

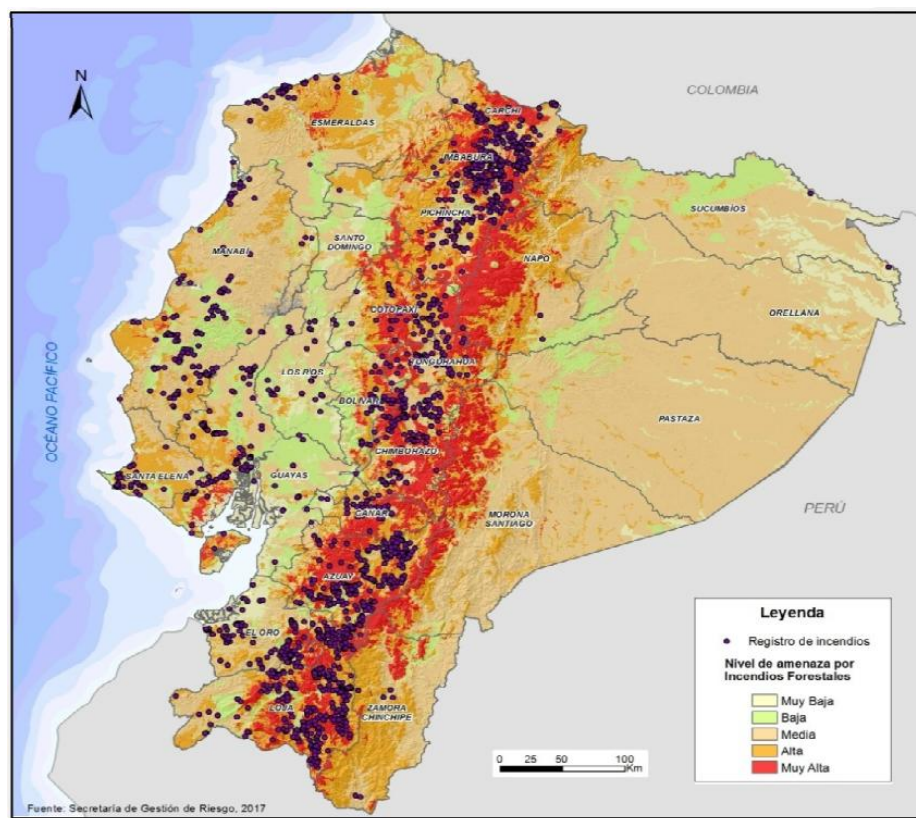


SERVICIO NACIONAL DE
GESTIÓN DE RIESGOS
Y EMERGENCIAS

Elaborado por: Subsecretaría de Gestión
de la Información y Análisis de Riesgos

SUSCEPTIBILIDAD A INCENDIOS FORESTALES

Propuesta Metodológica Preliminar para Generar Mapas de Susceptibilidad Física a la
Ocurrencia de Incendios Forestales



CONTENIDO

1.	RESUMEN	4
2.	INTRODUCCIÓN	4
3.	OBJETIVOS	5
4.	DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA.....	5
6.	CONCLUSIONES	15
7.	RECOMENDACIÓN Y LIMITACIONES.....	15
8.	GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	16
9.	ANEXOS	17

Propuesta Metodológica Preliminar para Generar Mapas de Susceptibilidad Física a la Ocurrencia de Incendios Forestales

Dirección de Análisis de Riesgos - DAR

Subsecretaría de Gestión de la Información y Análisis de Riesgos - SGIAR

Editor:

Carmen María Sarango Jumbo

Equipo Técnico:

Cristian Ortiz Escobar - Ingeniero Geólogo

Carmen María Sarango Jumbo - Ingeniero Forestal

Propuesta metodológica para generar mapas de susceptibilidad física a la ocurrencia de Incendios Forestal

1. RESUMEN

La presente metodología puede considerarse aplicable a escala nacional y regional presenta variables de entrada para identificar espacialmente áreas con niveles de susceptibilidad y propensas a ocurrir incendios forestales y su aptitud para favorecer la ocurrencia y desarrollo de fases posteriores previas al inicio de una combustión sostenida, la aplicación de la propuesta requiere de herramientas que ofrecen los sistemas de información geográfica, no requiere de software especial puede ser realizado con software comercial como Arc View y Arc Gis o bajo software libre de distribución gratuita en internet como GvSig, Quantum Gis, Kosmo, entre otros, cuyo resultado es un punto de partida en los estudios orientados a la estimación del riesgo de cara a su ajuste y validación, por el momento se ha logrado determinar la susceptibilidad el mismo que puede usarse de forma efectiva para planear medidas de control del fuego en el bosque y en áreas de manejo de vida silvestre.

Palabras clave: Áreas, niveles, susceptibilidad, ocurrencia, incendio forestal, multicriterio, ignición, sistemas de información geográfica.

2. INTRODUCCIÓN

En el país los incendios forestales de mayor magnitud y frecuencia se registran a lo largo de la Cordillera de los Andes y en la Costa, la mayoría causados por acciones del hombre, los registros indican que afectaron alrededor de 22.605 ha en el año 2016, (SGR, 2016). Frente a esta realidad los estudios e investigaciones a nivel nacional se han encaminado en tres fases: (1) antes, (2) durante y (3) después del incendio de la cobertura vegetal.

Para la primera fase los esfuerzos se han enfocado en campañas de control y prevención; la segunda en capacitación del personal para el control y manejo del fenómeno a través de las instituciones de gobierno, en tanto que los trabajos en campañas de forestación y reforestación impulsados por instituciones gubernamentales han sido las acciones orientadas a la fase final.

La revisión en este contexto ha evidenciado la falta de metodologías a nivel nacional lo suficientemente desarrolladas y representativas que permitan identificar y ubicar espacialmente las áreas susceptibles y propensas a la ocurrencia de incendios forestal orientadas al potencial de ignición, por lo es necesario el desarrollo de una propuesta metodológica para la obtención de mapas de susceptibilidad física a la ocurrencia de Incendios Forestales.

