zonas susceptibles, como se mencionan en el estudio de Pereira en Grecia (57); del mismo modo Martin et al. (58) argumenta la relevancia de los SIG en estos procesos, en Nepal la utilización de datos con criterios de la cobertura vegetal, datos meteorológicos como temperatura, y la influencia espacial de los asentamientos poblacionales mediante recursos MODIS, es fundamental para determinar y generar mapas de riesgo (59).

En Mato Grosso-Brasil, cuya composición vegetal corresponde a bosques tropicales, su incidencia de riesgo forestal es de 55%, para su estimación se consideró información de uso de suelos y características topográficas; que se correlacionaron datos de frecuencias de registro de incendios en puntos críticos identificados (60).

Investigación en Tarragona, de Rodenes (61) estimó el riesgo de incendios forestales por la ubicación de núcleos urbanos, parques de bomberos, vialidad forestal, cuerpos hídricos, condiciones de salud vegetal y las condiciones topográfica de pendiente-iluminación, menciona a su vez que la distancia de las estaciones de bomberos es un factor que reduce el riesgo en las zonas susceptibles a este evento, por ello considera fundamental el conocimiento de las condiciones topográficas y la biomasa de combustión alta para el sistema de control y vigilancia.

2.3. Marco Legal.

Los incendios forestales en cuanto a la gestión de riesgo según la Constitución del Ecuador en su Art. 389 especifica los fundamentos a considerarse como ejes de acción para preservar la integridad física de las personas, colectivos y derechos de la naturaleza en reducir las susceptibilidades de las amenazas zonificadas en un territorio específico, sean estos de origen natural o de acciones humanas "mediante la prevención de los riesgos analizados, la mitigación y su recuperación económica, social, y ambiental" (62). La competencia exclusiva de los GAD's para la gestión de riesgo por incendios forestales según el Art.264 inciso 13 está contemplada exclusivamente para los gobiernos municipales con mecanismos de "prevención, protección y socorro " (62), mismo artículo que se expresa en el Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD) Art.140 que indica que la entidad correspondiente a la gestión riesgo por incendios forestales es el Cuerpo de Bomberos con ámbitos de autonomía administrativa, operacional y financiera ante estos eventos (63).

El cuerpo de Bomberos por medio de la Ley de Defensa Contra Incendios con registro oficial No. 815 contempla en su Art.1 la competencia de esta Institución con la interrelación Municipal y del Ministerio de Bienestar Social actual Ministerio de Inclusión Económica y Social (MIES) las diferentes estructuras generales para la organización administrativa, operativa y financiera del cuerpo de Bomberos (64).

La entidad encargada a nivel Nacional de la gestión de Riesgo es el Servicio Nacional de Gestión de Riesgo y Emergencias (SNGRE) que articula en su Art.1 del Decreto Ejecutivo 1670, Registro Oficial 578 (65) cuya estructura organizacional está enfocado a identificar, analizar, prevenir y mitigar las diferentes amenazas de riesgo para el apoyo de los GAD's municipales (66).

El Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) que el Ecuador está suscrito, se vincula al área a determinar las susceptibilidades de riesgo por su alta biodiversidad del territorio al ser zona de influencia del Chocó y de los ecosistemas frágiles en la

parte alta de manglar, como lo resalta el Art. 8 en los incisos d, e y f y Art.10 inciso c se detalla las acciones de protección para el patrimonio natural, promoviendo el desarrollo sostenible en las actividades de uso del Territorio para su ordenamiento ecológico (67).

El Código Orgánico del Ambiente (COA), entre los objetivos referenciados en el Art.3 se menciona en el inciso 4 los fundamentos del CBD en cuanto a la preservación del medio ambiente, así como también el inciso 7 del mismo artículo expresa las medidas de prevención para minimizar los impactos ambientales. Como enfoque central del Buen Vivir, el Art.5 detalla los ámbitos de prevención y control de los recursos naturales en su inciso 6, por lo cual se proyecta en el inciso 12 a la implementación de programas, planes o medidas para reducir las vulnerabilidades que involucra aspectos socioeconómicos y ambientales (68).

En cuanto a las sanciones por igniciones antrópicas de los incendios forestales el Código Orgánico Integral Penal (COIP) en su Art. 246 menciona las medidas sancionatorias a los infractores, sean estos por diligencias por actividades agrícolas o acciones pirómanas, la pena privativa de libertad en periodicidad de uno a tres años (69).La Ordenanza Municipal de seguridad y prevención contra incendio para propiedades agrícolas, forestales, ganaderas y ciudadanía en general, prohíbe en su Art.20 la quema de menor o gran escala de maleza, rastrojos, pastizales, bosques y todo tipo de vegetación, cuyas practicas genere incendios forestales en mencionadas propiedades ubicadas en la jurisdicción del territorio cantonal, la sanción por su incumplimiento según el Art.38 es de dos salarios básicos unificados, de acuerdo con la gravedad de la falta.

3. CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1. Área de Estudio.

El área de estudio comprende a las parroquias rurales de Esmeraldas, tales como Vuelta Larga, Esmeraldas, Tachina y Camarones, considerando la cobertura de adquisición de datos por el Ministerio de Agricultura y Ganadería, a través del Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica, en su plataforma SIGTIERRAS, abarcando un área de investigación de 36881 ha.

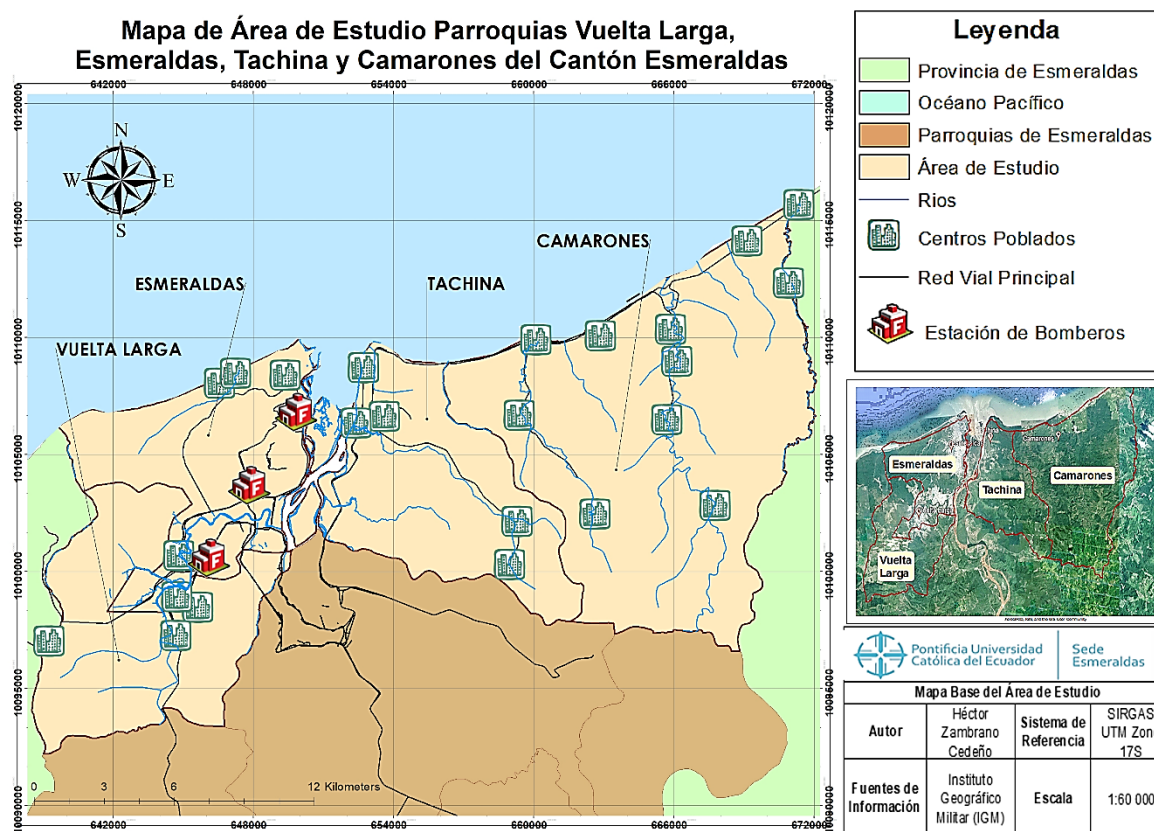


Ilustración 1. Mapa de Área de Estudio Esmeraldas

3.1.1. Localización y superficie.

Dadas sus condiciones climáticas, posición fisiográfica, morfología y estado evolutivo; en el territorio provincial existen un sin número de tipos de suelo y como consecuencia condiciones edáficas variables que a su vez le han permitido el desarrollo de zonas de vida y ecosistemas múltiples. Esta alta variabilidad no

obstante está marcada por la presencia de suelos aptos para la agricultura y la ganadería.

Esmeraldas por sus condiciones climatológicas y geográfica presentan condiciones potenciales para el desarrollo de la agricultura, así como también potencialidades de pesca y acuicultura que a su vez las actividades de uso generan presión a los ecosistemas y recursos naturales, por lo cual se registran ecosistemas frágiles dentro del área de estudio (70).

Área Protegida	Cobertura natural	Porcentaje del Cantón	Prioridad de conservación MAE
Refugio de Vida Silvestre Manglares del Estuario Río Esmeraldas	242,6 ha	0,0146 %	Alta
Bosque de segundo orden del BIMOT	32, 18 ha	0,012 %	Alta
Bosque nativos circundante a la Refinería Estatal	32,1 ha	0,010 %	Alta
Bosque protector de Balao	4216, 3 ha		Mediana

Tabla 1. Áreas de conservación de la parroquia Esmeraldas- Esmeraldas. (70)

3.1.2. Orografía.

El área de estudio presenta pendientes y elevaciones con inclinación de hasta el 70 % como valor máximo que corresponden a pendientes abruptas, y el valor mínimo de 0 – 5 % a pendientes débiles (70).

Clasificación	Pendiente (%)	Representación en Esmeraldas
Pendientes débiles	0 - 5 %	14,90%
Pendiente regular	5 % - 12 %	2,60%
Pendiente irregular	12% - 25 %	4,60%
Fuertes - colinados	25 % - <50 %	18,30%
Pendientes fuertes	50 % - 70 %	20,20%
Pendientes abruptas	>70 %	36,90%

Tabla 2. Características de pendientes en Esmeraldas. (70)

3.1.2. Características biofísicas.

Es una región de clima tropical húmedo con rangos de temperaturas media anual superior a los 26° C, la humedad relativa superior es del 80%, los rangos de evapotranspiración oscilan en rangos de 700 a 1350 mm anuales (21,71).

Esmeraldas consta de los cuerpos hidrológicos principales que desembocan en el Océano Pacífico, los ríos Esmeraldas y Teaone, con la influencia de catorce microcuencas entre las principales Tachina, Mutile, Chigüé, Timbre, Magua (70,72).

El río Teaone se origina desde la reserva ecológica Mache-Chindul, cuya cobertura abarca las parroquias de Tabiázo, Vuelta Larga, Carlos Concha y en menor influencia en las parroquias rurales 5 de Agosto y Simón Plata Torres (70,71)

3.2. Descripción Metodológica.

Los Sistemas de Información Geográfica disponen de herramientas de geoprocésamiento esenciales para la gestión del medio ambiente mediante el análisis multicriterio en la identificación de zonas susceptibles a incendios forestales por medio del Índice de Riesgo del Territorio, con variables principales para su propagación como son el estado - salud vegetal y la orografía del área de estudio.

La presente metodología contempla el proceso sistemático multicriterio de 3 fases: la primera fase consta en la recopilación de información geográfica satelital (Vectorial y Ráster) de variables de cobertura vegetal, orografía, centros poblados, cuerpos hídricos, área de influencia de vías y proximidad de estaciones de bomberos. La segunda fase del trabajo contempla el análisis espacial con las diferentes herramientas de geoprocésos y junto con ello la reclasificación de imágenes mediante la revisión bibliográfica de rangos de escala por variable planteadas. Posterior a ello la fase tres pondera las diferentes imágenes de salidas resultado de los análisis geoespaciales en un rango de valores unificados según criterios de valoración de influencia de variables susceptibles a incendios forestales; y agrupa la información consenso ponderada para la determinación de aproximaciones de riesgo por incendio forestal en rangos de Índices de susceptibilidad.

3.2.1. Fase I. Recopilación de Información.

El Sistema Nacional para la Administración de Tierras (SINAT), dispone de información geográfica satelital sobre las características del suelo y los distintos usos de las actividades.

Los recursos para este proyecto corresponden a la adquisición de imágenes orto rectificadas a escala 1:5000 para mayor resolución de los pixeles para el análisis de la cobertura vegetal mediante los cálculos de geoprocésamiento de las imágenes, así como también los *Modelos Digitales de Elevación (MDE)*, la información histórica de eventos recopilada del cuerpo de bomberos y de medios de comunicación local.

3.2.2. Fase II. Procesamiento de imágenes mediante el Análisis Espacial.

3.2.2.1. Análisis Orográfico.

Las características topográficas del terreno influyen en la determinación de la propagación vertical de combustión, los valores de la pendiente van a caracterizar el nivel de peligro. Las curvas de nivel nos muestran las elevaciones del terreno, a partir del dato vectorial mediante el proceso de la TIN (*Triangular Irregular Network*) que permite el modelado de las superficies irregulares con el geoprocésamiento de algoritmo de Delaunay, el resultado es un Ráster de pendientes o *Modelo de Elevación del Terreno (MDT)*

La herramienta de ArcGIS, *Spatial Analyst Tools*, posee el análisis *Slope* que procesa la información Ráster del MDT para identificar la inclinación de la Superficie en porcentajes de Elevación que representa su alcance de 45° al 100%. Posteriormente, se reclasifica los resultados *Slope* con la propuesta según los criterios bibliográficos se propone categorías de rangos de pendiente como se indica en la **Tabla 3**, convirtiendo finalmente la nueva categorización a un Polígono con la identificación del riesgo por pendiente.

Valor de Índice	Rangos	Nivel de Riesgo
1	<5°	Muy Bajo
2	5° - 10°	Bajo
3	10° - 25°	Medio
4	25° - 45°	Alto
5	>45°	Muy Alto

Tabla 3. Rangos propuestos para la reclasificación MDT del Riesgo Territorial.

