

Impacto de los incendios forestales en las áreas protegidas de Costa Rica

Moraga Peralta Julio César

Escuela de Ciencias Geográficas/
Facultad de Ciencias de la Tierra y
el Mar/Universidad Nacional
Campus Omar Dengo/Heredia/Costa
Rica
julio.moraga.peralta@una.cr

RESUMEN

Los incendios forestales constituyen problemas que ocasiona grandes daños ambientales sobre los ecosistemas, uno de los mayores impactos en el ambiente son los efectos sobre el cambio climático, situación que acentúa los problemas globales que atentan la vida sobre el planeta. Notoriamente se reconoce que los incendios son un agente constante de cambios sobre los paisajes naturales y por tanto su estudio reviste importancia ya que afectan de una manera notable la vegetación, la fauna, el suelo y aumentan el peligro de desertificación, que ello conlleva a los problemas socioeconómicos.

Este artículo tiene por objetivo analizar el impacto de los incendios forestales en las áreas protegidas de Costa Rica, a partir de variables explicativas como la proximidad carreteras, tipos de usos de la tierra, focos de incendios, insolación y altitud sobre el nivel de mar, modeladas con técnicas de Evaluación Multicriterio (ECM) en un Sistema de Información Geográfica (SIG).

Dado que el concepto riesgo se refiere a una condición de probabilidad, en este artículo se recrea escenarios en donde podría tener lugar el fuego, los cuales se correlacionan con eventos que se han presentado en años anteriores. Se debe advertir que no considera la variable viento como factor dispersor del fuego, ya que el objetivo es determinar lugares con condición favorable a incendio sin mediar los factores que contribuyen en su distribución.

Palabras clave: **incendio forestal, problema ambiental, riesgo, sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio.**

ABSTRACT

Forest fires are a problem that causes environmental damages on the ecosystems. One of the biggest impacts in the atmosphere are the effects on the climatic change, situation that accentuates the global problems that attempt the life on the planet. Historically, fires are recognized as constant agent of changes on the natural landscapes. Therefore fires studies are important, in the way, how they affect the vegetation, the fauna, the soils and expand the dry conditions that tight link to poverty. This article aims to analyze the impact of forest fires on Costa Rica protected areas, based on explanatory variables such as proximity to roads, types of land uses, fire fires, sunshine and altitude above sea level, Modeled with

Multicriteria Evaluation (ECM) techniques in a Geographic Information System (GIS). Since the concept risk refers to a condition of probability, in this article model different scenarios where could carry out the fire, which are correlated with events that had been occurred in previous years. It should be noticed that it does not consider the variable wind as a propagate factor of the fire, since the objective is to determine places with adequate condition to fire without the factors that contribute in its distribution mediating.

Key words: *fire forest, environmental problem, risk, geographical information system and evaluation multicriterio.*

III. INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales causan daños económicos, afectan el suelo, alteran los ciclos hidrológicos, provocan serios deterioros a los ecosistemas forestales y a la biodiversidad y aportan carbono a la atmósfera, contribuyendo en el calentamiento global de la tierra. Aunque en condiciones naturales los incendios forman parte del proceso dinámico de los ecosistemas. Ferreras, J. Estada. P. Herrero T. Martín M.A. (2001).

En Costa Rica, durante la época seca de cada año, se concentra la mayor cantidad de incendios forestales. Según la Comisión Nacional sobre Incendios Forestales, las principales causas de incendios obedecen a vandalismo, quema de pastos, quemas agropecuarias (para sembrar frijol, por ejemplo) y quema para promover la caza. (La Nación, 24 de enero de 2008).

No obstante, Villalobos (2000), basado en datos de la Comisión Nacional sobre Incendios Forestales, señala que el problema real se origina por el uso descontrolado del fuego para fines agrícolas y ganaderos. Advierte que existe dificultad para determinar las causas reales de la mayoría de los incendios forestales. No obstante, expertos señalan que estos se deben a la mala utilización del fuego en actividades agropecuarias, y en menor porcentaje, por prácticas de cazadores, venganzas y negligencias. Otras causas son debidas a altas temperaturas o tormentas eléctricas sobre materiales de fácil combustión, aunque estos ocurren de forma muy esporádica, sin embargo no dejan de ser una causa real de generación de incendios.

Las áreas protegidas han sido escenario de gran cantidad de incendios, por ello, es importante determinar su potencial a través de modelos probabilísticos según sus características geográficas analizadas con técnicas de ECM y SIG. Estos últimos constituyen un medio tecnológico que articula varias disciplinas con el fin de realizar análisis, creación, adquisición, almacenamiento, edición, transformación, visualización, distribución, etc., de información geográfica. En el caso particular, a través de ellos se pueden desarrollar planes de prevención y vigilancia ante incendios forestales.

Se analizan los elementos y factores geográficos que configuran en territorio costarricense, lo cual permite diagnosticar la incidencia y la problemática de incendios forestales, posteriormente se explican los conceptos teóricos y metodológicos, se analizan los resultados y por último se discute el impacto sobre los ecosistemas.