El resultado de la presente metodología con la ayuda de las herramientas de sistemas de información cartográfica permite analizar y estimar áreas con los diferentes niveles de susceptibilidad a la ocurrencia de incendios forestales, como insumo para mejorar la gestión de riesgo.

3. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Definir la metodología para identificar áreas susceptibles a incendios forestales como insumo para contribuir a los planes de reducción de desastres y a una gestión adecuada del riesgo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la magnitud y naturaleza de la influencia de las variables seleccionadas involucradas en el **proceso de ignición**, para la ponderación de clases dentro de cada variable y la definición de las ecuaciones de gobierno, a emplear en el procesamiento propuesto y la estimación del potencial de ocurrencia de este fenómeno.
- Estandarizar la información a emplear en el cálculo y procesamiento, acorde a la escala de amenaza definida.
- Obtener la distribución geo-espacial del potencial de ignición natural, es decir, la susceptibilidad física a la ocurrencia de incendios forestales, con herramientas de sistemas de información geográfica.

4. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

GENERALIDADES DE LA METODOLOGÍA

La propuesta integra principios heurísticos y parcialmente deductivos para el análisis, evaluación, ponderación, normalización y correlación de variables de la cobertura vegetal, temperatura, radiación, precipitación, pendiente, elevación y textura del suelo, básicamente sustentada en las bases físicas y empíricas expuestas en los estudios de modelización del comportamiento, avance y propagación de los incendios forestales desarrollados por autores como (*Hidalgo, 2005*), (*Rothermel & Anderson, 1970*), para la comprensión y evaluación directa e indirecta de los factores de reacción en la inflamación, ignición, combustión y extinción.

Estas variables integran el origen natural en el triángulo de fuego, así la ecuación propuesta por (*Blanco, García, Castellnou, et. al., 2008*) que describe la existencia del fuego y que condiciona su probabilidad de ocurrencia a cualquier escala se resume en

<i>Combustible forestal + Oxígeno + Calor = CO₂ + Agua + Energía + Residuos</i>

El análisis y la estimación de la amenaza estática por incendios forestales o susceptibilidad física a su ocurrencia, identifica los diferentes niveles acorde a la unidad de estudio, se fundamenta en la concepción desde el punto de vista físico del fenómeno, mediante la consideración de las variable y factores involucrados en el origen y desarrollo de las etapas previas al desencadenamiento de los procesos de avance y propagación.

A continuación se establece un marco de tratamiento y medición relativa de la susceptibilidad, para las fases previas al inicio de la combustión, entendiéndose por ello las siguientes fases:

- Deshidratación
- Pirólisis
- Pre-Inflamación

Tales fase integran el proceso preparativo del material expuesto para el alcance de las condiciones de inflamabilidad, siendo ésta dependiente entre otras cosas, del contenido en volátiles, tamaño, contenido de humedad, densidad, continuidad, compacidad y cantidad, en lo que a su naturaleza física se refiere. Se enfoca entonces el análisis en la convergencia de reacciones y condiciones necesarias para la auto-inflamación del material combustible y el alcance del Punto de Ignición, cuyo potencial de ocurrencia es el aspecto a estimar mediante el método propuesto.

FACTORES CONDICIONANTES

Los factores que condicionan en el inicio y propagación de un incendio forestal son: topográficos, atmosféricos, bióticos y por la acción del hombre, tales como: pendiente, exposición (orientación), relieve, altitud, cobertura vegetal (material combustible en cantidad, tamaño, forma, humedad y distribución espacial), humedad relativa (temperatura ambiente), viento (velocidad, dirección e intensidad), cuya interacción define la susceptibilidad o probabilidad de ocurrencia de incendios forestales en una determinada área de estudio.

FACTORES DESENCADENANTES

Los factores desencadenantes o activos, son considerados acciones externas, que provocan inestabilidad y desencadenan los incendios forestales al modificar las condiciones preexistentes.

Los factores a considerarse están determinados en base al severo comportamiento del fuego, que hace que exceda las capacidades de control del fuego con la acción del personal de combate y de los demás recursos utilizados, son: altas velocidades de propagación del fuego, gran desprendimiento del calor, una columna de convección bien desarrollada y dinámica que arrastra gran cantidad de humo, y números focos secundarios.

PARAMETROS DE EVALUACIÓN DEL FENÓMENO

Las variables y su participación en la generación de susceptibilidad física a la ocurrencia de Incendios forestales son:

Combustible

Esta variable es evaluada en función del tipo de cobertura vegetal, parámetros texturales, morfológicos y funcionales de la especie vegetal, se considera esta temática debido a que identifica plantaciones por especies, paramos herbáceos y arbustivos, tipos de cultivo, pasto cultivado, etc. Información que fue tomada de la base catalogada del proyecto "Generación de Geoinformación a Nivel Nacional a escala 1:25.000 (Instituto Espacial Ecuatoriano I.E.E., 2009 - 2015), siendo aplicable esta información, para periodos cortos y medianos de análisis según su tiempo de validez.

Humedad del complejo cobertura-suelo

Representativo de los procesos preparativos del medio. De influencia directa sobre el proceso de ignición natural, retardante o intensificador. Resultado, en el presente análisis, de la “correlación”,

mediante álgebra de mapas de las variables precipitación, pendiente, temperatura, textura del suelo, tipo de cobertura vegetal (combustible).

Precipitación.- Parte fundamental en el balance hídrico local. Es parte esencial en la determinación de la humedad del complejo cobertura-suelo, al representar la recarga potencial de agua para suelos y coberturas vegetales en un tiempo determinado. Se utilizó la base de precipitación media multianual de INAMHI-2012, generada a partir de una serie de 30 años.

Pendiente.- Factor determinante de las facilidades morfométricas del terreno para la retención del recurso hídrico disponible, según su tiempo de exposición al flujo y el comportamiento de este. Esta variable se obtuvo a partir del modelo digital de elevación disponible.