Valor de Índice	Rangos	Nivel de Riesgo
1	Este	Muy Bajo
2	Noreste	Bajo
3	Norte	Medio
4	Sur, Sureste, Oeste, Plano	Alto
5	Suroeste, Noroeste	Muy Alto

Tabla 4. Rangos propuestos para el Riesgo Territorial de Orientación.

3.2.2.2. Análisis de la cobertura vegetal.

3.2.2.2.1. Cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).

El *NDVI* es un índice utilizado en el manejo de los recursos forestales para determinar la salud vegetal, expresando rangos de verdor de la biomasa en el área de estudio, aprovechando la reflectancia de los pigmentos de clorofila.

$$NDVI = \frac{\text{Inflarajo Cercano} - \text{Banda Roja}}{\text{Inflarajo Cercano} + \text{Banda Roja}}$$

Ilustración 2. Fórmula NDVI para imágenes RGB. (73)

Partiendo de las imágenes orto rectificadas de Esmeraldas RGB, se utiliza la *Algebra de mapas (Map Algebra)* de herramientas de *Spatial Analyst Tools*, para realizar el cálculo del *NDVI* con el *Ráster Calculator*.

Los Índices de verdor (IVN) van a representar valores de rangos de entre 1 a -1, donde representan valores alto de radiación que refleja el aumento de la fotosíntesis y una cobertura vegetal saludable (74). **Ilustración 3.**

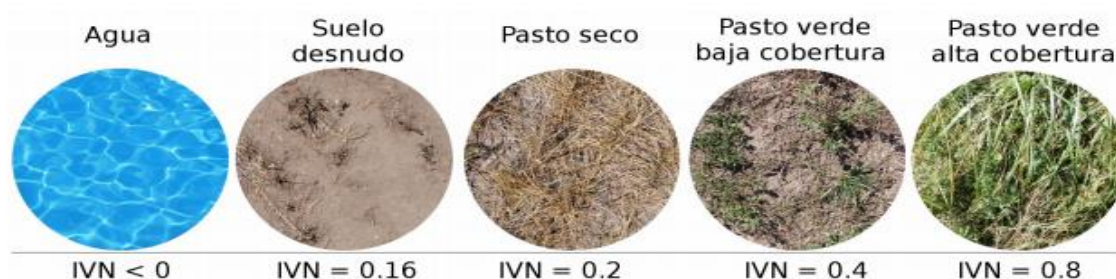


Ilustración 3. Clasificación de la cobertura vegetal con valores del Índice de Verdor. (74)

Para la reclasificación de datos de la característica de la cobertura vegetal se plantea la siguiente **Tabla 5.** para la identificación del combustible vegetal del suelo teniendo como referencia los valores del Índice de verdor convertida en Polígono.

Valor de Índice	Combustible vegetal Del suelo	Nivel de Riesgo
1	Agua	Nulo
2	Suelo	Bajo
3	Pasto Seco	Muy Alto
4	Pasto verde baja cobertura	Alto
5	Pasto verde alta cobertura	Moderado

Tabla 5. Rangos propuestos para la reclasificación del combustible vegetal. (74)

3.2.2.3. Cálculo de la Distancia Euclidiana de ríos, centros poblados, red vial y estación de bomberos.

El análisis de distancia Euclidiana analiza los espacios entre las celdas Ráster, es apropiada para la gestión de Riesgo, determina la distancia que se dispone a un cuerpo de agua cercano. Así como también en el análisis de la zona de interacción de las variables poblacional que influyen directamente la cobertura vegetal y es un factor para su ignición; con lo cual su identificación permite optimizar el manejo territorial ante eventos de peligro. Para su análisis utiliza se maneja desde la herramienta Spatial Analyst Tools/ Distantes/ Euclidean Distance. Considerando la reclasificación de datos se plantea las siguientes categorías:

Valor	Rangos de Proximidad de Ríos (metros)	Cobertura de gestión
1	0 – 100	Óptimo
2	100 – 500	Adecuado
3	500 – 1500	Aceptable
4	1500- 3500	Ineficiente
5	>3500	Muy Ineficiente

Tabla 6. Rangos propuestos para la reclasificación de la Distancia Euclidiana para cobertura de Ríos.

Valor	Rangos de Proximidad de Centros Poblados (metros)	Probabilidad de Peligro de Ignición antrópica de Incendios
1	0 – 1500	Muy Alto
2	1500 – 2500	Alto
3	2500 – 4250	Medio
4	4250- 6500	Bajo
5	>6500	Muy Bajo

Tabla 7. Rangos propuestos para la reclasificación de proximidad de zona de influencia Poblacional.

Valor	Rangos de Proximidad de zona de influencia Red Vial(metros)	Probabilidad de Peligro de Ignición antrópica de Incendios
1	0 – 500	Muy Alto
2	500 – 2000	Alto
3	2000 – 4000	Medio
4	4000 - 6000	Bajo
5	>6000	Muy Bajo

Tabla 8. Rangos propuestos para la reclasificación de proximidad de zona de influencia Red Vial.

Valor	Rangos de Proximidad de Estación de Bomberos (metros)	Capacidad de respuesta-mitigación de Incendios Forestales
1	<5000	Óptimo
2	5000 – 10000	Adecuado
3	10000-15000	Aceptable
4	15000-20000	Ineficiente
5	>20000	Muy Ineficiente

Tabla 9. Rangos propuestos para la reclasificación de proximidad de zona de influencia Estación de Bomberos (61)

3.2.3. Fase III. Ponderación de resultados del análisis espacial.

La superposición ponderada unifica las variables planteadas, los valores de ponderación son del 100 %, pondera las diferentes imágenes de salidas resultado de los análisis geoespaciales en un rango de valores unificados según criterios de valoración de influencia de variables susceptibles a incendios forestales. (**Anexo 5**)

3.2.4. Fase IV. Representación de mapas temáticos del peligro por incendios forestales.

La representación de mapas temáticos toma a consideración recursos de prevención y gestión de riesgo, mediante los geoprosesos de análisis espacial se categoriza en rampas de colores, la información vectorial de variables de proximidad, se georreferencian en coordenadas SIRGAS Zona 17, que por consiguiente son editados mediante el *Layout View* para visualizar los recursos y elementos del mapa temático.

4. CAPÍTULO IV: RESULTADOS

En la presente sección se presenta resultados visuales obtenidos mediante el análisis espacial del área de estudio, expresados en mapas reclasificados con escalas investigadas bibliográficamente representados en colores, y a su vez el cálculo del área de los resultados de las aproximaciones de riesgo territorial por las variables a mención.

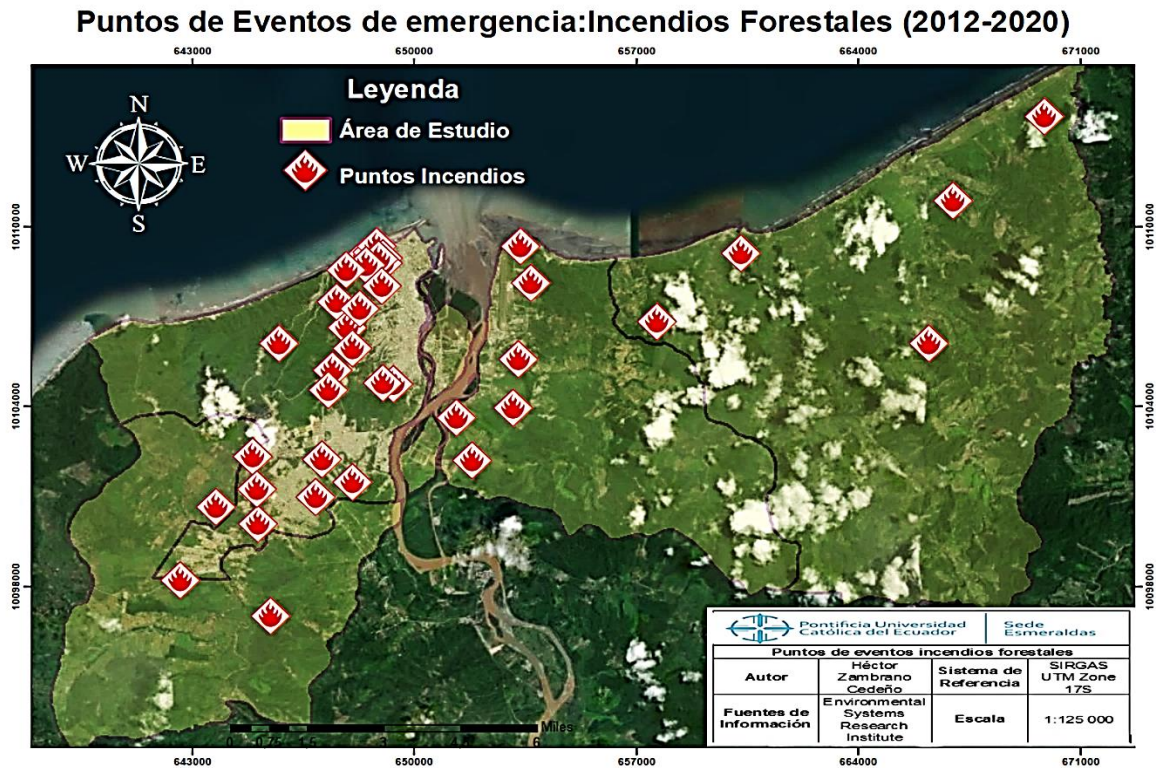


Ilustración 4. Puntos focales de incurrancia de incendios forestales.

Mediante investigación histórica se detalla la incurrancia de 171 eventos de emergencia atendidas de origen antrópico durante el periodo de 2012 al 2020 en el área de estudio, lo que ha representado un registro mayor a 341 ha afectadas, mayoritariamente en sector Noroeste y Sur de la Parroquia Esmeraldas, inferido por la presión urbana.

4.1. Análisis Orográfico.

4.1.1. Modelo Digital del Terreno (MDT).

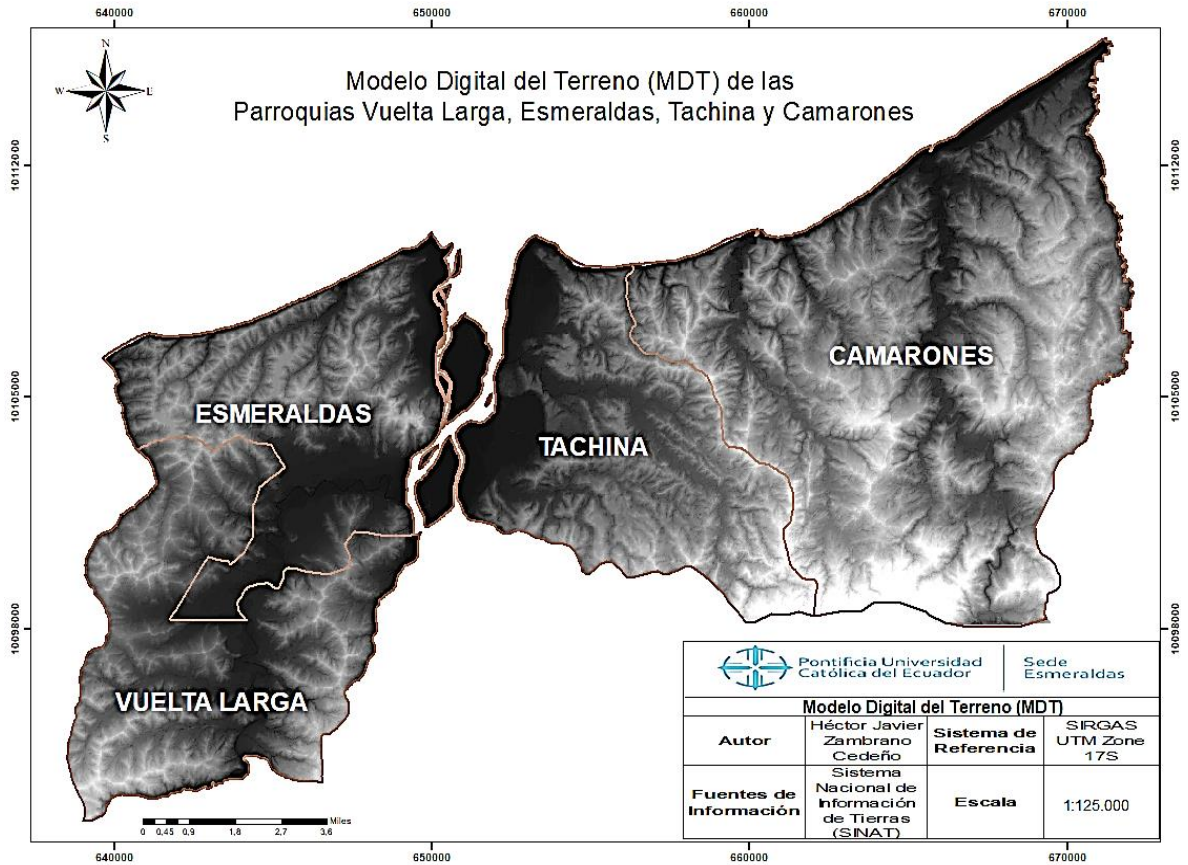


Ilustración 5. Modelo Digital del Terreno del Área de estudio.

El Modelo Digital del Terreno (MDT) es una información base para la estimación del riesgo territorial, puesto que refleja valores de la condición orográfica de elevación, pendiente y orientación del terreno, visualizándose en escala pancromática de oscuro a claro equivalente del nivel del mar 0 msnm a sus puntos de elevación.