IV. MÉTODO

A continuación se explica el modelo metodológico para abordar el problema, el mismo parte del reconocimiento de cinco variables explicativas tales como: proximidad a las carreteras, altitud sobre el nivel del mar, la insolación, focos de incendios y uso de la tierra. La base metodológica se derivó del modelo presentado por Ordoñez y Martínez (2003). La información cartográfica a priori la constituyen diferentes coberturas en formato vectorial, así como fotografías aéreas del año 2005

del proyecto Costa Rica Airborne Research and Technology Applications (CARTA) e imágenes de satélites Landsat y Aster de los años 2006 y 2008 respectivamente, las cuales son la base para generar las diferentes categorías de uso de la tierra.

La red de caminos fue obtenida del mapa base de Costa Rica del Instituto Geográfico Nacional (IGN) y se complementó con la digitalización de vías a partir de la interpretación de fotografías aéreas, la resultante fue transformada en una cobertura de distancias a vías. También se contó con la cobertura de curvas de nivel con equidistancias cada 20 metros del IGN. En ellas los valores de altitud se presentan de manera discreta por lo que fue necesario realizar procesos de interpolación para generar un modelo digital de elevaciones sobre el nivel del mar. A partir del modelo digital de elevaciones, se deriva la orientación de las laderas la cual es utilizada para analizar la insolación, esta es combinada el registro de horas sol recibida obtenido del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) de Costa Rica. En la tabla 1 se muestra la forma en que se reclasifica la orientación y las horas sol.

TABLA 1
Clasificación de orientación de la ladera vrs horas sol.

ÁNGULO	ORIENTACIÓN	HORAS SOL	VALOR
-1	Zonas planas	6	5
0° - 23°	Norte	4	1
23° - 68°	Noreste	4	2
68° - 113°	Este	7	3
113° - 158°	Sureste	5	4
158° - 203°	Sur	7	8
203° - 248°	Suroeste	5	4
248° - 293°	Oeste	7	3
293° - 338°	Noroeste	4	2
338° - 360°	Norte	4	1

Fuente: Adaptado de Ordoñez Celestino y Martínez Alegría Roberto (2003)

Se contó con información referente a puntos de calor a través de Alertas Globales de Incendios de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y MODIS Rapid Response - Global Fire Information Management System (GFIMS). Recuperado de <http://maps.geog.umd.edu/firms/> el mismo se complementó con un registro de focos de incendios en formato vectorial del MINAE. El mismo tenía observaciones desde 1 a 13 años. Para el caso de estudio se consideró incluir en el análisis aquellos focos superiores a cuatro años, con el fin de asegurar la certeza en cuanto a la presencia de un evento.

A partir de las imágenes Landsat y Aster se obtuvo la cobertura de uso de la tierra mediante el método de clasificación supervisada, las categorías obtenidas constituyen la base para analizar sobre qué tipo de usos tienen mayor incidencia los incendios.

Definidas las variables explicativas se construye un modelo matemático que relacione las variables independientes o explicativas con una variable dependiente, para ello se realiza una regresión logística múltiple, la cual considera como de-

pendiente una variable dicotómica, que será la presencia o no de focos de incendios. Además se incorporan las variables explicativas las cuales pueden ser de cualquier tipo, en este caso tenemos tres cuantitativas (elevaciones, insolación y distancia a carreteras) y una nominal (usos de la tierra).

Mediante una regresión logística multivariante expresada en la ecuación 1, se determina la probabilidad de que se origine un incendio en un punto cualquiera de Costa Rica y establece que la variable dependiente sea igual a 1.

Ecuación 1. Regresión logística.

$$P(Y = 1) = \frac{\exp(\sum \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_3 X_3)}{1 + \exp(\sum \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_3 X_3)}$$

Siendo Y la variable dependiente y X₁ las variables independientes y α y β números reales.

El modelo de regresión logística asume que se cumpla una hipótesis básica en donde P sigue una curva logística, para una única variable independiente X.

La probabilidad de incendio se expresa mediante la ecuación 2.

Ecuación 2. Determinación del mapa de probabilidad

$$\text{logit}(Y) = \ln \frac{P}{1-P} = \alpha + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_n X_n \Rightarrow P = \frac{e^{\text{logit}(Y)}}{1 + e^{\text{logit}(Y)}}$$

Para obtener el riesgo final se reclasificó el mapa de probabilidad de acuerdo a la tabla 2.

TABLA 2

Categorías de riesgo ante incendios según probabilidad

PROBABILIDAD	RIESGO	CATEGORÍA
0 - 0,000001	1	Nulo
0,000001 - 0,25	2	Bajo
0,25 - 0,50	3	Medio
0,50 - 0,75	4	Alto
0,75 - 1	5	Muy alto

Fuente: Adaptado de Ordoñez, 2003.

A continuación se presentan los resultados obtenidos según el modelo explicado en el marco metodológico.

V. RESULTADOS

5.1 DISTANCIA A CARRETERAS

En Costa Rica, los medios de comunicación y el transporte han marcado un acelerado desarrollo en obras de infraestructura pública y privada tales como, la red vial para el transporte de personas y de mercancías. Históricamente el territorio costarricense gira alrededor de tres vectores; la existencia de rutas y caminos desde tiempos precolombinos y la carretera interamericana que conecta de manera eficiente el territorio nacional. Desde esta perspectiva, la cobertura de carreteras constituye un tema de líneas el cual ocupa prácticamente todo el territorio, presentando una menor densidad en las áreas protegidas, las cuales son consideradas un factor de riesgo de incendios ya que se asocian al tránsito de fumadores.