Temperatura.- Fundamental en el proceso de evapotranspiración (considerando la perspectiva hidrometeorológica solamente) y determinante en el incremento o reducción de pérdidas con incidencia directa en los niveles de humedad, así como también en su continuidad en el tiempo. Se utilizó la base de temperatura media multianual de INAMHI-2012, generada a partir de una serie de 30 años.

Textura del suelo.- Factores como la capacidad de campo y el comportamiento del interflujo, están directamente vinculados con esta variable. Considerado en este análisis, por su influencia en la disponibilidad del recursos hídrico para alimentar al suelo y coberturas sobreyacentes. Esta variable es evaluada en función de la información geopedológica, tomada de la base catalogada del proyecto Generación de Geoinformación a Nivel Nacional a escala 1:25.000 (Instituto Espacial Ecuatoriano I.E.E., 2009 - 2015), siendo aplicable esta información, para periodos cortos y medianos de análisis según su tiempo de validez.

Cobertura.- De influencia directa, por parámetros texturales, morfológicos y funcionales de la especie vegetal principalmente, que permiten el análisis cualitativo de dichas especies y la estimación de niveles relativos de humedad. Esta variable es evaluada en función del tipo de cobertura vegetal, tomada de la base catalogada del proyecto "Generación de Geoinformación a Nivel Nacional a escala 1:25.000" (Instituto Espacial Ecuatoriano I.E.E., 2009 - 2015), siendo aplicable esta información, para periodos cortos y medianos de análisis según su tiempo de validez.

Temperatura

Variable preparativa del terreno mediante su participación en la definición de niveles de humedad y en procesos de alteración de materiales expuestos. Considerado también como factor desencadenante, ante condiciones meteorológicas anómalas. Se utilizó la base de temperatura media multianual de INAMHI-2012, generada a partir de una serie de 30 años.

Radiación

Factor esencialmente desencadenante del proceso de ignición. Se destaca su participación en procesos de alteración del terreno y coberturas. Se ejecuta un proceso de “correlación” con la variable elevación orientado al incremento en detalle espacial y al análisis de la intensidad real esperada, en función de la altura de exposición. Se utilizó la base de isolíneas, INAMHI-2012.

Textura del suelo

Define parcialmente los niveles de humedad esperados en el análisis. Su influencia directa en el proceso de generación de la amenaza consiste básicamente en la circulación de oxígeno y la existencia

o no de vías de aporte y circulación de oxígeno, factor determinante en el avance y propagación del incendio forestal. A lo confirma según estudios de (Piñeiro, 1997) que los contenidos en humedad, tanto de la vegetación como del medio edáfico, juegan un papel importante en la combustión y transmisión del calor en el suelo, constituyendo uno de los factores que regulan la intensidad y duración del fuego. Esta variable es evaluada en función de la información geopedológica, tomada de la base catalogada del proyecto ""Generación de Geoinformación a Nivel Nacional a escala 1:25.000" (Instituto Espacial Ecuatoriano I.E.E., 2009 - 2015), siendo aplicable para periodos cortos y medianos de análisis según su tiempo de validez.

ELABORACIÓN DEL MODELO CARTOGRÁFICO

- MODELACIÓN CARTOGRÁFICA

La propuesta metodológica se fundamenta en los criterios orientados a definir el origen y comportamiento en la ignición, considera criterio heurístico y la ponderación de variables, que se detallan a continuación:

Criterio Heurístico: Según (María Molero, 2017), se emplea el razonamiento lógico o deductivo como parte del pensamiento matemático y se da cabida a la flexibilidad en el análisis de la información y obtención de resultados mediante la secuencia de la adquisición de conceptos, su formulación y reformulación en base a pruebas y refutaciones.

Los convencionalismos establecen para esto las siguientes bases, esencia de la herramienta metodológica pura:

- Indagación y descubrimiento.
- Recopilación de bases bibliográficas y demás fuentes de experiencia.
- Empleo de métodos secundarios no rigurosos como el tanteo y reglas empíricas.

Ponderación de variables : Corresponde la herramienta fundamental de análisis, según el tratamiento de correlación espacial de variables propuesto. Resulta una vía útil y sencilla hacia la obtención de los productos planteados y permite la medición relativa de influencias, causas y efectos, bajo la homogenización previa de todos los insumos temáticos involucrados.

Algebra de Mapas : Según (geográfica, 2017), se trata de un conjunto de herramientas de cálculo mediante el uso de matrices y la aplicación de variados operadores para la obtención de capas raster de salida a partir de entradas de la misma naturaleza, acorde a lo establecido por las ecuaciones de gobierno correspondientes. Así, el operador empleado genera nuevas capas mediante la asignación a cada celda de los valores resultantes de la relación de cálculo especificada, realizándose la operación para todos los valores contenidos en la matriz. Los operadores en función de las celdas consideradas en el cálculo son:

- Locales
- De vecindad o focales
- De bloque
- De área
- De área extendida
- Globales

Correspondiendo el producto final, el tratamiento bajo operadores locales, consistente en la generación de una nueva capa, con valores de celda dependientes o función de los valores de entrada:

$A = f(A_1, A_2, A_3 \dots A_n)$

Cálculo celda a celda, donde:

A= Valor resultante para la celda objetivo (producto final)

A₁, A₂..., A_n= Valores de entrada, para la celda objetivo

Y donde “f()” es una función definida por la ecuación de gobierno del tratamiento matemático en desarrollo.

A continuación se presentan las **ECUACIONES DE GOBIERNO PROPUESTAS**, obtenidas mediante un análisis prueba-error, en base a los principios teóricos y la experiencia directa e indirecta sobre la química/física del fuego, su origen, comportamiento, y la influencia del medio y su variabilidad en el desarrollo de los procesos de pre-ignición e ignición previamente descritos, bajo los parámetros y criterios pertinentes. Éstas, sin embargo, aunque están soportadas en los principios fundamentales que rigen los fenómenos naturales, consisten en productos experimentales que pueden ser mejorados y que están sujetos a modificaciones debidamente equilibradas en función de la calidad de la información disponible y condiciones particulares del caso de estudio, bajo los criterios establecidos por el álgebra de mapas para la determinación de factores de cálculo.