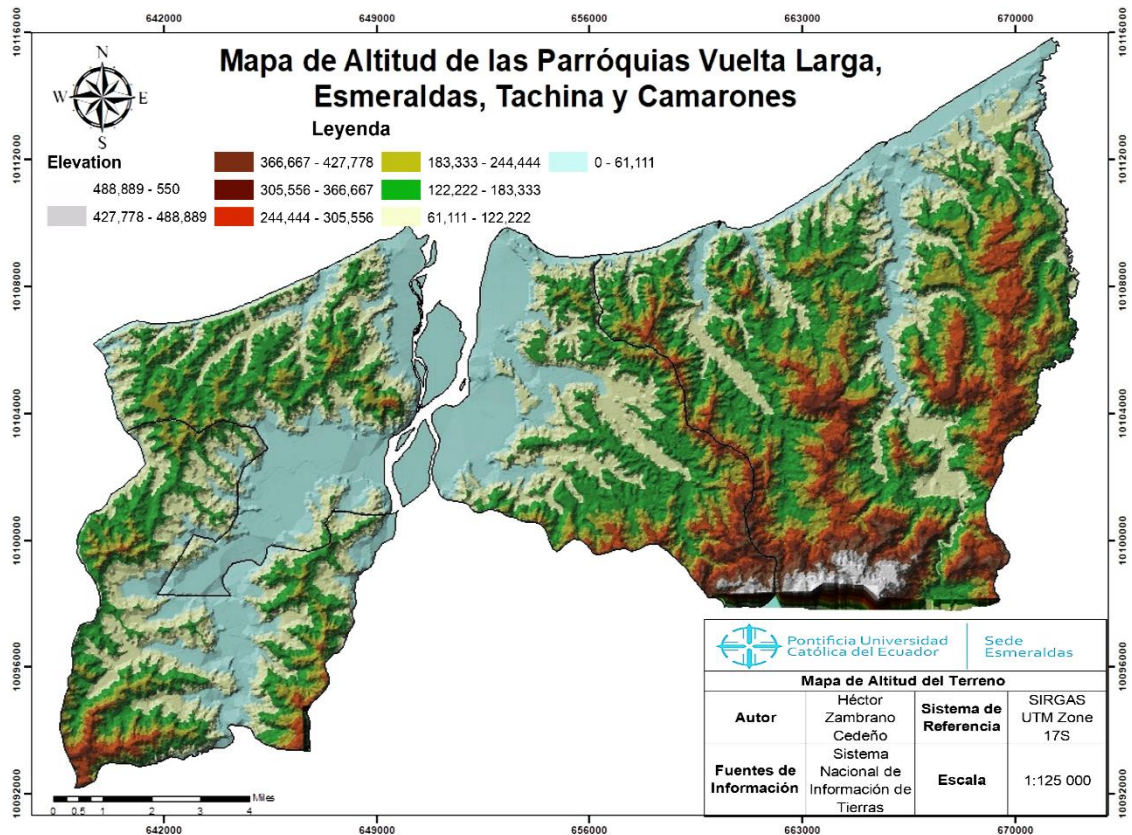


Ilustración 6. Modelo Digital del Terreno (MDT) del Área de estudio.

Pese a que la elevación no determina un factor para la ignición de los incendios directamente, se debe considerar por la influencia climática y de vegetación, este último a considerarse parte del análisis posteriormente que al relacionarse la altitud con la vegetación se tienen cambios de especies vegetales de acuerdo con su estratificación geográfica.

4.1.2. Análisis de Pendiente del Terreno.

Partiendo del MDT, la pendiente del terreno es una variable con influencia a los incendios forestales, representa la inclinación del terreno en grados, incidiendo en la frecuencia de conato de incendio por su velocidad propagación.

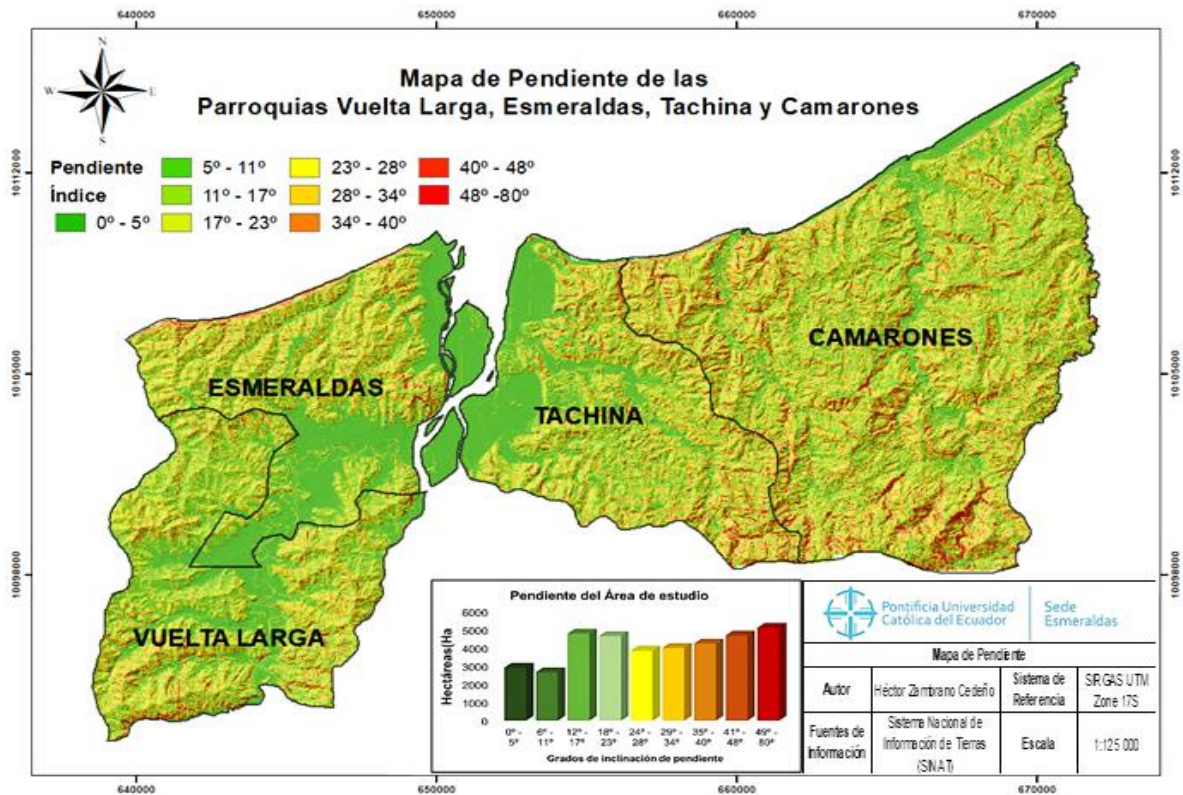


Ilustración 7. Mapa de Pendiente con valores predeterminados por ArcGIS 10.8.

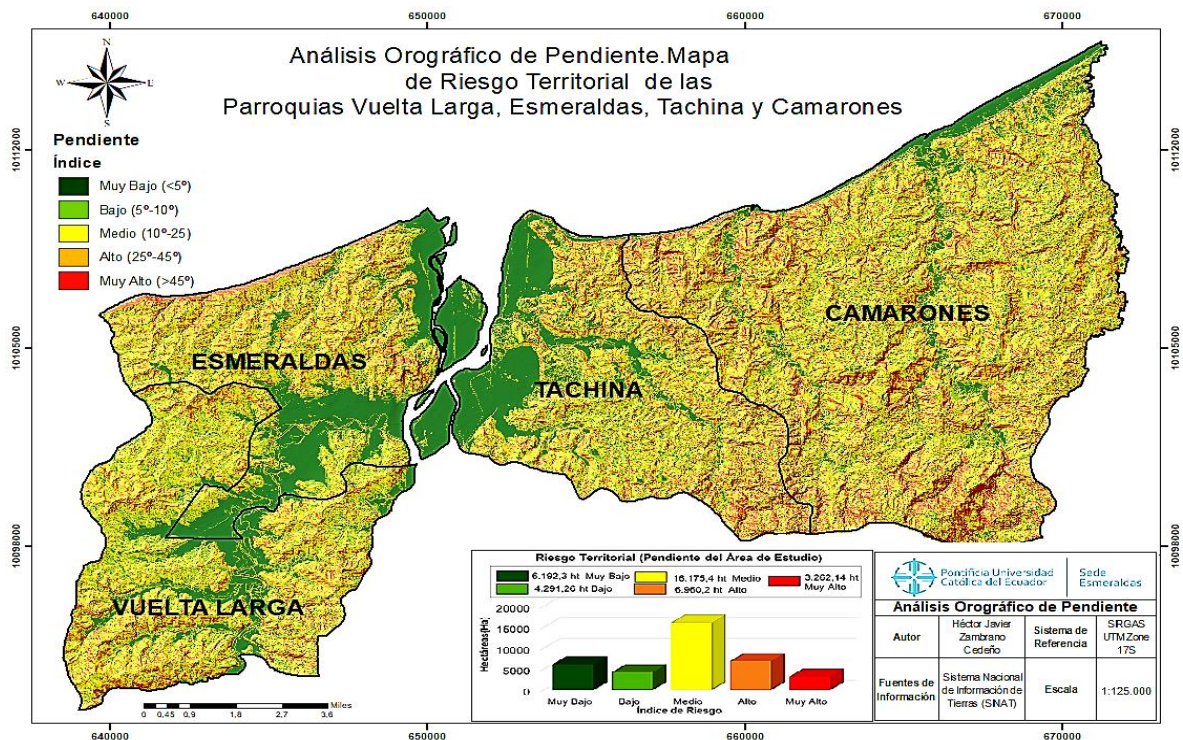


Ilustración 8. Mapa de Pendiente Reclassificado con categorías de la Tabla 3.

Mediante la investigación bibliográfica (**Ver Tabla 3**) se reclasifican valores en cinco categorías del nivel de riesgo de incendios en cuanto a la pendiente, identificándose mayoritariamente rangos moderados de riesgos de entre 10° a 25° con un 43,86% de la cobertura, destacándose también el perfil costero de Esmeraldas y la parroquia de Camarones con riesgo alto y muy alto de incendios con pendientes mayores a 45° , factor que sumado a la dirección y velocidad del viento influyen en el comportamiento de los incendios.

4.1.3. Análisis de Orientación del Terreno.

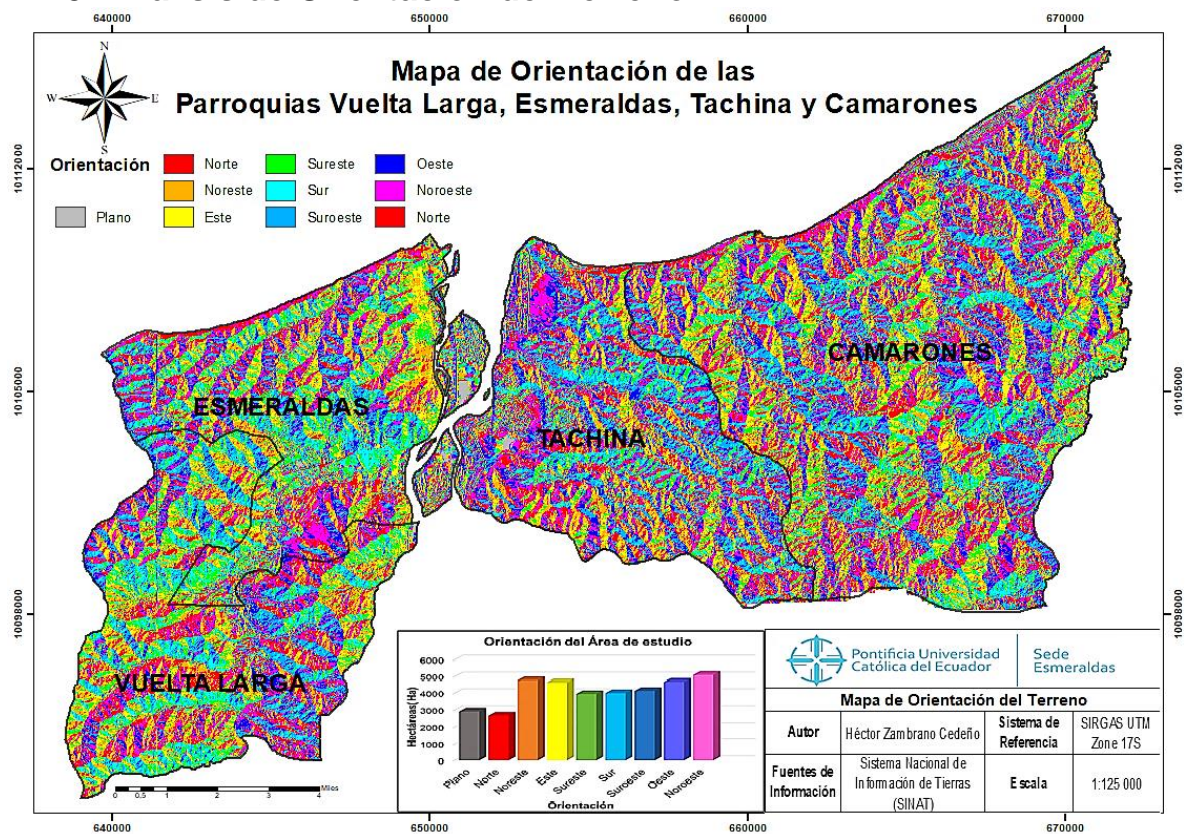


Ilustración 9. Mapa de Orientación del Terreno con valores predeterminados ArcGIS 10.8.

La orientación de la pendiente influye en la intensidad del tiempo de exposición por la radiación solar; por su frecuencia de insolación humedad del material vegetal es baja en orientaciones norte-oeste, visualizando que el 13,8% correspondiente 5102 ha en su mayor proporción está a mencionada orientación.