El análisis de distancias se derivó de la transformación del vector de red vial a raster y consistió en asignar a cada celda la distancia de la entidad más cercana del conjunto de celdas analizadas, esto se logró mediante la ayuda de un SIG. En la figura 1 se muestra que las mayores distancias a partir del centro de celda se localizan en las áreas con menor densidad de caminos, las cuales coinciden con los espacios de protección en donde no existe gran cantidad de vías de acceso.

Al compararlas junto a la cobertura de focos de incendios se determina que las carreteras constituyen una variable que aportan de forma decisiva en la ocurrencia de incendios, ya que algunos de los focos registrados muestran una estrecha relación con estas.

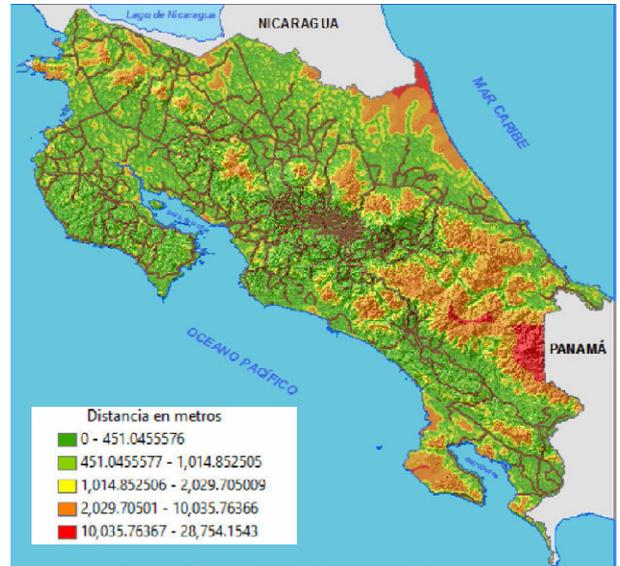


Figura 1: Costa Rica - Distancia Vías

5.2 ELEVACIONES

Las elevaciones se determinaron a partir de la interpolación de valores de altitud del mapa base de Costa Rica del IGN a escala 1:50.000, con la ayuda de SIG se realizó un proceso matemático que permitió predecir el valor de altitud transformando un número finito de observaciones en espacio de superficie continua, con ello se obtuvo un modelo digital de elevaciones (MDE). Las altitudes del territorio nacional van desde el nivel de mar hasta los 3818 msnm.

En la figura 2 se muestra en color verde considerable extensiones de tierras bajas, situación que determina su influencia directa en el comportamiento de las condiciones de temperatura, favoreciendo un calentamiento de la superficie por la acción del sol, lo que repercute directamente en el desarrollo de incendios.

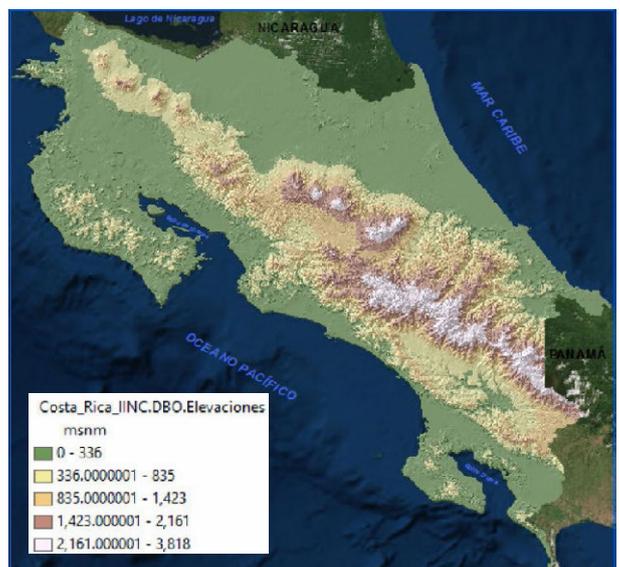


Figura 2: Costa Rica - Elevaciones

5.3 INSOLACIÓN

A partir del MDE se derivó la orientación de las laderas, es decir, la exposición o dirección de la pendiente definida por una celda y sus ocho vecinos circundantes. La interpretación de este dato permitió establecer áreas en donde se pueda originar un incendio en un punto determinado.

Es evidente que las áreas con orientación hacia el sur son las que están más expuestas al sol, no obstante para afianzar este criterio se correlacionó la orientación con los datos de brillo solar, y se estimó la cantidad de horas sol que reciben ciertas áreas en función a la dirección de la ladera. Lo anterior permitió determinar que las laderas orientadas al norte, noreste y noroeste reciben 4 horas sol, las orientadas al este y oeste, así como sureste y suroeste reciben hasta 5 horas sol, mientras que las zonas planas reciben 6 horas sol y las laderas orientadas a sur reciben hasta 7 horas diarias de energía solar, siendo la mayor cantidad recibida en nuestro país.

Con esto se determinó que la radiación solar es un factor que influye sobre estas áreas a lo largo del tiempo y por ende favorece el desarrollo de incendios forestales.

En la figura 3 se observa que debido a las características geomorfológicas algunas áreas reciben hasta siete horas de sol al día, sin embargo las áreas que tiene mayor dominio son las que reciben hasta seis horas sol, su espacio es ocupado por las llanuras presentes en el territorio nacional, en muchos casos estas áreas son dedicadas a las actividades agrícolas y pecuarias. El patrón de uso conjugado con la cantidad de horas sol por unidad de superficie constituye un factor determinante en el disparo de incendios.