Entrada Radiación = (Radiación*0.50) + (Elevación*0.50)
Entrada Humedad = (Precipitación*0.35) + (Textura del suelo*0.20) + (Temperatura*0.15) + (Cobertura vegetal*0.15) + (Pendiente*0.15)
Salida Amenaza Estática (Susceptibilidad física) = (Entrada Humedad*0.13) + (Cobertura vegetal*0.45) + (Temperatura*0.10) + (Entrada Radiación*0.25) + (Textura del suelo*0.07)

Detalle del tratamiento geomático de la información para la obtención de productos cartográficos, según la temática “Incendios de la cobertura vegetal”.

Insumos para uso directo en el procesamiento:

- Modelo digital de Elevación disponible.
- Isoyetas- Interpolación a raster de precipitación.
- Isotermas- Interpolación a raster de temperatura.
- Capa de Geopedología- Textura del Suelo.
- Capa de Uso actual del Suelo- Cobertura vegetal.
- Capa de Radiación.

Secuencia de procesos a ejecutar para la obtención de la susceptibilidad física:

1. Selección y definición del área de estudio en términos de extensión y geometría, extracción del límite digital, ejemplo: límite cantonal.
2. Extracción de información temática a procesar en el tratamiento para el área de estudio seleccionada, como:
 - Combustible / Cobertura vegetal
 - Temperatura

- Radiación
- Textura del suelo
- Precipitación
- Modelo digital de elevación (DEM)

3. Ponderación y normalización de las variables radiación y elevación mediante reclasificación con la herramienta reclassify, resultado formato raster, los datos obtenidos se ingresan en el cálculo de álgebra de mapas con la herramienta raster calculator, los valores ingresados según la ecuación de gobierno propuesta para el cálculo de producto parcial:

$$\text{Entrada Radiación} = \text{Radiación} * 0.50 + \text{elevación} * 0.50$$

4. Obtención de la pendiente a partir de modelo de elevación disponible
5. Ponderación de las variables precipitación, textura del suelo, temperatura, cobertura vegetal (combustible) y pendiente (ver tabla de anexos N° 1 a 7), según la escala 1-5 previamente definida, colocando los valores en los campos “Peso_Humedad” creados en cada capa vectorial para luego convertir en formato raster con la herramienta polygon to raster, los datos se ingresan en el cálculo de álgebra de mapas con la herramienta raster calculator, considerando los valores propuestos según ecuación de gobierno:

$$\text{Entrada Humedad} = \text{Precipitación} * 0.35 + \text{cobertura vegetal} * 0.20 + \text{pendiente} * 0.15 + \text{textura del suelo} * 0.15 + \text{temperatura} * 0.15$$

4. Ponderación de las variables cobertura vegetal (combustible), textura del suelo (ver tabla de anexos N° 1 a 7), según la escala 1-5 previamente definida, colocando los valores en los campos “Peso_Amz” creados en cada capa vectorial, para luego convertir en formato raster con la herramienta polygon to raster, los resultados se ingresan en el cálculo de álgebra de mapas con la herramienta raster calculator, considerando los valores propuestos según ecuación de gobierno:

$$\text{Susceptibilidad física} = \text{Cobertura vegetal} * 0.45 + \text{entrada humedad} * 0.13 + \text{entrada radiación} * 0.25 + \text{temperatura} * 0.10 + \text{textura del suelo} * 0.07$$

5. Finalmente el proceso de reclasificación debe ejecutarse para el reajuste (paso de decimales a enteros) de la zonificación de la susceptibilidad física, a las cinco clases definidas por la escala propuesta.

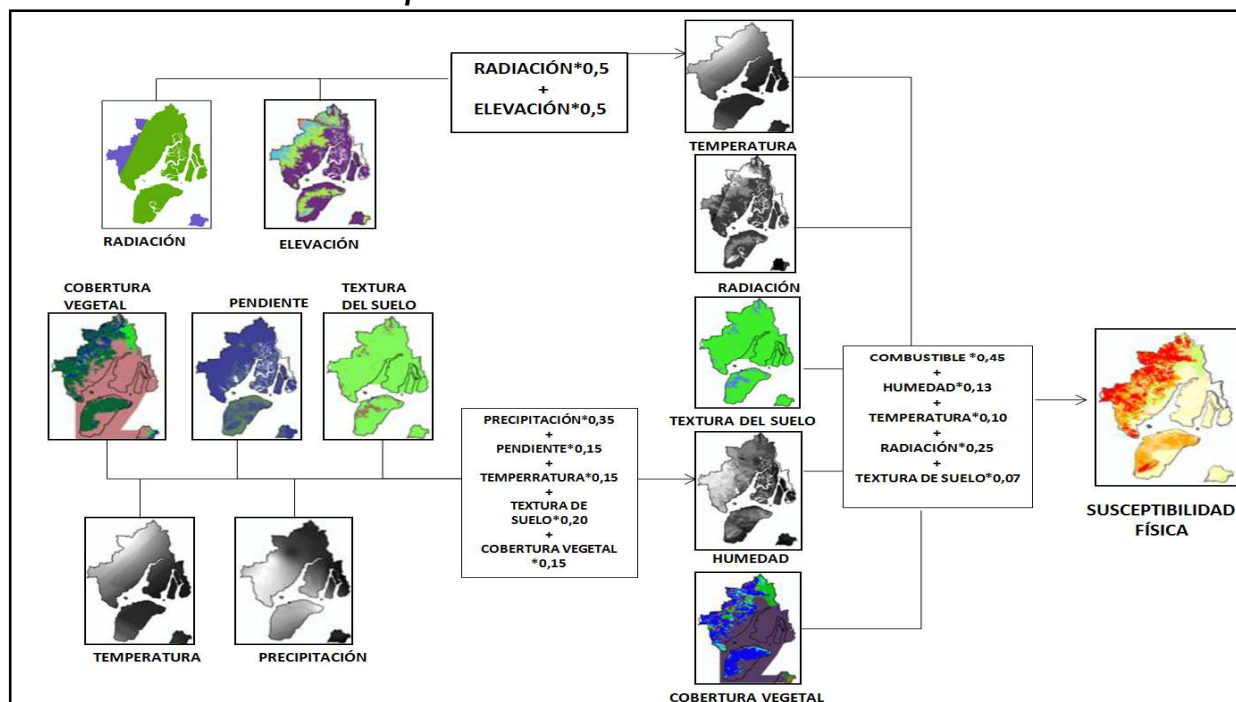
Nota: La exportación de capas resultantes en cada proceso de cálculo ráster, es importante para el cambio de archivos temporales a permanentes, a fin de conservar la información y poder utilizarla en procesos posteriores.