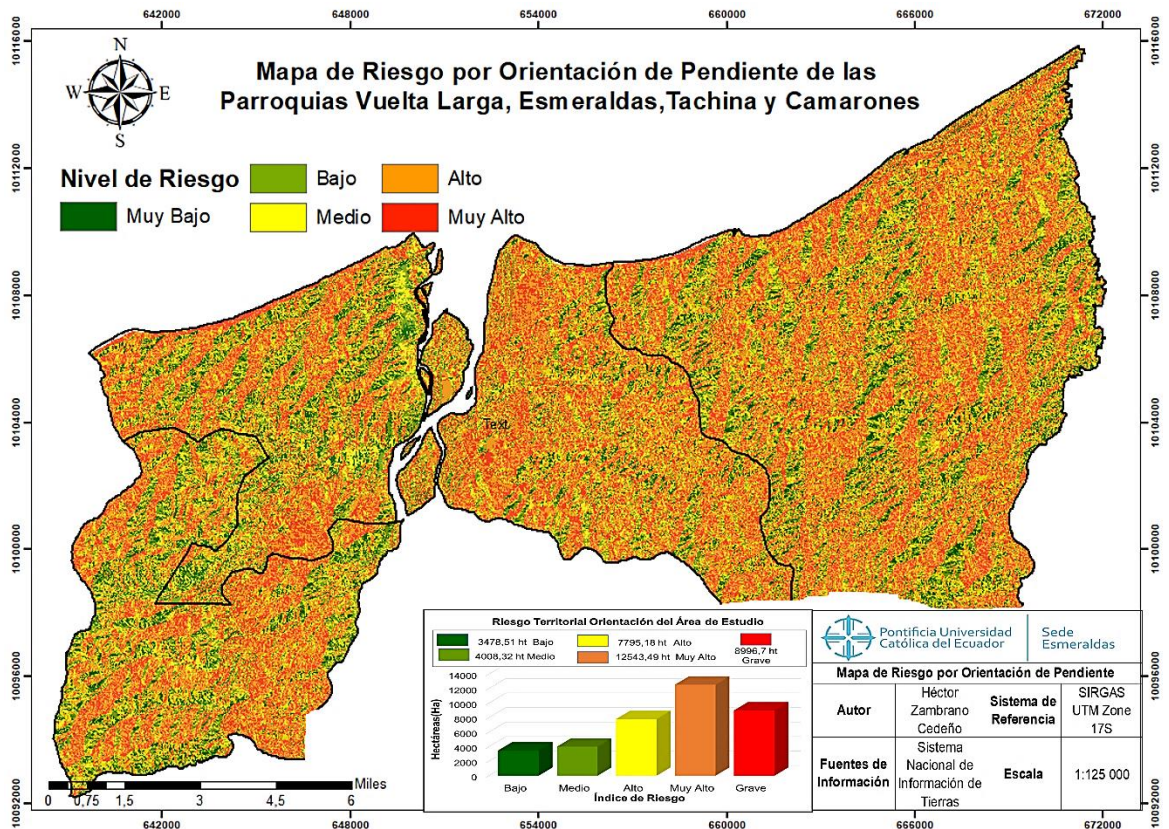


Ilustración 10. Mapa de Pendiente del Terreno Reclasificado Tabla 4

En criterios de orientación del terreno, se reporta en mayor proporción datos de categoría nivel Alto con un 34,06% del área correspondiente a dirección Sur, Sureste, Oeste y terrenos planos; seguido del 24,43% con nivel Muy Alto de susceptibilidad correspondientes a orientaciones Suroeste, Noroeste; catalogadas como zonas de mayor incidencia lumínica mayor a 210 lm/m².

4.1.4. Ponderación de Pendiente y Orientación del Terreno Reclasificado.

Ponderando los datos del análisis orográfico entre pendiente y orientación del terreno, se obtuvo, se obtuvieron datos máximos del 42,7% para niveles, 35% niveles moderados y 9,2% para niveles muy alto de riesgo de incendios, visualizados a continuación. **(Ilustración 11)**

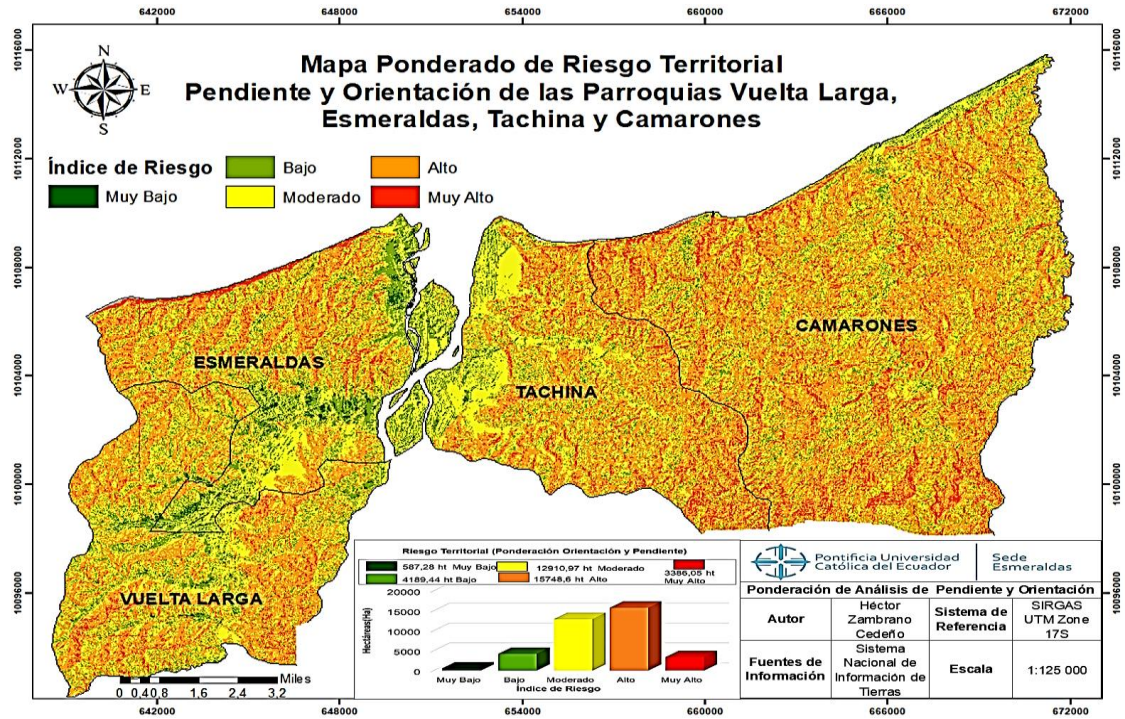


Ilustración 11. Mapa Ponderado de Análisis de Pendiente y Orientación del Terreno.

4.2. Análisis de la cobertura vegetal.

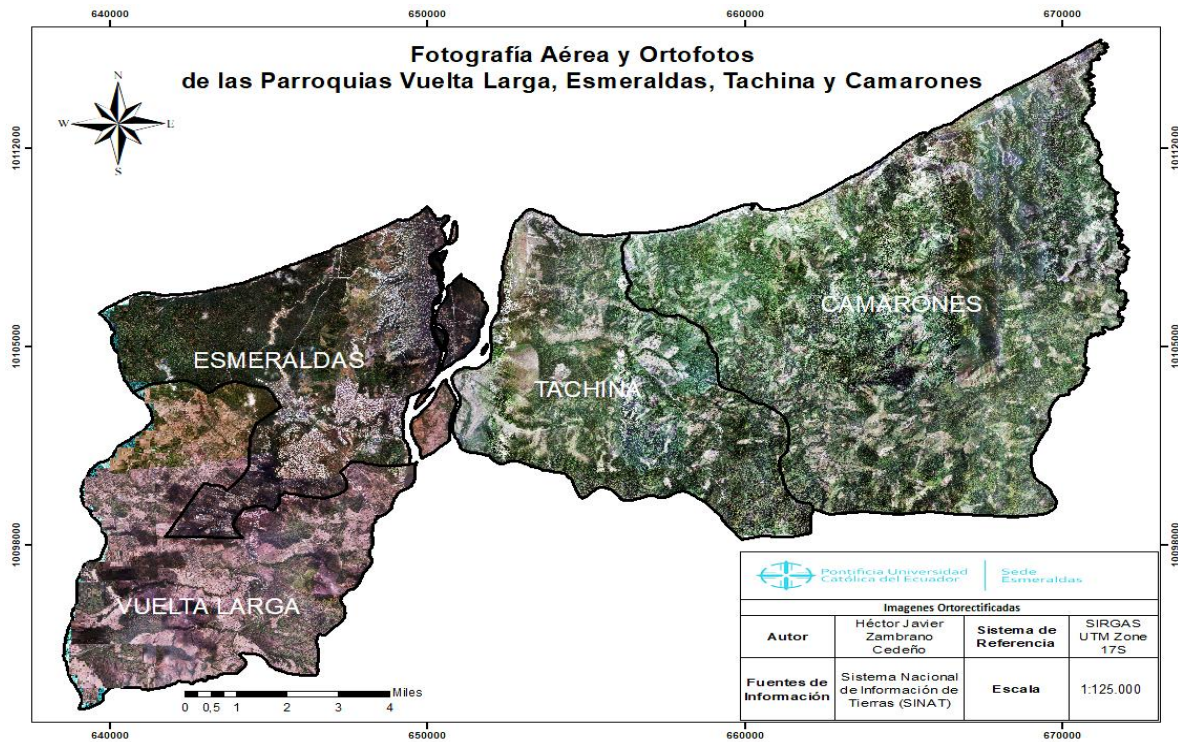


Ilustración 12. Ortografía Aérea del Área de Estudio.

4.2.1. Cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).

Como criterio de identificación y clasificación de la cobertura vegetal para el levantamiento de información preliminar del combustible vegetal, mediante los índices de verdor (**Ilustración 3**) se detalla los siguientes datos: 26,2% corresponde a cuerpos hídricos e infraestructura de centros poblados; el 16,1% a suelo sin vegetación; 2,4% a pastizales; 36,7% vegetación baja y el 18,6% a vegetación densa.

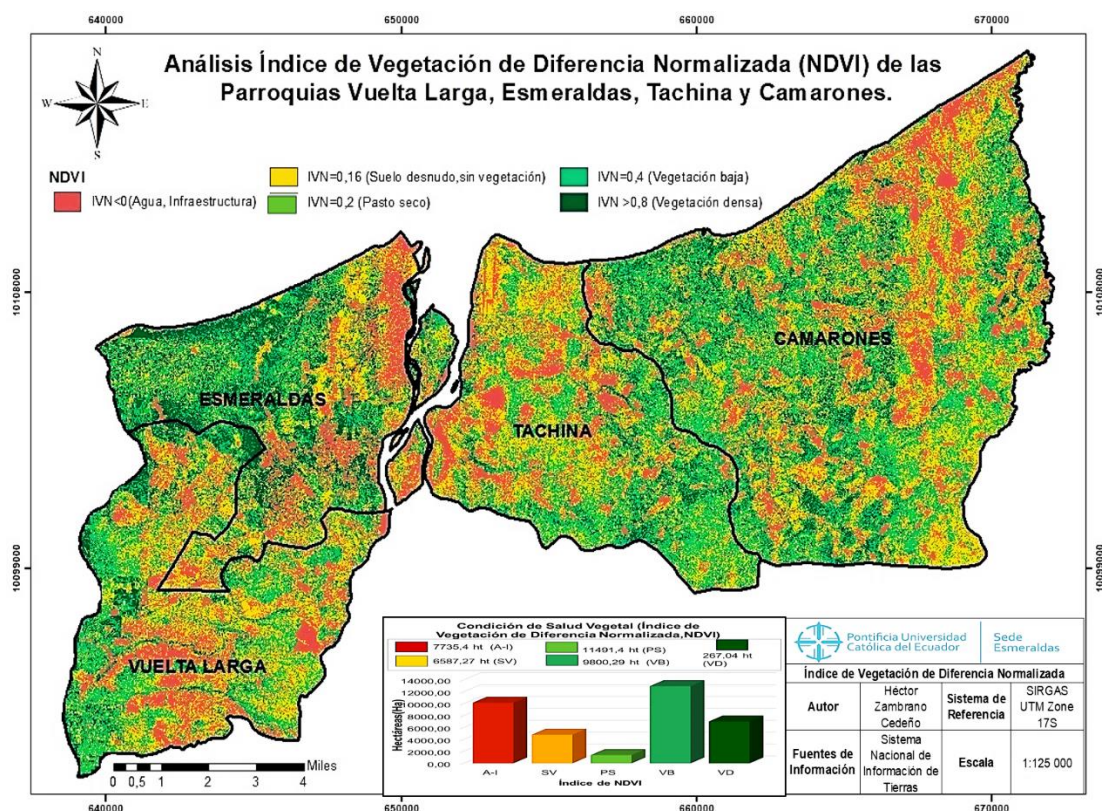


Ilustración 13. Mapa de Análisis de Cobertura Vegetal NDVI.

La identificación de la composición vegetal del área de estudio permite tener una visualización preliminar para determinar la susceptibilidad de incendios forestales por el combustible vegetal, siendo categorizados por niveles (**Tabla 5**) determinando los siguientes datos: nivel muy bajo de incidencia con un 26,2 para sectores próximos a ríos e infraestructura urbana; el 16,1% nivel Bajo para zonas

con poca vegetación o suelos desnudos; para zonas de vegetación baja un 36,7% de nivel moderado, los niveles altos de susceptibilidad en un 18,6% para zonas de vegetación densa y muy alto siendo puntos críticos de propagación con un 2,4% zonas de pastizales. **(Ilustración 14)**

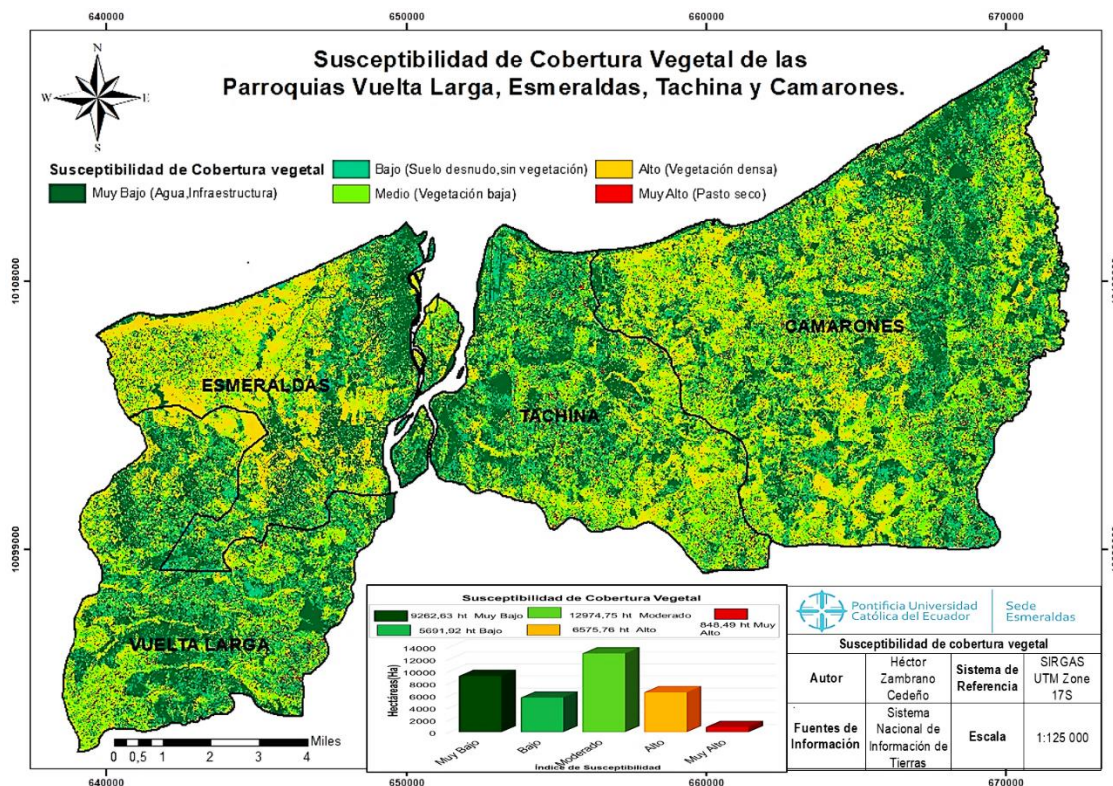


Ilustración 14. Mapa de Análisis de Susceptibilidad de cobertura vegetal, Reclasificación

Tabla 5

4.3. Análisis de Distancia Euclidiana.

4.3.1. Proximidad de Ríos.

La distancia de los cuerpos de agua es fundamental a la respuesta o mitigación del cuerpo de bomberos, teniendo un diagnóstico preventivo en casos adversos de gran expansión del combustible vegetal, optimiza el desplazamiento de tareas de extinción. Considerando criterios **(Tabla 6)** para su reclasificación se obtuvieron resultados de zonas adecuadas con un 23,4% correspondiente a 12328 ha, en mayor proporción valores de cobertura aceptable en un 45,7% equivalente a 16883

ha y zonas ineficientes de cobertura de cuerpos hídricos con un 5,9% expresados en 2201 ha.