Figura 3: Costa Rica - Horas Sol

5.4 FOCOS DE INCENDIOS

A partir del registro histórico suministrado por MINAE, además de los datos recopilados de puntos de calor se logró determinar la presencia de 681 focos de incendios algunos de los cuales se alinean cerca de las carreteras, mientras que otros se conjugan con las particularidades del uso de la tierra. La importancia de esta cobertura para el estudio es la condición temporal con que ocurren las quemaduras en Costa Rica, se constata que muchos de ellos tienen un periodo de retorno anual,

principalmente durante la época seca de diciembre a abril de cada año.

Durante esta época la temperatura se incrementa unido a ellos existen ciertas prácticas agrícolas que requieren procesos de quema como por ejemplo, la caña de azúcar que es incinerada para su posterior cosecha, por lo tanto algunos de los focos de incendios observados tienen su origen en estas áreas. En la figura 4 se muestra la distribución geográfica de los puntos de ignición, concentrados en su mayoría en el sector noroeste de nuestro país, área geográfica que cubre la provincia de Guanacaste.

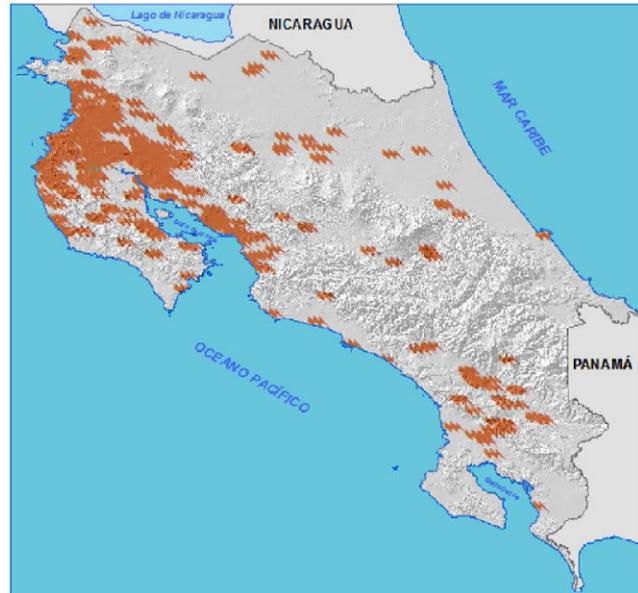


Figura 4: Costa Rica - Focos de Incendios

5.5 USOS DE LA TIERRA

A partir de las imágenes de satélite Landsat y Aster se determinaron 16 categorías de uso de la tierra, siendo la categoría de pastos y pastos con árboles las que presentan mayor dominio en la presencia de incendios.

El uso de la tierra constituye una variable de vital importancia para la determinación de las áreas con riesgo de incendios, para ello se analizó la relación existente entre los diferentes usos y la presencia de focos de incendio. Esto se logró mediante una tabulación cruzada, en donde se determinó que los usos que tienen mayor incidencia a las quemaduras son los pastos, ya que de los 36 focos de incendios registrados al menos 23 tienen su origen en estas áreas, seguidos del charral y tacotal con 18 focos y 16 en la categoría de bosque secundario, por este motivo y dado que una gran extensión del territorio nacional tiene este tipo de uso centraremos el estudio en ellos. En la figura 5 se muestra el resultado obtenido mediante SIG, la categoría seis corresponde a pastos y es sobre esta en donde se da la mayor propensión de los incendios.

Cross-tabulation of focos_incendios (columns) against uso_tierra (rows)			
	0	1	Total
0	3830415	0	3830415
1	656910	5	656915 Bosque primario
2	985604	16	985620 Bosque secundario
3	96821	2	96823 Manglar
4	1009055	19	1009073 Charatal y tacotal
5	4151	1	4152 Plantación forestal
6	1693574	23	1693597 Pastos
7	11989	0	11989
8	393255	10	393265 Caña
9	630	0	630
10	176979	6	176985 Arroz
11	3745	0	3745
12	54	0	54
13	277965	7	277972 Terreno descubierto
14	53014	0	53014
15	4288	0	4288
16	3860	0	3860
17	41990	0	41990
18	8775	0	8775

Figura 5: Tabulación cruzada de focos de incendios versus usos de la tierra.

Fuente: Elaboración propia a partir de la cobertura de uso de la tierra vrs focos de incendios.

En la figura 6 se muestra la distribución espacial de las diferentes categorías de uso, se evidencia que la categoría de pastos y pastos con árboles tienen gran representatividad espacial, por lo tanto fueron agrupadas para realizar el análisis.