- ANÁLISIS MULTICRITERIO

Las variables utilizadas en el proceso cartográfico deben ser en formato raster previo a la generación de los mapas de susceptibilidad física a la ocurrencia de incendios de la cobertura vegetal, para este proceso se emplea el software Arc GIS. Ver ilustración 1.

Esquema 1. Raster generados para utilizar en el proceso cartográfico cuyo resultado son áreas susceptibles a quemarse

Proceso cartográfico propuesto para la generación de mapas de susceptibilidad física a la ocurrencia de incendios forestales



- COMPROBACION DEL MODELO CON INFORMACIÓN HISTÓRICA ORECIENTE

La Secretaría de Gestión de Riesgos por medio de la Dirección de Monitoreo y Eventos Adversos (DMEVA) registra la información enviada desde instituciones gubernamentales y cada una de las nueve zonales localizadas estratégicamente en todo el territorio ecuatoriano. En la Tabla 1 se detallan las afectaciones por motivo de incendios forestales a partir del año 2012 hasta mayo 2017, manifestadas mediante dos variables:

Número de eventos y hectáreas de cobertura vegetal quemadas por cada una de las 24 provincias, incluyendo la sumatoria de la afectación por variable; en la tabla 2 se evidencia que estas dos variables no son directamente proporcionales.

Tabla 1. Datos de hectáreas quemadas de la cobertura vegetal, compendio 2012 - 2017 (DMEVA)

Provincias	Nº de Eventos	Hectáreas de cobertura vegetal quemadas
Orellana	2	5,25
Galápagos	4	45,00
Pastaza	8	1,63
Sucumbíos	10	123,70
Santo Domingo de los Tsachillas	12	11,25
Napo	16	120,31
Zamora Chinchipe	18	207,01
Morona Santiago	20	28,19

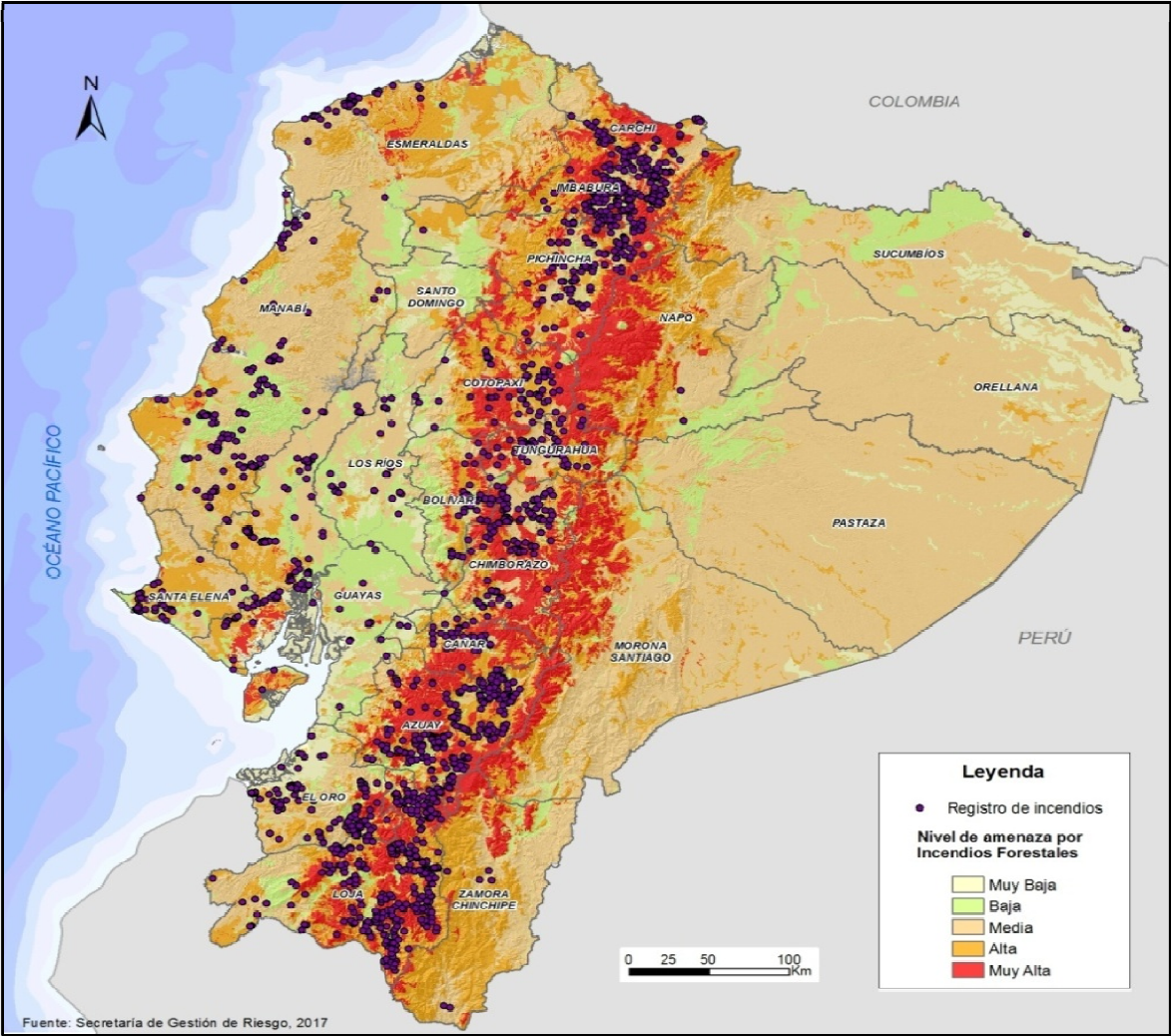
Los Ríos	87	421,23
Bolívar	165	2.124,22
Esmeraldas	170	1.039,91
Carchi	172	7.244,87
Tungurahua	222	1.582,76
Guayas	234	4.110,35
Manabí	235	4.108,44
Santa Elena	235	1.297,14
Cotopaxi	247	4.506,46
El Oro	253	6.662,69
Chimborazo	264	12.148,73
Cañar	312	4.034,73
Loja	639	17.259,00
Azuay	689	9.447,38
Imbabura	697	12.919,37
Pichincha	2.944	13.401,15
TOTAL	7.655	102.850,75