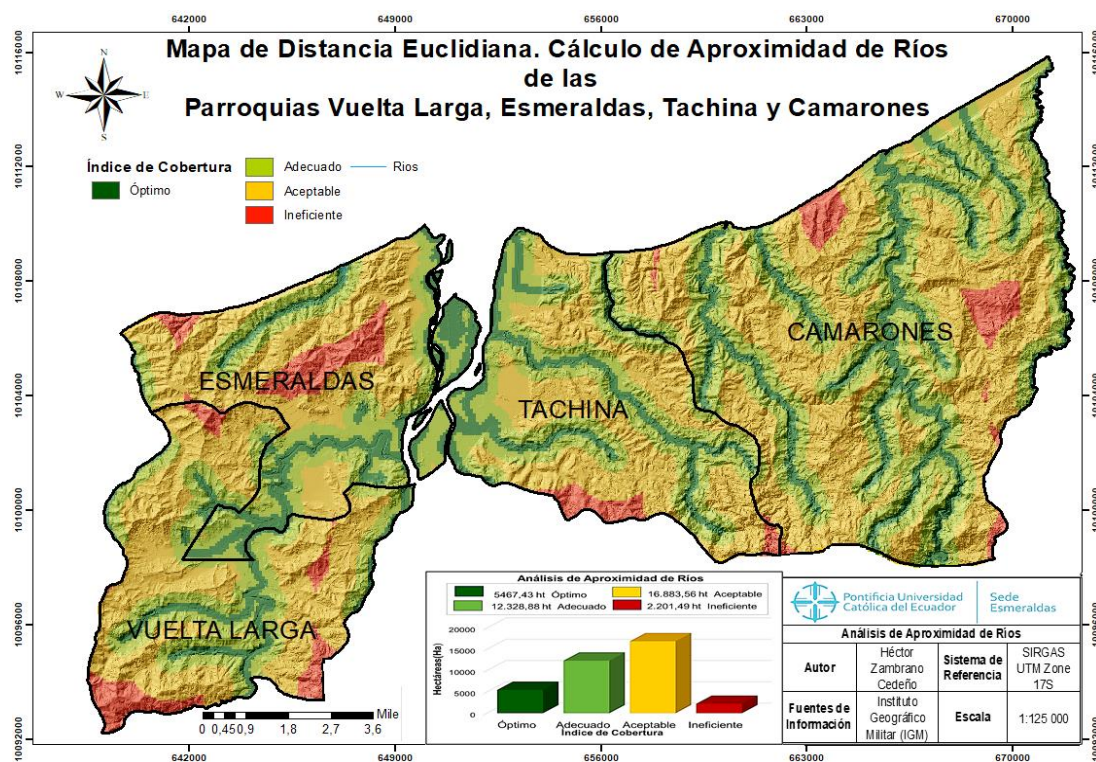


Ilustración 15. Mapa de Aproximación de Ríos.

4.3.2. Proximidad de Centros Poblados.

En mayor frecuencia la incurrancia de incendios forestales es causa de actividades humanas por asentamientos poblacionales en zonas de material vegetal susceptible y a su vez por procesos agrícolas de cambio de uso del suelo o expansión agrícola; se establece el análisis de influencia (**Tabla 7**) obteniendo resultados de muy alto riesgo de influencia a 1500m del 27,6%; seguido de riesgos altos a 2500m del 30,8%, mayoritariamente el territorio corresponde a zonas con influencia de los centros poblacionales de riesgo medio con un 34%; los niveles bajos y muy bajos con el 7,2% y el 0,16%.

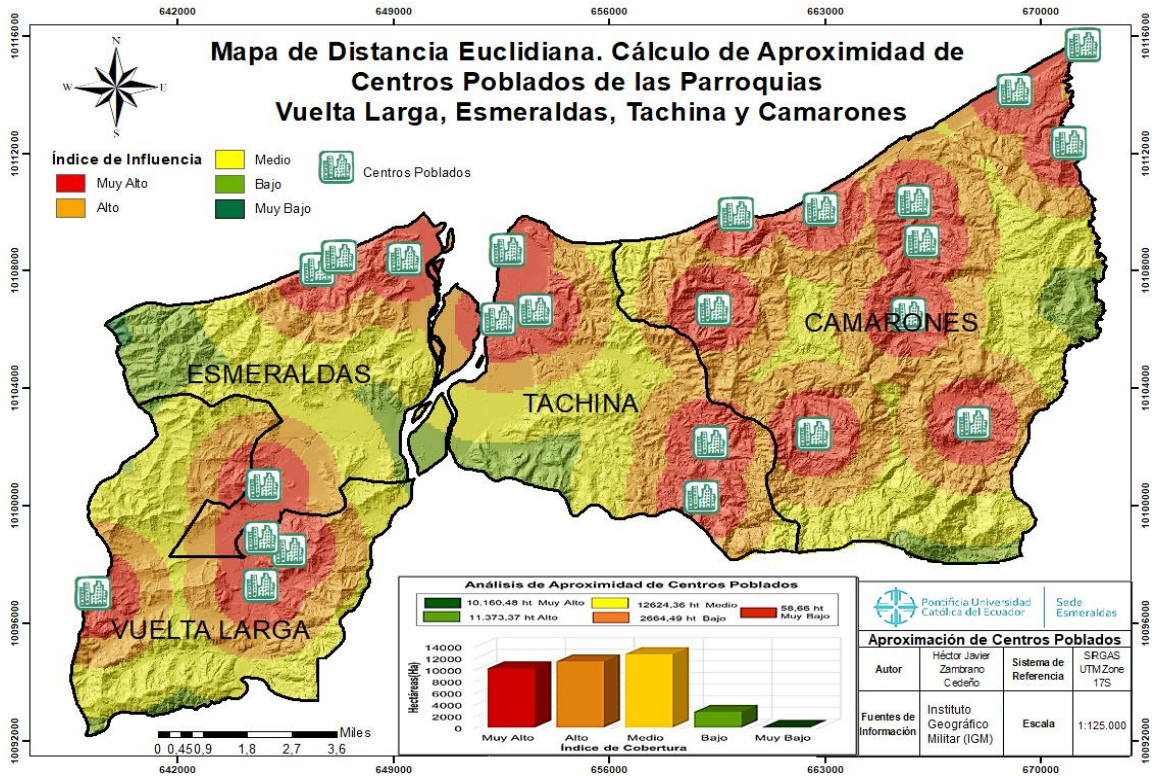


Ilustración 16. Mapa de Aproximación de Centros Poblados.

4.3.3. Proximidad de Vías.

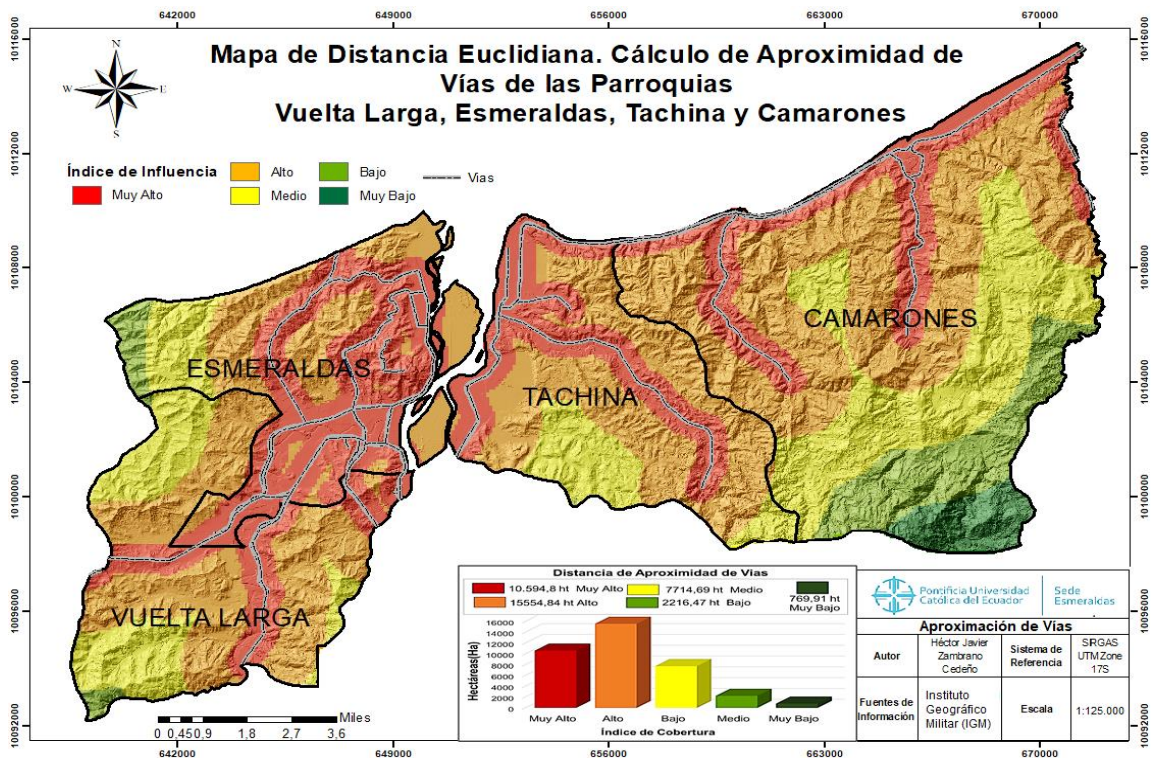


Ilustración 17. Mapa de Aproximación de Vías

La influencia de la red vial de primer orden es una variable para considerar por la influencia que tiene la vialidad en zonas de cobertura vegetal densa y matorral, como medida de prevención se analiza su influencia ante acciones pirómanas de objetos, **(Tabla 8)** se establecen resultados de nivel riesgo muy alto con el 28,7% a 500m; 42,2% para niveles altos en 2000m de influencia; nivel medio con el 20,9% a 4000m; niveles bajos y muy bajos el 6% y 2,1% de zonas a 4000m y mayor a 6000m.

4.3.4. Proximidad de Estación de Bomberos.

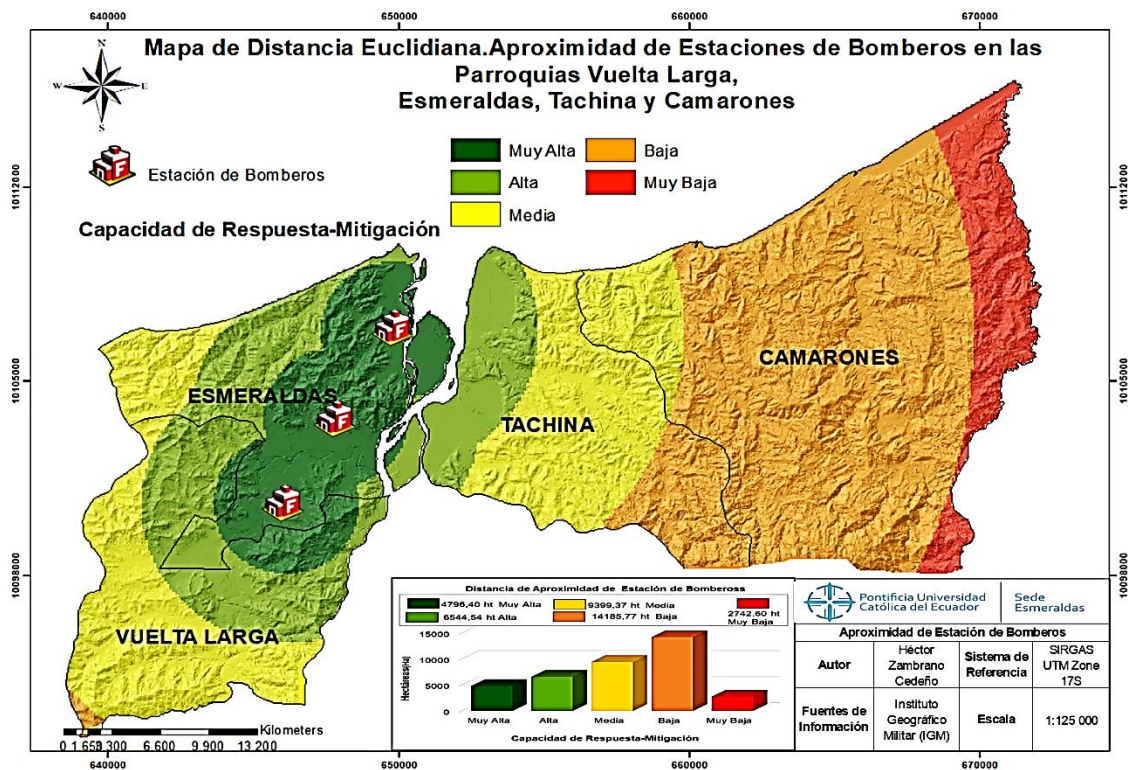


Ilustración 18. Mapa de Aproximación de Estación de Bomberos.