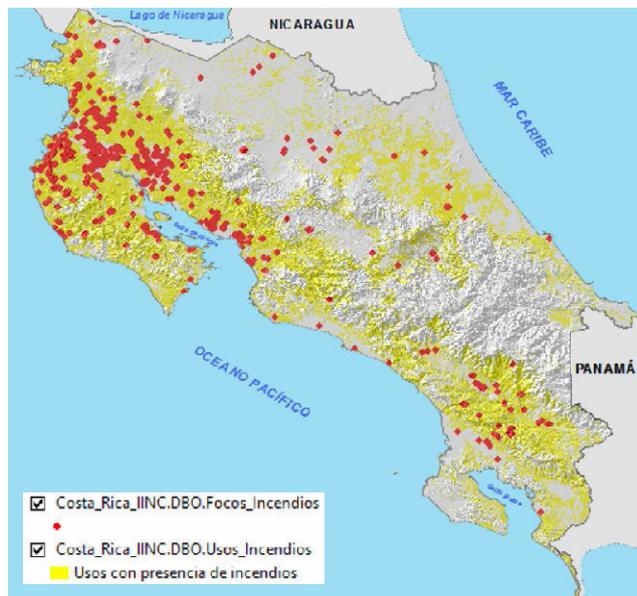


Figura 6: Costa Rica - Distribución espacial del uso de pastos

5.6 PROBABILIDAD DEL RIESGO A INCENDIOS

Los incendios forestales constituyen una de las principales amenazas en el territorio nacional estos se conjugan con las características físicas geográficas y la presión humana motivada por las actividades agropecuarias. A partir de las variables analizadas se obtuvo los coeficientes del modelo de regresión logística y se estableció la probabilidad de la variable dependiente. En dicho modelo se asume una hipótesis básica en donde la probabilidad sigue una curva logística o en forma de S, la cual es una función matemática que se utiliza para modelar la propagación de los incendios forestales.

El modelo de regresión logística fue introducido en un SIG, para ello la variable dependiente se transformó a dicotómica, es decir, la matriz de datos raster asumió valores entre 0 y 1, en donde 1 se refiere a los casos de igniciones observadas y 0 para puntos aleatorios en donde no se ha presentado incendios, por esta razón fue necesario construir una cobertura de puntos distribuidos aleatoriamente con valores de 0 y se unió a la cobertura de focos de incendios, la resultante constituyó

la capa muestra para el modelo de regresión. Es importante advertir que para obtener buenos resultados en la regresión logística la capa muestra debe estar equilibrada, es decir, debe haber un número semejante con valores de 1 y 0.

Los coeficientes obtenidos de la ecuación de regresión se expresan a continuación.

$$\text{logit}(\text{focos_incendios}) = -0.9821 - 0.000259*d_vias + 0.198545*insolación - 0.004594*mde - 1.068334*pastos$$

En donde:

d_vías = Distancia a carreteras (-0.00025926)

Insolación = Orientación de la ladera con horas sol (0.19854472)

mde = Modelo digital de elevaciones (-0.00459415)

pastos = Categoría derivada del mapa de usos de la tierra. (-1.06833377)

El resultado de la regresión indica que la variable insolación tendrá mayor importancia en la solución final. Partiendo de dichos coeficientes se obtuvo la probabilidad de ocurrencia de un incendio, la misma asume valores que van desde 0,002229562 a 0,736122549, tal y como se muestra en la figura 7, en donde la mayor probabilidad se da en las áreas planas, situación que puede explicarse por la influencia de la insolación unido a los factores antrópicos resultante de las actividades agropecuarias, mientras que la probabilidad se reduce conforme se aumenta en altitud sobre el nivel medio del mar. Esta situación tiene estrecha relación con la acción de los elementos climáticos, siendo el mayor contenido de humedad en las partes altas de la cordillera que cruza el territorio de noroeste a sureste en donde existe una menor intensificación de las actividades humanas.



Figura 7: Costa Rica - Probabilidad de incendios forestales

Con el anterior índice de probabilidad se reclasifico el riesgo ante incendios de acuerdo a lo establecido en la cuadro tabla 2, particularizado para cada espacio de protección, de esta manera se obtuvo cuatro indicadores de riesgo los cuales cualitativamente va desde bajo a muy alto, como se puede apreciar en la figura 8.