El Mapa preliminar de susceptibilidad física a la ocurrencia de incendios forestales escala 1:50000, indica el resultado de la comparación que permite comprobar la veracidad del modelo cartográfico del mapa preliminar de susceptibilidad a incendios forestales versus el registro de eventos desde el año 2013 hasta 2016. Ver mapa 1.

Los insumos para el tratamiento geomático para la generación de mapas de susceptibilidad a la ocurrencia de incendios forestales, a escala 1:50000.

- Modelo digital de elevación de 30m de resolución.
- Isoyetas- Interpolación a raster de precipitación.
- Isotermas- Interpolación a raster de temperatura.
- Capa de Geopedología- Textura del Suelo. (PRONAREC 1984), información fusionada.
- Capa de Uso actual del Suelo- Cobertura vegetal. (MAE 2011)
- Capa de Radiación. (Isolíneas, INAMHI-2012)

Mapa (1) preliminar de susceptibilidad física a la ocurrencia de incendios forestales escala 1:50000 y sus eventos en el Ecuador Continental



En la tabla 2. Se puede observar que el modelo es bueno, ya que la mayoría de los incendios ocurridos se concentran en las zonas, en media, alta, y muy alta.

Tabla 2. Análisis estadístico de registros por incendios forestales. Fuente: SGR - DAR 2017

RÓTULOS DE FILA	AZUAY	BOLIVAR	CAÑAR	CARCHI	CHIMBORAZO	COTOPAXI	EL ORO	ESMERALDAS	GUAYAS	IMBABURA	LOJA	LOS RÍOS	MANABÍ	PICHINCHA	SANTA ELENA	TUNGURAHUA	ZAMORA CHINCHIPE	TOTAL	%
1					1							2	2		1			6	2
2	7	1	3	2	4	3	7		4	5	3	2	2	3				46	13
3	16	2	3	10	23	3	16	6	1	15	16		5	5	1	1	2	125	36
4	36		8		6	2	4		3	12	24			2				97	28
5	10			3	10	1	2			12	27		1	9		1		76	22
TOTAL	69	3	14	15	44	9	29	6	8	44	70	4	10	19	2	2	2	350	100

Para comprobar de una manera espacial se realizó la función kappa, aplicando la siguiente fórmula:

$$\kappa = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{+i})}$$

Para esto se generó 50 puntos aleatorios, para poder armar la siguiente matriz (Ver cuadro 3) de confusión:

Tabla 3. Matriz de confusión

	POSITIVOS	NEGATIVOS	SUMA TOTAL
POSITIVOS	295	11	306
NEGATIVOS	39	52	91
SUMA TOTAL	334	63	397

Aplicando la fórmula de función kappa, dio un resultado de 0.63, esto quiere decir que el modelo es bueno, así lo califica el índice de kappa. Ver tabla 4.

Tabla 4. Índice de Kappa

Valoración del índice Kappa	
Valor de K	Fuerza de la concordancia
< 0.20	Pobre
0.21 - 0.40	Débil
0.41-0.60	Moderada
0.61-0.80	Buena
0.81-1.00	Muy buena

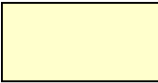
Fuente: López y Fernández. 2001

CATEGORIZACIÓN DE LOS NIVELES DE SUSCEPTIBILIDAD

Indicar los niveles de susceptibilidad que se obtienen con esta metodología, por ejemplo 5 niveles desde muy baja, baja, media, alta y muy alta, susceptibilidad. Indicar las características de cada una para poder interpretar el mapa resultante de esta metodología.

Los resultados obtenidos mediante la aplicación del álgebra de mapas (en procesamiento digital), se obtienen los niveles de susceptibilidad física y su distribución espacial (para el área de estudio), enmarcada en una escala de 5 niveles (tabla 5), definiendo las siguientes clases:

Tabla 5. Niveles de susceptibilidad física a la ocurrencia de incendios forestales

SUSCEPTIBILIDAD ANTE INCENDIOS FORESTALES		
NIVELES		DESCRIPCION
	MUY BAJA	Escasa o nula probabilidad de ocurrencia de incendios forestales

	BAJA	Incendios forestales pueden ocurrir bajo comportamiento natural anómalo muy puntual
	MEDIA	Ocurrencia de incendios forestales responde a la ciclicidad normal de convergencia de variables naturales asociadas
	ALTA	Todas las condiciones estáticas necesarias para la ocurrencia de incendios forestales
	MUY ALTA	Todas las condiciones estáticas suficientes para la ocurrencia de incendios forestales. procesos de ignición latentes.