Las zonas de cobertura de respuesta en las estaciones de bomberos es fundamental tener criterios de aproximación para su mitigación, a través de la categorización de rangos de distancia **(Tabla 9)** expresando los siguientes resultados: niveles muy altos de cobertura el 12,7% a 5000m; el 17,4% niveles altos a 10000m, nivel de respuesta medio con el 24,9% a 15000m; zonas de baja

respuesta 37,7% a 20000m y áreas de muy baja respuesta el 7,3% zonas mayores a 20000 de las estaciones.

4.4. Análisis General de Riesgo Territorial.

Mediante el análisis de proximidad Buffer a 2500m de los centros poblados, se visualiza la relación directa con los eventos históricos de eventos de incendios forestales; demarcando el perfil costero, relacionando las condiciones orográficas de nivel muy alto por pendientes (**Ilustración 20**). El análisis Buffer permite tener una visualización de las zonas adyacentes a los núcleos poblacionales, donde se describe las zonas vulnerables de alto riesgo de pendiente, orientación y cobertura vegetal, validando los eventos de ignición.

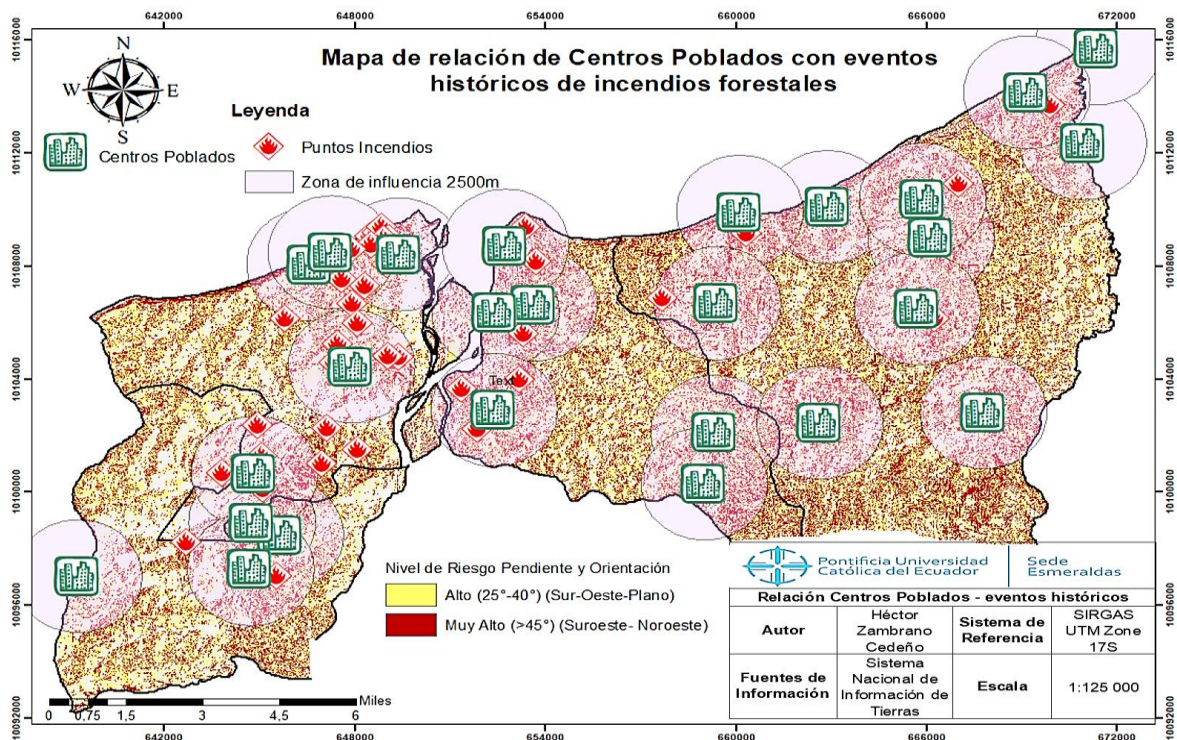


Ilustración 19. Mapa de relación de centros poblados con eventos históricos de incendios.

Se determina los puntos críticos con alto riesgo a incendios forestales relacionando los eventos históricos y el análisis espacial del territorio, asignándose 30 zonas con

alta incidencia, mayoritariamente de la parroquia Esmeraldas con 18 puntos, atribuyéndose la alta presión urbanística.

Esmeraldas		Vuelta Larga	Tachina	Camarones
1."15 de Marzo"	10.Las Orquídeas	19.Judiciales	23.Las Piedras	26.Banderas
2.Balao	11.Las Palmas	20.La Tolita I	24.Tábule	27.Camarones
3.Barrio Chone	12.Minas de Piedra	21.Las Acacias	25.Tachina	28.Colope
4.Basurero	13.Mirador	22.San Rafael		29.Galope
5.Cerro Gatazo	14.Nuevos Horizontes			30.Pegüe
6.Colinas del Sol	15.San Martin de Porres			
7.El Embudo	16.Santa Cruz			
8.El Regocijo	17.Tercer Piso			
9.La Guacharaca	18.Universidad LVT			

Tabla 10. Puntos focales con mayor incidencia de incendios forestales.

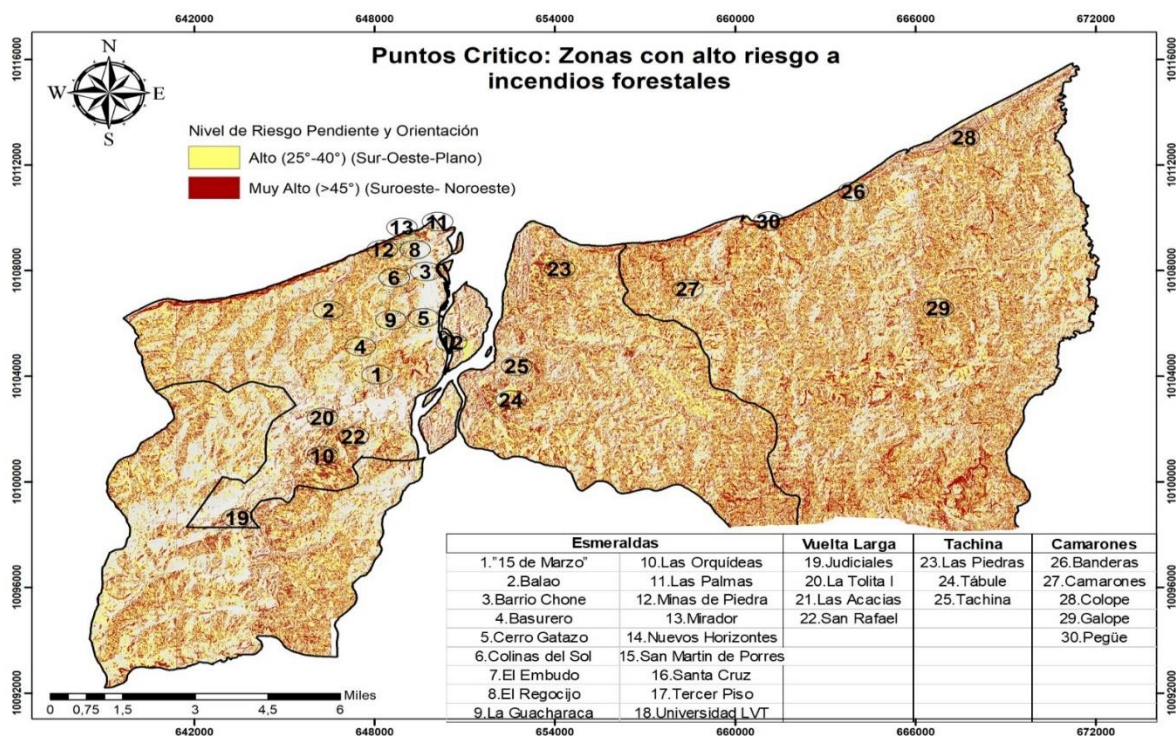


Ilustración 20. Puntos críticos de alta susceptibilidad a incendios forestales.

A partir de la herramienta superposición ponderada se toma a criterio las variables de condiciones del terreno, cobertura vegetal y variables de estación de bomberos-centros poblados, se estandariza el mapa preliminar mediante aproximaciones del análisis espacial dando como resultados de niveles de riesgo a incendios forestales de 0,38% de nivel muy bajo; 12,75% bajo; mayoritariamente nivel medio 53 %; alto 32%y muy alto 1,26% en zonas del perfil costero y sureste de la parroquia Camarones. (Ilustración 22)

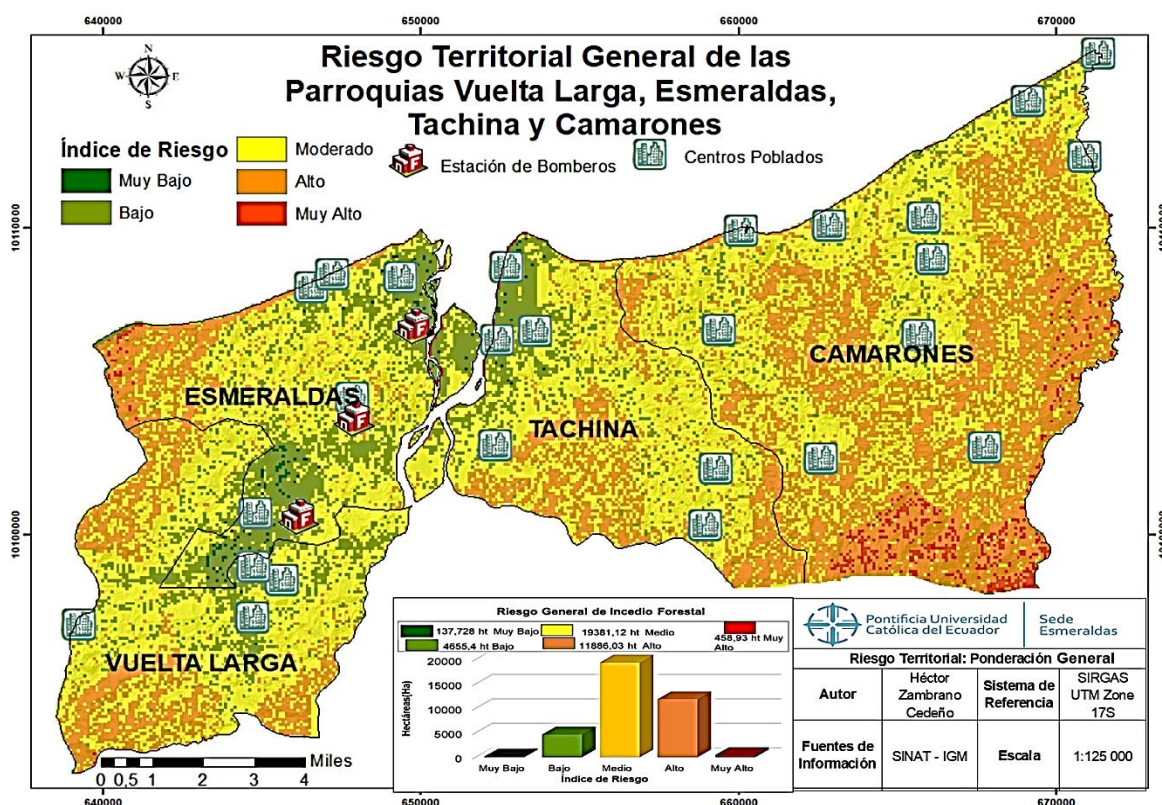


Ilustración 21. Mapa General de aproximación de riesgo territorial.

Nota: Para una mejor resolución de los mapas preliminares y visualización de las recursos empleados para el análisis espacial multicriterio, se plantea el siguiente enlace de almacenamiento de archivos:

https://pucesedu-my.sharepoint.com/:f/g/personal/hector_zambrano_pucese_edu_ec/Eh0YN74gzaXCs7mY09mRgykBED4gyu8mVYJTfmmifINZWw?e=GucM7R

5. CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos arrojan información y mapas preliminares de zonas vulnerables a incendios forestales en el área, para la estimación del riesgo deben considerar el análisis temporal y espacial, esta última presentada en los resultados concuerdan con el análisis de Matin (58) quien detalla que son factores permanentes en el comportamiento del fuego, como lo es la topografía, cobertura vegetal; variables que concuerdan con la estimación. Pese a que la investigación no esa enfocado al análisis in situ, estudios de Ancira y Konkathi (13,23) corroboran la eficiencia de aplicación de los SIG con las variables del análisis espacial, presentado con exactitud con los puntos focales de incidencia de los incendios forestales, que similar estudio de You et al. (54) se contrarrestan datos históricos y se identifica la influencia de los asentamientos poblacionales en elevaciones y en zonas adyacentes a vegetación.

Esmeraldas carece de información que respalde el análisis de riesgo territorial por incendios forestales, tanto histórica como en fundamentos de análisis espacial; es por ello que el presente estudio tiene gran relevancia como herramienta preliminar o base para futuras investigaciones que fortalezcan la gestión de riesgo en los puntos críticos identificados, el aporte para las entidades cuya competencia es la seguridad social y ambiental es significativo al contar con una representación visual de aproximaciones al diagnóstico de las condiciones vulnerables del territorio.

La estimación del riesgo de incendio es esencial para la gestión de riesgo y el ordenamiento territorial, los análisis espaciales proporcionan información crítica para diseñar medidas de prevención efectivas y la planificación-limitación urbana en zonas con alta susceptibilidad, para fortalecer el Plan de Ordenamiento Territorial (PDOT) y las políticas públicas respaldado en la Ordenanza Municipal de seguridad y prevención contra incendios, que prohíbe en su Art.20 la quema de menor o gran escala de maleza, pastizal, o tipo de vegetación producto de las actividades agrícola, forestales y ganadera; considerando el riesgo por las condiciones del territorio.

Como parte de la gestión de riesgo es fundamental crear información base sobre las condiciones presentadas en el periodo 2012 – 2020, con ello se justifica la aplicación del principio de prevención, teniendo como evidencia científica las zonas vulnerables y con alto índice de frecuencia de incendios para la aplicación políticas públicas y el monitoreo de mencionadas áreas.