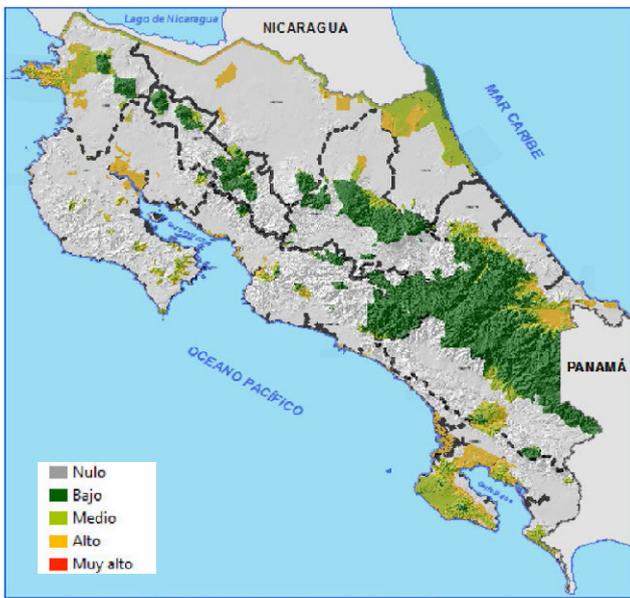
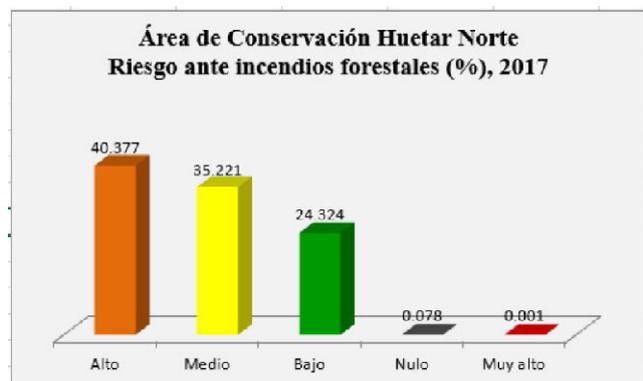
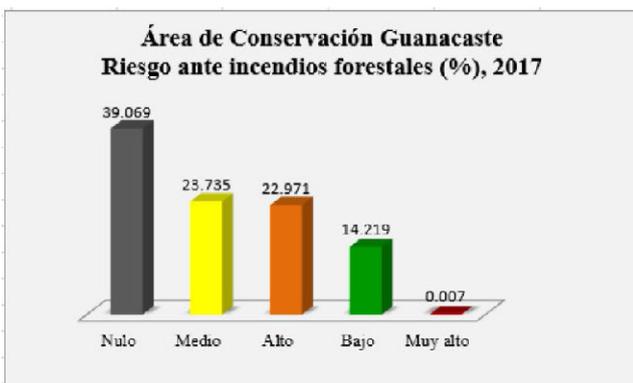
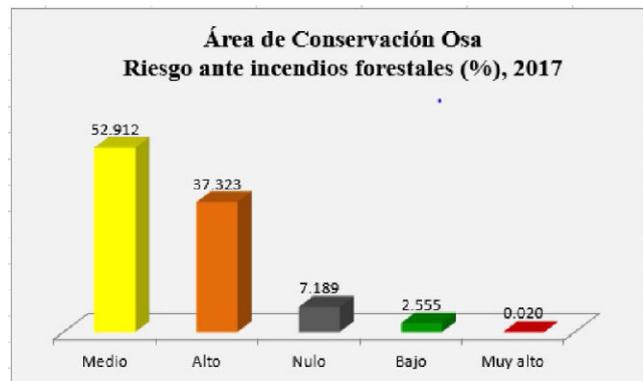
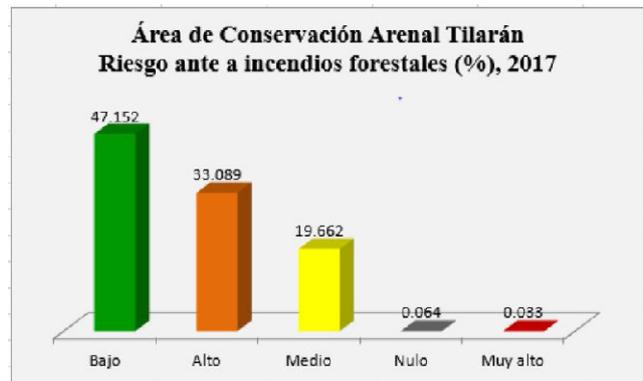
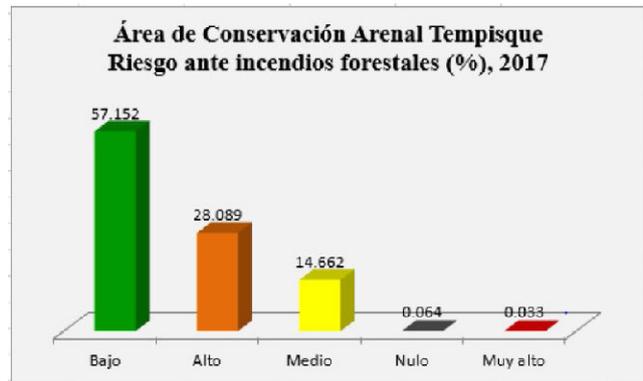


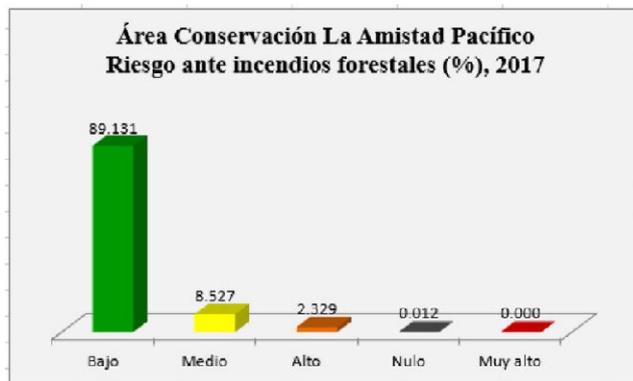
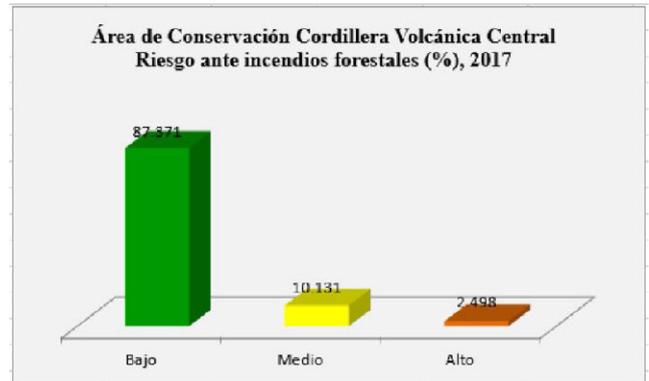
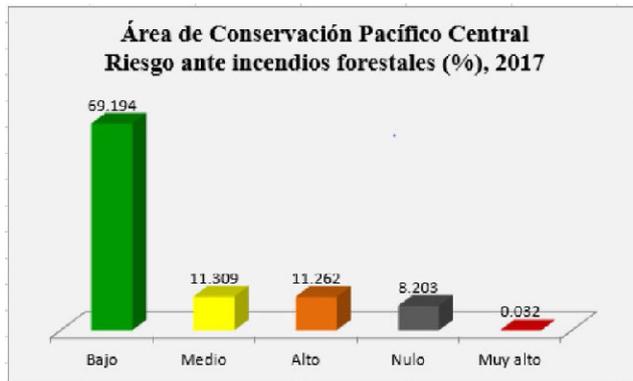
Figura 8: Costa Rica – Riesgo ante incendios forestales en espacios protegidos