5. CONCLUSIONES

- La presente propuesta metodológica se basa en el análisis físico del fenómeno natural “Incendios Forestales”, con enfoque a las etapas de pre-ignición e ignición, descrito a partir de los estudios realizados por expertos en la materia y su evaluación a nivel inductivo-deductivo, mediante la aplicación de la heurística en un tratamiento lógico de relaciones e influencia de variables, para la concepción de la susceptibilidad física, acorde a la escala de susceptibilidad establecida.
- La metodología se adapta a escala nacional y regional, considerando que los datos de entrada entre más detalle tengan mejor será el resultado.
- El modelo propuesto es una alternativa metodológica para la estimación de niveles relativos de susceptibilidad física a la ocurrencia de incendios forestales, en base al análisis de modelos de combustible, temperatura, radiación, humedad y textura del complejo cobertura-suelo; y su influencia en el proceso.
- Esta propuesta permite la identificación de áreas susceptibles a la ocurrencia de incendios forestales, para su utilización en la gestión del riesgo.
- El resultado previo a su utilización debe ser sometido a la validación y calibración estadística y en campo, además de estar sujeta a la calidad de la información de entrada.

6. RECOMENDACIÓN Y LIMITACIONES

- La información cartográfica tanto meteorológica como uso de suelo, tipo de suelo, contenido de humedad, etc., utilizada como insumo principal para realizar la modelación debe ser confiable, actualizada y homogénea, a fin de optimizar la calidad y representatividad de los resultados.
- La temática donde indica el tipo de cobertura vegetal debe ser obtenida de la componente de uso de suelo de instituciones competentes, en el caso de no existir debe generarse por

medio de procesamiento e interpretación de imágenes satelitales que se encuentren disponibles en la web.

- Es importante realizar investigación y estudios de las posibles causas de incendios forestales a nivel de país con la finalidad de mejorar y ajustar el resultado de la presente metodología. Además se debe desarrollar temas de investigación en este campo para obtener insumos cartográficos relevantes.
- Una vez aprobada y validada la presente propuesta metodológica, debe ser empleada como documento de base en la planificación del territorio, a fin de minimizar los efectos negativos de una inadecuada gestión.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Albini, R. &. (1970). Modelos de Combustible. *Modelos de Rothermel* . Galicia, España.
- Blanco, García, Castellnou, et. al. (2008). *Curso básico de incendios forestales*. Canaria.
- geográfica, S. d. (9 de NOVIEMBRE de 2017). *GEOGRAF*. Recuperado el 9 de NOVIEMBRE de 2016, de GEOGRAF: http://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario_5.pdf
- Hidalgo, J. A. (2005). *Modelización de la propagación y simulacion de Incendios Forestales en el ambito de la gestión*. Recuperado el 20 de febrero de 2015, de Modelización de la propagación y simulacion de Incendios Forestales en el ambito de la gestión: <http://modelización-de-la-propagación-y-simulación-de-incendios>
- Instituto Espacial Ecuatoriano I.E.E., M. d.-S. (2009 - 2015). GENERACIÓN DE GEOINFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL TERRITORIO. *Uso actual del suelo* . Quito, Pichincha, Ecuador.
- María Molero, A. S. (9 de Noviembre de 2017). *AIIDOCs*. Recuperado el 9 de Noviembre de 2017, de <https://alldocs.net/resolucion-de-problemas-metodo-heuristico-datos-inicio-el-enfoque-heuristico-ejemplos-creatividad-tecnicas-de-demostracion-autoevaluacion-bibliografia>
- Piñeiro, I. F. (23 de Julio de 1997). *Universidad de Santiago de Compostela* . Recuperado el 6 de Febrero de 2005, de Universidad de Santiago de Compostela : http://digital.csic.es/bitstream/10261/103090/1/incendios_forestales_Fernandez.pdf
- Rothermel & Anderson, A. (1970). Modelos de Combustible. *Modelos de Rothermel* . Galicia, España.
- SGR, S. d. (2016). Registros Historicos de Incendios Forestales (2012 - 2016). Samborondon, Guayas, Ecuador.

8. GLOSARIO DE TÉRMINOS

Incendio forestal: Es un fuego que, cualquiera sea su origen y con peligro o daño a las personas, la propiedad o el ambiente, se propaga sin control en terrenos rurales, a través de vegetación leñosa, arbustiva o herbácea, viva o muerta. Es decir, es el fuego que quema árboles, matorrales y pastos. Es un fuego injustificado y

descontrolado en el cual los combustibles son vegetales y que, en su propagación, puede destruir todo lo que encuentre a su paso. CONAF, 2017.

Susceptibilidad de la vegetación: Características intrínsecas de la vegetación y los ecosistemas (tipo de material combustibles, disposición y combustibilidad), que le brindan cierto grado de probabilidad de incendiarse, propagar y mantener el fuego. Hace parte de la amenaza.

Ignición: Es el fenómeno que inicia la combustión, se produce al interior una pequeña llama externa, chispa o brasa incandescente provocada, si la ignición no la provoca ningún foco externo se lo conoce como auto-ignición.

Combustible: Se refiere al material disponible para arder, para este caso la biomasa distribuida a lo largo de los estratos vegetales naturales y cultivados (Plantación, bosque, vegetación arbustiva, herbácea seca, páramo, pasto, cultivo de maíz, etc.).

9. ANEXOS

Tabla 1. Ejemplo de pesos asignados a clases de COBERTURA VEGETAL, según su grado de influencia estimado en la potencial ocurrencia de un incendio forestal (SGR-2014, editado sobre la información temática de IEE, SIGTIERRAS 2009-2015).

Tipos de cobertura vegetal				
VARIABLE	COSTA		SIERRA	
COBERTURA	Peso_Hum	Peso_Amz	Peso_Hum	Peso_Amz
ACELGA	1	1	1	1
ACHIOTE	2	2		
ACHOGCHA	2	2		
AFLORAMIENTO ROCOSO	1	1	1	1
AGUACATE	2	3	4	3
AGUACATE-CHIRIMOYA	3	3	3	3
AJÍ	2	1	2	1
AJI - MARACUYA	2	2		
AJO	4	1		
AJONJOLI	4	3		
ALBACA	2	2	2	2
ALBARRADA	1	1	1	1
ALBARRADA/RESERVORIO	1	1	1	1
ALCACHOFA	2	1		
ALFALFA	2	3	2	3
ALFALFA-MAÍZ	2	3		
ALGARROBO	4	4		
ALGODÓN	4	2		
ALISO	3	4	3	4
AMARILLO	4	3		
ÁREA DE INUNDACIÓN	1	1	1	1
ÁREA EN PROCESO DE EROSIÓN	3	3	3	3
ÁREA EN PROCESO DE URBANIZACIÓN	3	2	3	2

ÁREA EROSIONADA	2	2	2	2
ÁREA INTERVENIDA	3	2	3	2
ÁREA SALINA	1	1		
ARENALES	1	1	1	1
ARRÓZ	1	2		
ARVEJA			3	2
ASTER	1	1	1	1
AVENA	3	4		

Tabla 2: Ejemplo de pesos asignados a clases de TEXTURA DEL SUELO, en base al análisis del complejo cobertura-suelo), según su grado de influencia estimado en la potencial ocurrencia de un incendio forestal (SGR-2014, editado sobre la información temática de IEE, SIGTIERRAS 2009-2015).