Comparando la información visual obtenida con la información histórica se destaca la incurrancia de 183 emergencias atendidas por de incendios forestales por negligencia, comparando múltiples resultados de estudios de estimación de riesgo de incendio de Nuthammachot y Di Giuseppe (40,59) quienes han evaluado la proximidad de centros poblados y su relación históricamente, concuerdan en que las actividades antrópicas son responsables en mayor frecuencia de estos eventos por la presión urbanística y de cultivos, mismas que a través de la investigación histórica local enmarca a las zonas de matorral seco de la costa presente en el perfil costero, pastizales y vegetación densa , con alta frecuencia de un 58% a causa de la deforestación y quema de maleza en épocas de sembrío de abril a noviembre.

Chéret y Yadak (15,38) enfatizan en sus investigaciones la orografía, dando validez al criterio que la representación de los Modelos Digitales del Terreno a través del análisis espacial ha permitido estudiar la participación de las condiciones de pendiente y orientación del relieve en los incendios dicho criterio afirmados en investigaciones, consolidando que las elevaciones con pendientes mayores a 30° presentan un riesgo alto de propagación, representativo en 27,7%; en cuanto a la orientación mediante la investigación bibliográfica Stefanidou (55) se afirma con el presente estudio que los niveles de alta incidencia son direcciones Noroeste y Suroeste dando por su alta exposición a la radiación, expresados en el área de estudio el 24,4%.

Relacionando las variables sociales y las condiciones topográficas se afirma con la investigación de Ávila et al. (39) que las zonas de recurrencia de incendio

indirectamente tienen participación por la infraestructura vial, corroborando con la información histórica la accesibilidad vial a zonas de alto peligro, corresponde a un porcentaje muy alto del sector Noroeste de las Parroquias Luis Tello y Bartolomé Ruiz; y en el Sur Parroquia Simón Plata Torres, que son identificadas como zonas de alto tránsito, con alta presión urbana en condiciones topográficas vulnerables y alta densidad de vegetación propensa a incendios.

Investigaciones de Rodenes y Stefanidou (55,61) acreditan a los SIG en pro del ordenamiento territorial y la gestión de riesgo, la distancia de proximidad de las estaciones de bomberos, es una variable a considerar para la gestión de riesgo en reducción de amenazas, el tiempo de respuesta va en función a la cercanía considerando las zonas poco accesibles, los resultados detallan datos de respuesta óptima en un 30,8% del área, e ineficientes 6,9 % en la parroquia Camarones.

Las imágenes satelitales han mostrado efectividad para los estudios ambientales, se afirma en el estudio de Ghorbanzadeh (42) que, a partir de la orto fotometría, y las bandas espectrales que detectan la reflectancia lumínica de los pigmentos de clorofila, se determinó la composición vegetal preliminar del área de estudio, categorizando y a su vez identificando la cobertura de áreas de riesgo de incendio, considerando la caracterización del combustible vegetal y la frecuencia de eventos, se afirmó con el estudio de Rodenes (61) que las áreas de matorrales, pastizales y vegetación densa son altamente susceptibles a incendios, correlacionado a las condiciones orográficas en su alta participación por la pérdida de humedad en la biomasa.

6. CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES

- Existe una relación directa de los centros poblados y los incendios forestales por la presión urbanística, al medio en zonas vulnerables de condiciones de terreno con pendientes mayores a 30°, orientación Noroeste – Suroeste, cobertura de pastizales y vegetación densa, estimando datos ponderados preliminares de nivel alto de riesgo del 32,5%.
- La aplicación de los SIG y la información historia ha permitido un diagnóstico de los niveles de riesgo en zonas de recurrencia por negligencia urbana y agropecuaria que representa 58,3% identificando 171 eventos afectando 341 ha en periodos de 2012-2020.
- Resolviendo la pregunta de investigación se registra niveles medios 53% y altos 32,6% de riesgo territorial, siendo las zonas con adyacentes a centros poblados, perfil costero, áreas con vegetación densa y pastizales áreas con mayor susceptibilidad de incendios forestales, regidas por condiciones de pendientes mayores a 45° y de mayor exposición solar en orientaciones Noroeste- Suroeste.

7. CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES

- Realizar un muestreo aleatorio estratificado para contrarrestar resultados obtenidos representados en los presentes mapas de susceptibilidad de riesgo territorial.
- Determinar mediante técnicas de inserción planar in-situ, la morfología de la composición vegetal mediante criterios de diámetro, peso y estado de salud con el propósito de analizar el combustible vegetal para estimar comportamiento de inflamabilidad.

- Evaluar variables meteorológicas como temperatura, heliofanía y velocidad/dirección del viento, para estimación de zonas susceptibles a incendios forestales a través de mapas de isoyetas, isobaras y mapas de dirección viento de las estaciones meteorológicas adyacentes.
- Realizar un inventario forestal de las zonas susceptibles a incendios forestales para su gestión de riesgo considerando las variables expuestas de orografía, salud vegetal y aproximación antrópica.
- Como parte de la gestión de riesgo es fundamental el levantamiento de información vectorial de los hidrantes para evaluar su aproximación y cobertura de gestión, de igual forma el registro de eventos determinando cronológicamente el lugar georreferenciado y el área afectada para su monitoreo.
- Estimar aproximaciones del área ecosistema de matorral seco de la Costa para fortalecer los criterios de prioridad de conservación de este ecosistema susceptible a incendios forestales.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. Pyne SJ. Fire: a brief history. University of Washington Press; 2019.
2. Kelly LT, Brotons L. Using fire to promote biodiversity. *Science* (80-). 2017;355(6331):1264–5.
3. Pausas JG. ¿Qué sabemos de? Incendios Forestales. Madrid,España: CSIC y Catarata; 2012. 128 p.
4. Gómez-Armisén N, Úbeda X. Wildfires in Spain: Causes, evolution and effects. *Wildl FIRES AWorldwide Real*. 2015;127.
5. Franjić S. Investigation of Arson. *J Crim Forensic Stud*. 2018;1(1):180001.
6. Ubeda X, Francos M. INCENDIOS FORESTALES. UN FENÓMENO GLOBAL. el 5 de noviembre de 2018;1253.
7. Gallegos Rodríguez A, González Cueva GA, Gerardo Cabrera Orozco R, Marcelli Sánchez C, Hernández Álvarez E. Efecto de la recurrencia de incendios forestales en la diversidad arbórea. *Rev Mex ciencias For*. 2014;5(24):110–25.
8. He T, Lamont BB, Pausas JG. Fire as a key driver of Earth's biodiversity. *Biol Rev*. 2019;94(6):1983–2010.
9. Bayr C, Gallaun H, Kleb U, Kornberger B, Steinegger M, Winter M. Satellite-based forest monitoring: spatial and temporal forecast of growing index and short-wave infrared band. *Geospat Health*. 2016;
10. Belayneh A, Yohannes T, Worku A. Recurrent and extensive forest fire incidence in the Bale Mountains National Park (BMNP), Ethiopia: extent, cause and consequences. *Int J Environ Sci*. 2013;2(1):29–39.
11. Gutiérrez Martínez G, Orozco Hernández ME, Ordóñez Díaz JAB, Camacho Sanabria JM. Régimen y distribución de los incendios forestales en el Estado de México (2000 a 2011). *Rev Mex ciencias For*. 2015;6(29):92–107.
12. Verma S, Jayakumar S. Impact of forest fire on physical, chemical and biological properties of soil: A review. *Proc Int Acad Ecol Environ Sci*. 2012;2(3):168.
13. Ancira-Sánchez L, Treviño Garza EJ. Utilización de imágenes de satélite en

- el manejo forestal del noreste de México. *Madera y bosques*. 2015;21(1):77–91.
14. Hnatushenko V V, Hnatushenko V, Mozgovyi DK, Vasiliev V V. SATELLITE TECHNOLOGY OF THE FOREST FIRES EFFECTS MONITORING. *Sci Bull Natl Min Univ*. 2016;(1).
 15. Yadav IC, Devi NL. Biomass burning, regional air quality, and climate change. *Earth Syst Environ Sci Ed Encycl Environ Heal Elsevier* <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-911022-X>. 2018;
 16. Cruz PC, Juárez WS, Santiago DM, Santiago OLC, Silva ERP, Calderón OAA. Combustibles forestales y susceptibilidad a incendios de un bosque templado en la mixteca alta, Oaxaca, México. *For Veracruzana*. 2018;20(1):9–14.
 17. Flores-Garnica J, Wong-González JC, Paz-Pellat F. Camas de combustibles forestales y carbono en México. *Madera y bosques*. 2018;24(SPE).
 18. Arce R. Ordenamiento territorial y cambio climático: metodología para incorporar cambio climático y gestión del riesgo de desastres en procesos de OT. *Ser Manuales/Manual*. 2013;(8).
 19. Ellison D, Morris CE, Locatelli B, Sheil D, Cohen J, Murdiyarsa D, et al. Trees, forests and water: Cool insights for a hot world. *Glob Environ Chang*. 2017;43:51–61.
 20. Ministerio del Ambiente. Deforestación del Ecuador Continental Periodo 2014-2016. *Minist del Ambient del Ecuador*. 2017;38.
 21. Instituto Oceanográfico de la Armada(INOCAR). Datos meteorológicos costeros. 2020.
 22. Díaz E, González M, Jiménez B, Treviño E, Ávila D. Caracterización de combustibles forestales mediante un muestreo directo en plantaciones forestales. *Cuarto Simp Int sobre políticas, Planif y economía los Incend For Cambio climático e Incend For*. 2012;426–36.
 23. Konkathi P, Shetty A, Kolluru V, Yathish PH, Pruthviraj U. Static Fire Risk Index for the Forest Resources of Karnataka. En: *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*. 2019.
 24. Pellegrini AFA, Hedin LO, Staver AC, Govender N. Fire alters ecosystem

- carbon and nutrients but not plant nutrient stoichiometry or composition in tropical savanna. *Ecology*. 2015;96(5):1275–85.
25. Tao C. Effects of forest fire on watershed ecosystem. 2019.
 26. World Health Organization. Wildfires, Burns. [Internet]. 2018. Disponible en: https://www.who.int/health-topics/wildfires#tab=tab_1
 27. Úbeda X, Francos M. Incendios forestales, un fenómeno global. *Biblio3W Rev Bibliográfica Geogr y Ciencias Soc*. 2018;XXII(1).
 28. Seymour F, Busch J. Why forests? Why now?: The science, economics, and politics of tropical forests and climate change. Brookings Institution Press; 2016.
 29. Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias. Lineamientos para incluir la gestión del riesgo de desastres en el PDOT Territorial. Lineamientos para incluir la gestión del riesgo Desastr en el PDOT Territ [Internet]. 2019;80. Disponible en: <https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/09/Caja-de-herramientas-Riesgos.pdf>
 30. Ministerio del Ambiente. Refugio de Vida Silvestre Estuario Río Esmeraldas. [Internet]. Sistema Nacional de Áreas Protegidas. 2015. Disponible en: <http://areasprotegidas.ambiente.gob.ec/es/areas-protegidas/refugio-de-vida-silvestre-manglar-del-estuario-de-río-esmeraldas>
 31. Stocker TF, Qin D, Plattner G-K, Tignor M, Allen SK, Boschung J, et al. Climate change 2013: The physical science basis. Contrib Work Gr I to fifth Assess Rep Intergov panel Clim Chang. 2013;1535.
 32. Secretary General United Nations. Report of the secretary-general on the 2019 climate action summit and the way forward in 2020. United Nations [Internet]. 2019;(December 2019). Disponible en: https://www.un.org/en/climatechange/assets/pdf/cas_report_11_dec.pdf
 33. Doughty CE, Santos-Andrade PE, Shenkin A, Goldsmith GR, Bentley LP, Blonder B, et al. Tropical forest leaves may darken in response to climate change. *Nat Ecol Evol*. 2018;2(12):1918–24.
 34. Neary DG. Forest Soil Disturbance: Implications of Factors Contributing to the Wildland Fire Nexus. *Soil Sci Soc Am J*. 2019;83:S228–43.

35. Francos M, Úbeda X, Tort J, Panareda JM, Cerdà A. The role of forest fire severity on vegetation recovery after 18 years. Implications for forest management of *Quercus suber* L. in Iberian Peninsula. *Glob Planet Change*. 2016;145:11–6.
36. Pourtaghi ZS, Pourghasemi HR, Aretano R, Semeraro T. Investigation of general indicators influencing on forest fire and its susceptibility modeling using different data mining techniques. *Ecol Indic*. 2016;64:72–84.
37. Fernández-Luqueño F, Espinosa-Victoria D. Bioquímica, fisiología y morfología de la senescencia nodular: una revisión crítica. *Terra Latinoam*. 2008;26(2):133–44.
38. Chéret V, Denux JP. Mapping wildfire danger at regional scale with an index model integrating coarse spatial resolution remote sensing data. *J Geophys Res Biogeosciences*. 2007;112(G2).
39. Avila-Flores D, Pompa-Garcia M, Antonio-Nemiga X, Rodriguez-Trejo DA, Vargas-Perez E, Santillan-Perez J. Driving factors for forest fire occurrence in Durango State of Mexico: A geospatial perspective. *Chinese Geogr Sci*. 2010;20(6):491–7.
40. Nuthammachot N, Stratoulis D. A GIS- and AHP-based approach to map fire risk: a case study of Kuan Kreng peat swamp forest, Thailand. *Geocarto Int*. 2019;
41. Fallas J. Modelos digitales de elevación: Teoría, métodos de interpolación y aplicaciones. *Esc Ciencias Ambient Univ Nac Costa Rica*. 2007;
42. Ghorbanzadeh O, Blaschke T, Gholamnia K, Aryal J. Forest Fire Susceptibility and Risk Mapping Using Social/Infrastructural Vulnerability and Environmental Variables. *Fire*. el 3 de septiembre de 2019;2(3):50.
43. ESRI. ¿Qué es ArcGIS ? TM. 2002;
44. Esri. Comprender el análisis de distancia euclidiana. 2016.
45. Baeza S, Paruelo JM, Altesor A. Caracterización funcional de la vegetación del Uruguay mediante el uso de sensores remotos. *Interciencia*. 2006;31(5):382–8.
46. Quiring SM, Ganesh S. Evaluating the utility of the Vegetation Condition Index