El riesgo fue caracterizado para las diez áreas de conservación existentes en Costa Rica:

1. Área de Conservación Guanacaste
2. Área de Conservación Arenal - Tempisque
3. Área de Conservación Arenal - Tilarán
4. Área de Conservación Osa
5. Área de Conservación Huetar Norte
6. Área de Conservación Pacífico Central
7. Área de Conservación La Amistad Pacífico
8. Área de Conservación La Amistad Caribe
9. Área de Conservación Tortuguero
10. Área de Conservación Cordillera Volcánica Central.

En las siguientes gráficas se muestran las categorías de riesgo ante incendios forestales en porcentaje según área de conservación.





En las anteriores gráficas puede observarse siete de las áreas de conservación presentan condiciones de riesgo considerable, principalmente las ubicadas en la vertiente del pacífico, se exceptúan las áreas de conservación Huetar Norte, Tortuguero y la Amistad Caribe, estas dos últimas ubicadas en la vertiente del caribe costarricense que también presentan un inminente riesgo ante incendios forestales.

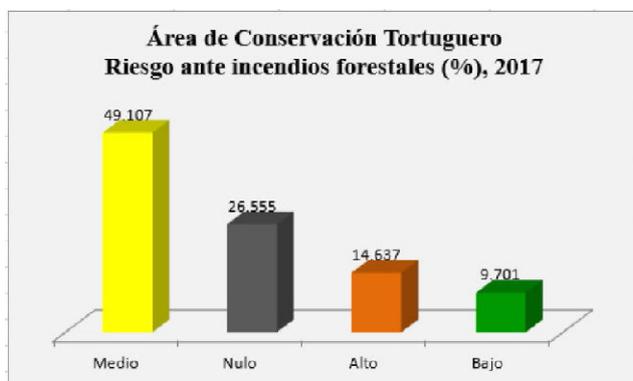
Es importante resaltar que los espacios protegidos de Costa Rica, están amenazados por incendios forestales, ello significa que muchas especies de flora y fauna son vulnerables a este tipo de fenómenos, por lo que se requiere tener mayor control en los procesos de mitigación y atención de estos eventos.



VI. CONCLUSIONES

Se reconoce que existen impactos ambientales en los ecosistemas del medio físico, biológico y humano, así como en los aspectos socioeconómicos que justifican la supresión, prevención, detección y combate de incendios descontrolados, ya que desde el punto de vista económico y ecológico Costa Rica posee un valor económico muy alto en cuanto a especies de flora y fauna se refiere.

A pesar de que el impacto apreciable después de un incendio son las pérdidas de calidad paisajística por la desaparición de la cubierta vegetal, el daño va más allá ya que sus consecuencias superan el ámbito local del terreno quemado ya que los efectos impactan en aspectos sociales, económicos y ambientales, lo cual conlleva al deterioro y la pérdida de los recursos naturales, así como a la contaminación del aire y agua, degradación y erosión de los suelos, algunas pérdidas económicas y destrucción de infraestructura. También pueden provocar problemas de salud a las personas que se ubican en zonas aledañas al incendio.



Los incendios forestales representan parte de los problemas que enfrentan las áreas protegidas de Costa Rica, en ocasiones son producidos por actividades humanas de manera involuntaria o en forma premeditada; a veces como resultado de un problema de desigualdad social, carencia de tenencia de la tierra, falta de una cultura de uso adecuado del fuego o bien, falta de información o desconocimiento de cómo administrar y tratar las quemas en las tierras de usos agropecuarios.

La planificación para la protección contra los incendios y su manejo debe realizarse de manera integral y cooperativa por lo tanto urge a nivel nacional un documento que advierta el riesgo potencial ante incendios de nuestro país. Este debe estar fundamentado en mapas que muestren espacialmente la distribución de la problemática.

Se debe elaborar mapas con recursos humanos, zonas forestales, actualización de las vías de comunicación terrestre, estas últimas con el fin de conocer las diferentes rutas de acceso en caso de detección de un foco de incendio.

En el país las especies la flora amenazada son resilientes pero el lapso esperado para ello supera el cuarto de siglo, situación que vuelve altamente frágil la permanencia de los ecosistemas.

El modelo utilizado presenta buenos resultados ya que existe una relación directa de incendios con las diferentes categorías de riesgo establecidas.

Se recomienda su uso siempre y cuando exista la información disponible para poder modelar los datos según lo establecido en la metodología.

Las técnicas de teledetección constituye una herramienta poderosa y confiable para llevar a cabo procesos de validación y contextualizar el desempeño del modelaje de los datos, además facilita el monitoreo de los espacio protegidos.