VARIABLE	COSTA		SIERRA	
TEXTURA	Peso_Hum	Peso_Amz	Peso_Hum	Peso_Amz
ARCILLA PESADA	2	2	2	2
ARCILLO-ARENOSO	2	2	2	2
ARCILLO-LIMOSO	3	2	3	2
ARCILLO-LIMOSO-ARCILLA PESADA	2	2	2	2
ARCILLOSO	1	2	1	2
ARENA	5	3	5	3
ARENA FINA	4	3	4	3
ARENA MEDIA	5	4	5	4
ARENO FRANCO	3	3	3	3
FRANCO	3	3	3	3
FRANCO ARCILLO-ARENOSO	3	3	3	3
FRANCO ARCILLO-LIMOSO	2	3	2	3
FRANCO ARCILLOSO	3	3	3	3
FRANCO ARENOSO	3	3	3	3
FRANCO LIMOSO	3	3	3	3
LIMOSO	4	3	4	3
TIERRAS MISCELÁNEAS	3	3	3	3

Tabla 2. Ejemplos de pesos asignados a rangos de PRECIPITACIÓN, según su grado de influencia estimado en la potencial ocurrencia de un incendio forestal (Tesis Ortiz-Rivas, ESPOL, 2014, editado sobre la base de INAMHI-2012).

Precipitación

RANGOS	Peso_Hum
0 a 800	5
800 a 1600	4
1600 a 2400	3
2400 a 3200	2
> 3200	1

Tabla 3. Ejemplos de pesos asignados a rangos de TEMPERATURA, según su grado de influencia estimado en la potencial ocurrencia de un incendio forestal (Tesis Ortiz-Rivas, ESPOL, 2014, editado sobre la base de INAMHI-2012)

Temperatura	
RANGOS	Peso
0 a 8	1
8 a 16	2
16 a 24	3
24 a 32	4
> 32	5

Tabla 4. Ejemplos de pesos asignados a rangos de RADIACIÓN, según su grado de influencia estimado en la potencial ocurrencia de un incendio forestal (Tesis Ortiz-Rivas, ESPOL, 2014, editado sobre la base de INAMHI-2012).

Radiación	
RANGOS	Peso_Amz
0 a 2	1
2 a 4	2
4 a 6	3
6 a 8	4
> 8	5

Tabla 6. Ejemplos de pesos asignados a rangos del DEM, según su grado de influencia estimado en la potencial ocurrencia de un incendio forestal (Editado sobre la base del Dem SUGTIERRAS de 3 a 5 metros de resolución 2010- 2015).

Modelo Digital de Elevación / DEM

RANGOS	Peso_Amz
0 a 500	5
500 a 1500	4
1500 a 2200	3
2200 a 3000	2
> 3000	1

Tabla 7. Ejemplos de pesos asignados a rangos del raster de pendiente (slope), según el grado de elevación, reajustada para este procedimiento en base a la clasificación del catalogo de objetos del proyecto Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional.

Pendientes		
CATERGORIAS	RANGOS	PESOS
Suave	0 - 12	1
Media	12 - 25	2
Fuerte	25 - 40	3
Muy Fuerte	40 - 70	4
Escarpada	> 70	5

Tabla 8. Tabla de ecuaciones alternativas para las diferentes etapas consideradas en el proceso de cálculo y zonificación de la susceptibilidad a la ocurrencia de incendios forestales, según la metodología propuesta.

ECUACIONES ALTERNATIVAS- INTERACCIÓN DE VARIABLES (CÁLCULO)	
RADIACIÓN FINAL	
	ECUACIÓN
I	Radiación (0.75) + Elevación reclasificada (0.25)
HUMEDAD DEL COMPLEJO COBERTURA-SUELO	
	ECUACIONES
I	Precipitación (0.15) + Textura (0.30) + Temperatura (0.20) + Uso del Suelo (0.15) + Pendiente (0.20)
II	Precipitación (0.15) + Textura (0.35) + Temperatura (0.10) + Uso del Suelo (0.20) + Pendiente (0.20)
III	Precipitación (0.35) + Textura (0.25) + Temperatura (0.15) + Uso del Suelo (0.15) + Pendiente (0.10)
AMENAZA	
	ECUACIONES
I	Modelo de Combustible (0.47) + Humedad (0.07) + Temperatura (0.12) + Radiación (0.27) + Textura (0.07)
II	Modelo de Combustible (0.57) + Humedad (0.07) + Temperatura (0.09) + Radiación (0.17) + Textura (0.10)
III	Modelo de Combustible (0.45) + Humedad (0.16) + Temperatura (0.07) + Radiación (0.25) + Textura (0.07)
IV	Modelo de Combustible (0.45) + Humedad (0.20) + Temperatura (0.11) + Radiación (0.17) + Textura (0.07)
V	Modelo de Combustible (0.57) + Humedad (0.12) + Temperatura (0.11) + Radiación (0.10) + Textura (0.10)
VI	Modelo de Combustible (0.60) + Humedad (0.05) + Temperatura (0.10) + Radiación (0.10) + Textura (0.15)

Mapa 1. Resultado de la metodología propuesta, escala 1:25000, correspondiente al cantón Macará provincia de Loja