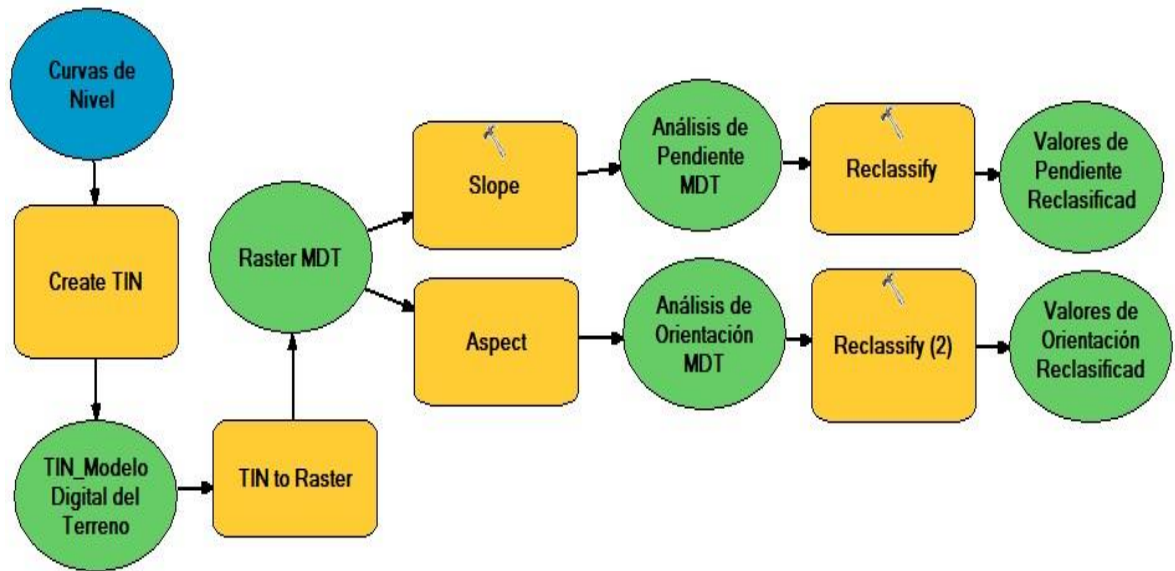
- (VCI) for monitoring meteorological drought in Texas. *Agric For Meteorol.* 2010;150(3):330–9.
47. Lozada Castillo JJ. Comportamiento histórico de los incendios forestales en el cantón Esmeraldas, Ecuador (2009-2018). Jipijapa. UNESUM; 2021.
 48. Wolosin M, Harris N. *Tropical Forests and Climate Change: The Latest Science.* World Resour Institute Washingt DC. 2018;
 49. Popkin G. Tropical forests may be carbon sources, not sinks. *Nat News.* 2017;
 50. Armentrout D, Armentrout P. *Incremento de la energía: Growing Energy.* Carson-Dellosa Publishing; 2008.
 51. Pradhan B, Suliman MDH Bin, Awang MA Bin. Forest fire susceptibility and risk mapping using remote sensing and geographical information systems (GIS). *Disaster Prev Manag An Int J.* 2007;
 52. Adab H, Kanniah KD, Solaimani K. Modeling forest fire risk in the northeast of Iran using remote sensing and GIS techniques. *Nat Hazards.* 2013;
 53. Sanabria LA, Qin X, Li J, Cechet RP, Lucas C. Spatial interpolation of McArthur's Forest Fire Danger Index across Australia: Observational study. *Environ Model Softw.* 2013;
 54. You W, Lin L, Wu L, Ji Z, Yu J, Zhu J, et al. Geographical information system-based forest fire risk assessment integrating national forest inventory data and analysis of its spatiotemporal variability. *Ecol Indic [Internet].* 2017;77:176–84. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X17300481>
 55. Stefanidou A, Gitas IZ, Stavrakoudis D, Eftychidis G. Midterm fire danger prediction using satellite imagery and auxiliary thematic layers. *Remote Sens.* 2019;
 56. Fulé PZ, Covington WW. Fire regime changes in La Michilía Biosphere Reserve, Durango, Mexico. *Conserv Biol.* 1999;13(3):640–52.
 57. Pereira MG, Hayes JP, Miller C, Orenstein DE. Fire on the hills: an environmental history of fires and fire policy in Mediterranean-type ecosystems. En: *Environmental History in the making.* Springer; 2017. p. 145–69.

58. Matin MA, Chitale VS, Murthy MSR, Uddin K, Bajracharya B, Pradhan S. Understanding forest fire patterns and risk in Nepal using remote sensing, geographic information system and historical fire data. *Int J Wildl fire*. 2017;26(4):276–86.
59. Di Giuseppe F, Pappenberger F, Wetterhall F, Krzeminski B, Camia A, Libertá G, et al. The potential predictability of fire danger provided by numerical weather prediction. *J Appl Meteorol Climatol*. 2016;55(11):2469–91.
60. Mota PHS, Rocha SJSS da, Castro NLM de, Marcatti GE, França LC de J, Schettini BLS, et al. Forest fire hazard zoning in Mato Grosso State, Brazil. *Land use policy*. 2019;
61. Rodenes Bou G. Estudio del peligro de incendio forestal en el Parque Natural de Els Ports (Tarragona). Universitat Politècnica de València; 2017.
62. Asamblea Nacional del Ecuador. Constitución del Ecuador. 2008.
63. Presidencia de la República del Ecuador. Código Orgánico Organización Territorial Autonomía Descentralización COOTAD. Regist Of Supl 303 19-oct-2010 [Internet]. 2010;2:174. Disponible en: http://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_org.pdf
64. Ley de Defensa Contra Incendios. Ley de Defensa Contra Incendios. Regist Of No815 [Internet]. 2015;11. Disponible en: <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/11/LEY-DE-DEFENSA-CONTRA-INCENDIOS.pdf>
65. Constitución de la República del Ecuador. Resolución No. SNGR-133-2012 [Internet]. Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos. 2012. p. 4. Disponible en: <http://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/Resolucion-133-2012.pdf>
66. Secretaría de Gestión de Riesgos. Resolución N°. SGR-039-2014. Quito-Ecuador; 2014.
67. Organización de las Naciones Unidas (ONU). Convenio sobre la diversidad biológica naciones unidas 1992. 1992;
68. COA. Código Organico Del Ambiente. Regist Of Supl 983. 2017;

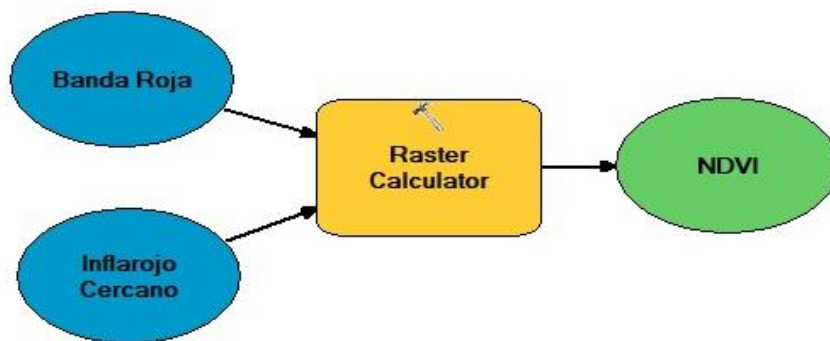
69. Asamblea Nacional Constituyente. Código Orgánico Integral Penal. Regist Of No180 [Internet]. 2014;144. Disponible en: www.registroficial.gob.ec
70. GADM del Canton Esmeraldas. Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Canton Esmeraldas. 2014;1–462. Disponible en: http://www.alcaldiadeibague.gov.co/website/files/presupuesto_participativo/plan_desarrollo_comuna6.pdf
71. GADPE. Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de Esmeraldas. 2015;
72. INAMHI. Mapa de Cuencas Hidrográficas del Ecuador. 2012.
73. González-Borrero, Luis Hernán & Romero-Rodríguez ÁP. Analisis multitemporal de los cambios de la cobertura de la tierra i incidencia del cultiv de palma en el territorio del Municipio de Villanueva Casanare. 2013;1–149.
74. Durante M. Guía para la interpretación de los informes del estado de la vegetación de la provincia de Entre Ríos. Inst Nac Tecnol Agropecu EEA Concepción del Uruguay. 2016;

8.ANEXOS

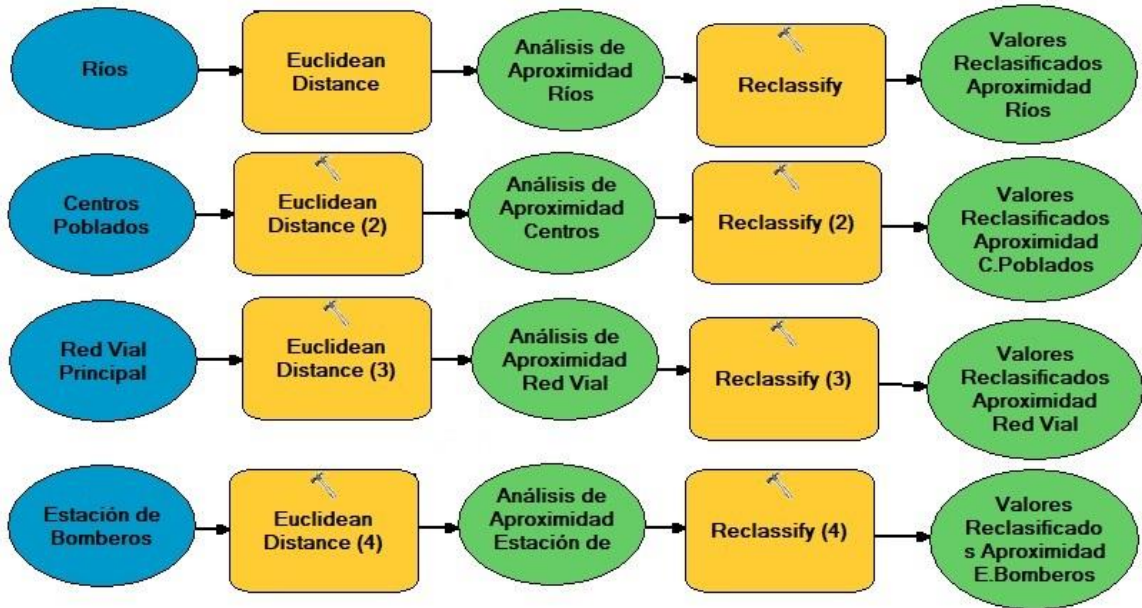
FLUJOS DE PROCESOS- MODEL BUILDER



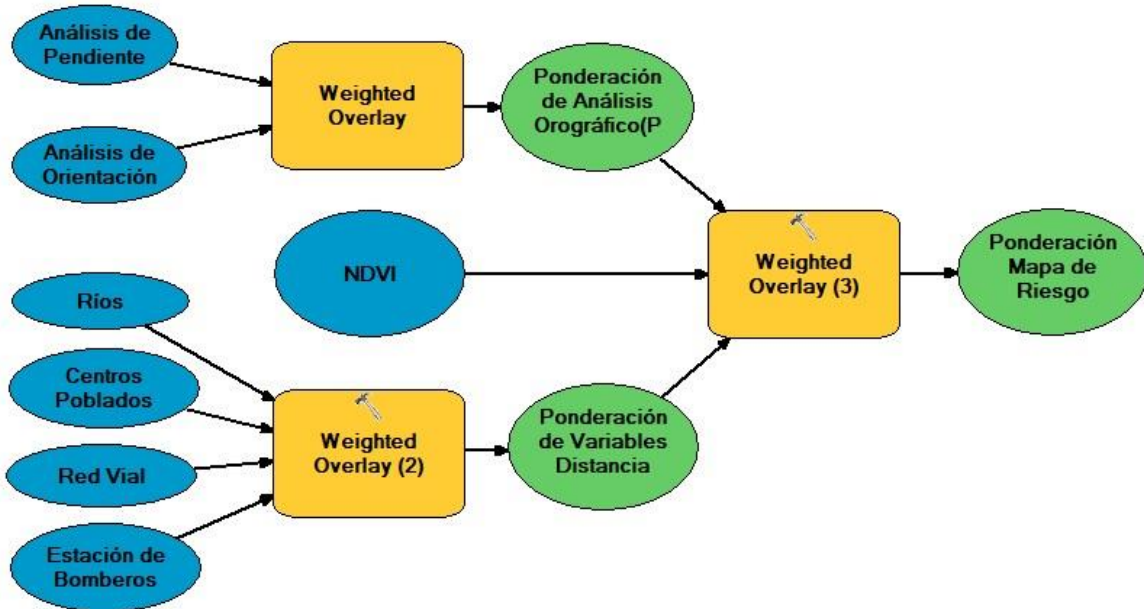
Anexo 1. Esquematización de los Procesos del análisis orográfico mediante la herramienta Model Builder.



Anexo 2. Esquematización de los Procesos del cálculo del NDVI mediante la herramienta Model Builder



Anexo 3. Esquematización de los Procesos del cálculo de la Distancia Euclidiana mediante la herramienta Model Builder



Anexo 4. Esquematización de los Procesos de Ponderación de variables.

Ponderación (%)	Variables	Categorías	Valor
30	Orografía: Pendiente del Terreno	Muy Bajo	5
		Bajo	10
		Medio	15
		Alto	25
		Muy Alto	30
30	Orografía: Orientación del Terreno	Muy Bajo	5
		Bajo	10
		Medio	15
		Alto	25
		Muy Alto	30
20	Cobertura vegetal	Agua, infraestructura	4
		Suelo sin vegetación	8
		Pasto seco	12
		Vegetación mediana/cobertura baja	16
		Vegetación alta/cobertura densa	20
5	Proximidad de ríos para la gestión de riesgo	Óptimo	1
		Adecuado	2
		Aceptable	3
		Ineficiente	4
		Muy Ineficiente	5
5	Proximidad de influencia poblacional / Peligro de Ignición antrópica de Incendios	Muy Alto	1
		Alto	2
		Medio	3
		Bajo	4
		Muy Bajo	5
5	Proximidad de red vial /Peligro de ignición antrópica	Muy Alto	1
		Alto	2
		Medio	3
		Bajo	4
		Muy Bajo	5
5	Proximidad de Estación de Bomberos	Muy Alto	1
		Alto	2
		Medio	3
		Bajo	4
		Muy Bajo	5

Anexo 5. Ponderación de variables para herramienta de Superposición Ponderada.