La correspondencia entre las áreas incineradas y el riesgo de incendio asociado permitirá profundizar el estudio de esta herramienta para su puesta en funcionamiento de manera operativa dentro de un SIG.

La problemática de los incendios forestales debe abordarse desde la prevención, enfatizando en la motivación de los pobladores y su actitud negligente y/o irresponsable con los recursos naturales y por ende con el ambiente.

La sinergia de actores debe orientar esfuerzos en educación para el conocimiento de los recursos naturales y cómo protegerlos, además de incluir campañas de difusión que incentiven a la utilización de prácticas alternativas a las quemadas para la eliminación de desechos vegetales.

Esta investigación constituye un insumo básico para orientar prácticas en materia de prevención de manera que se busque garantizar la estabilidad biogeográfica del país.

REFERENCIAS

- Alpizar, E., Bolaños, R., Bravo, J., Canessa, G. & J. Echeverría (1998) Plan de Acción para la Cuenca del Río Tempisque. Zonas de Vida, Biodiversidad, Áreas Protegidas y Humedales. Volumen II. Centro Científico Tropical, San José, Costa Rica.
- Bosque Sendra Joaquín, Díaz Castillo Concepción & Díaz Muñoz María Ángeles. (2002). De la justicia espacial a la justicia ambiental en la política de localización de instalaciones para la gestión de residuos en la comunidad de Madrid. Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá. Recuperado de <http://hum.unne.edu.ar/revistas/geoweb/Geo2/archivos/jusespam.pdf>
- Castillo Miguel, Pedrera Patricio, Eduardo Peña (2003). Incendios forestales y medio ambiente: una síntesis global. Revista Ambiente y Desarrollo de CIPMA. VOL. XIX / N°s 3 y 4 / 2003. Recuperado de http://www.cipma.cl/RAD/2003/3-4_Castillo.pdf
- Echeverría, A., Echeverría, J. & A. Mata (1998) Plan de Acción para la Cuenca del Río Tempisque. Antecedentes del Estudio y Resumen Ejecutivo. Centro Científico Tropical, San José, Costa Rica.
- Galdames Ortiz Domingo Vicente (2000). Desarrollo de un marco conceptual para proponer un sistema de gestión ambiental municipal en la Comuna de Melipilla. Universidad de Santiago de Chile. Recuperado de <http://www.fortunecity.es/expertos/creativo/129/>
- Gómez Delgado Montserrat & Barredo Cano José Ignacio, (2004). Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio. Editorial RAMA, Madrid, España.
- Ferreras, J. Estada. P. Herrero T. & Martín M.A. (2001). Los incendios forestales. Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente. Recuperado de <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=379>
- Lizano, O.G. (1998) "Dinámica de las aguas en la parte interna del Golfo de Nicoya ante altas descargas del Río Tempisque." Revista de Biología Tropical, vol. 46. Supl. 6: 11-20.
- Loaiza N. Vanessa. La Nación, (24 /01/ 2008). Incendios forestales provocados arrasaron 32.000 hectáreas. San José, Costa Rica. Recuperado de http://www.nacion.com/ln_ee/2008/enero/24/pais1396413.html
- Mascaraque Sillero Álvaro (2003). Índices de causalidad y riesgo de incendios aplicados a los espacios naturales protegidos de la comunidad de Madrid. Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de http://oa.upm.es/911/1/PFC_Riesgos_Incendios_Forestales.pdf
- Maskrey Andrew (1993). Los desastres no son naturales. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. Colombia.
- Mateo Vega Javier, (2001). Características generales de la cuenca del Río Tempisque, p. 32-72. En: Jiménez, J.A. y E. González (editores). La cuenca del río Tempisque. Perspectivas para un manejo integrado. Organización para Estudios Tropicales, San José, Costa Rica.
- Ordoñez Celestino & Martínez Alegría Roberto. (2003) Sistemas de Información Geográfica. Aplicaciones prácticas con Idrisi32 al análisis de los riesgos naturales y problemas medioambientales. Editorial ALFA OMEGA. México.
- R. Viqueira José R., Álvarez Pedro, Varela José & Saco Pedro J.(2003). Architecture of a Natural Disasters Management Framework and its Application to Risk Assessment. Instituto de Investigaciones Tecnológicas. University of Santiago de Compostela, y el Centro Politécnico Superior. University of Zaragoza. España. Recuperado de http://plone.itc.nl/agile_old/Conference/estoril/papers/65_Jose%20Viqueira.pdf
- Ramos Rodríguez Marcos Pedro, González Menzonet Yudisnelvis. (2003) Definición de la época de incendios forestales en un contexto multivariado. Recuperado de <http://www.floresta.ufpr.br/firelab/artigos/artigo354.pdf>
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación del Ministerio de Ambiente y Energía (2006). Estrategia Nacional de Manejo del Fuego de Costa Rica: 2006 - 2010. Tercera edición, San José, Costa Rica. Recuperado de http://documentacion.sirefor.go.cr/archivo/incendios/emf_2006.pdf
- Villalobos Flores Roberto, Retana José A., & Acuña Anselmo. (2000) El Niño y los Incendios Forestales en Costa Rica. Instituto Meteorológico Nacional. Gestión de Desarrollo. Recuperado de http://www.imn.ac.cr/publicaciones/estudios/Nino_incendios_forestales.pdf